

# Metode mjerenja morskih struja i valova

---

**Kapitanović, Mateo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:056324>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-18**

*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](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**MATEO KAPITANOVIĆ**

**METODE MJERENJA MORSKIH STRUJA  
I VALOVA**

**ZAVRŠNI RAD**

**SPLIT, 2020.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA**

**METODE MJERENJA MORSKIH STRUJA  
I VALOVA**

**ZAVRŠNI RAD**

**MENTOR:**

**Doc. dr. sc. Nenad Leder**

**STUDENT:**

**Mateo Kapitanović**

**(MB:0171276701)**

**SPLIT, 2020.**

## SAŽETAK

U ovom radu je prikazane su neke meteorološke i oceanografske pojave opasnih za pomorstvo i unutarnju plovidbu. Premda takvih pojava ima mnogo, naglasak je prvenstveno bio na upoznavanju morskih struja i valova. Na osnovi temeljnih analiza dostupnih u literaturi, u radu prvo je priložena definicija morskih struja. Prezentiran je i način njihova nastanka te metode njihovih mjerenja. Nadalje, morski valovi su također pojašnjeni, njihovo podrijetlo i metode mjerenja. Radi sigurnije plovidbe, pomorci moraju biti dobro informirani o ovim čimbenicima koji utječu na brzinu i smjer broda te se njihovi podatci mogu pronaći na pomorskim kartama, službenim pomorskim navigacijskim priručnicima te meteorološkim i oceanološkim prognozama. Zaključeno je da napredak tehnologije znatno utječe na metode mjerenja morskih struja i valova te da su kvantiteta i kvaliteta podataka sve bolji i bolji.

**Ključne riječi: metode mjerenja, morske struje, oceanografski podatci Jadranskog mora, valovi**

## ABSTRACT

This paper presents some meteorological and oceanographic phenomena which are dangerous for maritime and inland navigation. Although there are so many phenomena, the emphasis was primarily on getting to know the sea currents and waves. Based on the thorough analysis available in the literature, in this paper, firstly, is given the definition of sea currents. The method of their origin and the methods of their measurement are also presented. Furthermore, sea waves are also clarified, their origin and measurement methods. For safer navigation, seafarers must be well informed about these factors that affect the speed and direction of the ship and their data can be found on nautical charts, official maritime navigation manuals and meteorological and oceanographic forecasts. It was concluded that the advancement of technology significantly affects the methods of measuring sea currents and waves and that the quantity and quality of data are getting better and better.

**Keywords: methods of measurement, sea currents, oceanographic data of the Adriatic Sea, waves**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OPĆENITO O MORSKIM STRUJAMA</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. PODJELA MORSKIH STRUJA S OBZIROM NA TEMPERATURU</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2. SILE UZROČNICE MORSKIH STRUJA</b> .....	<b>5</b>
2.2.1. <b>Gradijentske struje</b> .....	<b>5</b>
2.2.2. <b>Struje morskih mijena</b> .....	<b>6</b>
2.2.3. <b>Struje drifta</b> .....	<b>6</b>
2.2.4. <b>Coriolisova sila</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3. SILE UZROČNICE MORSKIH STRUJA U JADRANU</b> .....	<b>8</b>
2.3.1. <b>Gradijentske struje</b> .....	<b>8</b>
2.3.2. <b>Struje morskih mijena</b> .....	<b>9</b>
2.3.3. <b>Struje drifta</b> .....	<b>9</b>
<b>2.4. GLAVNE ZNAČAJKE MORSKIH STRUJA U JADRANSKOM MORU.</b> ..	<b>10</b>
<b>3. METODE MJERENJA MORSKIH STRUJA</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1. DIREKTNA METODA</b> .....	<b>13</b>
3.1.1. <b>Metoda po Langrangeu</b> .....	<b>13</b>
3.1.2. <b>Eulerova metoda</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2. INDIREKTNE METODE</b> .....	<b>16</b>
<b>4. OPĆENITO O VALOVIMA UZROKOVANIM VJETROM</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1. VALOVI DUBOKOG MORA</b> .....	<b>18</b>
4.1.1. <b>Nastanak valova dubokog mora</b> .....	<b>20</b>
<b>4.2. ZNAČAJKE VALOVA NA JADRANU</b> .....	<b>21</b>
<b>5. METODE MJERENJA MORSKIH VALOVA</b> .....	<b>23</b>
<b>5.1. FIKSNI UREĐAJI ZA MJERENJE VALOVA</b> .....	<b>26</b>
5.1.1. <b>Wavestaff</b> .....	<b>26</b>
5.1.2. <b>Tlačna mjerila</b> .....	<b>27</b>
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>28</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>29</b>
<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>30</b>
<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>31</b>

<b>POPIS KRATICA .....</b>	<b>32</b>
----------------------------	-----------

# 1. UVOD

Pojave koje se javljaju na moru i bitne su za plovidbu, osim meteorološkog podrijetla, mogu biti i oceanološke. Zato su bitne pojave i procesi koji su nastali međudjelovanjem oceana i mora, kao što su: vjetrovne struje i valovi, zatim izuzetne jake oborine i led u moru te morske mijene i seši. Neke od tih pojava mogu biti izrazito opasne, kao na primjer valovi, dok je utjecaj drugih znatno slabiji (morske struje).

Morske struje su horizontalno gibanje čestica morske odnosno oceanske vode, te su uz valove i mijene jedno od najvažnijih gibanja u moru. Njihovu pojavu uzrokuju određene sile i čimbenici koji djeluju na vodu poput rotacije Zemlje, stalnih ili sezonskih vjetrova koji pušu na površinu i usmjeravaju tok vode, temperature, razlike u salinitetu te privlačne sile Mjeseca. Još od davnina je ljudima odnosno pomorcima bilo od velike važnosti poznavati brzinu i smjer morske struje kako bi što sigurnije i lako mogli manevrirati svojim brodovima. Prvotno su bili raznorazni načini mjerenja uz pomoć plutajućih predmeta, danas smjer i brzina morske struje određuje se posredno mjerenjem temperature i slanosti morske vode te visine morske razine, odnosno izravnim mjerenjem poput plutajućih boca kao što su radioplutače i drifteri.

Kad govorimo o morskim valovima najčešće se misli na vertikalna gibanja morske površine uzrokovano stalnim utjecajem vanjskih sila poput vjetra ili jednog impulsa kao kod slobodnih valova. Neposredni utjecaj valova na brod dobro se očituje na smanjenje brzine broda ovisno o visini valova i smjera iz kojeg dolaze. Općenito se s povećanjem visina valova brzina broda smanjuje. Da bi se izračunale te visine valova potrebni su nam uređaji odnosno senzori koji su danas jako sofisticirani te daju iznimno precizne podatke pri izračunu.

Rad se sastoji od šest poglavlja te su u njemu opisane metode i načini mjerenja morskih struja i valova. Nakon uvoda, u drugom poglavlju se iznose osnovna obilježja i karakteristike morskih struja. Osim općenitih značajki morskih struja prikazana su i osnovna obilježja morskih struja u Jadranskom moru. Metode mjerenja morskih struja obrađene su u trećem poglavlju. U četvrtom poglavlju date su teorijske osnove površinskih valova uzrokovanih vjetrom, a peto poglavlje bavi se metodama mjerenja morskih valova. Na kraju rada navedeni su najvažniji zaključci rada.

## 2. OPĆENITO O MORSKIM STRUJAMA

Morska struja je gibanje morske odnosno oceanske vode u nekom smjeru. To je razmjerno uska struja vode širine nekoliko desetina, po dubini više stotina metara, a duljine više tisuća kilometara. Postiže brzine od 0.1 do 4 m/s te se javlja na površini i u raznim dubinama mora. Kao i vjetar, strujanje je vektorska veličina određena smjerom i brzinom morske struje. No, za razliku od smjera vjetra koji puše iz smjera puhanja (tzv. meteorološka konvencija), morska struja teče u smjeru gibanja (tzv. oceanografska konvencija). Morske struje imaju svojstvo meandriranja, odnosno znatne promjene smjera i brzine gibanja na razmjerno malim područjima, što je više izraženo u obalnim područjima. [1]

Kao i kod vjetrova postoji ruža morskih struja koja pokazuje ili prevladavajući smjer i brzinu struje ili njezine promjene. Ovisno o smjeru i brzini plovidbe broda te smjeru i brzine morske struje, ona više ili manje utječu na plovidbu s gledišta sigurnosti. Pri tome se misli na zanašanja broda u priobalnom i odobalnom području te na trajanje plovidbe i potrošnju goriva. Smjer struje se određuje prema zemljopisnim stranama prema kojima struja teče. Također se mjeri u stupnjevima (znak za stupnjeve), od 0° do 360°. Brzina struje se izražava u jedinicama brzine: m/s i nautička milja na sat (NM/h), odnosno čvor – knot (kt). Međusobne veze između brzina su:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kt} &= 1 \text{ NM/h} & 1 \text{ NM} &= 1852 \text{ m} \\ 1 \text{ kt} &= 0.514 \text{ m/s} & 1 \text{ m/s} &= 1.944 \text{ kt} \end{aligned}$$

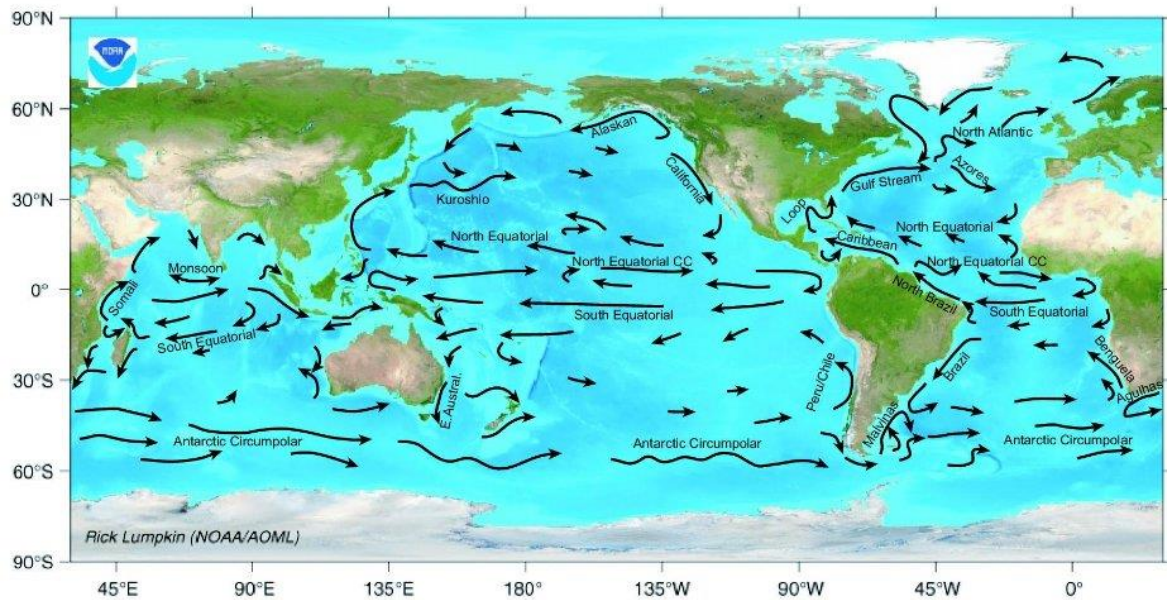
Smjer i brzina morske struje određuje se posredno mjerenjem temperature i slanosti morske vode te visine morske razine, odnosno izravnim mjerenjem kao npr. praćenjem plutajućih boca ( radioplutače, drifter), strujomjerom, uključujući praćenjem satelita. [1]

Osnovni elementi morskih struja su: smjer koji se određuje pravcem kamo struja teče, brzina koja se najčešće izražava u čvorovima ili nautičkim miljama na dan te stalnost koja obuhvaća promjenu smjera i brzine koja se izražava u postotcima. Stalnost morske struje može se podijeliti na sljedeće: stalne morske struje, periodičke morske struje i povremene struje. [2]

Morske struje mogu nastati kao posljedica meteoroloških ili nekih drugih prirodnih sila procesa na više načina. Struje u površinskom sloju nastaju pod utjecajem vanjskih sila:



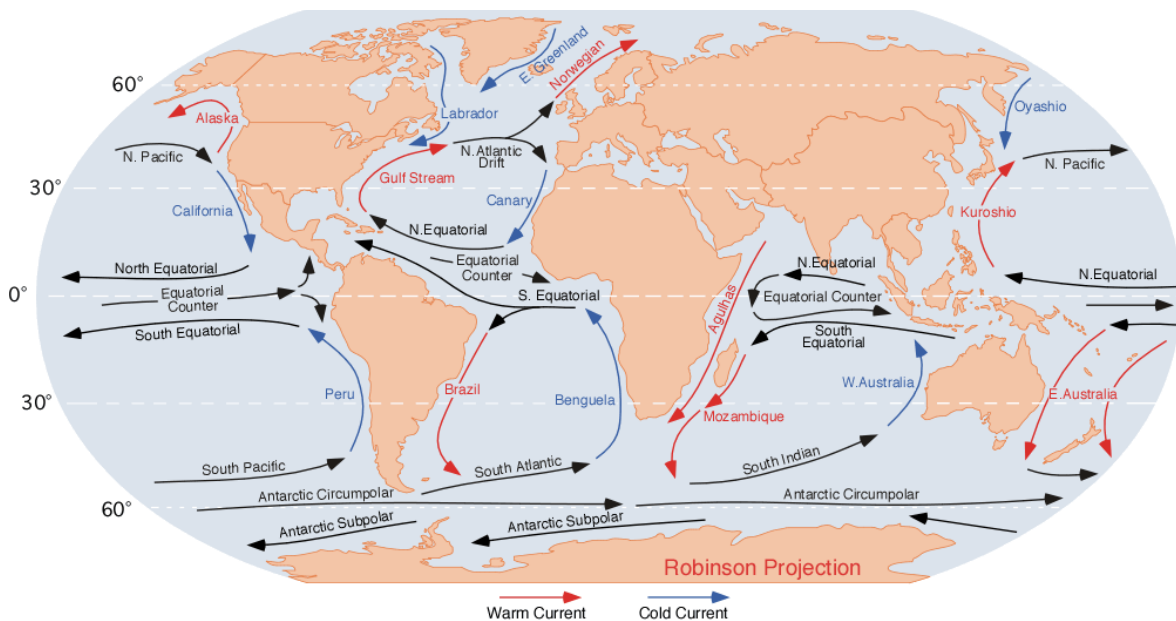
djelovanjem vjetra, zatim Mjeseca i Sunca (plimotvorna sila). No postoje i drugi uzročnici struja kao što su: horizontalne promjene temperature i slanosti morske vode (gustoća), promjena atmosferskog tlaka, isparavanje i oborine, smrzavanje vode i topljenje leda te drugo. Na slici 1 prikazane su glavne morske struje u svjetskim oceanima. [3]



**Slika 1. Glavne morske struje u svjetskim oceanima [3]**

## 2.1. PODJELA MORSKIH STRUJA S OBZIROM NA TEMPERATURU

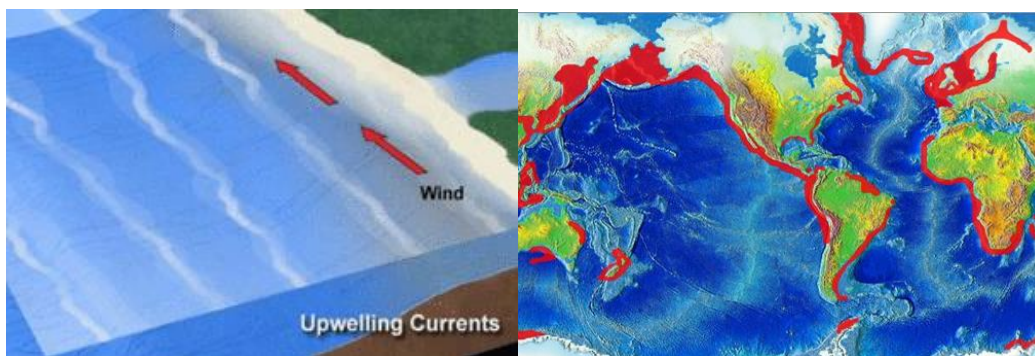
Morske struje s obzirom na temperaturu se dijele na tople i hladne. Gleda se odnos prema tome kakva je temperatura struje u odnosu na okolno more. Kod toplih morskih struja temperatura i slanoća viša su od temperature i slanoće od mora u kojem se nalazi dok je kod hladnih morskih struja obrnuto. Tople morske struje održavaju se povoljno s obzirom na okoliš zato što donose obilnije padaline koje pospješuju ciklonalnu aktivnost te povisuju temperaturu u zimskim razdobljima. Najpoznatije su npr. Golfska, Sjevernoatlantska, Norveška, Japanska, Brazilska, Kuroshio (slika 2). Hladne morske struje pogoduju nastanku anticiklonalnih sustava koji donose stabilno i suho vrijeme. Ove struje isto tako uvjetuju velika bogatstva života u moru što uvelike donosi prisustvo ribolovnih akcija. Hladne morske struje su npr. Peruanska, Labradorska, Humboldtova, Benguelska i tako dalje (slika 2). Na nekim mjestima hladne i tople morske struje mogu se međusobno dodirivati što može uzrokovati advekcijske magle. Jedno od takvih mjesta je New Foundland. [1]



Slika 2. Prikaz glavnih oceanskih struja: tople (crvena boja) i hladne (plava boja) [21]

## 2.2. SILE UZROČNICE MORSKIH STRUJA

Gibanje morske vode se u fizičkoj oceanologiji najčešće promatra kao horizontalno i vertikalno strujanje. Horizontalno gibanje čestica morske vode nazivamo **morske struje**, a vertikalno gibanje se najčešće povezuje uz intenzivna uzdizanja/poniranja (upwelling/downwelling, slika 3).



**Slika 3. Shematski prikaz nastajanja struja upwellinga (lijevo) i područja intenzivnog upwellinga (crvena boja, desno) [24]**

Osim sila uzročnica na strujanje znatno utječu dimenzije, te topografske karakteristike obale i morskog dna određenog bazena.

Glavne sile uzročnice morskih struja su:

- Sila koja nastaje zbog horizontalnih razlika u gustoći mora- gradijentska struja;
- Plimotvorna sila koja uzrokuje struje morskih mijena;
- Sila potiska vjetra koja nastaje djelovanjem tangencijalne napetosti vjetra na površinu mora- struje drifta;
- Coriolisova sila (efekt). [4]

### 2.2.1. Gradijentske struje

Hidrostatski tlak,  $p$ , na bilo kojoj dubini ispod površine mora dobiva se jednadžbom:

$$p = g \times \rho \times z \quad (1)$$

gdje je  $g$  ubrzanje sile teže,  $\rho$  gustoća morske vode koja raste s dubinom, a  $z$  dubina ispod morske površine. Ova hidrostatska jednadžba je dobra aproksimacija za jednadžbu gibanja sila koje djeluju duž vertikale. Horizontalne razlike u gustoći (zbog promjene temperature i

slanosti) izmjerene duž određene dubine uzrokuju promjenu hidrostatskog tlaka duž vodoravne ravnine ili geopotencijalne površine, površine okomite na smjer gravitacijskog ubrzanja. Horizontalni gradijenti tlaka, iako mnogo manji od vertikalnih promjena tlaka, stvaraju horizontalne oceanske struje. [18]

### **2.2.2. Struje morskih mijena**

Plimna sila ili plimotvorna sila je sila koju uzrokuju Sunce i Mjesec gravitacijskim privlačenjem vodenih masa, te centrifugalnom silom koja se javlja uslijed okretanja Zemlje i Mjeseca odnosno Zemlje i Sunca oko zajedničkog centra masa. Naime, na gibanje vodenih masa djeluje gravitacijsko privlačenje Sunca i Mjeseca, koje je promjenjivo i ovisi o njihovim položajima u odnosu na Zemlju, te centrifugalna sila koja nastaje zbog okretanja (revolucije) Zemlje oko Sunca. Prema tome, plimna sila je promjenjivog svojstva u prostoru i vremenu, te prevladavajuće djeluje na vodoravno gibanje vodenih masa tako uzrokujući kolebanje razine mora i morskih struja. [19]

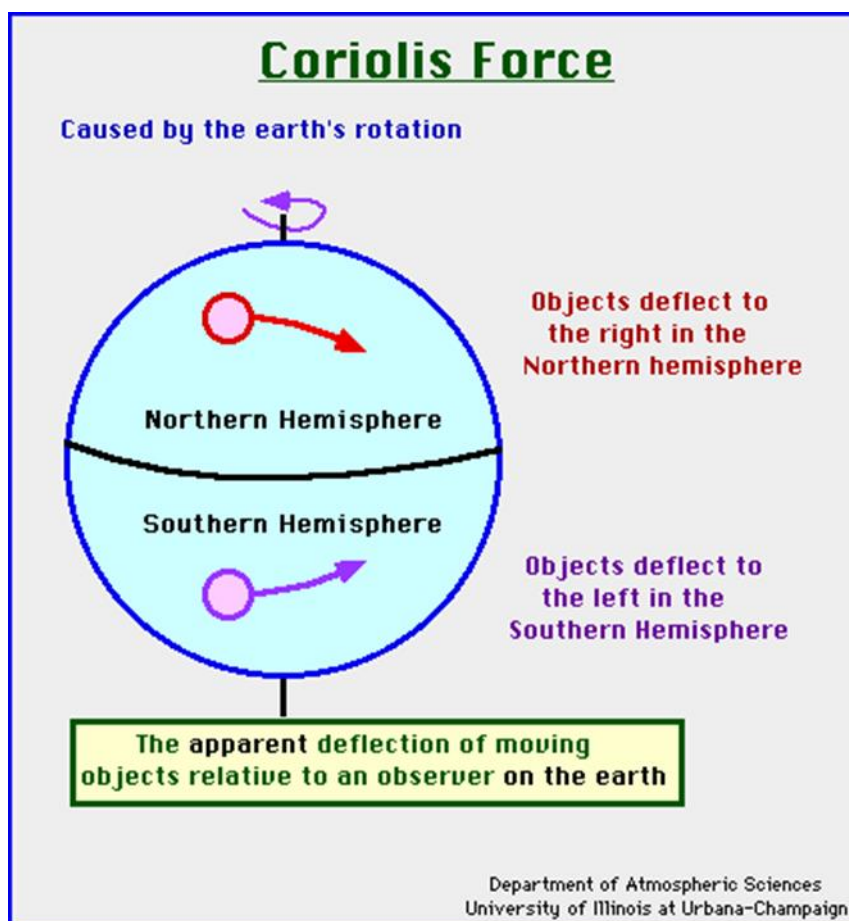
### **2.2.3. Struje drifta**

Površinske oceanske struje pokreću promjene vjetra velikih razmjera, a Coriolisov učinak igra glavnu ulogu u njihovom razvoju. Kao takav primjer su stalni vjetrovi odnosno pasati koji pušu u ekvatorijalnom području Zemlje (između 30° S i 30° J geografske širine) u smjeru istok-zapad. Pasati pušu pretežno sa sjeveroistoka na sjevernoj hemisferi i s jugoistoka na južnoj hemisferi te su najjači u zimskom periodu. [20]

### **2.2.4. Coriolisova sila**

Coriolisov učinak ili Coriolisova sila je inercijska sila koja je dobila ime po francuskom fizičaru Gaspard Gustave Coriolisu. Ona djeluje na sve čestice u rotirajućim sustavima kad se gibaju pod nekim kutom u odnosu na rotacijsku os; okomita je na brzinu i rotacijsku os. Ovisi o masi ( $m$ ) i o obodnoj brzini ( $v$ ) čestice unutar sustava i kutnoj brzini sustava ( $\omega$ ). [5]

Najteža je od četiri sile koju je bilo razumjeti iz razloga što na neki način i nije sila. Tamo gdje nema brzine nema ni Coriolisove sile. Coriolisova sila uvijek djeluje pod pravim kutom prema smjeru gibanja. Na sjevernoj hemisferi djeluje udesno (za promatrača koji gleda u smjeru kretanja); na južnoj hemisferi, sila djeluje u lijevo (slika 4).



Slika 4. Prikaz djelovanja Coriolisove sile na sjevernoj i južnoj polutki [22]

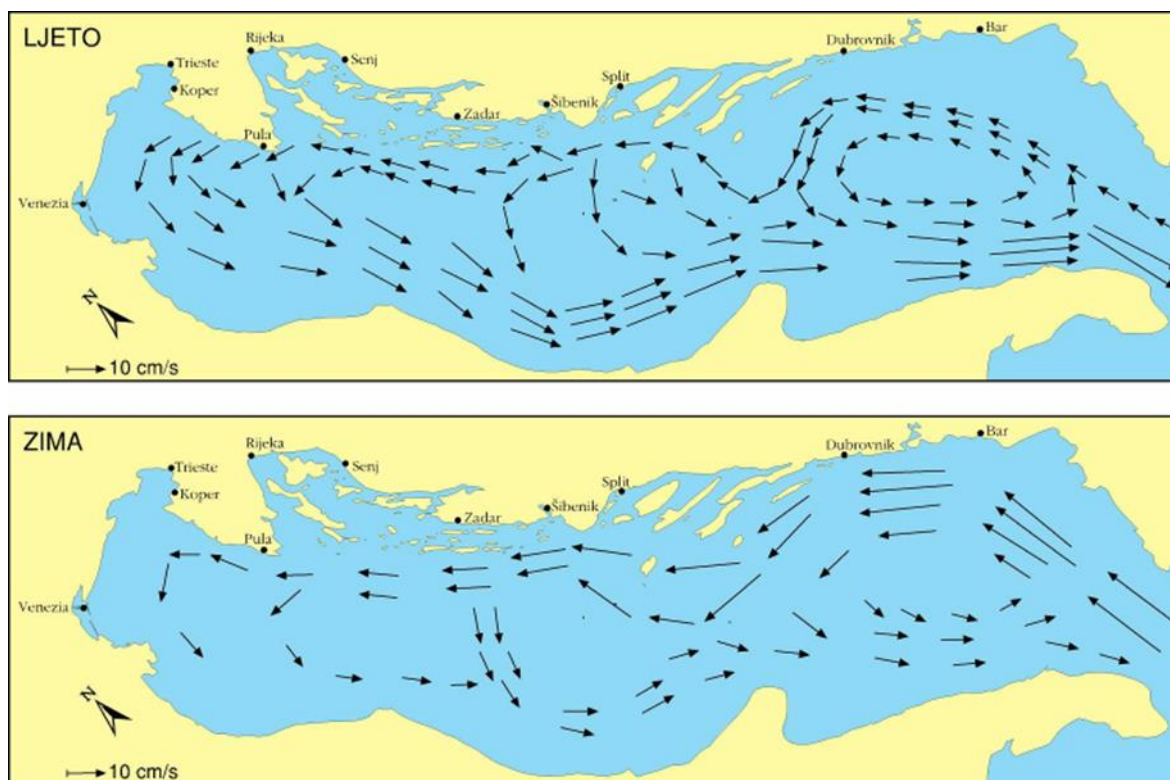
Najjače djelovanje sile je na polovima dok na ekvatoru ne postoji. Zaključeno je da ova sila ima značajnu ulogu kod nastanka morskih struja, zato što uzrokuje takozvana kružna gibanja morskih struja. [6]

### 2.3. SILE UZROČNICE MORSKIH STRUJA U JADRANU

Da bi se što bolje razumjele karakteristike polja strujanja u Jadranskom moru, potrebno je poznavati osnovne sile uzročnice morskih struja: sila koja nastaje zbog horizontalnih razlika u gustoći mora uzrokuje gradijentske struje, plimotvorna sila uzrokuje struje morskih mijena te sila potiska vjetra koja nastaje djelovanjem tangencijalne napetosti vjetra na površnu mora uzrokuje struje drifta. Osim ovih sila uzročnica bitan utjecaj na morske struje ima i dimenzija i topografske karakteristike obale i morskog dna određenog bazena. [7]

#### 2.3.1. Gradijentske struje

Gradijentske struje su glavni uzrok osnovnog ciklonalnog toka morskih struja te je pri tome ulazna struja zimi više izražena uz istočnu, a izlazna struja ljeti uz zapadnu obalu Jadrana (slika 5).



**Slika 5. Površinske morske struje ljeti i zimi (prema Zore-Armanda, 1967) [7]**

Takav sezonski ritam je uglavnom pod utjecajem gradijentskih struja, ali i sezonskih promjena vjetra jer ljeti prevladava NW vjetra tj. maestral koji pojačava izlazni

tok morske vode u površinskom sloju. Zimi je prisutan SE vjetra (jugo) koji pojačava ulazni tok morske vode. U jesen i proljeće horizontalni gradijenti su iznimno smanjeni te su gradijentske struje isto tako manje izražene. To omogućava prevladavanje transversalnog strujanja između istočne i zapadne obale. Srednje brzine gradijentskih struja su od 0.2 do 0.5 čv, osim u Otrantskim vratima, gdje iznose oko 0.8 čv. Maksimalne brzine mogu doseći brzine i do 1.5 čv dok transversalne struje dostižu brzinu do 0.8 čv. [7]

### **2.3.2. Struje morskih mijena**

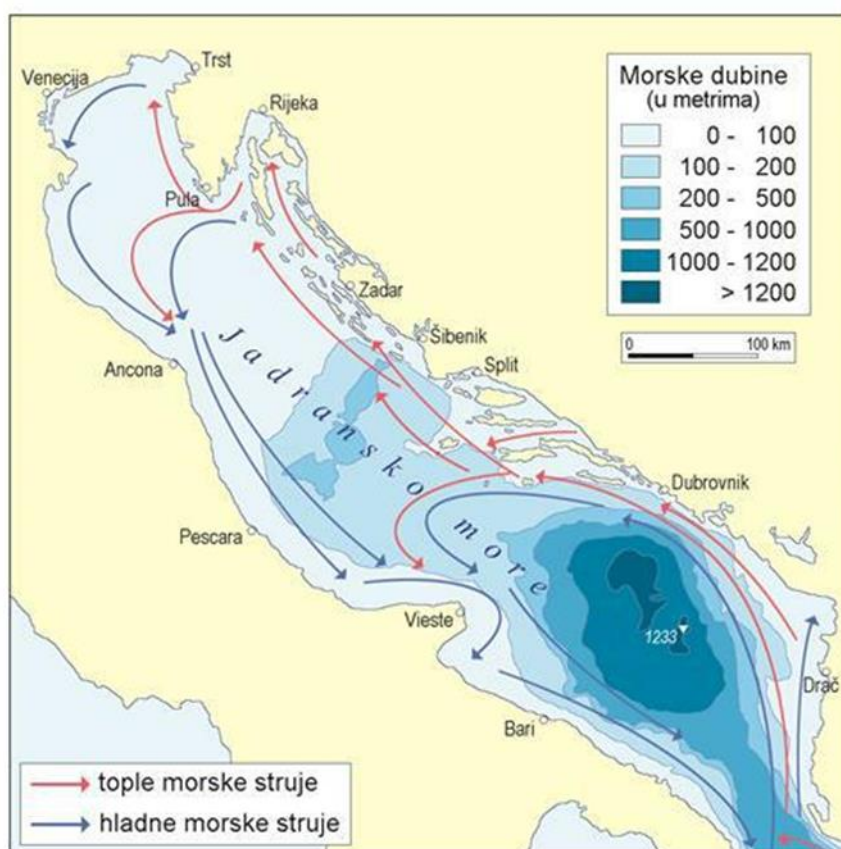
Ove struje su jače izražene u priobalnom području, kanalima i prolazima uz istočnu obalu Jadrana. Struje morskih mijena su malih brzina, najčešće od 0.1 čvora do 0.2 čvora dok je na sjevernom Jadranu i 0.3čv. plimne su struje pretežito rotirajuće za što znači da u jednom ciklusu plime i oseke smjer se promjeni za 360 stupnjeva. U kanalima i prolazima struje plime i oseke su pretežno u suprotnim smjerovima, u N i S smjeru. [7]

### **2.3.3. Struje drifta**

Zbog vjetrova koji u Jadranu koji nisu stalni teško je odrediti određeni trajni sustav cirkulacije u moru. Struje drifta su najizraženije u strujnom polju kad se nad Jadranskim morem javljaju sinoptički atmosferski poremećaji kao ciklona i anticiklona koji uzrokuju dugotrajne olujne vjetrove: bura jugo i maestral. Brzine morskih struja uzrokovanim vjetrom mogu bit i do 1.5čv. [7]

## 2.4. GLAVNE ZNAČAJKE MORSKIH STRUJA U JADRANSKOM MORU

Premda se čini da more, osim djelovanja valova, miruje, u Jadranu postoji stalno strujanje vodene mase. Sredozemno more ulazi u Jadran kroz Otrantska vrata i kreće se istočnom obalom da bi struja prešla na zapadnu obalu i potom izišla nazad u Sredozemlje. Kreću se u obrnutom smjeru od kretanja kazaljke sata, a glavni razlog tomu je Zemljina rotacija. Zato topla struja prolazi uz sjeveroistočnu (hrvatsku) obalu, a izlazi uz jugozapadnu, (talijansku) obalu (slika 6).



**Slika 6. Kretanje toplih i hladnih morskih struja u Jadranskom moru [16]**

Budući da je Sredozemlje relativno zatvoreno more, morske struje u svim njegovim dijelovima, pa tako i u Jadranu, razmjerno su slabe. Brzina struja se mijenja u pojedinim područjima i vremenskim razdobljima. Srednja brzina iznosi oko 0.5 čv dok u priobalnom području a naročito u uskim prolazima može dostići i do 4 čv. Smjer morskih struja je kao i brzina promjenjiva i do 180 stupnjeva u priobalnom i međuotočnom području. [7]



### 3. METODE MJERENJA MORSKIH STRUJA

Morske struje imaju uvelike utjecaj u svijetu pomorstva. Premda nisu toliko opasna pojava na moru itekako je bitno poznavati njen smjer, a isto tako i brzinu. Još od davnina je bilo od velikog značaja znati sve o strujama kako bi pomorci olako znali upravljati i manevrirati brodom bilo to u lukama ili na plovidbenim rutama. Povijesno, pomorci su oduvijek brinuli kako oceanske struje utječu na njihove brodske tokove, kao i promjena temperature oceana i stanja površine. Mnogi raniji pomorci, poput Cooka i Vancouvera vršili su vrijedna znanstvena zapažanja tijekom svojih putovanja u kasnim 1700-im. [6]

Jednom od najranijih metoda određivanja površinskih struja koristili su se pomorci za vrijeme plovidbe morima i oceanima. Procjena kvazistacionarnog strujanja dobivala se određivanjem razlike između položaja broda procijenjenog temeljem njegova gibanja te stvarne pozicije broda određene astronomskim ili nekim drugim metodama. Dobivene podatke prikazani su u obliku vektora struja, a prvo sustavno publiciranje počeli su J. Rennel 1832. godine i M.F. Maury 1849. godine. Osim toga, za brzo određivanje brzine struje pomorci su koristili objekte na taj način da bi mjerili vrijeme potrebno da objekt prevali put koji je jednak duljini broda. [6]

Kao metodu pomorci su koristili i poruke u boci ili u plastičnoj ovojnici, kojima se moli nalaznika da javi mjesto i vrijeme pronalaska poruke. Na osnovi tog podatka, kao i podatka o mjestu i vremenu bacanja boce odnosno plastične ovojnice, može se približno odrediti brzina i smjera površinske struje. Očigledno je da se tom metodom podcjenjuje brzina, ne samo zato što je procijenjena udaljenost u pravilu manja od stvarne udaljenosti nego i stoga što je procijenjeno vrijeme putovanja najčešće veće od stvarnog vremena putovanja. U novije vrijeme su se ponekad i koristile boje bačene u more za određivanje ne samo brzine i smjer struje nego i za prikupljanje informacija o miješanju o moru. Pri tome su se rabile boje koje su ekološki prihvatljive, ali je takva metoda zahtijevala stalnu prisutnost istraživačkog broda što ju je činilo složenom i skupom. [9]

Franklin je na svojim čestim putovanjima između SAD-a i Europe primijetio da su neka putovanja znatno brža od drugih. Zaključio je da je to zbog snažne oceanske struje koja teče od zapada prema istoku (slika 7).



**Slika 7. Gofska struja: Franklin-Folger karta [8]**

Opažao je značajne promjene površinskih uvjeta i zaključio da bi ova oceanska struja mogla biti obilježena promjenom temperature morske površine. Franklin je tijekom svojih putovanja počeo mjeriti temperaturu površine oceana pomoću jednostavne žive u starom termometru te uspio odrediti položaj struje. [8]

Oceanske struje su uzrokovane vjetrom ili gustoćom. Pomične zračne mase posebno glavni pojasevi vjetra (pasati) pokreću morske struje uzrokovane vjetrom. Te struje koje su pokrenute vjetrom kreću se vodoravno i javljaju se uglavnom u površinskim vodama pa se nazivaju površinske struje. Cirkulacija uzrokovana gustoćom, s druge strane, pomiče vodu vertikalno što je razlog temeljitog miješanja dubokih masa oceanske vode. Neke površinske vode postaju velike gustoće zbog niskih temperatura kao i visoke slanosti te zbog toga potonu ispod površine. Ta gusta voda lagano tone i polako se širi ispod površine pa se ove struje nazivaju dubokim strujama. Stoga se struje mogu određivati na dva načina kao što su: direktna metoda kojom se mjeri brzina i smjer struje te indirektnom metodom gdje se mjeri razlika u temperaturi i salinitetu morske vode uzduž pravca u dvije točke mora. Indirektna metoda se više upotrebljava za mjerenje smjera struje. [10]

### 3.1. DIREKTNA METODA

Direktnom metodom mjerimo brzinu i smjer morske struje. Dvije najpoznatije metode kod direktnog mjerenja su: Lagrangeova metoda i metoda po Euleru. Lagrangeova metoda dobila je ime po talijanskom matematičaru i astronomu Josephu Louisu Lagrangeu koji je razvio jedan od teorijskih pristupa istraživanja fluida, a riječ je o praćenju čestica fluida u prostoru i vremenu i određivanju putanja odnosno trajektorija. Metoda po Euleru je dobila ime prema švicarskom matematičaru, fizičaru i inženjeru Leonhardu Euleru. Kao i Lagrange razvio je svoj vlastiti teorijski pristup istraživanja fluida koji se oslanja na određivanje brzine i smjera struje na pojedinim lokacijama unutar fluida, što predstavlja osnovu za iscrtavanje strujnica. [9]

#### 3.1.1. Metoda po Langrangeu

Lagrangianske metode su dobile na važnosti nakon što se počelo s razvojem instrumenata čiji se položaji mogu kontinuirano pratiti kroz dulja vremenska razdoblja. Jedan od takvih instrumenata je radio plutača koja emitira signale što se registriraju obalnim prijemnicima. Korisnim se pokazao i neutralno plutajući plovak koji se slijedi pomoću akustičkih prijemnika postavljenih na istraživački brod; tim je izumom J.C.Swallow (1955) silno unaprijedio istraživanje dubinskih struja. [9]

Međutim, danas su najviše zastupljeni tzv. drifteri (slika 8), kako površinski (koji se prate sa satelita) tako i dubinski (koji periodički izlaze na površinu radi komunikacije sa satelitom). Ovom metodom se prate čestice morske vode u prostoru i vremenu.

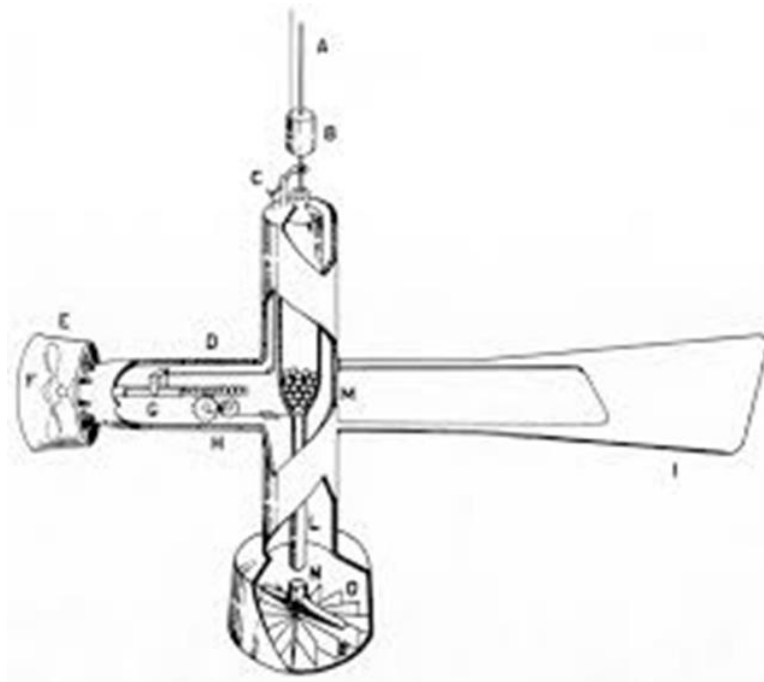


Slika 8. Langrangeova metoda – satelitski praćeni drifter [11]

Drifter su plovci nošeni morskim strujama kojemu se položaj određuje u pravilnim vremenskim razmacima radi istraživanja strujnog polja. Razvoj driftera počeo je nakon što je satelitska tehnologija omogućila redovito određivanje položaja zemlje. Osobito se važnim pokazao Global Positioning System (GPS), koji osigurava visoku preciznost određivanja položaja i to s izvrsnom vremenskom rezolucijom. Drifteri su tijekom proteklih tridesetak godina omogućili stjecanje brojnih novih spoznaja o strujama u morima i oceanima. U određenom vremenskom intervalu drifter određuje svoj položaj pomoću nekog satelitskog navigacijskog sustava (npr. GPS-a), te odašilje signal prema satelitu, označavajući svoju geografsku duljinu i širinu u određenom trenutku. Spajanjem slijeda podataka dobiva se putanja (trajektorija) driftera u moru. [11]

### 3.1.2. Eulerova metoda

Eulerovom metodom određuje se fiksa točka u prostoru te se mjeri smjer i brzina vode koja prolazi kroz tu točku. Smjer i brzina struje se mjere strujomjerom, pri čemu se instrument sidri na određenoj poziciji (autonomni strujomjer) ili se postavlja na brod (brodski strujomjer). Jedan od pionirskih strujomjera konstruirao je V.W. Ekman (slika 9), a sastajao se od rotora koji je pomoću brojčanika mjerio brzinu te krila i kompasa koji su određivali smjer struje.



Slika 9. Strujomjer tipa Ekman [4]

Ovaj tip strujomjera radi na principu sličnom vjetrokazu. Strujomjer se blokiran spušta s broda u more. Na određenoj se dubini aktivira pomoću utega koji se spušta niz žicu na koju je ovješena instrument. Propeler se okreće, što se registrira na brojčaniku. Kako se propeler okreće, iz spremišta se ispuštaju male brončane kuglice koje padaju na magnetsku iglu. Kuglice se potom kotrljaju po jarku magnetske igle i ulaze u odjeljke koji su smješteni pri dnu instrumenta i čiji položaj ovisi o tome kako je krilo postavilo instrument u smjeru struje. Iz raspodjele kuglice po odjeljcima određuje se smjer struje. [9]

Noviji klasični strujomjeri rabe isti princip mjerenja, no podaci se pohranjuju na magnetske trake ili memorijske jedinice. Drugačiji princip mjerenja struja imaju tzv. Dopplerovi strujomjeri – ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler; slika 10) – koji odašiljaju zvučne valove te mjere pomak u frekvenciji vala reflektiranog od gibajućih čestica morske vode.



**Slika 10. ADCP strujomjer – “Sea Spider” s ugrađenim ADCP strujomjerom [11]**

Koristeći više valnih zraka u različitim smjerovima, moguće je odrediti brzinu i smjer struja u više desetaka slojeva u moru, zavisno o frekvenciji odašiljanog signala.

Klasični strujomjeri i ADCP-ovi mogu autonomno mjeriti morske struje od 1 do 6 mjeseci, te se nakon toga vade iz mora, očitavaju zapisi te obrađuju izmjereni podaci. Strujno polje je također moguće dobiti i iz satelitskih mjerenja razine mora, primjenjujući geostrofičku aproksimaciju koja vrijedi za većinu procesa u otvorenim oceanima. [11]

### **3.2. INDIREKTNE METODE**

Indirektna metoda ne određuje smjer i brzinu morske struje već se ona upotrebljava pri mjerenju gustoće morske vode. Ovu metodu možemo podijeliti na: metode jezgre, klasične metode dinamičkog računa pomoću proračuna geostrofičkih struja te elektromagnetska metoda.

Metoda jezgre je metoda koja se oslanja na kvalitativnoj analizi podataka o salinitetu i temperaturi. Na primjer, ako se promatra neki obalni bazen koji je povezan vratima A i B s otvorenim morem, ako u taj bazen utječe relativno hladna riječna voda, te ako je pronađeno da je voda u vratima B nižeg saliniteta i manje temperature nego u vratima A, može se zaključiti da je strujanje usmjereno od A do B - tj. da je strujanje ciklonalne orijentacije.

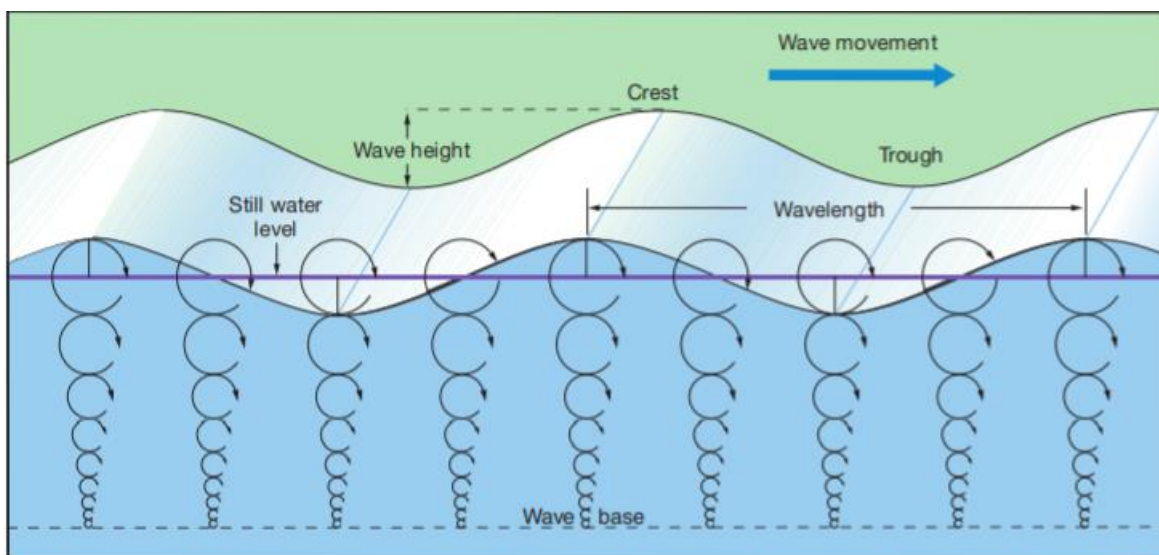
Klasična metoda dinamičkog računa (proračun geostrofičkih struja) je metoda u kojem se strujanje određuje na temelju raspodjele gustoće u moru. Raspodjela gustoće ovisna je o strujama i prema tome, iz raspodjele gustoće mogu se odrediti struje.

Elektromagnetska metoda (geomagnetski elektrokinetograf). Za mjerenja su potrebni: milivoltmetar i dvije elektrode koje se spuste u more. Moguća su i mjerenja s broda: brod za sobom vuče dvije elektrode (geomagnetski elektrokinetograf). [12]

#### 4. OPĆENITO O VALOVIMA UZROKOVANIM VJETROM

Valovi su horizontalno gibanje odnosno prenošenje energije koju je zrak predao moru. Međutim u fizičkoj oceanografiji pod pojmom ‘valovi’ najčešće se misli o vertikalnim gibanjima morske površine. Kao i kod struja postoje sile uzročnice koje dovode do nastanka valova. Prema silama koje uzrokuju kolebanja odnosno oscilacije morske razine, tj. valova mogu se podijeliti na slobodne i prisilne. Slobodni valovi nastaju djelovanjem jednog impulsa. Takvi valovi nastaju npr. lomom te potom padom ledenih gromada u more. Toj skupini pripadaju i valovi mrtvog mora te seši, čiji period ovisi o dimenzijama bazena uznemirene vode. Prisilni valovi nastaju djelovanjem stalnih vanjskih sila – to su npr. vjetrovni valovi i morske mijene. [1]

Elementi vala su: duljina ( $L$ ), horizontalna udaljenost od brijega do brijega vala; visina ( $H$ ), vertikalna udaljenost od dola do brijega vala; amplituda ( $A$ ), pola visine, udaljenost od srednje visine čestice mora do vrha brijega ili do dna dola; period ( $T$ ), vremenski razmak od pojave brijega vala do pojave sljedećeg brijega na istom mjestu (slika 11). [13]



**Slika 11. Elementi morskog vala [10]**

Valovi najčešće nastaju djelovanjem vjetra na vodenu površinu te se nazivaju vjetrovni valovi ili valovi živog mora. Kako se najbolje uočavaju na vodenoj površini zovu se i površinski valovi, odnosno zbog izravna djelovanja vjetra to su i prisilni valovi. Kakva će biti svojstva valova ovisi o vjetru odnosno kojom brzinom puše, kolika mu je stalnost

brzine i smjera, koliko dugo puše te o privjetrištu. U vjetrovne valove ubrajaju se i kapilarni valove (za vrlo male brzine) ili težinski, a očituju se kao kratkoperiodička kolebanja ( $< 1 \text{ min}$ ) morske razine, no najčešće im je period između 2 i 9 s. Valovi će biti jači odnosno viši što je brzina vjetra veća (uz što manje promjene brzine i smjera vjetra) i ako puše dovoljno dugo iznad velike vodene površine bez nekih prepreka, otoka. Razgon ili privjetrište je prostor nad kojim vjetar puše. Ovisnost visine vala o razgonu prikazana je u tablici 1. Male valove vjetar stvara za nekoliko minuta, dok za najveće valove treba razgon od preko 2000 km, uz višednevni vjetar brzine oko 100 km/h. [1]

**Tablica 1. Ovisnost visine vala o razgonu, za vjetar 60 km/h [1]**

Razgon (km)	5	10	20	50	100	500
Visina vala (m)	0.9	1.4	2.0	3.1	4.2	6.2

Vrlo maleni valovi teže sinusoidi. No vjetrovni valovi nemaju oblik sinusoide već trohoide. Trohoida ima strm i uzak brijeg te plitku i široku dolinu. Što je val razvijeniji, a ujedno i sporiji od vjetra, to je gornji dio vala oštrije i lagano nagnut u smjeru vjetra. Vjetar gura val otraga i vuče ga sprijeda te potiskuje dolje, jer je u zavjetrini vala vrtloženje zraka. Pri vjetrovnom valu ipak dolazi do manjeg vodoravnog gibanja vode (vjetar djeluje jače na čestice vode u brijegu nego u dolu, te uzrokuje gibanje vode).

Općenito je brzina vjetra veća od brzine valova, osim kad vjetar prestaje. Brzina vjetra je razmjerna veličini vala (dubina mora  $> 200\text{m}$ ) uz približnu vezu:

$$Hv = \frac{V}{3} \quad (2)$$

Gdje je  $H_v$  visina vala (m),  $V$  brzina vjetra (m/s). [1]

#### 4.1. VALOVI DUBOKOG MORA

Ako je dubina vode ( $d$ ) veća od baze vala ( $L/2$ ), tada se valovi nazivaju valovi dubokog mora. Ovi valovi nemaju nikakvih miješanja sa oceanskim ili morskim dnom, već uključuju sve valove uzrokovane vjetrom u otvorenom oceanu, gdje dubine daleko prelaze bazu vala. Valna brzina ( $S$ ) je brzina kojom val putuje. Brojčano, to je pređena udaljenost podijeljena s vremenom putovanja, a za val se može izračunati kao:



$$\text{brzina}(S) = \frac{\text{valna duljina}(L)}{\text{period}(T)} \quad (3)$$

Valna brzina ispravnije je poznata kao ‘celerity’ (C) što je različito od tradicionalnog koncepta brzine. Celerity se koristi samo u odnosu na valove gdje ni jedna masa nije u pokretu, već samo valni oblik. Brzina valova dubokih voda ovisi o valnoj duljini L. Stoga, jednadžba za brzinu vala dubokih voda varira samo s valnom duljinom i postaje:

$$S \text{ (m/s)} = 1.25 \sqrt{L} \quad (4)$$

$$S \text{ (f/s)} = 2.26 \sqrt{L} \quad (5)$$

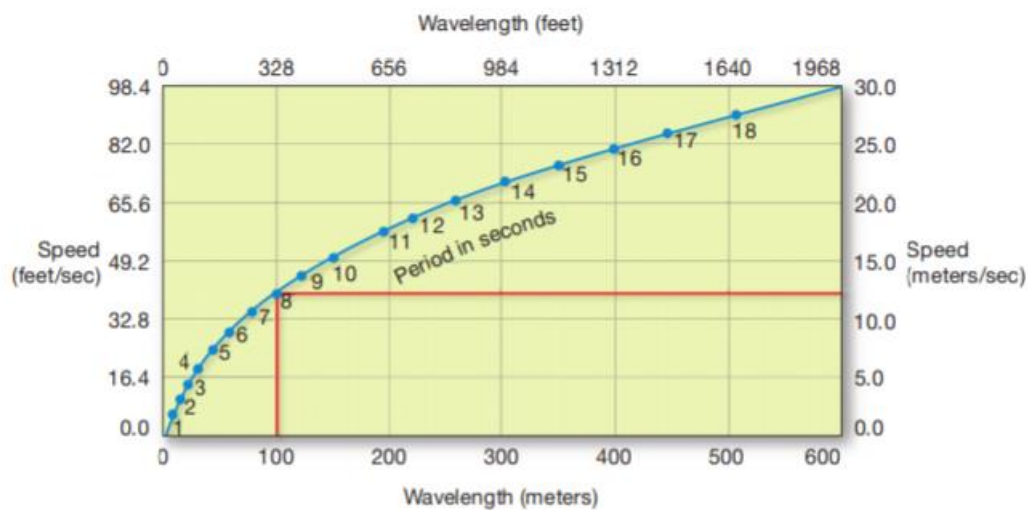
Isto tako možemo odrediti brzinu vala znajući samo period (T), jer je valna brzina (S) definirana u jednadžbi gore ako L/T stoga formula glasi:

$$S = 1.56 \times T \text{ (metar/sekunda)} \quad (6)$$

$$S = 5.12 \times T \text{ (stopa/sekunda)} \quad (7)$$

Iz grafa prikazanog na slici 12 možemo vidjeti povezanost triju vrijednosti: valne duljine, perioda i brzine valova dubokih mora. Od te tri varijable, valni period je obično najlakše izmjeriti. Budući da su sve tri varijable povezane, ostale dvije mogu se odrediti pomoću slike odnosno grafa. Okomita crvena linija na grafu pokazuje da val s vremenom od 8 sekundi ima valnu duljinu od 100m.

$$S = \frac{L}{T} = \frac{100 \text{ metara}}{8 \text{ sekundi}} = 12.5 \text{ metara po sekundi} \quad (8)$$

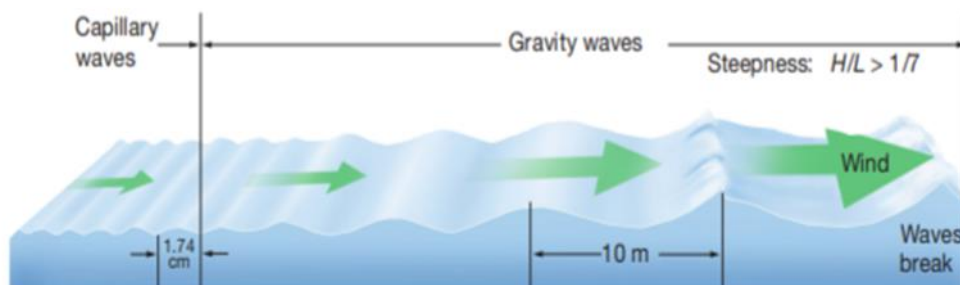


**Slika 12. Odnos valne duljine, perioda i brzine vala [10]**

Iz gore navedenih formula i prikazanog grafa da valove dubokog mora može se zaključiti da što je veća valna duljina, to val brže putuje. Brzi val ne mora nužno imati i veliku visinu, iz razloga što brzina vala ovisi samo o valnoj duljini. [10]

#### 4.1.1. Nastanak valova dubokog mora

Većina oceanskih valova je generirana vjetrom pa se stoga i nazivaju valovi uzrokovani vjetrom. Životna povijest valova uzrokovanih vjetrom uključuje njihovo podrijetlo u vjetrovitoj regiji oceana, njihovo kretanje po velikim prostranstvima otvorenih mora bez dodatne pomoći vjetra, te njihov prestanak kada se razbiju i oslobode energiju, bilo na otvorenom oceanu ili na obali. Kako vjetar puše iznad površine oceana dolazi do nastanka pritiska i stresa. Ti čimbenici deformiraju oceansku površinu u male zaobljene valove s koritima u obliku slova V i valnim duljinama manjim od 1.74 cm. Oceanografi ove valove nazivaju kapilarnim valovima (slika 13). Kako se kapilarni valovi povećavaju i rastu, površina mora poprima sve grublji izgled. Zatim more hvata sve više vjetra te se sve više energije prenosi u ocean ili more. Razvijaju se gravitacijski valovi koji imaju valnu duljinu veću od 1,74 cm.



**Slika 13. Nastanak kapilarnih i gravitacijskih valova uzrokom vjetra [10]**

Duljina gravitacijskih valova općenito je 15 do 35 puta veća od njihove visine. Kako se dobiva dodatna energija, visina vala raste brže od valne duljine. Energija koju daje vjetar povećava visinu, duljinu i brzinu vala. Kada valna brzina bude jednaka brzini vjetra tada se ni visina vala niti valna duljina ne mogu promijeniti jer nema više razmjene neto energije i tada je val dostigao svoju maksimalnu veličinu. [10]

## 4.2. ZNAČAJKE VALOVA NA JADRANU

Jadransko more je malo, poluzatvoreno more, karakteristično po intenzivnoj ciklonalnoj aktivnosti, a poglavito u zimskom periodu, iznad kojeg pušu vjetrovi različitih smjerova i intenziteta. Najfrekventnije površinske valove na Jadranu uzrokuje bura i jugo u zimskom periodu, te maestral u ljetnom. Značajke površinskih valova uzrokovanih vjetrom općenito zavise od smjera, brzine i trajanja prevladavajućih vjetrova, veličine područja nad kojim ti vjetrovi pušu i topografije morskog dna, što na području Jadranskog mora uzrokuje znatno veće visine valova juga nego bure pri istoj brzini i trajanju vjetra.

Apsolutni maksimum visine vala na području otvorenog mora sjevernog Jadrana zabilježen je za vrijeme dugotrajnog juga i iznosi  $H_{\max} = 10.8$  m. Za situacije s burom maksimalna registrirana visina vala je u sjevernom Jadranu  $H_{\max} = 7.2$  m. Visina maksimalnog izmjerenog vala u području srednjeg Jadrana iznosi  $H_{\max} = 8.4$  m, a registrirana je za juga dok je maksimalni izmjeren vala na ovom području registriran za bure  $H_{\max} = 6.2$  m. Najveća visina vala u južnom Jadranu registrirana je za vrijeme juga i iznosi  $H_{\max} = 10.87$  m. Za buru u južnom Jadranu ne postoje pouzdani podaci visine vala zbog malog privjetrišta od pozicije sidrenja mjerne jedinice valografa do kopna, ali se procjenjuje da su parametri ekstremnog stanja mora za vrijeme bure slični u južnom i srednjem Jadranu. Najučestaliji periodi valova za ekstremne situacije s jugom su od 6 do 10 s, a u situacijama s burom interval pojave najučestalijih perioda varira između 4 i 8 s. Maksimalne valne duljine za vrijeme ekstremnih stanja juga su u sjevernom Jadranu oko 100 m, a u srednjem i južnom Jadranu oko 80 m. za buru je karakteristično da prilikom ekstremnih stanja generira valove valne duljine oko 50 m. Ostali modeli površinskih valova uzrokovanim vjetrom koji se pojavljuje na Jadranu znatno su manje učestali. Ipak treba napomenuti da se izrazito razvijeni valni modeli mogu pojaviti uz smjera W (pulenat), te iz smjera SW (lebićada). [7]

Bez obzira na smjer napredovanja pojedinih valnih modela, lako je uočiti da su najčešće visine od 0.5 do 1.5 m, što odgovara stanju mora 3 po Douglasovoj skali stanja mora. Uočljiva je također i znatna učestalost visina od 2 do 2.5 m, a visine od 3 m i više pojavljuju se za znatno manjom učestalošću, i to uglavnom u valnim modelima smjera NE i SE.

Srednji period razvijenog modela bure variraju u intervalu od 4.0 do 6.5 s, a za model juga od 5.0 do 8.5 s. [7]

Stanje more opisuje se Douglasovom skalom (tablica 2).

**Tablica 2. Douglasova skala stanja mora [13]**

Stanje mora	Opis	Visina valova (m)	Izgled mora
0	mirno ( <i>glatko, zrcalno, bonaca</i> )	0	more poput zrcala
1	mirno ( <i>naborano</i> )	0-0.1	mali valići ili bore s pojavama
2	malo valovito ( <i>valičasto</i> )	0.1-0.5	kratki ili mali valovi; uobličeni; bregovi izgledaju staklasto
3	umjereno valovito	0.5-1.25	veći valovi; mjestimice bjeline na valnim bregovima; more stvara isprekidano šuštanje
4	valovito	1.25-2.5	valovi s mnogo bjeline; mogućnost prskanja; šum mora slični muklom žamoru
5	jače valovito	2.5-4	valovi se propinju; neprekidne bjeline; pjena s vrhova prigodice se otpuhava kao morski div; valovi stvaraju neprekidno žamor
6	uzburkano	4-6	visoki valovi imaju velike bjeline s kojih se pjena otpuhuje u gustim prugama; more se počinje valjati, a njegov je šum poput mukle huke
7	teško	6-9	veliki valovi se propinju; imaju duge pjenušave bregove koji se neprekidno ruše i stvaraju hučanje; velike količine pjene otpuhnute s bregova daju morskoj površini bjelkast izgled i mogu utjecati na vidljivost; valovi se valjaju teško i udarno
8	vrlo teško	9-14	valovi visoki da manji i srednji brodovi u blizini povremeno nestaju iz vida; vjetar otkida vrhove svih valova; more je potpuno prekriveno gustim prugama pjene; zrak je toliko ispunjen pjenom i morskim dimom da ozbiljno ograničava vidljivost; valjanje valova stvara tutnjavu
9	izuzetno teško	>14	valovi se međusobno križaju iz raznih i nepredvidivih smjerova tvoreći složenu interferenciju koju je teško opisati; valovi se mogu prigodice djelomice rušiti

## 5. METODE MJERENJA MORSKIH VALOVA

Direktna mjerenja površinskih valova obavljaju se pomoću akcelerometra, valomjera tipa Datawell i Kelvin-Huges, obalnih radara, sintetičkih satelitskih radara i satelitskih visinomjera.

Karakteristične veličine koje definiraju svojstva površinskih valova uzrokovanih vjetrom jesu značajna visina vala, period, valna duljina i smjer širenja vala. Instrument kojim se obavlja mjerenje valnih karakteristika najčešće se naziva valomjer ili ondograf. Valomjer se sastoji od plutače na kojoj se nalazi odašiljač, s kojega se mjereni signal odašilja na prijemnik odnosno registrator. Plutača se sidri na mjestu gdje želimo mjeriti valne karakteristike, dok se prijemnik nalazi obično na kopnu. [16]

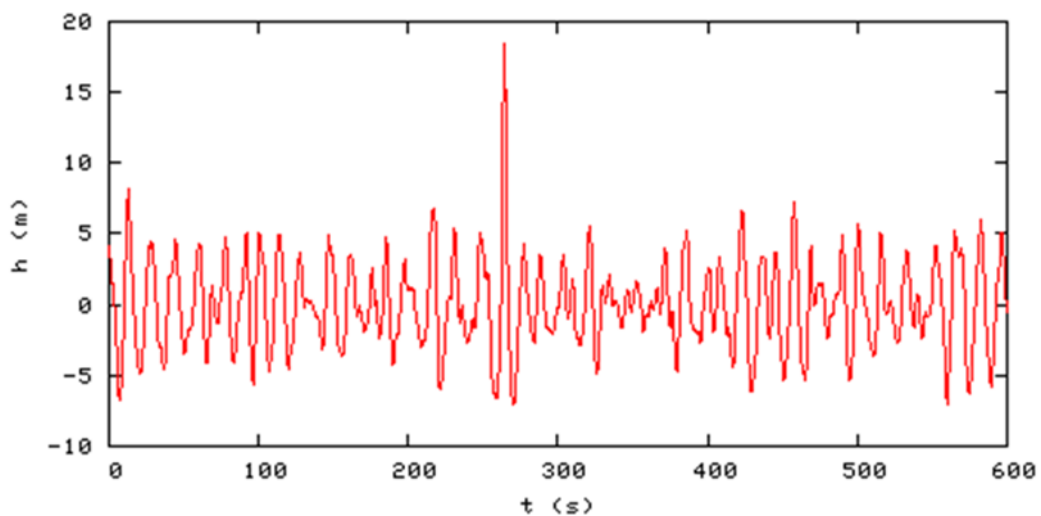
Valomjer tipa Kelvin-Huges se sastoji od podvodnog dijela (piezokristal postavljen u fokusu konkavnog reflektora), kabela i kopnenog dijela (pretvarača i registratora). Električni signal prenosi se kabelom od pretvarača do piezokristala. Piezokristal pretvara električni signal u ultrazvučni signal koji je usmjeren prema morskoj površini. Dolaskom do površine jedan se dio signala reflektira i vraća do piezokristala gdje se pretvara u električni signal. Signal putuje kabelom do pretvarača gdje se modulira. Tako moduliran i pojačan signal provodi se do registratora. Registrator pak bilježi vrijednosti iz kojih se može odrediti vremenski niz denivelacija. Mjerenja se vrše nekoliko puta u danu, u intervalima od nekoliko desetaka minuta, a vrijednosti denivelacije izražavaju se u odnosu na prosjek za pojedini interval mjerenja. Slaba točka ovog tipa valomjera je kabel, koji se često lomi u situacijama jakog vjetera i velikih valova upravo onda kada su mjerenja posebno važna. [9]

Valomjer tipa Datawell je stekao najveću popularnost. Riječ je o plutači koja je usidrena tako da neometano prati osciliranje morske površine (slika 14).



**Slika 14. Mjerna plutača s odašiljačem i prijemna stanica valomjera tvrtke DATAWELL [16]**

U plutači se nalazi akcelerometar, koji neprekidno mjeri ubrzanja. Ovaj valomjer bilježi kratkoperiodične oscilacije morske površine (slika 15), što se u novije vrijeme postiže

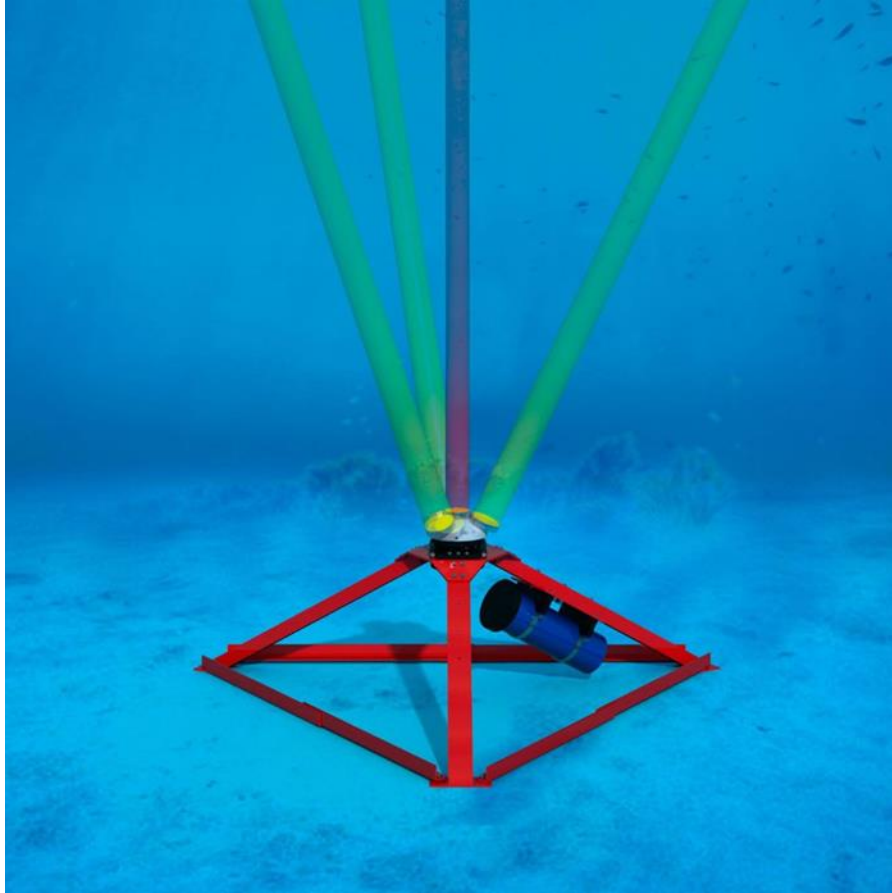


**Slika 15. Zapis golemog vala na norveškoj naftnoj platformi u Sjevernom moru 01.01.1995 [13]**

numeričkim filtriranjem registriranog vremenskog niza. Uz bežični prijenos prikupljenih podataka do registratora smještenog na nekoj platformi ili na kopnu, instrument osigurava stalnu i pouzdanu informaciju o valovitosti morske površine. [9]

Akustični valomjeri (AST-Acoustic surface tracking) kao jedni od najboljih rješenja za praćenje i mjerenje morskih valove koriste vertikalne akustične valove čime se

postiže odlična preciznost. Ne samo da su izrazito precizni već se mogu koristiti na velikim dubinama. Nortek's AWAC (Acoustic wave and current) spada u ovu kategoriju akustičnih valomjera (slika 16).



**Slika 16. AWAC uređaj [14]**

Dizajniran je da mjeri morske struje i morske valove koristeći akustičnu Doppler tehnologiju. Ciljna primjena ovih valomjera je dugoročno praćenje i mjerenje morskih struja i valova. Način funkcioniranja ovog uređaja za mjerenje valova je vrlo jednostavan i olako se opiše u samo par koraka. Uređaj odašilje impulse zadane valne duljine te se u istom koraku spremi za prijem tih istih koji su se odbili od morsku površinu pokrivajući raspon svih mogućih visina valova. Svi signali po primitku se diskretiziraju u rezoluciju od 2.5 cm te se kvadratnom interpolacijom izračunava vjerojatna lokacija površine mora. [14]

## 5.1. Fiksni uređaji za mjerenje valova

Fiksni uređaji su alternativni uređaji za mjerenje morskih valova pomoću plutača. Najčešći načini ovakvog mjerenja su pomoću tlačnih senzora i mjerila i valne žice. [15]

### 5.1.1. Wavestaff

Wavestaff je vertikalni senzor, obično pričvršćen na krutu strukturu poput stupa ili naftne platforme, koji mjeri promjene u električnim svojstvima senzora, jer valovi pokrivaju veći ili manji udio njegove duljine [17]. Dakle, to je uređaj koji mjeri visinu morskog vala preko fiksirane strukture na kojoj visi žica koja ide prema dolje (slika 17).



Slika 17. Wavestaff uređaj tvrtke Ocean Sensor Systems [23]

Tehnologija mjerenja kod ovih uređaja se obično temelji na otporu ili kapacitivnosti. Ovisno o tehnologiji koja se koristi, položaj razine vode ili mora duž žice određuje njezin otpor odnosno kapacitet. Izmjereni otpor ili kapacitet pokazuje udaljenost iz koje se može odrediti visina razine vode. Mjereći neko vrijeme omogućuje se



izračunavanje visina vala, frekvencija i energetski spektar. Prednost ovog uređaja jest da točno mjerenje razine vode nije vrlo komplicirano, u usporedbi sa složenom dinamikom mjerenja akcelerometra plutače što rezultira jeftinijom opcijom. Nedostatak mjerenja pomoću valne žice je taj što se fiksnu strukturu mora postaviti na mjesto na kojem će se vršiti mjerenja, a to često nije poželjno ili pak neizvedivo. Primjerice, na grebenu bi možda previše utjecale na ekosustav. [15]

### **5.1.2. Tlačna mjerila**

Tlačni senzori i mjerila imaju jako slične principe rada kao i valne žice (wavestaff). Ovi uređaji su postavljeni na fiksnom položaju na dnu mora i mjere visinu vodenog stupca koji prolazi iznad njih. Iznimno je praktičan iz razloga što se može postaviti na komad pijeska te između koralja te se zbog podatkovne kabelaške veze postavlja u blizini obale. [15]

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu se obrađene metode mjerenja morskih struja i valova. Uz to također su iznesene osnovne karakteristike i obilježja istih kako u svjetskim morima i oceanima tako i u Jadranskom moru. Iz rada se može uvidjeti da morske struje u Jadranu nisu velikih brzina te nemaju značajniji utjecaj na sigurnost plovidbe. Što se tiče značajki valova uzrokovanim vjetrom u Jadranu općenito zavise od smjera, brzine i trajanja prevladavajućih vjetrova, a najfrekventnije valove uzrokuju bura i jugo u zimskom te maestral u ljetnom periodu.

Također može se zaključiti kako su pomorci još od davnina tražili i računali smjer te brzinu morske struje prvenstveno radi sigurnije plovidbe, ali i što lakšeg manevriranja u priobalnom i odobalnom području. Međutim danas, razvojem tehnologije a i znanosti mjerenje morskih struja i valova postaju sve više preciznija. Izrađuju se raznorazni uređaji i senzori kojima je pojednostavljeno mjerenje te će u skorije vrijeme sve više podataka moći dobiti čak i ona područja koja su još nepoznata i neistražena. Iz rada se može zaključiti da pored morskih struja veliku ulogu u pomorskom prometu imaju i morski valovi. Svaka vrsta vala, ako su izraziti, predstavlja izravnu opasnost za plovidbu i za brod. Da bi se poznavalo stanje mora određenog akvatorija potrebno je sakupiti podatke određenim mjerenjima. Kao što je već gore naglašeno, današnja tehnologija je jako sofisticirana te izrazito precizna pa se podatci kao što su: maksimalna valna visina, srednji period vala te smjer i brzina vjetra na jednostavan način mogu mjeriti. Ta mjerenja se danas obavljaju pomoću određenih radioplutača i plovaka, a kad govorimo o širem području podatci se mogu mjeriti i satelitom.

Imati saznanja o morskim strujama i valovima je pomorcu od velike važnosti. Srećom njihove podatke je danas lako naći u raznim pomorskim kartama, nautičkim priručnicima te peljarima. Koristeći se njima pomorci izrađuju sigurnije pomorske rute koje mogu utjecati na uštedu vremena i potrošnju goriva što je danas izrazito bitno.

## LITERATURA

- [1] Gelo, B.: *Opća i pomorska meteorologija*, Sveučilište u Zadru, 2010.
- [2] <https://proleksis.lzmk.hr/47534/>
- [3] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Morska\\_struja](https://hr.wikipedia.org/wiki/Morska_struja)
- [4] dr. sc. Nenad Leder, PMO2017-17-OC2-Morske struje.ppt
- [5] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Coriolisov\\_u%C4%8Dinak](https://hr.wikipedia.org/wiki/Coriolisov_u%C4%8Dinak)
- [6] Knauss, J.A., Garfield, N.: *Introduction to physical oceanography*, 3rd edition
- [7] *Peljar za male brodove*, 1. Dio, Piranski zaljev- Virsko more, Hrvatski hidrografski institut, Split 2007.
- [8] Talley, L.D., Pickard, G.L., Emery, W.S. and J.H. Swift: *Descriptive Physical Oceanography- An Introduction*, Elsevier, 6th Edition, 2011.
- [9] [https://www.pmf.unizg.hr/\\_download/repository/Predavanje\\_DAM\\_FO\\_3.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/Predavanje_DAM_FO_3.pdf)
- [10] Trujillo, A.P.; Thurman, H.V.: *Essentials of Oceanography*, 10th Edition, Pearson
- [11] [http://skola.gfz.hr/d6\\_4.htm](http://skola.gfz.hr/d6_4.htm)
- [12] [http://jadran.izor.hr/~sepic/studenti\\_bem/3\\_mjerenja\\_struje.pdf](http://jadran.izor.hr/~sepic/studenti_bem/3_mjerenja_struje.pdf)
- [13] dr. sc. Nenad Leder, PMO2017-18-OC3-valovi.ppt
- [14] <https://www.nortekgroup.com/assets/documents/Possibilities-and-Limitations-of-Acoustic-Surface-Tracking.pdf>
- [15] [https://essay.utwente.nl/59198/1/scriptie\\_J\\_Kuperus.pdf](https://essay.utwente.nl/59198/1/scriptie_J_Kuperus.pdf)
- [16] <http://skola.gfz.hr/m5.htm>
- [17] [https://www.bodc.ac.uk/data/bodc\\_database/waves/waves\\_recording\\_processing.html](https://www.bodc.ac.uk/data/bodc_database/waves/waves_recording_processing.html)
- [18] <https://www.britannica.com/science/ocean-current/Causes-of-ocean-currents>
- [19] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Plimna\\_sila](https://hr.wikipedia.org/wiki/Plimna_sila)
- [20] [https://en.wikipedia.org/wiki/Trade\\_winds](https://en.wikipedia.org/wiki/Trade_winds)
- [21] [https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean\\_current](https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_current)
- [22] [https://lh3.googleusercontent.com/proxy/T0pe9Sf9v\\_p4-zT0xsm4r3yBtO3qL8Pb-7g4iK5e0kCf-VCxhfPid-PR6HsN6beovP\\_LFOdk4sXjFyfxdD506OmBmV1H9Io-9Dj404E4](https://lh3.googleusercontent.com/proxy/T0pe9Sf9v_p4-zT0xsm4r3yBtO3qL8Pb-7g4iK5e0kCf-VCxhfPid-PR6HsN6beovP_LFOdk4sXjFyfxdD506OmBmV1H9Io-9Dj404E4)
- [23] <http://www.oceansensorsystems.com/news.htm>
- [24] <https://en.wikipedia.org/wiki/Upwelling>

## POPIS SLIKA

Slika 1. Glavne morske struje u svjetskim oceanima [3] .....	3
Slika 2. Prikaz glavnih oceanskih struja: tople (crvena boja) i hladne (plava boja) [21].....	4
Slika 3. Shematski prikaz nastajanja struja upwellinga (lijevo) i područja intenzivnog upwellinga (crvena boja, desno) [24] .....	5
Slika 4. Prikaz djelovanja Coriolisove sile na sjevernoj i južnoj polutki [22].....	7
Slika 5. Površinske morske struje ljeti i zimi (prema Zore-Armanda, 1967) [7] .....	8
Slika 6. Kretanje toplih i hladnih morskih struja u Jadranskom moru [16].....	10
Slika 7. Golfska struja: Franklin-Folger karta [8] .....	12
Slika 8. Langrangeova metoda – satelitski praćeni drifter [11].....	13
Slika 9. Strujomjer tipa Ekman [4].....	14
Slika 10. ADCP strujomjer – “Sea Spider” s ugrađenim ADCP strujomjerom [11] .....	15
Slika 11. Elementi morskog vala [10] .....	17
Slika 12. Odnos valne duljine, perioda i brzine vala [10] .....	19
Slika 13. Nastanak kapilarnih i gravitacijskih valova uzrokom vjetra [10] .....	20
Slika 14. Mjerna plutača s odašiljačem i prijemna stanica valomjera tvrtke DATAWELL [16] .....	24
Slika 15. Zapis golemog vala na norveškoj naftnoj platformi u Sjevernom moru 01. 01.1995 [13] .....	24
Slika 16. AWAC uređaj [14] .....	25
Slika 17. Wavestaff uređaj tvrtke Ocean Sensor Systems [23].....	26

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Ovisnost visine vala o razgonu, za vjetar 60 km/h.

Tablica 2. Douglasova skala stanja mora

## POPIS KRATICA

ADCP (eng. Acoustic Current Doppler Profiler)	vrsta strujomjera
AWAC (Acoustic wave and current)	vrsta valomjera
AST (eng. Acoustic surface tracking )	vrsta valomjera
Cm	centimetar
G	ubrzanje gravitacije
M	metar
m/s	metar po sekundi
NM/h	nautička milja na sat
kt (eng. knot)	čvor
$\rho$	gustoća
$\omega$	kutna brzina
H <sub>v</sub>	visina vala
L	valna duljina
N	sjever
NE	sjeveroistok
E	istok
SE	jugoistok
S	jug
SW	jugozapad
W	zapad
NW	sjeverozapad