

# Geografska raspodjela tropskih ciklona u svijet

---

**Boban, Ivan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:173662>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-19**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

*Repository / Repozitorij:*

[University of Zadar Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zadru  
Odjel za geografiju  
Sveučilišni diplomski studij  
Geografija; nastavnički smjer



**Ivan Boban**

**Geografska raspodjela tropskih ciklona u svijet**

**Diplomski rad**

Zadar, 2024.

Sveučilište u Zadru  
Odjel za geografiju  
Sveučilišni diplomski studij  
Geografija; smjer: nastavnički

Geografska raspodjela tropskih ciklona u svijetu

Diplomski rad

Ivan Boban

Student/ica:

Mentor/ica:  
prof. dr. sc. Robert Lončarić

Zadar, 2024.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Ivan Boban**, ovime izjavljujem da je moj **diplomski** rad pod naslovom **Geografska raspodjela tropskih ciklona u svijetu** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 26. srpnja 2024.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zadru

Diplomski rad

Odjel za geografiju

## GEOGRAFSKA RASPODJELA TROPSKIH CIKLONA U SVIJETU

Ivan Boban

Ovaj rad istražuje geografsku raspodjelu tropskih ciklona, analizirajući njihove karakteristike, uvjete nastanka i regionalne specifičnosti. Korištene metode uključuju analizu dostupnih podataka i relevantne literature kako bi se razumjeli ključni faktori koji utječu na nastanak i razvoj tropskih ciklona. Rezultati pokazuju da su regije tihooceanskog bazena posebno sklone visokoj aktivnosti tropskih ciklona zbog najpogodnijih atmosferskih i oceanskih uvjeta. Topla Golska struja i hladna Humboldtova struja također imaju značajan utjecaj na formiranje i distribuciju ciklona. Utvrđeno je da najsmrtonosniji cikloni nisu uvijek najintenzivniji već su njihovi učinci često povezani s infrastrukturom pogođenih regija. Rad također ističe važnost daljnjih istraživanja klimatskih promjena na učestalost, intenzitet i distribuciju tropskih ciklona.

Rad sadrži 77 stranica, 61 sliku, 43 bibliografske reference

**Ključne riječi:** brzina vjetra, klima, tajfun, tropski ciklon, uragan

**Mentor:** prof. dr. sc. Robert Lončarić

**Povjerenstvo:** doc. dr. sc. Denis Radoš (predsjednik)

prof. dr. sc. Robert Lončarić (član)

prof. dr. sc. Dražen Perica (član)

prof. dr. sc. Maša Surić (zamjenski član)

Rad prihvaćen: 10.7.2024

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

University of Zadar  
Department of Geography

Graduation thesis

### **GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF TROPICAL CYCLONES IN THE WORLD**

Ivan Boban

This paper investigates the geographical distribution of tropical cyclones, analyzing their characteristics, formation conditions, and regional specificities. The methods used include the analysis of available data and relevant literature to understand the key factors influencing the formation and development of tropical cyclones. The results show that the regions of the Pacific basin are particularly prone to high tropical cyclone activity due to the most favorable atmospheric and oceanic conditions. The warm Gulf Stream and the cold Humboldt Current also have a significant impact on the formation and distribution of cyclones. It has been determined that the deadliest cyclones are not always the most intense, but their effects are often linked to the infrastructure of the affected regions. The paper also emphasizes the importance of further research on the impact of climate change on the frequency, intensity, and distribution of tropical cyclones.

Thesis contains 77 pages, 61 pictures, 43 bibliographic references

**Keywords:** climate, hurricane, tropical cyclone, typhoon, wind speed

**Supervisor:** Robert Lončarić, PhD, Full Professor

**Reviewers:** Denis Radoš, PhD, Associate Professor (president)

Robert Lončarić, PhD, Full Professor (member)

Dražen Perica, PhD, Full professor (member)

Maša Surić, PhD, Full professor (substitute member)

Thesis accepted: 10.7.2024.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. METODOLOGIJA .....	2
3. NASTANAK I RAZVOJ .....	3
3.1. Opća obilježja tropskih ciklona .....	3
3.2. Potrebni uvjeti za formiranje tropskih ciklona.....	7
3.2.1. Temperatura mora .....	7
3.2.2. Relativna vlažnost.....	8
3.2.3. Vertikalno smicanje vjetra .....	9
3.2.4. Vrtložnost.....	10
3.2.5. Poremećaji u atmosferi .....	12
3.3. Faze razvoja tropskog ciklona od rađanja do raspada i njegova struktura ...	13
3.3.1. Faza nastanka .....	13
3.3.2. Zrela faza .....	14
3.3.3. Faza slabljenja.....	18
3.4. Elementi tropskog ciklona .....	19
3.4.1. Vjetar.....	19
3.4.2. Olujni uspor .....	22
3.4.3. Padaline.....	24
4. GEOGRAFSKA RASPOJELA TROPSKIH CIKLONA .....	26
4.1. Opća obilježja geografske rasprostranjenosti .....	26
4.2. Tihi ocean.....	32
4.2.1. Jugozapadni Tihi ocean.....	33
4.2.2. Sjeverozapadni Tihi ocean .....	38
4.2.3. Sjeveroistočni Tihi ocean.....	43
4.3. Atlantski ocean.....	48
4.3.1. Sjeverni Atlantski ocean .....	48
4.4. Indijski ocean .....	52
4.4.1. Sjeverni Indijski ocean.....	53
4.4.2. Jugoistočni Indijski ocean.....	55
4.4.3. Jugozapadni Indijski ocean .....	59
4.5. Medicane - “tropski” ciklon umjerenih geografskih širina.....	62
5. UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA TROPSKE CIKLONE .....	63
6. ZAKLJUČAK .....	67
LITERATURA .....	69
IZVORI.....	72
SAŽETAK .....	76
SUMMARY .....	77

## 1. UVOD

Tropski cikloni predstavljaju jedan od najintenzivnijih meteoroloških fenomena na Zemlji sa značajnim utjecajem na prirodne i društvene sustave širom svijeta. Ovaj diplomski rad bavi se geografskom raspodjelom tropskih ciklona, istražujući njihova obilježja, uvjete nastanka te regionalne specifičnosti i razlike. Razumijevanje tropskih ciklona ključno je ne samo za meteorologe već i za urbane planere, ekonomiste i političare jer ove oluje mogu imati devastirajuće posljedice na infrastrukturu, ekonomiju i ljudske živote. Tropski cikloni nastaju pod specifičnim uvjetima koji uključuju visoke temperature površine mora, visoku vlažnost zraka i ostale odgovarajuće atmosferske uvjete. Ti sustavi se razvijaju kroz nekoliko faza, od početnog poremećaja do zrele oluje pri čemu mogu dostići iznimnu snagu i destruktivni potencijal. Na njihov razvoj utječu brojni čimbenici, uključujući globalne klimatske obrasce i regionalna geografska obilježja. Geografska raspodjela tropskih ciklona značajno varira diljem svijeta. Regije poput Atlantskog oceana, istočnog i zapadnog Tihog oceana, te Indijskog oceana imaju različite učestalosti i intenzitete tih oluja, dok se u nekim dijelovima svijeta tropski cikloni ne razvijaju unatoč, na prvi pogled, povoljnim uvjetima za njihov razvoj. Te varijacije su rezultat složenih interakcija između atmosferskih, oceanskih i geografskih čimbenika. Ovaj rad ima za cilj pružiti sveobuhvatan pregled geografskih i klimatskih aspekata tropskih ciklona, doprinoseći razumijevanju njihovog ponašanja i utjecaja na globalnoj razini. Analizirajući ključne faktore koji utječu na nastanak i razvoj tropskih ciklona, te njihovu prostornu distribuciju, rad nastoji identificirati obrasce i regionalne specifičnosti koje oblikuju te ekstremne vremenske pojave. Kroz analizu dostupnih podataka i relevantne literature, cilj je također istražiti kako klimatske promjene mogu utjecati na obilježja tropskih ciklona uključujući njihovu učestalost, intenzitet i trajanje.



## **2. METODOLOGIJA**

Diplomski rad primjenjuje metodologiju kompilacije relevantne literature kako bi se istražila geografska raspodjela tropskih ciklona širom svijeta. Metoda analize literature na temu tropskih ciklona uključuje pregled dostupnih monografija, zbornika radova, znanstvenih radova, publikacija meteoroloških agencija i relevantnih organizacija. Kroz sustavnu analizu literature, identificirane su ključne teme, teorije i zaključci koji su relevantni za razumijevanje formiranja, raspodjele i utjecaja tropskih ciklona. Prikupljeni podaci temelj su analize koja uključuje sintezu i interpretaciju relevantnih spoznaja. Osim toga, metodologija ovog rada obuhvaća i analizu dostupnih podataka iz meteoroloških agencija i istraživačkih centara širom svijeta. Prikupljeni podaci pružaju osnovu za kvantitativnu analizu učestalosti, intenziteta i prostorne distribucije tropskih ciklona u različitim geografskim regijama.

### 3. NASTANAK I RAZVOJ

#### 3.1. Opća obilježja tropskih ciklona

Tropski ciklon je rotirajući, organizirani sustav oblaka i grmljavinskih oluja koji se formira nad tropskim ili subtropskim vodama, najčešće u rasponu od 25° sjeverne geografske širine do 25° južne geografske širine, (URL 1) i ima zatvorenu ciklonalnu cirkulaciju na malim visinama (URL 2). Tropski cikloni crpe energiju iz vertikalnih temperaturnih razlika, simetrični su i imaju toplu jezgru. Ako nije prisutna zatvorena cirkulacija, takav sustav se onda naziva tropskim poremećajem (URL 1).

U hrvatskom jeziku važno je poznavati razliku između naziva "tropski ciklon" (ponekad samo "ciklon") i "ciklona". Dakle, izrazi "ciklon" i "tropski ciklon" se koriste za opisivanje vremenske nepogode s niskim tlakom zraka u središtu vrtloga koja se javlja u tropskim područjima. Nasuprot tome, izraz "ciklona" odnosi se na sličnu vremensku pojavu s niskim tlakom u središtu vrtloga i vezan je uz atmosferske fronte na granicama polarnih i tropskih zračnih masa. Iako su ove definicije slične, postoji važna razlika u vremenskim procesima koji ih karakteriziraju (Gelo, 2010).

Ovisno o najvećoj brzini trajnih vjetrova, tropski cikloni se označavaju na sljedeći način: tropska depresija je naziv za tropski ciklon čija je najveća trajna brzina vjetra manja od 63 km/h; tropska depresija postaje tropska oluja kad najveća trajna brzina vjetra prelazi 63 km/h; kad brzina stalnih vjetrova premašuje 117 km/h tada se taj sustav klasificira na drugi način ovisno o svojoj geografskoj poziciji (Slika 1) (URL 3). Dakle, ukoliko je tropska oluja ojačala do te razine da brzina trajnih vjetrova premašuje 117 km/h onda će se taj niskotlačni sustav u Atlantskom oceanu i istočnom Tihom oceanu nazivati uragan (eng. hurricane), naziv koji potječe od drevnog plemena Tainos u Srednjoj Americi za koje je Huracan bio bog zla (Anthes, 1982). Ista pojava će se u zapadnom Tihom oceanu nazivati tajfun (eng. typhoon) (Gelo, 2010, Anthes, 1982, URL 1), a isključivo na Filipinima "baguios", ime koje potječe od grada Baguia na Filipinima gdje je u srpnju 1911. godine palo 1168 mm kiše po metru kvadratnom tijekom 24 sata (Huschke, 1959). U Indijskom oceanu takav poremećaj biti će poznat samo pod imenom ciklon (URL 3).

knot	km/h	Beaufort	South West Indian Ocean*	Arabian Sea and Bay of Bengal**	North West Pacific**	North Atlantic and North East Pacific***	South West Pacific and South East Indian Ocean*	
Average wind speed			knot km/h	knot km/h		Knot km/h mi/h	knot km/h	
			Zone of disturbed weather	Low pressure area			Tropical disturbance	
17 27	31 50	6	Tropical disturbance	Depression	Tropical depression	Tropical depression	Tropical low/depression	
28 33	51 62	7	Tropical depression	Deep depression				
34 40 47	63 88	8 9	Moderate tropical storm	Cyclonic storm	Tropical storm	34 39 73	Tropical cyclone (gale) / Category 1	
48 52 63	89 117	10 11	Severe tropical storm	Severe cyclonic storm	Severe tropical storm		Tropical cyclone (storm) / Category 2	
64	118	12	64 Tropical cyclone	64 Very Severe Cyclonic Storm	Typhoon	64 Hurricane CAT 1	64 Severe tropical cyclone (hurricane) / Category 3	
						82 153	95	
						83 154	96	
						95 177	110	
			89 165	89 166		96 178	111	85 159
			90 166 Intense tropical cyclone	90 167 Extremely Severe Cyclonic Storm		112 208	129	
			115 212	119 221	113 209	130	86 160 Tropical cyclone / Category 4	
			116 213 Very intense tropical cyclone	120 222 Super cyclonic storm	136 251	156	107 199	
					137 252	157	>107 >200 Tropical Cyclone / Category 5	

Slika 1. Klasifikacija tropskih olujnih sustava s obzirom na brzinu vjetra i na regiju formiranja

Izvor: URL 3

Važno je napomenuti da se u sjevernom Atlantskom oceanu pojam uragan široko koristi kao sinonim za tropski ciklon. Takva terminologija može izazvati određenu zbunjenost jer nisu svi tropski cikloni praćeni vjetrovima koji dosežu snagu uragana.

Saffir-Simpson skala klasificira uragane prema pet kategorija (1-5) na temelju maksimalne trajne brzine vjetra (Tablica 1). Snažni uragani (eng. major hurricanes) spadaju u kategorije 3, 4 i 5 prema Saffir-Simpson skali, dok se naziv super-tajfun odnosi na tropski ciklon koji dosegne kategoriju 4 ili 5 (URL 4).

Tablica 1. Saffir-Simpson skala

Kategorija	Brzina vjetra (km/h)
Uragan 1. kategorije	118-153
Uragan 2. kategorije	154-177
Uragan 3. kategorije	178-208
Uragan 4. kategorije	209-251
Uragan 5. kategorije	>251

Izvor: URL 5

Prosječni promjer tropskih ciklona iznosi 500–700 km odnosno rasprostriru se na otprilike 300,000 km<sup>2</sup> (Terry, 2007). Iako je to veliko područje, tropski cikloni su relativno mali niskotlačni sustavi u usporedbi s ciklonama u umjerenim geografskim širinama, koje su često dvostruko veće. Tropski cikloni kreću se duž svoje putanje relativno sporo u usporedbi s izuzetno brzim vjetrovima koji djeluju oko centra oluje. Brzina kretanja ciklona obično je manja od 25 km/h, odnosno oko 600 km dnevno (Terry, 2007). Tropski cikloni su jedne od najopasnijih, ako ne čak i najopasnije prirodne nepogode. U posljednjih 50 godina zaslužni su za smrt gotovo 800 tisuća ljudi (URL 6).

Promatrajući podatke o smrtnosti uzrokovane tropskim ciklonima u usporedbi sa smrću uzrokovanom drugim prirodnim katastrofama, tijekom razdoblja od 1964. do 1978. godine, vidljivo je da su tropski cikloni bili daleko ispred bilo koje druge katastrofe, odgovorni za otprilike 64% ukupnog broja izgubljenih života (Slika 2).

Prirodna katastrofa	Broj smrtnih slučajeva (1964.-1978.)	Najsmrtonosniji pojedinačni događaj
Tropski cikloni	416 972	300 000 (Bangladeš, 1970)
Potresi	195 328	66 794 (Peru, 1969)
Poplave	26 724	8000 (Vijetnam, 1964)
Tornada i oluje	4062	540 (Bangladeš, 1969)
Lavine i klizišta	5790	1450 (Peru, 1974)
Vulkanske erupcije	2572	2000 (Zair, 1973)
Vantropski cikloni	1860	166 (SAD, 1966)
Toplinski i hladni valovi	505	291 (India, 1973)

Slika 2. Smrtnost uzrokovana različitim prirodnim katastrofama

Izvor: Southern (1979)

Iako cikloni koji nastaju na području sjevernog Indijskog oceana, odnosno u Bengalskom zaljevu i Arapskom moru, u pravilu nisu među najintenzivnijim ipak su redovito jedni od najsmrtonosnijih tropskih ciklona (Tablica 2). To je zbog toga što veliki broj ciklona te regije u jednoj fazi svog života udari na kopno, najčešće na obale Indije i Bangladeša. S obzirom na to da su ta područja jako gusto naseljena, a infrastruktura često nije na zadovoljavajućoj razini i relativno slabi cikloni mogu uzrokovati veliki broj žrtava.

Tablica 2. Najsmrtonosniji tropski cikloni od početka 20. stoljeća

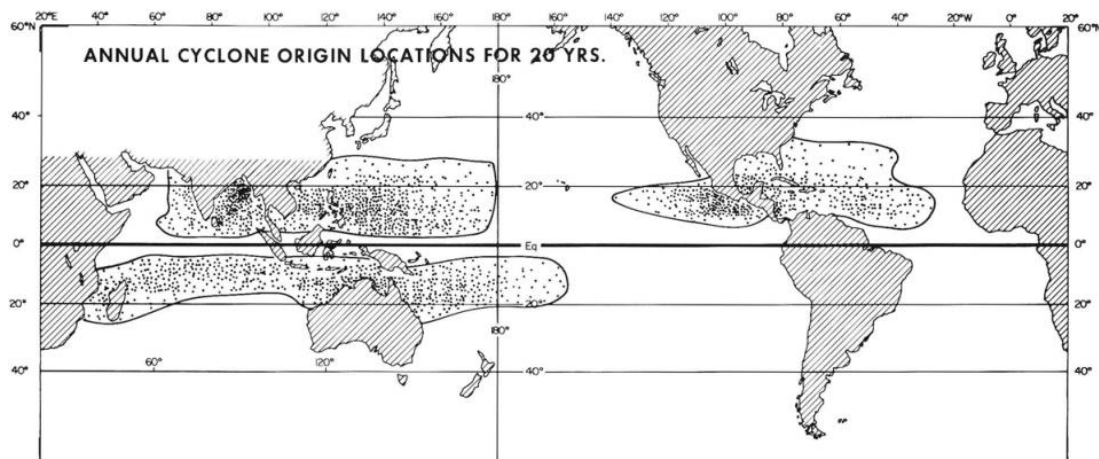
Ime	Godina	Regija	Država	Broj poginulih	Izvor
Ciklon Bhola	1970.	Sjeverni Indijski ocean	Bangladeš	300 000+	URL 7
Neimenovan (“Šangajski tajfun”)	1931.	Sjeverozapadni Tihi ocean	Kina	300 000	URL 8
Nargis	2008.	Sjeverni Indijski ocean	Mjanmar	138 373	URL 9
Neimenovan (“Bangladeš ki ciklon”)	1991.	Sjeverni Indijski ocean	Bangladeš	138 000	URL 10
Neimenovan	1911.	Sjeverni Indijski ocean	Bangladeš	120 000	Damen (2014.)

Napomena: Veliki udio smrtnih slučajeva povezanih sa Šangajskim tajfunom je rezultat pucanja brane i poplavom koja je usljedila

Zanimljiv, ali i zastrašujući opis uragana iz vlastite perspektive ostavio je američki državnik Alexander Hamilton. U dobi od 15 godina, Hamilton je preživio uragan koji je pogodio otok St. Croix u Karipskom moru 6. rujna 1772. U pismu svome ocu, Hamilton je napisao: *“Bože moj! Kakva strahota i razaranje! Nemoguće je to opisati ili zamisliti. Činilo se kao da se događa potpuno uništenje prirode. Hukanje mora i vjetra, ogromna svjetlost gotovo neprekidnih munja, prasak padajućih kuća i probadajući krikovi bili su dovoljni da zadive anđele. Velik dio zgrada diljem otoka srušen je do temelja; gotovo sve ostale su jako oštećene (...) obitelji lutaju ulicama, ne znajući gdje pronaći sklonište...”* (Anthes, 1982: 2).

### 3.2. Potrebni uvjeti za formiranje tropskih ciklona

O tome hoće li doći do formiranja tropskog ciklon ovisi o nekoliko važnih parametara, a oni su: površinska temperatura mora, relativna vlaga, vrtložnost niskih slojeva atmosfere, stupanj vertikalnog smicanja vjetra i poremećaji u atmosferi.

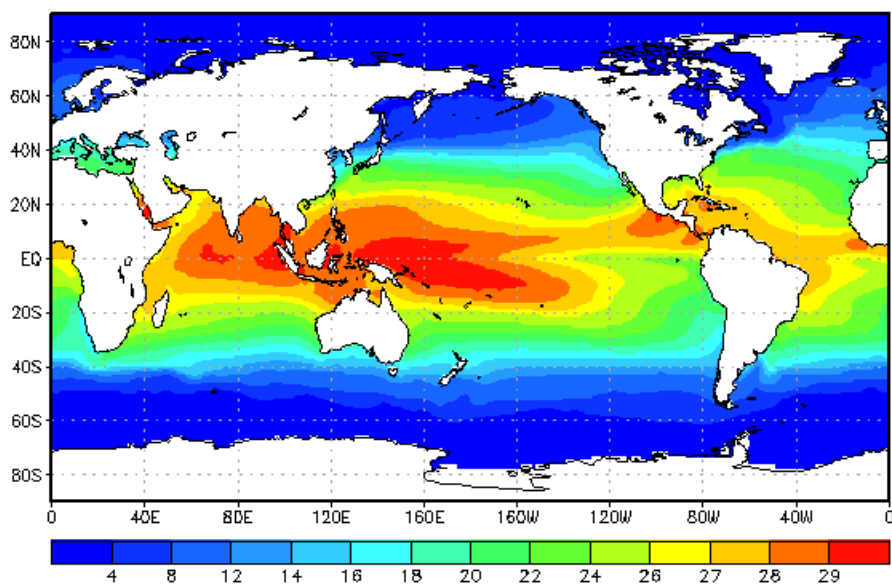


Slika 3. Lokacije nastanka tropskih ciklona od 1958. do 1977. godine

Izvor: Anthes (1982)

#### 3.2.1. Temperatura mora

Jedno od najvažnijih saznanja u klimatologiji tropskih ciklona je postojanje praga temperature površine mora ispod kojeg se tropski cikloni ne formiraju. Prvi puta je Palmén (1948.) kao kritičnu temperaturu naveo  $26.5^{\circ}\text{C}$ , a ta vrijednost nije se promijenila od tada. Najpovoljnije regije prema kriteriju temperature mora uključuju sjeverozapadni Tihoocean i sjeverni Indijski ocean (Slika 4).



Slika 4. Prosječna godišnja površinska temperatura mora od 1982. do 1995. godine

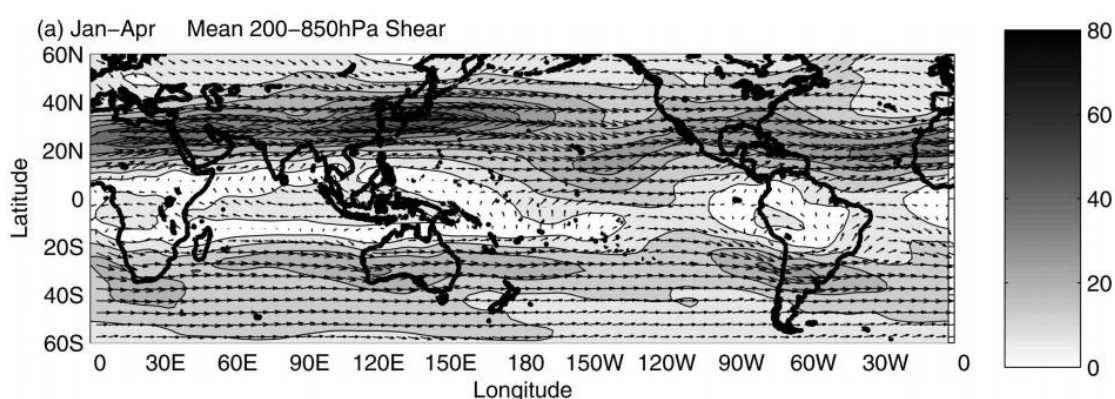
Izvor: URL 11

### 3.2.2. *Relativna vlažnost*

Bitan faktor koji utječe na formiranje tropskog ciklona je visok sadržaj vlage u srednjoj troposferi (Terry, 2007). To je nužno jer povišene razine relativne vlage u okolnoj atmosferi omogućuju brže zasićenje i kondenzaciju vlažnih, uzlaznih zračnih masa. Ako bi zrak u srednjoj troposferi, odnosno na visini od oko 5 km, (URL 12) bio relativno suh, tada bi atmosfera mogla "upiti" veći dio dodatne vlage koja se unosi kao vodena para, bez da dođe do kondenzacije. Kada se konvektivni oblaci formiraju u nižim slojevima atmosfere i dok se uzdižu kroz srednji dio troposfere, susreću se s suhim zrakom koji ih može oslabiti ili uništiti. S druge strane, visoka relativna vlažnost u cijeloj troposferi znači da konvergencija zraka u nižim slojevima atmosfere može pružiti značajan doprinos ukupnom oslobađanju latentne topline, što može potaknuti razvoj tropskog ciklona (Anthes, 1982).

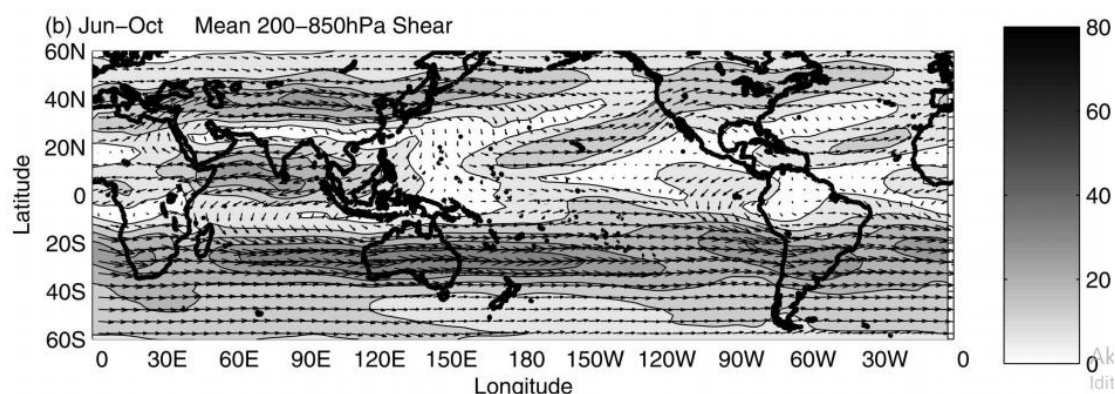
### 3.2.3. Vertikalno smicanje vjetra

Vertikalno smicanje vjetra igra presudnu ulogu u dinamici i razvoju tropskih ciklona te su područja s niskim iznosom vertikalnog smicanja (Slika 5. i Slika 6.) obično i područja gdje se tropski cikloni najčešće formiraju (Slika 3.). Intenzivno vertikalno smicanje vjetra može ograničiti tropski ciklon u dostizanju njegovog maksimalnog potencijalnog intenziteta (Chen i dr., 2006). Vertikalno smicanje vjetra možemo definirati kao promjenu u brzini i smjeru vjetra koja se događa na određenoj vertikalnoj udaljenosti (Longshore, 2008).



Slika 5. Prosječno vertikalno smicanje vjetra (m/s) za razdoblje od siječnja do travnja temeljeno na podacima od 1998. do 2000. godine

Izvor: Chen i dr. (2005.)

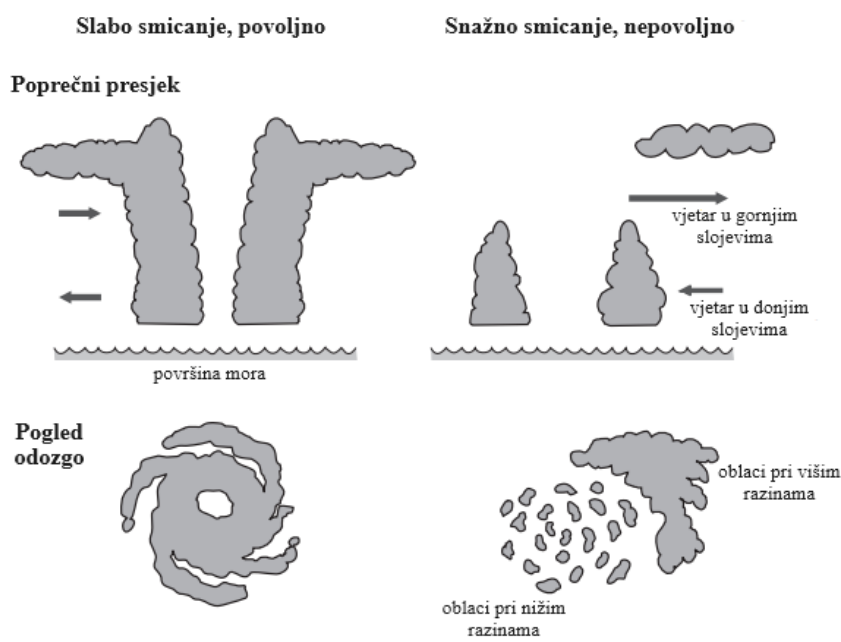


Slika 6. Prosječno vertikalno smicanje vjetra (m/s) za razdoblje od lipnja do listopada temeljeno na podacima od 1998. do 2000. godine

Izvor: Chen i dr. (2005.)



Iznos vertikalnog smicanja vjetra ovisi o temperaturnoj strukturi zraka (Terry, 2007.). Kada je atmosfera mirna s minimalnim promjenama brzine vjetra u vertikalnom presjeku to je povoljno za razvoj ciklona. U tom "neventiliranom" slučaju, advekcija topline i vlage u odnosu na premještanje poremećaja je mala pa se kroz određeni vremenski period vrijednosti temperature i vlage unutar sustava mogu značajno povećati (Anthes, 1982). Ako su te promjene u brzini vjetra prevelike, to može poremetiti vertikalnu strukturu tropskog ciklona i narušiti stabilnosti sustava prekidajući povezanost između konvergencije vjetra na površini i divergencije vjetra u gornjoj troposferi (Terry, 2007) i u takvim uvjetima dolazi do "ventilacije" sustava (Slika 7).



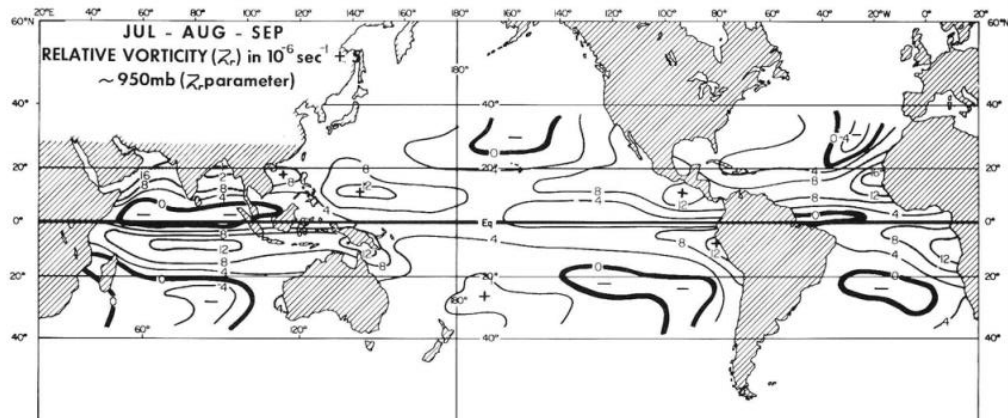
Slika 7. Utjecaj vertikalnog smicanja vjetra na strukturu tropskog ciklona

Izvor: Terry (2007)

### 3.2.4. Vrtložnost

Tropski cikloni se u pravilu ne formiraju unutar  $5^\circ$  od ekvatora, osim u izuzetno specifičnim uvjetima koji su doveli do formiranja tropskog ciklona Vamei 2001. godine na otprilike  $1.5^\circ$  sjeverne geografske širine (Smith i Montgomery, 2023). Većina (65%) ih se ipak formira u zoni između  $10^\circ$  i  $20^\circ$  od ekvatora. Odsutnost formiranja tropskih ciklona na ekvatoru ukazuje na važnost rotacije Zemlje oko svoje osi u stvaranju vrtložnosti koja je potrebna za formiranje oluje. U polju zraka gdje nema apsolutne

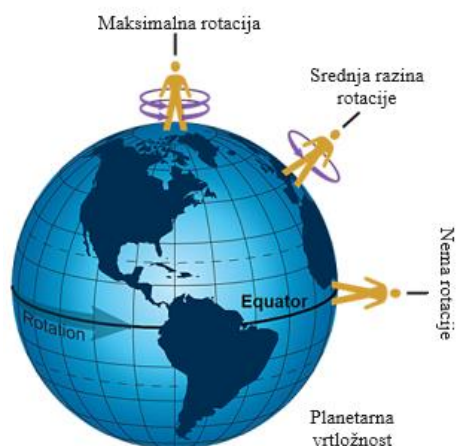
vtrožnosti, konvergencija neće rezultirati rotacijom zraka. Međutim, u području gdje postoji pozitivna apsolutna vrtložnost, konvergencija zraka uzrokuje povećanje relativne vrtložnosti, što znači da se zrak okreće brže oko svoje osi, što može dovesti do stvaranja rotacije koja je potrebna za stvaranje tropskog ciklona (Anthes, 1982).



Slika 8. Relativna vrtložnost na razini od 950 mb

Izvor: Anthes (1982)

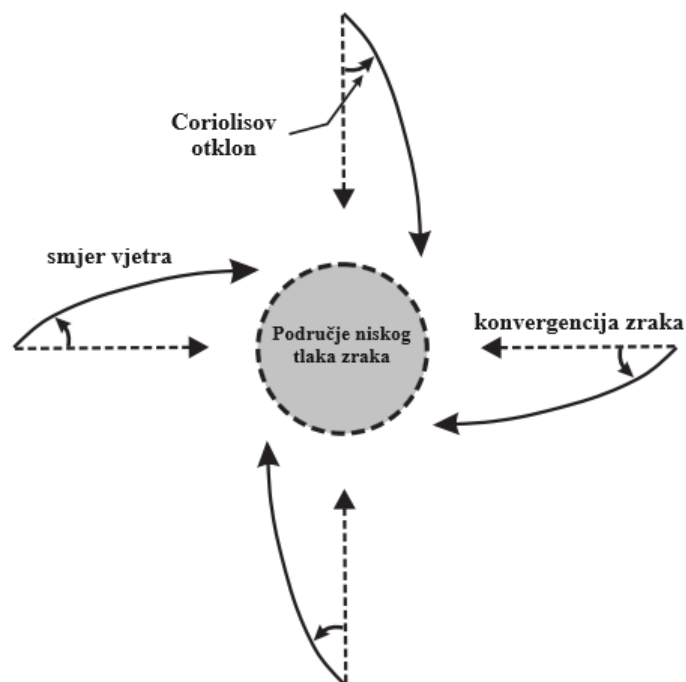
Planetarna vrtložnost odnosi se na rotaciju objekta ili zračne mase uzrokovanu rotacijom planeta. Zemljina rotacija oko svoje osi daje vrtložnost svemu na površini, osim točno na ekvatoru. Na polovima, gdje je rotacija Zemlje najizraženija, vrtložnost je najveća, dok se prema ekvatoru ta vrtložnost smanjuje (Slika 9). Ova rotacija ima ciklonalni smjer, što znači da se zrak u sjevernoj hemisferi okreće suprotno od smjera kazaljke na satu, dok se u južnoj hemisferi okreće u smjeru kazaljke na satu. Kada zrak putuje prema polovima, povećava se planetarna vrtložnost. S druge strane, kada se zrak kreće prema ekvatoru, smanjuje se planetarna vrtložnost (URL 13).



Slika 9. Prikaz utjecaja Zemljine rotacije na planetarnu vrtložnost

Izvor: URL 13

Usko povezan s planetarnom vrtložnošću je i Coriolisov učinak. Kad zrak konvergira prema središtu tropskog ciklona, Coriolisov efekt postaje važan. Taj efekt uzrokuje odstupanje vjetrova s ravne putanje dok se kreću prema području nižeg tlaka (Slika 10). Na južnoj polutci ta odstupanja su prema lijevoj strani, a na sjevernoj polutci prema desnoj strani (Terry, 2007).



Slika 10. Utjecaj Coriolisovog efekta na smjer kretanja zraka prema području niskog tlaka

Izvor: Terry (2007.)

Slab Coriolisov učinak blizu ekvatora uzrokuje nemogućnost razvoja tropskih ciklona u zoni od ekvatora do  $5^\circ$  geografske širine, unatoč prisutnosti tople oceanske vode koja pruža pogodne uvjete za konvekciju (Terry, 2007). Za adekvatan razvoj tropskih ciklona, potrebna je udaljenost od barem 500 kilometara od ekvatora da bi se značajnije osjetio učinak Coriolisove sile i stvorila rotacija (URL 12).

### 3.2.5. Poremećaji u atmosferi

Međutim, svi prethodno navedeni parametri sami po sebi nisu dovoljni za formiranje tropskog ciklona. Uz sve to, prije svega je potrebno prisustvo poremećaja u

atmosferi, kao što su primjerice istočni valovi ili zapadnoafrička linija poremećaja (URL 14). Navedeni atmosferski poremećaji funkcioniraju kao inicijatori procesa prilikom formiranja tropskih ciklona. Oni mogu potaknuti podizanje zraka i stvaranje lokaliziranih područja niskog tlaka, također mogu transportirati vlagu i toplinu iz toplijih područja prema tropskim morima, što može dodatno pogodovati razvoju tropskih ciklona.

### **3.3. Faze razvoja tropskog ciklona od rađanja do raspada i njegova struktura**

U životnom ciklusu tropskog ciklona postoje tri osnovne faze. U fazi nastanka to je razmjerno neorganiziran niz oblaka, zrela faza sastoji se od snažne rotacijske cirkulacije i oblaka koji su dobro organizirani oko centra niskog tlaka, dok u fazi slabljenja cirkulacija gubi snagu, širi se u prostoru i postaje asimetrična oko centra (Anthes, 1982).

#### **3.3.1. Faza nastanka**

Da bi na određenom području započeo razvoj sustava koji ima potencijal da se razvije u tropski ciklon, potrebno je prisustvo određenih okidača. Ti okidači potiču konvergenciju zraka, a potom i konvekciju toplog i vlažnog zraka (Selak, 2019). Konvekcija je jedan od glavnih procesa koji se odvijaju unutar tropskog ciklona. To je proces prijenosa toplinske energije putem vertikalnog strujanja zraka. Kada se neka tvar zagrije, njezine čestice postaju pokretljivije i razmaknute, što rezultira manjom gustoćom te tvari. Topla tvar počinje uzlazno strujati jer je manje gusta od hladnije okolne tvari. Ta vertikalna struja omogućuje toplijim česticama da se dižu prema gore, dok hladnije čestice padaju prema dolje, stvarajući cirkulaciju unutar tvari. Postoje tri glavna uzroka konvergencije koji potiču razvoj tropskih ciklona.

Prvi primjer je sudaranje pasata južne i sjeverne Zemljine polutke na području oko ekvatora. To područje naziva se intertropska zona konvergencije. Zatim, konvergencija zraka duž toplih i hladnih zračnih struja, gdje težak, hladan zrak može potaknuti podizanje toplijeg, vlažnog zraka duž fronte. Takvi sustavi ponekad dosegnu Meksički zaljev ili istočnu obalu Sjedinjenih Američkih Država i razviju se u uragan. I treći važan

uzrok je efekt afričkih istočnih valova koji nastaju zbog nestabilnosti u afričkoj istočnoj mlaznoj struji, koja je rezultat velikog temperaturnog gradijenta između vruće Sahare i znatno hladnijeg Gvinejskog zaljeva (Selak, 2019).

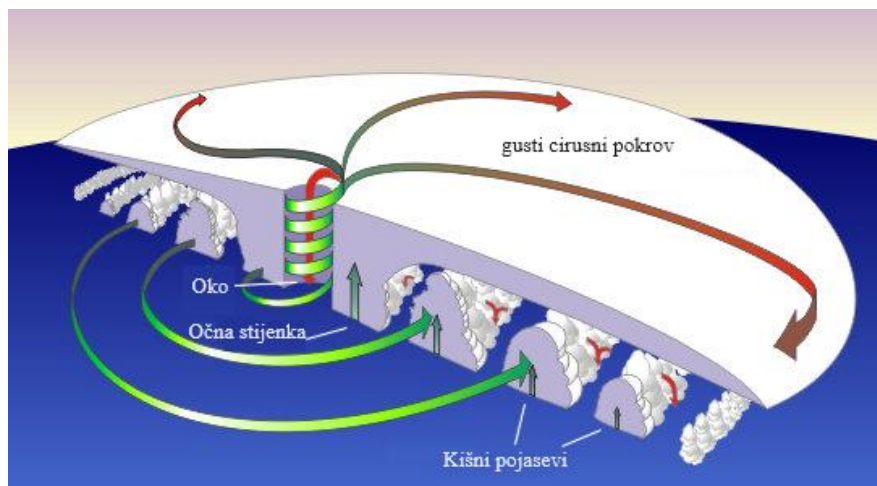
Temeljna ideja je da tropski cikloni proizlaze iz neravnoteže u toplinskoj razmjeni između oceana i atmosfere. Energija koju tropski cikloni oslobađaju rezultat je pokušaja oceana i atmosfere da postigne termodinamičku ravnotežu, preko prijenosa topline s tople morske površine na relativno hladnu atmosferu iznad, putem konvekcije i kondenzacije (Terry, 2007.).

Nakon što se stvori situacija, u određenom vremenu i na određenom prostoru, da su zadovoljeni svi već ranije spomenuti parametri potrebni za formiranje tropskog ciklona dolazi do stvaranja tropskog niskotlačnog sustava, a zatim i uspostava aktivne konvektivne ćelije u središtu. Dolazi do razlika u atmosferskom tlaku između središta depresije i okolnog područja s relativno višim tlakom. Ta razlika stvara tlakovni gradijent koji uzrokuje strujanje zraka prema središtu sustava. Ako se minimalni tlak na površini naglo smanjuje, konvergencija zraka se intenzivira. To dovodi do stvaranja snažnih vjetrova, pri čemu topla površina oceana pridonosi zagrijavanju i isparavanju zraka. Tako nastali vjetrovi postaju najjači u uskom pojasu blizu središta niskog tlaka, za razliku od ranije neorganiziranog uzorka (Terry, 2007.).

### **3.3.2. Zrela faza**

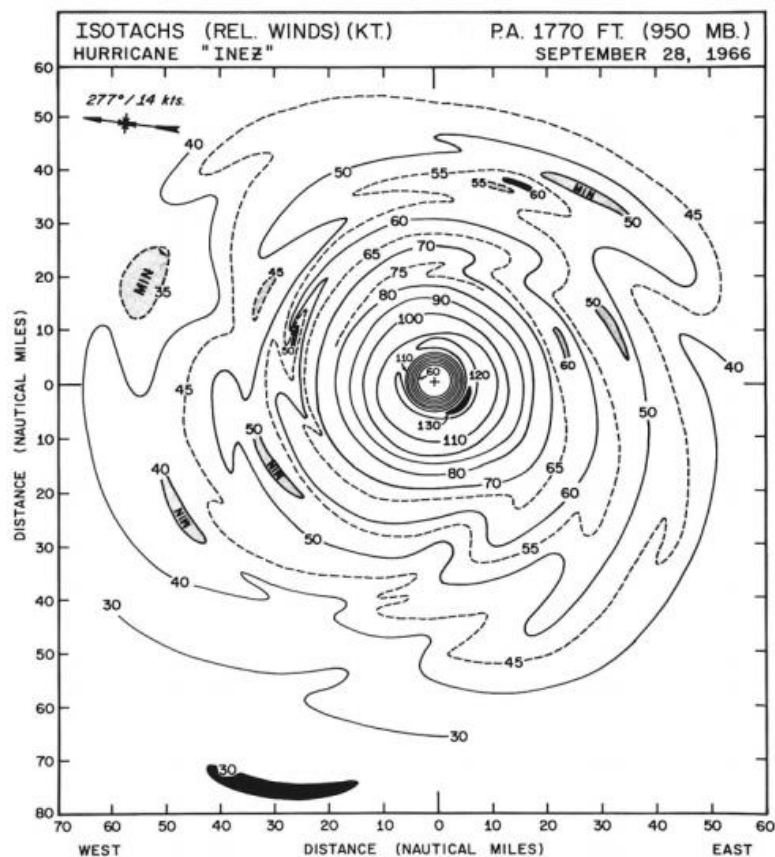
U zreloj fazi, tropski cikloni diljem svijeta pokazuju veliku sličnost u strukturi i organizaciji (Slika 11). Na udaljenosti od oko 400 km od središta oluje, zračne struje koje ulaze postaju usmjerene prema središtu odnosno postaju konvergentne, prosječno vertikalno kretanje je prema gore, te počinje stvaranje kumuluzne konvekcije (Anthes, 1982). Kumulusna konvekcija je proces stvaranja kumuluznih oblaka putem vertikalnog podizanja toplog i vlažnog zraka prema gore u atmosferi. Takav zrak se adijabatski hladi te opada količina vlage koju može primiti. Dolazi do kondenzacije vlage u zraku i stvaraju se kumuluzni oblaci. Kumulusna konvekcija ne događa se nasumično oko središta oluje. Umjesto toga, oblaci se raspoređuju u zone koje se spiralno okreću oko i prema oluji, a te zone se nazivaju kišni pojasevi (eng. rainbands). Kišni pojasevi u tropskom ciklonu mogu se definirati kao zakrivljeni pojasi oblaka i grmljavinskih oluja koji se protežu od središta ciklona, odnosno od očne stijenke (eng.

eyewall), prema vani u spiralnom obliku. Oni mogu biti vrlo široki i produženi te redovito donose intenzivne pljuskove, dok se između tih kišnih pojaseva mogu pojaviti praznine ili područja s osjetno manje padalina (URL 15). Spiralni oblik ovih pojaseva bio je potpuno neočekivan prije nego što su meteorološki radari potvrdili njihovo postojanje (Anthes, 1982.). Na određenoj udaljenosti koja varira od 10 do 100 km u većini oluja, zračna masa koja ulazi iznenada se usmjerava prema gore u prstenu intenzivne konvekcije koja okružuje središte. Taj prsten naziva se očna stijenka, a upravo ovdje se javljaju najjači vjetrovi (Slika 12.) i najintenzivnije padaline. U samom središtu tropskog ciklona, brzine vjetrova i količina oborina brzo opadaju. Na tom području lagani vjetrovi i silazni zrak čine “oko” (eng. eye) tropskog ciklona, što je jedno od najtipičnijih obilježja tih sustava. Smirivanje vremenskih prilika u oku ponekad je dovoljno snažno da stvori potpuno vedro nebo (Anthes, 1982.).



Slika 11. Struktura tropskog ciklona

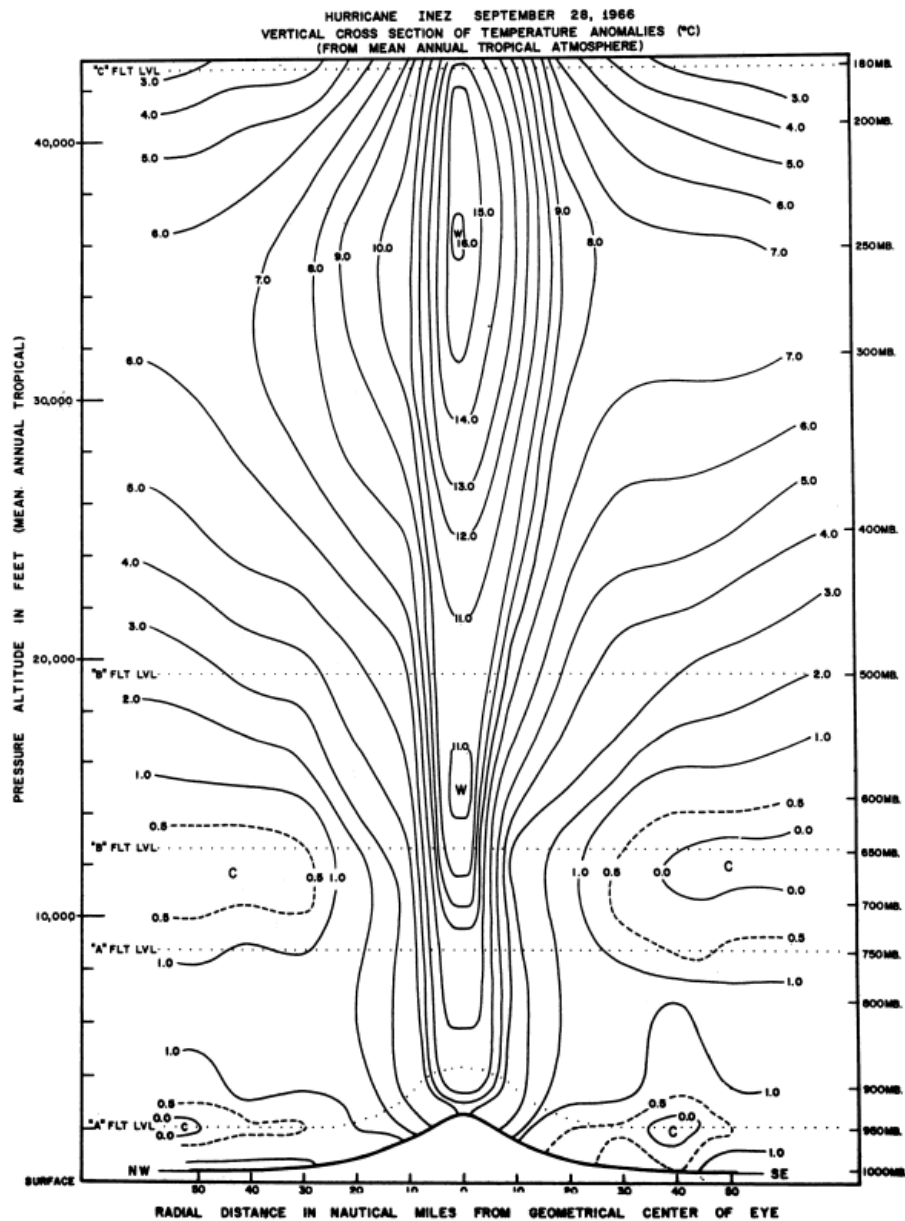
Izvor: URL 15



Slika 12. Brzina vjetra u uraganu Inez izražena u nautičkim miljama

Izvor: Anthes (1982.)

Termodinamička struktura unutrašnjosti uragana ukazuje da je minimalni tlak u oku povezan sa zrakom u višim slojevima koji se spušta i zagrijava kompresijom. Taj zagrijani zrak zauzima manje prostora i dolazi do opadanja tlaka. Zato je oko oluje ključno mjesto za stvaranje tople jezgre, niskog tlaka i jakih vjetrova koje povezujemo s uraganom (Anthes, 1982). Na slici 13 prikazan je vertikalni presjek anomalije temperature snimljen za vrijeme uragana Inez. Jasno se vidi koncentrirano jezgro toplog zraka, s temperaturama 15 °C iznad prosječnih vrijednosti. Najveća anomalija javlja se na visini od oko 250 mb, a značajno hladniji zrak prisutan je u području oborina između 30 i 60 nautičkih milja od središta oluje, u sloju od površine do 600 mb.



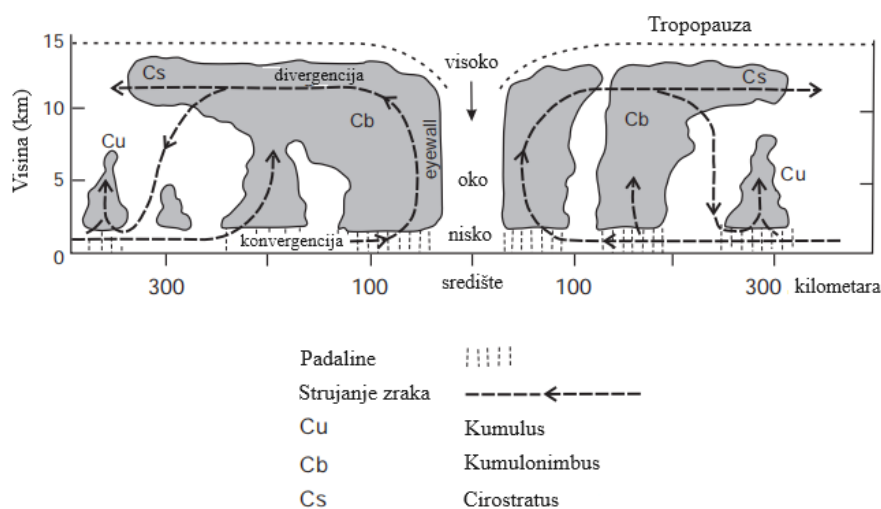
Slika 13. Vertikalni presjek anomalije temperature u uraganu Inez

Izvor: Anthes (1982.)

Spomenuti uspon topline i vlage u očnoj stijenci proizvodi vertikalni rast ogromnih olujnih oblaka. Olujni oblaci oslobađaju velike količine topline na srednjoj i gornjoj razini troposfere kroz kondenzaciju vodene pare, omogućujući oblaku da raste do samog vrha troposfere. Kada se dosegne tropopauza, prisutnost termalne inverzije na toj razini u atmosferi uzrokuje da se zrak i oblaci horizontalno rasprše (Slika 14). Taj se proces naziva divergencija te na gornjoj razini dolazi do anticiklonalnog kretanja. Divergencija u gornjim slojevima ključna je za omogućavanje disperzije zraka koji je



privučen konvergencijom u niskim slojevima oluje. U osnovi, divergencija na gornjoj razini ventilira sustav (Terry, 2007.).



Slika 14. Bočni presjek tropskog ciklona u zreloj fazi

Izvor: Terry (2007.)

### 3.3.3. Faza slabljenja

Sve tropske oluje na kraju slabe i raspadaju se. To je zato što održavanje intenziteta oluje ovisi o sljedećim ključnim faktorima: dotoku topline s površine mora, dotoku vlage s površine mora, oslobađanju latentne topline kroz kondenzaciju u srednjoj troposferi i uklanjanju zraka u višim slojevima pomoću divergencije. Ako jedan od ta četiri ključna sastojka nedostaje, oluja slabi. Tropske oluje mogu se raspadati kako prelaze preko kopna ili oceana i u tropskim ili u višim geografskim širinama (Terry, 2007.). Mnogi uragani koji se približavaju kontinentima Sjeverne Amerike ili Azije skrenuti su prema sjeveroistoku, udaljavajući se od kontinenata. Taj promijenjeni smjer vodi oluje prema višim geografskim širinama gdje su temperature oceana niže, te je vjerojatnije da će se susresti s hladnim, suhim polarnim zračnim masama koje dovode do narušavanja sustava tropskog ciklona (Anthes, 1982.). Ako se oluja premješta preko kopna u tropskim širinama, brzo oslabi čak i ako se u sustav ne uvode druge zračne mase. U tim slučajevima minimalni tlak obično rastu brzinom od 1 do 4 mb na sat (Anthes, 1982.). Oluja obično oslabi kada pređe preko kopna zbog gubitka vlažnosti i topline koju je dobivala s oceana. Tlo ne pruža istu količinu vlage i

topline kao i ocean što uzrokuje smanjenje intenziteta oluje. Također, reljef kopna može djelovati na oluju, ometajući cirkulaciju zraka i smanjujući njezinu snagu.

Veliki broj tropskih ciklona slabi iako se nalaze iznad toplih oceanskih voda u tropskim širinama. Najčešći razlog slabljenja ciklona nad toplim tropskim vodama je ulazak tropskog ciklona u regiju gdje je pristuno snažno vertikalno smicanje vjetra (Terry, 2007.). Kao što je već spmenuto, u tim uvjetima dolazi do poremećaja u vertikalnoj strukturi tropskog ciklona i dolazi do prekidanja povezanosti između konvergencije vjetra na površini i divergencije vjetra u gornjoj troposferi. Treba spomenuti i utjecaj morskih struja jer tropski cikloni, čak i u tropskim geografskim širinama, slabe ako naiđu na hladnu morsku vodu.

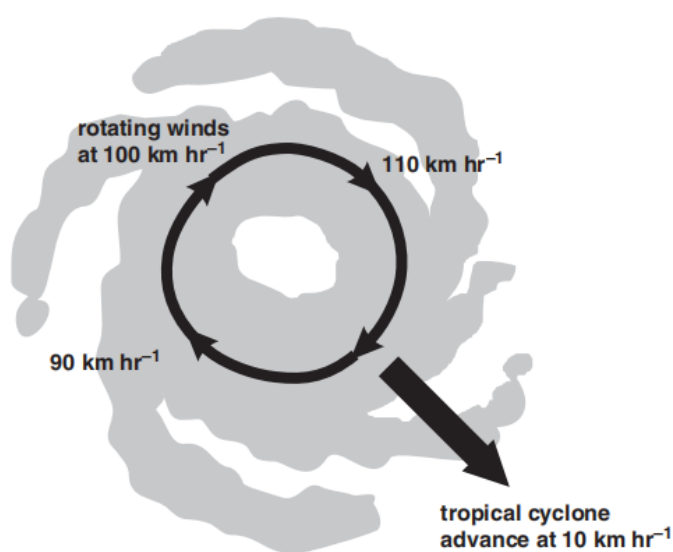
### **3.4. Elementi tropskog ciklona**

#### **3.4.1. Vjetar**

Jačina vjetra glavni je parametar koji se koristi za opisivanje intenziteta tropskog ciklona. Jačina vjetra određuje se na temelju prosječne brzine vjetra, koja se još naziva i trajna (ili stalna) brzina vjetra. Trajne brzine vjetra bilježe se tijekom 10-minutnih intervala ili 1-minutnih intervala, iznad razine tla na otvorenom i ravnom prostoru (Terry, 2007.). Važno je naglasiti da spomenuta razlika u metodologiji bilježenja brzine vjetra otežava uspoređivanje njihovog inteziteta s obzirom na to da su određena istraživanja pokazala da su vrijednosti za trajne brzine vjetra dobivene na temelju 1-minutnih intervala 14% veće nego kada se koristi 10-minutni interval (URL 16). Treba imati na umu da su vjetrovi u tropskom ciklonu izrazito olujne prirode te da su udari (naleti) vjetra često mnogo jači od trajne brzine vjetra. Sukladno tome, tropski ciklon u kojem su zabilježene najviše vrijednosti po pitanju trajnih brzina vjetra bio je uragan Patricia sa maskimalom trajnom brzinom vjetra od 345 km/h (URL 17), dok je najintezivniji udar vjetra iznosio čak 408 km/h, a zabilježen je u tropskom ciklonu Olivia (URL 18).

Tropski cikloni obično imaju simetričnu strukturu. To znači da bi vjetrovi trebali biti isti u svim kvadrantima na određenoj udaljenosti od centra. Međutim, većina uragana se kreće pa će ta kretnja imati utjecaj na brzinu vjetra u pojedinim djelovima tropskog ciklona i tako stvarati asimetričnu strukturu (Slika 15).

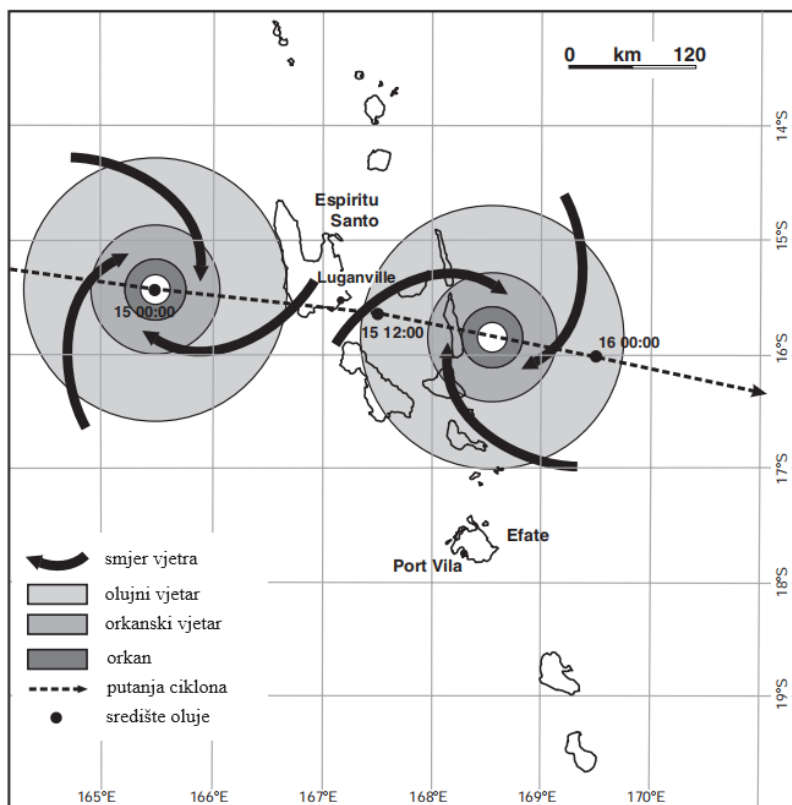
Strana na kojoj se kretanje oluje “dodaje” brzini vjetra naziva se *prljava* strana jer je vrijeme tamo lošije i opasnije. S obzirom da smjer rotacije ovisi o lokaciji tropskog ciklona, na sjevernoj hemisferi prljava strana će biti desna strana ciklona. Ako uragan ide prema zapadu, desna strana će biti na sjeveru oluje, ako ide prema sjeveru, desna strana će biti na istoku oluje. Na južnoj hemisferi, situacija je obrnuta jer se vjetrovi tropskog ciklona spiralno okreću oko svog centra u smjeru kazaljke na satu, za razliku od suprotnog smjera na sjevernoj hemisferi. Dakle, južno od ekvatora prljava strana je lijeva strana ciklona (URL 19).



Slika 15. Utjecaj kretanja tropskog ciklona na asimetričnu distribuciju brzine vjetra

Izvor: Terry (2007)

Kad tropski ciklon prolazi preko određene točke na kopnu ili moru, događaju se ekstremne promjene u vremenskim uvjetima u vrlo kratkom vremenskom razdoblju. Dok se ciklon približava određenoj lokaciji, vjetrovi se postupno pojačavaju, ali kada oko ciklona stigne, vjetrovi brzo i gotovo potpuno utihnu. Razdoblje mirnoće je kratkotrajno i ovisno o veličini oka, brzini kretanja ciklona duž njegove putanje i tome prolazi li određeno mjesto kroz puni promjer oka ili samo kroz dio. Zatim, u samo nekoliko minuta dok oko prolazi, vjetrovi ponovno dobivaju svoju razornu snagu uragana, iako tad dolaze iz suprotnog kvadranta.



Slika 16. Putanja tropskog ciklona Eric preko otoka Espiritu Santo

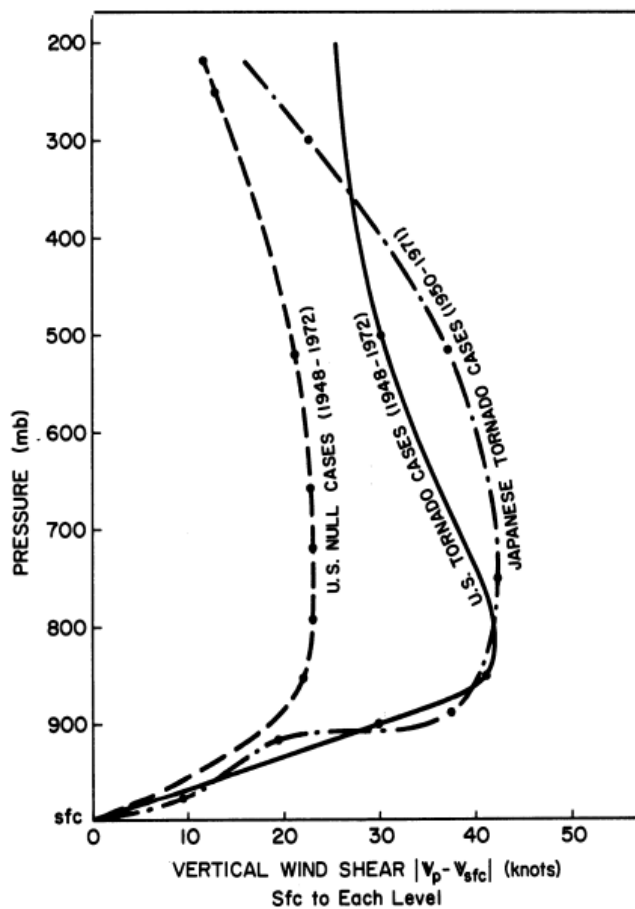
Izvor: Terry (2007)

Koliko su drastične promjene u brzini i smjeru vjetra za vrijeme djelovanja tropskog ciklona nad nekim područjem jako dobro ilustrira primjer tropskog ciklona Eric (Slika 16). U gradu Luganville na jugoistoku otoka Espiritu Santo (Vanuatu), vjetar je prvo puhao sa sjeveroistoka dok je ciklon prilazio sa zapada. Kako se tropski ciklon Eric približavao, vjetrovi su počeli dolaziti iz sjevernog kvadranta istovremeno jačajući od olujne do uraganske snage. Uvjeti su tada postali mirni dok je oko prolazilo iznad Luganvillea. Na drugoj strani oka, vjetrovi uraganske snage ponovno su se vratili, ali sada pušući s juga. Nakon toga, intenzitet vjetra je opadao do olujne razine. Smjer vjetra promijenio se na jugozapad, a tropski ciklon Eric nastavio je na istok.

Tropski cikloni često generiraju snažne konvektivne oluje unutar sebe, što može dovesti do stvaranja tornada. Savršen primjer je Uragan Ivan iz 2004. godine koji je zaslužan za formiranje čak 127 tornada u razdoblju od nekoliko dana (URL 20). Kad tropski ciklon prijeđe na kopno, trenje između vjetrova uraganske snage i površine tla može uzrokovati usporavanje tih vjetrova. Istodobno, unutar tih oluja dolazi do brzog uzdizanja zraka što može stvoriti povoljne uvjete za formiranje tornada. Ovaj fenomen

je posebno izražen kad su vjetrovi u višim slojevima atmosfere još uvijek snažni, ali se brzina vjetra na površini tla smanjuje (Elsner i Kara, 1999). Dakle, ključno obilježje strukture tropskih ciklona koji proizvode tornada je vertikalno smicanje vjetra.

Razlika u vertikalnoj smjeni vjetra između uragana koji su izazvali tornada i onih koji nisu je značajna (Slika 17). Za uragane koji su izazvali tornada, razlika u brzini vjetra između površine i izobarne plohe od 850 mb iznosi otprilike 23 m/s, dok je za one koji nisu izazvali tornada ta razlika otprilike 12 m/s (Anthes, 1982).



Slika 17. Vertikalno smicanje vjetra u tropskim ciklonima koji su izazvali i u onima koji nisu izazvali tornada

Izvor: Anthes, 1982

### 3.4.2. Olujni uspor

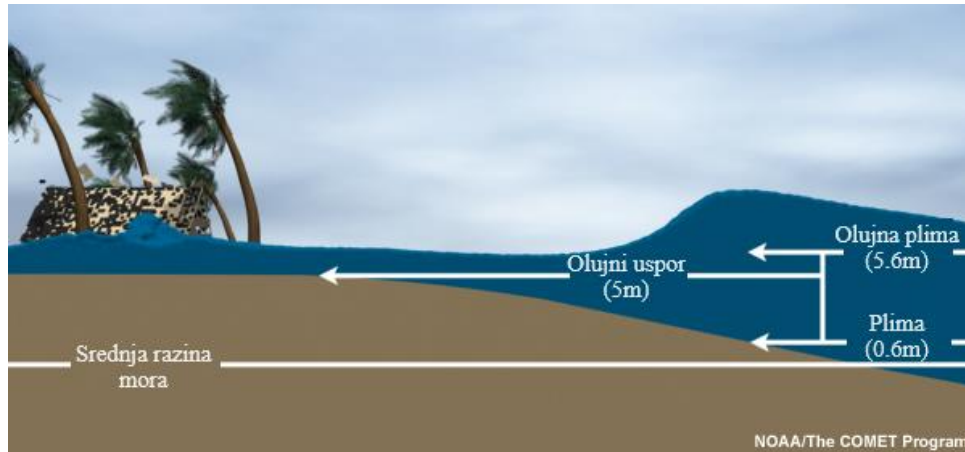
Iako čak i minimalne brzine vjetra mogu prouzročiti štetu na imovini, posebno na građevinama niske kvalitete, u većini slučajeva štete povezane sa tropskim

ciklonima prilikom udara na kopno uzrokovane su olujnim usporom. Kad se tropski olujni sustavi približavaju kopnu, kombinirano djelovanje sniženog tlaka zraka i vjetra stvara najrazorniji aspekt uragana na obalnim područjima koji se zove olujni uspor. Olujni uspor definira se kao razlika između visine plime uzrokovane tropskim ciklonom i normalne razine plime (Elsner, Kara 1999). Točna distribucija i visina olujnih uspora ovisi o topografiji morskog dna, kao i o veličini, intenzitetu, smjeru i brzini kretanja tropskog ciklona.

Kada tropski ciklon prolazi nad otvorenim morem, gomila vode koja se diže iza njega obično nije visoka jer je more duboko. Međutim, kako se ciklon približava obali i more postaje pliće voda se počinje gomilati zbog horizontalne konvergencije, odnosno voda se počinje skupljati prema obali. Važno je i pod kojim kutem ciklon prilazi obali jer to utječe na visinu olujnog uspora. Najveći olujni uspori (na sjevernoj hemisferi) obično se događaju desno od točke udara ciklona na obalu, pogotovo ako se ciklon polako kreće prema obali pod pravim kutem. To je zato što vjetar duže i intenzivnije djeluje na vodu s desne strane ciklona, uzrokujući veću koncentraciju vode i jače valove. S druge strane ciklona, utjecaj na razinu vode je obično manji, a ponekad čak i negativan ako postoje jaki vjetrovi koji pušu prema moru.

Osim vjetra, važnu ulogu ima i tlak zraka pa tako porast visine mora iznosi 4,5 metara za pad tlaka od 100 milibara, 2 metara za 50 milibara, i 0.9 metara za 25 milibara (Anthes, 1982). Kad se stvore savršeni uvjeti u ekstremnim situacijama razina vode se može podići za čak 13 metara (URL 21). Olujni uspor ne bi trebalo miješati s olujnom plimom (eng. storm tide), koja se definira kao porast razine vode zbog kombinacije olujnog uspora i astronomskih plima (Slika 18) (URL 22).

Jedna od najgorih katastrofa povezana s tropskim ciklonom dogodila se u Bangladešu 13. studenog 1970., a uzrokovana je prije svega olujnim usporom s procijenjenom visiniom između 6 i 9 metara. U ovom ciklonu poginulo je između 200 000 i 300 000 većinom od utapanja. Taj iznimni porast razine mora nije bio rezultat toga što je ciklon bio izuzetno snažan, jer je minimalni zabilježeni tlak zraka bio je samo oko 950 mb. Ono što je učinilo ciklon iz 1970. tako razornim bilo je to što je udario na kopno u vrijeme visoke plime. Osim olujnog uspora, poplave su bile uzrokovane i obilnim padalinama koje su pale na mahom ravnom obalnom području Bangladeša (Anthes, 1982.).



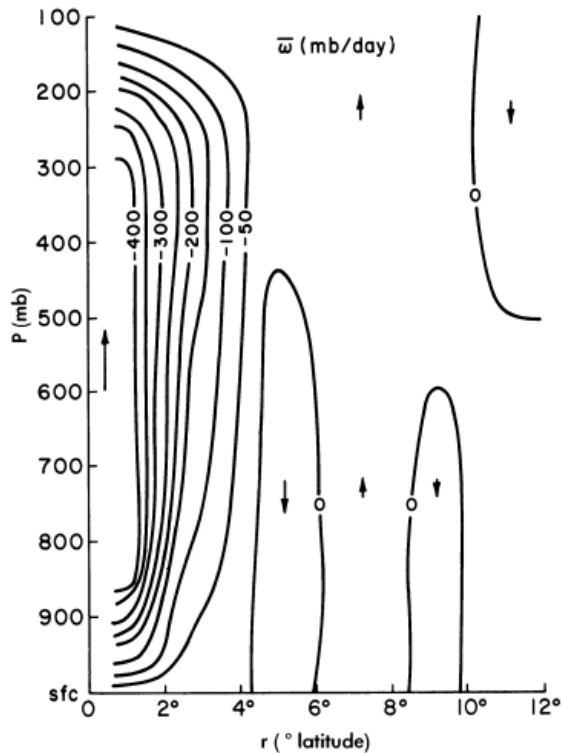
Slika 18. Olujni uspor i olujna plima

Izvor: URL 22

### 3.4.3. *Padaline*

Iako su učinci jakih vjetrova i olujnog uspora koncentrirani unutar nekoliko kilometara od obale, treći važan aspekt tropskih ciklona, obilne kiše, često utječe na područja koja su stotine kilometara udaljena od obale, a poplave uzrokovane obilnim kišama mogu se dogoditi dugo nakon što je oluja izgubila svoje uraganske vjetrove. Količina i intenzitet oborina u tropskom ciklonu usko su povezani sa relativnom vlagom zraka unutar sustava.

Raspodjelu relativne vlage određuje polje vertikalnog kretanja zraka. Unutar radijusa od otprilike 400 km, prosječno vertikalno kretanje zraka je prema gore (Slika 19) i relativna vlaga prelazi 70% u većem dijelu troposfere (Anthes, 1982).



Slika 19. Vertikalno kretanje zračnih masa unutar tropskog ciklona

Izvor: Anthes (1982)

Kad se zrak zagrijava, može zadržati više vlage. Kako se zrak diže u atmosferu, temperatura opada, što znači da zrak može primiti manju količinu vlage. U kontekstu intenzivnih oborina povezanih s tropskim ciklonima zanimljiva su dva ciklona koja su djelovala nad Indijskim oceanom na području otoka Reunion, ali s razmakom od 41 godine. Riječ je o tropskom ciklonu Denise i tropskom ciklonu Gamede. Intenzitet padalina u tim tropskim ciklonima bio je toliko jak da su mjerni instrumenti 8. sječnja 1966. godine u periodu od 12 sati zabilježili količinu padalina od 1144 mm (ciklon Denise), a ciklon Gamede je 2007. godine sa 3930 mm bio zaslužan za apsolutni rekord u količini padalina u razdoblju od 72 sata (URL 23).

Nad oceanskim područjima kiša koju donose tropski cikloni uglavnom je konvektivnog tipa, što znači da nastaje kada se konvergentni zrak uzdiže iznad tople morske površine, hladi se adijabatski i kondenzira, stvarajući oblak i naknadno oborine. Važno je napomenuti da količina kiše u blizini središta tropskog ciklona često nadmašuje količinu vlage koju sam ocean može ispariti, a to se događa zbog priljeva vlažnog zraka iz okoline, odnosno zbog advekcije vlage. Vlažni zrak se može horizontalno prenositi



prema središtu ciklona, što rezultira značajnom koncentracijom vlage u tom području i potiče razvoj snažnih grmljavinskih poremećaja (Terry, 2007.).

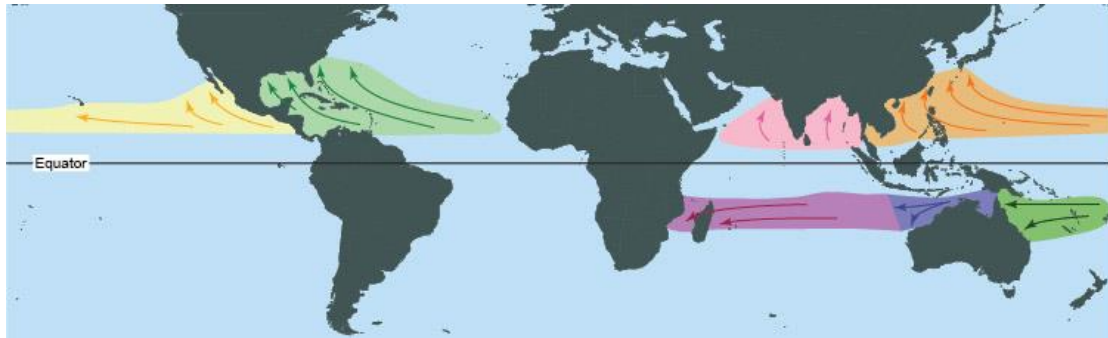
Intenzitet tropskog ciklona nije uvijek pouzdan pokazatelj očekivane količine oborina. Čak i manje intenzivni sustavi mogu proizvesti velike količine kiše, dok vrlo snažni cikloni ne moraju nužno rezultirati obilnim oborinama. Brzi cikloni koji brzo prolaze preko kopna obično donose manje kiše, dok sporiji sustavi koji se zadržavaju na određenom području mogu donijeti rekordne količine oborina. Nadalje, visina otoka i njegova topografija imaju značajan utjecaj na količinu oborina. Orografska obilježja, poput planina, mogu uzrokovati dodatno podizanje vlažnog zraka i povećati količinu kiše. Upravo je to obilježje vjerojatno jedan od glavnih razloga zašto su ranije spomenuti rekordi vezani za količinu padalina povezani s otokom Reunion u Indijskom oceanu s obzirom na njegovu značajnu vertikalnu raščlanjenost.

## **4. GEOGRAFSKA RASPOJELA TROPSKIH CIKLONA**

### **4.1. Opća obilježja geografske rasprostranjenosti**

Postoji sedam tropskih ciklonskih "bazena" gdje se cikloni redovito pojavljuju:

1. Atlantski bazen koji uključuje sjeverni Atlantski ocean, Meksički zaljev i Karipsko more
2. Sjeveroistočni Tihooceanski bazen koji se proteže od Meksika do otprilike datumske granice
3. Sjeverozapadni Tihooceanski bazen koji se proteže od datumske granice do Azije, uključujući Južnokinesko more
4. Sjeveroindijski bazen koji obuhvaća Bengalski zaljev i Arapsko more
5. Jugozapadni Indijski bazen koji se proteže od Afrike do otprilike 100° istočne geografske dužine
6. Jugostočni Indijski bazen koji se proteže od 100° istočne geografske dužine do 142° istočne geografske dužine
7. Jugozapadni Tihooceanski bazen koji se proteže od 142° istočne geografske dužine do otprilike 120° zapadne geografske dužine (Slika 20) (URL 24).



Slika 20. Područja formiranja tropskih ciklona i prosječan smjer njihovog kretanja

Izvor: (URL 15)

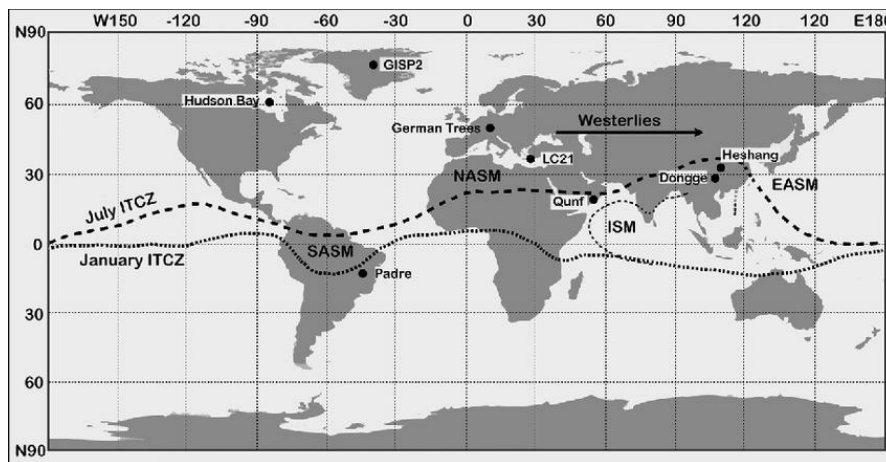
Na temelju podataka koji su prikupljeni od 1983. godine do 2010. godine u prosjeku se godišnje formira 86 tropskih ciklona od čega čak 60 (70%) na sjevernoj polutki, a 26 (30%) na južnoj polutki (Sharkov, 2012). Također treba napomenuti da istočna hemisfera ima dvostruko više tropskih ciklona u usporedbi sa zapadnom (Smith i Montgomery, 2023). Ova razlika proizlazi uglavnom iz toga što se tropski cikloni u pravilu ne formiraju u južnom Atlantiku (područje snažnog vertikalnog smicanja vjetra) i jugoistočnom Tihom oceanu (relativno niska temperatura površine mora). Od 86 tropskih ciklona otprilike 45 ih se razvije u sustave sa orkanskim vjetrovima koji se, ovisno o regiji, zovu tajfuni, uragani ili cikloni (URL 25).

Budući da su tropski cikloni općenito sezonski vremenski sustavi, većina bazena pokazuje maksimalnu učestalost formiranja tijekom kasnog ljeta do rane jeseni. Vrhunac na južnoj hemisferi događa se od siječnja do ožujka, a vrhunac na sjevernoj hemisferi događa se od srpnja do rujna, dok je najaktivnija regija sjeverozapadni Tihi ocean, gdje se tropski cikloni javljaju tijekom cijele godine.

Morske struje također imaju ulogu u geografskoj rasprostranjenosti tropskih ciklona (Smith i Montgomery, 2023). Tople morske struje kao što je Kurošio u sjeverozapadnom Tihom oceanu i Golska struja u sjevernom Atlantiku prenose toplu vodu prema sjeveru iz suptropskih područja, gdje su temperature obično visoke. To znači da se područja s relativno visokim temperaturama površine mora šire daleko prema polu. S obzirom na to da je površinska temperatura mora jedan od parametara za nastanak tropskih ciklona, taj proces omogućava formiranje tropskih ciklona u dosta višim geografskim širinama nego što je slučaj u nekim drugim bazenima.

Kao što je već ranije spomenuto, da bi došlo do stvaranja tropskog ciklona potrebni su određeni parametri te nestabilna atmosfera koja djeluje kao “okidač” za stvaranje. U tom pogledu, intertropska zona konvergencije (ITCZ) igra ključnu ulogu u formiranju tropskih ciklona. Tropski cikloni često nastaju ili jačaju u blizini ITCZ-a jer je to područje gdje se nalazi najveća količina topline i vlage potrebne za njihov razvoj.

Intertropska zona konvergencije pojavljuje se kao pojas oblaka koji se sastoji od pljuskova i povremenih grmljavinskih oluja koje okružuju Zemlju u blizini ekvatora. Njeno postojanje posljedica je konvergencije pasata, vjetrova u tropskim područjima koji se uglavnom kreću s istoka prema ekvatoru. Kada se sjeveroistočni pasati sa sjeverne hemisfere i jugoistočni pasati sa južne hemisfere susretnu to rezultira podizanjem zraka u atmosferu i formiranjem ITCZ. Položaj ITCZ-a varira tijekom godine pa se tako kreće sjeverno tijekom ljeta u sjevernoj hemisferi i južno tijekom zime u sjevernoj hemisferi (Slika 21). Kao rezultat svega toga, ITCZ je odgovoran za kišne i suhe sezone u tropskim područjima (URL 26).



Slika 21. Prosječan položaj intertropske zone konvergencije u srpnju i sječnju

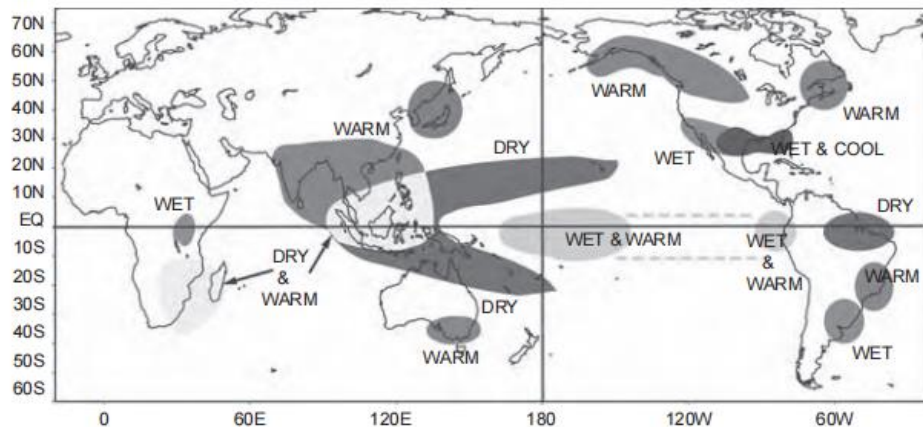
Izvor: Weninger i dr (2014.)

Broj tropskih ciklona i intenzivnih tropskih ciklona podložan je značajnim godišnjim fluktuacijama, koje se mogu objasniti varijacijama u atmosferskim uvjetima iznad Tihog oceana, a koje imaju utjecaj na planetarnoj razini. Glavni uzrok tih godišnjih i višegodišnjih fluktuacija je fenomen El Niño/Južna oscilacija (ENSO) (Chan, 2010).

U intervalima od otprilike pet do sedam godina, događa se poremećaj u pacifičkom oceanografskom sustavu, koji se naziva pozitivnom anomalijom ENSO-a ili El Niño

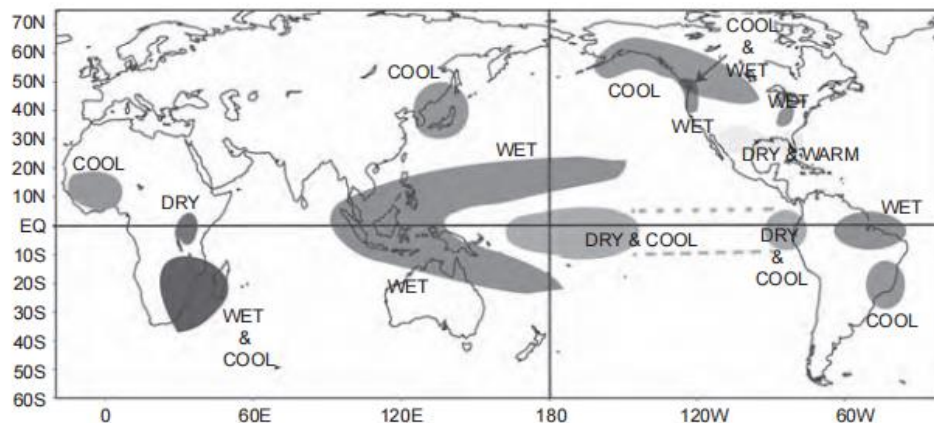
dogadaj. El Niño počinje s Južnom oscilacijom, koja mijenja normalni atmosferski tlak na pacifičkom području. To rezultira slabljenjem jugoistočnih pasata i premještanjem velikog bazena tople oceanske vode prema istoku preko ekvatorskog Tihog oceana (Terry, 2007). Taj fenomen donosi značajne promjene u vremenskim uvjetima ne samo južnog Tihog oceana, nego i puno šire (Slika 22 i Slika 23).

*The El Niño–Southern Oscillation Phenomenon*



Slika 22. Utjecaj tople faze ENSO fenomena

Izvor: Sarachik i Cane (2010)

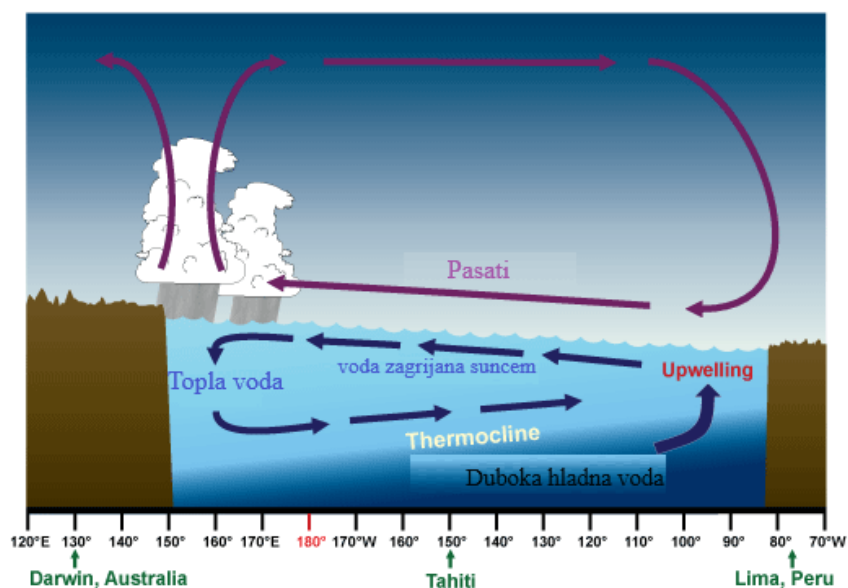


Slika 23. Utjecaj hladne faze ENSO fenomena

Izvor: Sarachik i Cane (2010)

U normalnim uvjetima (Slika 24.) temperatura površine mora u zapadnom Tihom oceanu je otprilike 8°C viša nego u vodama uz obalu Južne Amerike. To je posljedica pasata koji pušu s istoka na zapad duž ekvatora, omogućavajući izdizanje hladne vode (*upwelling*) iz dubljih oceanskih slojeva na području Tihooceanske obale Južne

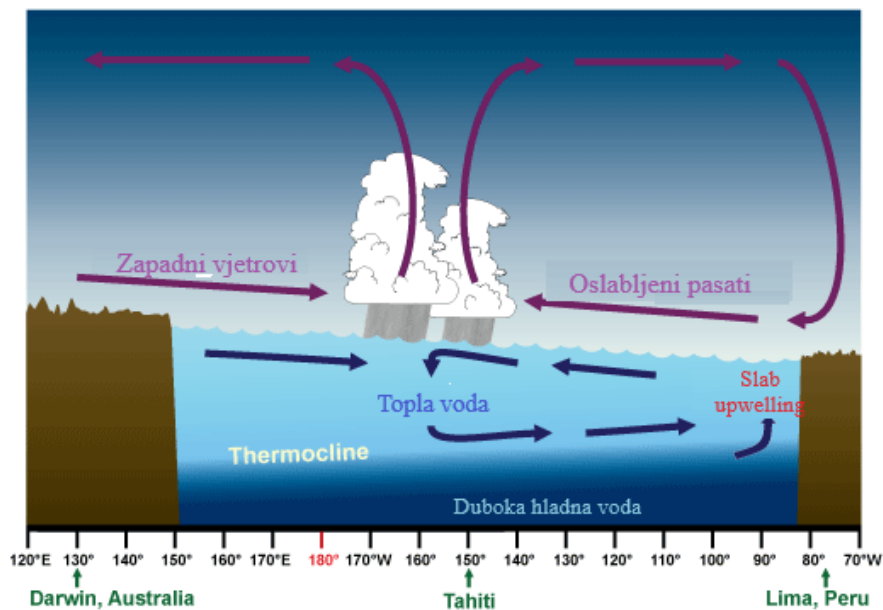
Amerike. Ti pasati guraju vodu prema zapadu te se ona “gomila” na jugozapadnom dijelu Tihog oceana (URL 27).



Slika 24. Normalni uvjeti na južnom Pacifiku

Izvor: URL 27

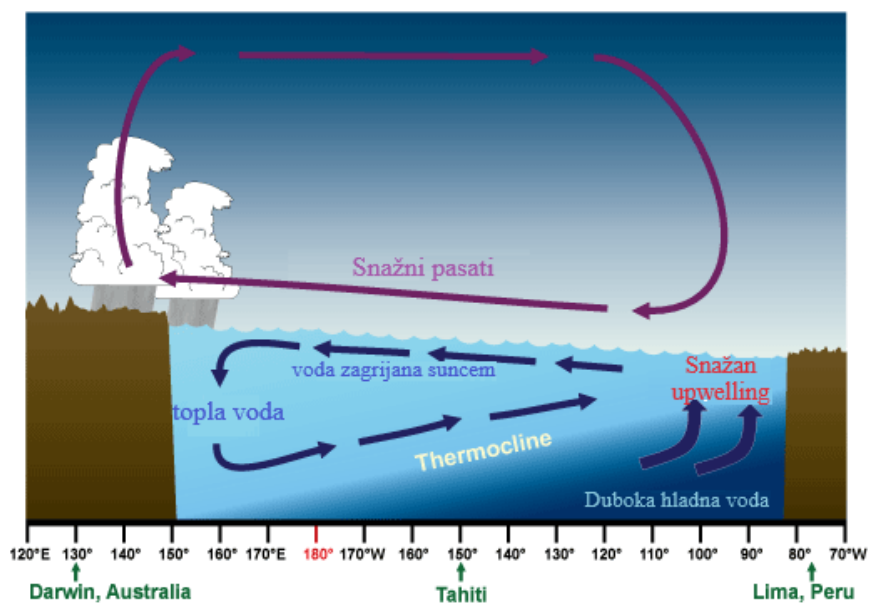
Kad dođe do promjene u prostornoj raspodjeli tlaka zraka u južnom Tihom oceanu (primjerice, tlak zraka u Darwinu je veći nego na Tahitiju), snaga jugoistočnih pasata opada. Kao rezultat toga pasati nisu u stanju transportirati toplu vodu prema zapadu Tihog oceana, pa se topla voda se nakuplja uz obalu Južne Amerike. Površinska temperatura mora tada raste iznad normalnih vrijednosti na istočnom Tihom oceanu. To se naziva topla faza ENSO-a, poznata kao El Niño (Slika 25). Kao rezultat toga, dolazi do promjene u uobičajenoj raspodjeli padalina pri čemu zapadni Tihi ocean postaje relativno suh, dok količina oborina raste u središnjem dijelu oceana (URL 27).



Slika 25. Topla faza/El Niño

Izvor: URL 27

Ponekad su pasati koji pušu prema zapadu preko tropskog Tihog oceana jači od uobičajenog. Tada su zaslužni za gomilanje tople površinske vodu u zapadnom Tihom oceanu. To rezultira povećanim izdizanjem vode uz obalu Južne Amerike i dovodi do nižih temperatura površine mora. Raspodjela padalina također se pomakne dalje prema zapadu nego što je uobičajeno. To je hladna faza ENSO-a nazvana La Niña (Slika 26) (URL 27).



Slika 26. Hladna faza/La Niña

Izvor: URL 27

Na sjevernoj hemisferi primjećuje se značajno smanjenje (povećanje) aktivnosti tropskih ciklona nad Atlantskim bazenom tijekom El Niño (La Niña) događaja (Gray, 1984). Također su zabilježene značajne prostorne i vremenske varijacije aktivnosti tropskih ciklona nad zapadnim dijelom Tihog oceana povezane s fazama ENSO-a (Chan, 2000). ENSO fenomen također ima utjecaj na učestalost tropskih ciklona u sjevernom Indijskom oceanu, pri čemu se primjećuje smanjenje aktivnosti tropskih ciklona nad Bengalskim zaljevom tijekom El Niño događaja (Singh i dr., 2000).

## **4.2. Tih ocean**

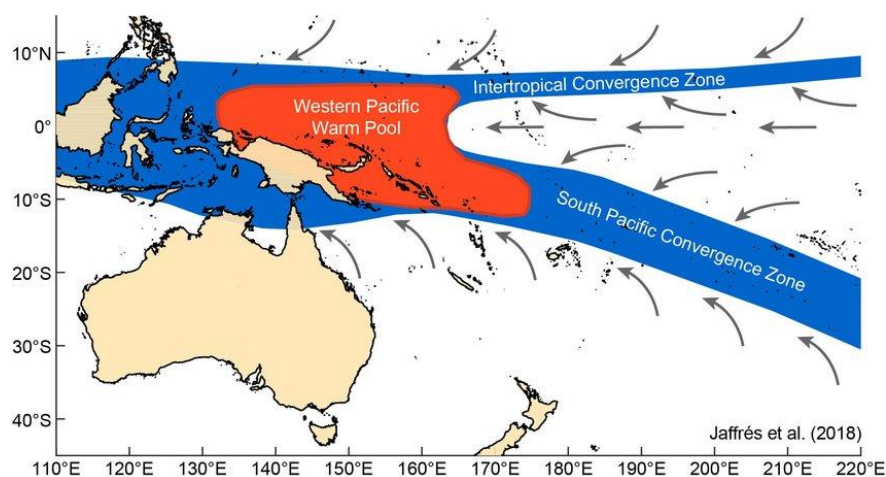
Tih ocean je područje gdje se formira najviše tropskih ciklona, prosječno njih 53 godišnje, odnosno čak 62% od ukupnog globalnog broja tropskih ciklona (Sharkov, 2012). Uz to što je Tih ocean najaktivnije područje po pitanju tropskih ciklona također je i područje gdje su se formirali neki od najsnažnijih sustava, kao što su tajfun Tip, tajfun Haiyan i uragan Patricia (Tablica 3. i Tablica 4.). Svi parametri potrebni za formiranje tropskog ciklona mogu se pronaći na području Tihog oceana, a njegova prostranost daje tropskim sustavima dovoljno vremena i energije da često osnaže i do razine supertajfuna.

Postoje tri regije unutar Tihog oceana u kojima se stvaraju tropski cikloni. To je prostor sjeverozapadnog, sjeveroistočnog i jugozapadnog Tihog oceana. Važno je napomenuti da se tropski sustavi ne razvijaju u istočnom djelu južnog Tihog oceana uglavnom zbog nedovoljno visoke površinske temperature mora (Slika 4.), a razlog tome je “upwelling” uz obalu Južne Amerike i prisutnost hladne Humboldtove morske struje.

Tropski cikloni se prvotno razvijaju unutar područja niskog tlaka i iz prethodno postojećih tropskih poremećaja. U istočnoj regiji južnog Tihog oceana, ITCZ gotovo nikada ne prodire južno od ekvatora (Slika 21). To je također jedan od ograničavajućih čimbenika koji sprječava formiranje tropskih ciklona na ovom dijelu oceana. S druge strane, na jugozapadnom Tihom oceanu, Južnopacifička zona konvergencije (SPCZ) je postojano i često dobro razvijeno regionalno područje niskog tlaka. Stoga je SPCZ često odgovorna za pokretanje tropskih depresija (Terry, 2007).

#### 4.2.1. Jugozapadni Tihoocean

Jugozapadni Tihooceanski bazen proteže se od 142° istočne geografske dužine do otprilike 120° zapadne geografske dužine. Otprilike 12% svih tropskih ciklona koje se formiraju u svijetu nastaje u južnom dijelu Tihog oceana (Sharkov, 2012). Nekoliko je razloga zašto se tropski cikloni formiraju na ovom području. Veliki dio ove regije nalazi se u zoni jugoistočnih pasata. Dok jugoistočni pasati pušu preko velikih prostranstava otvorenog oceana, prikupljaju velike količine vlage koja dolazi od isparavanja s morske površine (Terry, 2007). Drugi važan regionalni klimatski faktor je južnopacifička zona konvergencije (SPCZ). To je široki pojas niskog tlaka s približnom orijentacijom od sjeverozapada prema jugoistoku koji se proteže dijagonalno od Solomonskih otoka preko Samoe, Cookovih otoka i dalje (Slika 27). SPCZ označava granicu između jugoistočnih pasata i divergentnih istočnih vjetrova dalje na sjeveroistoku, koji nastaju zahvaljujući području visokog tlaka nad središnjem dijelu južnog Pacifika (Terry, 2007).



Slika 27. Pozicija intertropske zone konvergencije, južnopacifičke zone konvergencije i toplog zapadnopacifičkog bazena

Izvor: Jaffrés i dr. (2018.)

Treći glavni čimbenik koji kontrolira klimu regije je El Niño-Južna oscilacija (ENSO). Kao što je u prethodnom poglavlju opisano, niski tlak na ekvatoru i visoki tlak u istočnom dijelu Tihog oceana stvaraju gradijent tlaka koji omogućava snažno puhanje jugoistočnih pasata. Ova kombinacija vjetrova i oceanskog strujanja omogućuje



akumulaciju velike količine tople vode u zapadnom dijelu oceana, sjeverno od Australije i Nove Gvineje.

Godišnje fluktuacije u broju tropskih ciklona u Južnom Pacifiku uglavnom ovise o ENSO fenomenu koji ima značajan utjecaj. To znači da se tijekom snažnih južnih oscilacija aktivnost tropskih ciklona u regiji može povećati za 28% u odnosu na prosjek (Basher i Zheng, 1995).

Nedostatak velikih otočnih kopnenih masa i niska gustoća otoka u južnom Tihom oceanu znače da većina tropskih ciklona slabi iznad otvorenog mora. Cikloni koji prežive dovoljno dugo da se premjeste u više geografske širine, slabe zbog nedostatka toplote potrebne za održavanje olujnog sustava. No, također mnogi tropski cikloni ove regije nestaju u tropskim širinama nad toplim morem. Razlog tome je što ih njihove putanja dovede do područja u kojem je snažno vertikalno smicanje vjetra, koje dovodi do degradacije strukture tropskog ciklona. U tom slučaju glavni krivac za nestajanje tropskih ciklona u južnom Pacifiku je subtropska mlazna struja (Terry, 2007.).

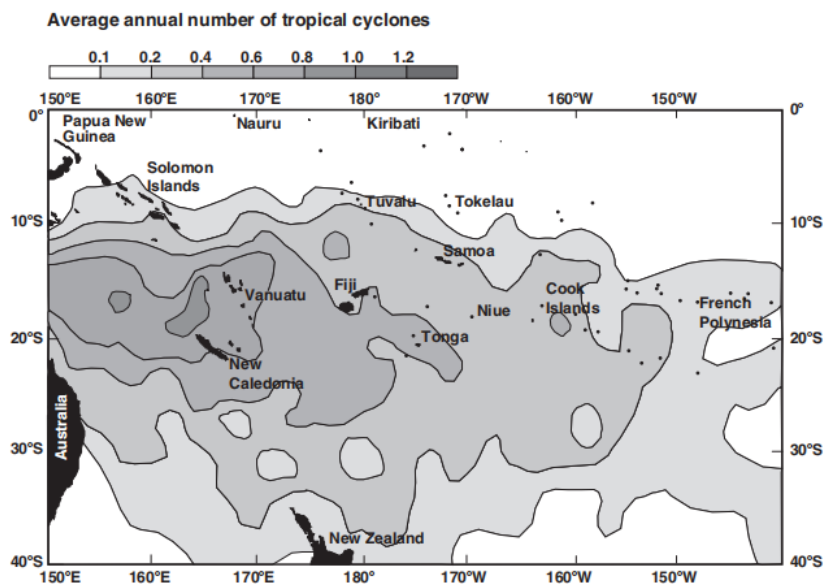


Slika 28. Putanje tropskih ciklona nastalih u jugozapadnom Tihom oceanu od 1980. do 2005. godine

Izvor: URL 28

Revell i Goulter (1986.) su analizirali položaj svih točaka nastanka tropskih ciklona u južnom Tihom oceanu od 1939. do 1979. godine (Slika 29. i Slika 30.) i zaključili da se središnja točka nalazi na  $13.5^\circ$  južne geografske širine i  $170^\circ$  istočno geografske dužine. Glavni čimbenik koji utječe na pojavljivanje tropskih ciklona zapadno od  $170^\circ$

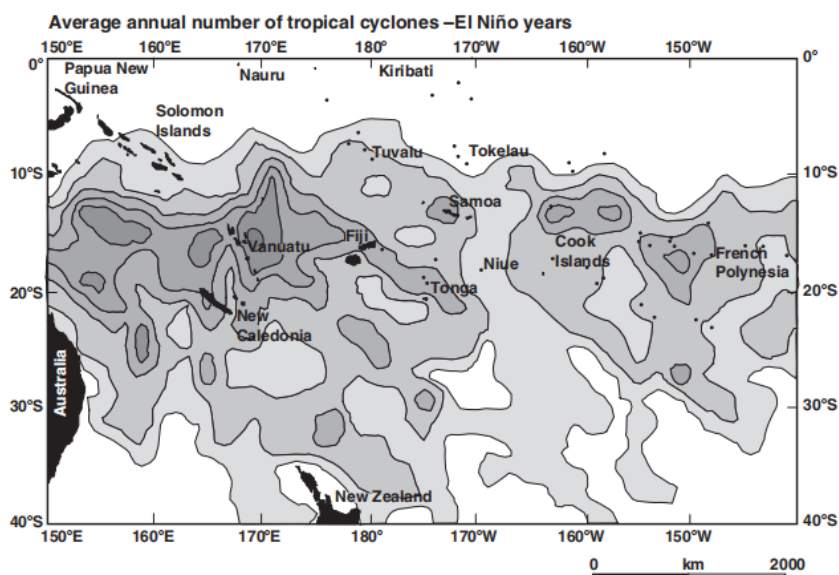
istočne geografske dužine je temperatura površine mora, koja se postupno hladi od zapada prema istoku (Terry, 2007.).



Slika 29. Učestalost formiranja tropskih ciklona u jugozapadnom Tihom oceanu

Izvor: Terry (2007.)

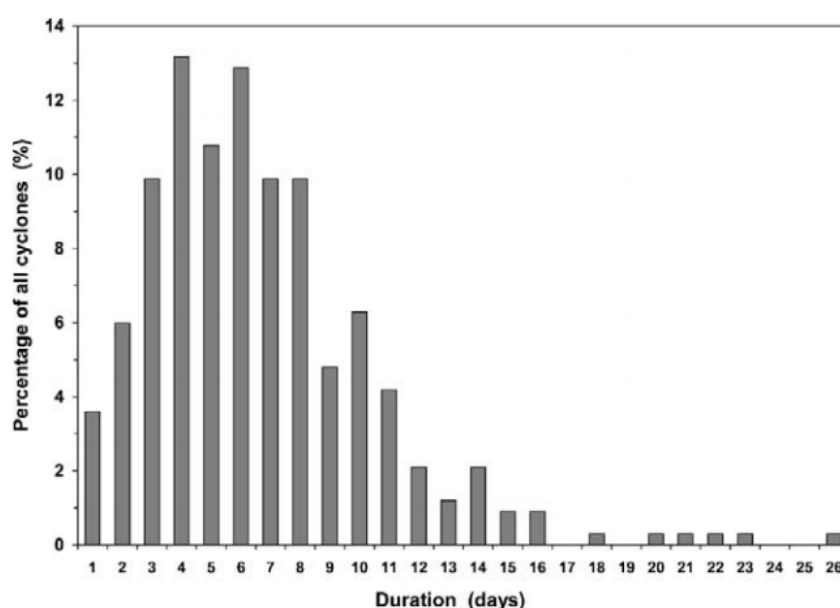
Za vrijeme snažnih El Niño događaja, tropski cikloni često mijenjaju svoje obične uzorke početka, a aktivnost ciklona se širi prema istoku preko, dosežući barem do 140° zapadne geografske dužine (Slika 30). Također se primjećuje sklonost većem broju oluja koje se razvijaju na nižim geografskim širinama od prosjeka (Terry, 2007.).



Slika 30. Učestalost formiranja tropskih ciklona u jugozapadnom Tihom oceanu za vrijeme El Niño faze

Izvor: Terry (2007.)

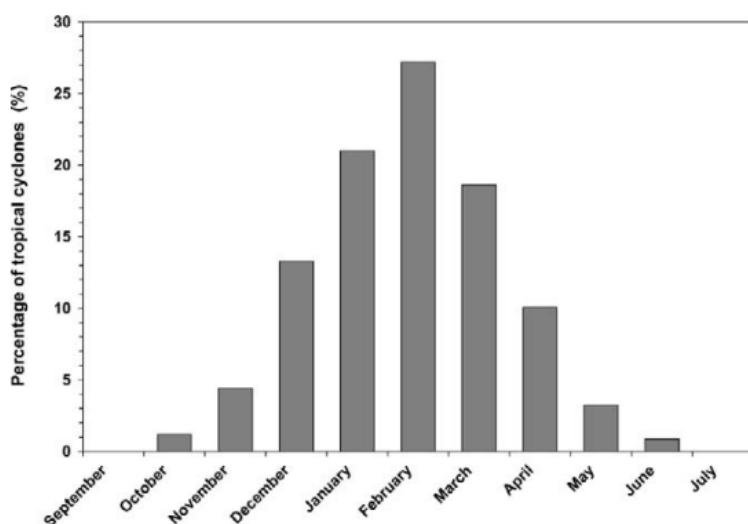
Početni tropski poremećaji mogu ostati prilično nepomični tijekom svog razvoja. No, kada se formiraju, većina tropskih ciklona kreće se prema istoku i prema polovima od svoje prvobitne pozicije (Slika 28.). Mladi sustav uglavnom se usmjerava površinskim vjetrovima, koji često imaju nepravilne uzorke na kratkim udaljenostima. Kada tropski ciklon postigne zrelu vertikalnu strukturu koja doseže visoko u tropopauzu, upravljanje preuzimaju atmosferski vjetrovi u srednjoj troposferi (Terry, 2007.). Prosječan životni vijek tropskog ciklona ove regije je sedam dana, dok 67% svih ciklona traje između tri i osam dana (Slika 31.) (Terry, 2007.).



Slika 31. Trajanje tropskih ciklona u južnom Tihom oceanu (1970.-2006.)

Izvor: Terry (2007.)

Uobičajeno trajanje sezone tropskih ciklona u jugozapadnom Tihom oceanu je od studenog do travnja (Slika 32), što se poklapa s toplim i kišovitim ljetnim mjesecima. Tijekom siječnja i veljače, kada je ljeto na južnoj hemisferi u punom jeku, postoji najveća vjerojatnost da će se formirati tropski cikloni. To je zbog toga što temperature površine mora u dosežu najviše vrijednosti u to doba godine, dok se istovremeno južnopacifička zona konvergencije spušta na svoj najjužniji položaj u godini, gdje je često dobro razvijena.



Slika 32. Distribucija tropskih ciklona jugozapadnog tihooceanskog bazena s obzirom na mjesec u kojem su se formirali (1970.-2006.)

Izvor: Terry (2007)

Tropski cikloni na području jugozapadnog Tihog oceana pokazuju značajan intenzitet. U kontekstu tlaka zraka i maksimalne brzine vjetra (10-minutni prosjek) naj snažniji tropski ciklon u tom dijelu svijeta bio je ciklon Winston iz 2016. godine (Tablica 2).

Tablica 2. Najintenzivniji tropski cikloni jugozapadnog Tihooceanskog bazena na temelju maksimalne brzine vjetra (10-minutni prosjek)

Ime	Godina	Brzina vjetra (10 min)	Brzina vjetra (1 min)*	Najniži tlak
Winston	2016.	280 km/h	285 km/h	884 hPa
Pam	2015.	250 km/h	280 km/h	896 hPa
Zoe	2002.	240 km/h	285 km/h	890 hPa
Ron	1998.	230 km/h	270 km/h	900 hPa
Susan	1997.	230 km/h	260 km/h	900 hPa

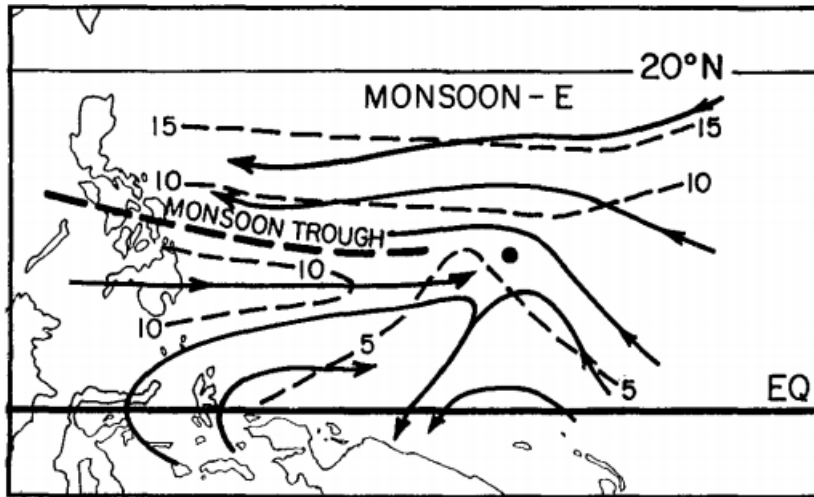
Izvor: Fiji Meteorological Service (URL 29)

Izvor\*: Joint Typhoon Warning Center (URL 30)

#### 4.2.2. Sjeverozapadni Tih ocean

Sjeverozapadna Tihooceanska regija proteže se od datumske granice do obala Azije, uključujući Južnokinesko more. Ciklogeneza, proces formiranja tropskih ciklona, izuzetno je intenzivna u ovom dijelu Tihog oceana iz nekoliko ključnih razloga. Jedan od njih je toplinska energija oceana. Voda u tom području često je iznimno topla, pružajući idealne uvjete za intenzivan razvoj oluja (Slika 4.). Osim toga, u tom području postoji relativno niska vrijednost vertikalnog smicanja vjetra (Slika 6.), što omogućuje razvoj tropskog ciklona do svog maksimalnog potencijala. Nadalje, topografija ovog područja doprinosi stvaranju idealnih uvjeta za ciklogenezu. Svi ti čimbenici zajedno čine sjeverozapadni Tih ocean najaktivnijim područjem u pogledu formiranja tropskih ciklona.

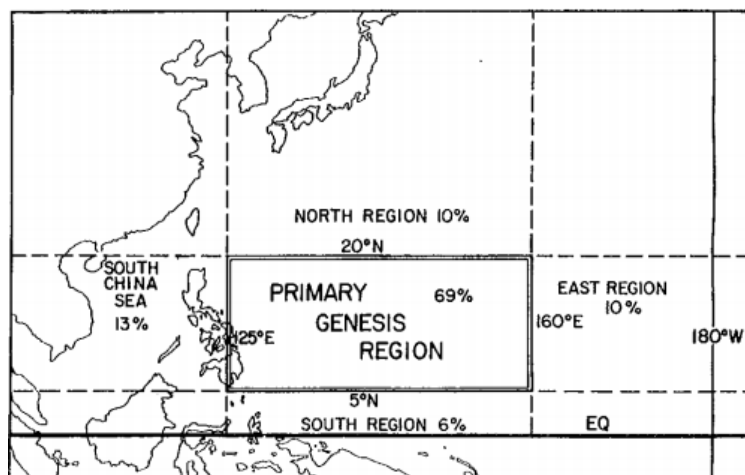
Prosječno, tropski cikloni u navedenoj regiji čine 31% ukupne godišnje aktivnosti tropskih ciklona u svijetu, što je značajno više od prosječne godišnje aktivnosti sljedeća dva najaktivnija bazena, sjevernog Atlantika (14%) i sjeveroistočnog Tihog oceana (18%) (Sharkov, 2012.). Većina tajfuna te regije formira se unutar monsunskog korita (eng. *monsoon trough*) (Slika 33.), što je područje s niskim tlakom zraka i visokom vlažnošću, karakteristično za tropske monsunске uvjete (Barry i Carleton, 2002). Na otprilike 10° sjeverne geografske širine dolazi do formiranja polja niskog tlaka zraka koje se naziva još i monsunsko korito te je to zapravo ogranak intertropske zone konvergencije. Ono djeluje kao linija razgraničenja između sjeveroistočnih pasata i jugoistočnih pasata koji su prelaskom preko ekvatora postali jugozapadni pasati. U toj zoni dolazi do destabilizacije atmosfere te se povećava šansa za formiranje tropskog ciklona.



Slika 33. Idealizirani sinoptički prikaz stanja neposredno prije formiranja tropskog ciklona

Izvor: Zehr (1992.)

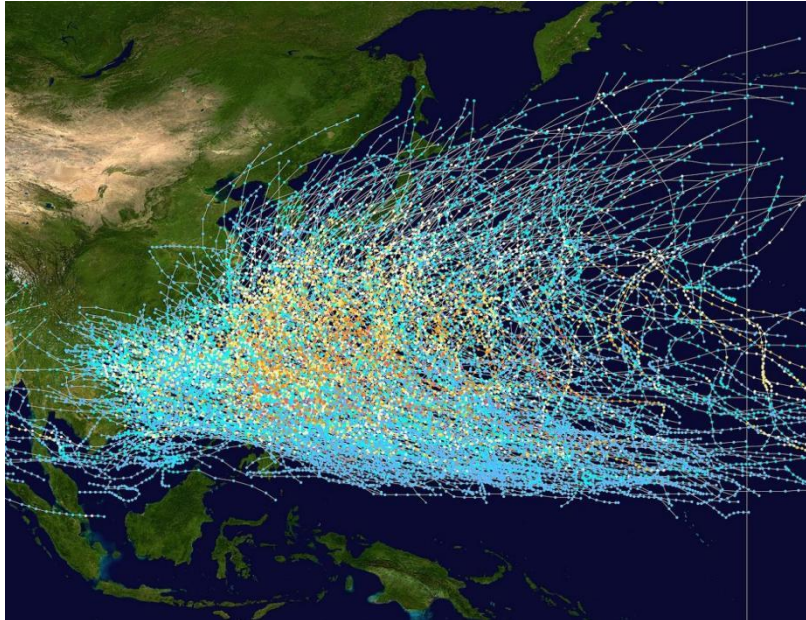
U ranim fazama sezone, tajfuni se uglavnom formiraju između 3° i 10° sjeverne geografske širine, iznad voda duž istočne obale Filipina. Iako ove rane oluje obično imaju manje snažne vjetrove od tajfuna koji se pojavljuju kasnije u sezoni ipak donose velike količine padalina. Krećući se prema zapadu brzinom od 20 km/h do 24 km/h, redovito izazivaju velike poplave na jugu Filipina i sjeveru Bornea. S druge strane, tajfuni koji se formiraju nešto kasnije u sezoni, uglavnom se razvijaju sjeverno od 10° sjeverne geografske širine (Slika 34) i karakterizira ih stabilnija struktura i značajno veći intenzitet (Longshore, 2008.).



Slika. 34 Zone formiranja tropskih ciklona u okviru sjeverozapadnog tihooceanskog bazena

Izvor: Zehr (1992.)

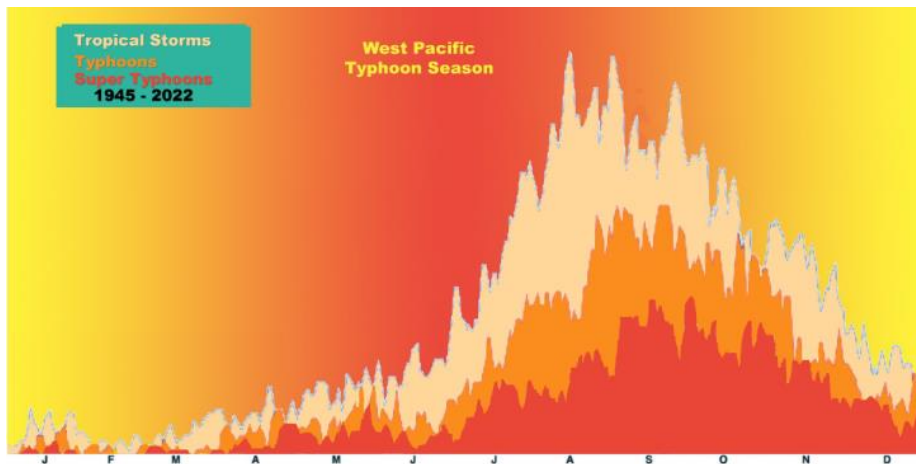
Još jedno obilježje tajfuna koji se razvijaju u ranoj fazi sezone je njihovo kretanje prema zapadu u relativno ravnoj liniji, dok se oluje kasne sezone često kreću više prema sjeverozapadu (Slika 35) praveći luk oko visokotlačnog prostora koji dominira sjevernim dijelom Tihog oceana tijekom ljeta (Longshore, 2008).



Slika 35. Putanje tropskih ciklona sjeverozapadnog tihooceanskog bazena od 1980. do 2005. godine

Izvor: URL 31

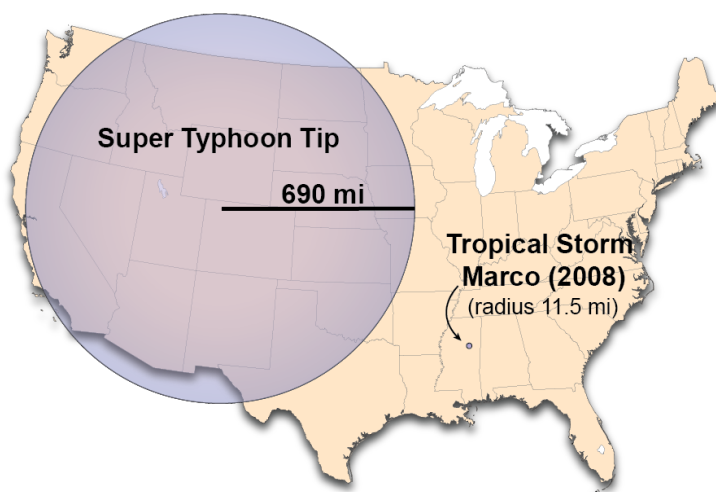
Glavna sezona tropskih ciklona u navedenoj regiji traje 6 mjeseci, od srpnja do prosinca te se tada pojavljuje najveći broj oluja. No ipak, značajno obilježje tog bazena je da se tropski cikloni gotovo redovito pojavljuju tijekom cijele godine, ali u znatno manjoj mjeri nego za vrijeme glavne sezone ciklona (Slika 36.) (Gray, 1981.).



Slika 36. Distribucija tropskih ciklona sjeverozapadnog tihooceanskog bazena s obzirom na mjesec u kojem su se formirali (1945.-2022.)

Izvor: URL 32

Tajfun Tip bio je tropski ciklon kasne sezone koji je prošao kroz Luzonski tjesnac (Filipini) u listopadu 1979. godine. Značajan je po tome što je zaslužan za najniži izmjereni tlak zraka u tropskom ciklonu (870 hPa) (URL 33) te je također sa svojim promjerom od 2200 kilometara najveći ikada zabilježen tropski ciklon (Slika 37.) (URL 34). Takve izuzetno niske tlakove djelomično uzrokuje znatna veličina tajfuna kasne sezone jer ona može utjecati na distribuciju gradijenta tlaka. Dok zreli uragan ili ciklon rijetko prelazi 500 km u promjeru, veliki broj tajfuna ove regije ima promjer između 650 i 950 kilometara (Longshore, 2008).

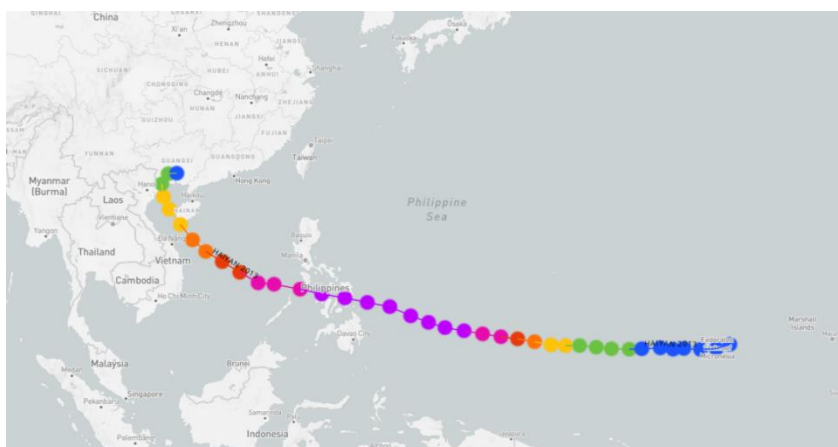


Slika 37. Veličina tajfuna Tip u odnosu na SAD i tropsku oluju Marco

Izvor: URL 15



Tajfun Haiyan, poznat i kao super-tajfun Yolanda na Filipinima, formirao se 3. studenog 2013. godine i trajao je do 11. studenog iste godine. S maksimalnim trajnim vjetrovima koji su dosegali brzinu od 315 km/h i naletima do 380 km/h to je jedan od najsnažnijih tropskih ciklona ikad zabiljženih. Haiyan je također izazvao velike ljudske gubitke. Prema službenim podacima, poginulo je preko 6300 ljudi, dok je više od 1000 nestalo. Deseci tisuća ljudi su bili ozlijeđeni, a milijuni su ostali bez domova i osnovnih sredstava za život (URL 35). Jedan od razloga zašto je supertajfun Haiyan bio izuzetno destruktivan je i činjenica da je Filipinsko kopno pogodio upravo na vrhuncu svojeg inteziteta kao tajfun pete kategorije prema Saffir-Simpson skali (Slika 38).



Slika 38. Putanja i intezitet tajfuna Haiyan

Izvor: URL 36

Napomena: Ljubičasta boja označava tajfun pete kategorije

Tablica 3. Najintenzivniji tropski cikloni sjeverozapadne Tihooceanske regije na temelju maksimalne brzine vjetra (10-minutni prosjek)

Ime	Godina	Brzina vjetra (10 min)	Brzina vjetra (1 min)*	Najniži tlak
Tip	1979.	260 km/h	305 km/h	870 hPa
Megi	2010.	230 km/h	295 km/h	885 hPa
Haiyan	2013.	230 km/h	315 km/h	895 hPa
Sally	1964.	220 km/h	315 km/h	895 hPa
Rita	1978.	220 km/h	280 km/h	880 hPa

Izvor: Japan Meteorological Agency (URL 37)

Izvor\*: Joint Typhoon Warning Center (URL 30)

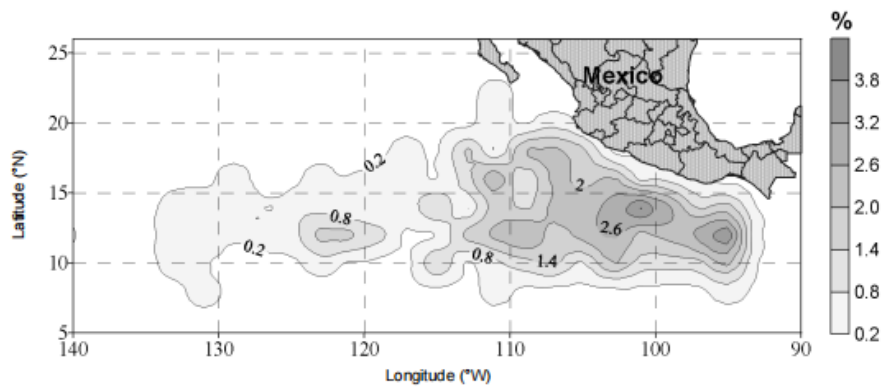
Međugodišnje promjene aktivnosti tropskih ciklona u sjeverozapadnom Tihom oceanu često su povezane s ENSO efektom. Kad su temperature površine mora iznad normalnih vrijednosti, olakšano je stvaranje tropskih ciklona. Stoga se tijekom El Niño faze uočava veći broj tropskih ciklona u toj regiji (Chan, 1985).

Uz varijacije koje se događaju tijekom više desetljeća i godišnje varijacije, primijećeni su značajni trendovi prema smanjenju broja tropskih ciklona s jakim oborinama. Tom smanjenju u tropskim ciklonima s jakim oborinama prethodilo je smanjenje broja tropskih ciklona koji su utjecali na Kinu u razdoblju od 1957. do 2004. godine. Te promjene snažno sugeriraju da je Kina doživjela smanjenje utjecaja tropskih ciklona posebno kada je riječ o ciklonima s jakim oborinama (Ren i dr, 2010). Klimatske promjene mogu biti jedno od objašnjenja za spomenuti trend jer one mogu utjecati na lokalne obrasce atmosferske cirkulacije i temperaturu mora. Takve promjene bi mogle imati utjecaj na proječan smjer kretanja tropskih ciklona u regiji što zatim može rezultirati tome da manji broj tropskih ciklona dosegne obalu Kine.

#### ***4.2.3. Sjeveroistočni Tih ocean***

Sjeveroistočni Tihooceanski bazen proteže se od Meksika do otprilike datumske granice, a u njemu se u prosjeku godišnje formira oko 19% svih tropskih ciklona na svijetu te ga to čini drugom najaktivnijom svjetskom regijom. Iako se ponekad područje srednjeg Pacifika odvaja kao zasebna regija, u ovom radu će ipak biti klasificiran kao dio sjeveroistočnog Tihooceanskog bazena s obzirom na to da se po svojim obilježjima i ciklogenezi značajno ne razlikuje od njega.

Glavno područje formiranja tropskih ciklona u ovom dijelu Tihog oceana je područje neposredno južno od zaljeva Tehuantepec, između 8° i 15° sjeverne geografske širine (Slika 39). Većina ovih ciklona prvotno se kreće prema zapadu i sjeverozapadu, a rijetko se kreću prema višim geografskim širinama, posebice onima iznad 30° sjeverne geografske širine, zbog prisutnosti hladne Kalifornijske struje (Romero-Vadillo i dr. 2007).

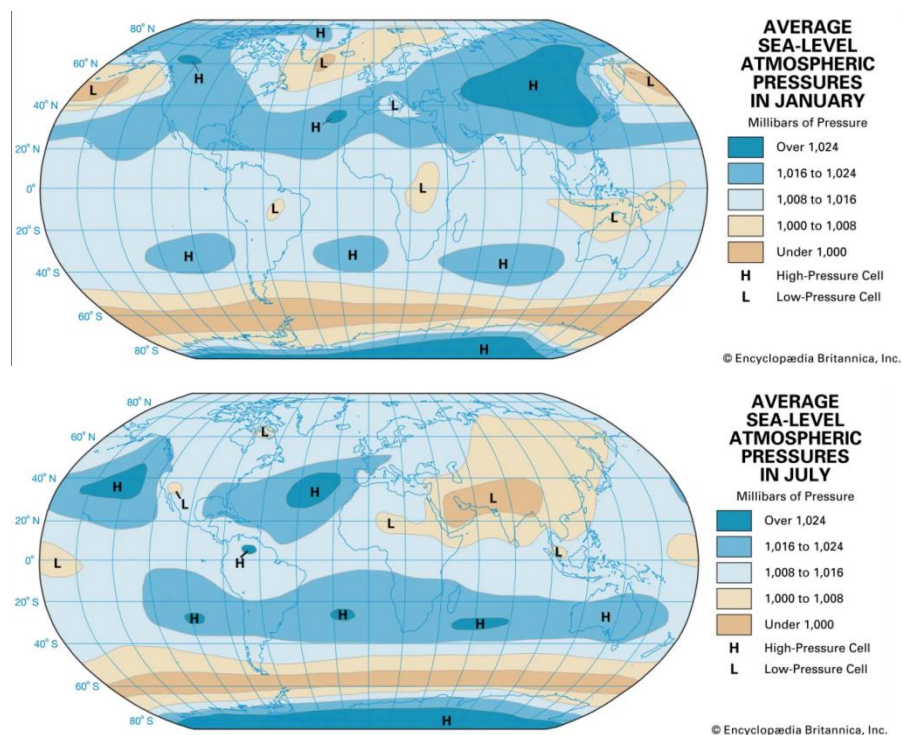


Slika 39. Učestalost i prostorna distribucija geneze tropskih ciklona sjeveroistočnog tihooceanskog bazena za razdoblje od 1966. do 2004. godine

Izvor: Romero-Vadillo i dr. (2007)

Tijekom zimskih mjeseci Aleutski minimum koji je uzrokovan polarnim vjetrovima dostiže svoj vrhunac. On je zaslužan za formiranje olujnih sustava s obilnim oborinama koji pogađaju hladne obale zapadne Kanade i Sjedinjenih Američkih Država. Uz to, nad područjem gdje se inače formiraju tropski cikloni sve snažnije djeluje područje visokog tlaka (Slika 40), a ITCZ se u tom trenutku nalazi daleko na jugu (Slika 21.) Takvi uvjeti nisu povoljni za formiranje tropskih ciklona tijekom zimskih mjeseci u sjeveroistočnom Tihom oceanu.

Krajem travnja Aleutski minimum obično nestaje ili gubi na snazi i zamjenjuje ga Tihooceansko polje visokog tlaka koje je obično obilježeno suhim, stabilnim i sunčanim vremenom (Longshore, 2008).

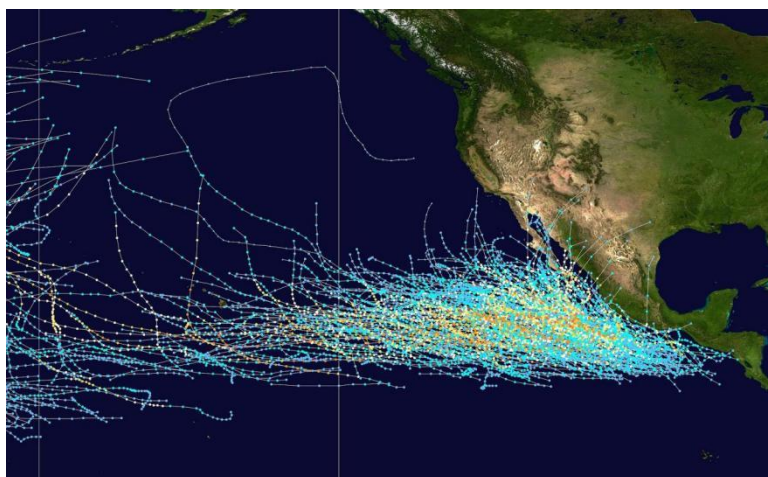


Slika 40. Prosječna svjetska raspodjela tlaka u siječnju (gore) i srpnju (dolje)

Izvor: URL 38

U glavnom izvorišnom području tropskih ciklona regije, južno od poluotoka Baja California, uslijed specifičnih atmosferskih uvjeta koji su primarno vezani sa raspodjelom tlaka, dolaze topli vjetrovi sa sjeveroistoka. Kako se temperatura površine mora u srpnju i kolovozu približava 29 °C, stvaraju su povoljni uvjeti za formiranje tropskih ciklona (Longshore, 2008).

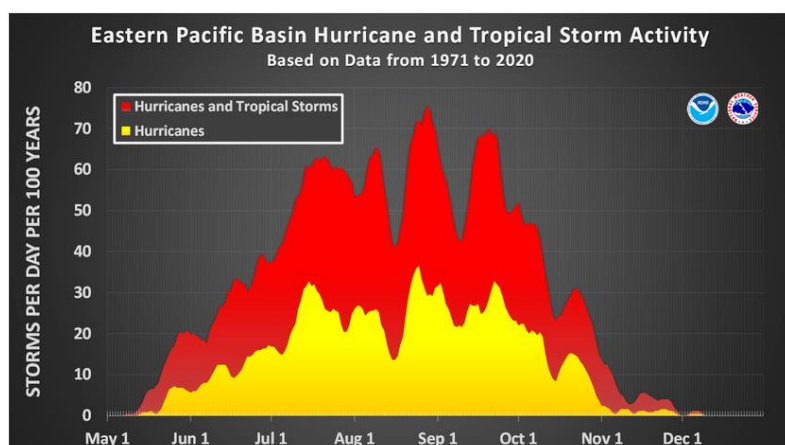
Većina tropskih ciklona koji nastaju na tom području bezopasno se kreće prema zapadu i sjeverozapadu (Slika 41), zbog utjecaja sjeveroistočnih pasata, što ih udaljava od gusto naseljenih područja Meksika i Kalifornije. Iako su rijetki, ipak postoje slučajevi kada bi tropski ciklon koji se formirao u Tihom oceanu skrenuo na istok, te preko Meksika i Srednje Amerike prešao u Meksički zaljev i dalje u Karipsko more (Longshore, 2008).



Slika 41. Putanje tropskih ciklona sjeveroistočnog tihooceanskog bazena od 1980. do 2005. godine

Izvor: URL 39

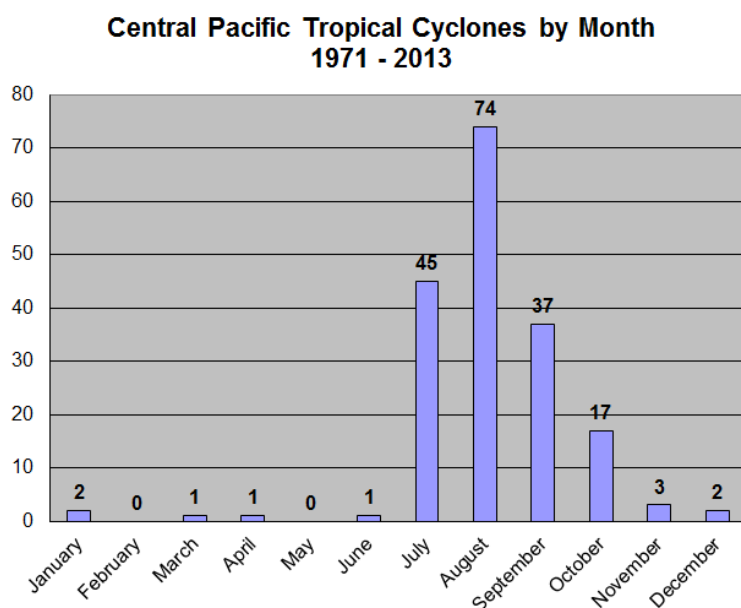
Najviše ciklonske aktivnosti zabilježeno je u srpnju, kolovozu i rujnu (Slika 42.), a u godinama s pojavom El Niño fenomena broj uragana visokog intenziteta (kategorije 3, 4 i 5 po Saffir-Simpson skali) i uragana koji su trajali duže od 12 dana bio je veći nego u godinama bez El Niña (Romero-Vadillo i dr., 2007). Sezona uragana u sjeveroistočnom Tihom oceanu traje od 15. svibnja do 30. studenog, no moguće je i povremeno pojavljivanje tropskih ciklona izvan opsega tih datuma. Najveća aktivnost zabilježena je krajem kolovoza, a visoka razina aktivnosti u toj regiji obično se rasprostire tijekom dužeg dijela sezone u usporedbi s Atlantskim oceanom, pri čemu se većina tropskih ciklona javlja između kraja lipnja i početka listopada (URL 40).



Slika 42. Distribucija uragana i tropskih oluja sjeveroistočne tihooceanske regije s obzirom na vrijeme formiranja

Izvor: URL 40

Tijekom ključnih mjeseci kolovoza i rujna, aktivnost tropskih ciklona u središnjem Tihom oceanu je umjerena zbog nekoliko čimbenika (Slika 43.). Jedan od njih je prisutnost velikog bazena hladnije morske vode koja se obično nalazi južno od Havajskih otoka. Drugi čimbenik je snaga i položaj Pacifičke anticiklone koja pokriva veći dio regije od ranog srpnja do kasnog listopada (Longshore, 2008.).



Slika 43. Učestalost pojave tropskih ciklona na središnjem Tihom oceanu (1971.-2013.) prema mjesecu formiranja

Izvor: URL 40

Tablica 4. Najintenzivniji tropski cikloni sjeveroistočne tihooceanske regije na temelju maksimalne brzine vjetra (1-minutni prosjek)

Ime	Godina	Brzina vjetra (1 min)	Najniži tlak
Patricia	2015.	345 km/h	872 hPa
Linda	1997.	295 km/h	902 hPa
Rick	2009.	285 km/h	906 hPa
Kenna	2002.	270 km/h	913 hPa
Otis	2023.	270km/h	922 hPa

Izvor: The National Hurricane Center (URL 41)

### **4.3. Atlantski ocean**

Atlantski ocean ima samo jednu regiju u kojoj se formiraju tropski cikloni, a to je sjevernoatlantska regija koja obuhvaća Karipsko more i Meksički zaljev. Iako je temperatura mora u južnom Atlantiku u prosjeku nešto niža nego na sjevernom to ipak nije glavni i jedini razlog zašto ne postoji stalni proces formiranja tropskih ciklona u ovom dijelu Atlantskog oceana. Jedan od ključnih razloga je jako vertikalno smicanje vjetra u atmosferi (Slika 5. i Slika 6.). Drugi važan čimbenik je nedostatak atmosferskih poremećaja kao što su primjerice Afrički istočni valovi ili Intertropska zona konvergencije (ITCZ). Kombinacija ovih čimbenika čini vrlo teškim, gotovo nemogućim, stvaranje tropskih ciklona u južnom Atlantskom oceanu.

Iako atlantski tropski cikloni nisu najintenzivniji (Tablica 5.), a s oko 12 tropskih ciklona (14% od ukupnog broja tropskih ciklona godišnje, (Sharkov, 2012.)) u prosjeku godišnje ova regija svakako nije ni najaktivnija, ali ipak nepogode koje nastaju na ovom području su najpoznatije široj javnosti odnosno najviše su medijski popraćene. Razlog tome je vjerojatno što značajan broj tropskih ciklona ovog bazena stvara direktnu prijetnju istočnoj i jugoistočnoj obali SAD-a.

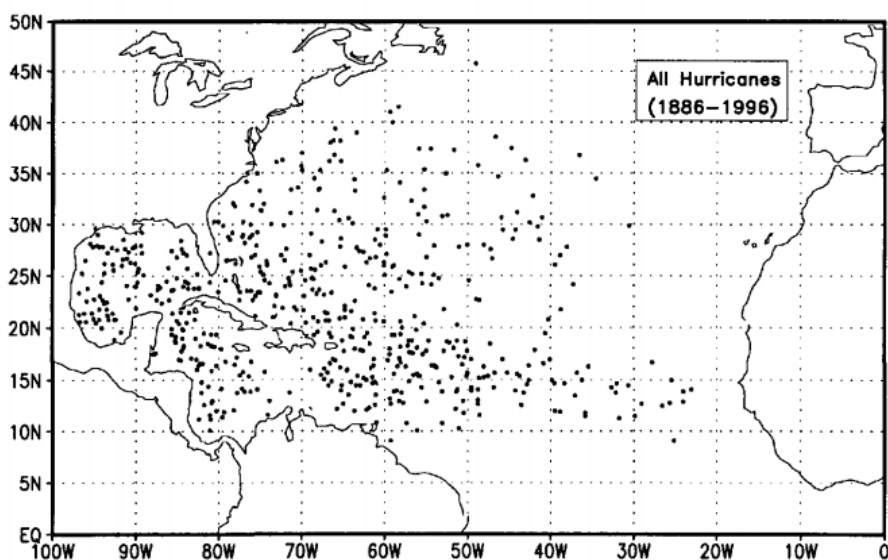
#### ***4.3.1. Sjeverni Atlantski ocean***

Bitan čimbenik za nastanak uragana je već postojeći atmosferski poremećaj. Veliku važnost prilikom formiranja uragana na sjevernom Atlantiku imaju konvektivno aktivni tropski valovi koji se formiraju na zapadu Afrike. Tropski valovi su poremećaji u tropskim područjima koji se obično kreću s istoka prema zapadu, a nastaju zbog nestabilnosti u afričkoj istočnoj mlaznoj struji (URL 42). Ti valovi putuju prema zapadu s prilično redovitim razmacima između  $10^{\circ}$  i  $20^{\circ}$  sjeverne geografske širine, uglavnom tijekom kolovoza i rujna. U jednoj sezoni obično se pojavi između 40 i 70 takvih valova. Olujna aktivnost u ovim pojavama čine atmosferske valove potencijalnim pretečama tropskih oluja i uragana (Elsner i Kara, 1999). Najveći broj tropskih ciklona u regiji nastaje upravo zahvaljujući tim tropskim valovima koji redovito dolaze sa obala Afrike (Neuman i dr., 1985). Toplina mora na zapadnom dijelu sjevernog Atlantika je dovoljno

visoka da omogući formiranje tropskih ciklona čak do 35° N geografske širine (Slika 44) (Elsner i Kara, 1999), a glavnu ulogu u prijenosu topline u više geografske širine ima topla Golfska struja.

Tropski cikloni koji se formiraju kao rezultat afričkih istočnih valova poznati su još pod nazivom Cape Verde uragani odnosno zelenortski uragani zbog svoje lokacije bliže afričkoj obali. Oni tropski cikloni koji svoje izvorište imaju nešto zapadnije, u Karipskom moru i Meksičkom zaljevu, formiraju se primarno zahvaljujući utjecaju intertropske zone konvergencije koja je zaslužna za nestabilne atmosferske uvjete (Elsner i Kara, 1999).

Postoji još jedna mogućnost, a to je da se tropski cikloni stvaraju i bez utjecaja tropskih valova. U tom slučaju, neki tropski cikloni započinju svoj život kao hladni zračni poremećaji ili kao dio hladnog zračnog tijela. Kad se ta hladna cirkulacija spusti prema jugu, naziva se izoliranim niskim tlakom. Ova hladna cirkulacija se uz adekvatne uvjete može brzo promijeniti u toplinsku cirkulaciju koja stvara uragane, a toplinska energija koja se oslobađa može postupno zagrijati središnje dijelove oluje. Takav proces obično traje duže, nekoliko dana ili čak tjedana. Uragani koji su počeli kao hladni poremećaji ponekad se nazivaju i suprotropski cikloni (Elsner i Kara, 1999).

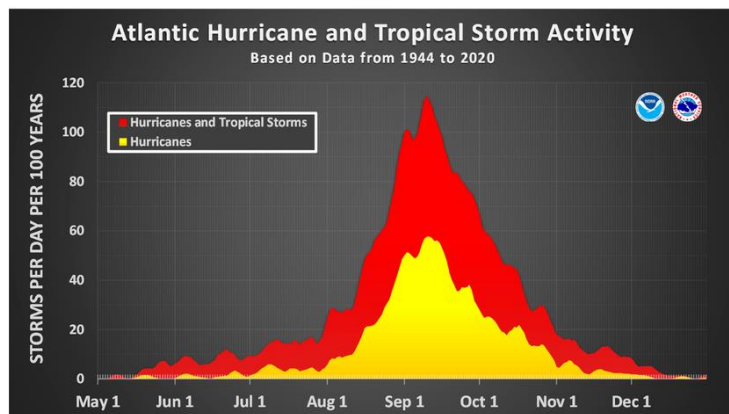


Slika 44. Lokacija formiranja svih atlantskih tropskih ciklona koji su dosegli uragansku snagu u razdoblju od 1886. do 1996. godine

Izvor: Elsner i Kara (1999.)



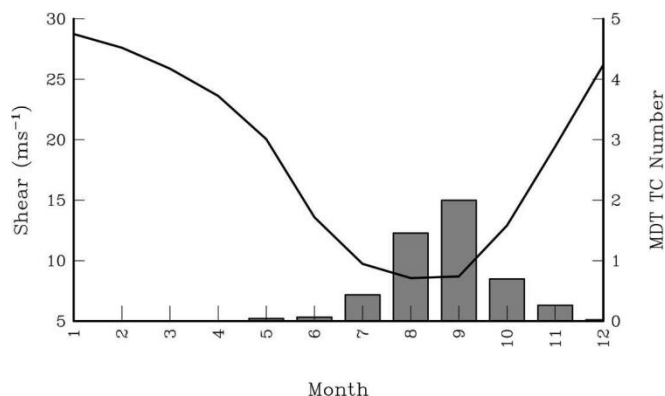
Uraganska aktivnost u sjevernom Atlantiku odvija se od početka lipnja do kraja studenog, a to razdoblje se službeno označava kao sezona uragana (Slika 45). Prva imenovana oluja obično se formira sredinom do kraja lipnja, prvi uragan se obično formira početkom do sredine kolovoza, a prvi veliki uragan (kategorija 3 ili više) nastaje krajem kolovoza ili početkom rujna (URL 40).



Slika 45. Distribucija tropskih ciklona na sjevernom Atlantiku s obzirom na datum formiranja (1944.-2020.)

Izvor: (URL 40)

Samo 17% svih aktivnosti vezanih uz stvaranje tropskih ciklona događa se izvan razdoblja od kolovoza do listopada (Elsner i Kara, 1999.). Vrijeme kad su tropski cikloni nad Atlantikom najčešći podudara se s razdobljem najviših temperatura površine mora i obuhvaća najveći dio sjevernog Atlantskog oceana. Također je to razdoblje kada je stupanj vertikalnog smicanja vjetra u regiji obično najmanji pa takva situacija dodatno olakšava razvoj tropskih ciklona (Slika 46).

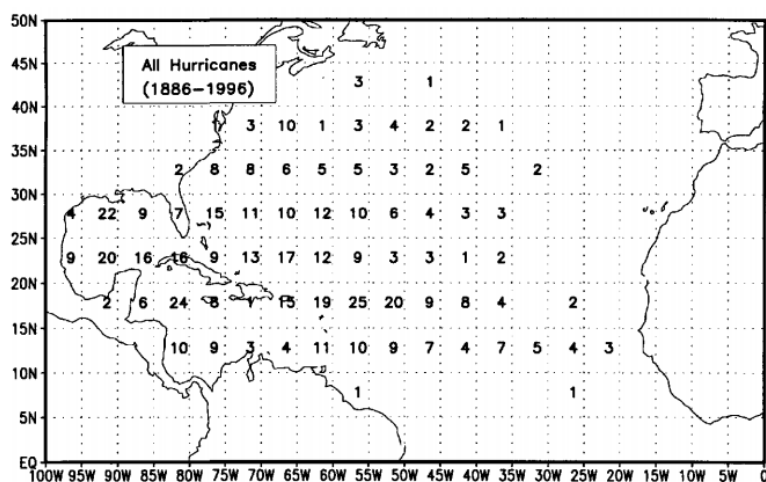


Slika 46. Povezanost stope vertikalnog smicanja vjetra i frekvencije tropskih ciklona u Atlantskom oceanu

Izvor: Aiyer (2006.)

Prosječno trajanje tropskog ciklona u Atlantskom oceanu od njegova nastanka do nestanka iznosi 10 dana, dok uraganska faza obično traje otprilike polovicu ukupnog vremena trajanja tropskog ciklona. Po pitanju intenziteta primijećeno je da većina sezona ima prosječnu maksimalnu brzinu vjetrova između 157 km/h i 166 km/h (Elsner i Kara, 1999.).

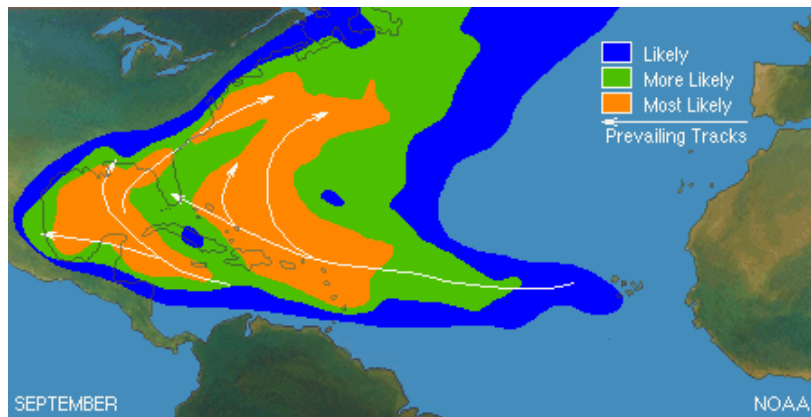
Sjevernoatlantska regija je područje koje je pod snažnim utjecajem tople Golfske struje koja transportira jako toplu morsku vodu u vantropske geografske širine. Upravo ona je glavni razlog zbog čega se u ovoj regiji u razdoblju od 1886. godine do 1996. godine čak 76 od 554 uragana formiralo u područjima sjeverno od 30° sjeverne geografske širine, a njih još 116 u prostoru između 25° i 30° sjeverne geografske širine (Slika 47.).



Slika 47. Broj uragana koji su se formirali unutar specifičnih zona

Izvor: Elsner i Kara (1999)

Uragani u sjevernom Atlantskom oceanu često slijede slične puteve kretanja, posebno ako se formiraju u isto vrijeme tijekom godine. Primjerice, često se kreću oko područja višeg tlaka zraka koje dominira u središnjem sjevernom dijelu Atlantskog oceana (Slika 48.). Kad se približe tom području, imaju tendenciju kretanja prema sjeveru kroz područje u kojem je tlak zraka niži. Što se više približe polovima, smanjuje se i njihovo zapadno kretanje. Najjači uragani najviše su pod utjecajem vjetrova na većim nadmorskim visinama, a često se kreću prema toplijem i vlažnijem zraku na srednjoj razini atmosfere (Elsner i Kara, 1999.).



Slika 48. Standardne putanje atlantskih tropskih ciklona

Izvor: URL 43

Tablica 5. Najintenzivniji tropski cikloni sjevernoatlantske regije na temelju maksimalne brzine vjetra (1-minutni prosjek)

Ime	Godina	Brzina vjetra (1 min)	Najniži tlak
Allen	1980.	305 km/h	899 hPa
Labor Day	1935.	295 km/h	892 hPa
Gilbert	1988.	295 km/h	888 hPa
Wilma	2005.	295 km/h	882 hPa
Dorian	2019.	295 km/h	910 hPa

Izvor: The National Hurricane Center (URL 41)

#### 4.4. Indijski ocean

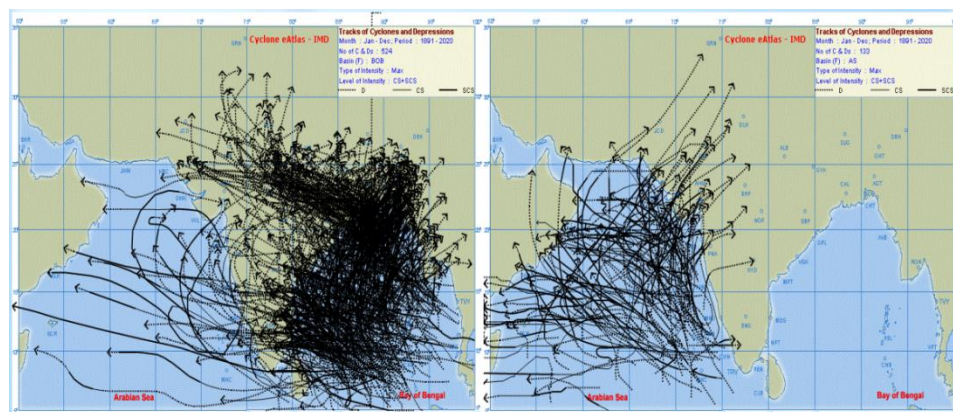
U Indijskom oceanu, tropski cikloni se javljaju u dvije glavne sezone: od travnja do lipnja i od rujna do prosinca. Godišnje se u prosjeku formira 21 tropski ciklon što je 24% od ukupnog broja ciklona na svijetu (Sharkov, 2012.). Od toga ih se u prosjeku pet formira u sjevernom dijelu oceana (Arapsko more i Bengalski zaljev), a 16 u južnom Indijskom oceanu koji je podjeljen na dva bazena. Ovi cikloni mogu u rijetkim slučajevima biti vrlo intenzivni, ali su općenito manje česti i slabiji u usporedbi s onima u Atlantskom i Tihom oceanu (Tablica 6., Tablica 7. i Tablica 8.). Indijski ocean je manji u usporedbi s drugim oceanima gdje postoji proces formiranja tropskih ciklona te zbog toga tropski cikloni relativno brzo pređu preko kopna, posebno u sjevernom djelu Indijskog oceana. Atmosferske prilike nad kopnom drastično ograničavaju njihov

maksimalni potencijal te je to jedan od glavnih razloga zašto su cikloni te regije najmanje intenzivni. Još je bitno spomenuti da na genezu tropskih ciklona u južnom Indijskom oceanu veliku ulogu ima subtropski dipol Indijskog oceana (SIOD), o čemu će više biti u narednim poglavljima.

#### 4.4.1. Sjeverni Indijski ocean

Sjevernoindijski bazen obuhvaća dva manja područja, a to su Arapsko more i Bengalski zaljev. Sjeverni Indijski ocean svakako nije jedna od regija koju karakterizira visoka aktivnost tropskih ciklona. Godišnje u prosjeku samo pet ili šest sustava dostigne barem fazu tropske oluje, što odgovara brzini vjetra od 35 čvorova ili više (Hoarau i Chalonge, 2010.). Od toga se samo jedan tropski sustav formira u Arapskom moru, a ostatak u Bengalskom zaljevu (Singh, 2010.). Razlog takve podjele ponovno mogu objasniti regionalne razlike u stupnju vertikalnog smicanja vjeta.

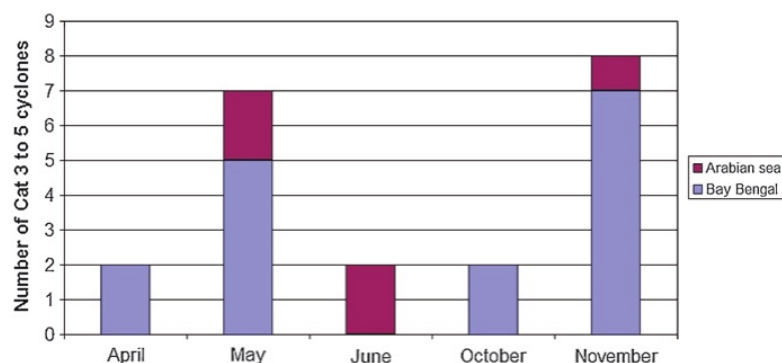
Većina tropskih ciklona u regiji kreće se u smjeru sjeverozapada i zatim se preusmjere ili prema jugozapadu ili prema sjeveroistoku (Slika 49). U Arapskom moru te se oluje uglavnom kreću prema sjeverozapadu u pravcu Arapskog poluotoka. Međutim, u nekim slučajevima, nakon što prijeđu 15° sjeverne geografske širine, oluje se preusmjeravaju prema sjeveroistoku i udaraju u obalu Gujarata na sjeverozapadu Indije. U Bengalskom zaljevu oluje se općenito kreću prema sjeverozapadu dok ne dosegnu istočnu obalu zaljeva, a zatim se preusmjeravaju prema sjeveroistoku.



Slika 49. Putanje tropskih ciklona u Bengalskom zaljevu (lijevo) i Arapskom moru (desno)

Izvor: URL 44

U razdoblju od 1980. do 2008. godine, 21 tropski ciklon dosegao je intenzitet kategorije 3 ili više od čega se u Arapskom moru formiralo samo pet takvih ciklona (Slika 50) (Hoarau i Chalonge, 2010).



Slika 50. Raspodjela tropskih ciklona u sjevernom Indijskom oceanu kategorije 3 ili više s obzirom na mjesec pojavljivanja

Izvor: Hoarau i Chalonge (2010.)

Primjećuje se da postoje dva vrhunca aktivnosti sa sedam ciklona u svibnju i osam u studenom. Zanimljivo je da nije bilo snažnih ciklona od srpnja do rujna, što se povezuje s monsunskom sezonom koja donosi više vrijednosti verikalnog smicanja vjetra (Hoarau i Chalonge, 2010). O tome koliko su rijetki izuzetno snažni tropski cikloni ove regije (Tablica 6), posebno u dijelu Arapskog mora, govori i činjenica da je tek ciklon Gonu iz 2007. godine zabilježen kao prvi super-ciklon (Slika 2.) koji se ikad formirao nad Arapskim morem. Ova izuzetno snažna oluja ostvarila je dva udara na kopno prvi je bio nad Omanom, a drugi drugi nad Iranom (Tyagi i dr., 2010).

Tablica 6. Najintenzivniji tropski cikloni regije sjevernog Indijskog oceana na temelju maksimalne brzine vjetra (3-minutni prosjek)

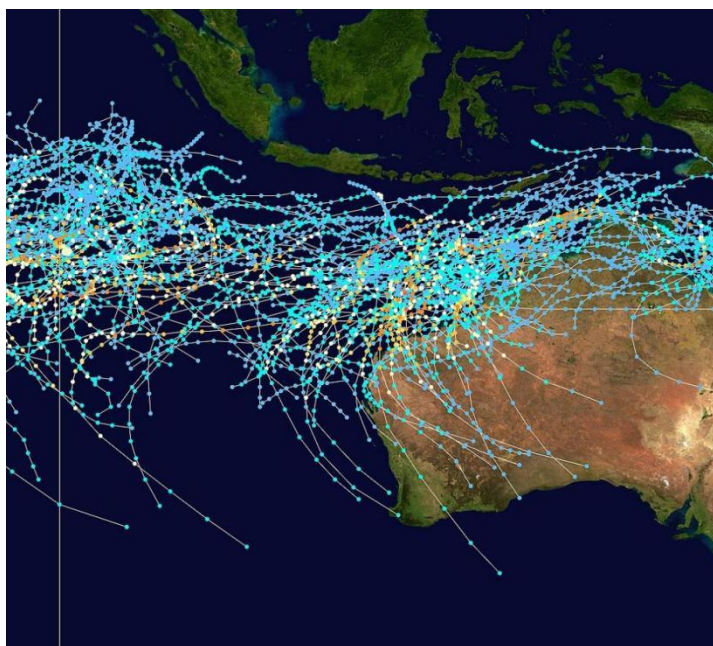
Ime	Godina	Brzina vjetra (3 min)	Brzina vjetra (1 min)*	Najniži tlak
Odisha	1999.	260 km/h	260 km/h	912 hPa
Three	1963.	240 km/h	/	920 hPa
Gonu	2007.	240 km/h	270 km/h	920 hPa
Kyarr	2019.	240 km/h	250 km/h	922 hPa
Amphan	2020.	240 km/h	270 km/h	920 hPa

Izvor: India Meteorological Department (URL 45)

Izvor\*: Joint Typhoon Warning Center (URL 30)

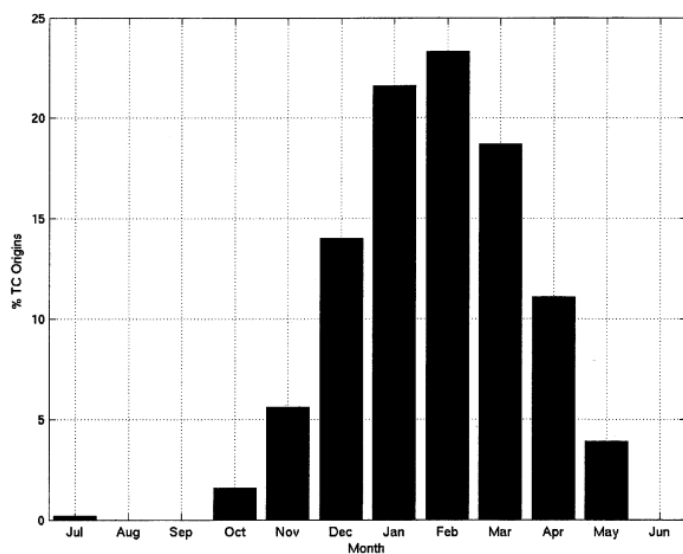
#### 4.4.2. *Jugoistočni Indijski ocean*

Jugostočni indijski bazen proteže se od 100° istočne geografske dužine do 142° istočne geografske dužine i ponekad se naziva i Australski bazen. Većina tropskih ciklona ove regiji se formira između prosinca i travnja (Slika 52.), a svake sezone primijeti se približno devet takvih pojava. Općenito, životni vijek tropskog ciklona je oko 7 dana tijekom kojih prijeđe preko 2500 km prosječnom brzinom od 15 km/h. Glavne lokacije nastajanja tropskih ciklona protežu se od sjeverozapadne obale Australije do zaljeva Carpentaria (Slika 51.) (Dare i Davidson, 2004.). Ciklogeneza se u pravilu poklapa sa monsunskim koritom i intertropskom zonom kovergencije od prosinca do veljače. Monsunsko korito predstavlja granicu između tropskih zapadnih vjetrova i subtropskih istočnih vjetrova (Dare i Davidson, 2004.). Tropski cikloni u zapadnom bazenu imaju oko 25% šanse za udar na kopno, dok oni u sjevernom bazenu imaju 80% šanse (Dare i Davidson, 2004.) zbog čega predstavljaju mnogo veću prijetnju stanovništvu.



Slika 51. Putanje tropskih ciklona jugoistočnog bazena Indijskog oceana od 1980. do 2005. godine

Izvor: URL 46



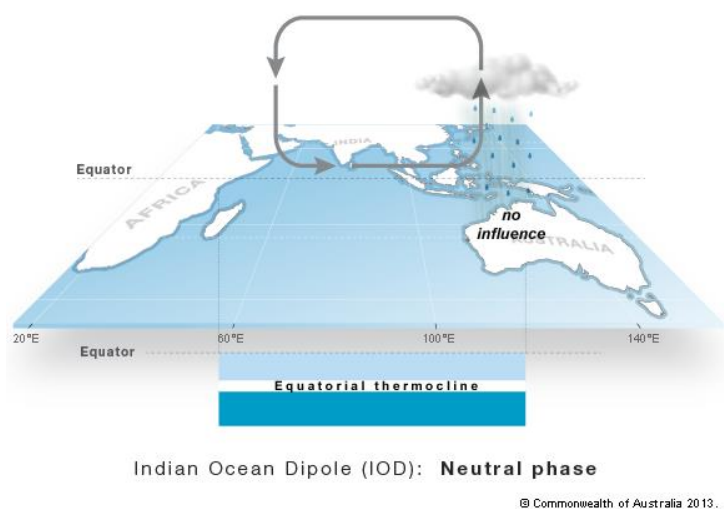
Slika 52. Raspodjela tropskih ciklona jugoistočnog bazena Indijskog oceana s obzirom na mjesec formiranja

Izvor: Dare i Davidson (2004.)

Važan modifikator ciklonske geneze u južnom Indijskom oceanu ima subtropski dipol Indijskog oceana (SIOD) koji, slično kao i ENSO fenomen, ima tri faze: neutralna, pozitivna i negativna faza. SIOD je primarno zaslužan za promjenu

površinske temperature mora u Indijskom oceanu. Toplije more potiče intenzivniju konvekciju stvarajući povoljne uvjete za razvoj i jačanje oluja. Zbog pojačane konvekcije, učestalost i intenzitet tropskih ciklona se povećava.

U neutralnoj fazi SIOD-a (Slika 53.), voda iz Tihog oceana prolazi između indonezijskih otoka, zadržavajući toplinu mora sjeverozapadno od Australije. Zrak se uzdiže iznad tog područja i spušta se na zapadnu polovicu Indijskog oceana. Temperature su uglavnom uobičajene duž cijelog tropskog dijela Indijskog oceana pa neutralna faza SIOD-a ne donosi značajne promjene u klimi Australije (URL 47).

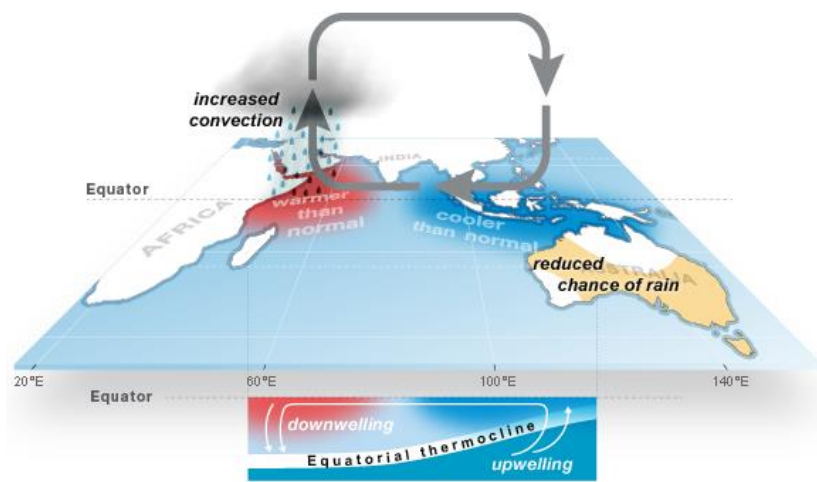


Slika 53. Neutralna faza SIOD-a

Izvor: URL 47

U pozitivnoj fazi SIOD-a (Slika 54.), zapadni vjetrovi slabe duž ekvatora, što omogućuje akumulaciju tople vode bliže afričkoj obali. Ove promjene u vjetrovima omogućuju hladnoj vodi da se izdigne iz dubljih slojeva oceana uz australsku obalu. To stvara razliku u temperaturi površine mora pa je tako temperatura površine mora na istoku niža nego inače, a na zapadu je viša nego inače. Takva promjena u temperaturi ima u utjecaj i na vlagu pa je onda istočni dio bazena suši zbog slabije konvekcije (URL 47).





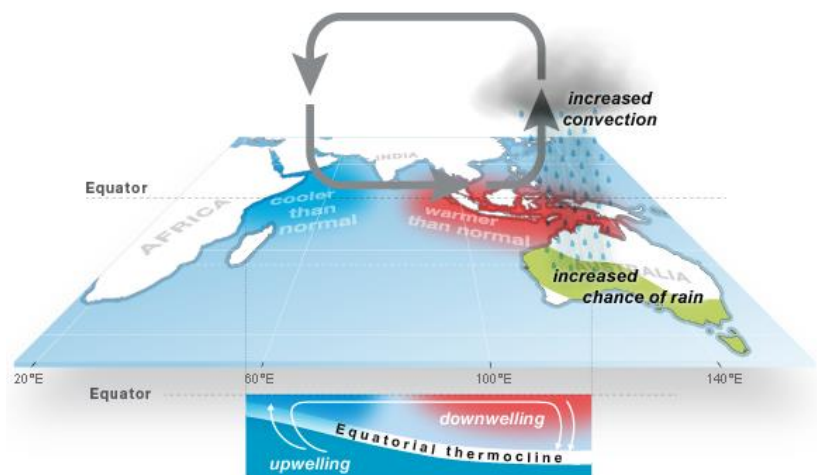
Indian Ocean Dipole (IOD): **Positive phase**

© Commonwealth of Australia 2013.

Slika 54. Pozitivna faza SIOD-a

Izvor: URL 47

U negativnoj fazi SIOD-a (Slika 55), zapadni vjetrovi se pojačavaju duž ekvatora te omogućuju da se toplija voda koncentrira blizu Australije. Suprotno pozitivnoj fazi, negativna faza SIOD-a rezultira pojačanom konvekcijom što uzrokuje više padalina na australskoj obali, a obrnuti proces se odvija uz obale Afrike (URL 47).



Indian Ocean Dipole (IOD): **Negative phase**

© Commonwealth of Australia 2013.

Slika 55. Negativna faza SIOD-a

Izvor: URL 47

Tablica 7. Najintenzivniji tropski cikloni jugoistočnog Indijskog oceana na temelju maksimalne brzine vjetra (10-minutni prosjek)

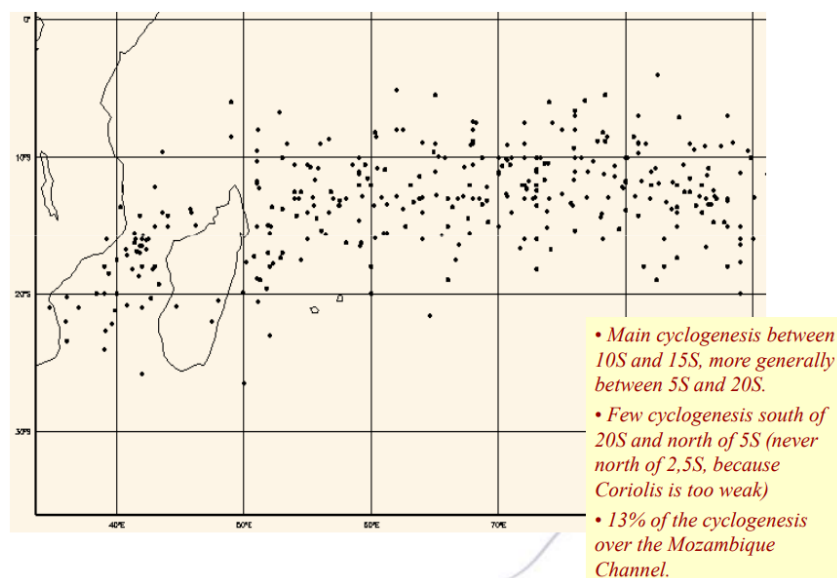
Ime	Godina	Brzina vjetra (10 min)	Brzina vjetra (1 min)*	Najniži tlak
Orson	1989.	250 km/h	260 km/h	904 hPa
Monica	2006.	250 km/h	285 km/h	916 hPa
Marcus	2018.	250 km/h	280 km/h	905 hPa
Inigo	2003.	230 km/h	260 km/h	900 hPa
Darian	2022.	230 km/h	240 km/h	915 hPa

Izvor: Bureau of Meteorology (URL 48)

Izvor\*: Joint Typhoon Warning Center (URL 30)

#### 4.4.3. Jugozapadni Indijski ocean

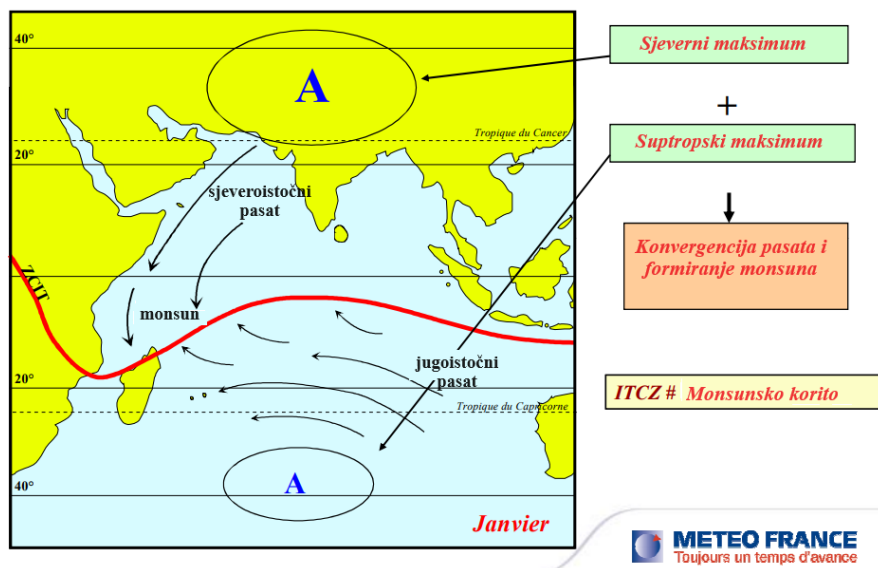
Jugozapadni bazen Indijskog oceana proteže se od istočne obale Afrike do otprilike 100° istočne geografske širine. Po pitanju geografske širine, ova regija ne razlikuje se od ostalih regija te se većina tropskih ciklona formira u zoni između 10° i 20° od ekvatora (Slika 56). Većina ciklona se formira istočno od Madagaskara, dok jedan manji dio (oko 13%) nastaje u Mozambičkom kanalu (URL 49).



Slika 56. Lokacije formiranja tropskih ciklona u jugozapadnom Indijskom oceanu u razdoblju od 1966. do 2000. godine

Izvor: URL 49

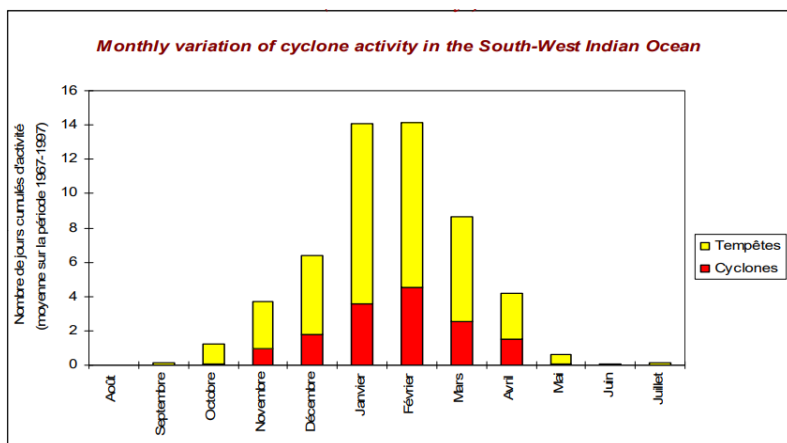
Početak ciklogeneze uzrokovan je pozicijom intertropske zone konvergencije (ITCZ) koja se u Indijskom oceanu u siječnju nalazi na najjužnijoj točki (Slika 57), dovoljno daleko od ekvatora što omogućuje adekvatnu količinu vrtložnosti koja je potrebna za formiranje ciklona.



Slika 57. Pozicija ITCZ za vrijeme ljeta na južnoj hemisferi

Izvor: URL 49

Najviša aktivnost u tom bazenu javlja se ljeti s izraženim maksimumima u siječnju i veljači (Slika 58.). To odgovara razdoblju idealnih atmosferskih uvjeta (pozicija ITCZ, visoka temperatura mora, visoka relativna važnost, nizak stupanj vertikalnog smicanja vjetra) za nastanak tropskih ciklona



Slika 58. Raspodjela tropskih ciklona olujne (žuto) i orkanske (crveno) snage s obzirom na mjesec formiranja

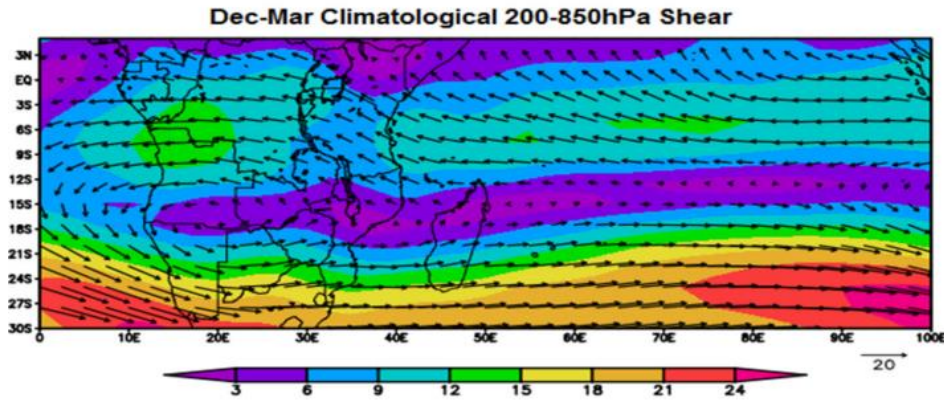
Izvor: URL 49



Slika 59. Putanje tropskih ciklona jugozapadnog bazena Indijskog oceana u razdoblju od 1980. do 2005. godine

Izvor: URL 50

La Niña i pozitivna faza SIOD-a su razdoblja koji pogoduju slabijem vertikalnom smicanju vjetra i jačanju tropskih ciklona u Mozambičkom kanalu. Suprotne tome, visoke vrijednosti vertikalnog smicanja vjetra su povezane s El Niñom, što nije povoljno za razvoj tropskih ciklona. Većina tropskih ciklona regije koji su se razvili barem do razine tropske oluje razvili su se pod uvjetima La Niñe ili u vrijeme neutralnih uvjeta. Relativno visoke vrijednosti površinske temperature mora nad jugozapadnim Indijskim oceanom, povezane sa SIOD-om, su također povezane sa slabijim vertikalnim smicanjem vjetra nad Mozambičkim kanalom (Slika 60.). Na temelju toga se može zaključiti da su i La Niña i pozitivna faza SIOD-a povoljni za genezu i intenzifikaciju tropskih ciklona u Mozambičkom kanalu (Manhique i dr. 2021.).



Slika 60. Prosječno vertikalno smicanje vjetra (m/s) u razdoblju od prosinca do ožujka (1979.-2019.)

Izvor: Manhique i dr. (2021.)

Tablica 8. Najintenzivniji tropski cikloni jugozapadnog Indijskog oceana na temelju maksimalne brzine vjetra (10-minutni prosjek)

Ime	Godina	Brzina vjetra (10 min)	Brzina vjetra (1 min)*	Najniži tlak
Fantala	2016.	250 km/h	285 km/h	910 hPa
Gafilo	2004.	230 km/h	260 km/h	895 hPa
Hellen	2014.	230 km/h	240 km/h	915 hPa
Eunice	2015.	230 km/h	260 km/h	915 hPa
Hudah	2000.	220 km/h	230 km/h	905 hPa

Izvor: Meteo-France (URL 51)

Izvor\*: Joint Typhoon Warning Center (URL 30)

#### 4.5. Medicane - “tropski” ciklon umjerenih geografskih širina

Povremeno se nad Sredozemnim morem može formirati sustav koji svojim obilježjima podsjeća na tropski ciklon i taj se fenomen naziva *medicane* (Mediterranean hurricane; sredozemni uragan). Iako su dimenzije tropskih oceana i Sredozemnog mora različite, mehanizmi koji dovode do ovih poremećaja su slični.

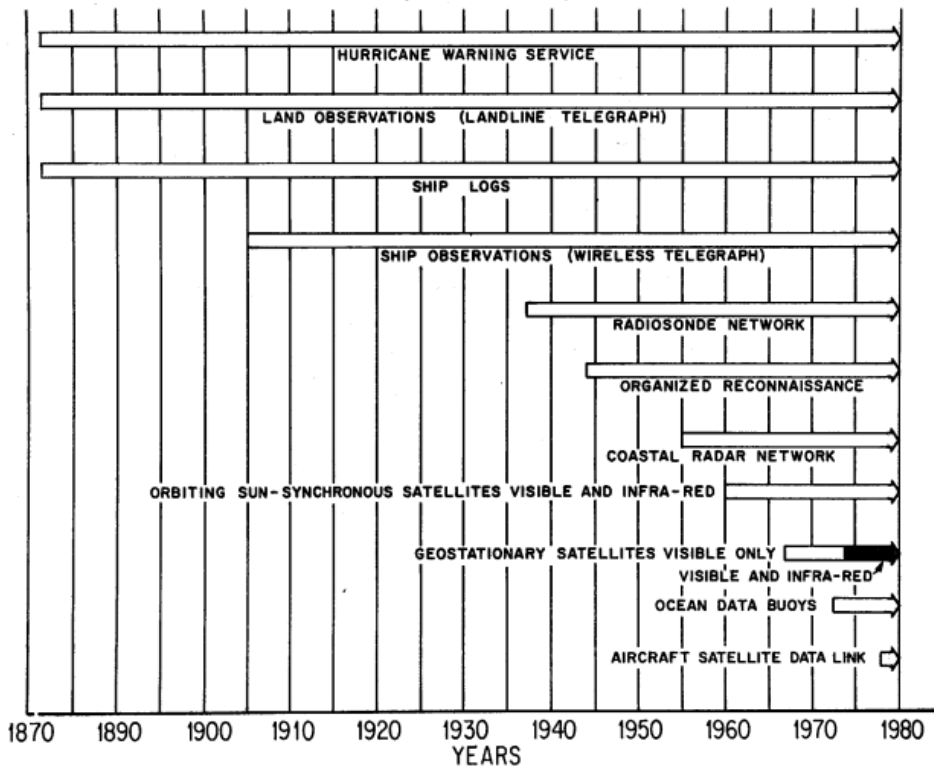
Iako postoje mnoge sličnosti s tropskim ciklonom, ova dva atmosferska poremećaja u mnogočemu se razlikuju, a prva razlika leži u promjeru. Promjer medicanea je maksimalno do 300 km, dok promjer tropskog ciklona može biti preko 1000 km.

Medicane se kreće u smjeru zapad – istok pod utjecajem mlazne struje, dok je tropski ciklon nošen istočnim vjetrom u smjeru istok – zapad. U stjenci oka, gdje su oba sustava najintenzivnija, tropski cikloni obično sadrže kumulonimbusne oblake, dok kod medicanea postoji mogućnost razvoja nimbostratusnih oblaka. Ipak, glavna razlika između ova dva atmosferska poremećaja leži u njihovoj snazi, koja je uvjetovana količinom vlage i temperaturom mora (Žilić, 2022).

## **5. UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA TROPSKE CIKLONE**

Uspoređivanje klimatskih podataka iz različitih vremenskih razdoblja predstavlja izazov zbog značajnih promjena u tehnologiji i metodama prikupljanja podataka kroz povijest. Tehnološki napredak, posebno u području meteoroloških instrumenata i satelitske tehnologije, dramatično je utjecao na način prikupljanja, analizu i interpretaciju klimatskih podataka (Slika 61). U prošlosti, klimatski podaci prikupljeni su pomoću jednostavnijih instrumenata poput termometara i barometara, često ručno na terenu. Takav način prikupljanja podataka može rezultirati većim varijacijama i nepreciznostima, posebno u usporedbi s modernim, automatskim meteorološkim postajama koje imaju bolju preciznost i točnost mjerenja. Upravo zbog ovih razlika u tehnologiji i metodama prikupljanja podataka, uspoređivanje klimatskih podataka iz različitih vremenskih razdoblja može biti izazovno. Moguće su nepreciznosti i diskontinuiteti u podacima, što može otežati donošenje zaključaka o dugoročnim klimatskim trendovima.

### TECHNICAL ADVANCES IN OBSERVING SYSTEMS (1871-1980)



Slika 61. Različiti načini prikupljanja podataka vezanih za tropske ciklone

Izvor: Neuman i dr. (1985.)

Australski zapisi o tropskim ciklonima datiraju iz kasnog 18. stoljeća. Međutim, njihova kvaliteta kao i opseg znatno variraju. Općenito je prihvaćeno da su zapisi o tropskim ciklonima u Australiji i južnoj hemisferi relativno potpuni nakon što su meteorološki sateliti počeli operativno djelovati krajem 1960-ih (Kuleshov, 2014). Posljednjih godina često se raspravlja o trendovima u pojavljivanju i intenzitetu tropskih ciklona, kao i o mogućim fizičkim mehanizmima promjene. Po pitanju klimatskih promjena u okviru tropskih ciklona često je citiran rad Webstera i suradnika (2005.) u kojem je zaključeno da se globalni broj vrlo intenzivnih tropskih ciklona (kategorije 4 i 5 po Saffir-Simpson skali) gotovo udvostručio tijekom proteklih nekoliko desetljeća. Istraživajući sjeveroatlantski bazen i bazen sjeverozapadnog Pacifika, do sličnih zaključaka došao je i Emanuel (2005.). No, također postoje brojni autori (Landsea i dr. 2006, Chan, 2006, Kossin i dr., 2007.) koji su odbacili njihove nalaze, uglavnom argumentirajući da su promjene u načinu prikupljanja podataka i analitičkim tehnikama toliko velike da su te promjene u intenzitetu prividne, a ne rezultat stvarnih trendova.

Razliku u načinima prikupljanja podataka izvrsno demonstrira istraživanje koje su proveli Hoarau i Chalonge (2010.). Do 1998. godine sateliti nisu mogli točno mjeriti intenzitet ciklona u sjevernom Indijskom oceanu zbog lošije rezolucije i problema s kutom gledanja. Stoga su Hoarau i Chalonge proveli reanalizu tropskih ciklona iz razdoblja od 1980. do 2008. godine, korištenjem podataka sa satelita visoke rezolucije. Ta reanaliza je prva koja je omogućila preciznu procjenu intenziteta ciklona u tom području. Reanaliza je bila potrebna kako bi se dobili točniji podaci o prošlim ciklonima, a njihov zaključak je bio takav da “rezultati pokazuju kako nema direktne poveznice između intenziteta ciklona i promjene temperature mora.” (Hoarau i Chalonge, 2010.: 6)

Kuleshov je istraživao promjene u učestalosti pojavljivanja tropskih ciklona na južnoj hemisferi, obuhvaćajući sve ciklogenezne bazene od 30° istočne geografske dužine pa do 120° zapadne geografske dužine. Analizirani su podatci prikupljeni tijekom 26 sezona od 1981.-82. do 2006.-07. te je utvrđeno da tijekom tog razdoblja nema značajnih promjena trendova u godišnjem broju tropskih ciklona (Kuleshov, 2014.).

Prema određenim modelima postoje indicije da bi se do kraja stoljeća učestalost pojavljivanja tropskih ciklona na području Arapskog mora i jugozapadnog Indijskog oceana mogla povećati, dok bi se istovremeno globalna učestalost tropskih ciklona smanjila za oko 24%, a glavni razlog ovih promjena bi mogla biti promjena u temperaturi površine mora i regionalne promjene u vertikalnom smicanju vjetra (Sugi, 2014.).

Utjecaj klimatskih promjena na tropske ciklone predmet je intenzivnih istraživanja i rasprava u znanstvenoj zajednici. Postoje razna mišljenja i često suprotstavljeni zaključci o tome kako globalno zagrijavanje utječe na učestalost, intenzitet i trajanje ovih ekstremnih vremenskih događaja. Neki znanstvenici tvrde da klimatske promjene dovode do povećanja intenziteta tropskih ciklona, s jačim vjetrovima i većim količinama oborina, kao rezultat viših temperatura površine mora koje pružaju više energije za razvoj oluja. S druge strane, postoje studije koje sugeriraju da, iako se intenzitet ciklona može povećati, njihova ukupna učestalost možda neće značajno porasti, ili bi čak mogla opasti zbog promjena u atmosferskim uvjetima koje nisu povoljne za formiranje ciklona. Različite analize često dolaze do različitih zaključaka zbog varijacija u metodologiji i kvaliteti podataka. S pojavom naprednih satelitskih sustava, mogućnost preciznog praćenja i analiziranja tih oluja značajno se poboljšala.



Međutim, uspoređivanje podataka iz različitih razdoblja ostaje izazovno zbog razlika u metodologijama prikupljanja podataka. Taj izazov naglašava potrebu za pažljivom interpretacijom povijesnih podataka i razumijevanjem ograničenja svake metode. Bez obzira na tehnološki napredak, uspoređivanje razdoblja koja koriste drastično različite metodologije prikupljanja podataka zahtijeva dodatne prilagodbe i korekcije kako bi rezultati bili što pouzdaniji.

## 6. ZAKLJUČAK

Geografska raspodjela tropskih ciklona je složena i dinamična i ima značajan utjecaj na globalnu klimu i društvo. Kroz ovaj rad istraženi su različiti aspekti formiranja, distribucije i utjecaja tropskih ciklona širom svijeta. Geografska raspodjela tropskih ciklona pokazuje raznovrsnost i kompleksnost tih meteoroloških fenomena. Regije poput tropskih dijelova Atlantskog oceana, Pacifika i Indijskog oceana imaju specifična obilježja koja podržavaju nastanak i razvoj tropskih ciklona, a koje su rezultat interakcije između lokalnih atmosferskih i oceanskih uvjeta. Područje s najvećom učestalošću ciklona neupitno je Tih ocean, posebno sjeverozapadni tihooceanski bazen. Ovaj bazen, koji uključuje Filipine, Tajvan i obalu Kine ima sve potrebne parametre za stvaranje tropskih ciklona. Vrlo topla površina mora u ovom dijelu oceana pruža potrebnu energiju za formiranje i jačanje ciklona. Prisutnost povoljnih atmosferskih uvjeta, uključujući slabo vertikalno smicanje vjetra omogućava ciklonima da se dalje razvijaju i održavaju. Sezonski monsumi i njihovo međudjelovanje s tropskim valovima dodatno povećavaju mogućnost formiranja olujnih sustava, a prostranost i otvorenost regije pruža mogućnost formiranim tropskim ciklonima da se razviju u izuzetno snažne sustave.

Morske struje također imaju važan utjecaj na distribuciju tropskih ciklona. Primjerice, topla Golfska struja omogućuje formiranje tropskih ciklona u višim geografskim širinama, proširujući njihov doseg do suprotropskih djelova sjevernog Atlantika. S druge strane, hladna Humboldtova struja uz obalu Južne Amerike sprječava nastanak tropskih ciklona na tom području zbog nižih temperatura površine mora koje nisu pogodne za razvoj ciklona.

Važno je napomenuti da najsmrtonosniji tropski cikloni nisu uvijek oni najintenzivniji. Smrtnost uzrokovana tropskim ciklonima često je povezana s infrastrukturom pogođene regije. Ciklon može izazvati veću smrtnost u područjima s lošijom infrastrukturom i slabijim sustavima upozorenja čak i ako nije najjači u smislu brzine vjetra ili količine padalina. Nasuprot tome, razvijenije regije s boljom infrastrukturom i sustavima za upravljanje katastrofama mogu bolje podnijeti i snažnije ciklone s manje gubitaka života. Upravo zbog navedenih razloga, najsmrtonosniji tropski cikloni su oni koji se formiraju u Indijskom oceanu i pogađaju obalu Indije, Pakistana i Bangladeša.

Razumijevanje tih regionalnih specifičnosti ključno je za predviđanje i upravljanje rizicima od tropskih ciklona u različitim dijelovima svijeta. Važno je istaknuti da je geografska raspodjela tropskih ciklona podložna promjenama. Jedan od glavnih izazova s kojima se znanstvenici suočavaju prilikom istraživanja tropskih ciklona je utjecaj klimatskih promjena. Iako postoji znatan napredak u razumijevanju ovog fenomena, nesigurnosti i suprotstavljena mišljenja unutar znanstvene zajednice ostaju. Budući da klimatske promjene mogu imati značajan utjecaj na učestalost, intenzitet i raspodjelu tropskih ciklona, važno je nastaviti istraživati ove procese kako bi se bolje razumio njihov potencijalni utjecaj u budućnosti.

## LITERATURA

1. Aiyyer, R. A., Thorncroft, C. (2006.): Climatology of Vertical Wind Shear over the Tropical Atlantic, *American Meteorological Society*, 19: 2969-2983
2. Anthes, A. R. (1982.): Tropical Cyclones: Their Evolution, Structure and Effects, *American Meteorological Society*, Boston
3. Barry, R. G., Carleton, A. M. (2002.): Synoptic and Dynamic Climatology, *Taylor & Francis*, 2002
4. Basher, R. E., Zheng, X. (1995.): Tropical cyclones in the southwest Pacific: spatial patterns and relationships to Southern Oscillation and sea surface temperature, *Journal of Climate*, 8: 1249-1260
5. Chan, J. C. L. (2010.): Global Warming and Tropical Cyclone Activity in the Western North Pacific, u: *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change*, ur. Y. Charabi, S. Al-Hatrushi, *Springer*, 37-47
6. Chan, J. C. L. (2000.): Tropical cyclone activity over the western North Pacific associated with El Nino and La Nina events, *Journal of Climate*, 13: 2960-2972
7. Chan, J. C. L. (1985.): Tropical Cyclone Activity in the Northwest Pacific in Relation to El Nino/Southern Oscillation Phenomenon, *Monthly Weather Review*, 113: 599-606
8. Chan, J. C. L. (2006.): Comment on "Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment", *Science*, 311: 1713
9. Chen, S. S., Knaff, A. J. i Marks F. D. (2006.): Effects of Vertical Wind Shear and Storm Motion on Tropical Cyclone Rainfall Asymmetries Deduced from TRMM, *Monthly Weather Review*, 134: 3190-3208
10. Damen, M, (2014.): Cyclone Hazard in Bangladesh, University of Twente
11. Dare, A. R., Davidson, N. E. (2004.): Characteristics of Tropical Cyclones in the Australian Region, *Monthly Weather Review*, 132: 3049-3065
12. Elsner, J. B., Kara-Birol, A. (1999): Hurricanes of the North Atlantic, Oxford University Press, New York
13. Emanuel, K. A. (2005.): Increasing Destructiveness of Tropical Cyclones Over the Past 30 Years, *Nature*, 436: 686-688
14. Gelo, B. (2010.): Opća i pomorska meteorologija, Sveučilište u Zadru
15. Gray, W. M. (1984.): Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30mb quasi-biennial oscillation influences, *Monthly Weather Review*, 112: 1649-1648

16. Gray, W. M. (1981.): Recent advances in tropical cyclone research from rawinsonde composite analysis, *World Meteorological Organization*, Geneva
17. Hoarau, K., Chalonge, L. (2010.): A Climatology of Intense Tropical Cyclones in the Northern Indian Ocean Over the Past Three Decades (1980-2010), u: *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change*, ur. Y. Charabi, S. Al-Hatrushi, *Springer*, 3-9
18. Huschke, R. E. (1959.): Glossary of Meteorology, *American Meteorological Society*
19. Jaffres, J. B. D., Cuff, C., Rasmussen, C. i Hesson, A. (2018.): Teleconnection of atmospheric and oceanic climate anomalies with Australian weather patterns: a review of data availability, *Earth-Science Review*, 176: 117-146
20. Kossin, J. P., Knapp, K. R., Vimont, D., Murnane, R. J. i Harper, B. (2007): A globally consistent reanalysis of hurricane variability and trends, *Geophysical Research Letters*, 34
21. Kuleshov, Y. (2014.): "Climate Change and Southern Hemisphere Tropical Cyclones" International Initiative - Progress since the First International Conference on Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change, u: *Monitoring and Prediction of Tropical Cyclones in the Indian Ocean and Climate Change*, ur. U. C. Mohanty, M. Mohapatra, O. P. Singh, B. K. Bandyopadhyay i L. S. Rathore, 18-33
22. Landsea, C. W. i dr. (2006.): Can we detect trends in extreme tropical cyclones, *Science*, 313: 452-454
23. Longshore, D. (2008.): Encyclopedia of Hurricanes, Typhoons and Cyclones, *Facts on File*, New York
24. Manhique, A. J. (2021.): Seasonal to Interannual Variability of Vertical Wind Shear and its Relationship with Tropical Cyclogenesis in the Mozambique Channel, *Atmosphere*, 739-754
25. Neuman, C. J. i dr. (1985.): Tropical Cyclones of the North Atlantic Ocean 1871-1980, *U.S. Government Printing Office*, Washington D.C
26. Palmen, E. (1948.): On the Formation and Structure of Tropical Hurricanes, *Geophysica*, 3: 26-38
27. Ren, F., Wu, G., Wang, X. i Wang, Y. (2010.): Changes in Tropical Cyclone Precipitation over China, u: *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change*, ur. Y. Charabi, S. Al-Hatrushi, *Springer*, 25-28

28. Revell, C. G. i Goulter, S. W. (1986.): South Pacific tropical cyclones and the Southern Oscillation, *Monthly Weather Review*, 114: 1138-1145
29. Romer-Vadillo, E., Morales, R. i Zaytsev, O. (2007.): Tropical Cyclone Statistics in the Northeastern Pacific, *Atmosfera*, 20: 197-213
30. Sarachik, E. i Cane, M. (2010.): The El Nino-Southern Oscillation Phenomenon, *Cambridge University Press*
31. Selak, N. (2019.): Tropski cikloni i uragani, završni rad, Sveučilište u Splitu
32. Sharkov, E. (2012.): Global Tropical Cyclogenesis, *Springer*
33. Singh, O. P. (2010.): Recent Trends in Tropical Cyclone Activity in the North Indian Ocean, u: *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change*, ur. Y. Charabi, S. Al-Hatrushi, *Springer*, 51-54
34. Singh, O. P., Khan T. M. A., i Rahman M. S. (2000.): Changes in the frequency of tropical cyclones over the North Indian Ocean, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 75: 11-20
35. Smith, R. K. i Montgomery, M. T. (2023.): Developments in Weather and Climate Science: Tropical Cyclones Observations and Basic Processes, *Elsevier*
36. Southern, R. L., (1979.): The global socio-economic impact of tropical cyclones, *Australian Meteorological Magazin*, 27: 175-195
37. Sugi, M., Murakami H. i Yoshimura, J. (2014.): Mechanism of the Indian Ocean Tropical Cyclone Frequency Changes due to Global Warming, u: *Monitoring and Prediction of Tropical Cyclones in the Indian Ocean and Climate Change*, ur. U. C. Mohanty, M. Mohapatra, O. P. Singh, B. K. Bandyopadhyay i L. S. Rathore, 40-49
38. Terry, J. P. (2007.): Tropical Cyclones Climatology and Impacts in the South Pacific, *Springer*
39. Tyagi, A. i dr. (2010.): The First Ever Super Cyclonic Storm “GONU” over the Arabian Sea During 1-7 June 2007: A Case Study, u: *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change*, ur. Y. Charabi, S. Al-Hatrushi, *Springer*, 305-313
40. Webster, P. J. i dr. (2005.): Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment, *Science*, 309: 1844-1866
41. Weninger, B. i dr. (2014): Neolithisation of the Aegean and Southeast Europe during the 6600-6000 cal BC period of Rapid Climate Change, *Documenta Praehistorica*, 41: 1-31

42. Zehr, R. M., (1992.): Tropical Cyclogenesis in the Western North Pacific, *NOAA Technical Report NESDIS 61*, Washington,
43. Žilić, D. (2022.): Mediteranski uragani i njihov utjecaj na vrijeme u Hrvatskoj, diplomski rad, Sveučilište u Zadru

## **IZVORI**

- URL 1: <https://www.aoml.noaa.gov/hrd-faq/#what-is-a-hurricane> (preuzeto 28. travnja)
- URL 2: <https://www.nhc.noaa.gov/climo/> (preuzeto 28. travnja)
- URL 3: <https://wmo.int/content/classification-of-tropical-cyclones> (preuzeto 28. travnja)
- URL 4: <https://www.aoml.noaa.gov/hrd-faq/> (preuzeto 28. travnja)
- URL 5: <https://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php> (preuzeto 29. travnja)
- URL 6: <https://wmo.int/topics/tropical-cyclone> (preuzeto 29. travnja)
- URL 7: <https://wmo.asu.edu/content/world-highest-mortality-tropical-cyclone> (preuzeto 29. travnja)
- URL 8: <https://trove.nla.gov.au/newspaper/article/67291377> (preuzeto 30. travnja)
- URL 9: <https://reliefweb.int/report/myanmar/number-dead-and-missing-myanmar-cyclone-raised-138000> (preuzeto 2. svibnja)
- URL 10: <https://web.archive.org/web/20200813232009/https://www.usno.navy.mil/NOOC/nmfc-ph/RSS/jtwc/atcr/1991atcr.pdf> (preuzeto 2. svibnja)
- URL 11: [http://app.earth-observer.org/data/basemaps/images/global/ModernSST\\_512/ModernSST\\_512.html](http://app.earth-observer.org/data/basemaps/images/global/ModernSST_512/ModernSST_512.html) (preuzeto 2. svibnja)
- URL 12: <https://www.aoml.noaa.gov/hrd-faq/#tc-formation> (preuzeto 2. svibnja)
- URL 13: <https://www.noaa.gov/jetstream/upper-air-charts/constant-pressure-charts-500-mb/absolute-vorticity> (preuzeto 2. svibnja)
- URL 14: <https://www.noaa.gov/jetstream/tropical/tropical-cyclone-introduction> (preuzeto 3. svibnja)
- URL 15: <https://www.noaa.gov/jetstream/tropical/tropical-cyclone-introduction/tropical-cyclone-structure> (preuzeto 3. svibnja)

URL 16:

<https://web.archive.org/web/20070916205204/http://www.nrlmry.navy.mil/~chu/chap6/se200.htm> (preuzeto 3. svibnja)

URL 17: <https://wmo.asu.edu/content/tropical-cyclone-most-intense-tropical-cyclone-maximum-sustained-surface-wind> (preuzeto 3. svibnja)

URL 18: <https://wmo.asu.edu/content/world-maximum-surface-wind-gust-TC> (preuzeto 3. svibnja)

URL 19: <https://www.aoml.noaa.gov/hrd-faq/#tc-rightsides-winds> (preuzeto 3. svibnja)

URL 20: <https://www.aoml.noaa.gov/hrd-faq/#florida-tc-tornado-outbreaks> (preuzeto 3. svibnja)

URL 21: <https://wmo.asu.edu/content/tropical-cyclone-largest-storm-surge-associated-tropical-cyclone> (preuzeto 4. svibnja)

URL 22: <https://www.nhc.noaa.gov/surge/> (preuzeto 5. svibnja)

URL 23: <https://wmo.asu.edu/world-meteorological-organization-global-weather-climate-extremes-archive> (preuzeto 5. svibnja)

URL 24: <https://www.aoml.noaa.gov/phod/cyclone/seven.php> (preuzeto 5. svibnja)

URL 25: <https://wmo.int/content/tropical-cyclone-climatology> (preuzeto 5. svibnja)

URL 26: <https://www.noaa.gov/jetstream/tropical/convergence-zone> (preuzeto 5. svibnja)

URL 27: <https://www.noaa.gov/jetstream/tropical/enso/enso-patterns> (preuzeto 6. svibnja)

URL 28:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical\\_cyclone\\_basins#/media/File:South\\_Pacific\\_cyclone\\_tracks\\_1980-2005.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_cyclone_basins#/media/File:South_Pacific_cyclone_tracks_1980-2005.jpg) (preuzeto 6. svibnja)

URL 29: <https://www.met.gov.fj/> (preuzeto 7. svibnja)

URL 30: <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/jtwc.html?best-tracks> (preuzeto 7. svibnja)

URL 31:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical\\_cyclone\\_basins#/media/File:Pacific\\_typhoon\\_tracks\\_1980-2005.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_cyclone_basins#/media/File:Pacific_typhoon_tracks_1980-2005.jpg) (preuzeto 8. svibnja)

URL 32: <https://www.aoml.noaa.gov/hrd-faq/#when-is-hurricane-season> (preuzeto 9. svibnja)



URL 33: <https://wmo.asu.edu/content/world-and-eastern-hemisphere-tropical-cyclone-most-intense-tropical-cyclone-central-pressure> (preuzeto 6. svibnja)

URL 34: <https://wmo.asu.edu/content/tropical-cyclone-largest-tropical-cyclone-winds-center> (preuzeto 9. svibnja)

URL 35: <https://www.britannica.com/event/Super-Typhoon-Haiyan> (preuzeto 7. svibnja)

URL 36:  
<https://coast.noaa.gov/hurricanes/#map=2.54/14.48/134.43&search=eyJzZWFyY2hTdHJpbmciOiJXZXN0IFBhY2lmaWMgT2NIYW4gQmFzaW4iLCJzZWFyY2hUeXB1IjojYmFzaW4iLCJjYXRIZ29yaWVzIjpbIkg1IiwiSDQiLCJIMyIsIkgyIiwiSDEiLCJU UyJdLCJ5ZWYyIyMDEzIl0sIm1vbnRocyI6W10sImVuc28iOltlcjwcmVzc3VyZSI6eyJyYW5nZSI6WzAsOTkwXSwiaW5jbHVkZVVua25vd25QcmVzc3VyZSI6ZmFsc2V9LCJzZWxlY3RIZFN0b3JtSUQiOiIyMDEzIjA2TjA3MTYyIiwiYnVmZmVyVW5pdCI6WjYnaWxlcjJzZ3J0U2VsZW50aW9uIjp7InZhbHVlIjoieWV hcnNfbmV3ZXN0IiwibGFiZWwiOiJZZWFyIChOZXdlc3QpIn0sImFwcGx5VG9BT 0kiOmZhbHNILCJpc1N0b3JtTGFwZXI6WzVmlzaWJsZSI6dHJ1ZX0=> (preuzeto 9. svibnja)

URL 37: <https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/besttrack.html> (preuzeto (10. svibnja)

URL 38: <https://www.britannica.com/science/climate-meteorology/Wind> (preuzeto 10. svibnja)

URL 39:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical\\_cyclone\\_basins#/media/File:Pacific\\_hurricane\\_tracks\\_1980-2005.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_cyclone_basins#/media/File:Pacific_hurricane_tracks_1980-2005.jpg) (preuzeto 12. svibnja)

URL 40: <https://www.nhc.noaa.gov/climo/#bac> (preuzeto 12. svibnja)

URL 41: <https://www.nhc.noaa.gov/data/hurdat/hurdat2-nepac-1949-2022-050423.txt> (preuzeto 12. svibnja)

URL 42:  
[https://severeweather.wmo.int/TCFW/RAIV\\_Workshop2016/04\\_TropicalWaves\\_JohnCangialosi.pdf](https://severeweather.wmo.int/TCFW/RAIV_Workshop2016/04_TropicalWaves_JohnCangialosi.pdf) (preuzeto 13. svibnja)

URL 43: <https://www.trackthetropics.com/hurricane-season-statistics/> (preuzeto 13. svibnja)

URL 44:

[https://severeweather.wmo.int/TCFW/NewDelhi\\_Training2022/1\\_Climatology-of-TC-over-NIO-4th-April2022.pdf](https://severeweather.wmo.int/TCFW/NewDelhi_Training2022/1_Climatology-of-TC-over-NIO-4th-April2022.pdf) (preuzeto 14. svibnja)

URL 45: <https://mausam.imd.gov.in/> (preuzeto 14. svibnja)

URL 46:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical\\_cyclone\\_basins#/media/File:Southeast\\_Indian\\_Ocean\\_cyclone\\_tracks\\_1980-2005.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_cyclone_basins#/media/File:Southeast_Indian_Ocean_cyclone_tracks_1980-2005.jpg) (preuzeto 15. svibnja)

URL 47: <http://www.bom.gov.au/climate/iod/#tabs=Indian-Ocean-climate-drivers> (preuzeto 15. svibnja)

URL 48: <http://www.bom.gov.au/cyclone/tropical-cyclone-knowledge-centre/databases/> (preuzeto 16. svibnja)

URL 49:

[https://severeweather.wmo.int/TCFW/RAI\\_Training2015/1\\_SWIO\\_cyclone\\_basin\\_Sebastien\\_Langlade.pdf](https://severeweather.wmo.int/TCFW/RAI_Training2015/1_SWIO_cyclone_basin_Sebastien_Langlade.pdf) (preuzeto 17. svibnja)

URL 50:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical\\_cyclone\\_basins#/media/File:Southwest\\_Indian\\_Ocean\\_cyclone\\_tracks\\_1980-2005.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_cyclone_basins#/media/File:Southwest_Indian_Ocean_cyclone_tracks_1980-2005.jpg) (preuzeto 17. svibnja)

URL 51: <https://meteofrance.com/> (preuzeto 18. svibnja)

## SAŽETAK

Tropski cikloni se redovito formiraju iznad prostranih i toplih oceanskih površina. Ta područja pružaju idealne uvjete za razvoj tropskih ciklona, uključujući visoke temperature površine mora, visoku vlažnost zraka i povoljne atmosferske uvjete poput slabog vertikalnog smicanja vjetra. Suprotno tome, tropski cikloni se rijetko formiraju u južnom Atlantiku zahvaljujući prosječno snažnijem vertikalnom smicanju vjetra i uz obale Južne Amerike zbog prisutnosti hladne Humboldtove morske struje, koje snižavaju temperature površinskih voda ispod potrebnih vrijednosti za razvoj ciklona. Najučestaliji i najintenzivniji tropski cikloni su oni tihooceanskog bazena dok su najmanje intenzivni cikloni koji se formiraju u Indijskom oceanu. Važni modifikatori učestalosti i distribucije tropskih ciklona na višegodišnjoj razini su ENSO fenomen koji ima globalni utjecaj i SIOD čije se djelovanje vidi primarno na prostoru Indijskog oceana. Klimatske promjene mogu dodatno utjecati na učestalost, intenzitet i distribuciju tropskih ciklona, potencijalno mijenjajući obrasce njihovog formiranja. Rezultati istraživanja naglašavaju važnost razumijevanja regionalnih specifičnosti za učinkovito predviđanje i upravljanje rizicima od tropskih ciklona. Geografska raspodjela tropskih ciklona je podložna promjenama zbog klimatskih promjena što zahtijeva kontinuirana istraživanja kako bi se bolje razumio njihov utjecaj na buduću učestalost, intenzitet i distribuciju.

## **SUMMARY**

Tropical cyclones regularly form over vast and warm ocean surfaces. These areas provide ideal conditions for the development of tropical cyclones, including high sea surface temperatures, high humidity, and favorable atmospheric conditions such as low vertical wind shear. In contrast, tropical cyclones rarely form in the South Atlantic due to generally stronger vertical wind shear and along the coasts of South America due to the presence of the cold Humboldt Current, which lowers sea surface temperatures below the values needed for cyclone development. The most frequent and intense tropical cyclones are those of the Pacific basin, while the least intense cyclones form in the Indian Ocean. Important modifiers of the frequency and distribution of tropical cyclones on a multi-year level are the ENSO phenomenon, which has a global impact, and the SIOD, whose effects are primarily seen in the Indian Ocean region. Climate change can further impact the frequency, intensity, and distribution of tropical cyclones, potentially altering their formation patterns. Research findings highlight the importance of understanding regional specificities for effective prediction and management of tropical cyclone risks. The geographical distribution of tropical cyclones is subject to changes due to climate change, necessitating continuous research to better understand their impact on future frequency, intensity, and distribution.