

Stalni planetarni vjetrovi i utjecaj na plovidbu

Jedretić, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:243766>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

FILIP JEDRETIĆ

**STALNI PLANETARNI VJETROVI I UTJECAJ NA
PLOVIDBU**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**STALNI PLANETARNI VJETROVI I UTJECAJ NA
PLOVIDBU**

**PREVAILING PLANETARY WINDS AND INFLUENCE ON
NAVIGATION**

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Pomorska meteorologija i oceanologija

Mentor/komentor: doc. dr. sc. Tatjana Ivošević

Student: Filip Jedretić

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112068156

Rijeka, rujan 2023.

Student: Filip Jedretić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112068156

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA


Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

Stalni planetarni vjetrovi i utjecaj na plovidbu

izradio samostalno pod mentorstvom doc. dr. sc. Tatjane Ivošević.

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

Student



Ime i prezime studenta
Filip Jedretić

Student: Filip Jedretić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa


JMBAG: 0112068156

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

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

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

Student - autor

_____ 

SAŽETAK

Stalni planetarni vjetrovi predstavljaju ključni element u meteorološkim i oceanografskim sustavima Zemlje. Ovi vjetrovi imaju svoje specifične karakteristike i smjerove, što ih čini važnim faktorom koji utječe na plovidbu diljem svjetskih mora i oceana. Ovim završnim radom prikazani su stalni planetarni vjetrovi, pasati, monsuni, zapadnjaci, istočni polarni vjetrovi, njihovi uzroci nastanka, karakteristike pojedinih vjetrova te utjecaj na plovidbu.

Ključne riječi: stalni planetarni vjetrovi, plovidba, oceanografski sustav, meteorološki sustav.

SUMMARY

Prevailing planetary winds represent a crucial element in Earth's meteorological and oceanographic systems. These winds have their specific characteristics and directions, making them an important factor influencing navigation across the world's seas and oceans. This seminar paper explores the prevailing planetary winds, trade winds, monsoons, westerlies, polar easterlies winds, their causes, characteristics, and their influence on navigation.

Keywords: prevailing planetary winds, causes, characteristics, navigation, oceanographic system, meteorological system.

SADRŽAJ

SAŽETAK	II
SUMMARY	II
SADRŽAJ	III
1. UVOD	1
2. VJETAR	2
2.1. BRZINA VJETRA	5
2.2. NASTANAK VJETRA	10
2.3. SILA GRADIJENTA TLAKA	10
2.4. CORIOLISOVA SILA	11
2.5. SILA TRENJA	13
2.6. STALNI PLANETARNI VJETROVI.....	13
2.6.1. <i>Globalna cirkulacija i model tri ćelije</i>	13
3. PASATI	19
3.1. UTJECAJ PASATA NA MORSKE STRUJE.....	25
3.2. <i>UTJECAJ PASATA NA PLOVIDBU</i>	25
3.3. PASATI I MONSUNI	27
4. ZAPADNI VJETROVI	29
4.1. UZROK ZAPADNIM VJETROVIMA.....	30
4.2. UTJECAJ ZAPADNIH VJETROVA NA PLOVIDVU	31
5. POLARNI ISTOČNI VJETROVI	32
5.1. UZROK	32
5.2. UTJECAJ NA PLOVIDBU.....	33
6. ATMOSFERSKO-OCEANSKI POREMEĆAJI	35
6.1. EL NINO – REZULTAT SLABLJENJA PASATA	35
7. ZAKLJUČAK	41
LITERATURA	42
POPIS SLIKA	44
POPIS TABLICA	45

1. UVOD

Ovim završnim radom detaljnije je prikazana tema stalnih planetarnih vjetrova i njihovog utjecaja na plovidbu. Stalni planetarni vjetrovi, od kojih su neki poznatiji još kao i trgovinski vjetrovi, su vjetrovi koji pušu cijele godine relativno stalnim smjerom i stalnom brzinom uz manja odstupanja zbog sekundarnih uzroka. Primarni uzroci nastanka stalnih planetarnih vjetrova su dotok Sunčevog zračenja, nagnutost planete Zemlje te rotacija Zemlje. Oni su posljedica temperaturnih razlika i posljedično razlika u tlaku zraka na površini Zemlje, a imaju ključnu ulogu u formiranju svjetskih ekosustava i globalnog klimatskog sustava.

Stalni planetarni vjetrovi su važni za plovidbu još od davnina, kada su brodovi korišteni kao jedini način prijevoza ljudi i robe između kontinenata. Oni su omogućili razvoj pomorstva, trgovine i razmjene kulture širom svijeta. Međutim, stalni planetarni vjetrovi nisu uvijek bili prednost za plovidbu, posebno u slučajevima kada su ometali planirane rute ili usporavali putovanja. Cilj ovog završnog rada je proučiti uzroke nastanka i djelovanje stalnih planetarnih vjetrova te utjecaj na plovidbu. Također, razmotrit će se i mogući problemi s kojima se brodovi suočavaju pri plovidbi uz stalne planetarne vjetrove te koje su moguće mjere za poboljšanje plovidbe u tim uvjetima.¹

Ploveći na jedrenjacima i jedrilicama na svjetskim morima i oceanima svi pomorci žive s vjetrom. Koristeći vjetar za plovidbu kroz povijest, ostavili su nam zapise, skice i sheme koji nam pomažu razumjeti kako ploviti sa vjetrom. Uspješna plovidba ovisila je o vještini pomoraca da iskoriste vjetar na najbolji način. Danas, s modernom tehnologijom i sofisticiranim navigacijskim instrumentima, plovidba je postala preciznija i lakša. Međutim, vjetar i dalje igra ključnu ulogu u planiranju plovidbe. Poznavanje različitih tipova vjetrova, utjecaja na plovidbu i dalje je vrlo važno za svakog pomorca.²

¹ Internetska stranica SciJinks: „What are trade winds?“ Pribavljeno 20.09.2023.
<https://scijinks.gov/trade-winds/>

² Internetska stranica: Climate Change Trust 2019: „Trade winds and currents“ Pribavljeno 20.09.2023.
http://www.change-climate.com/Transport_Land_Sea_Sustainable/ElizabethSwann/Trades_Winds_Currents_Navigational_Economical_Courses_For_Efficient_Transport.htm

2. VJETAR

Vjetar je jedan od najvažnijih čimbenika u pomorskoj meteorologiji jer utječe na kretanje zračnih masa, kretanje zračnih fronti, nastajanje atmosferskih poremećaja, utječe na brzinu i smjer kretanja morskih struja te pojavu valova, a svime time ima izravan i neizravan utjecaj na navigaciju. Vjetar ima važnu ulogu u regulaciji temperature i udjela vodene pare u zraku, što posljedično utječe na vremenske prilike i posljedično na klimatske promjene.

Vjetar se opisuje kao vertikalno i horizontalno strujanje zraka te se svako gibanje svodi na ova dva smjera. Zrak je u neprestanom gibanju u odnosu na Zemljinu površinu stoga takvo gibanje ima brzinu smjer i orijentaciju. Vjetar je stoga vektorska veličina, za razliku od tlaka zraka, temperature zraka i slično koje su skalarne veličine. Vjetar se na kartama prikazuje strujnicama. Strujnice mogu biti pravci, kružnice, elipse ili krivulje višeg reda. To su krivulje koje prikazuju gibanje zraka u određenom trenutku tako da je u svakoj točki strujnice tangenta vektor vjetra. Udaljenost između strunica je obrnuto proporcionalna s brzinom vjetra.³ Što su strujnice bliže, odnosno što im je razmak manji, to je brzine vjetra veća.

Smjer i brzina vjetra su ključne informacije koje pomorcima pomažu u navigaciji. Smjer vjetra određuje se vjetrokazom ili vjetruljom. Vjetrulju čini horizontalno postavljen štap na uspravnoj osovinu oko koje se okreće, te na jednom kraju ima krilce, a na drugom protuteg. Ispod vjetrokaza je križ s oznakom strana svijeta.⁴ Zbog djelovanja vjetra strelica se postavi u smjer od kuda vjetar nadolazi. Dakle, važno je istaknuti da se smjer vjetra definira iz smjera odakle vjetar puše što znači ako govorimo o sjevernjaku moramo znati da vjetar dolazi iz smjera sjevera, itd.

Postoje različite vrste vjetrulja, a dvije najpoznatije su germanska i romanska vjetrulja. Romanska vjetrulja (slika 1) ima osam karakterističnih smjerova, svakih 45°. Ovi smjerovi su sjever (N), sjeveroistok (NE), istok (E), jugoistok (SE), jug (S), jugozapad (SW), zapad (W) i sjeverozapad (NW). Romanske vjetrulje su često bile korištene u Sredozemlju i na Bliskom istoku.

³ Gelo, B: Opća i pomorska meteorologija, Zadar, 2010, p.123

⁴ Izvor: Gelo,B.: Opća i pomorska meteorologija, Zadar,2010. p. 433.



Slika 1. Romanska vjetrulja sa 8 smjerova

Izvor: <https://www.romanoimpero.com/2018/10/lanemoscopio-romano.html>

Germanska vjetrulja (slika 2), s druge strane, ima 16 karakterističnih smjerova, svakih 22,5°. Ovi smjerovi čine osam glavnih smjerova, koji se podudaraju s romanskim smjerovima, i osam sporednih smjerova: Glavnih smjerovi Germanske vjetrulje su:

- Sjever (N)
- Sjeveroistok (NE)
- Istok (E)
- Jugoistok (SE)
- Jug (S)
- Jugozapad (SW)
- Zapad (W)
- Sjeverozapad (NW)

Sporedni smjerovi Germanske vjetrulje su:

- Sjevero-sjeveroistočno (NNE)
- Istočno-sjeveroistočno (ENE)
- Istočno-jugoistočno (ESE)
- Jugo-jugoistočno (SSE)
- Jugo-jugozapadno (SSW)
- Zapadno-jugozapadno (WSW)

- Zapadno-sjeverozapadno (WNW)
- Sjevero-sjeverozapadno (NNW)⁵

Ovi smjerovi se često koriste u navigaciji, meteorologiji, zrakoplovstvu i drugim sličnim područjima. Germanska vjetrulja može biti korisna u identifikaciji smjera vjetra i orijentaciji u prostoru.

Osim toga, karakteristični smjerovi germanske vjetrulje su bili važni i u povijesti. Neki od tih smjerova koristili su se u srednjem vijeku za označavanje geografskih smjerova, a kasnije su postali dio navigacijskih instrumenata poput kompasa.

Svaki od ovih smjerova ima svoje specifične karakteristike i koristi se u različitim situacijama. Na primjer, sjeverni smjer se koristi za označavanje najvišeg mjesta, a južni smjer se koristi za označavanje najnižeg mjesta. Istočni smjer koristi se za označavanje izlaska sunca, a zapadni smjer za označavanje zalaska sunca.

U meteorologiji, smjerovi germanske vjetrulje koriste se za označavanje smjera vjetra. Primjerice, vjetar koji puše sa sjeverozapada (NW) dolazi iz tog smjera prema istoku i jugu. Također, ovi smjerovi se koriste za označavanje smjera kretanja oluja i drugih vremenskih nepogoda.

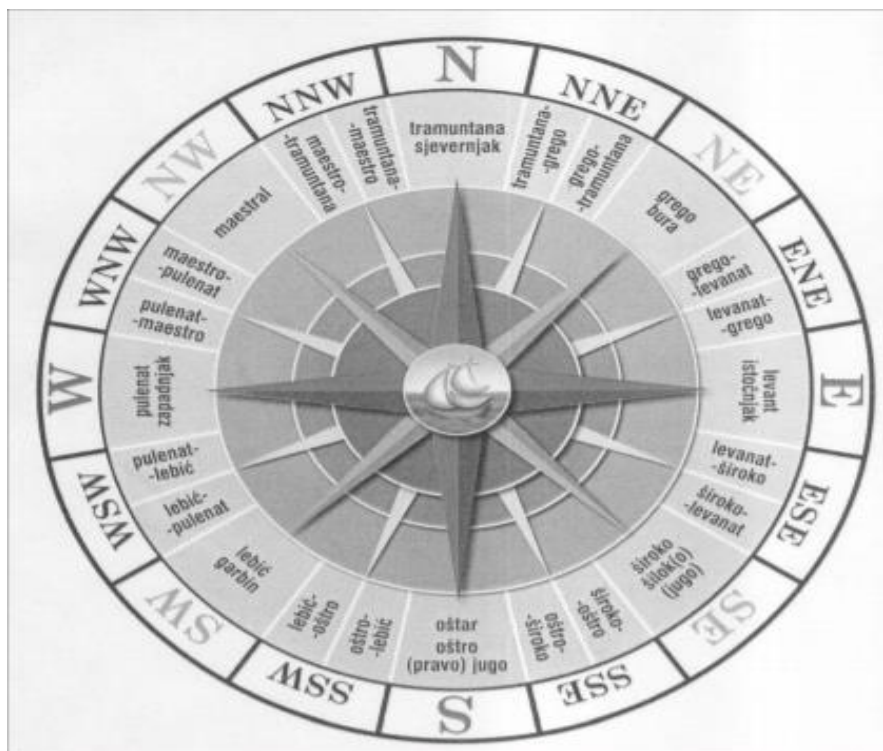


Slika 2. Germanska vjetrulja sa 16 smjerova

izvor: <https://www.pinterest.com/pin/210402613828945144/>

⁵ Izvor: Bilić, T. 2012. Smjer vjetra-jedan od problema u antičkoj plovidbi Jadranom, Arheološki muzej u Zagrebu, 81-93. Pribavljeno 15.09.2023. [124274 \(srce.hr\)](https://www.srce.hr/124274)

Prema ruži vjetrova na Jadranu razlikuju se osnovnih osam smjerova.⁶ Na slici 3 prikazani su smjerovi i nazivi vjetrova. Sjevernjak ima naziv tramuntana, sjeveroistočnjak je bura ili grego, istočnjak je levant, jugoistočnjak je široko ili jugo, južnjak je oštro, jugozapanjak je lebić ili garbin, zapadnjak je pulenat, sjeverozapadnjak je maestral. Jadran se proteže u smjeru sjeverozapad – jugoistok.



Slika 3. Vjetrulja sa smjerovima strana svijeta

Izvor: <https://hrcaj.srce.hr/file/124274>

2.1. BRZINA VJETRA

Anemometar je mjerni instrument koji se koristi za mjerenje brzine vjetra. Može se postaviti pored vjetrulje te je tad u fiksnom režimu kako bi se istovremeno dobili podaci za smjer i brzinu vjetra.⁷ Postoje i ručni anemometri. Ovisno o senzoru, anemometar može mjeriti trenutnu brzinu vjetra, ali može i usrednjavati brzinu na razini 1 minuta ili 1 sata.

⁶ Bilić, T. 2012. Smjer vjetra-jedan od problema u antičkoj plovidbi Jadranom, Arheološki muzej u Zagrebu, 81-93. Pribavljeno 15.09.2023.

[124274 \(srce.hr\)](https://hrcaj.srce.hr)

⁷ Izvor: Gelo, B.: Opća i pomorska meteorologija, Odjel za promet i pomorstvo, Zadar, 2010. p. 433.

Idealni mjerač brzine vjetra bi trebao biti osjetljiv na najmanji povjetarac i istovremeno reagirati na vjetrove poput uragana. Nažalost, u stvarnosti, mjerači brzine vjetra ne mogu uvijek mjeriti vjetrove male snage, a ni izdržati jake vjetrove. Za takve situacije koristi se više različitih tipova anemometra kako bi podaci bili što vjerodostojniji.

Brzine vjetra kreću se u velikim intervalima, od gotovo neprimjetne tišine do brzina koje mogu prelaziti 500 km/h, osobito na višim nadmorskim visinama ili iznad površine mora za vrijeme oluja. Na primjer, brzina vjetra može biti vrlo velika, poput brzine naše bure, gdje su zabilježene brzine vjetra i preko 180 km/h. Najveće brzine vjetra u prizemlju ikad izmjerene su na Antarktiku, gdje su neki udari vjetra dosegali brzinu od čak 324 km/h.

Kod nas u Hrvatskoj, na najstrmijim obroncima Velebita gdje su se smjestili Senj, Karlobag i otok Pag, mogu se očekivati najveće brzine vjetra. U prosjeku, najveće brzine vjetra dosežu na tim mjestima oko 145 km/h.

U tablici 1 je prikazana brzina vjetra u različitim mjernim jedinicama. S obzirom na brzine vjetra razlikuju se tišina s brzinom do 0.2 m/s do orkana s brzinama iznad 118 km/h. Vjetar uzrokuje vjetrovne valove koji su također prikazani u tablici 1. Primjerice, za jak vjetar brzine 45 km/h mogu se očekivati na otvorenom moru valovi do visine 4 m, a blizu obale u unutarnjim morima do 3 m. Također su u tablici prikazane jačine vjetra koje se mjere u beauforima (Bf). Alternativno, brzinu vjetra možemo procjenjivati i prema Beaufortovoj ljestvici koju je predložio engleski admiral Francis Beaufort. Ta ljestvica mjeri brzinu vjetra prema djelovanju vjetra na okoliš, kao što su kretanje grana stabla, valovi na moru i slično. Današnja Beaufortova ljestvica prihvaćena je na Međunarodnom meteorološkom kongresu iz 1946. godine u Parizu. Jačina vjetra mjeri se do 12 Bf što čini orkanski vjetar s brzinama iznad 118 km/h.

Tablica 1. Naziv i jačina vjetra u beaufortima Bf, pripadna brzina i visina valova

Jačina (Bf)	Naziv	Brzina			Maks. visina vala (m)	
		km/h	m/s	čvor	unutarnje more blizu obale	otvoreno more
0	Tišina	<1	0 - 0,2	<1	---	---
1	Lahor	1 - 5	0,3 - 1,5	1 - 3	0,1	0,1
2	Povjetarac	6 - 11	1,6 - 3,3	4 - 6	0,2	0,3
3	Slab vjetar	12 - 19	3,4 - 5,4	7 - 10	0,6	1
4	Umjeren vjetar	20 - 28	5,5 - 7,9	11 - 16	1	1,5
5	Umjeren jak vjetar	29 - 38	8,0 - 10,7	17 - 21	2	2,5
6	Jak vjetar	39 - 49	10,8 - 13,8	22 - 27	3	4
7	Žestok vjetar	50 - 61	13,9 - 17,1	28 - 33	4	5,5
8	Olujni vjetar	62 - 74	17,2 - 20,7	34 - 40	5,5	7,5
9	Jak olujni vjetar	75 - 88	20,8 - 24,4	41 - 47	7	10
10	Orkanski vjetar	89 - 102	24,5 - 28,4	48 - 55	9	12,5
11	Jak orkanski vjetar	103 - 117	28,5 - 32,6	56 - 63	11,5	16
12	Orkan	>118	>32,7	>64	14	---

Izvor: https://www.adriaticssailor.com/vjetrovi_jadrana/sailing_croatia/11218/hr

Najveća brzina vjetra ikad zabilježena dolazi od uragana. Na primjer, tropska ciklona Olivia koja se dogodila 10. travnja 1996. prošla je pokraj otoka Barrow u Australiji i postigla je brzinu vjetar od 195 km/h, a naleti vjetra su bili oko 400 km/h, što je kategorije 4 prema Saffir-Simpsonovoj ljestvici za brzinu uragana⁸.

⁸ Izvor: Internetska stranica, novinski članak-Uragan Olivija, pribavljeno 28.9.2023.
<https://www.vecernji.hr/vijesti/najveca-zabiljezena-brzina-vjetra-bila-je-408-kmh-10-travnja-1996-83236>

Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale			
Category	Wind Speeds		
	Miles (mph)	Kilometers (km/h)	Knots (kn)
FIVE	≥ 157 mph	≥ 252 km/h	≥ 137 kn
FOUR	130 to 156 mph	209 to 251 km/h	113 to 136 kn
THREE	111 to 129 mph	178 to 208 km/h	96 to 112 kn
TWO	96 to 110 mph	154-177 km/h	83 to 95 kn
ONE	74 to 95 mph	119 to 153 km/h	64 to 72 kn

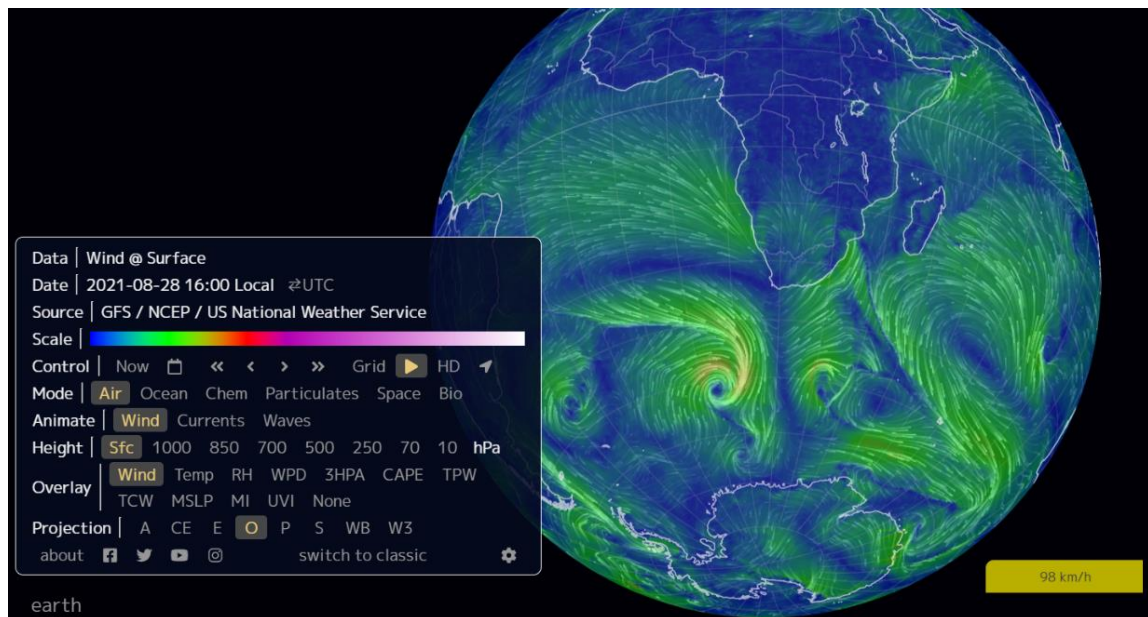
Slika 4. Saffir-Simpsonova ljestvica kategorija uragana prema brzini vjetra

Izvor: <https://www.factsjustforkids.com/weather-facts/saffir-simpson-hurricane-wind-scale/>

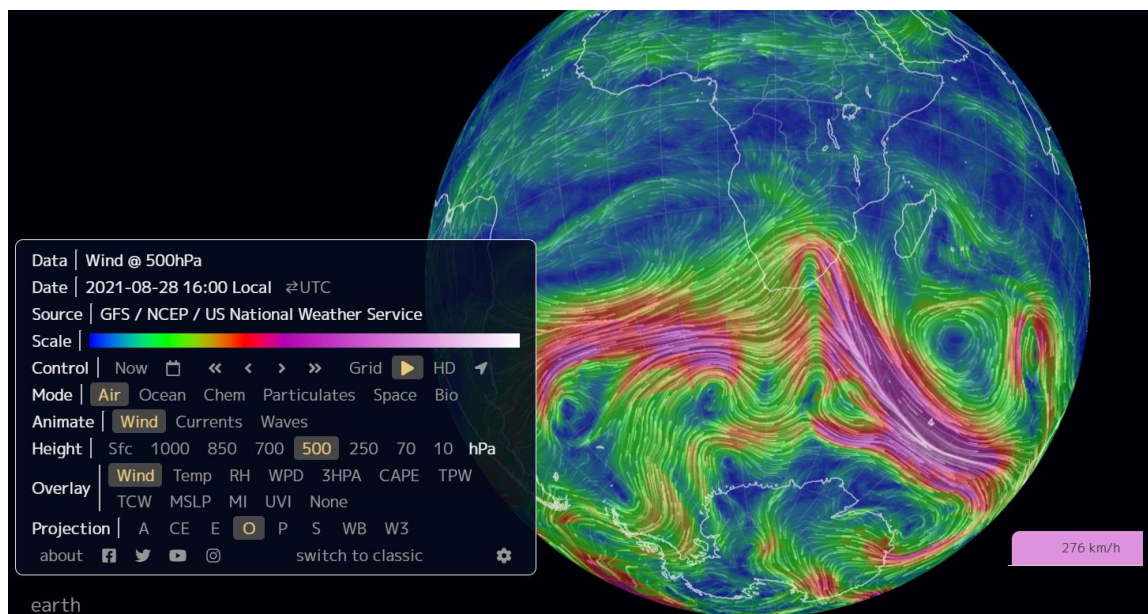
Uragani ili orkanski vjetrovi prema Saffir-Simpsonovoj ljestvici se svrstavaju u pet kategorija prema brzinama vjetra.

Nadalje, zanimljivo je da s porastom visine brzina vjetra raste. Primjerice, u SAD-u, na Mount Washingtonu na nadmorskoj visini od 1980 m, 1934. godine izmjerena je brzina vjetra od 414 km/h. Međutim, mnogo veće brzine vjetra mogu se izmjeriti u slobodnoj atmosferi, na primjer, na visini od 11 km iznad tla u blizini Rostova na Donu izmjerena je brzina vjetra od 576 km/h. Dakle, brzina vjetra značajno raste s porastom nadmorske visine. Izuzetno je važno istaknuti da je atmosfera dinamički sustav i ako su na visinama iznad 10 km brzine vjetar iznad 400 km/h, takvo brzo kretanje zraka utječe i na kretanje zraka u prizemlju jer je u atmosferi uvijek cirkulacija zatvorena.

Kako se brzina vjetra povećava s porastom visine, važno je znati kako mjeriti brzinu vjetra na različitim visinama. Naime, brzina vjetra pri tlu je smanjena zbog trenja zraka o podlogu, tlo ili more. Zbog toga, mjerenje brzine vjetra na nižim visinama može biti manjkavo ili neprecizno. To je razlog da se anemometri postavljaju na minimalnu nadmorsku visinu od 10 m.



Slika 5. Brzina vjetra na površini mora



Slika 6. Na visini pri tlaku 500hPa

izvor: <https://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/500hPa/orthographic=-343.09,-33.60,339>

Na slici 5 i 6 prikazane su brzine vjetra u prizemlju i na visini od 500 hPa. Visina se u meteorologiji češće izražava tlakom zraka, a manje visinom. Tlak zraka od 500 hPa neće uvijek biti na istoj visini i kreće se oko 5 do 6 km nadmorske visine. Brzina u prizemlju 28. 8. 2021. pri tlaku od 1000 hPa iznosila je 98 km/h, a na visini od 500 hPa iznosila je 276 km/h. Za prikaz brzine korištena je aplikacija Earth Wind pomoću koje se mogu pratiti brzine vjetra, temperatura zraka, naoblaka, zastupljenost čestica u zraku, itd.

2.2. NASTANAK VJETRA

Vjetar se formira zbog toplinske razmjene, razlike u tlaku zraka između područja te djelovanja Coriolisovog efekta uslijed Zemljine rotacije. Razlika u tlaku potiče zrak da struji od visokog prema niskom tlaku, pri čemu veća razlika u tlaku zraka na manjoj udaljenosti rezultira većim brzinama vjetrom. Rotacija Zemlje uzrokuje Coriolisov efekt tj. odstupanje gibanja zraka s pravocrtne putanje te zakretanje putanje udesno na sjevernoj hemisferi ili ulijevo na južnoj hemisferi. Stalni planetarni vjetrovi na tropskim širinama stvaraju se uslijed kombinacije ovih čimbenika, što ih čini također važnim za globalnu cirkulaciju oceana.⁹

2.3. SILA GRADIJENTA TLAKA

Sila koja nastaje zbog razlike tlakova zraka je sila gradijenta tlaka G . Ova sila uzrokuje strujanje zraka od područja s višim tlakom prema područjima s nižim tlakom. Veća razlika tlaka na istoj udaljenosti rezultira jačom silom gradijenta tlaka i bržim strujanjem zraka.

$$\vec{G} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 \quad (1)$$

Gdje je G – sila gradijenta tlaka, F_1 , F_2 – pritisna sila.

Pritisna sila je sila okomito na površinu.

Ubrzanje sile gradijenta tlaka a

$$a = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} \quad (2)$$

Gdje je ρ – gustoća zraka, dp/dx – promjena tlaka zraka dp na horizontalnoj udaljenosti dx . Što je veća promjena tlaka na jednakoj udaljenosti dx to je gibanja zraka brže. Sila gradijenta tlaka je sila koja pokreće zrak iz mirovanja. Iz tog razloga i govorimo o akceleraciji zraka jer mijenja brzinu od one iz mirovanja do neke točno određene.

Sila gradijenta tlaka uvijek djeluje okomito na izobare i usmjerena je prema nižem tlaku. O takvoj usmjerenosti govori i minus u formuli za akceleraciju sile gradijenta tlaka.

Sila gradijenta tlaka igra ključnu ulogu u oblikovanju vjetrova i atmosferskih sustava, kao što su cikloni i anticikloni. U meteorologiji se koristi kako bi se objasnilo kretanje zraka oko

⁹ Izvor: Gelo, B.: Opća i pomorska meteorologija, Odjel za promet i pomorstvo, Zadar, 2010. p. 125-127

visinskog i niskog tlaka te kako bi se predvidjelo formiranje atmosferskih fronti, ciklona i anticiklona. Jačina ove sile ovisi o brzini promjene tlaka i udaljenosti između točaka s različitim tlakom, pri čemu veća razlika u tlaku rezultira jačom silom gradijenta tlaka i bržim vjetrom.¹⁰

2.4. CORIOLISOVA SILA

Coriolisova sila nastaje zbog rotacije Zemlje. Kada se zrak kreće prema sjeveru ili jugu, ono također putuje s različitim brzinama ovisno o njegovoj udaljenosti od ekvatora. Kada zrak puše u smjeru ekvatora, ona ima istu brzinu kao i tlo ispod njega, što znači da ne osjeća utjecaj Coriolisove sile. Međutim, kada se zrak kreće prema sjeveru ili jugu, ono putuje brže od tla ispod njega i počinje osjećati utjecaj Coriolisove sile. Na sjevernoj hemisferi, Coriolisova sila skreće zrak udesno, dok na južnoj hemisferi skreće zrak ulijevo. Razumijevanje ovog procesa ključno je za razumijevanje globalne cirkulacije zraka i klimatskih uzoraka na Zemlji.

Nakon što sila gradijenta tlaka pokrene zrak i zrak struji, javlja se Coriolisova sila koja skreće putanju. Izraz za Coriolisovu silu¹¹

$$\vec{F}_{cor} = 2m\vec{v} \times \vec{\omega} \quad (3)$$

$$F = 2mv\omega \sin \varphi \quad (4)$$

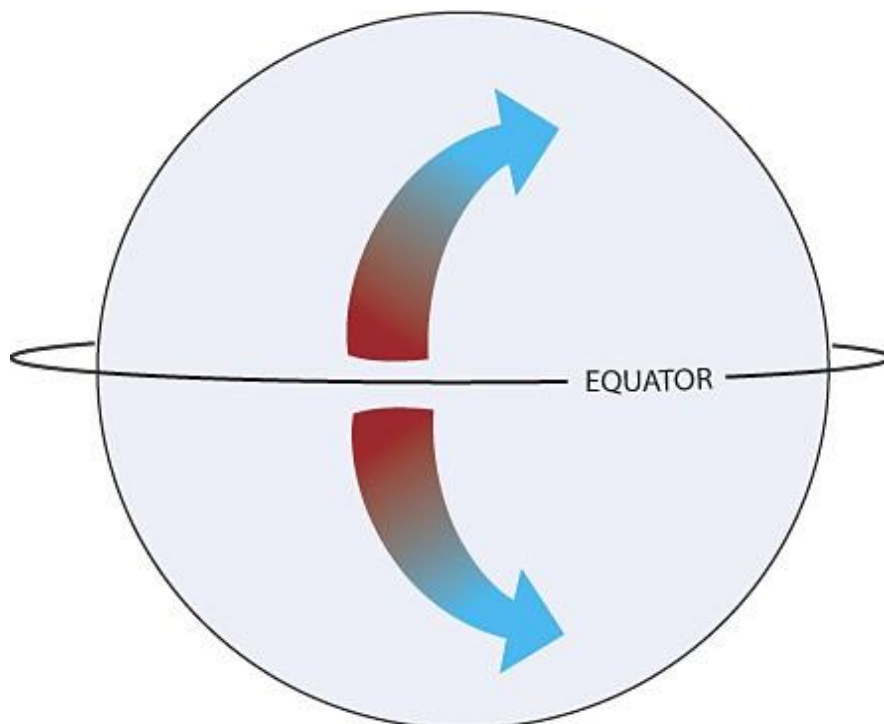
Gdje je F_{cor} – Coriolisova sila, m – masa zraka, v – brzina strujanja zraka, ω – kutna brzina rotacije Zemlje, φ – geografska širina.

Smjer Coriolisove sile je smjer vektorskog produkta obodne i kutne brzine. Zato Coriolisova sila na sjevernoj polutki skreće zrak u kretanju udesno, a na južnoj ulijevo (slika 7). Rezultat vektorskog produkta je umnožak iznosa brzina i sinusa geografske širine. Što je veća geografska širina, to je sinus kuta veći i djelovanje Coriolisove sile je jače.¹²

¹⁰ Gelo, B., Opća i pomorska meteorologija, Sveučilište u Zadru, Odjel za promet i pomorstvo, Zadar, 2010., p. 124.

¹¹ Gelo, B., Opća i pomorska meteorologija, Sveučilište u Zadru, Odjel za promet i pomorstvo, Zadar, 2010., p. 125-127.

¹² Gelo, B., Opća i pomorska meteorologija, Sveučilište u Zadru, Odjel za promet i pomorstvo, Zadar, 2010., p. 125-127.



Slika 7. Skretanje putanje zbog Coriolisove sile

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

Kako se zrak kreće od visokog prema niskom tlaku na sjevernoj hemisferi od 30° do ekvatora, Coriolisova sila skreće njegovu putanju udesno, što znači da vjetar dolazi sa sjeveroistoka i skreće prema zapadu. Na južnoj hemisferi, zrak koji se kreće od visokog do niskog tlaka od 30° do ekvatora skreće ulijevo zbog Coriolisove sile, što znači da vjetar dolazi sa jugoistoka i skreće prema zapadu. Kut otklona s početne pravocrtne ravne putanje je povezan s brzinom kretanja zraka i zemljopisnom širinom. Iznos vektorskog produkta dviju veličina - obodne i kutne brzine - ovisi o umnošku iznosa obodne i kutne brzine te sinusnom kuta između tih dviju brzina. Povećanjem kuta između obodne i kutne brzine povećava se i iznos sinusa kuta. Stoga će vjetrovi na istoj geografskoj širini i manjoj brzini imati manji otklon od početne putanje nego oni na većoj brzini. Kada govorimo o učinku Coriolisove sile, najveći otklon bit će na polovima, a najmanji na ekvatoru jer je sinus kuta 90° jednak 1, a sinus kuta 0° jednak nuli.

Geostrofički vjetar je vjetar koji nastaje kada su uravnotežene dvije sile, Coriolisove sile i sile gradijenta tlaka. Kada vjetar dostigne određenu brzinu, Coriolisova sila postaje jednaka sili gradijenta tlaka. U tom trenutku, vjetar više neće skretati udesno ili ulijevo, već će puhati paralelno s izobarama bez ubrzavanja ili usporavanja. Geostrofički vjetar se obično javlja u

visokim slojevima atmosfere, gdje se vjetrovi kreću u ravnomjernim prugama, poznatim kao "jet streamovi". Ovi jaki vjetrovi obično utječu na kretanje zraka i vremenske prilike na Zemlji, a mogu imati utjecaj na klimatske uvjete i meteorološke fenomene poput oluja ili suša.¹³

2.5. SILA TRENJA

Četvrti čimbenik utjecaja na strujanje zraka je sila trenja s podlogom. Vjetar može biti značajno usporen kada se kreće iznad kopna ili mora u odnosu na strujanje u slobodnoj atmosferi. Također, zbog sile trenja će se smjer strujanja zraka promijeniti. Trenje djeluje suprotno od strujanja zraka pa će zrak u ciklonima u prizemlju strujati prema centru, a u anticiklonama u prizemlju od centra. Bez trenja bi zrak u ciklonama i anticiklonama strujao paralelno s izborama.

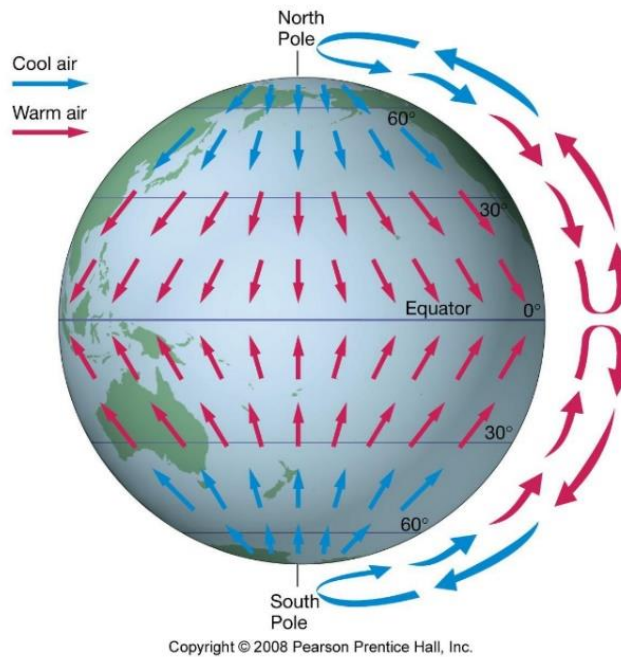
2.6. STALNI PLANETARNI VJETROVI

2.6.1. Globalna cirkulacija i model tri ćelije

Kad govorimo o globalnoj cirkulaciji postoji najjednostavniji model koji opisuje cirkulaciju zraka, a to je model jedne ćelije. Prema ovom modelu visoki tlak zraka je na polu, a niski na ekvatoru te zrak struji u prizemlju od pola prema ekvatoru. Na ekvatoru se zrak grije i konveksijski podiže na visinu. Na visini se vraća prema polu i tako se zatvara cirkulacija. Prema ovom modelu ne postoji nagnutost Zemljine osi rotacije. Na slici 8 je vidljivo kako se zrak strujanjem prema ekvatoru grije postaje nestabilniji te time podložan konvekciji uvis.¹⁴

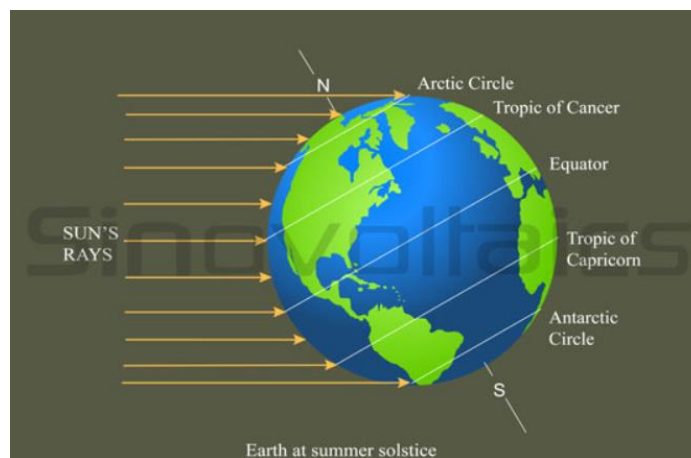
¹³ Izvor: Gelo, B., Opća i pomorska meteorologija, Sveučilište u Zadru, Odjel za promet i pomorstvo, Zadar, 2010., p. 128-131.

¹⁴ Izvor: Internetska stranica SciJinks: „What are trade winds?“ Pribavljeno 20.09.2023.
<https://scijinks.gov/trade-winds/>



Slika 8. Planetarna cirkulacija zraka - model jedne ćelije

izvor: <https://www.pinterest.com/pin/210261876328880724/>



Slika 9. Maksimum upadnog sunčevog zračenja oko 30° geografske širine sjeverno za vrijeme ljetnog solsticija 21. lipnja

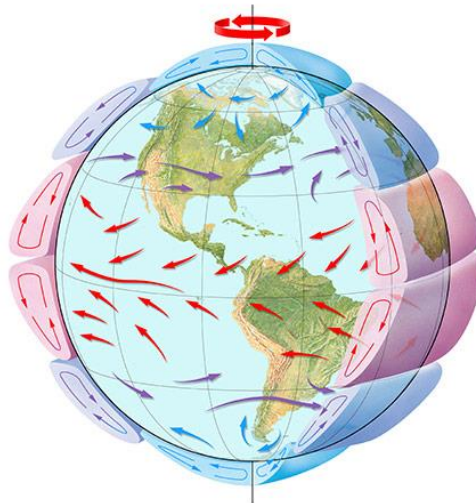
izvor: <https://sinovoltaics.com/learning-center/basics/solar-radiation-solar-insolation/>

Maksimalna količina sunčeve energije ovisi o položaju Zemlje tijekom godine. Ovisno o nagibu Zemljine osi rotacije u odnosu na ekliptiku ovisit će i količina upadne energije. Maksimum upadne energije bit će najveći u točki okomitaj na tangetu na površinu Zemlje. Na slici 9 je vidljiv maksimum upadne sunčeve energije u položaju Zemlje za vrijeme ljetnog solsticija kad Sunce u prividnom kretanju oko Zemlje postigne maksimum

nagiba od $23^{\circ}27'$. Tad je upravo najveći intenzitet zračenja na $23^{\circ}27'$ sjeverne geografske širine.¹⁵ Ako očekujemo maksimum sunčevog zračenja na toj geografskoj širini, može se predvidjeti da će velik dio toplinskog zračenja biti apsorbiran na tom području od strane zraka, tla i oceana, ali i da će dio energije biti zrakom prenesen prema većim i manjim geografskim širinama.

Globalna cirkulacija zraka je važan proces koji omogućuje razmjenu energije i topline između različitih dijelova svijeta. Model tri ćelije je jedan od najpopularnijih i najčešće korištenih modela koji opisuje globalnu cirkulaciju zraka. Taj model dijeli Zemlju na tri zone. Tri ćelije su nazvane:

- a) Hadleyeva ćelija,
- b) Ferrelova ćelija i
- c) polarna ćelija¹⁶



Slika 10. Model tri ćelije

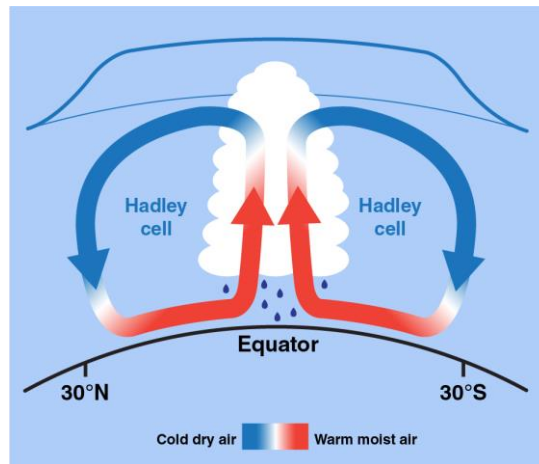
izvor: <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/af0509d5-844b-4eea-bf1f-aede697f1e0a/planetarna-cirkulacija-i-planetarni-vjetrovi.html>

Svaka od tih ćelija ima svoju specifičnu funkciju u procesu cirkulacije zraka. Hadleyeva ćelija nalazi se na prostoru između 0° i 30° sjeverne te 0° i 30° južne zemljopisne širine. Ovo

¹⁵ Izvor: Internetska stranica SciJinks: „What are trade winds?“ Pribavljeno 20.09.2023. <https://scijinks.gov/trade-winds/>

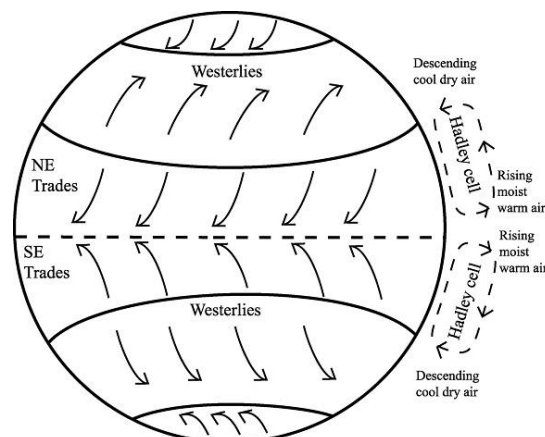
¹⁶ Izvor: Internetska stranica SciJinks: „What are trade winds?“ Pribavljeno 20.09.2023. <https://scijinks.gov/trade-winds/>

područje je obilježeno vrućim i vlažnim zrakom te snažnom konvekcijom zraka. Cirkulacija zraka u prizemlju nastaje od 30° prema ekvatoru s obje strane polutke, a u visini se zrak vraća od ekvatora prema 30°. Visoki tlak zbog stalnog dotoka ulazne sunčeve energije nastaje na 30°, što uzrokuje da zrak u prizemlju struji prema ekvatoru te se na ekvatoru zbog izrazite nestabilnosti podiže uvis. Cirkulacija se zatvara kad zrak na visini struji prema 30°. Ovo područje karakterizirano je stalnim palnaternim vjetrovima sjeveroistočnog smjera na sjevernoj polutci i jugoistočnog smjera na južnoj polutci.¹⁷



Slika 11. Gibanje zraka u modelu Hadleyeve ćelije

izvor: <https://www.actionnews5.com/2022/09/20/breakdown-why-winds-are-so-calm-equator/>



Slika 12. Stalni vjetrovi planete Zemlje: pasati, zapadni i istočni vjetrovi

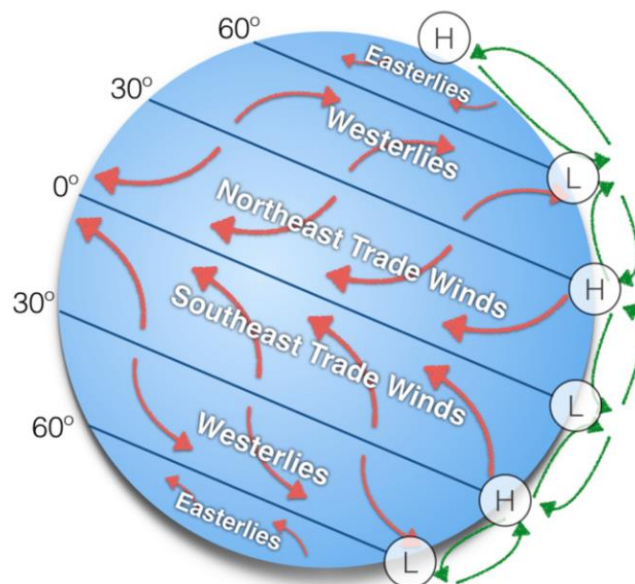
izvor: <http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/images/HadleyCells.jpg>

¹⁷ Izvor: Internetska stranica Climate Change, Global Wind Systems: „Trade Winds and the Hadley cell“ Pribavljeno 15.09.2023.

http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/climatechange1/08_1.shtml#top

Ferreljeva ćelija nalazi se između 30° i 60° sjeverne ili južne zemljopisne širine. U ovoj zoni zrak se kreće u suprotnom smjeru u odnosu na Hadleyevu ćeliju. Zrak se uvijek kreće od područja visokog tlaka na 30° prema područjima niskog tlaka na 60°. Ovo područje također ima stalne vjetrove koji se kreću u zapadnim smjerovima.

Polarne ćelije su smještene između 60° i polova na sjevernoj ili južnoj polutici. Zrak se u ovim područjima kreće od visokog tlaka na polu prema niskom tlaku na 60°, stvarajući istočne vjetrove. Ova područja su obilježena hladnim vremenom i snježnim olujama.¹⁸

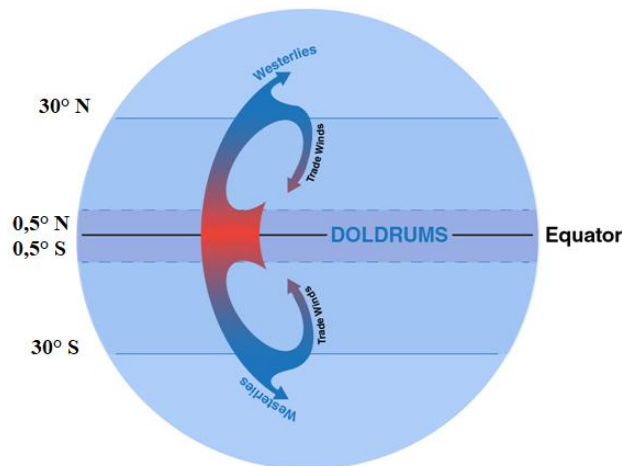


Slika 13. Model stalnih vjetrova na Zemlji, sjeveroistočni stalni vjetrovi, zapadni te polarni istočni vjetrovi

izvor: https://www.researchgate.net/figure/Earths-time-averaged-atmospheric-circulation-patterns-with-vertical-circulation-cells_fig1_316527696

¹⁸ Izvor: Internetska stranica Climate Change, Global Wind Systems: „Trade Winds and the Hadley cell“ Pribavljeno 15.09.2023.
http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/climatechange1/08_1.shtml#top

Globalna cirkulacija zraka u atmosferi je izrazito složen proces koji se događa zbog niza čimbenika. Jedan od ključnih čimbenika je rotacija Zemlje, zbog koje se događaju promjene u smjeru kretanja zraka u odnosu na smjer kretanja Zemlje. To se naziva Coriolisov efekt.



Slika 14. "Doldrums" ili "equatorial doldrums."

izvor: https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_currents/04currents2.html

Područja tišine koja se nalaze oko ekvatora nazivaju se "doldrums" ili "equatorial doldrums." Ova područja su poznata po svojoj karakterističnoj mirnoj i bezvjetrenoj prirodi. Doldrums se protežu oko ekvatora i obuhvaćaju šire područje na oba sjevernom i južnom ekvatorskom pojasu.¹⁹

¹⁹ Izvor: Internetska stranica Climate Change, Global Wind Systems: „Trade Winds and the Hadley cell“ Pribavljeno 15.09.2023.
http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/climatechange1/08_1.shtml#top

3. PASATI

Pasati su stalni vjetrovi koji nastaju zbog nejednake raspodjele sunčeve topline i nagnutosti Zemljine osi. Zbog najvećeg dotoka sunčevog zračenja na obratnicama stvara se područje visokog tlaka zraka te zrak kreće prema područjima nižeg tlaka; a to su dva područja, jedno prema ekvatoru, a drugo prema polarnicama $\pm 66^{\circ}33'$.

Zrak struji od obratnica prema ekvatoru, stvarajući vjetrove poznate kao pasati. Postoje dva glavna planetarna vjetra: sjeveroistočni i jugoistočni pasat. Ovi vjetrovi također igraju ključnu ulogu u oceanografskim procesima, kao što su termohalina cirkulacija i morske struje.

Pasati su stalni vjetrovi koji pušu cijele godine u relativno pravilnom smjeru na određenim geografskim područjima. Njihovo djelovanje posljedica je nejednakog zagrijavanja površine Zemlje, a najizraženiji su u tropskim područjima. Na sjevernoj polutci, pasati pušu iz sjeveroistočnog smjera prema ekvatoru i nazivaju se tropski istočnjaci.

Sjeverni pasat je vjetar koji puše prema jugu i ima važnu ulogu u plovidbi, posebno u područjima kao što su Karibi i istočna obala Sjedinjenih Američkih Država. Južni pasat je vjetar koji puše prema sjeveru i igra važnu ulogu u plovidbi u područjima kao što su Australija i Južna Amerika. Uz naziv "Pasati", ovi vjetrovi poznati su i pod različitim imenima na drugim jezicima, kao što su Alisios, Alisei, Alizées na španjolskom, talijanskom i francuskom, te Passat na njemačkom. Postoje različite teorije o podrijetlu tih imena, ali do danas nije utvrđeno njihovo točno značenje.

Na području Sahare, pasati su izuzetno suhi i vrući. Tijekom njihova djelovanja, dolazi do podizanja sitnog pijeska iz Sahare i širenja prašine zrakom. Loše utječu na život stanovništva, posebno siromašnijeg sloja društva. Smrtnost se također povećava zbog zagađenja zraka uzrokovanim požarima. Unatoč negativnim posljedicama na okoliš i ljudsko zdravlje, pasati su važni za neke vrste morskih organizama i riba koje se hrane planktonom. Pasati su također važni za pomorski promet, jer se mogu koristiti kao prirodne ceste za plovidbu. Međutim, iako su pasati korisni za određene stvari, njihov utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje ne smije se zanemariti. Pasati mogu nositi industrijski otpad, mikroplastiku i drugi otpad, što može dovesti do ozbiljnih posljedica po životinjske vrste koje se hrane planktonom i njihovih predatorskih vrsta. Osim toga, morski otpad i plastika u moru koji putuju pasatima mogu biti opasni za ljudsko zdravlje ako se ne uklone na pravilan na

čin. Stoga je važno provoditi mjere zaštite okoliša kako bi se smanjio negativni utjecaj pasata na okoliš i ljudsko zdravlje. To uključuje smanjenje onečišćenja morskim otpadom, reguliranje ribolova i pomorskog prometa te promoviranje održivog razvoja i upravljanja prirodnim resursima.²⁰



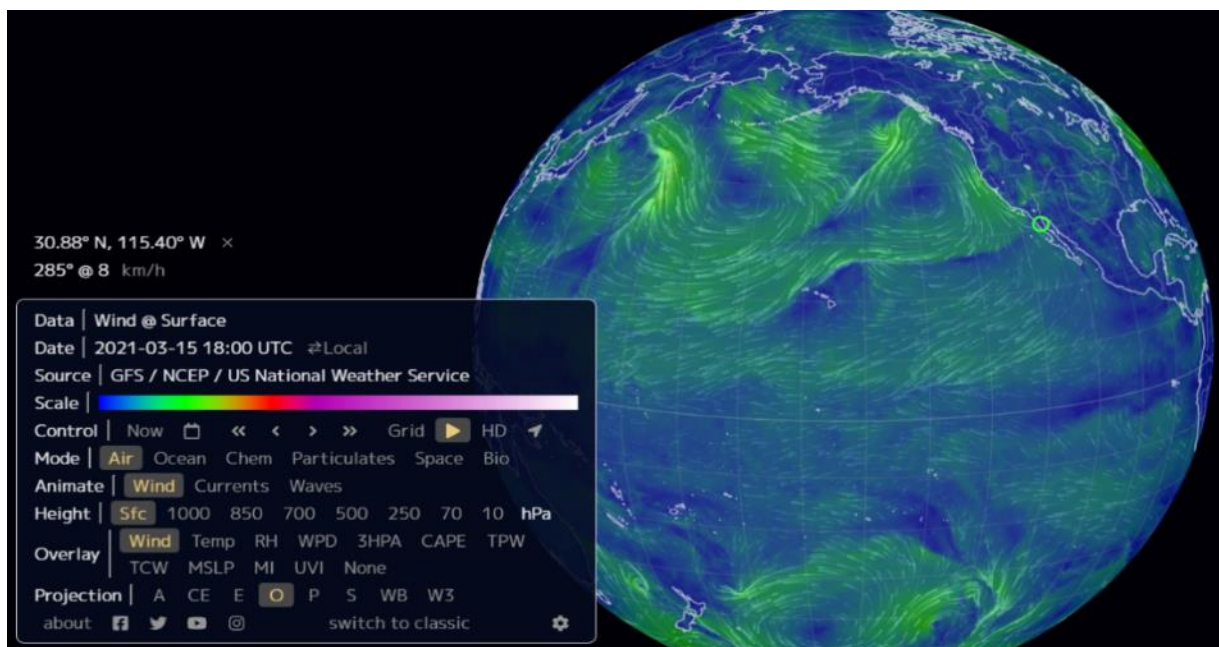
Slika 15. Harmatan u gradu Abuja Nigerija

izvor: <https://www.downtoearth.org.in/blog/africa/harmattan-and-the-air-we-breathe-what-can-we-learn—69526>

U južnoj Aziji zovu ih zimski monsun. U sjevernoj Australiji (zemlja Arnhem) najčešći je prastanski naziv Dir'mala. Pasatni vjetrovi pušu s istoka pod kutom tako da dovode zrak iz viših geografskih širina oko 30° prema ekvatoru "zonu konvergencije". Zona konvergencije je područje oko ekvatora gdje se susreću pasatni vjetrovi iz sjeverne i južne hemisfere. Ovo područje karakterizira nizak tlak, visoka temperatura i visoka relativna vlažnost zraka. Velike količine vode isparavaju iz oceana u ovoj zoni, što stvara vlažan i topao zrak koji se uzdiže, formirajući olujne oblake i jaku kišu. Regije visokog tlaka na sjevernoj strani oceanskih bazena odakle dolaze pasati, kao što je primjerice Baja California, obično su vruće i suhe. Ovdje se zrak spušta prema površini i zagrijava, što stvara suhe i stabilne uvjete. Kada se suhi i vrući zrak kreće preko oceana prema zapadu, dolazi do procesa obogaćivanja vodenom parom, jer se voda isparava iz oceana. Kada se zrak napokon spusti na zapadnu stranu oceanskih bazena, dolazi do naglog hlađenja i kondenzacije vodene pare, što stvara oblake i kišu. Ovaj proces je ključan za održavanje klimatske ravnoteže na Zemlji, jer donosi vodu i hranjive tvari u suha područja na zapadnoj strani oceana, a istodobno

²⁰ Gelo, B., Opća i pomorska meteorologija, Sveučilište u Zadru, Odjel za promet i pomorstvo, Zadar, 2010., p 328-330.

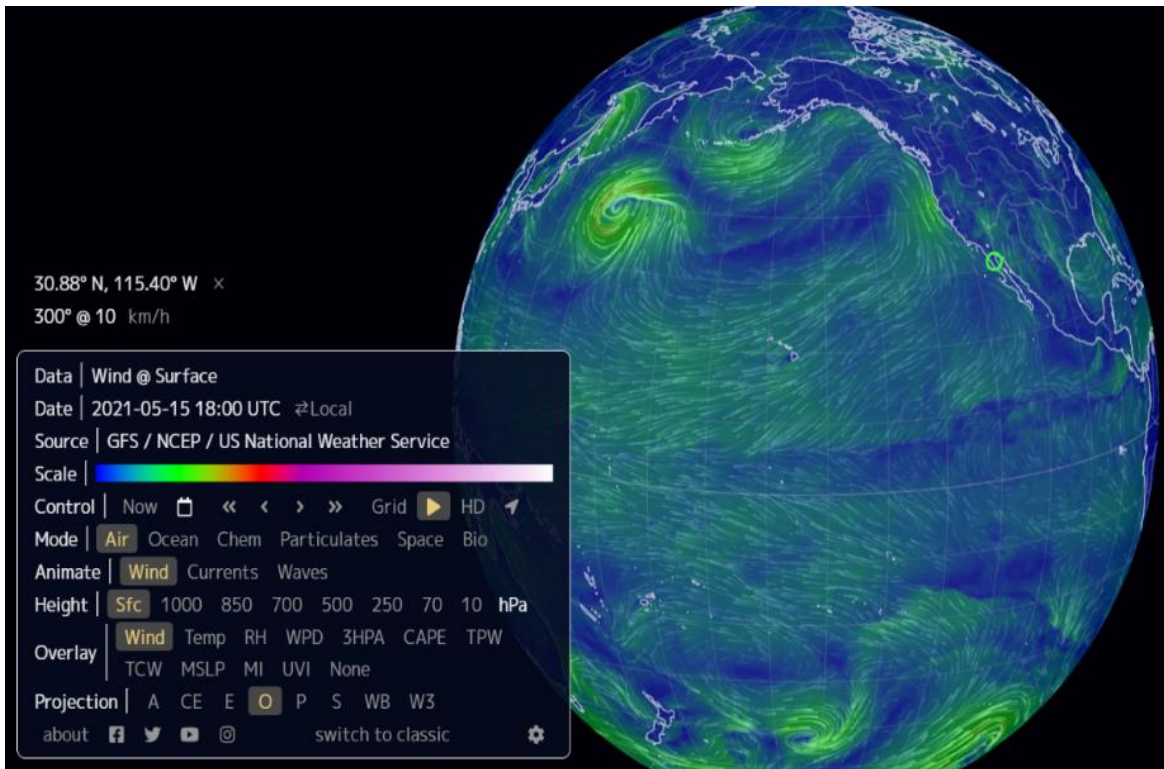
osigurava ravnomjernu raspodjelu topline na planetu.²¹ No, pasatni vjetrovi također su podložni utjecaju klimatskih promjena, kao što je globalno zagrijavanje, što može utjecati na ravnotežu ovog procesa i imati negativan utjecaj na životinjske vrste i ljude koji ovise o njemu.



Slika 16. Pasati 15. 3. 2021.

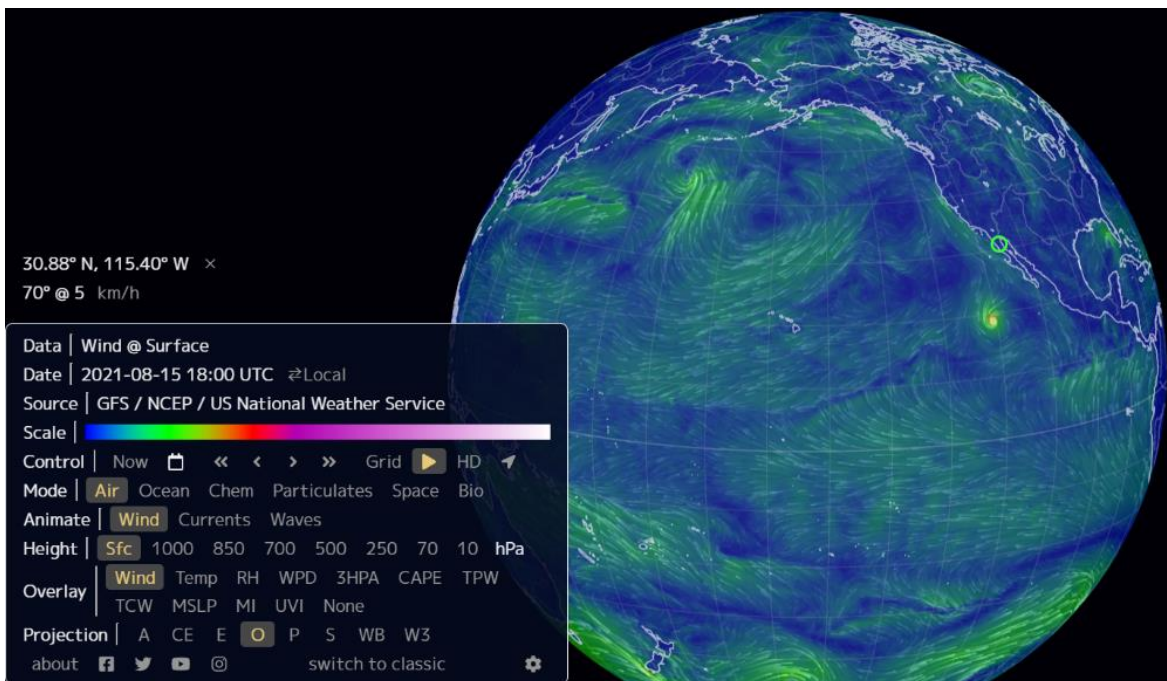
izvor:<https://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/500hPa/orthographic=-343.09,-33.60,339>

²¹ Izvor: Internetska stranica: “Down to Earth”, <https://www.downtoearth.org.in/blog/africa/harmattan-and-the-air-we-breathe-what-can-we-learn—69526>, Pribavljeno:9.4.2023.



Slika 17. Pasati 15. 5. 2021

izvor: <https://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/500hPa/orthographic=-343.09,-33.60,339>



Slika 18. Pasati 15. 8. 2021.

izvor: <https://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/500hPa/orthographic=-343.09,-33.60,339>

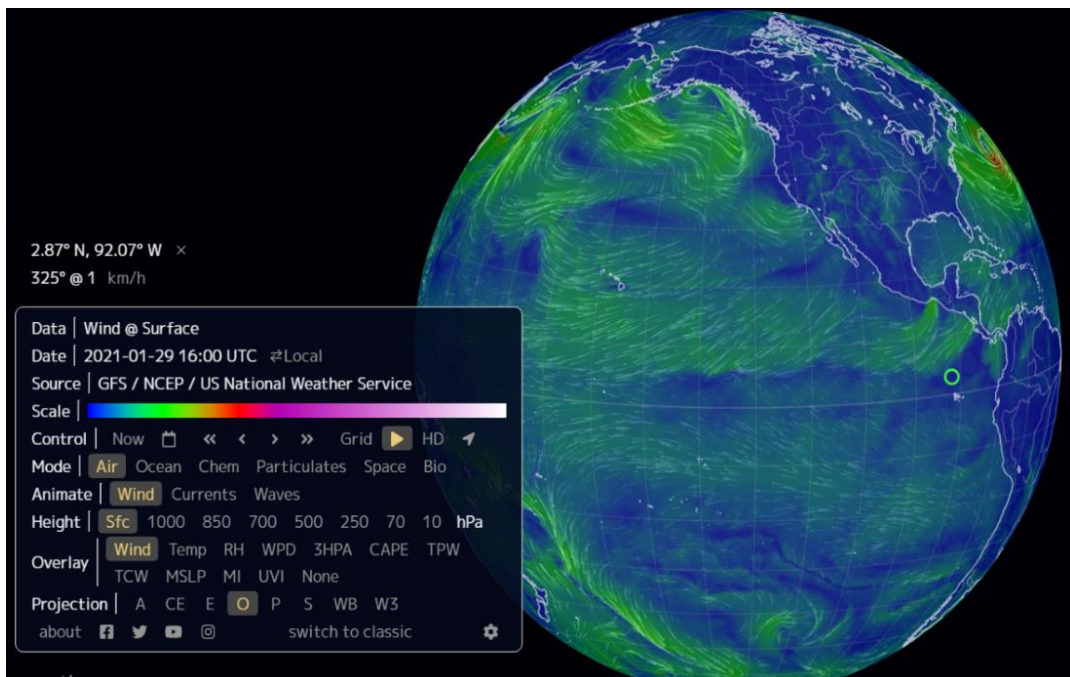
Aplikacija Earth Wind

([https://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/500hPa/orthographic=-343.09,-](https://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/500hPa/orthographic=-343.09,-33.60,339)

[33.60,339](https://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/500hPa/orthographic=-343.09,-33.60,339)) omogućuje praćenje smjera i brzine pasatnih vjetrova u realnom vremenu. Na slikama koje aplikacija pruža, jasno se vidi smjer pasata od istoka prema zapadu preko oceanskog bazena. Ove slike (slike 16-18) pružaju informacije o brzinama pasata koje se kreću od 10 do 30 km/h. Prema tablici 1, takva brzina vjetra klasificira se kao slab do umjereno jak vjetar, od 3 do 5 Bf. Uz takvu brzinu vjetra, visina valova na otvorenom moru obično se kreće od 1 do 2,5 metara. U prošlosti, kapetani brodova iskoristili su ove informacije kako bi plovili brže i efikasnije kroz pasatne zone. Tako bi putovanje od Europe do Amerike obično trajalo mnogo manje vremena ako se putovalo kroz pasatnu zonu. Pametni kapetani bi iskoristili ove vjetrove za postizanje najveće brzine, što bi im omogućilo da stignu na odredište brže i s manje potrošnje goriva. Pasati su važni za globalnu klimu jer pružaju velike količine topline i vode u ekvatorijalnu regiju, što je ključno za održavanje biološke raznolikosti u ovom području. Pasati također pružaju energiju koja pokreće cijeli planetarni sustav cirkulacije zraka i vode. Uz to, pasati igraju važnu ulogu u reguliranju globalnih temperatura, jer pomažu raspršiti toplinu po cijelom planetu. Model triju ćelija opisuje kako se pasatni vjetrovi i drugi globalni vjetrovi kreću u tri velika kruga na Zemlji. Ovi krugovi se nazivaju polarna ćelija, ćelija Ferrela i ekvatorijalna ćelija. Pasatni vjetrovi su dio ekvatorijalne ćelije, koja se nalazi između 30° sjeverno i 30° južno od ekvatora. Ova ćelija je ključna za globalni cirkulacijski sustav, jer povezuje tropske, umjerene i polarni regije planeta.

Trgovački vjetrovi, ili "pasati" na hrvatskom, dio su atmosferske cirkulacije koja se događa između 30° sjeverne i južne širine ekvatora. Mehanizam trgovačkih vjetrova prvi je otkrio i proučavao poznati astronom i atmosferski fizičar Edmond Halley 1686. postalo je jasno da stalni vjetar puše od 30° prema ekvatoru, ali ostalo je nejasno zašto trgovački vjetrovi pušu od istoka prema zapadu. Halley nije objasnio zašto trgovački vjetrovi pušu od istoka prema zapadu prema ekvatoru. Što je spriječilo trgovačke vjetrove da pušu s juga prema sjeveru u "zoni konvergencije"? Ovu zagonetku je riješio engleski meteorolog George Hadley (1685-1768), zbog čega govorimo o "Hadleyevom ćelijskom modelu", a ne o "Halleyevom ćelijskom modelu". Hadley je shvatio da vjetar koji dolazi s istoka puše nižim brzinama i da brzine rastu kako se približava ekvatoru. George Hadley je svoju teoriju objavio u svojem znanstvenom radu "Concerning the Cause of the General Trade Winds" 1735., sto godina prije nego što je Gustave-Gaspard Coriolis (1792-1843) stvorio jednadžbe koje opisuju

kretanje tijela u rotirajućem sustavu. Tako je Hadley bio u pravu u to vrijeme, ali danas pripisujemo opis tome kako trgovački vjetrovi odstupaju prema zapadu kako se približavaju ekvatoru Coriolisu. Ako promatramo Hadleyevu stanicu, možemo vidjeti zatvorenu cirkulaciju koja se događa u gornjim slojevima troposfere. Visoko u atmosferi, govorimo o anti-trgovačkim vjetrovima, koji se kreću od ekvatora prema 30°. Nadomjesni protok za trgovačke vjetrove je vrsta anti-trgovačkih vjetrova u gornjoj troposferi, smješten iznad zonskog područja vjetrova. Ovaj protok se kreće prema istoku i dalje od konvergencije. Protok zraka gdje se podizanje događa u konvergenciji je silazni pokret zraka u pustinjskoj zoni, usredotočen između 20 i 30° geografske širine. Ovaj se spuštajući zrak zagrijava kako raste pritisak i stoga je jako zasićen vodenom parom. To stvara vedro nebo, isparavan je na površini mora ili kopna, i općenito suho vrijeme. Kako bismo to provjerili, možemo provjeriti položaje glavnih pustinja na karti. Zračni protok sa površine subtropskih područja vraća se na ekvator, kao trgovački vjetrovi, kako bi zamijenili podizanje zraka. Ovo je vrlo važan proces u kruženju atmosfere i ima utjecaja na mnoge aspekte Zemljina sustava. Na primjer, utječe na klimatske uvjete, oblike vegetacije i čak na ribolovne zone u oceanima. Poznavanje ovog procesa pomaže znanstvenicima da razumiju i predviđaju promjene u klimi i okolišu te na taj način pružaju korisne informacije za ljude kako bi se prilagodili i zaštitili od mogućih prirodnih katastrofa.



Slika 19. Područje tišine u siječnju i kolovozu 2021.

izvor:<https://earth.nullschool.net/#current/wind/surface/level/orthographic=-161.34,11.14,339/loc=-151.852,10.316>

Postoje mnogi čimbenici koji utječu na kretanje pasata, uključujući temperaturu i tlak zraka, relativnu vlažnost i topografiju terena. Međutim, jedan od najvažnijih faktora koji utječu na smjer kretanja pasata na oceanima je sila gradijenta tlaka, Coriolisova sila i sila trenja.

3.1. UTJECAJ PASATA NA MORSKE STRUJE

Pasatni vjetrovi stvaraju pasatne morske struje. Pasatni vjetrovi su sjeveroistočni i jugoistočni dok su pasatne morske struje zapadne. Njihov smjer nije identičan zbog različite gustoće zraka od gustoće mora.

1. Pasatne morske struje: Pod utjecajem planetarnih pasatnih vjetrova, ekvatorskog protoka i Coriolisovog efekta, stvaraju se pasatne morske struje. Te struje teku od istoka prema zapadu na tropskim širinama. To znači da se voda gomila bliže istočnim obalama kontinenta. Ove struje obično nose toplu vodu prema zapadu, čime pozitivno utječu na klimu obalnih regija. To su Kanarska, Bengalska, Kalifornijska, Zapadnoaustralska morska struja

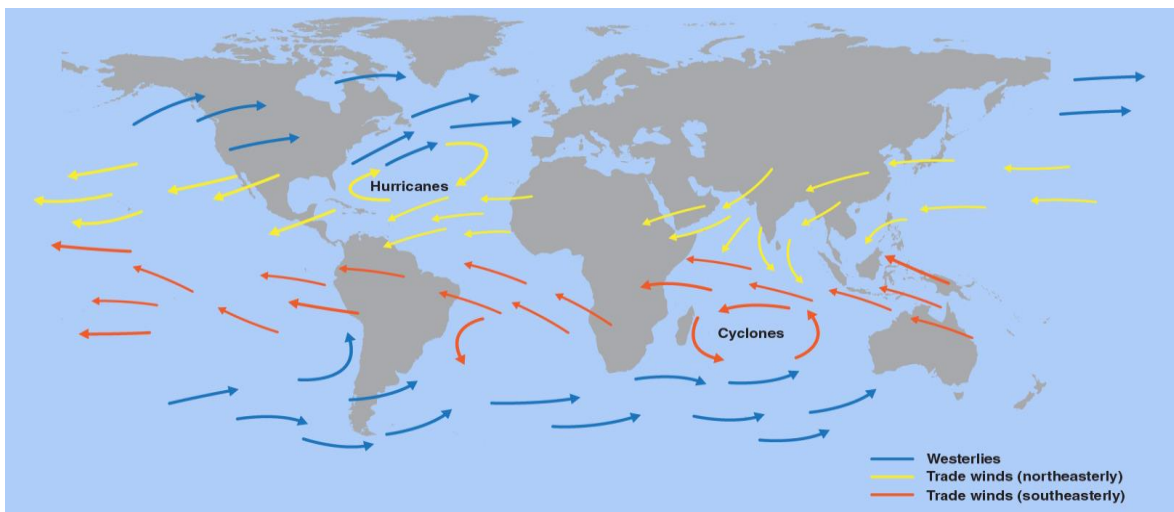
2. Utjecaj na klimu i ekosustav: Pasatne morske struje igraju ključnu ulogu u transportu topline i hladnoće po površini svjetskih oceana. One mogu utjecati na klimu obalnih regija tako što donose toplu vodu ili hladnu vodu. Osim toga, pasatne morske struje utječu na raspodjelu morskih organizama i hranjivih tvari, što ima dubok utjecaj na ekosustave oceana.

3.2. UTJECAJ PASATA NA PLOVIDBU

Pasati su imali značajan utjecaj na terestičku navigaciju kroz povijest. Ovi stalni vjetrovi su oblikovali puteve pomorskih putovanja i utjecali na otkrivanje i kolonizaciju novih teritorija. Evo nekoliko ključnih aspekata utjecaja pasata na terestičku navigaciju:

1. Otkriće novih svjetova: Tijekom razdoblja istraživanja i otkrića, poput europskih istraživanja u 15. i 16. stoljeću, pasati su bili ključni faktor u omogućavanju plovidbe između starih i novih svjetova. Moreplovci su koristili pasate kako bi putovali između Europe i Amerike, omogućavajući im da precizno planiraju i provedu svoje putovanje.

2. Trgovina i kolonizacija: Pasati su omogućavali brodovima da se kreću unaprijed određenim rutama s predvidljivim vjetrovima. To je omogućilo trgovcima da lakše uspostavljaju trgovačke rute i koloniziraju udaljena područja.
3. Povezivanje regija: Pasati su povezivali različite regije i kulture jer su omogućavali kontinuiranu plovidbu između njih. Ovo je poticalo razmjenu roba, ideja i tehnologija među različitim civilizacijama.
4. Pomorske rute: Pasati su oblikovali osnovne pomorske rute koje su se koristile stoljećima. Mornari su iskoristili smjer i stabilnost pasata za navigaciju duž određenih ruta, čime su smanjili rizik od izgubljenosti ili kašnjenja.
5. Razvoj navigacijskih vještina: Navigacija pomoću pasata zahtijevala je razvoj specifičnih navigacijskih vještina. Mornari su morali naučiti kako iskoristiti vjetar i koristiti zvijezde za određivanje smjera. Ovaj razvoj navigacijskih vještina imao je dugotrajan utjecaj na pomorsku navigaciju.



Slika 20. Stalni sjeveroistočni i jugoistočni te zapadni vjetrovi

izvor: <https://scijinks.gov/review/trade-winds/trade-winds-world-map.png>

Španjolski pomorac i istraživač Kristofor Kolumbo bio je prvi koji je shvatio kako pušu pasati (slika 20), a to mu je omogućilo relativno brzo putovanje preko Atlantskog oceana. Kolumbo je primijetio da su ti vjetrovi stabilni i postojani, te da mu skraćuju vrijeme plovidbe. Pasati su bili od vitalnog značaja za transkontinentalnu trgovinu, jer su omogućavali pomorcima brži i sigurniji prijevoz robe i putnika između kontinenata. Kolumbo je također koristio i zapadne vjetrove za svoj povratak u Europu. Zapadnjaci su

vjetrovi koji pušu s juga prema sjeveru na sjevernoj hemisferi, što ih čini idealnim za putovanje iz Amerike prema Europi. Kolumbov uspjeh u plovidbi preko Atlantskog oceana bio je jedan od najvažnijih događaja u povijesti, jer je omogućio proširenje poznatog svijeta i uspostavu novih trgovačkih ruta..

Thor Heyerdahl, norveški pomorac i amaterski arheolog, istraživao je pasate u 20. stoljeću. On je pokazao da su pasati sposobni pogurati jedrenjak izgrađen od trske, napravljen da slični egipatskom brodu, od Maroka do Kariba. Njegov jedrenjak napravljen je od trske tako da simulira egipatske brodove iz antičkih vremena.²²

3.3. PASATI I MONSUNI

Pasati igraju ključnu ulogu u oblikovanju monsuna. Oni pušu s površine oceana prema kopnu, prenoseći toplinu i vlagu. Tijekom ljeta, oceani se sporije zagrijevaju od kopna, stvarajući temperaturne razlike. Pasati prenose vlažan zrak s oceana prema kopnu, uzrokujući niski tlak i obilne kiše, što karakterizira ljetni monsun. Tijekom zime, pasati se povlače, a suhi zrak s kopna prevladava, što dovodi do sušnog i hladnijeg razdoblja, odnosno zimskog monsuna. Dakle, pasati su ključni faktor koji potiče sezonske promjene smjera vjetra i padalina u monsunskim regijama.²³

Monsuni su sezonski vjetrovi koji karakteriziraju promjenjive smjerove vjetra i sezonske promjene u padalinama. Najizraženiji su u tropskim i subtropskim regijama i obično se javljaju na obalnim područjima. Posebno su poznati u južnoj Aziji, jugoistočnoj Aziji i Australiji. Javljaju se kao rezultat sezonskih promjena u temperaturi kopna i oceana. Tijekom ljeta, kopno se brže zagrijava od oceana, stvarajući niski tlak na kopnu i visoki tlak na oceanu. To uzrokuje da vlažan zrak s oceana struji prema kopnu, donoseći obilne kiše. Ovi vjetrovi tijekom ljeta obično pušu iz oceana prema kopnu i nazivaju se ljetni monsuni. Zimi se situacija obrće. Kopno se brže hladi od oceana, uzrokujući visoki tlak na kopnu i niski tlak na oceanu. Tijekom zime, suhi i hladni zrak s kopna struji prema oceanu, što rezultira sušnim i hladnijim uvjetima. Ovi zimski vjetrovi obično pušu iz kopna prema

²² Izvor: internetska stranica "Britannica", Thor Heyerdahl, pribavljeno 25.09.2023.
<https://www.britannica.com/biography/Thor-Heyerdahl>

²³ Izvor: Cornish M., Ives E., Reeds Maritime Meteorology, 3. izdanje, Adlard Coles Nautical, 2006., p 49-52.

oceanu i nazivaju se zimski monsuni. Povezani su s obilnim kišama tijekom ljetnih monsuna, što ih čini ključnim za poljoprivredu i vodoopskrbu u mnogim regijama. Padavine tijekom ljetnih monsuna ključne su za rast usjeva i punjenje rijeka i jezera.²⁴

²⁴ Izvor: Cornish M., Ives E., Reeds Maritime Meteorology, 3. izdanje, Adlard Coles Nautical, 2006., p 52-55.

4. ZAPADNI VJETROVI

Zapadnjaci su na južnoj i na sjevernoj polutki uvijek zapadni vjetrovi. Uzrok zapadnih vjetrova je nejednoliko zagrijavanje zemljine površine te se najveća količina sunčevog upadnog zračenja na oko 30° divergira prema većim geografski širinama. Upravo ti vjetrovi od 30° do 60° su zapadnjaci koji pušu sa zapada na istok te prenose karakteristike toplih zračnih masa sa zapada na istok.

Pasati imaju značajan utjecaj na Golfsku struju, koja je snažna morska struja koja teče sjeveroistočno od Meksičkog zaljeva prema Atlantskom oceanu. Pasati pušu prema zapadu preko Karipskog mora i Meksičkog zaljeva, gurajući toplu i slanu vodu prema zapadu. Golfska morska struja zbog zapadnih vjetrova teče prema sjeveroistoku. Ovaj proces pomaže održavanju Golfske struje, koja ima važan utjecaj na klimatske uvjete obalnih regija sjeveroistočne Sjedinjene Američke Države i zapadne Europe. Golfska struja, donoseći toplu vodu, utječe na regionalne temperature, oborine i ekosustave, te je ključan faktor u oblikovanju vremenskih i klimatskih uvjeta u tim regijama, posebice u Europi.²⁵

Zanimljivo je da su zapadnjaci također odgovorni za daleko bolje surfanje na obali Tihog oceana uz Sjevernu Ameriku u odnosu na obale Atlantskog oceana. Na pacifičkoj strani zapadnjaci i valovi kreću se jednakim smjerom. Na taj način ne utječu na smjer valova koji približavajući se prema obali povećava svoju visinu. U Atlantiku je situacija obrnuta, smjer zapadnih vjetrova i valova je potpuno različit tako da prevladavajući zapadni vjetrovi pušu u smjeru dolazećih valova i na taj način smanjuju visinu valova potrebnih za surfanje. Zato je zapadna obala Sjeverne Amerike raj za surfere.

²⁵ Izvor: Pomorska enciklopedija 1. izdanje, Leksikografski zavod, 1954-1964. Pribavljeno 25.9.2023. <https://pomorska.lzmk.hr/Natuknica?id=2529>



Slika 21. Surfanje na Pacifiku

Izvori: <https://www.sevencorners.com/blog/travel-destinations/top-10-surf-destinations-on-mexicos-pacific-coast>



Slika 22. Surfanje na Atlantiku

izvor: <https://www.southernliving.com/travel/florida/best-surfing-florida>

4.1 UZROK ZAPADNIM VJETROVIMA

Zapadni vjetrovi nastaju kao rezultat globalne cirkulacije atmosfere koja je pokrenuta temperaturnim razlikama između tropskih i umjerenih/regionalnih regija te između kopna i oceana. Sunčeva radijacija intenzivno zagrijava zrak na ekvatoru. Topli zrak postaje manje gust od hladnog zraka, što uzrokuje da se podiže prema gore, stvarajući niski tlak na ekvatoru. Ovaj proces poznat je kao uzlazna konvekcija. Na umjerenim širinama, između

30° i 60° sjeverne i južne geografske širine, zrak se hladi. Hladniji zrak postaje gust i počinje se spuštati prema površini, stvarajući visoki tlak. Ovo se događa zbog gubitka topline na površini oceana i kopna. Rotacija Zemlje ima ključnu ulogu u oblikovanju smjera vjetra. Zbog Coriolisovog efekta, koji je posljedica Zemljinog vrtnje, vjetrovi se skreću prema desnoj strani na sjevernoj hemisferi i prema lijevoj strani na južnoj hemisferi. Kombinacija ovih faktora rezultira zapadnim vjetrovima. Dakle, topli zrak na ekvatoru uzrokuje niski tlak, a hladni zrak na umjerenim širinama uzrokuje visoki tlak. Zbog Coriolisovog efekta, vjetrovi počinju puhati od visokog tlaka prema niskom tlaku, tj. s umjerenih širina prema ekvatoru.

4.2. UTJECAJ ZAPADNIH VJETROVA NA PLOVIDVU

Zapadni vjetrovi također imaju značajan utjecaj na plovidbu i pomorsku navigaciju, posebno u regijama koje se nalaze na umjerenim širinama. Evo nekoliko ključnih činjenica o utjecaju zapadnih vjetrova na plovidbu:

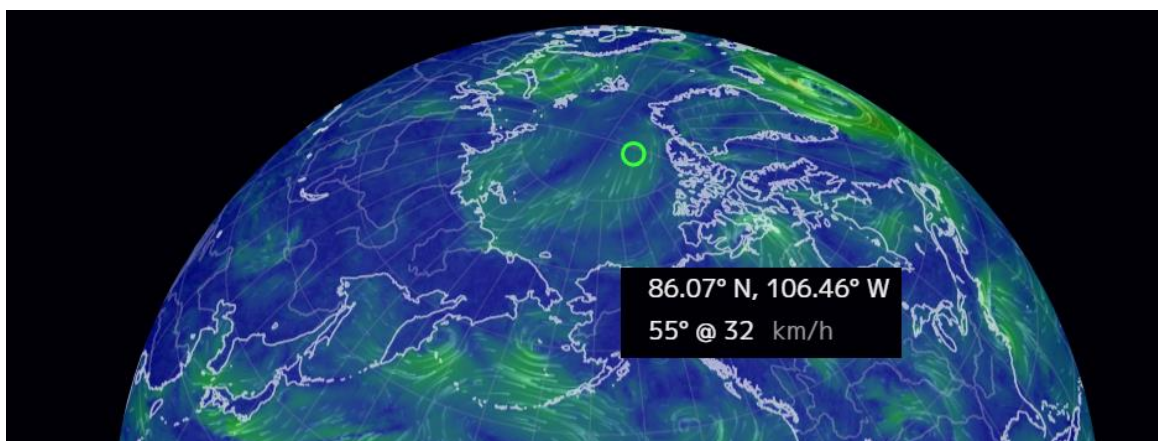
1. Interakcija s pasatima: Zapadni vjetrovi često dolaze u interakciju s pasatima. Zapadni vjetrovi dolaze u interakciju s pasatima na mjestima gdje se susreću na granicama između njihovih zračnih struja. Ta mjesta susreta nazivaju se konvergencijama ili intertropskim konvergencijama. Ovdje dolazi do vertikalnog uspona zraka i stvaranja oblačnih i atmosferskih fenomena.
2. Utjecaj na rutu i putovanje: Zapadni vjetrovi su često iskorištavani za povratak brodova iz regija obratnica prema umjerenim širinama. Brodovi su mogli koristiti ove vjetrove kako bi se vraćali kući npr. iz Amerike u Europu na brži i učinkovitiji način.
3. Navigacija i planiranje rute: Mornari su morali pažljivo planirati rute kako bi iskoristili zapadne vjetrove za povratak kući ili za plovidbu prema drugim destinacijama. Ispravno postavljanje jedara i pravilno korištenje vjetrova bili su ključni za efikasnu navigaciju.
4. Vrijeme i oluje: Zapadni vjetrovi mogu biti povezani s promjenama vremena i stvaranjem oluja. Kada se sudaraju s hladnim zračnim masama iz sjevernih ili južnih širina, moguće su padaline i oluje, što može predstavljati izazove za plovidbu.

5. POLARNI ISTOČNI VJETROVI

5.1. UZROK

Na visokim geografskim širinama hladni polarni zrak tone i širi se formirajući područje visokog tlaka koje se naziva polarni visoki tlak. Na polarnom frontu, ovaj hladni zrak susreće topliji zrak s umjerenih širina, formirajući zonu niskog tlaka i stvarajući polarni frontalni mlazni tok. Polarni frontalni mlazni tok odvaja hladni polarni zrak od toplijeg zraka s umjerenih širina i odgovoran je za olujne uvjete u umjerenim širinama. Općenito, globalna cirkulacija pokreće se neuravnoteženošću između radijacijskih ulaza i izlaza u sustavu Zemlja-ocean-atmosfera. Trodimenzionalna priroda površine Zemlje i rotacija planeta također igraju značajnu ulogu u oblikovanju obrazaca cirkulacije. Globalna cirkulacija ima važne implikacije za vrijeme i klimu, kao i za ocean struje i raspodjelu topline i vodene pare oko planeta. Razumijevanje dinamike globalne cirkulacije bitno je za predviđanje i ublažavanje utjecaja klimatskih promjena.

Stratosfera djeluje kao poklopac na troposferu, zadržavajući vertikalne cirkulacije povezane s vremenom uglavnom unutar troposfere. U blizini polarnih područja nalazi se polarni mlazni pojas i niskotlačno središte koje uzrokuje ciklonsku cirkulaciju oko polarnog minimuma.



Slika 23. Polarni istočni vjetrovi 23.9.2023.

Izvor: <https://earth.nullschool.net/#current/wind/surface/level/orthographic=-156.85,40.09,322/loc=-106.456,86.068>

Polarni istočni vjetrovi su vjetrovi koji pušu s polova prema umjerenim širinama. Oni imaju poseban utjecaj na plovidbu i klimu u blizini polarnih područja, poput Arktika i Antarktike. U blizini površine, polarni istočni vjetrovi obično imaju umjerene brzine, između 30 i 60 km/h, dok najveće brzine polarnih istočnih vjetrova mogu se povećati tijekom jakih anticiklona koji se formiraju nad polarnim regijama. U takvim slučajevima, brzine vjetrova mogu premašiti 100 km/h. Brzina polarnih istočnih vjetrova nije konstantna tijekom cijele godine. Obično varira tijekom godine zbog promjena u atmosferskim uvjetima uzrokovanim sezonskim promjenama u temperaturi i Sunčevoj radijaciji.²⁶ U većini slučajeva, brzina tih vjetrova raste tijekom zimskih mjeseci i opada tijekom ljeta. Važne karakteristike polarnih istočnih vjetrova:

1. Hladni vjetrovi: vjetrovi koji tijekom zimskih mjeseci često donose temperature znatno ispod nule jer dolaze s polarnih područja koja su vrlo hladna i pokrivena ledom. Kada se ovi vjetrovi spuštaju prema nižim geografskim širinama, donose izuzetno hladan zrak.
2. Plovidba i pomorska navigacija: U blizini polarnih područja, mogu stvarati izazove za pomorsku navigaciju kao što su slaba vidljivost, promjenjivi smjer vjetra, jaki vjetrovi ili zamrzavanje palube i opreme zbog niskih temperature. Niske temperature i hladan zrak mogu utjecati na rad brodova, a i ledene ploče na moru otežavaju plovidbu.
3. Učinak na ledene površine: mogu utjecati na raspodjelu i kretanje leda u polarnim područjima kao što su stvaranje hladnih morskih struja, hlađenje površine oceana ili promjena smjera i brzine leda. Ti vjetrovi mogu potiskivati led prema otvorenim vodama, utječući na širenje i stanje ledenih površina.

5.2. UTJECAJ NA PLOVIDBU

Ključni aspekti kako polarni istočni vjetrovi utječu na plovidbu:

1. Hladnoća i led: Hladnoća utječe na rad motora, opremu i posade. Također, ledene ploče koje se mogu pojaviti u polarnom području otežavaju navigaciju.

²⁶ Izvor: Internetska stranica Hrčak; T.Marelić, Utjecaj vjetra na organizaciju jedrenjačke plovidbe na hrvatskom dijelu Jadrana, pribavljeno 26.09.2023
<https://hrcak.srce.hr/file/253640>

2. Izazovi za sigurnost: Rad u hladnim uvjetima s niskim temperaturama i jakim vjetrovima predstavlja izazov za sigurnost posade. Potrebno je osigurati da posada bude opremljena odgovarajućom opremom za boravak u hladnim uvjetima te da su poznate procedure za postupanje u takvim situacijama.

3. Ograničenja navigacije: Zbog niskih temperatura i drugih izazova koje polarni istočni vjetrovi donose, plovidba u tim regijama često zahtijeva dobru pripremu broda. Brodovi koji planiraju putovanje u blizini polarnih područja moraju se pridržavati specifičnih pravila i smjernica za sigurnost.

6. ATMOSFERSKO-OCEANSKI POREMEĆAJI

6.1. EL NINO – REZULTAT SLABLJENJA PASATA

Povremeno se populacije riba na zapadnoj obali Perua u Južnoj Americi zamjenjuju prizorima mrtve ribe na plažama. Neobični vremenski uvjeti događaju se diljem svijeta. Takve nepogode uzrokovane su toplom morskom strujom koja se pojavljuje svake tri do sedam godina u istočnom Tihom oceanu pod nazivom El Niño.²⁷

Uzroci pojave El Niña povezani su s promjenama u atmosferskoj cirkulaciji, koje mogu izazvati smanjenje vjetera koji inače puše prema istoku preko Pacifika, što uzrokuje nakupljanje tople vode u zapadnom Pacifiku. Ta topla voda ima utjecaj na klimatske uvjete u mnogim dijelovima svijeta, što može dovesti do suša, poplava i drugih nepovoljnih klimatskih uvjeta. Zbog toga se El Niño pažljivo prati, a o njemu se javnost često obavještava. Događaji u El Niņu mogu uzrokovati različite vrste štete, poput uništenja usjeva, štete na infrastrukturi, povećanja broja šumskih požara i drugih prirodnih katastrofa. Uz El Niño, postoje i druge srodne pojave koje su također važne za znanstvenike koji proučavaju klimu. Na primjer, La Niña je suprotna pojava od El Niña, koja se javlja kada su površinske temperature oceana ispod prosjeka.

Kako se nastavlja globalno zatopljenje, znanstvenici sve više prate pojave El Niña i La Niña. Promjene u atmosferskoj cirkulaciji i temperaturama oceana mogu uzrokovati sve ozbiljnije klimatske promjene, koje mogu imati dugotrajne i štetne posljedice na naš planet.²⁸

²⁷ Izvor: Internetska stranica: University of Illinois, „Atmospheric Consequences of El Niño”,2010. Pribavljeno 27.9.2023.

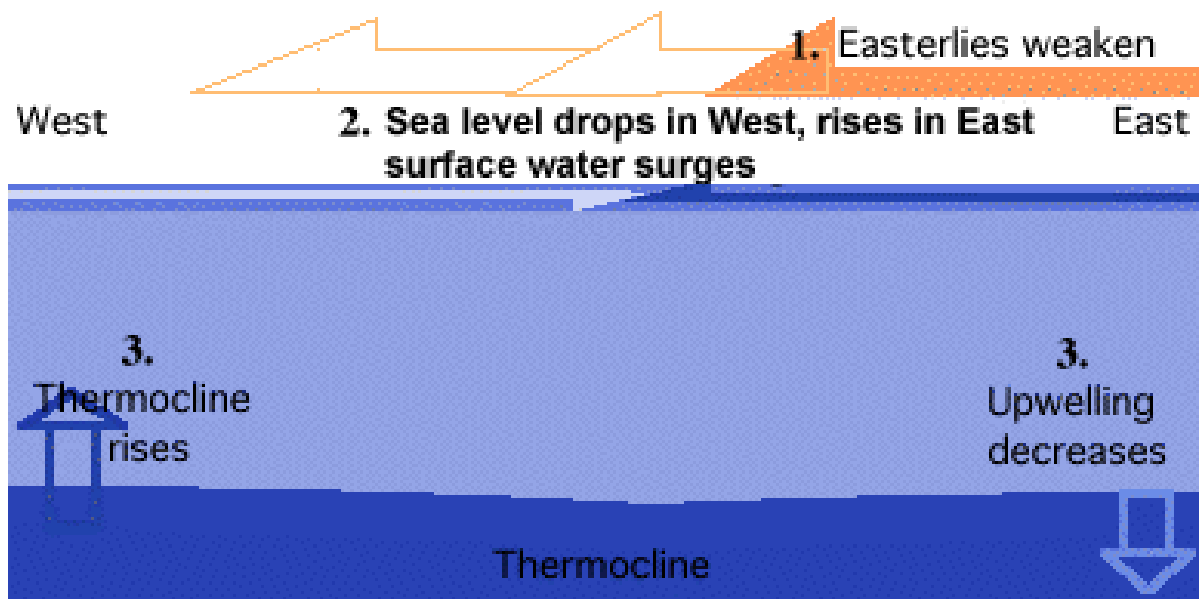
²⁸ Izvor: Internetska stranica University of Illinois, „El Nino Events“. Pribavljeno 18.9.2023. [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/eln/elyr.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/eln/elyr.rxml)

Tablica 2. Godine u kojima se pojavljuje El Niño

El Niño Years			
1902-1903	1905-1906	1911-1912	1914-1915
1918-1919	1923-1924	1925-1926	1930-1931
1932-1933	1939-1940	1941-1942	1951-1952
1953-1954	1957-1958	1965-1966	1969-1970
1972-1973	1976-1977	1982-1983	1986-1987
1991-1992	1994-1995	1997-1998	

izvor: [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/eln/def.rxml#:~:text=El%20Ni%C3%B1o%20Years,1997-1998](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/eln/def.rxml#:~:text=El%20Ni%C3%B1o%20Years,1997-1998)

U tropskom Pacifiku, pasati su jedni od najvažnijih vjetrova. Oni stalno pušu od istoka prema zapadu, gurajući površinske vode oceana prema zapadu. Topla voda koja se nalazi na istočnoj strani Tihog oceana donosi pogodnosti za bujanje vegetacije i bogatstvo ribe u tim područjima. Međutim, kada se pasati oslabe, zbog slabijeg gradijenta tlaka između istoka i zapada, dolazi do zastoja u kretanju površinskih voda prema zapadu. Tada toplija voda zapadnog Pacifika putuje prema istoku i dolazi do južnoameričkih obala, što uzrokuje pojavu El Niña. El Niño znači da dolazi na istočnoj obali Tihog oceana do povećanja temperature mora čime se događa da ribe koje žive u hladnim morima ugibaju. To se očituje u smanjenju količine ribe i biljnog svijeta na tom području. Dublji termoklin koji se nalazi na istočnoj strani Pacifika također igra važnu ulogu u ovom procesu. Kada se površinska voda zagrijava, dolazi do potonuća termoklina. To znači da se hladna, dubinska voda ne izmjenjuje s toplom površinskom vodom, što ograničava količinu hranjivih tvari koje se dostavljaju na površinu. Te su hranjive tvari ključne za održavanje velikog broja različitih vrsta riba koje se obično nalaze u tom području, a smanjenje opskrbe hranjivim tvarima može imati dramatične posljedice po ekosustav.



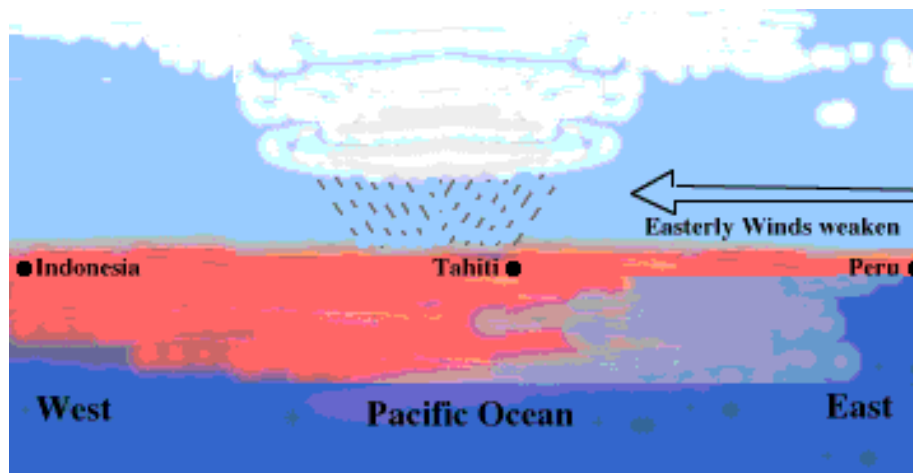
Slika 24. Proces konvekcije u oceanu

izvor: <http://ww2010.atmos.uiuc.edu/guides/mtr/elc/gifs/elyr2.gif>

Konveksijski oblaci su tip oblaka koji se formiraju kao posljedica konvekcije toplog zraka i kondenzacije vodene pare. Ovi oblaci su vrlo karakteristični za tropska i subtropska područja zbog najintenzivnije konvekcije zraka. Konveksijska gibanja su često povezani s obilnom kišom i grmljavinom, što ih čini važnim klimatskim fenomenom. Jedan od glavnih uzroka povećane konvekcije u ovim područjima je zagrijavanje vode ispod, što dovodi do povećanja sile uzgona u donjoj atmosferi. Kada se topla voda pomiče prema istoku, ona povlači sa sobom i oblak i grmljavinu. Primjerice, u područjima poput Indonezije i Australije, suhi uvjeti uzrokovani su pomicanjem tople vode dalje od obale. Kada se to dogodi, dolazi do smanjenja konvekcije zraka, što može dovesti do suše i problema u poljoprivredi i vodoopskrbi. S druge strane, u Peruu i Ekvadoru, povećana sila uzgona uzrokovana toplijom vodom ispod dovodi do obilnih kiša i poplava. Obilne kiše i poplave, s druge strane, mogu uzrokovati štete na infrastrukturi, uništavanje usjeva i gubitak života.

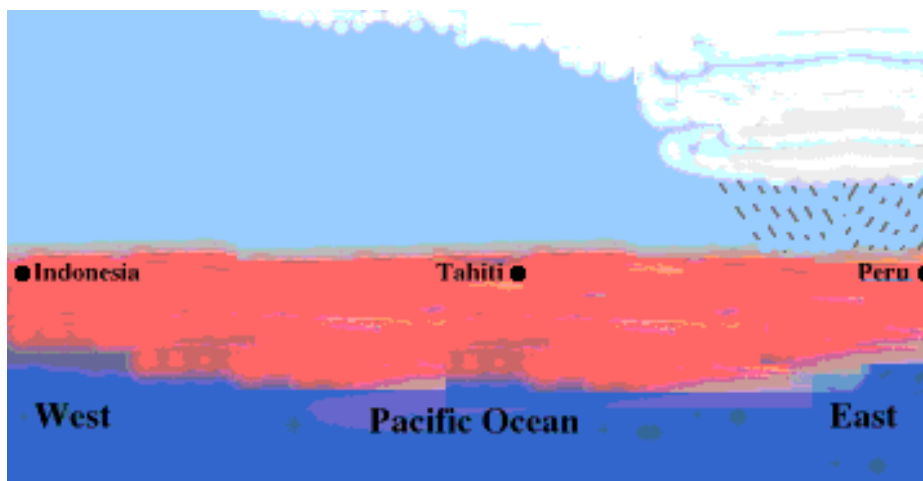
Stoga je važno pratiti ove klimatske uvjete i razumjeti njihove uzroke kako bi se mogli poduzeti odgovarajući koraci u prevenciji šteta i planiranju aktivnosti koje ovise o vremenskim uvjetima. To uključuje i mjere poput izgradnje brana i drugih infrastrukturnih projekata koji će smanjiti rizik od poplava, kao i promicanje održivih praksi u poljoprivredi koje su manje osjetljive na promjene u klimatskim uvjetima. Također, važno je educirati lokalno stanovništvo o klimatskim uvjetima i pružiti im informacije o tome kako se

pripremiti za ekstremne uvjete, kao što su suše i poplave.²⁹ Time će se smanjiti rizik od štete i gubitka života u slučaju klimatskih nepogoda. Osim toga, važno je uložiti napore u smanjenje emisija stakleničkih plinova, koji su glavni uzrok klimatskih promjena. To se može postići korištenjem obnovljivih izvora energije poput sunčeve, vjetrove ili hidro energije umjesto fosilnih goriva.



Slika 25. Utjecaj konvekcijskih oblaka na Pacifiku – slučaj 1

izvor: <http://ww2010.atmos.uiuc.edu/guides/mtr/elN/gifs/elN3.gif>



Slika 26. Utjecaj konvekcijskih oblaka na Pacifiku - slučaj 2

izvor: <http://ww2010.atmos.uiuc.edu/guides/mtr/elN/gifs/elN5.gif>

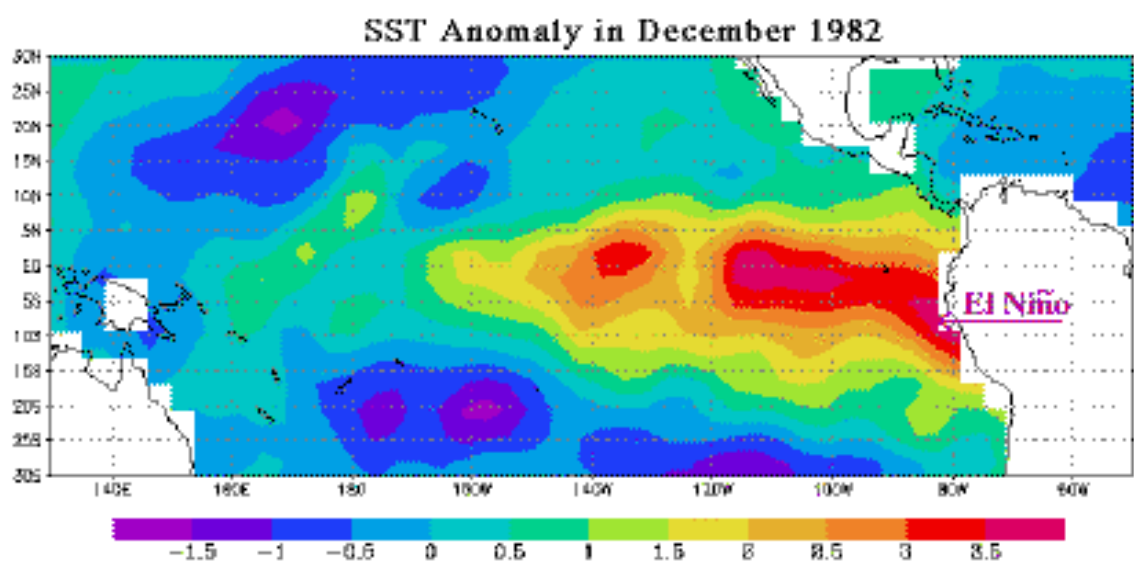
²⁹ Izvor: Internetska stranica : University of Illinois, „Atmospheric Consequences of El Niño“, Pribavljeno: 17.9.2023. [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/elN/atms.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/elN/atms.rxml)

Interakcija između zraka i mora igra ključnu ulogu u El Niño događajima. Kada se dogodi El Niño, dolazi do smanjenja gradijenta površinskog tlaka na zapadu i istoku Tihog oceana, što dovodi do slabljenja pasatnih vjetrova. Ovo slabljenje pasata uzrokuje protok više tople površinske vode prema istoku, što može izazvati obilne kiše u obalnim područjima Južne Amerike. Osim toga, kada se ta topla voda pomiče prema istoku, ona također zagrijava okolni zrak. Ovaj zagrijani zrak se podiže, što dovodi do formiranja oblaka i grmljavine te dodatno pojačava pad tlaka na istoku.

Ovaj ciklus se nastavlja dok se ne dogodi suprotan fenomen, poznat kao La Niña. Tijekom La Niña događaja, pasatni vjetrovi postaju jači, što smanjuje protok tople površinske vode prema istoku. To može dovesti do sušnijih uvjeta u Južnoj Americi i povećane aktivnosti tropskih ciklona u Pacifiku.

Događaj u El Niño identificiran je toplijim od normalnih temperatura površine mora (SST-sea surface temperatures). Grafikon anomalija SST -a, poput onog prikazanog na slici 27, prikazuje razliku između promatranih SST -a i normalnih SST -a za određeni mjesec. Slika 27 prikazuje anomaliju SST -a iz prosinca 1982.

30

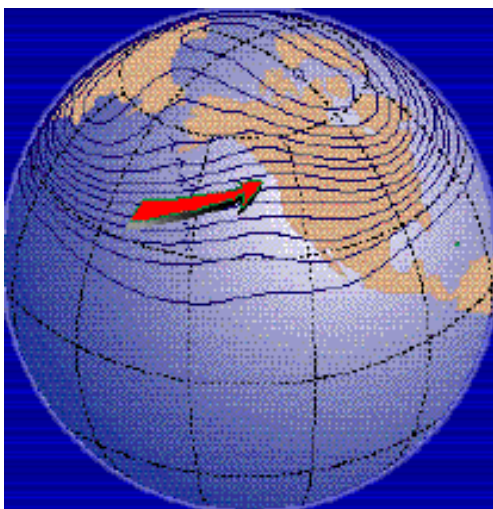


Slika 27. Grafikon anomalija SST -a

izvor: <http://ww2010.atmos.uiuc.edu/guides/mtr/elni/gifs/sst2.gif>

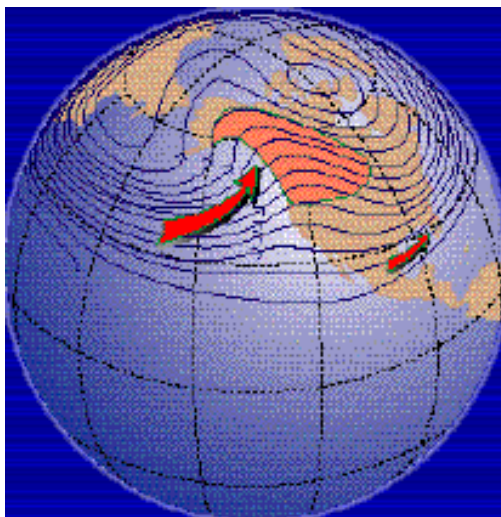
³⁰ Izvor: Internetska stranica : SST Anomaly, Pribavljeno: 20.9.2023.
<http://ww2010.atmos.uiuc.edu/guides/mtr/elni/gifs/sst2.gif>

Žute i crvene boje istočnog Pacifika prikazuju da su vode bile znatno toplije od normalnih. Taj događaj El Niño 1982.-83. bio je najjači u 20. stoljeću, s anomalijom SST-a koja prelazi 3,5°C



Slika 28. Normal winter

izvor: <http://ww2010.atmos.uiuc.edu/guides/mtr/elni/gifs/atms4.gif>



Slika 29. El Nino winter

izvor: <http://ww2010.atmos.uiuc.edu/guides/mtr/elni/gifs/atms5.gif>

U normalnim uvjetima djelovanja pasata (slika 28), Sjedinjene Američke Države bilježe hladne zime. Međutim, za vrijeme El Nina zbog slabljenja pasata vidljivo je zagrijavanje područja od Aljaske do sjevernih ravnica Sjedinjenih Država (slika 29, narančasto područje)

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu nastojalo se objasniti osnovne pojmove o stalnim planetarnim vjetrovima i njihovom utjecaju na plovidbu. Stalni planetarni vjetrovi rezultat su kompleksne interakcije između Sunca, Zemljine rotacije i atmosfere. Na ekvatoru, zrak se zagrijava i podiže, stvarajući niskotlačnu zonu. Iz viših širina, hladan zrak teče prema ekvatoru kako bi popunio tu prazninu, stvarajući tako pasate. Sjeveroistočni trak na sjevernoj hemisferi i sjeverozapadni trak na južnoj hemisferi također su rezultat ovih cirkulacijskih obrazaca. Ovi vjetrovi karakteriziraju stabilnost u smjeru i snazi tijekom većeg dijela godine. Stalni planetarni vjetrovi su važan i fascinantan element Zemljine atmosfere s dubokim utjecajem na svjetsku plovidbu. U uvodu rada objašnjavalo se o vjetru i njegovom utjecaju na Zemlji te njegovom nastanku. U ovome radu korištene su ilustracije radi jasnijeg objašnjavanja pojmova. Opisani su vjetrovi poput pasata, zapadnih i polarnih istočnih vjetrova te atmosfersko-oceanskih poremećaja. Njihova predvidljivost i stabilnost omogućavaju pomorcima da iskoriste prirodne resurse za plovidbu, ali također donose izazove koji zahtijevaju vještost i iskustvo. Razumijevanje ovih vjetrova ostaje ključno za sigurno i učinkovito putovanje na moru, dok njihov globalni utjecaj na klimu podsjeća na važnost očuvanja ekosustava i klimatske stabilnosti planeta Zemlje. Da bi se moglo ploviti po svjetskim vjetrovima, svakako ih prvo treba detaljno proučiti i upoznati se sa njihovim karakteristikama.

LITERATURA

- 1) Gelo, B., Opća i pomorska meteorologija, Sveučilište u Zadru, Odjel za promet i pomorstvo, Zadar, 2010.
- 2) Garrison, T., Ellis, R. Oceanography: An Invitation to Marine Science, 9th edition, Cengage Learning, Boston, 2016.
- 3) Tomislav Čamić, Globalne morske struje, Sveučilište u Rijeci Pomorski fakultet, 2022. <https://www.unirepository.svkri.uniri.hr/islandora/object/pfri:3340>
- 4) Bilić, T., Smjer vjetra– Jedan od problema u antičkoj plovidbi Jadranom, Pomorstvo Scientific Journal of Maritime Research • 26/1(2012)
- 5) Pomorska enciklopedija 1 izdanje,., Leksikografski zavod, 1954-1964. <https://pomorska.lzmk.hr/Natuknica?id=2529>
- 6) Stewart R. H., Introduction To Physical Oceanography, Department of Oceanography, 1997–2000. <https://www.uv.es/hegigui/Kasper/por%20Robert%20H%20Stewart.pdf>
- 7) Recent Evolution, Current Status and Predictions ,Climate Prediction Center, 2022.,online: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf
- 8) https://moodle.srce.hr/2020-2021/pluginfile.php/4512067/mod_resource/content/2/Essentials.of.Meteorology.pdf
- 9) Atlas of pilot charts, Blue Seas, 2022, online : <https://www.offshoreblue.com/nav/pilotcharts.php>
- 10) <https://scijinks.gov/trade-winds/s>
- 11) https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_currents/04currents1.html
- 12) <http://ww2010.atmos.uiuc.edu/guides/mtr/fw/gifs/geos1.gif>
- 13) Bilić T., Smjer vjetra, Arheološki muzej u Zagrebu, online: <https://hrcak.srce.hr/file/124274>
- 14) <https://www.romanoimpero.com/2018/10/lanemoscopio-romano.html>
- 15) <https://www.pinterest.com/pin/210402613828945144/>
- 16) <https://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/500hPa/orthographic=-343.09,-33.60,339>
- 17) <https://www.pinterest.com/pin/210261876328880724/>

- 18) <https://sinovoltaics.com/learning-center/basics/solar-radiation-solar-insolation/>
- 19) <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/af0509d5-844b-4eea-bf1f-aede697f1e0a/planetarna-cirkulacija-i-planetarni-vjetrovi.html>
- 20) <https://www.actionnews5.com/2022/09/20/breakdown-why-winds-are-so-calm-equator/>
- 21) Pasati, zapadni i istočni vjetrovi,online:
<http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/images/HadleyCells.jpg>
- 22) Monim i Gangopadyay,2017,online: https://www.researchgate.net/figure/Earths-time-averaged-atmospheric-circulation-patterns-with-vertical-circulation-cells_fig1_316527696
- 23) <https://www.downtoearth.org.in/blog/africa/harmattan-and-the-air-we-breathe-what-can-we-learn—69526>
- 24) (<https://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/500hPa/orthographic=-343.09,-33.60,339>)
- 25) Top 10 Surf Destinations on Mexico’s Pacific Coast,online:
<https://www.southernliving.com/travel/florida/best-surfing-florida>
- 26) University of Illinois Urbana-Champaign,online:
<http://ww2010.atmos.uiuc.edu/guides/mtr/elN/gifs/elyr2.gif>
- 27) Atmospheric Consequences of El Niño,online:
[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/elN/atms.xml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/elN/atms.xml)
- 28) https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclone_Olivia

POPIS SLIKA

Slika 1. Romanska vjetrovica sa 8 smjerova	3
Slika 2. Germanska vjetrovica sa 16 smjerova	4
Slika 3. Vjetrovica sa smjerovima strana svijeta	5
Slika 4. Saffir-Simpsonova ljestvica kategorija uragana prema brzini vjetra	8
Slika 5. Brzina vjetra na površini mora	9
Slika 6. Na visini pri tlaku 500hPa	9
Slika 7. Skretanje putanje zbog Coriolisove sile	12
Slika 8. Planetarna cirkulacija zraka - model jedne ćelije	14
Slika 9. Maksimum upadnog sunčevog zračenja oko 30° geografske širine sjeverno za vrijeme ljetnog solsticija 21. lipnja	14
Slika 10. Model tri ćelije.....	15
Slika 11. Gibanje zraka u modelu Hadleyeve ćelije	16
Slika 12. Stalni vjetrovi planete Zemlje: pasati, zapadni i istočni vjetrovi	16
Slika 13. Model stalnih vjetrova na Zemlji, sjeveroistočni stalni vjetrovi, zapadni te polarni istočni vjetrovi	17
Slika 14. "Doldrums" ili "equatorial doldrums."	18
Slika 15. Harmatan u gradu Abuja Nigerija.....	20
Slika 16. Pasati 15. 3. 2021.	21
Slika 17. Pasati 15. 5. 2021	22
Slika 18. Pasati 15. 8. 2021.	22
Slika 19. Područje tišine u siječnju i kolovozu 2021.....	24
Slika 20. Stalni sjeveroistočni i jugoistočni te zapadni vjetrovi	26
Slika 21. Surfanje na Pacifiku	30
Slika 22. Surfanje na Atlantiku	30
Slika 23. Polarni istočni vjetrovi 23.9.2023.	32
Slika 24. Proces konvekcije u oceanu.....	37
Slika 25. Utjecaj konvekcijskih oblaka na Pacifiku – slučaj 1	38
Slika 26. Utjecaj konvekcijskih oblaka na Pacifiku - slučaj 2.....	38
Slika 27. Grafikon anomalija SST -a	39
Slika 28. Normal winter	40
Slika 29. El Nino winter	40

POPIS TABLICA

Tablica 1. Naziv i jačina vjetra u beaufortima Bf, pripadna brzina i visina valova	7
Tablica 2. Godine u kojima se pojavljuje ElNino	36