

Opasne meteorološko-oceanske pojave za pomorsku navigaciju

Frankić, Lovro

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:187:798696>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**



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

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

LOVRO FRANKIĆ

**OPASNE METEOROLOŠKO-OCEANSKE POJAVE ZA
POMORSKU NAVIGACIJU**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**OPASNE METEOROLOŠKO-OCEANSKE POJAVE ZA
POMORSKU NAVIGACIJU
DANGEROUS METEOROLOGICAL-OCEANIC
PHENOMENA FOR SEA NAVIGATION**

**ZAVRŠNI RAD
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Pomorska meteorologija i oceanologija

Mentor: izv. prof. dr. sc. David Brčić

Komentor: doc. dr. sc. Tatjana Ivošević

Student: Lovro Frankić

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112086639

Rijeka, rujan 2024.

Student: Lovro Frankić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112086639

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom ***Opasne meteorološko-oceanske pojave za pomorsku navigaciju*** izradio samostalno pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Davida Brčića te komentorstvom 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/la 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



Lovro Frankić

Student: Lovro Frankić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

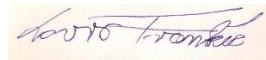
JMBAG: 0112086639

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu 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



Lovro Frankić

SAŽETAK

Kako bi se plovidba brodom mogla izvesti na što sigurniji način potrebno je da pomorac poznaje okolinu kroz koju će ploviti. Pod time se smatra da je pomorac upoznat sa stanjem mora, vjetera te utjecajima sustava poput ciklona i pijavica uobičajenih za to područje. U radu se opisuju meteorološko-oceanske opasnosti koje pomorcima mogu stvarati probleme pri navigaciji. Također opisuje se i njihovo nastajanje kako bi se opasnosti moglo lakše predvidjeti. U radu su opisani magla, vjetar, oluje na moru, valovi, morske struje, El Niño i zaleđivanje. Pojavom nekih sustava na jednome području može uzrokovati jak vjetar i valove u drugom području kao i sušno razdoblje i razdoblje s puno oborina. Neki od ovih procesa se događaju vrlo često dok neki imaju svoje razdoblje nastajanja i djelovanja. Svi ti procesi mogu se pratiti uz navigacijske i ne navigacijske sustave koji pomažu pri utvrđivanju postojanja određenih meteorološko-oceanskih procesa, te koji omogućuju lakše planiranje i sigurniju navigaciju.

Ključne riječi: magla, morske struje, valovi, vjetar, zaleđivanje.

SUMMARY

To navigate the ship as safely as possible, the seafarer must know the environment through which he will sail. This means that the seafarer is familiar with the state of the sea, the wind, and the effects of systems such as cyclones and trombs common to the area. The paper describes meteorological - oceanological hazards that can cause navigational problems for sailors. Their formation is also explained so the danger can be predicted more easily. Fog, wind, storms at sea, waves, sea currents, El Niño, and icing are described in the paper. The appearance of some systems in one area can cause strong wind and waves in another area, as well as a dry period and a period with a lot of precipitation. Some of these processes happen very often, while some have their period of formation and action. All these processes can be monitored with navigation and non- navigational systems that help determine the existence of certain meteorological-oceanological processes and enable easier planning and safer navigation.

Keywords: fog, ocean currents, waves, wind, ice.

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	II
1. UVOD	1
2. MAGLA	3
2.1. ADVEKCIJSKA MAGLA	4
2.2. FRONTALNA MAGLA	8
2.3. ARKTIČKI MORSKI DIM.....	9
3. VJETAR	12
3.1. KOPNENJAK.....	14
3.2. SNAŽNE ČETRDESETE	15
3.3. VANTROPSKE CIKLONE	18
3.3.1. <i>Frontalne ciklone</i>	18
3.3.2. <i>Nefrontalne ciklone</i>	20
3.4. TROPSKI CIKLONI.....	23
3.4.1. <i>Nastajanje tropskog ciklona</i>	23
3.4.1.1. Dinamička teorija postanka tropskog ciklona.....	23
3.4.1.2. Fizikalna teorija postanka tropskog ciklona	24
3.4.2. <i>Izgled tropskog ciklona</i>	24
3.4.3. <i>Pojavnost tropskih ciklona</i>	25
3.4.4. <i>Područja tropskih ciklona</i>	26
3.4.5. <i>Plovidbena polovica</i>	32
4. OLUJE NA MORU	34
4.1. NEFRONTALNE OLUJE.....	34
4.2. FRONTALNE OLUJE	35
4.3. PIJAVICE.....	35
5. VALOVI	38
5.1. VJETROVNI VALOVI.....	39
5.2. VALOVI MRTVOG MORA	40
6. MORSKE STRUJE	42

6.1.	ANTARKTIČKA CIRKUMPOLARNA STRUJA.....	43
6.2.	AGULHAŠKA STRUJA.....	45
6.3.	MOZAMBIČKA STRUJA.....	46
7.	EL NIÑO.....	47
7.1.	UTJECAJI STVORENI POJAVOM EL NIÑA.....	49
7.2.	POSLJEDICE EL NIÑA	50
8.	ZALEĐIVANJE.....	52
9.	POMAGALA PRI NAVIGACIJI	56
9.1.	NAVIGACIJSKA OPREMA	56
9.1.1.	<i>Radar</i>	56
9.1.2.	<i>Sustav za automatsku identifikaciju.....</i>	57
9.1.3.	<i>Brzinomjer</i>	57
9.1.4.	<i>Globalni sustav za određivanje položaja</i>	58
9.1.5.	<i>Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata</i>	58
9.1.6.	<i>Zvučni signali u magli</i>	58
9.2.	NE NAVIGACIJSKA OPREMA.....	59
9.2.1.	<i>Termometar</i>	59
9.2.2.	<i>Higrometar</i>	59
9.2.3.	<i>Barometar.....</i>	60
9.2.4.	<i>Anemometar.....</i>	61
9.2.5.	<i>NAVTEX</i>	61
9.2.6.	<i>SafetyNET služba.....</i>	62
10.	ZAKLJUČAK	64
	LITERATURA	65
	POPIS SLIKA.....	68
	POPIS TABLICA	70

1. UVOD

Najopasnije pojave za pomorski promet – oluje, tropski cikloni, valovi, loša vidljivost i led na moru pomorcima svakodnevno smanjuju sigurnost navigacije. U ovom radu bit će opisani i pojašnjeni meteorološki i oceanološki elementi koji ugrožavaju ili ograničavaju pomorsku plovidbu poput primjerice olujnih procesa i s njima povezanih atmosferskih fronti, niskih oblaka i jakih intenzivnih oborina.

U drugom poglavlju, *Magla*, obrađuju se opasnosti uzrokovane smanjenom vidljivosti, odnosno pojavom različitih uzroka magli na moru i posljedicama.

Treće poglavlje, *Vjetar* odnosi se samo na opasnije vjetrove za plovidbu. Promjene dana i noći uzrokuju promjenu temperature u zraku te tako dolazi do stvaranja vjetra pod nazivom kopnenjak, koji najviše otežava manevar priveza brodovima prilikom uplovljavanja u luku tijekom kasnih večernjih i ranih jutarnjih sati. Prilikom plovidbe u području između 40° i 50° geografske širine, a pogotovo na južnoj hemisferi, brodovi mogu biti podvrgnuti jakim zapadnim vjetrovima i valovima koji im otežavaju plovidbeni pothvat te ugrožavaju njihovu sigurnost. Također, na plovidbenom pothvatu mogu se naći vantropski cikloni te posebno tropski cikloni, kao sustavi velikih vjetrovnih brzina i valova velikih perioda i visina.

Četvrto poglavlje, *Oluje na moru*, odnosi se na oluje na moru te posebno na pijavice. One su također opasni meteorološki sustavi u kojima je postojana velika brzina vjetra te se vrlo brzo translacijski i rotacijski kreću na moru.

Valovi kao peto poglavlje, podijeljeni su na valove mrtvog i valove živog mora. Premda valovi mrtvog mora nemaju tolike visine primjerice oko 4m u odnosu na valove živog mora s mogućim visinama valova preko 20 m, oni predstavljaju opasnosti i zbog velike valne duljine usporedive s duljinom broda. Valovi živog mora mogu zbog velikih visina biti razorni za pomorski promet.

Šesto poglavlje, *Morske struje*, odnosi se na točno određene morske struje opasne u navigaciji te se opisuju njihove brzine protoka i opasnosti koje mogu predstavljati zbog zanošenja broda na plovidbenim putevima. Zbog sve veće popularnosti plovidbe putničkih brodova prema Antarktici dolazi i do povećanog rizika opasnosti zbog djelovanja

Antarktičke cirkumpolarne struje. Također opisana je i Agulhaška i Mozambička morska struja zbog velikog prometa tim područjima.

U sedmom poglavlju, *El Niño*, govori se o negativnim utjecajima fenomena El Niño-a na navigaciju te kako taj poremećaj ne utječe samo na područja u kojemu nastaje, već na područja diljem svijeta.

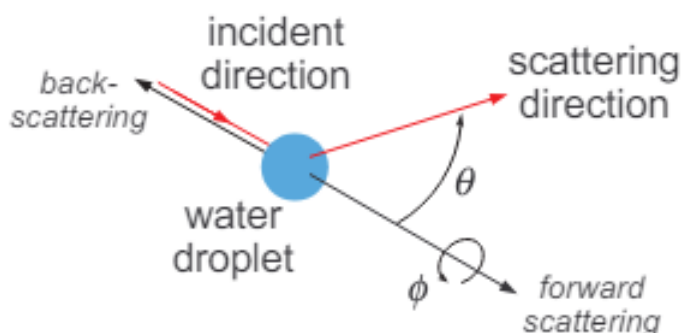
Osmo poglavlje, *Zaleđivanje* predstavlja opasnosti zbog vrlo niskih temperatura (-20° C) koje donose posebne zahtjeve za pomorski promet kao i što š predstavljaju uzrok stresu i umoru koje ljudsko tijelo mora pretrpjeti tijekom plovidbe na područjima ekstremno niskih temperatura.

Deveto poglavlje, *Pomagala pri navigaciji* govori o uređajima koji olakšavaju navigaciju, odnosno omogućuju prijevremeni uvid u opasnost koja se može dogoditi te olakšavaju navigaciju kroz ta područja.

Deseto poglavlje, *Zaključak*, govori o tome kako je vrlo bitno poznavanje meteorološko-oceanskih čimbenika poput oluja, vjetrova, magle, valova, morskih struja i leda na moru kako bi se mogla provoditi što sigurnija navigacija, te kako određeni sustavi i instrumenti pridonose donošenju odluka te povećanju sigurnosti navigacije.

2. MAGLA

Magla je pojava lebdenja vodenih kapljica ili kristala leda u prizemnom sloju zraka u troposferi. Stvara se hlađenjem zraka ispod točke rosišta. Nastale kapljice vode raspršuju vidljivu svjetlost te se sve valne duljine svjetlosti jednako raspršuju. Raspršenje znači da dolazi do promjene smjera gibanja te se dio upadne svjetlosti vraća, a dio reflektira pod različitim kutovima. Rezultat je da predmeti ne daju oštru sjenu te okolina poprima bjeličast izgled. Takvo raspršenje vidljive svjetlosti na kapima vode nazivamo optičkim raspršenjem.



Slika 1. Raspršenje svjetlosti na kapljici vode.

IZVOR: Dumont, E., Hautière, N., Gallen, R., 2010, A Semi – Analytic Model of Fog Effects on Vision, In : Atmospheric Turbulence, Meteorological Modeling and Aerodynamics, online: <https://www.researchgate.net/publication/281695717/figure/fig2/AS:667600489033733@1536179768402/Light-scattered-by-a-water-droplet.png>

Optičko raspršenje svjetlosti (Slika 1.) događa se na kapljicama vode koje su većih promjera no što su valne duljine vidljive svjetlosti (od 400 do 800 nm).

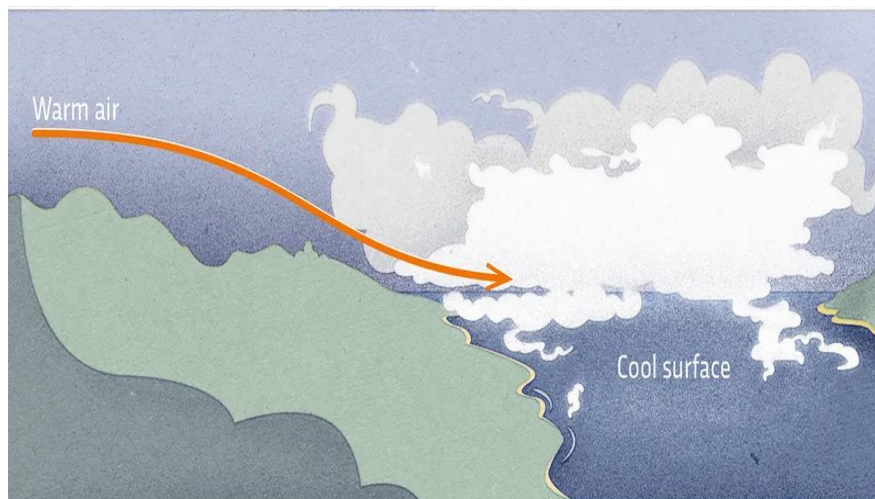
Kada je vidljivost manja od 10 km govori se o sumaglici, a kad je vidljivosti manja od 1 km (otprilike 0,5 NM) govori se o magli.

S obzirom na način postanka magle na moru može se podijeliti u tri vrste:

1. Advekcijaska ili morska magla,
2. Frontalna magla,
3. Arktički morski dim.

2.1. ADVEKCIJSKA MAGLA

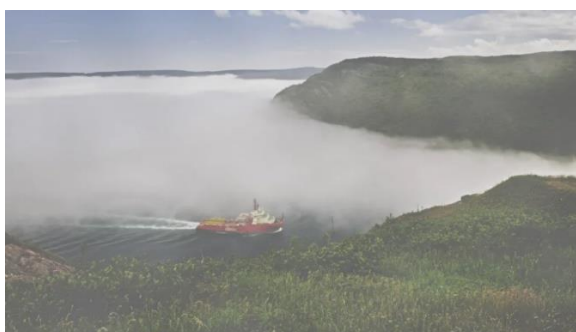
Adveksijska magla je magla koja se najčešće susreće tijekom plovidbe. Uzrok nastanka adveksijske magle je strujanje toplog zraka preko hladne morske površine.



Slika 2. Topao zrak struji prema hladnoj morskoj površini i stvara adveksijsku maglu.

IZVOR: <https://c02.purpledshub.com/uploads/sites/41/2022/07/Advection-fog-255691e.jpg?webp=1&w=1200>

Hlađenjem toplog zraka (Slika 2.), zrak tone prema površini i dolazi do kondenzacije vodene pare i nastajanja magle. Uobičajene brzine vjetera su između 4 i 16 čvorova. Uobičajena područja za stvaranje ove magle su kraj Grand Banks - a, Newfoundland, gdje hladna Labradoriska struja stvara značajno sniženje temperature mora. Topla i vlažna južna zračna struja koja prolazi iznad hladnog mora stvara u okolini učestalu advekciju ili morsku maglu.



Slika 3. Magla u području Grand Banks-a pored Newfoundland - a.

IZVOR: <https://i0.wp.com/mossandfog.com/wp-content/uploads/2019/05/newfoundlandFog2.jpg?resize=1024%2C680&quality=89&ssl=1>

Slika 3. prikazuje advekcijску maglu u području Grand Banks-a.

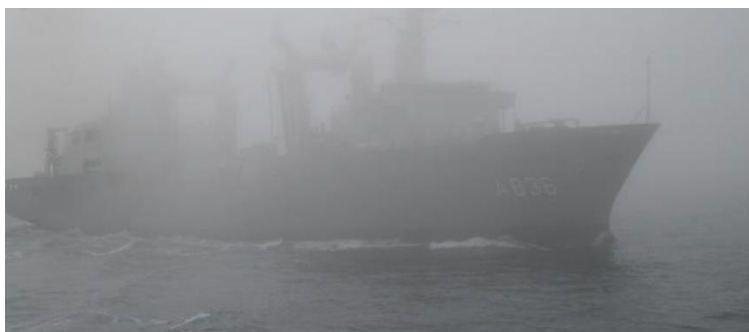


Slika 4. Grand Banks s labradorskom hladnom i Golskom toplom morskom strujom.

IZVOR: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Grand_Banks.png

Grand Bank (Slika 4.) čini plitki kontinentalni šelf uz obale Newfoundland - a dubine do 15 m.

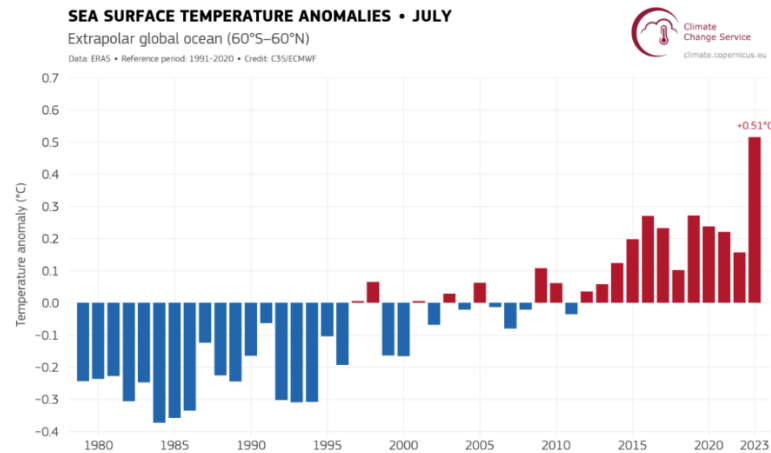
Engleski kanal često je zatočen advekcijskom maglom zbog jugozapadnih vjetrova koji dolaze do područja Velike Britanije s Azora tijekom proljeća i ranog ljeta. Na području Azora nastaje Azorska anticiklona te ona utječe na vrijeme u velikom dijelu Europe pa tako i na nastajanje magle u Engleskom kanalu. Slika 5. prikazuje brod u Engleskome kanalu 8. 2012. godine.



Slika 5. Engleski kanal 8. kolovoza 2012.

IZVOR: https://cspf.co.uk/img/imagecache/0/9/7/d/cache_097db7daa2c332b0ab43c8ffe1a3c3ab.jpeg

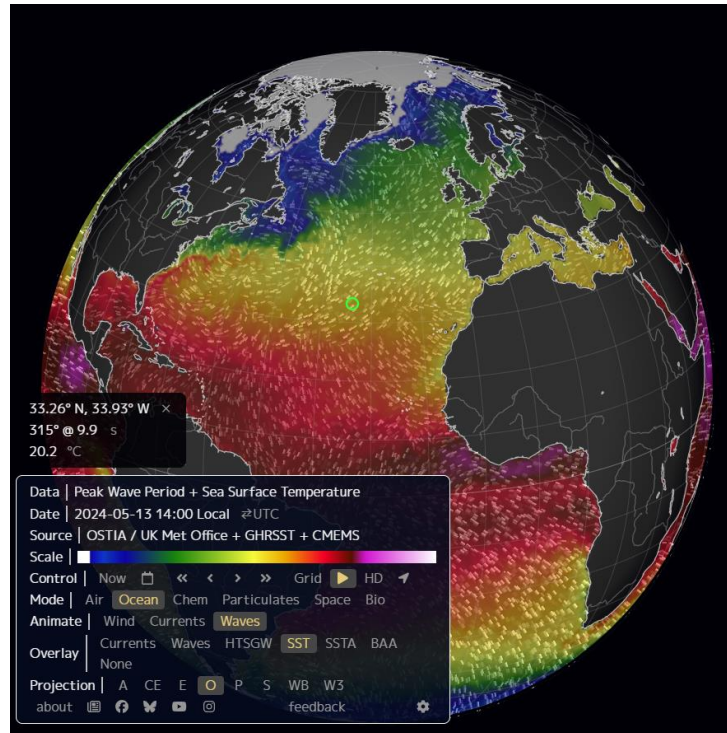
Na područjima oceana, između 60° sjeverne i južne geografske širine daleko od plićina i obala, temperatura površine mora ima vrlo male devijacije od uobičajenih preko solarnog zagrijavanja preko dana a po noći radijacije. Uglavnom temperatura površine mora ne varira više od 0,5 °C. Posebno je značajna temperatura u srpnju 2023. godine koja iznosi 0,51 °C i ukazuje na daljnje učinke globalnog zatopljenja.



Slika 6. Promjene temperature mora od 60°S do 60°N unazad 40 godina za mjesec srpanj.

IZVOR: https://climate.copernicus.eu/sites/default/files/custom-uploads/Page%20Uploads/July%202023%20CB/SST%20Article/fig1a_era5_monthly_anomalies_sst_60S-60N_july.png

Slika 6. prikazuje dijagram na kojem se može razlučiti kako je za srpanj 2023. godine temperatura mora porasla za 0,31 °C u odnosu na 2015. godinu kada je temperaturna anomalija bila samo 0,2 °C te kako je temperatura mora prešla iz negativne vrijednosti u pozitivnu gledajući od 80-ih godina 20. stoljeća do danas.



Slika 7. Temperatura površine mora od 20,2 °C za 13. svibanja 2024.

IZVOR: [earth :: a global map of wind, weather, and ocean conditions \(nullschool.net\)](https://earth.nullschool.net)

U svibnju 2024. godine (Slika 7.) površinska temperatura mora iznosila je 20,2 °C.

Maglu se može predvidjeti tako da se promatra temperatura zraka, smjer vjetra i ostale vremenske parametre te uz određeno predznanje o temperaturi mora koja se očekuje kasnije.

Podaci potrebni za predviđanje magle:

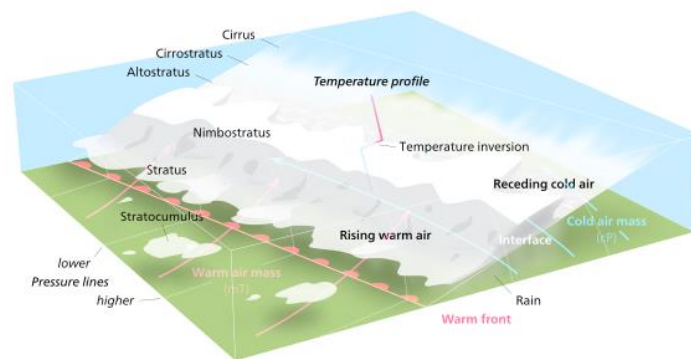
1. Srednja temperatura mora,
2. Srednja temperatura točke rosišta,
3. Postotak učestalosti magle (pri vidljivosti manjoj od 0,5 NM),
4. Postotak učestalosti sumaglice (pri vidljivosti manjoj od 5 NM),
5. Srednja temperatura zraka i
6. Srednji tlak barometra.

Ovi podatci upisuju se u brodski dnevnik svakih sat vremena za vrijeme držanja straže. Svaki podatak ima posebno označenu kućicu za upisivanje vrijednosti osim

postotka učestalosti magle, postotka učestalosti sumaglice i srednje temperature točke rosišta.

2.2. FRONTALNA MAGLA

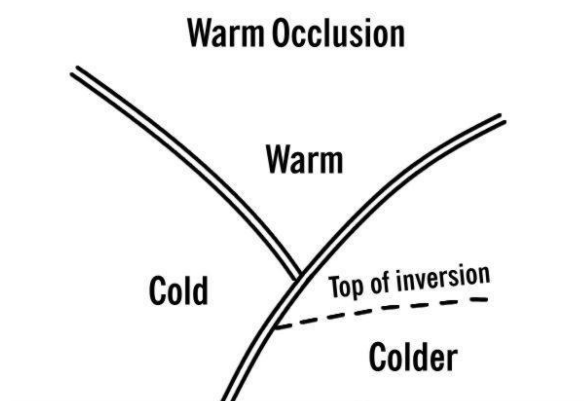
Frontalna magla nastaje na granicama između dviju različitih zračnih masa. Nastajanje je uglavnom povezano i s toplom frontom ili toplom okludiranom frontom. Nailaskom tople fronte topao i vlažan zrak se hladi do točke rosišta i nastajanje vodenih kapljica.



Slika 8. Topla fronta.

IZVOR: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ed/Warm_front.svg/600px-Warm_front.svg.png

Slika 8. prikazuje gibanje tople fronte i pripadni oblačni sloj.

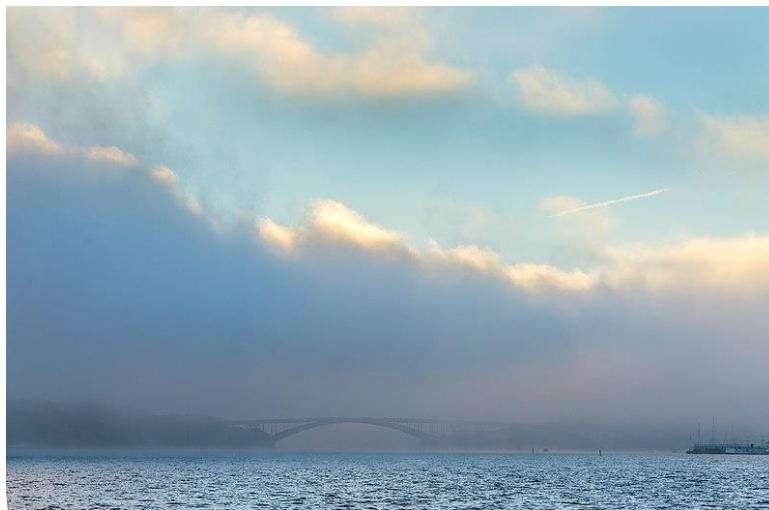


Slika 9. Topla okludirana fronta.

IZVOR: <https://resources.eumetrain.org/satmanu/CMs/CCB/media/images/ccquisk11.jpg>

Slika 9. prikazuje miješanje toplog i hladnog zraka u toplu okludiranu frontu.

Frontalna magla je vrlo uobičajena na području umjerenih i visokih geografskih širina. Uzročnik nastajanja ove magle je relativno topla kiša koja se u doticaju s hladnim zrakom hladi i pada.



Slika 10. Frontalna magla između tople i hladne zračne mase.

IZVOR:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/15/Frontal_fog_in_Stockholm_2015_06.jpg/800px-Frontal_fog_in_Stockholm_2015_06.jpg?20190924181353

Slika 10. prikazuje frontu između tople i hladne zračne mase te prisutnost frontalne magle na njihovim granicama.

2.3. ARKTIČKI MORSKI DIM

Vrsta magle koju se također može susresti na moru je arktički morski dim.



Slika 11. Arktički morski dim.

IZVOR:

<https://images.foxweather.com/static.foxweather.com/www.foxweather.com/content/uploads/2022/12/720/405/GettyImages-1238301725.jpg?ve=1&tl=1>

Arktički morski dim vidljiv iznad površine mora kao para (Slika 11.) ili dim nastaje kad je zrak iznad morske površine hladniji od mora oko 9°C. Ubrzano isparavanje relativno toplog mora u hladan zrak dovodi do kondenzacije¹.



Slika 12. Arktički dim na području Chicago.

IZVOR: <https://nypost.com/wp-content/uploads/sites/2/2022/12/watch-as-arctic-sea-smoke-from-lake-michigan-blankets-chicago-1-1.jpg?resize=1024,560&quality=75&strip=all>

Prema New York Post - u² na području Michigan-skog jezera prisutnosti Arktičkog morskog dima (Slika 12.) pogodovala je temperatura vode od otprilike 4,5 °C i temperature zraka od -20,5 °C. u slučaju da temperatura vode padne ispod 0 °C postoji mogućnost zaleđivanja nekih dijelova Michigan jezera.

Arktički morski dim prevladava u područjima oko Arktičkih i Antarktičkih mora te Baltiku. Njegova uobičajena pojava je i na dijelovima obalnih mora okruženih hladnim kopnom kao što su Labrador, Grenland i Norveška te drugi. Također, za vrijeme zime stvara se na istočnim obalama kontinenata (Newfoundland, iznad mora koja su okružena kopnom te jezera). Ovu maglu prate jaki polarni istočni vjetrovi koji omogućuju stvaranje magle nošenjem hladnog zraka.

¹ Cornish, M., Ives, E. 2006, Reeds maritime meteorology, 3rd edition, Adlard Coles Nautical, London

² New York Post, 2022, Arctic sea smoke from Lake Michigan blankets Chicago:video, 24 December, online [Arctic sea smoke from Lake Michigan blankets Chicago: video \(nypost.com\)](https://nypost.com/2022/12/24/watch-as-arctic-sea-smoke-from-lake-michigan-blankets-chicago-video/)



Slika 13. Arktički morski dim na područja Rockland-a, Maine, SAD, temperatura zraka -24°C , (16. siječanj 2009.).

IZVOR: <https://cms.accuweather.com/wp-content/uploads/2018/02/sea-smoke-013118.jpg?w=632>

Slika 13. prikazuje arktički morski dim koji nastaje na području Rockland - a 16. siječnja 2009. u jutarnjim satima zbog velike razlike temperature zraka i mora.

3. VJETAR

Vjetar primarno nastaje zbog razlike tlakova koje nastaju prilikom neravnomjernog zagrijavanja Zemljine površine primjerice mora i kopna. Vjetar kao zračna strujanja definirana su smjerom i iznosom gibanja česti zraka pa se zbog toga opisuje kao vektorska veličina. Najčešće se prostorno gibanje zraka razmatra u pogledu vertikalne i horizontalne komponente.

Na brodovima se brzina vjetra najčešće mjeri anemometrom. Smjer vjetra određuje se iz smjera iz kojeg vjetar dolazi. Smjer vjetra može se opažati preko smjera kretanja valova (promatranjem smjera kretanja krijesti – ovčica na površini mora). Prividni vjetar (zbroj vektora pravog vjetra i vektora kretanja broda) se određuje na moru kad je pokretni promatrač. Međutim, potrebno je znati pravi vjetar (vektor stvarne brzine i smjera vjetra) pri planiranju plovidbe³.

³ Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. Pristupljeno 11.8.2024. online: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/vjetar>

Tablica 1. Beaufortova ljestvica te opis vjetra za pojedini stupanj.

Stupanj (Bf)	Opis vjetra	Brzina		Visina valova (m)
		(km/h)	(čv)	
0	Tišina	< 1	< 1	-
1	Lahor	1 – 5	1 – 3	0,1 (0,1)
2	Povjetarac	6 – 11	4 – 6	0,2 (0,3)
3	Slab vjetar	12 – 19	7 – 10	0,6 (1)
4	Umjeren vjetar	20 – 28	11 – 16	1 (1,5)
5	Umjereno jak vjetar	29 – 38	17 – 21	2 (2,5)
6	Jak vjetar	39 – 49	22 – 27	3 (4)
7	Žestoki vjetar	50 – 61	28 – 33	4 (5,5)
8	Olujni vjetar	62 – 74	34 – 40	5,5 (7,5)
9	Jaki olujni vjetar	75 – 88	41 – 47	7 (10)
10	Orkanski vjetar	89 – 102	48 – 55	9 (12,5)
11	Jak orkanski vjetar	103 – 117	56 – 63	11,5 (16)
12	Orkan	> 118	> 64	14 (-)

IZVOR: <https://sailing-spirit.hr/wp-content/uploads/2023/01/Slika-16-buforova-ljestvica.jpg>

Tablica 1. prikazuje Beaufortovu ljestvicu koja je podijeljena na 12 stupnjeva. Jačina vjetra iznad 6 Bf smatra se jakim vjetrom s brzinama iznad 40 km/h i visinama vjetrovnih valova iznad 3 m. Uz Beaufortovu ljestvicu dodan je opis utjecaja vjetra na moru. Za 6 Bf visina vjetrovnih valova je iznad 3 m i uočavaju se bijele krijeste posvuda. Iznad 8 Bf govorimo o olujnom vjetru s brzinama preko 62 km/h te valovima iznad 5 m.

Tablica 2. Ljestvica stanja mora.

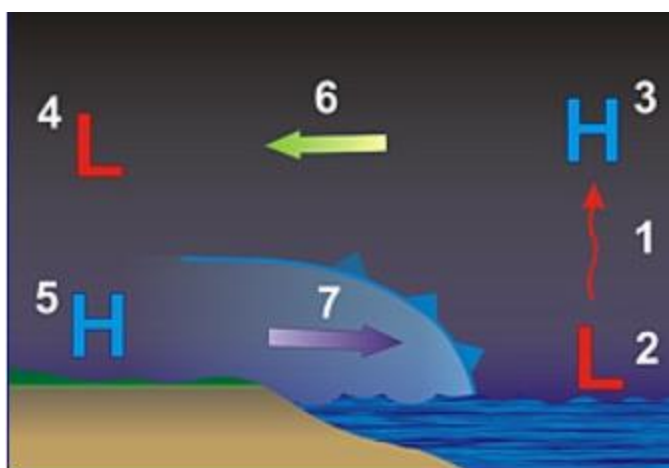
Stanje mora	Opis stanja mora	Značajna visina vala (m)
0	Zrcalno	0
1	Naborano	Od 0 do 0,1
2	Valićasto	Od 0,1 do 0,5
3	Valovito	Od 0,5 do 1,25
4	Uzburkano	Od 1,25 do 2,5
5	Grubo	Od 2,5 do 4
6	Olujno	Od 4 do 6
7	Velo	Od 6 do 9
8	Teško	Od 9 do 14
9	Iznimno teško	Iznad 14

IZVOR: [stanje mora - Hrvatska enciklopedija](#)

Tablica 2. prikazuje devet stanja mora te uz svako stanje daje opis površine mora i signifikantnu visinu valova⁴ koja može biti i preko 14 metara. Za valove visine 3 m pri 6 Bf more je grubo, a za valove visine iznad 5 m pri olujnom vjetru od 8 Bf stanje mora je olujno.

3.1. KOPNENJAK

Kopnenjak nastaje nakon zalaska Sunca kada dolazi do izmjene temperaturne razlike kopna i mora u korist veće temperature mora što nije slučaj tijekom svijetlog dijela dana.



Slika 14. Vjetar kopnenjak koji se javlja nakon zalaska Sunca.

⁴ Signifikantna visina vala – aritmetička sredina 1/3 najviših valova promatranih u određenom periodu

IZVOR: <https://cimss.ssec.wisc.edu/sage/oceanography/lesson3/ocean/images/landbreeze.jpg>

Nakon zalaska Sunca, konvekcija zraka izraženija je nad morem zbog toplog zraka iznad mora (Slika 14. broj 1). Zbog konvekcije zraka nad morem se stvara niži tlak zraka (Slika 14. broj 2). Podizanjem zraka iznad mora, zrak se hladi, zgušnjava (Slika 14. broj 3) te ima tendenciju padanja. Međutim, zbog stalne noćne konvekcije u uvjetima toplog mora, zrak na visini struji prema nižem tlaku (Slika 14. broj 4 i 6) zatvarajući cirkulaciju. S druge strane, kopno se hladi puno brže, nego more te se zrak iznad kopna hladi, zgušnjava i tone (na Slici 14. od broja 4 do 5). Zbog toga nad kopnom nastaje viši tlak zraka (Slika 14. broj 5). Rezultat razlike tlaka između kopna i mora je nastanak sile gradijenta tlaka usmjerena prema moru te zrak s kopna struji iznad mora (Slika 14. broj 7). Ovaj vjetar traje od zalaska do izlaska Sunca, a najveći utjecaj na brodove prilikom operacija priveza/odveza ima u ranim jutarnjim satima kada je razlika temperatura kopna i mora najveća.

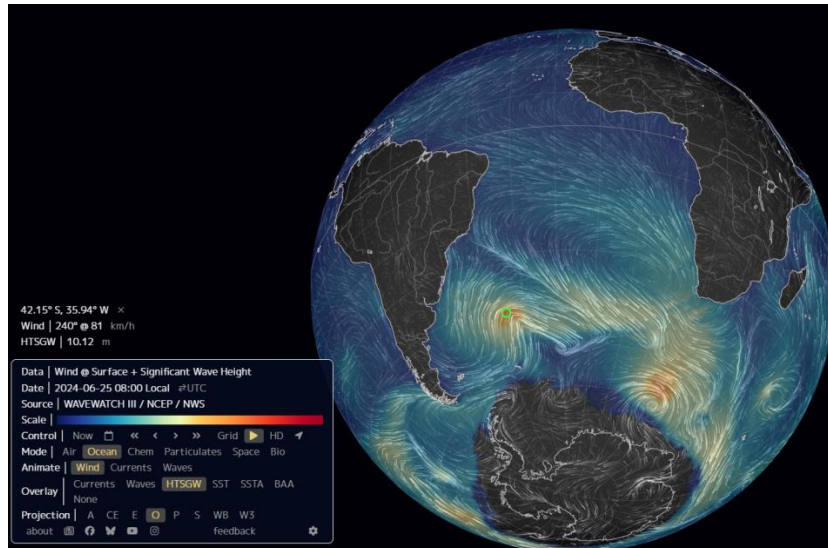
3.2. SNAŽNE ČETRDESETE

Snažne 40-e su vjetrovi u uskom području geografskih širina, oko 40° N i 40° S te su se pokazali kobni za plovidbu. Vjetar se stvara uzdizanjem tople zračne mase koja visinski struji s ekvatora prema polovima. Uzdizanje tople zračne mase rezultat je stvaranja toplinske ravnoteže zbog nejednolikog zagrijavanja Zemljine površine sunčevom energijom.

Ovaj proces potiče stvaranje globalne cirkulacije tako da se zrak spušta na Zemljinu površinu na 30° sjeverne i južne geografske širine poznate pod nazivom konjske širine. Pošto prilikom uzdizanja dolazi do hlađenja zraka, zbog Zemljine rotacije ohlađeni zrak se počinje usmjeravati prema polovima i tada nastaju snažni prevladavajući zapadni vjetrovi⁵ i na otprilike 40° sjeverno i južno od ekvatora.

Iako ovi vjetrovi ne nastaju samo na južnoj, već i na sjevernoj hemisferi, vjetrovi na sjevernoj hemisferi nisu toliko snažni kao oni na južnoj hemisferi, a najveći razlog tome je kopno Sjeverne Amerike, Europe i Azije koje ometa strujanje zraka, dok se na južnoj hemisferi zračna masa mora suprotstavljati samo Južnoj Americi, Australiji i Novome Zelandu.

⁵ Zapadni vjetrovi imaju brzine od 1 čv u najslabijim mjesecima godine do preko 22,5 čv za vrijeme najjačih mjeseci u godini, izvor: [TradeWinds&WesterliesRoses01.pdf \(railsback.org\)](#)



Slika 15. Visina valova i jačina vjetra na području Snažnih 40–ih.

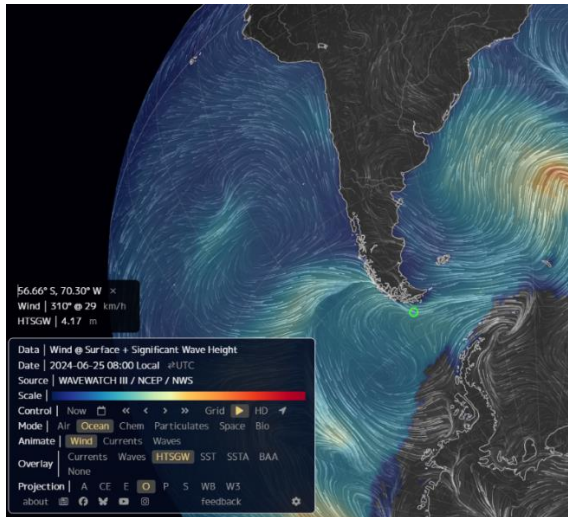
IZVOR: [earth :: a global map of wind, weather, and ocean conditions \(nullschool.net\)](https://www.nullschool.net/)

Na Slici 15. se može vidjeti kako je signifikantna visina vala 10,12 m što predstavlja teško more za plovidbu i jačina vjetra od 44 čv odnosno 81 km/h.

Iako Snažne 40-e mogu biti kobne za brodove, snažniji vjetrovi od ovih se mogu naći samo 10 stupnjeva niže, još pod nazivom "Urlajuće 50-e", a nakon njih "Urlajuće 60-e".

Područja između 40° i 50° južne geografske širine, koja su u prošlosti kao i danas pomorcima stvarale velike problema za sigurnu navigaciju zbog stvaranja velikih brzina vjetra i snažnih valova. Brodovi koji su se kretali prema zapadu nerijetko bi ih očekivalo teško more i snažni vjetrovi u pramac posebno oko rta Horn (55,98° S 67,26° W) u Južnoj Americi te time proglašen najopasnijim prolaskom na svijetu⁶.

⁶ NOAA, 2021, What are the Roaring Forties?, 01 April, online: [What are the Roaring Forties? \(noaa.gov\)](https://www.noaa.gov/) (25.05.2024.)



Slika 16. Rt Horn sa vjetrom snage 16 čv i signifikantnom visinom vala od 4,17 m.

IZVOR: [earth :: a global map of wind, weather, and ocean conditions \(nullschool.net\)](http://earth.nullschool.net)

Slika 16. prikazuje rt Horn s brzinom vjetra od samo 16 km/h a signifikantnom visinom vala od čak 4,17 m.



Slika 17. Brod se suprotstavlja snažnim silama koje uzrokuju vjetar i valove na području snažnih 40-ih.

IZVOR: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/roaring40s.jpg>

Slika 17. prikazuje plovidbu u olujnom stanju mora.

3.3. VANTROPSKE CIKLONE

Vantropske ciklone su opasne za navigaciju zbog snažnog vjetra, vjetrovnih valova i valova mrtvog mora. Vantropske ciklone su veliki zračni vrtlozi promjera od 100 do 400 km kojima je u središtu vrtloga područje najnižeg tlaka.. Specifičnost naziva „vantropske ciklone“ je definiranje područja nastajanja iznad 30° geografske širine sjeverno i ispod 30° južno.

Vrtložno gibanje ciklona na sjevernoj i na južnoj hemisferi nije isto zbog utjecaja Coriolisove sile na smjer skretanja zraka. Zbog Zemljine rotacije strujanje zraka nije pravocrtno, već ovisno o sjevernoj ili južnoj hemisferi zakreće u desnu ili lijevu stranu pa je stoga gibanje vrtloga na sjevernoj hemisferi protusatno dok je na južnoj hemisferi strujanje zraka satno. Prosječne brzine vjetra vantropskih ciklona su od 30 do 40 km/h što je oko 6 Bf.

Vantropske ciklone se dijele na:

1. frontalne ciklone, i
2. nefrontalne ciklone.

3.3.1. Frontalne ciklone

Kada se govori o frontalnim ciklonama, onda je potrebno pratiti doba ciklona u pripadajućem vremenskom procesu. Dob ciklona je podijeljena na 4 faze: val na fronti, mlada ciklona, okludirana fronta i faza raspada ciklone.

Za prvu fazu (*val na fronti*) poremećaj nastaje u prizemnim atmosferskim slojevima na stacionarnoj fronti te se onda proteže na sve veće visine. Dolazi do savijanja fronte uslijed razlike gibanja toplog i hladnog sektora. U prvom dijelu tlak zraka pada te izobare poprimaju zatvoreni oblik, a izohipse poprimaju oblik vala. Dolazi do razvijanja naoblake i oborina. Ispred tople fronte dolazi do pada tlaka, a iza hladne fronte rasta tlak.

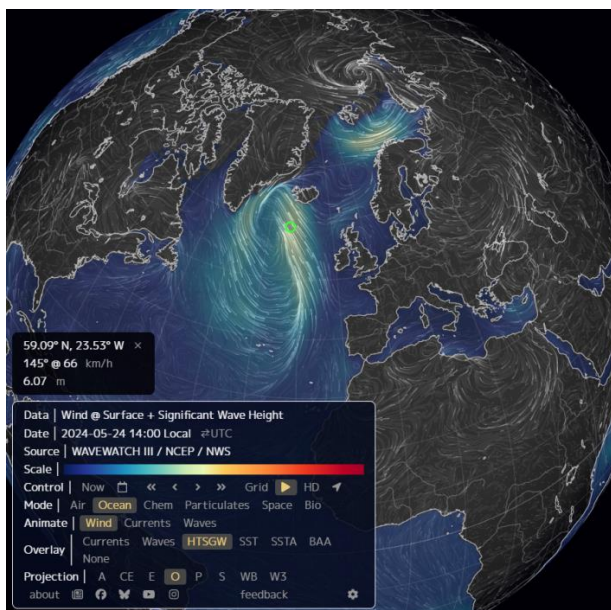
Nakon otprilike 24 h nastupa druga faza razvitka ciklona, *mlada ciklona*. Ciklona se produbljuje jer dolazi do povećanja amplitude vala na stacionarnoj fronti te se ciklona gradi u visinu što znači podižući spiralno gibanje zraka uvis. Ciklon svojim zatvorenim kruženjem obuhvaća sve veće područje djelovanja te dolazi do znatnog pada tlaka.

Najopasnija treća faza, okludirana fronta, pojavljuje se za vrijeme okluzije ciklona 12 do 24 h nakon druge faze, a nastaje jer hladna fronta dostiže toplu te se javljaju najjači

vjetrovi i najviši valovi. Ciklonsko kruženje na površini razvija se u visine, dolazi do sužavanja toplog isječka i iz središta dolazi do premještanja gradijenata tlaka, relativne vlažnosti (koja je veća na rubovima) i veće temperature zraka prema rubovima. Naoblake i oborine prate hladnu, toplu i okludiranu frontu.

Zadnja faza ciklone je faza raspada ciklone. U ovoj fazi nestaje topli isječak i prizemna temperaturna razlika. Toplu zračnu masu istisnula je hladna zračna masa i u središtu se tlak počinje povećavati te ciklona postepeno slabi.

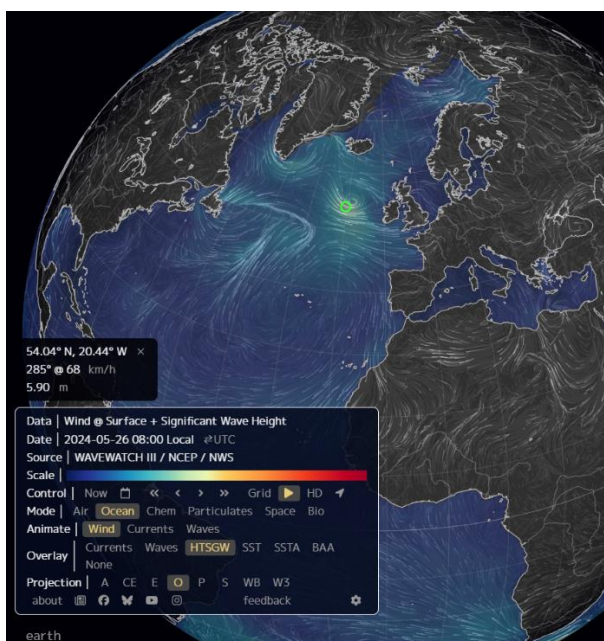
Primjer frontalne ciklone je islandska ciklona.



Slika 18. Islandska ciklona, 24 svibnja 2024.

IZVOR: [earth :: a global map of wind, weather, and ocean conditions \(nullschool.net\)](https://nullschool.net)

Slika 18. prikazuje Islandsku ciklonu u svibnju 2024. godine s vjetrovima brzine 66 km/h te signifikantnom visinom vala od 6,07 m.



Slika 19. Islandska ciklona, 26. svibnja 2024.

IZVOR: [earth :: a global map of wind, weather, and ocean conditions \(nullschool.net\)](https://earth.nullschool.net/)

Slika 19. prikazuje Islandsku ciklonu u svibnju 2024. godine s vjetrovima brzine 68 km/h te signifikantnom visinom vala od 5,9 m.

3.3.2. Nefrontalne ciklone

Nefrontalne ciklone nastaju kao posljedica barokline nestabilnosti koja nastaje zbog nejednakih temperatura prizemlja, primjerice mora i kopna. Ona nije vezana uz frontalne poremećaje te se javljaju u obliku toplinskih, orogenetskih i visinskih ciklona.

Zbog jakog zagrijavanja velike površine, najuobičajenije kopnene površine u odnosu na okolno more, dolazi do nastajanja toplinske ciklone. Nešto su veće od područja uspravnog kruženja vjetra. Pošto je mali sadržaj relativne vlažnosti ne prevladavaju jake naoblake. Zimi, na površinama mora na Sredozemlje mogu uzrokovati ciklogenetičke procese.

Ciklone koje nastaju u zavjetrinama orografskih prepreka, obiluju vedrim vremenom zbog adijabatskih spuštanja zraka advekcije zraka. Međutim, ako se na tome dijelu nalazi voda poput jezera ili rijeka i prisutno je jako isparavanje, može doći do nastajanja oblaka i oborina. Orografske ciklone s oblacima i oborinama vrlo su česte na području Sredozemlja zbog vodene površine i mogućnosti jakog isparavanja ljeti.

Zbog jakih silaznih strujanja iz troposfere prema površini Zemlje dolazi do pada tlaka te se tada pojavljuju visinske ciklone. Zbog svoje velike površine na kojoj se zrak uzdiže dolazi do smanjenja stabilnosti zraka i ovisno o tome kolika je relativna vlažnost zraka može doći do nastajanja oblaka i oborina⁷.

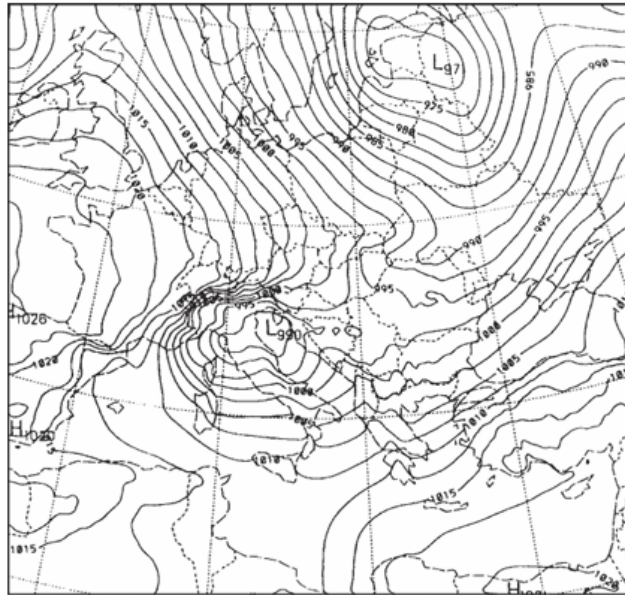
Jedna od nefrontalnih ciklona je jadranska ciklona. Ona se najčešće pojavljuje tijekom ljeta. Prije nego što uopće dođe do područja Jadrana utjecaj ciklone se može osjetiti postojanjem juga kojega opisuju vrlo velike brzine vjetera (srednja 10-minutna brzina juga iznosi 19 m/s, a maksimalni 10-minutni udar juga iznosi 25,6 m/s), pa je i samo trajanje juga za vrijeme ove ciklone puno duže nego kod drugih ciklona⁸.

Jedna od najsnažnijih Jadranskih ciklona dogodila se 27. ožujka 1995. naglim prelaskom hladnog zraka iznad Alpa na Jadran. Uz snažne vjetrove uzrokovane zbog ciklogenetskih procesa, s ciklonom je došla jaka kiša i snijeg. Ciklona su opisivali iznimni pad temperature i rasta tlaka te udari bure od 162 km/h. Iako je dan prije prognoza davala podatke o slaboj cikloni iznad sjeverne Europe s najnižim tlakom od 995 hPa, snažni zapadni vjetrovi nisu dopuštali da se ciklona pomiče prema jugu narednih 24 sata, te se zbog toga dio ciklone našao iznad Dinarskog gorja. Sljedećeg dana tlak je s 995 hPa pao na 975 hPa te se ciklona vrlo brzo produbljivala, međutim, grafikoni nisu pokazivali ponor u zavjetrini Alpa. U sljedećih 24 sata geopotencijalni i termalni ponori su se pojačali te su se nastavili kretati prema Alpama, a ciklon u zavjetrini se dalje razvijao iznad sjevernog Jadrana. Tako brzi razvoj ciklona inače nije bio moguć iznad sjeverne Europe zbog snažnog uzlaznog strujanja iznad Alpa koje na kraju dovodi do ciklogeneze u Genovskom zaljevu. Međutim, smatra se da je dodatnom razvoju ciklona iznad Jadrana potpomogla hladna fronta iznad Dinarskog gorja⁹.

⁷ Gelo, B. 2010, Opća i pomorska meteorologija, Sveučilište u Zadru, Odjel za promet i pomorstvo, Zadar

⁸ Ban, N., 2010, Prostorna razdioba ciklonalnog juga na Jadranu, Prirodoslovno – matematički fakultet, Zagreb

⁹ Brozović, N., Jurčec, V. 1997, Numerička simulacija razvoja Jadranske ciklone, online: [Numerička simulacija razvoja Jadranske ciklone \(srce.hr\)](http://www.srce.hr)



Slika 20. Analiza srednjeg tlaka zraka na površini mora iznad Europe (28.03.1995., 00:00 UTC).

IZVOR: [geofizika 14 1998 29-46 BRZOVIC.pdf](#)

Slika 20. prikazuje izobare i središte ciklone od 990 hPa iznad područja Jadrana. Brodovi nisu bili obaviješteni za razvoj ovakve ciklone zbog nedostataka instrumenata za prognoziranje ovakvih iznimnih slučajeva. Ciklonu su opisivale nagle promjene tlaka u središtu (s 995 hPa u sljedećih 12 sati tlak je pao na 975 hPa) te snažan vjetar (najjači udari bure prelazili su brzine od 162 km na sat) koji je otežavao mogućnost plovidbe.

3.4. TROPSKI CIKLONI

Tropski cikloni su vrlo snažni vrtložni sustavi vjetrova koji imaju promjer od 100 do 1 000 km. Oni se pojavljuju u oceanima tropskog područja između 8° i 20° sjeverne i južne geografske širine. Područja zahvaćena ciklonima podložni su jakim olujama i nevremenima. Smatraju se najintenzivnijim prirodnim nepogodama na Zemlji. Opisuju se kao jednostavan toplinski stroj s dva spremnika različitih temperatura. Topliji spremnik spontano predaje energiju pri čemu zrak obavlja rad i predaje višak energije hladnijem spremniku.

3.4.1. Nastajanje tropskog ciklona

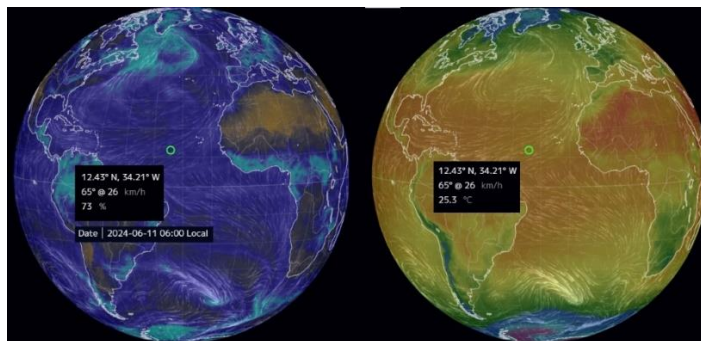
Tropski cikloni mogu se razviti samo iznad morske površine u područjima visokih temperatura oko 24 °C i velike relativne vlažnosti zraka. Najučestalije područje nastajanja je na granici pasatnih vjetrova i pojasa ekvatorijalnih tišina.

Teorije postanka tropskog ciklona:

1. Dinamička (frontalna) teorija, i
2. Fizikalna (konvektivna) teorija.

3.4.1.1. Dinamička teorija postanka tropskog ciklona

U ovoj teoriji nastanka tropskog ciklona mora postojati vrtložno strujanje, značajna temperaturna razlika dviju zračnih masa veća od 15 °C, jako uzlazno strujanje te dva suprotna strujanja koja čine sjeveroistočni i jugoistočni pasat. Strujanjem relativno hladnog zraka iz umjerenih sredina prema ekvatorijalnom području dolazi do konvekcije tropskog zraka zbog nailaska hladnijeg zraka. Ekvatorijalni pojas ima temperature zraka iznad 20°C i relativnu vlažnost iznad 60 % tijekom cijele godine.



Slika 21. Temperatura zraka uz površinu mora 25,3°C i relativna vlažnost 73% na dan 11. lipnja 2024. na koordinatama 12.43°N 32.21°W.

IZVOR: <https://earth.nullschool.net/#current/wind/surface/level/overlay=temp/orthographic=-30.31,4.17,316/loc=-34.211,12.432> (preuzeto 11. lipnja 2024)

Na Slici 21. prikazan je topao zrak 25,3°C i zrak visoke relativne vlažnosti od 73 % na dan 11. lipnja 2024. Slike su dobivene uporabom animacije Earth.nullschool.net. Konvekcija vrlo toplog tropskog zraka znači da će na nižim visinama doći do kondenzacije i oslobađanja latentne topline isparavanja koja rezultira postizanjem jednog od uvjeta za stvaranje tropskog ciklona. Suprotne pasatne struje stvaraju dinamički impuls koji utječe na rotaciju zraka te stvara drugi uvjet nastanka tropskog ciklona. U slučaju da jedan od ova dva nužna uvjeta nije zadovoljen, neće doći do stvaranja tropskog ciklona.

3.4.1.2. Fizikalna teorija postanka tropskog ciklona

Obilježja fizikalne teorije predstavlja vertikalni temperaturni gradijent kojim nastaje uzlazno strujanje toplog zraka velike relativne vlažnosti do granice troposfere oko 15 km visine. Uzlaznim strujanjem potiče se kondenzacija okolnog zraka i oslobađanje latentne topline isparavanja. Na granicama zona tišina zbog utjecaja devijacijskih sila, pasatni vjetrovi potiču ciklonsko vlažno strujanje. Pasati iz umjerenih širina nose hladan zrak koji potiskuje topli zrak uvis te uzrokuje uzlazno strujanje, a to se može zaključiti opažanjem oblaka Cumulusa i Cumulonimbusa.

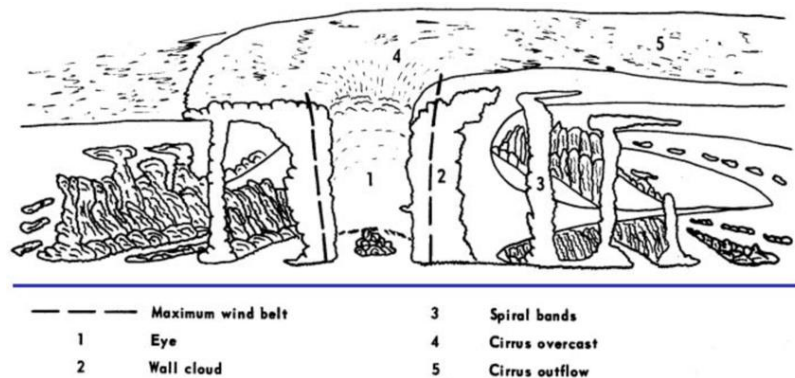
3.4.2. Izgled tropskog ciklona

Za razliku od vantropskih ciklona, tropski cikloni su puno manjih promjera (od 100 do 300 milja) te su izobare nalik kružnici. Tropski ciklon se dijeli na vanjsku granicu ciklonskog područja, središnju zonu tropskog ciklona i oblačni zid.

Vanjska granica ciklonskog područja ima najveći tlak te se približavanjem središtu ciklona tlak smanjuje, dok ne dođe do vanjske granice središta ciklon gdje tlak opada naglo.

Središnja zona od vanjske granice ciklonskog područja razdijeljena je oblačnim zidom. Vjetrovi su u središtu slabi te imaju vrlo promjenjiv smjer. Također može biti da je u središtu more mirno s vedrim nebom ili s visokim oblacima. Ako nije niti jedan od tih slučajeva tada prevladavaju jaki valovi koji se ukrižuju.

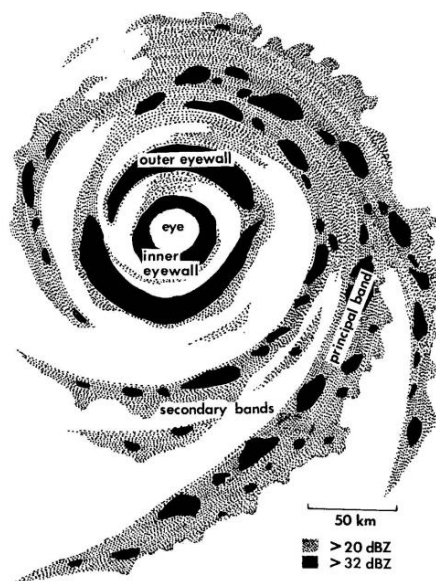
Oblačni zid se pojavljuje ondje gdje centrifugalna sila uravnotežuje gradijentnu silu. Ima oblik lijevka zbog većeg trenja na površini mora koje smanjuje utjecaj centrifugalne sile te stvara manji promjer i povećanja utjecaja centrifugalne sile s visinom zbog smanjenja utjecaja trenja te stvara veći promjer s visinom.



Slika 22. Bokocrt tropskog ciklona.

IZVOR: <https://www.researchgate.net/profile/Ivan-Viveros-Gongora/publication/358499375/figure/fig2/AS:11431281150651918@1681902798775/Scheme-of-a-tropical-cyclone-Smith-2013.png>

Slika 22. prikazuje vertikalni presjek tropskog ciklona te se jasno može vidjeti središte ciklona, oblačni zid i vanjska granica ciklona.



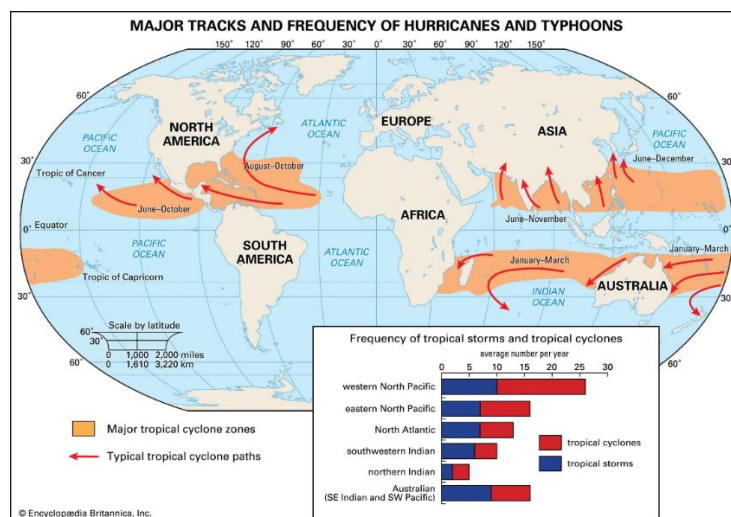
Slika 23. Nacrt tropskog ciklona na sjevernoj hemisferi s radara.

IZVOR: <https://www.meteo.physik.uni-muenchen.de/~roger/TCLeCs/fig2.12.png>

Slika 23. prikazuje horizontalni presjek tropskog ciklona s pomoću RADAR - a s maksimalnim brzinama vjetra od 50 do 60 m/s.

3.4.3. Pojavnost tropskih ciklona

Smatra se da se preko 90 % tropskih ciklona stvara unutra šest područja. Na sjevernoj hemisferi postoje 4, dok na južnoj samo 2 područja stvaranja tropskih ciklona.



Slika 24. Kretanja i učestalost postojanja tropskih ciklona.

IZVOR: <https://cdn.britannica.com/72/7572-050-9E2D9F4E/tracks-frequency-cyclones-storms.jpg>

Slika 24. prikazuje kretanja i učestalosti postojanja tropskih ciklona. Najviše tropskih ciklona javlja se u zapadnom sjevernom Tihom oceanu i to oko 15 godišnje, a najmanje u jugoistočnom Indijskom oceanu oko 5 godišnje.

3.4.4. Područja tropskih ciklona

1. Područje 1. Sjeverni Atlantik,
2. Područje 2. Jugoistočni dio sjevernog Pacifika,
3. Područje 3. Jugozapadni dio sjevernog Pacifika (Daleki Istok),
4. Područje 4. (A) Arapsko more,
5. Područje 4. (B) Bengalski zaljev,
6. Područje 5. Južni Indijski ocean,
7. Područje 6. (A) Vode Australije do 160° istočne geografske dužine, i
8. Područje 6. (B) Južni Pacifik, zapadni dio, istočno od 160° istočne geografske dužine.

Područje 1

Ovo ciklonalno područje čine zapadnoindijsko otočje, Karipsko more, istočne obale SAD-a te Meksički zaljev. Tropski cikloni područja 1 su po učestalosti treći na svijetu.

Brzine vjetra mogu biti veće od 64 čv. Najjači tropski ciklon na području sjevernog Atlantika, Ike (2008. godine) imao je najveću brzinu vjetra od 145 čv.



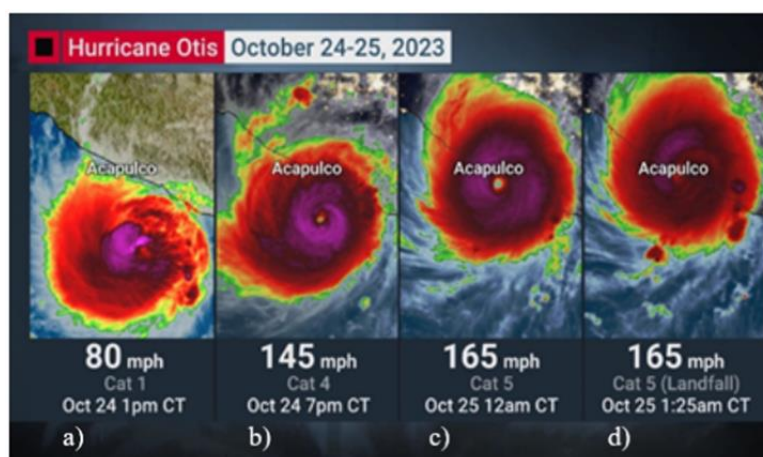
Slika 25. Tropski ciklon Harvey.

IZVOR: [Western Gulf of Mexico Tropical Cyclones from 1851 to 2018 \(weather.gov\)](https://www.weather.gov/wmo/western-gulf-of-mexico-tropical-cyclones-1851-to-2018)

Slika 25. prikazuje tropski ciklon Harvey koji je 17. kolovoza 2017. godine zahvatio područje Meksičkog zaljeva s maksimalnom brzinom vjetra od 115 čvorova i niskim tlakom u središtu od 937 hPa.

Područje 2

U području 2 tropski cikloni se formiraju uzduž zapadnih obala Meksika i Središnje Amerike. Po učestalosti nastajanja su drugi po redu.



Slika 26. Razvoj tropskog ciklona Otis u 12 satnom vremenskom razdoblju.

IZVOR: <https://pbs.twimg.com/media/F9c9GoKWQAAKjAs.jpg:large>

Slika 26. prikazuje tropski ciklon Otis koji je u razdoblju od 22. do 25. listopada 2023. godine prouzročio jednu od najvećih prirodnih katastrofa na području Meksika. Spada pod petu kategoriju tropskih ciklona po Saffir-Simpsonovoj ljestvici koja opisuje tropske ciklone vjetrovne snage iznad 137 čv. Na slici 24.a ciklon Otis ima brzinu vjetra od 70 čv (70 čv =80 mph) i pripada kategoriji 1. Nakon 6 sati, slika 24b), ima brzinu vjetra do 126 čv i kategorizira se kao klasa 4. Na slici 24.c prikazuje podatak o maksimalnoj brzini vjetra od 144 čv i kretanje ciklona prema kopnu. Na slici 24.d tropski ciklon više ne povećava brzinu zbog toga što se nalazi iznad kopna te se zbog trenja s tlom i prestanka dovođenja toplinske energije iz mora počinje smanjivati brzina vjetra.

Saffir-Simpson Hurricane Scale		
Category	Wind Speed	
	mph	knots
5	≥156	≥135
4	131-155	114-134
3	111-130	96-113
2	96-110	84-95
1	74-95	65-83
Non-Hurricane Classifications		
Tropical Storm	39-73	34-64
Tropical Depression	0-38	0-33

Slika 27. Saffir-Simpsonova ljestvica

IZVOR: <https://cdn.serc.carleton.edu/images/eslabs/hurricanes/saffir-simpson-sm.gif>

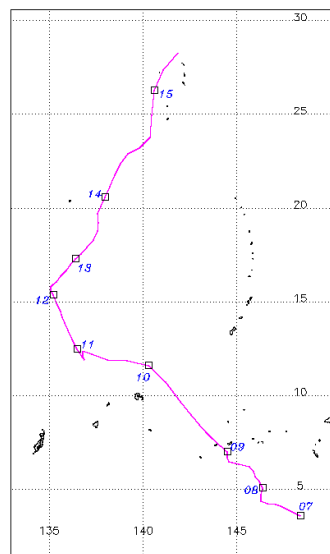
Slika 27. prikazuje kategorije tropskih ciklona te uobičajene brzine vjetrova za te kategorije u miljama na sat te čvorovima.

Područje 3

Vrlo razvijeni tropski cikloni s brzinama većim od 60 čv prevladavaju u području od Marijanskih i Karolinskih otoka prema Filipinima do Kineskog mora. Najveći broj tropskih ciklona se pojavljuje u području između Maršalovih otoka i Filipina. Područje 3 je po učestalosti ciklona na prvom mjestu. Polukružnim kretanjem prodiru prema obalama te se zatim uzdižu prema sjeveru iznad Filipina prema Korejskom poluotoku i Japanu.

Primjer tropskog ciklona u ovom području je ciklon Malakas¹⁰ nastao 7. travnja 2022. godine na području 3.60° N i 148.40° E s najvećim brzinama vjetra od 25 čv i tlaka zraka u središtu od 1003 hPa. Na slici 25 prikazana je putanja ciklona od 7. do 15. travnja 2022. koja ne prikazuje pravilnost. Tropski ciklon kao i svaki takav sustav, za putanju gibanja bira put s najmanje gubitka energije sve do trenutka kad se energija sustava toliko smanji da putanja ovisi o inerciji. Svoju najveću razornu moć pokazao je 13. travnja s maksimalnim brzinama vjetra od 115 čv i tlakom zraka u središtu od 939 hPa.

2022-04-07 00:00:00 - 2022-04-15 06:00:00 USA

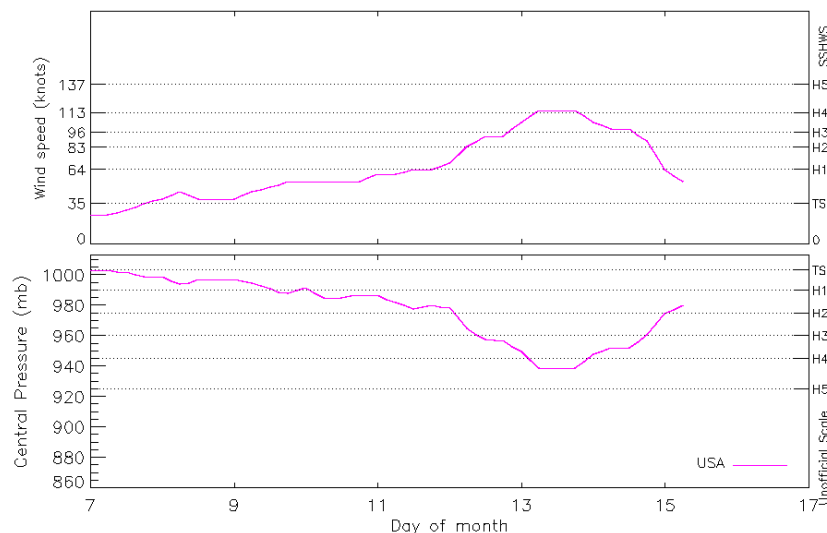


Slika 28. Putanja tropskog ciklona Malakas od 7. do 15. travnja 2022.

IZVOR: <https://ncics.org/ibtracs/html/plots/v04r00.2022097N04148.png>

Slika 28. prikazuje nepravilnu putanju tropskog ciklona Malakas u trajanju 8 dana. Tropski ciklon se giba područjem tako da gubi najmanje energije i kao jednostavni toplinski stroj uzima toplinsku energiju iz mora te je privučen toplijim morem. Međutim, unatoč dotoku ulazne energije, tijekom kretanja gubitci energije na uzrokovanje valova, i vjetra su toliki da se sustav prazni i tijekom vremena nestaje.

¹⁰IBTrACS, 2022 Typhoon MALAKAS, online: [IBTrACS - International Best Track Archive for Climate Stewardship \(ncics.org\)](https://ncics.org/ibtracs/html/plots/v04r00.2022097N04148.png)



Slika 29. Brzina vjetra u čvorovima i tlak u milibarima tropskog ciklona Malakas od 7. do 15. kolovoza 2022.

IZVOR: <https://ncics.org/ibtracs/html/plots//v04r00.intensity.2022097N04148.png>

Konstantno padanje tlaka u oku ciklona (Slika 29.) uzrokuje povećanje brzine vjetra i povećanje visine valova.

Područje 4

Na području Arapskoga mora tropski cikloni su najjači u vrijeme promjene monsuna, odnosno od ožujka do lipnja i od listopada do studenog te su tad brzine vjetra najveće. Po učestalosti nastajanja je peto po redu

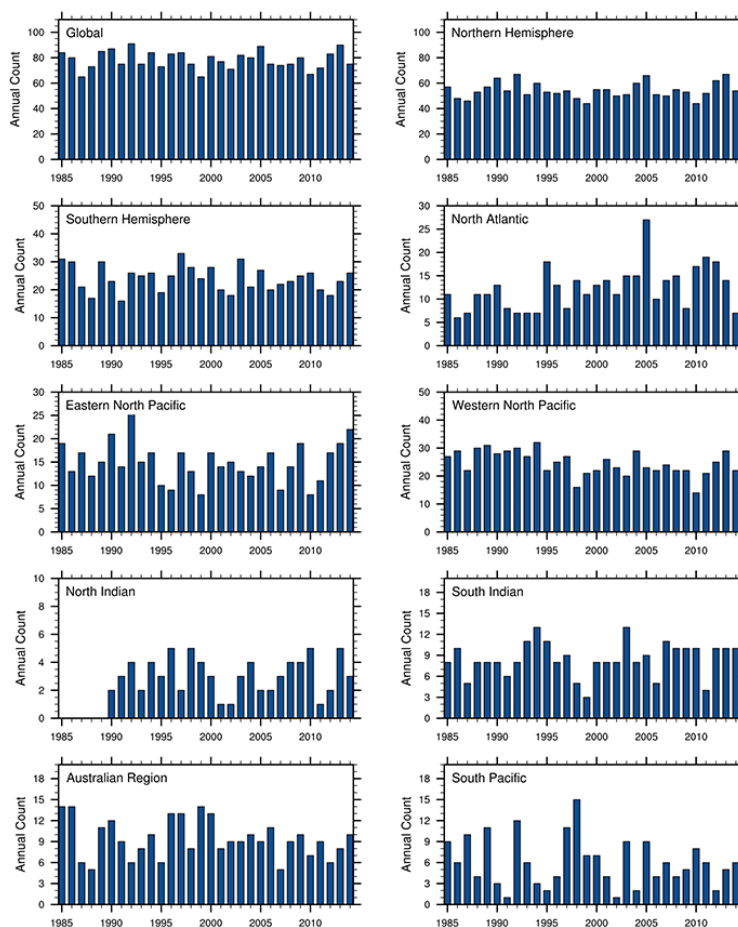
Područje 5

Njihovo uobičajeno vrijeme pojavljivanja je od travnja do prosinca. Međutim postoji mogućnost pojave tijekom cijele godine. Najjači tropski cikloni nastaju u lipnju, srpnju, listopadu i studenome. Po učestalosti nastajanja je treće po redu. Područje stvaranja je u blizini istočnih obala otoka Madagaskara i jugoistočnih obala Afrike.

Područje 6

U području 6A tropski cikloni nastaju iznad Arafurskog mora, iako ponekad mogu nastati i iznad Timorskog mora. Ponekad imaju putanje sve do velikog australskog zaljeva. Uglavnom je pojavnost jedna godišnje.

U području 6B tropski cikloni nastaju na području između 160° E i 140° W te između 5° i 20° S. Ponekad dospiju do obale Australije. Po učestalosti nastajanja područje 6 je četvrto po redu.

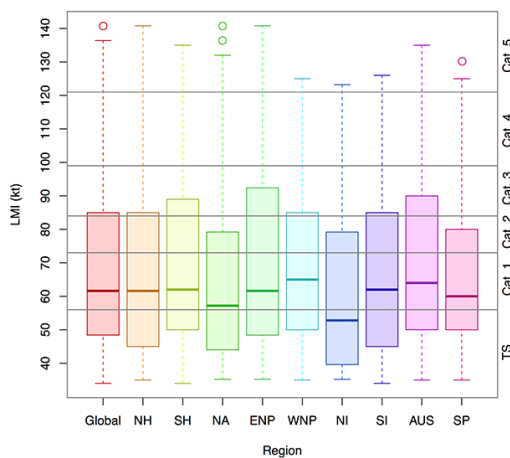


Slika 30. Učestalost tropskih ciklona za područja sjevernog Atlantika, istočnog dijela sjevernog Tihog oceana, zapadnog dijela sjevernog Tihog oceana (Daleki Istok), sjeverne Indije (Arapsko more i Bengalski zaljev), južne Indije te područja Australije i južnog Tihog oceana (istočno od 160° geografske dužine) u razdoblju od 1985 do 2014. godine.

IZVOR: <https://oxfordre.com/naturalhazardscience/doc/10.1093/acrefore/9780199389407.001.0001/acrefore-9780199389407-e-79-graphic-002-full.gif>

Slika 30. prikazuje broj pojavljivanja tropskih ciklona na područjima sjevernog Atlantika, istočnog dijela sjevernog Tihog oceana, zapadnog dijela sjevernog Tihog oceana, sjeverne Indije, južne Indije te područja Australije i južnog Tihog oceana u razdoblju od 1985 do 2014. godine te se može vidjeti kako na zapadnom sjevernom Tihom oceanu ima najveća postojanost tropskih ciklona (30 za 2013. godinu). Nakon sjevernog Tihog oceana po broju tropskih ciklona slijedi istočni dio sjevernog Tihog oceana (19 za 2013. godinu). Na trećemu mjestu je južna Indija (za 2013. godinu 10). Četvrto mjesto po

učestalosti stvaranja je područje Australije (7 za 2013. godinu), a peto mjesto dijele sjeverna Indija i južni Tihi ocean (5 za 2013. godinu).



Slika 31. Brzine vjetrova za navedena područja.

IZVOR: <https://oxfordre.com/naturalhazardscience/doc/10.1093/acrefore/9780199389407.001.0001/acrefore-9780199389407-e-79-graphic-009-full.gif>

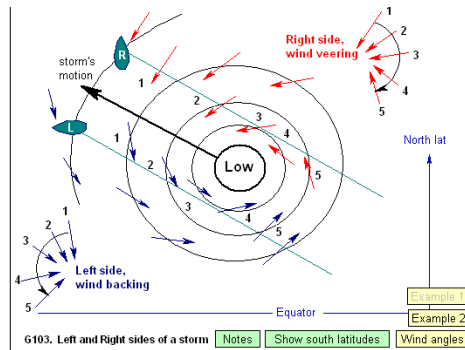
Slika 31. prikazuje kutijaste dijagrame brzina na prethodno opisanim područjima (Slika 30). S lijeve strane prikazana je jačina vjetrova u čvorovima, dok su s desne strane naznačene kategorije tropskog ciklona: TS – *tropical storm*; Cat. 1 – *category 1*; Cat. 2 – *category 2*; Cat. 3 – *category 3*; Cat. 4 – *category 4*; Cat. 5 – *category 5*.

3.4.5. Plovidbena polovica

U slučaju da je neizbježan prolazak kroz područje tropskog ciklona, područje oko ciklona potrebno je podijeliti na dvije polutke u odnosu na pravac kretanja. Lijeva i desna polutka čine plovidbenu i neplovidbenu polovicu ovisno na kojoj smo hemisferi. Cikloni se unutar 20° kreću prema zapadu, bilo prema sjeverozapadu na sjevernoj hemisferi ili jugozapadu na južnoj. Nailaskom na kopno, gube energiju iz mora, ali i zbog trenja s tlom.

Na sjevernoj hemisferi lijeva polovica ciklona je plovidbena polovica. Razlog tome je slabljenje vjetra koji utječe na manje valove te smjeru vjetra koji udaljava brod od oka ciklona. Desna polovica ciklona označava se kao ne plovidbena polovica, a razlog tomu su jači vjetrovi od onih na lijevoj polovici zbog gušćeg baričkog gradijenta i smjera vjetra koji rod usmjerava prema oku ciklona. U ovoj polovici također prevladavaju i puno veći valovi, a sve zbog vjetra jačih snaga¹¹.

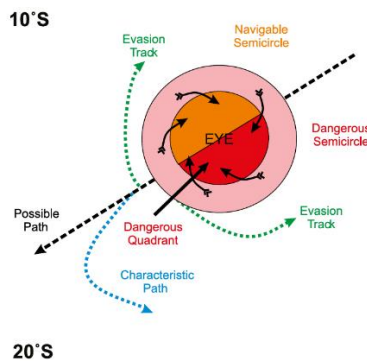
¹¹ Frankić, L. 2021, Tropski ciklon – opasnosti za navigaciju, Pomorska škola Bakar, Bakar



Slika 32. Prikaz plovidbene polovice na sjevernoj hemisferi.

IZVOR: http://www.amariner.net/Assets/images/Articles/pict_3.gif

Slika 32. prikazuje tropski ciklon na sjevernoj hemisferi te njegovu putanju i opasnu polovicu na desnoj strani i plovidbenu polovicu na lijevoj strani.



Slika 33. Prikaz plovidbene polovice na južnoj hemisferi.

IZVOR: <https://www.amsa.gov.au/sites/default/files/inline-images/figure-2.-depiction-of-tropical-cyclone-navigable-and-dangerous-semi-circles-etc.png>

Slika 33. prikazuje navigacijsku i opasnu polovicu, smjer vjetera, opasan kvadrant u prednjem lijevom režnju te moguću putanju tropskog ciklona na južnoj hemisferi. Tropski ciklon se kreće prema jugozapadu. Zbog toga je za plovidbu sigurna gornja, sjeverna polovica tropskog ciklona na južnoj hemisferi, jer se „oko“ tropskog ciklona udaljuje od broda dok u slučaju da se brod nalazi na donjoj polovici putanja tropskog ciklona, vjetrovi i valovi bi brod skretali prema samom središtu. Na sjevernoj hemisferi do 20° za tropske ciklone s putanjom prema zapadu bi plovidbena polovica bi bila donja, južna, strana tropskog ciklona, odnosno, neovisno o hemisferi unutar 20°, uvijek ona polovica koja je bliža ekvatoru.

4. OLUJE NA MORU

Grmljavinske nepogode praćene jakim udarima vjetra, izraženim uzlaznim i silaznim strujanjem zraka, pljuskovima, smanjenom vidljivošću, naglom promjenom temperature i tlaka zraka te drugih pojava nazivaju se oluje. Što je zrak nestabilniji, utjecaj uzlaznog strujanja bit će jaći te će tada oblaci poput cumulusa i cumulonimbusa biti razvijeniji.

Zbog razlićitih načina i mjesta nastajanja postoji nekoliko vrsta oluja. Glavna podjela oluja je na frontalne i ne frontalne oluje. Također, posebnu važnost dobivaju i orografske oluje koje nastaju na orografskim preprekama.

4.1. NEFRONTALNE OLUJE

Nisu vezane uz frontu te nastaju termićkom konvekcijom u područjima znaćajnog dizanja zraka (posebno uz brda).najćešće su ljeti kada je zrak topao, mećutim, postoji mogućnost nastajanja oluje i kada je zrak hladan ali more da je toplo. Ne frontalne oluje se dijele na:

1. Konvekcijske oluje,
2. Advekcijske oluje,
3. Orogenetske oluje, i
4. Kvazifrontalne oluje.

Konvekcijske oluje nastaju zagrijavanjem površine te postepenim uzdizanjem zraka koji se grije. Ako se topli zrak poćinje velikom brzinom hladiti, vodena para se kondenzira i nastaju oblaci. Zbog velikog zagrijavanja i uzlaznog strujanja zraka dolazi do formiraju cumulonimbus oblaka koji daju intenzivnu kišu. Njihove brzine su od 5 do 15 km/h.

Kada postoji hladni zrak iza hladne fronte dolazi do nastajanja advekcijske oluje. Kako bi ona nastala treba biti postojana apsolutna labilnost atmosfere do kondenzacijske razine te je potrebno da je atmosferska labilnost na visini od 4 do 6 km. Brzina oluja je takva da postoje oluje koje su spore, poput konvekcijske oluje, ali i da su brze poput frontalnih oluja.

Orogenetske oluje se stvaraju uzdizanjem nestabilne zračne mase uzduž planine, zbog zagrijavanja strane obasjane Suncem te strujanjem planinskog i dolinskog vjetra nastaju orogenetske oluje. Njihove brzine nisu izražajne zbog navezanosti na orografiju.

Kvazifrontalne oluje imaju brzine koje mogu doseći i do 50 km/h, a nastaju u hladnoj i nestabilnoj zračnoj masi pri konvekciji nakon prolaska oluje hladne fronte. One nisu dugotrajne, ali postoji mogućnost da nastanu i više puta u danu (uglavnom ljeti).

4.2. FRONTALNE OLUJE

Javljaju se s frontalnim sustavima te mogu nastati u bilo koje doba dana, uzimajući u obzir da topliji zrak pogoduje njihovu razvitku. Ove oluje su najčešće oluje hladne fronte, međutim postoje i oluje tople fronte. U slučaju da postoji okluzija, tada je oluja vezana za hladnu okluziju te se protežu nekoliko stotina kilometara. Brzine frontalnih oluja se kreću od 5 do 20 km/h što opisuje one sporije oluje dok one brže oluje opisuje brzina od 50 do 100 km/h.

Oluje hladne fronte nastaju uz nadolazeći labilni hladni zrak na čelu hladne fronte, te se tada razvijaju snažni cumulonimbusi, i znaju biti vrlo snažne. Mogu se pojaviti bilo gdje u ovisnosti o nailasku hladne fronte. Ove oluje su najjače za toplog vremena te se mogu protezati i do nekoliko stotina kilometara.

Oluje hladne okluzije su vrlo slične olujama hladne fronte te njihov razvitak ovisi o atmosferskoj stabilnosti.

Oluje tople fronte nastaju u labilnoj atmosferi gdje je zrak topao i vlažan, ispred frontalne crte. Ove oluje su rjeđe te su uobičajenije u noćnim satima tijekom ljeta. Podnice cumulonimbus oblaka su na većim visinama nego kod hladne fronte koji je inače sakriven nimbostratusima ili altostratusima.

4.3. PIJAVICE

Jedna od opasnosti na moru predstavljaju i pijavice čiji postanak ovisi o razvijenosti cumulonimbus oblaka.

Pijavice predstavljaju prostorna vrtložna strujanja zraka koje su manjih dimenzija, iako njihova jačina može biti velika. One su najuobičajenije na području nižih geografskih širina.

Pijavice koje su promjera od 1 do nekoliko stotina metara te su vrlo česte u ljetnim razdobljima na području umjerenih širina. Dijele se na:

1. Male pijavice – nalaze se pri tlu te imaju promjer od 2 do 50 m a visinu od 5 do 100 m te zbog svoje visine nisu povezane s oblacima. U području pustinja visina im doseže i do 1 000 m. One nastaju zbog velike nestabilnosti zraka pri tlu te velikom temperaturnom razlikom koja rezultira vertikalno strujanje zraka. Kod pijavice se Coriolisova sila ne uzima u obzir jer su smjerovi vrtnje različiti. U središtu je niski tlak što znači da vjetar puše prema središtu te je postojano divergentno strujanje zraka dok na rubovima prevladava spiralno konvekcijsko strujanje zraka.
2. Velike pijavice – ove pijavice traju dulje nego male pijavice (od 10 min do 1 ili 2 sata) te se stvaraju za vrijeme oluja. Povezuju se s cumulonimbus oblacima koji mogu imati jednu ili više pijavica. Za razliku od malih pijavice velike pijavice imaju promjer od 20 do 100 m te se njihova visina može prostirati od 100 do 1 000 m. Obodna brzina može varirati od 50 do 70 m/s a ponekad i preko 100 m/s. Promjena tlaka zraka kod pijavica ponekad je i više od 50 hPa u središtu¹².



Slika 34. Pijavice na području Velikih jezera u Sjevernoj Americi u listopadu 2021. godine.

IZVOR:

<https://images.foxweather.com/static.foxweather.com/www.foxweather.com/content/uploads/2021/10/720/405/Waterspouts-Oct-16-17.png?ve=1&tl=1>

Slika 34. prikazuje pijavice na području Velikih jezera u Sjevernoj Americi. Tijekom dva dana u listopadu 2021. godine pojavilo se 15 pijavica.

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

Iako su nalik tropskom ciklonu, pijavice su puno slabije od njih te je njihovo vrijeme postojanosti najviše 1 do 2 sata. Iako nisu snaže kao tropski cikloni, predstavljaju opasnost brodovima u okolini zbog razvijanja vjetrova velikih brzina koji otežavaju plovidbu brodovima (50 do 70 m/s)¹³.

¹³Fox Weather, 2021, What is a waterspout?, 19 October, online: [What is a waterspout? | Fox Weather](#)

5. VALOVI

Morski valovi su procesi periodičkog kolebanja neke granične plohe u moru udruženi s osciliranjem vodenih čestica pod djelovanjem pobuđujućih sila poput vjetra, gibanja brodova, gibanja meteoroloških sustava, seizmičkih i tektonskih poremećaja te zvijezda) i umirujućih sila poput utjecaj površinske napetosti, sile gravitacije te Coriolisove sile.

Ovisno o vjetrovnoj snazi koja puše iznad površine mora, mijenjat će se i visina vala. Sila vjetra Fv ovisi:

$$Fv = \frac{1}{2} * C_v * \rho_z * v_{rv}^2 * A \quad (1)$$

gdje je:

Fv – sila vjetra (N),

C_v – faktor otpora zraka (ovisi o kutu pod kojim djeluje vjetar na brod, vrsti i stanju nakrcanosti broda te podvodnom obliku broda),

ρ_z – gustoće zraka (kg/m^3),

v_{rv} – relativne brzine vjetra (m/s),

A – je površina na koju vjetar djeluje (m^2).

$$Fval = \frac{1}{2} * C_{val} * \rho_t * g * L * \left(\frac{Hs}{2}\right)^2 \quad (2)$$

gdje je:

$Fval$ – sila kojom djeluje val (N),

C_{val} – faktor vala,

ρ_t – gustoće mora (kg/m^3),

g – ubrzanje sile teže (m/s^2),

L – duljine broda na vodenoj liniji (m),

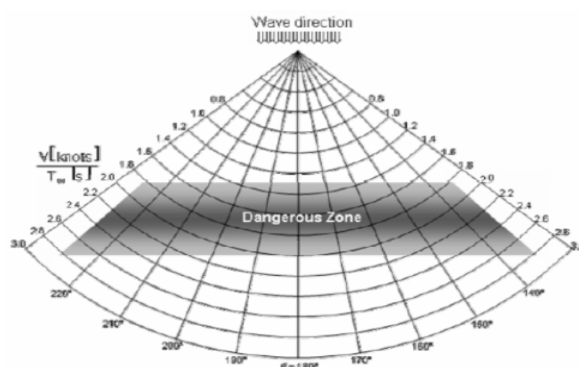
Hs – signifikantna visina vala (m).

Na otvorenome moru na visinu vala neće utjecati samo brzina i smjer vjetra, već i dubina mora i trajanje vjetra na određenom području. Tako promatrač može uz određeno iskustvo i znanje utvrditi stanje mora i jačine vjetra bez instrumenata.

Ovisno o vrsti broda, brzini i kursu u kojem brod plovi te stanju mora, valovi će imati različite utjecaje na plovidbu. Dok će neki manji brodovi imati tendenciju kretanja s valom (poniranje/izranjanje) veći brodovi neće valove niti osjetiti. Kada je valna duljina takva da se brjegovni nalaze na području pramca i krme, a dol u sredini broda (progib) ili da se na pramcu i krmi nalaze dva dola, a na sredini brijeg (pregib), brod će tada biti izložen vrlo jakim silama ekspanzije i kompresije oplate te mogu rezultirati prekomjernim trošenjem i na kraju pucanjem trupa.

Ako valovi dolaze po boku broda u jednakim fazama, mali valovi imaju tendenciju stvaranja teškog valjanja. Također ako valovi udaraju po pramcu ili po krmi može doći do zaošijavanja¹⁴.

Kako bi se ove neprilike mogle smanjiti da imaju što manji utjecaj na brod, potrebno bi bilo promijeniti kurs ili brzinu broda.



Slika 35. Polje opasnosti od valova za različiti kutove nailaska vala sa pramčanicom broda.

IZVOR: <https://www.researchgate.net/profile/Przemyslaw-Krata/publication/260983868/figure/fig8/AS:296933693378570@1447805917816/Dangerous-zone-of-successive-high-wave-attack-in-following-and-quartering-seas-IMO-2007.png>

Na Slici 35. se može vidjeti opasno područje dijagrama potamnjenom bojom nailaska valova na pramčanicu broda u ovisnosti s brzinom broda (v) koja se dijeli s periodom vala (T_w).

5.1. VJETROVNI VALOVI

Valovi živog mora predstavljaju valove kojima je visina dva puta veća od signifikantne visine valova koji su uobičajeni za to područje te nastaju zbog jakih vjetrova

¹⁴ Browditch, N. 1981 – 1984, American practical navigator: an epitome of navigation, Publications; no. 9, Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center, Washington

koji djeluju na tome području. Valovi živog mora predstavljaju problem za brodove, pogotovo one veće, te za platforme na moru, zbog mogućnosti ugrožavanja sigurnosti broda¹⁵.



Slika 36. Valovi živog mora.

IZVOR:

https://images.nationalgeographic.org/image/upload/t_edhub_resource_key_image/v1638889678/EducationHub/photos/rogue-wave.jpg

Slika 36. prikazuje valove živog mora koji su prekrili glavnu palubu broda.

Val je sa svojih 18 metara visine prekrrio palubu broda za prijevoz ulja te ga skoro prevrnuo u području Aljaske, južno od Valdez-a.

Kada je norveški brod za kružna putovanja, Norwegian Dawn, 10. travnja 2005. godine s Bahama krenuo za New York dočekalo ga je živo more te je morao skrenuti za Charleston gdje je otišao u suhi dok zbog poplave u 62 kabine, uništavanja brodskog namještaja te su određeni putnici imali posjekotine i modrice po tijelu. Visina vala je bila 21 m te je val na brodu postigao visinu deset palubu od ukupno 15¹⁶.

5.2. VALOVI MRTVOG MORA

Valovi mrtvog mora stvaraju se zbog utjecaja vremenskih sustava udaljenih od područja na kojima su valovi postojani te ponekad mogu putovati i tisućama kilometara dok se energija ne preda u prostor na druge oblike.

Ako val prilazi području pličina pod nekim kutom, svaki dio uspješno usporava smanjivanjem dubine. Ovakvo kretanje dovodi do refrakcije što znači da val pokušava promijeniti smjer da bude paralelan s oblikom dna.

¹⁵ National Geographic, 2023, Rogue waves, 19 October, online: [Rogue Waves \(nationalgeographic.org\)](https://www.nationalgeographic.org/education/rogue-waves/)

¹⁶ Nbc News, 2005, Huge wave turns cruise-ship holiday to horror, 17 April, online: [Huge wave turns cruise-ship holiday to horror \(nbcnews.com\)](https://www.nbcnews.com/2005/04/17/huge-wave-turns-cruise-ship-holiday-to-horror/)

Val mrtvog mora koji prelazi preko pličine, ali se ne razbija podvrgnut je smanjenju brzine i valne duljine, no povećanju visine. Te vrijednosti mogu biti i vrlo iznenadne, a ovisе o tome kakvog je nagiba morsko dno. Ti dugoperiodični valovi mogu dovesti do vrlo opasnog ljuljanja u slučaju da dolaze s bočne strane te ako mu je period jednak periodu ljuljanja broda dovodi do rezonancije što bi u ovom slučaju značilo pojačavanje ljuljanja broda. Ovi valovi prelaze stotine milja od izvora te na oceanima, zbog velikog perioda i valne duljine, dugoperiodični valovi su uglavnom nezamjetljivi¹⁷.

Tablica 3. Tablica podjele mrtvog mora (λ – valna duljina, T – period vala, H- visina vala).

Opis	λ (m)	T (s)	H (m)
Nisko mrtvo more kratke ili prosječne duljine vala	0 – 200	< 11	0 – 2
Dugo, nisko mrtvo more	> 200	> 11	0 – 2
Kratko mrtvo more umjerene visine	0 – 100	< 8	2 – 4
Prosječno mrtvo more umjerene visine	100 – 200	8 < T < 11	2 – 4
Dugo mrtvo more umjerene visine	> 200	> 11	2 – 4
Kratko, teško mrtvo more	0 – 100	< 8	> 4
Teško mrtvo more prosječne duljine	100 – 200	8 – 11	> 4
Dugo, teško mrtvo more	> 200	> 11	> 4

IZVOR: [Waves - Reference material - Marine Knowledge Centre \(bom.gov.au\)](http://waves.bom.gov.au)

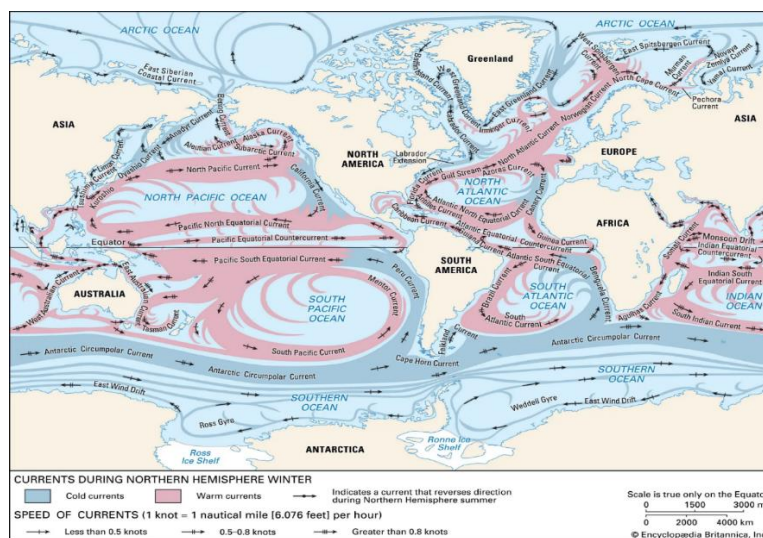
Tablica 3. opisuje valove mrtvog mora ovisno o duljini, periodu te visini vala. Iako valovi manjih visina ne izgledaju opasno, oni mogu prouzročiti opasnost u slučaju kada je valna duljina jednaka duljini broda te uzrokovati pregib i progib, ili ako je period vrlo malen, a valovi dolaze po buku brodu te uzrokuju naganjanje broda.

¹⁷ Browditch, N. 1981 – 1984, American practical navigator: an epitome of navigation, Publications; no. 9, Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center, Washington

6. MORSKE STRUJE

Morske struje predstavljaju kretanje morskih masa te se određuju smjerom i brzinom. Veliku opasnost za navigaciju predstavlja zanos na kojeg uz vjetar djeluju i morske struje. Premda se smjer vjetra može zaključiti po obliku morske površine, brzine morskih struja se ne mogu predvidjeti bez instrumenata. Zanos je rezultat zbroja sila od kojih jedna gura brod prema naprijed i vanjskih sila kao što je sila morske struje koja ovisno o položaju broda gura brod na stranu. Prilikom vrlo velikih brzina morskih struja može doći i do nekontroliranog zanošenja koje može rezultirati nasukavanjem broda na pličinu ili obalu, ili pak do produljenje vremena trajanja plovidbenog pothvata. Također morske struje mogu djelovati i zalijetanjem/zastajanjem broda. Ako se brod kreće u smjeru morske struje zbog silnica na kormilo može doći do smanjenoga slušanja kormila te mogućnosti zakretanja broda u željeni kurs. Zalijetanje također uzrokuje dodatno ubrzanje broda koje može dovesti do primjerice sudara s ledom pri plovidbi u polarnom području, u obalu ili nasukanje na pličinu. Kod zastajanja broda, brod se suprotstavlja sili morske struje te to može, u slučaju da se želi napredovati povećavanjem brzine okretaja motora, rezultirati kvarom motora i gubljenja pogona.

U nastavku su opisane neke morske struje opasne za plovidbu.



Slika 37. Kretanje morskih struja zimi.

IZVOR: <https://cdn.britannica.com/91/53891-050-2E93317C/ocean-systems-world.jpg>

Slika 37. prikazuje morske struje na sjevernoj i južnoj hemisferi te je strelicama prikazana njihova cirkulaciju tijekom zime. Plavom bojom označene su hladne morske

struje dok su tople morske struje označene crvenom bojom. Jedne od važnijih morskih struja su Antarktička morska struja, Agulhaška i Mozambička. Na slici se može vidjeti da se Antarktička morska struja grana na sporedne struje te kako sve struje imaju kružnu putanju (na sjevernoj polutki se kreću od istoka prema zapadu pa prema sjeveru dok se na južnoj polutki kreću od istoka prema zapadu pa prema jugu dok se ne spoje ponovno u svoje glavne tokove).

6.1. ANTARKTIČKA CIRKUMPOLARNA STRUJA

Antarktička cirkumpolarna morska struja nastaje zbog stalnih vjetrova na južnoj polutki koji se susreću na području oko 50° do 70° S. Dakle, sjeverozapadni vjetrovi koji djeluju od 30° S prema 60° S te jugoistočni vjetrovi koji s južnog pola djeluju prema 60° S utječu na stalnost ove istočne morske struje. Struji oko kontinenta od zapada prema istoku, odnosno suprotno satnom gibanju. Zbog okolnih kopnenih masa, podvodnog oblika dna te vjetrova koji u tome području prevladavaju, Antarktička cirkumpolarna struja djeluje na različitim geografskim širinama s ograncima te ima različitih putanja. Ova struja odvaja Južni ocean od Atlantskog, Tihog i Indijskog na geografskoj širini od 60° S što se otprilike poklapa s granicom južne struje.

Ova struja ima protok vode od oko 134 Sverdrup, odnosno 134 milijuna kubičnih metara po sekundi. Međutim, protok strujanja u Drake kanalu je bila zabilježena na 173.3 Sverdrupa.

Ova struja pokriva više od 8° geografske širine te joj se smjer kretanja razlikuje ovisno o poziciji. U Tihom i Indijskom oceanu, njezina sjeverna granica se nalazi između 48° S i 58° S, dok joj se južna granica na nekim područjima, u blizini obale Marie Byrd Land na Antarktici proteže čak i do 70° S. Na području Atlantskog oceana granice su na puno manjim udaljenostima gledano od sjeverne do južne granice. Sjeverna granica Antarktičke cirkumpolarne struje za Atlantski ocean oscilira te se može kretati od 42° S pa do 48° S, dok joj se južna granica nalazi na 60° S. Brodovi koji plove u smjeru ove morske struje dobivaju na brzini, ali to predstavlja problem prilikom plovidbe zbog postojanja leda na moru te bi u tim trenucima trebalo prije skretati s kursa kako bi se izbjegla opasnost sudara s ledom. Tijekom plovidbe broda u smjeru suprotnom od smjera morske struje dolazi do smanjenja brzine broda te se tada opet trebaju uzimati u obzir pravovremene

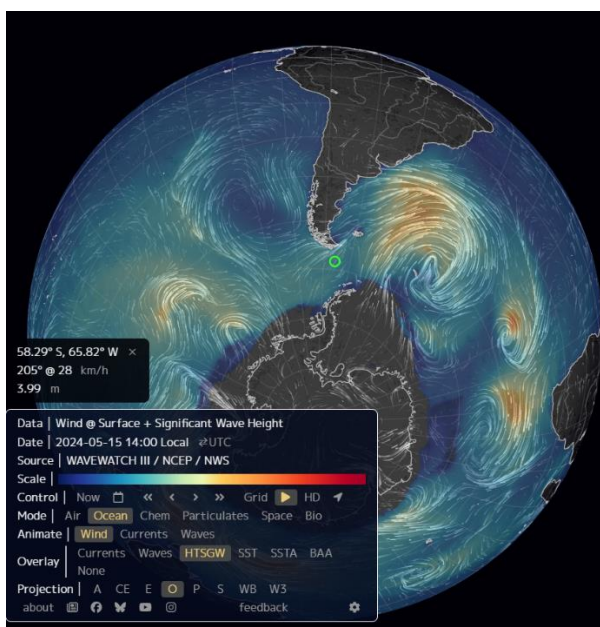
mjere kako bi brod sigurno plovio¹⁸. Slika 38. prikazuje putnički brod koji plovi u području Antarktike.



Slika 38. Plovidba u ledu oko Antartike.

IZVOR:

https://media.cntraveler.com/photos/622fba85d55b99732c8d352b/16:9/w_960.c_limit/Viking%20Octantis%20Antarctica_Viking%20Octantis%204.jpg



Slika 39. Brzina površinskog vjetrova 28 km/h i signifikantna visina vala 3,99 m.

IZVOR: [earth :: a global map of wind, weather, and ocean conditions \(nullschool.net\)](http://earth.nullschool.net)

Na području Antarktičke cirkumpolarne struje (Slika 39.) može se vidjeti kako je signifikantna visina vala 3,99 m, a u današnje vrijeme ovo područje je vrlo atraktivno za kruzere. To je jedan od razloga zašto je potrebno se posebni oprezom ploviti kako bi se sigurnost ljudi (putnika i posade) održala na što je moguće većoj razini. Kruzери su brodovi

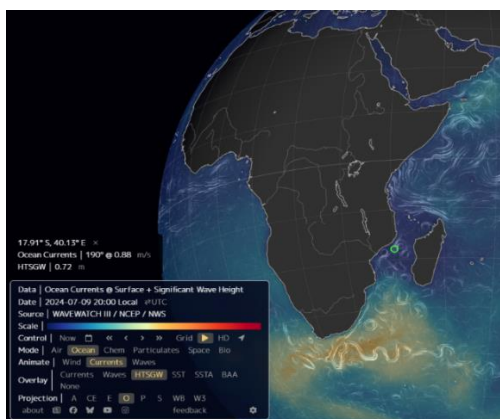
¹⁸ Encyclopedia Britannica, 2023, Antarctic Circumpolar Current, 30 May, online: [Antarctic Circumpolar Current | Direction, Location, Map, & Facts | Britannica](https://www.britannica.com/topics/antarctic-circumpolar-current)

s velikim nadvođem, a malim gazom (10 % sveukupne visine broda je pod morem dok je ostalih 90 % iznad mora¹⁹) te prilikom nastajanja jakog vjetrova koji u ovom primjeru nije prikazan može dovesti do gibanja broda van željenoga smjera i dovesti brod u opasnost zbog okolnog leda.

6.2. AGULHAŠKA STRUJA

Agulhaška površinska oceanska struja formira zapadnu granicu južnog Indijskog oceana. On struji južno uz obalu Mozambika i obale Južne Afrike prije nego što skrene istočno kako bi se udružila Antarktičkoj cirkumpolarnoj struji. Međutim, mali dio struje se zakreće prema zapadu oko rta Dobre Nade pa dio struji i u Atlantski ocean. Iznad Angulhaške struje nalazi se Mozambička struja koja opskrbljuje Angulhašku struju.

Djeluje na prostoru širine 100 km te je njezina prosječna brzina od 0,8 do 2,2 km/h²⁰. Njezina brzina ovisna je o brzini ekvatorijalne struje, koja se mijenja ovisno o godišnjemu dobu, dubini i poziciji. Ona je jedna od najbržih struja u oceanima kojoj je zabilježena najveća brzina od 9,3 km/h na području južne obale Južne Afrike. Zbog toga što ju opskrbljuje struja s manjih geografskih širina, Agulhaška struja je topla te njezine površinske temperature variraju od 14 °C do 26 °C. Prosječna temperatura mora je niža na južnijim područjima u blizini Antarktike. Ova struja se smatra glavnom zapadnom graničnom strujom na južnoj hemisferi.



Slika 40. U tjesnacu između otoka Madagaskara i Afrike morska struja brzine 1,7 čv.

IZVOR: [earth :: a global map of wind, weather, and ocean conditions \(nullschool.net\)](https://www.nullschool.net)

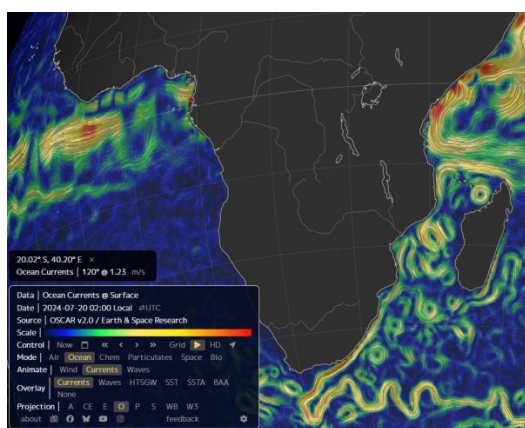
¹⁹ Cruise Nation, Understanding cruise deck plans, online: [Understanding Cruise Deck Plans - Cruise Nation](https://www.cruisecountry.com/understanding-cruise-deck-plans/)

²⁰ Encyclopaedia Britannica, 2023, Agulhas Current, 10 November, online: [Agulhas Current | Map, Location, & Facts | Britannica](https://www.britannica.com/place/Agulhas-Current)

Slika 40. prikazuje morsku struju koja se dijeli na puno grana koje izgledaju kao vrtlozi. Ona predstavlja opasnost zbog nemogućnosti održavanja kursa te njegovog stalnog ispravljanja.

6.3. MOZAMBIČKA STRUJA

Ova struja je relativno topla površinska morska struja koja struji u zapadnom području Indijskog oceana. Jugoistočni pasati pomiču Indijsku južnu Ekvatorsku struju prema istoku Afričke obale koja zbog Zemljine rotacije stvara kretanje u prema jugu. Jedan dio struje kreće se istočno od Madagaskara dok drugi dio ide prema zapadu kroz Mozambički kanal, te tako donosi snažne utjecaje na klimu otoka i kopna. Na kraju se ova struja ulijeva u tok Agulhaške struje²¹.



Slika 41. Brzina površinske struje te njezin smjer kretanja.

IZVOR: [earth :: a global map of wind, weather, and ocean conditions \(nullschool.net\)](https://www.nullschool.net)

Na Slici 41. može se vidjeti kako površinska struja nema pravocrtno kretanje, već se kreće u obliku krivulja višeg reda. Brzina površinske struje iznosi 2,4 čv što može značajno utjecati na kretanje broda u prostoru, ne samo zbog brzine, već i zbog kružnog gibanja. Tako može doći do naglih zanošenja s jedne strane broda u drugu stranu.

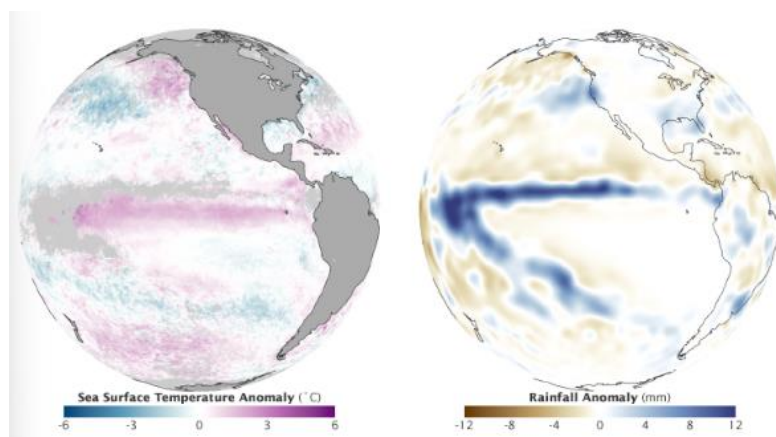
²¹ Encyclopaedia Britannica, 2023, Mozambique Current, 04 December, online: [Mozambique Current | Map, Location, & Facts | Britannica](https://www.britannica.com/place/Mozambique-Current)

7. EL NIÑO

El Niño predstavlja meteorološko-oceanski poremećaj odnosno prirodnu klimatsku nepogodu koja se povezuje s grijanjem površine Tihog oceana na njegovom središnjem i istočnom tropskom području, te koja tako značajno utječe na vremensku prognozu, oceanske uvjete te ribarstvo u morima diljem svijeta.

On se pojavljuje uglavnom u intervalima od 2 do 7 godina i to u vrijeme Božića. Odatud dolazi i naziv El Niño što znači „dječak“. Njegove epizode traju otprilike 9 do 12 mjeseci. Najjači utjecaj El Niña je tijekom zime kada donosi blaže vrijeme sjevernim dijelovima Sjedinjenih Američkih država, a južnijim dijelovima povećanje relativne vlažnosti. Suprotno El Niño je La Niña. Također postoji i faza kada nema neobično vrućih ili hladnih voda u području oko Ekvatora na Tihom oceanu. Sve tri faze nazivaju se ENSO (El Niño - Southern Oscillation).

Kako bi El Niño nastao potrebno je da se velika količina tople vode sakupi u području ekvatora u istočnom Tihom oceanu. Morska površina isparavanjem stvara topli zrak što omogućuje prostor bogat relativnom vlagom, te dalje stvaranju oluja s kišom. Potrebno je da temperatura površine mora bude 6 °C iznad prosječne temperature mora²².

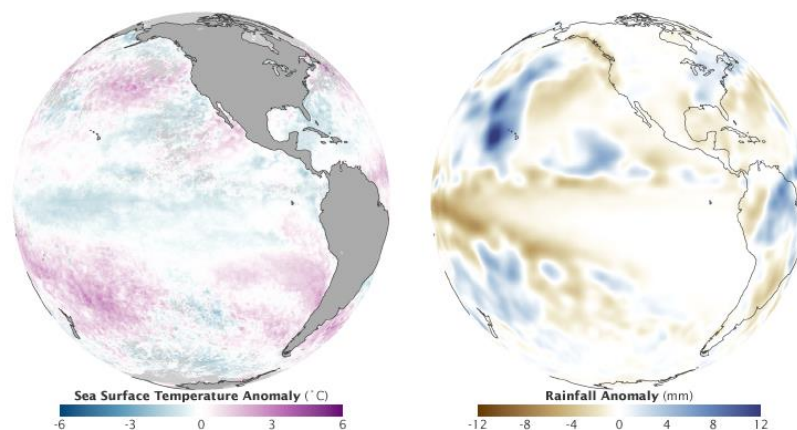


Slika 42. Neobičajene temperature površine mora (lijevo) i neobičajene postojanosti oborina za vrijeme El Niña (desno) (2002).

IZVOR:

https://assets.science.nasa.gov/content/dam/science/esd/eo/woc/images/enso/ENSO_sst_rainfall_anomalies_200812.png

²² NOAA, 2016, Understanding El Niño, 02 February, online: Understanding El Niño | National Oceanic and Atmospheric Administration (noaa.gov) (25.05.2024.)



Slika 43. Neuobičajene temperature površine mora (lijevo) i neuobičajene postojanosti oborina (desno) (2008. godine).

IZVOR:

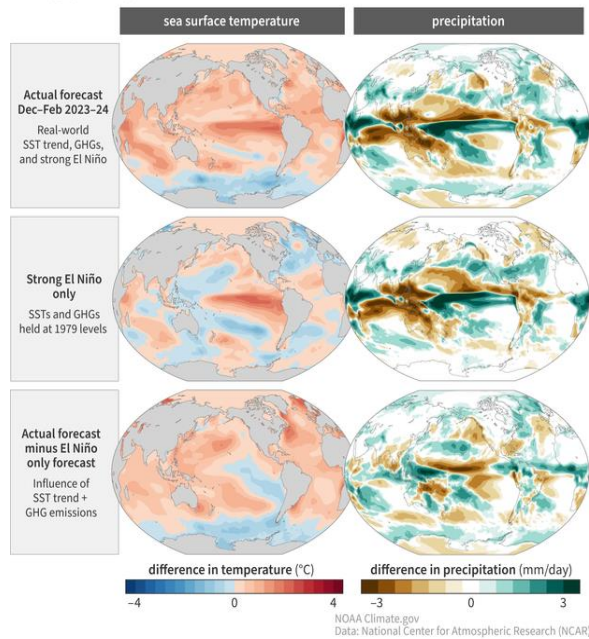
https://assets.science.nasa.gov/content/dam/science/esd/eo/woc/images/enso/ENSO_sst_rainfall_anomalies_200812.png

Usporedbom slika 42. i 43. može se zaključiti kako je za vrijeme El Nina na području ekvatora na Tihome oceanu površinska temperatura mora 6°C veća od uobičajene. Ovisno o tome kakva je temperatura površine mora postoji mogućnost nastajanja oborina na istom području koje su vrlo česte za vrijeme El Nina i mogu narasti za prosječno 12 mm/m^2 u odnosu na uobičajene vrijednosti²³.

Prvi put El Nino se spominje 1600-te godine, iako se utvrdilo da je postojao i milijunima godina prije, Španjolski ribari su uočili povećanje temperature uz obalu Perua i Ekvadora te su pojavu nazvali Little boy ili Christ Child na španjolskom, a taj naziv je dobio zbog toga što se najčešće javljao za vrijeme Božića.

²³ NASA, World of Change: El Niño, La Niña, and Rainfall, online: World of Change: El Niño, La Niña, and Rainfall (nasa.gov)

Teasing apart the pieces of the winter model forecast (Dec-Feb 2023-24)



Slika 44. Prognoza El Niña od prosinca (2023.) do veljače (2024.).

IZVOR: https://www.climate.gov/sites/default/files/styles/full_width_620_original_image/public/2024-04/ENSOblog-sst-pr-1979-CTL-DJF-col3.png?itok=Z-dHmVnJ

Slika 44. prikazuje predviđanje anomalije temperature površine mora (lijevo) i padalina za razdoblje od prosinca do veljače 2023.-2024. Gornji red prikazuje prognozu sa svim uključenim čimbenicima (površinska temperatura mora - SST, emisije stakleničkih plinova – GHG, El Niño) dok srednji red prikazuje dio prognoze koji se odnosi samo na El Niño, a donji red prikazuje prognoze koje su pod utjecajem površinske temperature mora i emisijama stakleničkih plinova. Na desnim slikama zelena boja označava nadprosječne količine oborina dok smeđa označava ispodprosječne količine oborina. Na desnim slikama crvena boja označava nadprosječnu temperaturu površine mora dok plava boja označava ispod prosječnu temperaturu mora.

7.1. UTJECAJI STVORENI POJAVOM EL NIÑA

Iako se najjači utjecaj može osjetiti u tropskom pojasu, njegov efekt se može proširiti i na izmijenjene vremenske uvjete diljem svijeta.

Slabljenjem utjecaja pasatnih vjetrova te zapljuskivanja tople tropske vode Tihog oceana prema istoku dovodi do porasta temperature i relativne vlažnosti u zraku u području središnjeg i istočnog tropskog Tihog oceana. Ta pojava mijenja vremenske obrasce u susjednim područjima (najčešće oko Indonezije i sjeveru Južne Amerike s manjkom

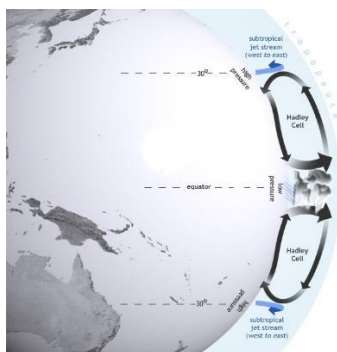
padalina, a na području jugoistočne Južne Amerike, južnog dijela SAD-a s većim dijelom padalina) i diljem svijeta (istočni dio ekvatorijalne Afrike).

Tijekom ljeta postoji realna opasnost da topla voda donesena El Niño-m podržava razvoj tropskih ciklona na jugoistočni i jugozapadni dio sjevernog Tihog oceana. Tako se povećava broj tropskih ciklona u tom području. Međutim, taj utjecaj El Niña smanjuje vjerojatnost nastajanja tropskih ciklona u području Atlantskog oceana. U južnim dijelovima SAD-a, od Kalifornije do Floride, za vrijeme zime, dolazi do jakog slabljenja utjecaja El Nina te je vrijeme tada puno hladnije od uobičajenog, a ono se proteže od Kalifornije do Floride te uz istočnu obalu, međutim, za sjeverna područja uz granicu s Kanadom i Velika jezera tijekom zime dolazi do suše i porasta temperature. Područja koja su pogođena sušom i većim temperaturama.

Veće temperature mora te promjena kretanja morske struje tijekom El Niña dovodi do promjene distribucije i brojnosti ribe i ostalih organizama uz sjevernu obalu Južne Amerike. U tome periodu morske životinje migriraju s juga na sjever zbog životne ugroze i nužne potrebe za hladnijom vodom.

7.2. POSLJEDICE EL NIÑA

Povećanje površinske temperature mora jedan je od stvorenih efekata pojavom El Niña. To uzrokuje konvekcije koje su van granica onih uobičajenih na srednjem i istočnom tropskom pojasu Tihog oceana. Uzrok nastajanja pojačane konvekcije zraka je povećanje temperature i relativne vlažnosti. Pojačana konvekcija dovodi do stvaranja olujnih oblaka te posljedično značajnih oborina poput tuče, električnih pražnjenja i olujnog vjetrova.



Slika 45. Hadley-jeva cirkulacija.

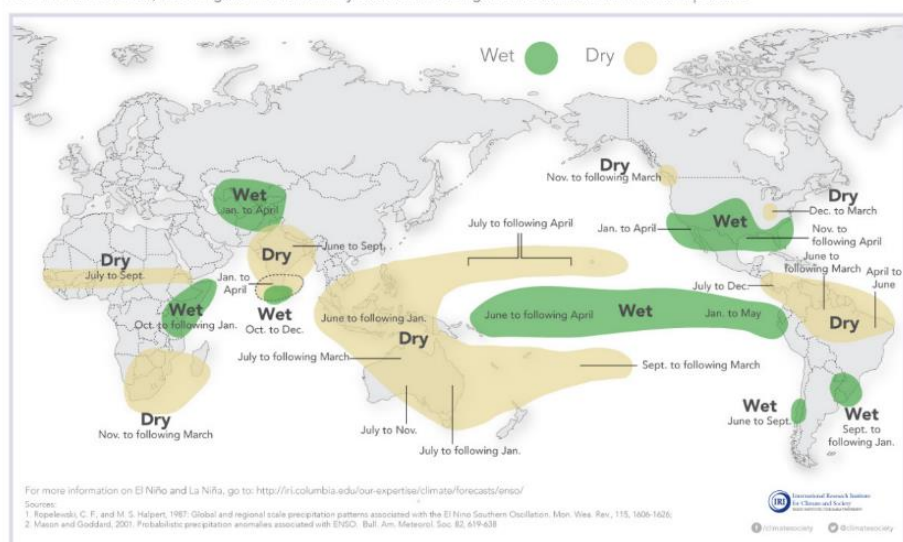
IZVOR:

https://www.climate.gov/sites/default/files/styles/full_width_620_original_image/public/HadleyCell_610.jpg?itok=1KUIYUjU

Tropski zrak je dio Hadley-eve ćelije (Slika 45.) koja opisuje prizemnu i visinsku cirkulaciju zraka u tropskom području. Stvaranjem dodatnog zagrijavanja u gornjoj atmosferi tropskog područja Tihog oceana, zrak koji struji prema polovima postaje sve snažniji te mijenjanjem snage strujanja zraka dovodi do mijenjanja cirkulacijskih obrazac diljem svijeta (na sjevernom Pacifiku u vrijeme zime El Niño uzrokuje promjenu kretanja zračnih struja koje idu od zapada prema istoku). Zračne struje zbog utjecaja El Nina mogu prodrijeti sve do Sjeverne Amerike i sa sobom donijeti natprosječnu količinu oluja u južnom dijelu SAD-a.

El Niño and Rainfall

El Niño conditions in the tropical Pacific are known to shift rainfall patterns in many different parts of the world. Although they vary somewhat from one El Niño to the next, the strongest shifts remain fairly consistent in the regions and seasons shown on the map below.



Slika 46. El Niño uzrokuje oborine u sjevernoj Americi, ekvatorijalnom pojasu Tihog oceana, zapadnoj Africi i Ukraj dok suša prevladava na zapadnom dijelu Tihog oceana, Indiji, srednjem i južnom dijelu Afrike te sjevernom dijelu južne Amerike.

IZVOR: https://www.climate.gov/sites/default/files/ElNinographic_lrg.jpg

Slika 46. prikazuje područja poput sjeverne Amerike u kojima se za vrijeme El Nina stvaraju oborine koje su na slici prikazane zelenom bojom te područja poput zapadnog dijela Tihog oceana u kojem nema oborina žutom bojom. Za svako područje opisano je i razdoblje od kada do kada se može očekivati oborina ili vrijeme bez oborina. Primjerice, na Tihom oceanu uz obale južne Amerike za vrijeme El Nina, oborine očekujemo od siječnja do svibnja, dok za područja uz obale Indonezije od lipnja do sljedećeg travnja.

8. ZALEĐIVANJE

Proces u kojem se na površini palube stvara led naziva se zaleđivanje. Postupak zaleđivanja na površinama može se stvoriti zbog nakupljanja snijega na površinama palube pri negativnim temperaturama, dodiranjem pothlađene vodene pare iz zraka sa površine na brodu pri negativnim temperaturama te prelijevanjem mora po površinama palube s negativnim temperaturama.

Kako bi uopće došlo do zaleđivanja na površinama potrebna je niska temperatura, dovoljan broj i veličina kapljica vode ili ledenih kristala te njihov raspored u prostoru.

Do zaleđivanja mora dolazi pri negativnim temperaturama ovisno o salinitetu mora. Primjerice pri salinitetu 30‰ zaleđivanje počinje ispod $2,7^{\circ}\text{C}$ ²⁴. Postoji 6 vrsta morskog leda:

1. Novi led (nastaje u vrijeme zime te ima debljinu od nekoliko milimetara)
2. Nilas led (lako se savija te ima debljinu do 10 cm i dijeli se na tamni i svijetli nilas)
3. Palačinka led (ima oblik palačinke promjera od 30 do 300 cm i debljine do 10 cm)
4. Mladi led (led koji se stvara u fazi između nilas leda i jednogodišnjeg leda te ima debljinu do 30 cm)
5. Jednogodišnji led (vrlo je mekan, međutim, u zimskom razdoblju povećanjem debljine koja može doseći i do 2 m, postaje sve tvrđi)
6. Stari led (njegova debljina je najmanje 3 m te je to onaj led koji je opstao barem jednu sezonu topljenja)²⁵

Tablica 4. Skala prohodnosti kroz led.

Stupanj	Uvjeti plovidbe
---------	-----------------

²⁴ Mala internet škola oceanografije, termohalina svojstva i parametri, online: http://skola.gfz.hr/d3_1.htm

²⁵ Jakelić, L. 2023, Plovidba u ledu, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka

prohodnosti	
0	Brod plovi po čistoj vodi ili vodi s komadićima leda, ne treba mijenjati kurs.
1	Brod lako zaobilazi velike komade leda, plovi uz male promjene kursa i ne mijenja brzinu.
2	Brod manevrira između komada leda, s vremenom mijenja brzinu.
3	Brod udara o ledenu branu, plovi, ali često manevrira te mijenja brzinu i hod motora („kretanje naprijed“, „stoj“, „krmom“).
4	Brod udara o led i odstranjuje ga polako se krećući, ne pridržava se kursa te mijenja brzinu.
5	Brod napreduje udarima u led, njegovo je kretanje iznimno sporo, a napredovanje se mjeri dužinom broda.
6	Brod je potpuno zarobljen u ledu, pokušava napredovati, ali bezuspješno.

IZVOR: Gavranić, A., 2023, Plovidba brodom u područjima leda i ledenih santi, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Splitu

Tablica 4. prikazuje šest stanja prohodnosti kroz područje s ledom te opisuje opasnosti koje pojedino stanje može prouzročiti brodu zbog ne mogućnosti usmjeravanja broda u željeni kurs tijekom plovidbe.

Na područjima polarnih mora, zimi su temperature vrlo često ispod -20° C. Posada je u ovim područjima najviše opterećena zbog drastično niskih temperatura koje ugrožavaju zdravlje, pa je potrebno koristiti odgovarajuću zaštitnu opremu. Najvažnije je da posada ima odgovarajuću odjeću i obuću koja će što duže zadržavati toplinu tijela. Također izmjena posade prilikom operacija na palubi je vrlo bitna.



Slika 47. Posebna termozaštitna odijela za područja s vrlo niskim temperaturama.

IZVOR: https://media-cldnry.s-nbcnews.com/image/upload/t_fit-760w,f_auto,q_auto:best/msnbc/Components/Photo_StoryLevel/071124/071124_antarctic_hmed_630a.jpg

Na brodovima koji plovo polarnim područjima posada se mora konstantno izmjenjivati prilikom rada na palubi za razliku od brodova koji su u toplijim krajevima, a sve to zbog mogućnosti nastajanja smrztotine, pothlađivanja, prisutnosti hladnog vjetera i snježne sljepoće. Uz opremu vrlo je važno imati odgovarajuće rukavice, cipele i zaštitne naočale kako bi se što više povećala sigurnost posade.

Slika 47. prikazuje upotrebu termozaštitnih odijela pri spašavanju posade i putnika s tonućeg broda MS Explorer. Prilikom navigacije u polarnim krajevima potrebno je ugraditi polariziranu zaštitu u zaštitne naočale i stakla na mostu kako ne bi došlo do oštećenja vida zbog refleksije sunčeve svjetlosti o gladak led i snijeg. Albedo leda je veći od 90 % što znači da se većina upadne sunčeve svjetlosti reflektira, a što je površina glađa to je refleksija pravilnija i opasnija za oštećenja vida.

Koliko je zahtjevna plovidba u ledu, pokazuju česti primjeri štete na brodovima, povećana potrošnja goriva, borba posade sa zaleđivanjem palube i time narušavanjem stabilnosti, pa i u konačnici potonuće. Svaki sudar s ledom predstavlja potencijalnu opasnost od potonuća.



Slika 48. Potonuće brod MS Explorer nakon sudara s ledom oko Antarktike

IZVOR: https://media-cldnry.s-nbcnews.com/image/upload/t_fit-1000w,f_auto,q_auto:best/msnbc/Components/Photo_StoryLevel/071123/071123_explorer_hmed_9p.jpg

Slika 48. prikazuje kruzer koji je udario u santu leda 23. studenog 2007. godine te je nastala rupa na oplati broda što je uzrokovalo nagnuće i na kraju potonuće. Na brodu je bilo 154 putnika i članova posade koji su uspješno evakuirati u čamce za spašavanje od kruzera koji je plovio u blizini. Putnici i posada su bili izloženi vrlo niskim temperaturama,

međutim, niti jedna osoba nije stradala. Za vrijeme nesreće more je bilo mirno, a vjetar slab²⁶.

²⁶NBC News, 2007, Cruise ship goes down off Antarctica, 23 November, online: [Cruise ship goes down off Antarctica \(nbcnews.com\)](http://www.nbcnews.com/id/3488117/ns/antarctica-antarctica_tourism-tourism_tourism/story/cruise-ship-goes-down-off-antarctica/)

9. POMAGALA PRI NAVIGACIJI

Pomagala pri navigaciji koja se koriste za vođenje broda, određivanje i praćenje parametara poput temperature, relativne vlažnosti, tlaka zraka...., te uređaji koji pozicioniraju brod u prostoru, prilikom nailaska na ili predviđanja opasnih pojava, mogu se podijeliti na navigacijsku i ne navigacijsku opremu.

9.1. NAVIGACIJSKA OPREMA

Pod navigacijsku opremu spada radar, AIS, brzinomjer, GPS i ECDIS. Također, važnost pri navigaciji imaju i zvukovi za maglu kojima se signalizira prisutnost broda.

9.1.1. Radar

Radar (engl. *Radio Detecting and Ranging* - RADAR) se može koristiti po noći, magli i slaboj vidljivosti, te omogućuje vrlo točno određivanje pozicije putem elektromagnetskih valova na temelju razlike vremena. Njime se može jako dobro predočiti situacija kod određivanja sudarnih kursova.

Pomorski radar radi na osnovnom principu elektromagnetskih valova. Radarska antena šalje elektromagnetske valove velike brzine kako bi utvrdila lokaciju, što je udaljenost, brzina i smjer kojim je val putovao s visinom objekta, koji se kreće ili miruje. Uz pomoć radara mogu se spriječiti nesreće na moru korištenjem različitih funkcija radara poput određivanja najbliže točke mimoilaženja, vremena najbliže točke mimoilaženja, određivanja azimuta i udaljenosti²⁷.

Razlika između određivanja pozicija radarom i drugim pomagalima poput AIS-a je u tome što je točnost korištenja radara puno veća te je brzina kojoj se dobivaju podatci znatno veća, a sve zbog ne ovisnosti o satelitskom sustavu i zbog toga što radar sam mjeri svoje parametre s pomoću elektromagnetskih valova odaslanih u prostor²⁸.

Smetnje od kiše i mora također su vidljiva na ekranu radara. Smetnje od kiše uočavaju se ovisno o njihovome intenzitetu te veličini padalina (kišica, snijeg, pljusak). Ove smetnje će na ekranu radara biti vrlo glatkog prikaza te će pokrivati veće područje.

²⁷ Bhattacharjee, S., 2024, Marine insight, Marine Radar and Its Uses in the Shipping Industry, 4. ožujka, online: [Marine Radar and its Uses in the Shipping Industry \(marineinsight.com\)](https://marineinsight.com)

²⁸ Benković, F., Piškorec, M., Lako, LJ., Čepeljak, K. Stajić, D., 1986., terestrička i elektronska navigacija, Hidrografski institut ratne mornarice - Split

Smetnje od mora, nastaju odbijanjem elektromagnetskog vala od valova koji su u blizini broda te se te smetnje na ekranu radara razlikuju od kiše po tome što je njihov prikaz šiljastog oblika.

9.1.2. Sustav za automatsku identifikaciju

Sustav za automatsku identifikaciju (engl. *Automatic Identification System - AIS*) je uređaj koji svoje podatke predaje drugim AIS stanicama preko VHF (engl. *Very High Frequency – VHF*) frekvencijskog pojasa. Njegova svrha je identifikacija brodova, pomoć pri praćenju okolnih AIS stanica te odašiljanje dodatnih informacija o brodu kako bi se druge upoznale sa svojim namjerama. U kombinaciji s obalnim stanicama, sustav pruža mogućnost nadgledanja pomorskog prometa lučkim vlastima i tijelima odgovornim za pomorsku sigurnost²⁹.

Sustav pomaže u sprječavanju sudara tako da omogućuje praćenje pomorskog prometa obližnjih plovila te predviđa potencijalna područja sudara i obavještava za poduzimanje preventivnih mjera na vrijeme. Također, koristi se kod upravljanja prometom pomaže u organiziranju dolaznog i odlaznog prometa u luci. To jamči učinkovitu raspodjelu vezova i poboljšava kretanje prometa. Kod traganja i spašavanja AIS signali mogu točno usmjeravati spasilačke timove, potencijalno spašavajući živote. Budući da su podatci digitalni, AIS podaci se mogu arhivirati i proučavati, pomažući u usavršavanju rute, štednji goriva i drugim pomorskim analizama³⁰.

9.1.3. Brzinomjer

Brzina broda mjeri se brzinomjerom te se dijele na apsolutne (mjere brzinu preko dna) i relativne (mjere brzinu kroz vodu) brzinomjere. Kombiniranjem brzinomjera sa žirokompasom može se odrediti vektor kretanja odnosno kurs i brzina kroz vodu te se ti podatci mogu uspoređivati s podacima dobivenim sustavom GPS koji mjeri brzinu broda preko dna i na kraju se dobiva kut zanosa uzrokovan utjecajem valova, vjetra i morskih struja.

²⁹ NATO, AIS (Automatic Identification System) overview, online: [NATO Shipping Centre - AIS \(Automatic Identification System\) Overview](#)

³⁰ The Nautical Institute, 2023, How AIS works and what it does, 28. rujna, online: [How AIS works and what it does \(nautinst.org\)](#)

9.1.4. Globalni sustav za određivanje položaja

Globalni sustav za određivanje položaja (engl. *Global Positioning System* - GPS) je američki globalni navigacijski satelitski sustav (engl. *Global Navigational Satellite System* – GNSS) koji pruža besplatne usluge pozicioniranja i mjerenja vremena diljem svijeta.

S pomoću GPS-a utvrđuje se pozicija broda u prostoru te zbog konstantnog praćenja broda dobivaju se i parametri poput kursa preko dna, brzine preko dna i pružanja točnog vremena. Čestim usporedbama pozicije i brzine kretanja može se dobiti ruta kojom je brod plovio te utvrditi je li koji od meteorološko – oceanoloških utjecaja djelovao na brod te kako pozicionirati brod da se ti utjecaji što više smanje. Usporedbom brzine kroz vodu i brzine preko dna, kursa kroz vodu i preko dna dobiva se kut zanosa stvoren zbog utjecaja vanjskih sila (valovi, vjetar, morske struje).

9.1.5. Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata

Informacijski sustav i prikaz elektroničkih karata (engl. *Electronic Chart Display and Information System* – ECDIS) je specijalizirano digitalno navigacijsko računalo i alternativa papirnatim kartama. Na njega se pohranjuje skup elektroničkih (engl. *Electronic Navigational Chart* – ENC) i/ili rasterskih navigacijskih karata, koje prikazuju sve potrebne geografske informacije. Međutim, ECDIS nije samo digitalizirana zamjena za tradicionalne karte.

ECDIS sustav obično uključuju puno više informacija od informacija koje nude papirnat kartama i automatiziraju mnoge bitne funkcije. ECDIS sustav omogućuje automatsko praćenje i planiranje putovanja. ECDIS se može integrirati s ostalim uređajima poput AIS-a, dubinomjera, radara, i drugim³¹.

Uz prikazane podatke o kretanju kroz vodu i preko dna, brzini kroz vodu i preko dna, radarske preslike, AIS objekata mogu se prikazati i podatci o morskim strujama, ledu, vremenske, meteorološke i oceanološke informacije. Ovi podatci uvelike olakšavaju sam rad zbog ukomponiranosti raznih uređaja i instrumenata s ECDIS sustavom te mogućnosti prikaza i bilježenja tih podataka na jednome mjestu.

9.1.6. Zvučni signali u magli

³¹ Hays, C., 2020, American Nautical Service, Understanding ECDIS: Digital Navigation Guide, 5. studenog, online: [Understanding ECDIS: Digital Navigation Guide - Amnautical](#)

9.2. NE NAVIGACIJSKA OPREMA

Osnovni instrumenti koji se na brodu koriste za mjerenje meteoroloških elemenata a vezani a ne spadaju u navigacijsku opremu jesu termometar, higrometar, barometar i anemometar. Osim njih, ovdje spadaju NAVTEX i SafetyNet.

9.2.1. Termometar

Termometar je instrument kojim se mjeri temperatura zraka i mora te se izražava u °C. Prije očitavanja temperature okolnog zraka potrebno je uvjeriti se je li termometar suh, paziti da se dahom ne utječe na temperaturu, te da oko bude u visini žive kako bi se izbjegla greška pri očitavanju. Termometar se koristi kako bi se moglo uspoređivati prijašnje temperature i one koje će biti očitane. Tako se može predvidjeti kakva će biti isparavanja iznad površine mora ovisno o razlici temperature zraka i mora.



Slika 49. Brodski termometar.

IZVOR: <https://donarboats.hr/wp-content/uploads/2021/04/bq4026.jpg>

Slika 50. prikazuje brodski termometar.

9.2.2. Higrometar

Higrometar služi za očitavanje relativne vlažnosti koja se bilježi u postotcima. On nije posve precizan, kao što su drugi uređaji za mjerenje relativne vlažnosti, međutim, vrlo je koristan pri nižim temperaturama i kada je relativna vlažnost između 40 i 60 %³⁵. Relativnu vlažnost je potrebno mjeriti kako bi se utvrdilo da li postoji mogućnost nailaska na oborine, smanjenu vidljivost, sustave kojima pogoduje visoka relativna vlažnost.

³⁵ Crometeo, 2013., Motrenje i prognoziranje vremena, 11. travnja, online: [Kako se vrše meteorološka mjerenja na brodvju? | Crometeo](#)



Slika 50. Higrometar.

IZVOR: https://model-educa.hr/671-large_default/higrometar-analogni.jpg

Slika 51. prikazuje higrometar sa skalom u postotcima.

9.2.3. Barometar

Tlak se mjeri barometrom u milibarima (mb) ili milimetrima stupca žive (mm Hg). Tendencija barometra je prikaz tlaka zraka za tri sata koja prethode vremenu promatranja. Živin barometar se ispravlja za grešku instrumenta i grešku sile teže. Pri samog očitavanja potrebno je kucnuti nekoliko puta po staklenom poklopcu kako bi kazaljka savladala trenje i došla na mjesto. Barometri na brodu su podešeni da direktno prikazuju tlak zraka na površini mora³⁶. Naglom promjenom tlaka može se utvrditi je li u blizini neki sustav poput ciklone, anticiklone, tropskog ciklona, te ovisno o zapisanim vrijednostima barometra te onim očitanim utvrditi kakav će biti barički gradijent te hoće li biti jak vjetar.



Slika 51. Barometar.

IZVOR: <https://www.tfa-dostmann.de/wp-content/uploads/26970-62d809e9e2e55-scaled.jpg>

³⁶ Crometeo, 2013., Motrenje i prognoziranje vremena, 11. travnja, online: [Kako se vrše meteorološka mjerenja na brodvju? | Crometeo](#)

Slika 52. prikazuje barometar sa skalom za tlak u mm Hg i hPa te prognozu s obzirom o atmosferskom tlaku.

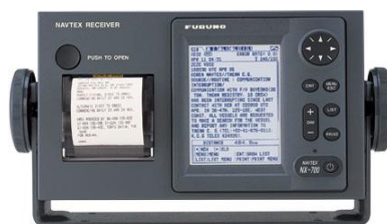
9.2.4. Anemometar

Vjetar se na brodu mjeri anemometrom. On se određuje smjerom, brzinom i jačinom. Smjer vjetra se označava od smjera od kojeg vjetar puše i to prema ruži vjetrova. Brzina vjetra može se označavati u čvorovima, metrima po sekundi i kilometrima na sat. Jačina vjetra označava silu vjetra kojom vjetar djeluje na pojedine predmete. Također pomorcu je potrebno odrediti da li vjetar puše na mahove ili je konstantan. Zbog kretanja broda mjeri se prividni vjetar kao rezultanta pravog vjetra i kretanja broda, međutim, na brodu se određuje i pravi vjetar. Jačina vjetra određuje se po Beaufortovoj ljestvici.

9.2.5. NAVTEX

NAVTEX (engl. *Navigational Telex*) je uređaj koji prima pomorske sigurnosne obavijesti (engl. *Maritime Safety Information – MSI*), a koji označava međunarodnu i nacionalnu mrežu emitiranja koja sadrži informacije vezane za sigurnu plovidbu, navigacijska i meteorološka upozorenja, meteorološke prognoze i druge hitne sigurnosne poruke za brodove. Dio je Globalnog sustava za pogibelj i sigurnost (engl. *Global Maritime Distress and Safety System*) te je osmišljen kako bi omogućio jednostavno primanje poruka koje su automatizirane za brodove koji plove u obalnim vodama. Informacije koje dolaze na NAVTEX uglavnom su bitne za sve vrste plovila koja plove na tome području te omogućuje odbijanje primanja određenih vrsta poruka, dok se određene ne mogu odbijati. Obavijesti koje se ne mogu odbiti spadaju pod navigacijska upozorenja (A), meteorološka upozorenja (B), informacije traganja i spašavanja (D) i ostala navigacijska upozorenja (L). Frekvencija rada za međunarodni jezik (engleski) je 518 kHz dok na lokalnim jezicima prima obavijesti na 490 koji ima manji domet i 4 209,5 kHz koji ima veći domet, a sve zbog načina širenja elektromagnetskog vala. Domet NAVTEX-a ovisi o odaslanoj snazi i lokalnom uvjetu širenja radiovalova. Tijekom dana domet će biti između 250 i 400 nautičkih milja ako je odašiljana snaga ne veća od 1 kW dok se za vrijeme noći smanjuje za 60 %³⁷.

³⁷ IMO, 2022, NAVTEX Manual, 28 November, online: [MSC.1-Circ.1403-Rev.2.pdf \(imo.org\)](https://www.imo.org/publications-and-products/other-publications-and-products/2022/11/28/navtex-manual)



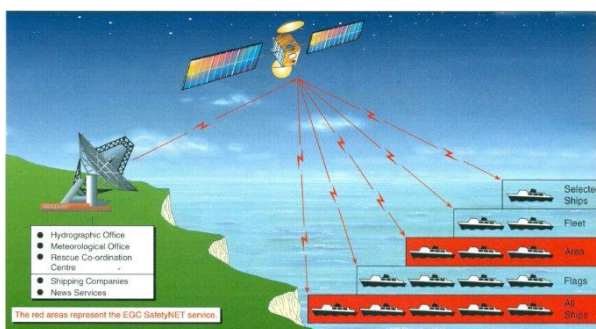
Slika 52. NAVTEX prijamnik sa pisačem.

IZVOR: https://www.furuno.com/files/ProductImage/142/image/NX-700A_E.jpg

Slika 53. prikazuje NAVTEX prijamnik (lijevo) sa ugrađenim pisačem (desno).

9.2.6. SafetyNET služba

SafetyNET služba označava međunarodnu satelitsku službu, kao dio GMDSS sustava, za automatski ispis pomorskih sigurnosnih obavijesti, navigacijskih i meteoroloških upozorenja, meteoroloških prognoza, informacije o traganju i spašavanju i druge informacije. Razvijen je kao sigurnosna služba Inmarsat-a C EGC (engl. *Enhanced Group Call*) koja pruža automatizirane i jednostavne MSI poruke. SafetyNET pruža izbor primanja poruka te njihovog ispisa. Radi na području djelovanja geostacionarnih satelita što znači da pokrivaju područja između 76° N i 76° S. Uz to što se poruke mogu primiti na velikom području, SafetyNET ima mogućnost primanja MSI poruka u područjima obalnih voda koja nisu pokrivena NAVTEX-om³⁸.



Slika 53. Osnovni princip rada SafetyNET-a.

IZVOR: <https://www.egmdss.com/simulators/egc-concepts.jpg>

³⁸ International SafetyNET Services, Manual, 2019 edition, online: [Microsoft Word - Safetynet Manual 2019-Draft Version ReviewedInmarsat V01.doc \(iho.int\)](#)

SafetyNET (Slika 54.) omogućuje prijem poruka na području između 76° N i 76° S te ih mogu primiti određeni brodovi, određene skupine brodova, brodovi u određenome području te svi brodovi.

10. ZAKLJUČAK

U ovom radu dan je detaljniji pregled opasnih meteorološko-oceanskih pojava koje utječu na sigurnost navigacije pomorstvu poput raznih oluja, vjetrova, magle, različitih tipova valova, morskih struje i leda na moru.

Oluje na moru su podijeljene prema porijeklu nastanka na frontalne i nefrontalne, a svima je karakterističan nestabilan zrak. Frontalne oluje najčešće su vezane uz hladnu frontu koja utječe na stvaranje olujnih oblaka tipično kumulonimbusa. Međutim, puno rjeđe, oluje se mogu javiti i nailaskom tople fronte primjerice za vrijeme ljetnih večeri.

Nefrontalne oluje su vezane uz procese konvekcije toplog zraka. Kod intenzivnih konvekcija prilikom zagrijanosti prizemnog zraka primjerice ljeti nastaju iz kumulusa kumulonimbusi, a onda i oluje.

Za tropski ciklon kao primjer najveće nepogode za pomorstvo opisane su dvije teorije nastanka dinamička i fizikalna. Najveća ciklogenetska područja su područja između Maršalovih otoka i Filipina, zatim uzduž zapadnih obala Meksika te Meksički zaljev i Karipsko more pa plovidbi u tim područjima treba pristupiti s naročitim oprezom. Tropski cikloni postižu brzine vjetra preko 100 čv.

Najveća oceanska morska struja, hladna Antarktička cirkumpolarna morska struja s protokom 134 Sv, ima ogranke koji ulaze u Tihi, Atlantski i Indijski ocean. Plovidba u ledu i uz ovu snažnu morsku struju predstavlja veliki izazov bilo da se plovi iste orijentacije ili suprotne.

Plovidba u magli također predstavlja izazov zbog smanjene vidljivosti ispod 1 km. Porijeklo magle također može biti frontalno i nefrontalno. Magle su stalne u područjima susretanja tople i hladne morske struje zbog ohlađivanja toplog zraka bogatog vodenom parom i kondenzacije te pare u vodene kapi. Problem se javlja u plovidbi kad se u takvim područjima poput područja Newfoundland pojavi i vjetar koji može dostizati 20 čv.

U ovom radu dani su primjeri navigacijske poput radara, brzinomjera, AIS - a i sl. i nenavigacijske opreme poput termometra, barometra, anemometra koji pomažu u sigurnoj navigaciji.

LITERATURA

[1] Cornish, M., Ives, E. 2006, Reeds maritime meteorology, 3rd edition, Adlard Coles Nautical, London

[2] New York Post, 2022, Arctic sea smoke from Lake Michigan blankets Chicago:video, 24 December, online [Arctic sea smoke from Lake Michigan blankets Chicago: video \(nypost.com\)](https://nypost.com/2022/12/24/arctic-sea-smoke-from-lake-michigan-blankets-chicago-video/) (17.07.2024.)

[3] *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. Pristupljeno 11.8.2024. online: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/vjetar> (07.07.2024.)

[4] NOAA, 2021, What are the Roaring Forties?, 01 April, online: [What are the Roaring Forties? \(noaa.gov\)](https://www.noaa.gov/what-are-the-roaring-forties/) (25.05.2024.)

[5] Gelo, B. 2010, Opća i pomorska meteorologija, Sveučilište u Zadru, Odjel za promet i pomorstvo, Zadar

[6] Ban, N., 2010, Prostorna razdioba ciklonalnog juga na Jadranu, Prirodoslovno – matematički fakultet, Zagreb

[7] Brozović, N., Jurčec, V. 1997, Numerička simulacija razvoja Jadranske ciklone, online: [Numerička simulacija razvoja Jadranske ciklone \(srce.hr\)](http://www.srce.hr/numericka-simulacija-razvoja-jadranske-ciklone/)

[8] IBTrACS, 2022 Typhoon MALAKAS, online: [IBTrACS - International Best Track Archive for Climate Stewardship \(ncics.org\)](https://www.ncics.org/ibtracs/)

[9] Frankić, L. 2021, Tropski ciklon – opasnosti za navigaciju, Pomorska škola Bakar, Bakar

[10] Fox Weather, 2021, What is a waterspout?, 19 October, online: [What is a waterspout? | Fox Weather](https://www.foxweather.com/what-is-a-waterspout/) (19.04.2024.)

[11] Browditch, N. 1981 – 1984, American practical navigator: an epitome of navigation, Publications; no. 9, Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center, Washington

[12] National Geographic, 2023, Rogue waves, 19 October, online: [Rogue Waves \(nationalgeographic.org\)](https://www.nationalgeographic.com/rookie-waves/) (13.08.2024.)

[13] NBC News, 2005, Huge wave turns cruise-ship holiday to horror, 17 April, online: [Huge wave turns cruise-ship holiday to horror \(nbcnews.com\)](https://www.nbcnews.com) (15.07.2024.)

[14] Encyclopaedia Britannica, 2023, Antarctic Circumpolar Current, 17 November, online: [Antarctic Circumpolar Current | Direction, Location, Map, & Facts | Britannica](https://www.britannica.com) (25.05.2024.)

[15] Encyclopaedia Britannica, 2023, Agulhas Current, 10 November, online: [Agulhas Current | Map, Location, & Facts | Britannica](https://www.britannica.com) (25.05.2024.)

[16] Encyclopaedia Britannica, 2023, Mozambique Current, 04 December, online: [Mozambique Current | Map, Location, & Facts | Britannica](https://www.britannica.com) (25.05.2024.)

[17] NOAA, 2016, Understanding El Niño, 02 February, online: [Understanding El Niño | National Oceanic and Atmospheric Administration \(noaa.gov\)](https://www.noaa.gov) (25.05.2024.)

[18] NASA, World of Change: El Niño, La Niña, and Rainfall, online: [World of Change: El Niño, La Niña, and Rainfall \(nasa.gov\)](https://www.nasa.gov) (18.07.2024.)

[19] Jakelić, L. 2023, Plovidba u ledu, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka

[20] NBC News, 2007, Cruise ship goes down off Antarctica, 23 November, online: [Cruise ship goes down off Antarctica \(nbcnews.com\)](https://www.nbcnews.com) (19.08.2024.)

[21] Bhattacharjee, S., 2024, Marine insight, Marine Radar and Its Uses in the Shipping Industry, 4. ožujka, online: [Marine Radar and its Uses in the Shipping Industry \(marineinsight.com\)](https://marineinsight.com) (22.08.2024.)

[22] Benković, F., Piškorec, M., Lako, L.J., Čepeljak, K. Stajić, D., 1986., Terestrička i elektronska navigacija, Hidrografski institut ratne mornarice – Split

[23] NATO, AIS (Automatic Identification System) overview, online: [NATO Shipping Centre - AIS \(Automatic Identification System\) Overview](https://www.nato.int) (19.08.2024.)

[24] The Nautical Institute, 2023, How AIS works and what it does, 28. rujna, online: [How AIS works and what it does \(nautinst.org\)](https://www.nautinst.org) (19.08.2024.)

[25] Hays, C., 2020, American Nautical Service, Understanding ECDIS: Digital Navigation Guide, 5. studenog, online: [Understanding ECDIS: Digital Navigation Guide - Amnautical](https://www.amnautical.com) (19.08.2024.)

[26] Pravila o izbjegavanju sudara na moru, pravilo 35, izvor: [COLREGs course - Pravilo 35 \(Zvučni signali pri smanjenoj vidljivosti\) \(ecolregs.com\)](#) (21.08.2024.)

[27] Crometeo, 2013., Motrenje i prognoziranje vremena, 11. travnja, online: [Kako se vrše meteorološka mjerenja na brodu? | Crometeo](#) (11.07.2024.)

[28] IMO, 2022, NAVTEX Manual, 28 November, online: [MSC.1-Circ.1403-Rev.2.pdf \(imo.org\)](#) (11.07.2024.)

[29] International SafetyNET Services, Manual, 2019 edition, online: [Microsoft Word - Safetynet Manual 2019-Draft Version ReviewedInmarsat V01.doc \(iho.int\)](#) (25.08.2024.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Raspršenje svjetlosti na kapljici vode.....	3
Slika 2. Topao zrak struji prema hladnoj morskoj površini i stvara adveksijsku maglu.....	4
Slika 3. Magla u području Grand Banks-a pored Newfoundland - a.....	4
Slika 4. Grand Banks s labradorskom hladnom i Golfskom toplom morskom strujom.....	5
Slika 5. Engleski kanal 8. kolovoza 2012.....	5
Slika 6. Promjene temperature mora od 60°S do 60°N unazad 40 godina za mjesec srpanj. ...	6
Slika 7. Temperatura površine mora od 20,2 °C za 13. svibanja 2024.....	7
Slika 8. Topla fronta.....	8
Slika 9. Topla okludirana fronta.....	8
Slika 10. Frontalna mogla između tople i hladne zračne mase.....	9
Slika 11. Arktički morski dim.....	9
Slika 12. Arktički dim na području Chicago.....	10
Slika 13. Arktički morski dim na područja Rockland-a, Maine, SAD, temperatura zraka -24 °C, (16. siječanj 2009.).....	11
Slika 14. Vjetar kopnenjak koji se javlja nakon zalaska Sunca.....	14
Slika 15. Visina valova i jačina vjetra na području Snažnih 40-ih.....	16
Slika 16. Rt Horn sa vjetrom snage 16 čv i signifikantnom visinom vala od 4,17 m.....	17
Slika 17. Brod se suprotstavlja snažnim silama koje uzrokuju vjetar i valove na području snažnih 40-ih.....	17
Slika 18. Islandska ciklona, 24 svibnja 2024.....	19
Slika 19. Islandska ciklona, 26. svibnja 2024.....	20
Slika 20. Analiza srednjeg tlaka zraka na površini mora iznad Europe (28.03.1995., 00:00 UTC).....	22
Slika 21. Temperatura zraka uz površinu mora 25,3°C i relativna vlažnost 73% na dan 11. lipnja 2024. na koordinatama 12.43°N 32.21°W.....	23
Slika 22. Bokocrt tropskog ciklona.....	25
Slika 23. Nacrt tropskog ciklona na sjevernoj hemisferi s radara.....	25
Slika 24. Kretanja i učestalost postojanja tropskih ciklona.....	26
Slika 25. Tropski ciklon Harvey.....	27
Slika 26. Razvoj tropskog ciklona Otis u 12 satnom vremenskom razdoblju.....	27
Slika 27. Saffir-Simpsonova ljestvica.....	28
Slika 28. Putanja tropskog ciklona Malakas od 7. do 15. travnja 2022.....	29
Slika 29. Brzina vjetra u čvorovima i tlak u milibarima tropskog ciklona Malakas od 7. do 15. kolovoza 2022.....	30
Slika 30. Učestalost tropskih ciklona za područja sjevernog Atlantika, istočnog dijela sjevernog Tihog oceana, zapadnog dijela sjevernog Tihog oceana (Daleki Istok), sjeverne Indije (Arapsko more i Bengalski zaljev), južne Indije te područja Australije (do 160° geografske dužine) i južnog Tihog oceana (istočno od 160° geografske dužine) u razdoblju od 1985 do 2014. godine.....	31
Slika 31. Brzine vjetrova za navedena područja.....	32
Slika 32. Prikaz plovidbene polovice na sjevernoj hemisferi.....	33
Slika 33. Prikaz plovidbene polovice na južnoj hemisferi.....	33
Slika 34. Pijavice na području Velikih jezera u Sjevernoj Americi u listopadu 2021. godine.....	36
Slika 35. Polje opasnosti od valova za različiti kutove nailaska vala sa pramčanicom broda.....	39
Slika 36. Valovi živog mora.....	40

Slika 37. Kretanje morskih struja zimi.	42
Slika 38. Plovidba u ledu oko Antartike.	44
Slika 39. Brzina površinskog vjetra 28 km/h i signifikantna visina vala 3,99 m.	44
Slika 40. U tjesnacu između otoka Madagaskara i Afrike morska struja brzine 1,7 čv.	45
Slika 41. Brzina površinske struje te njezin smjer kretanja.	46
Slika 42. Neuobičajene temperature površine mora (lijevo) i neuobičajene postojanosti oborina za vrijeme El Nina (desno) (2002).	47
Slika 43. Neuobičajene temperature površine mora (lijevo) i neuobičajene postojanosti oborina (desno) (2008. godine).	48
Slika 44. Prognoza El Niña od prosinca (2023.) do veljače (2024.).	49
Slika 45. Hadley-jeva cirkulacija.	50
Slika 46. El Niño uzrokuje oborine u sjevernoj Americi, ekvatorijalnom pojasu Tihog oceana, zapadnoj Africi i Ukraj dok suša prevladava na zapadnom dijelu Tihog oceana, Indiji, srednjem i južnom dijelu Afrike te sjevernom dijelu južne Amerike.	51
Slika 47. Posebna termozaštitna odijela za područja s vrlo niskim temperaturama.	53
Slika 48. Potonuće brod MS Explorer nakon sudara s ledom oko Antarktike	54
Slika 49. Brodski termometar.	59
Slika 50. Higrometar.	60
Slika 51. Barometar.	60
Slika 52. NAVTEX prijamnik sa pisačem.	62
Slika 53. Osnovni princip rada SafetyNET-a.	62

POPIS TABLICA

Tablica 1. Beaufortova ljestvica te opis vjetra za pojedini stupanj.....	13
Tablica 2. Ljestvica stanja mora.....	14
Tablica 3. Tablica podjele mrtvog mora.	41
Tablica 4. Skala prohodnosti kroz led.....	52