



FILOZOFSKI FAKULTET

ANĐELA GRGUROVIĆ

**UTICAJ EL NINJO JUŽNE OSCILACIJE NA KOLEBANJE
GLOBALNE TEMPERATURE**

MASTER RAD

NIKŠIĆ, 2024.



FILOZOFSKI FAKULTET

Studijski program: Geografija

**UTICAJ EL NINJO JUŽNE OSCILACIJE NA KOLEBANJE
GLOBALNE TEMPERATURE**

MASTER RAD

Mentor:

Prof. dr Dragan Burić

Kandidat, br indeksa:

Anđela Grgurović, 4/21

Nikšić, 2024.

PODACI I INFORMACIJE O STUDENTU:

Ime i prezime: Anđela Grgurović

Datum i mjesto rođenja: 21. 11. 1999, Podgorica

Naziv završenog osnovnog studijskog programa i godina završetka studija: Geografija, 2021.

INFORMACIJE O MASTER RADU:

Naziv master studija: Geografija

Naslov rada: Uticaj El Ninjo Južne Oscilacije na kolebanje globalne temperature

Fakultet na kojem je rad odbranjen: Filozofski fakultet – Nikšić, Univerzitet Crne Gore

UDK, OCJENA I ODBRANA MASTER RADA:

Datum sjednice Vijeća na kojoj je prihvaćena tema: 04. 04. 2023. god.

Datum sjednice Odbora za monitoring master studija na kojoj je dato mišljenje za prijavu master rada: 02. 06. 2023. god.

Mentor: Prof. dr Dragan Burić

Komisija za ocjenu/odbranu rada:

1. Prof. dr Dragan Burić, mentor
2. Prof. dr Miroslav Doderović
3. Doc. dr Dragoslav Banjak

Lektor: MA Maša Đurović

Datum odbrane master rada:

ETIČKA IZJAVA

(u skladu sa članom 22. Zakona o akademskom integritetu i članom 18. Pravila studiranja na master studijama)

Potpisana: Anđela Grgurović

Broj indeksa: 4/21

Izjavljujem

pod krivičnom i materijalnom odgovornošću da je master rad pod naslovom:

„Uticaj El Ninjo Južne Oscilacije na kolebanje globalne temperature“

moje originalno djelo.

U Nikšiću,

Svojeručni potpis

PREDGOVOR

U fokusu ovog master rada je Uticaj El Ninjo Južne oscilacije na kolebanje globalne temperature. Uticaj ovog fenomena, El Ninja, osjeća se širom svijeta.

Ovaj master rad pokazuje kako El Ninjo utiče na globalnu klimu u periodu od 1901. do 2024. godine, opisuje proces nastanka samog fenomena, osobine atmosfere i okeana za vrijeme trajanja istog kao i promjene temperature i padavina.

U ovom master radu analiziran je uticaj El Ninjo Južne Oscilacije (ENSO) na kolebanje globalne temperature kroz detaljnu analizu varijabilnosti temperature i ENSO fenomena pomoću indikatora NINO3.4. Za potrebe rada primijenjene su metode analize trenda, standardizovanih odstupanja, pokretnih 10-godišnjih vrijednosti, diferencija i korelacije na mjesečnom, sezonskom i godišnjem nivou za period od 124 godine (1901–2024).

SAŽETAK RADA

Master rad ima za cilj da utvrdi kakav uticaj ima fenomen El Ninjo na kolebanje globalne temperature.

El Ninjo predstavlja dio prirodnog ciklusa poznatijeg kao ENSO (El Nino–Southern Oscillation), koji pod ovim pojmom podrazumijeva promjene u temperaturi površinskih voda u centralnom i istočnom dijelu Tihog okeana.

Ovaj master rad analizirao je uticaj El Ninjo Južne Oscilacije (ENSO) na kolebanje globalne temperature kroz detaljnu analizu varijabilnosti temperature i ENSO fenomena pomoću indikatora NINO3.4. Primijenjene su metode analize trenda, standardizovanih odstupanja, pokretnih 10-godišnjih vrijednosti, diferencija i korelacije na mjesečnom, sezonskom i godišnjem nivou za period od 124 godine (1901–2024).

Rezultati pokazuju značajan porast globalne temperature tokom 20. i 21. vijeka, posebno od sredine 1970-ih. Godina 2024. bila je najtoplija u posmatranom periodu, sa odstupanjem od $+1,19^{\circ}\text{C}$ u odnosu na klimatsku normalu (1961–1990). Globalna srednja temperatura u ovom periodu prešla je 15°C .

Analizom podperioda identifikovana su tri izrazita trenda: rast temperature do 1940-ih, stabilnost do 1970-ih i intenzivan rast do 2024. godine. Mjesečne i sezonske analize pokazale su najintenzivnije zagrijavanje u martu, oktobru i novembru u posljednjem podperiodu (2001–2024).

Što se tiče ENSO fenomena, utvrđeno je da su El Ninjo događaji češći i intenzivniji od La Ninja faza. Korelaciona analiza ukazala je na statistički značajnu povezanost između kolebanja ENSO fenomena i globalne temperature, osim u pojedinim mjesecima i jesenjoj sezoni. Pozitivna faza ENSO dovodi do viših, a negativna do nižih temperatura, što potvrđuje njegov globalni uticaj.

Ovaj rad ističe značaj kombinovanog uticaja antropogenih faktora i prirodnih klimatskih oscilacija na globalno zagrijavanje. Preporučuje se da buduća istraživanja obuhvate i druge geografske i prirodne faktore kako bi se stekao potpuniji uvid u dinamiku klimatskog sistema.

Ključne riječi: El Ninjo, La Ninja, ENSO, globalna temperatura, globalno zagrijavanje

ABSTRACT

The master's thesis aims to examine the impact of the El Niño phenomenon on global temperature fluctuations. El Nino is part of the natural cycle known as ENSO (El Nino-Southern Oscillation) which under this term refers to changes in the surface waters temperatures in the central and eastern Pacific Ocean. The thesis analyzed the impact of El Nio South Oscillation on global temperature fluctuation through a detailed examination of temperature variability and ENSO phenomena using the NINO3.4 indicator. The methods used include trend analysis, standardized deviations, 10-year moving averages, differences, and monthly, seasonal, and annual correlations over a 124-year period (1901-2024). The results show a significant increase in global temperature during the 20th and 21st centuries, especially since the mid-1970s. The year 2024 was the warmest in the observed period, with +1,19°C deviations compared to the climatic norm (1961-1990). The global average temperature in this period was over 15°C. The analysis of sub-periods identified three strong tendencies: a temperature rise until the 1940s, stability until the 1970s, and an intensive increase until 2024. Monthly and seasonal analyses showed that the most intensive warming occurred in March, October, and November during the last sub-period (2001–2024). Regarding the ENSO phenomenon, it was revealed that El Nino events are more frequent and intense than La Nina phases. Correlation analysis indicated a statistically significant relationship between ENSO fluctuations and global temperature, except during certain months and the autumn season. The positive ENSO phase leads to higher temperatures, while the negative phase results in lower temperatures, confirming its global impact. The thesis points out the importance of impact that both anthropogenic factors and natural climate oscillations have on global warming. It is recommended that future research include other geographic and natural factors as well to come to the more comprehensive insight into the climate system's dynamics.

Keywords: El Nino, La Nina, ENSO, global temperature, global warming

SADRŽAJ

1. UVOD	12
1.1. Hipoteze istraživanja	13
1.2. Predmet istraživanja	14
1.3. Motiv i cilj istraživanja	14
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	15
3. METEOROLOŠKI FENOMEN EL NINJO JUŽNA OSCILACIJA (ENSO)	17
3.1. El Ninjo fenomen	17
3.2. Proces nastanka El Ninja	19
3.2.1. Reakcija okeana i atmosfere na El Ninjo uslove	21
3.3. El Ninjo i globalna klima	23
3.3.1. Uticaj El Ninja na globalnu temperaturu	23
3.3.2. Uticaj El Ninja na padavine	24
3.4. Osobine okeana i atmosfere za vrijeme El Ninja	25
3.5. Istorija El Ninja/El Ninjo u prošlosti i kroz vrijeme	28
3.6. Promjena ENSO faza	32
3.7. Uticaj El Ninja na morske i kopnene ekosisteme	37
4. BAZA PODATAKA I METODI ISTRAŽIVANJA	39
5. REZULTATI I DISKUSIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA	43
5.1. Globalna temperatura vazduha	43
5.1.1. Anomalije srednjih mjesečnih globalnih temperatura za period 1901-2024...43	
5.1.2. Anomalije srednjih sezonskih globalnih temperatura za period 1901-2024. ..47	
5.1.3. Anomalije srednjih godišnjih globalnih temperatura za period 1901-2024. ...48	
5.1.4. Diferencija prosječnih globalnih temperatura za 20-godišnje subperiodu u odnosu na bazni period 1961-1990..... 51	
5.2. Varijacije ENSO fenomena	53
5.2.1. Prosječna površinska temperatura vode u ekvatorijalnom dijelu Pacifika (region NINO3.4)	53
5.2.2. Klasifikacija ENSO događaja (tople i hladne faze) u periodu 1901-2024..... 55	
5.3. Trend globalne temperature	59
5.4. Trend meteorološkog fenomena ENSO	61
5.5. Korelacija globalne temperature sa ENSO fenomenom	63
5.5.1. Povezanost mjesečnih vrijednosti globalne temperature i ENSO događaja..... 63	
5.5.2. Korelacija između sezonskih i godišnjih vrijednosti globalne temperature i pokazatelja varijabilnosti ENSO događaja	65
6. ZAKLJUČAK	67
LITERATURA.....	70

SPISAK SLIKA

Slika 1 *Poplave u Meksiku februar,2010. Izvor:*

<https://www.google.com/amp/s/phys.org/news/2010-03-el-nino-phenomenon-die-mid-year.amp> 25

Slika 2 *Promatranja El Nina od 1997. do 1998. s vještačkog satelita TOPEX/Poseidon. Bijela područja pokazuju veliku količinu tople vode na dijelu Tihog okeana zapadno od obala Čilea i Perua. Izvor: Vikipedija*31

Slika 3 *El Ninjo i La Ninja, izvor: <https://www.climate.gov/enso>* 32

Slika 4 *Prikaz El Ninjo (crveno) i La Ninja (plavo) događaja prema 2ONI indeksu 1950.-2020. Izvor: NOAA (2021)*..... 36

Slika 5 *ENSO regioni u kojima se mjeri površinska temperatura vode u ekvatorijalnom dijelu Tihog okeana (<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/sst>)*..... 40

Slika 6 *Anomalije srednjih temperatuta za period 1901-2024. za januar-april u odnosu na klimatsku normalu (1961-1990)*..... 44

Slika 7 *Anomalije srednjih temperatuta za period 1901-2024. za maj-avgust u odnosu na klimatsku normalu (1961-1990)*..... 45

Slika 8 *Anomalije srednjih temperatuta za period 1901-2024. za septembar-decembar u odnosu na klimatsku normalu (1961-1990*) 46

Slika 9 *Anomalije srednjih sezonskih temperatuta za period 1901-2024. u odnosu na klimatsku normalu (1961-1990)*..... 47-48

Slika 10 *Anomalije srednjih godišnjih temperatuta za period 1901-2024. u odnosu na klimatsku normalu (1961-1990)*..... 49

Slika 11 *Klasifikacija srednje godišnje globalne temperature izrežane preko standardizovanih devijacija za period 19001-2024. Godine*..... 51

Slika 12 *Prosječne sezonske i godišnje temperature površine vode u ekvatorijalnom dijelu Pacifika (region NINO3.4) za period 1901-2024*..... 54

Slika 13 *Klasifikacija mjesečnih ENSO događaja za period 1901-2024*..... 55-56

Slika 14 *Klasifikacija sezonskih ENSO događaja za period 1901-2024*..... 58

Slika 15 *Klasifikacija godišnjih ENSO događaja za period 1901-2024*..... 59

Slika 16 *Trend srednje godišnje temperature na planeti po pojasevima u periodu 1901-2021. i 1951-2021., prema podacima NASA-GISS mreže (Burić & Penjišević, 2023)*

..... 61

Slika 17 *Koeficijenti korelacije (c) između mjesečnih vrijednosti anomalija globalne temperature i NINO3.4 za period 1901-2024..... 64-65*

Slika 18 *Koeficijenti korelacije (c) između sezonskih i godišnjih vrijednosti anomalija globalne temperature i NINO3.4 za period 1901-2024..... 66*

SPISAK TABELA

Tabela 1 Izvori podata, jedinica mjere i analizirani period za globalnu temperaturu sa HadCRUT-5 mreže i ENSO fenomen	41
Tabela 2 Klasifikacija globane temperature i NINO3.4 prema standardnoj devijaciji (SD)	42
Tabela 3 Diferencije ($^{\circ}\text{C}$) srednjih mjesečnih globalnih temperatura za 20-godišnje subperiode u odnosu na klimatsku normalu perioda 1961-1990.....	52
Tabela 4 Diferencije ($^{\circ}\text{C}$) srednjih sezonskih i godišnjih globalnih.....	53
Tabela 5 Prosječna temperatura ($^{\circ}\text{C}$) površine vode u ekvatorijalnom dijelu Pacifika (region NINO3.4)za period 1901-2024.	53
Tabela 6 Trend srednje mjesečne, sezonske i godišnje globalne temperature za period 1901-2024.	60
Tabela 7 Trend srednje mjesečne, sezonske i godišnje površinske temperature vode ($^{\circ}\text{C}/\text{dekadi}$) u regionu NINO3.4 za period 1901-2024. i 1951-2024.....	62

1. UVOD

U posljednjem periodu, u raznim sferama života, kako u nauci tako i u mnogim drugim sve više se naglašava tema vezana za pojam svjetskog fenomena poznatog pod nazivom El Ninjo. Tokom prethodnih 5-6 decenija primjetan je porast globalne temperature. Ova pojava je poznata kao globalno zagrijavanje, uglavnom se smatra da se radi o promjenama u klimatskom sistemu nastalih kao kao posledica pojačane emisije gasova staklene bašte, prije svega ugljen-dioksida (CO₂) antropogenog porijekla. Nauka odavno poznaje prirodni fenomen El Ninjo i njegov uticaj na klimu tropskog Pacifika.

Novija istraživanja ukazuju da El Ninjo ima širi, globalni uticaj na vrijeme i klimu. Fenomen El Ninjo se odnosi na porast površinske temperature vode u ekvatorijalnom pojasu Tihog okeana, tačnije uz obalu Perua. Kako prizemni vazduh osnovne karakteristike dobija od podloge, za vrijeme El Ninja raste površinska temperatura vazduha, a to dalje uslovljava i promjene u vazдушnom pritisku i u vezi s tim varijaciju cirkulacije atmosfere, poznatu kao Južna oscilacija. Drugim riječima, poremećaj u okenu (porast temperature vode), izaziva i poremećaj u atmosferi (promjenu kretanja vazдушnih masa), pa se ovaj fenomen zajednički naziva El Ninjo Južna Oscilacija ili skraćeno ENSO događaj (El Nino–Southern Oscillation).

Ovaj master rad će se upravo baviti uticajem ENSO fenomena na globalnu temperturu, i to za prethodnih 120 godina (1901-2020).

Ovaj master rad podijeljen je na šest poglavlja. U prvom poglavlju, odnosno poglavlje koje označava uvod, sadržaće hipoteze, predmet, motiv i cilj istraživanja. Pregled dosadašnjih istraživanja daće osvrt na objavljene rezultate vezane za globalnu temperaturu i ENSO fenomen. Meteorološki fenomen El Ninjo Južna Oscilacija (ENSO) detaljnije će se objasniti u trećem poglavlju. U četvrtom poglavlju (Baza podataka i metodologija istraživanja) daće se informacije o korišćenim podacima i metodama. Podaci za temperaturu i ENSO biće preuzeti sa globalnih mreža (HadCRUT5 i NINO3.4 indeks), koje koriste relevantne međunarodne organizacije, kao što su Svjetska

meteorološka organizacija i Međuvladin panel za klimatske promjene. Za potrebe rada analiziraće se period od 120 godina (1901-2020). Glavni sadržaj master rada biće saopšten u dijelu Rezultati istraživanja, koje će biti podijeljeno u četiri potpoglavlja: Promjene godišnje globalne temperature, Promjene sezonskih vrijednosti globalne temperature, Varijacije ENSO fenomena i Uticaj ENSO na globalnu temperaturu. Diskusija o dobijenim rezultatima i zaključak biće predloženi u šestom poglavlju. I na kraju u posljednjem dijelu će se dati spisak korišćene literature.

1.1. Hipoteze istraživanja

Međugodišnja kolebanja klimatskih elemenata su uobičajena pojava. U drugoj polovini 20. i u dosadašnjem dijelu 21. vijeka globalna temperatura je porasla, i to je opšte poznata činjenica. Vrlo vjerovatno da postoji trend porasta globalne temperature i tokom cijelog analiziranog 120- godišnjeg perioda. Radna pretpostavka je da u posmatranom periodu (1901-2020) postoji porast globalne temperature i da su međugodišnja kolebanja povećana. Da li je zaista prisutno značajno povećanje globalne temperature i njeno kolebanje tokom prethodnih 120 godina, pokazaće određene statističke metode.

ENSO fenomen se dešava u ciklusima od 3 do 7 godina, a pomenuto je da je prosječna perioda oko 4 godine. Istraživanja pokazuju da ENSO ima uticaja na vrijeme i klimu u tropskom dijelu Tihog okeana (Burić i dr., 2011). Radna hipoteza je da se povećala varijabilnost ENSO fenomena i da je to imalo uticaja i na trend komponentu. Da li je zaista došlo do značajnih promjena ENSO, pokazaće rezultati master rada.

Glavni cilj master rada je da ispita uticaj ENSO na globalnu temperaturu. Da bi se realizovao postavljeni cilj, poželjno je utvrditi prvo promjene globalne temperature i ENSO. Pri tome, pošlo se od opšteg mišljenja da je globalno zagrijavanje posljedica ljudskih aktivnosti, preko pretjeranog sagorijevanja fosilnih goriva. Radna hipoteza je da ENSO ima određeni uticaj na globalnu temperaturu. Da li taj uticaj zaista postoji, pokazaće korelaciona analiza.

1.2. Predmet istraživanja

Predmet istraživanja je uticaj ENSO fenomena na globalnu temperaturu. S obzrom na to da je razmatran period od 120 godina (1901-2020), nema sumnje da će master rad pokazati da li zaista postoji uticaj ENSO na globalnu temperaturu vazduha ili ne. Za obje varijable (ENSO i globalnu temperaturu) dostupni su podaci na mjesečnom nivou, na osnovu kojih će se izračunati sezonske i godišnje vrijednosti. Dakle, u master radu predložiću se mjesečne, sezonske i godišnje promjene globalne temperature i ENSO, te utvrditi eventualno postojanje veze između dvije pomenute varijable.

1.3. Motiv i cilj istraživanja

Globalno zagrijavanje je aktuelna tema, problematika od značaja za čovjeka, njegov život i rad. To je poslužilo kao motiv za odabir master teme. Preovladava mišljenje da je glavni krivac porasta globalne temperature čovjek, u prvom redu preko nekontrolisanog sagorijevanja fosilnih goriva (uglja, nafte i prirodnog gasa). Sa druge strane, polazeći od činjenice da je na datom području vrijeme onakvo kakva je vazдушna masa koja dolazi, toplo ili hladno, vlažno ili suvo, potrebno je sagledati i uticaj prirodnih faktora. Jedan od najpoznatijih globalnih prirodnih klimatskih fenomena je ENSO. Zato je glavni istraživački cilj master rada da utvrdi promjene globalne temperature i ENSO, te ispita da li pomenuti fenomen zaista ima uticaja na globalno zagrijavanje u pomenutom 120-godišnjem periodu (1901-2020).

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Svakog dana širom svijeta se vrše hiljade mjerenja na meteorološkim stanicama, brodovima, satelitima, plutajućim bovama i meteorološkim balonima. Naučnici kombinuju ove različite izvore podataka zajedno, kako bi izmjerili temperaturu Zemlje i vidjeli kako se ona mijenja tokom vremena.

Postoje brojni dokazi globalnog zagrijavanja: rast prosječne temperature od 1970-ih do danas, planinski lednici i površina inlandajsa se smanjuje, raste nivo Svjetskog mora, povećana je čestina vremenskih i klimatskih ekstrema, itd. (IPCC, 2021). Posljedice globalnog zagrijavanja osjećaju se i u našoj državi (Burić i dr., 2011; Burić i dr., 2016; Mihajlović et al., 2021; Burić et al., 2022), zemljama okruženja (Tošić an & Unkašević 2014; Arsenović et al. 2015; Milošević et al., 2017; Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018) i regiji Mediterana (Del Rio et al., 2012; Hoerling et al., 2012; Kostopoulou et al., 2017; LemusCanovas & Lopez-Bustins, 2021). Zašto se dešava globalno zagrijavanje, definitivnog odgovora još uvijek nema.

Preovladava mišljenje da je glavni uzrok rasta globalne temperature povećanje koncentracije ugljen-dioksida antropogenog porijekla (IPCC, 2021). Međutim, ne može se izostaviti činjenica da su se promjene globalne temperature dešavale i u bližoj i u daljoj istoriji planete Zemlje, kada nije postojao ljudski uticaj.

Mnogi prirodni faktori koji utiču na vrijeme i klimu imaju svoje cikluse. Promjene koje se odnose na temperaturu Svjetskog mora ili pojedinih djelova okeana i u varijacijama vazdušnih masa, odavno su poznate (Burić i dr., 2011; Tosunoglu et al., 2018; Burić & Stanojević, 2020).

Jedan od najpoznatijih poremećaja u sistemu okean-atmosfera je fenomen El Ninjo Južna oscilacija (ENSO). Naziv ovoj pojavi dali su peruanski ribari, smatrajući da u godinama manjka ribe duž obale Perua, Isus Hrist dijeli ribu siromašnim seljacima, pa je zato nema. U izvornom prevodu sa španskog jezika, El Ninjo znači mlad Isus (Bertrand et al., 2020.) Međutim, istraživanja su pokazala da se za vrijeme El Ninjo godina, površinska temperatura vode u ekvatorijalnom dijelu Pacifika povisi i do 40C. Zbog porasta temperature vode, riba migrira u dubini, gdje je hladnije, pa je zato nema u površinskom

sloju (Bertrand, et al.,2020.) . Dakle, El Ninjo je topla faza, a suprotna pojava je La Ninja ili tzv. hladna faza (španski prevod - djevojčica), kada je površinska temperatura vode u istom dijelu ekvatorijalnog Pacifika niža od uobičajene. Gotovo sve prirodne okeansko-atmosferske oscilacije imaju svoju pozitivnu i negativnu fazu. Kada dominira određena faza, u nekim predjelima je toplije, a u drugim hladnije, odnosno negdje je vlažnije, dok je u drugim krajevima manje padavina u odnosu na uobičajeno stanje.

Utvrđeno je da se ENSO fenomen dešava u ciklusima, sa prosječnim periodom oscilovanja oko 4 godine. Pozivajući se na brojne autore, o ENSO meteorološkom fenomenu pisali su Ducić i Luković (2005), Zubair et al. (2007), Burić (2014), Burić and Penjišević (2023). Uzimajući u obzir prethodno iznijeto, kao i aktuelnost teme, ovaj master rad analiziraće kolebanje globalne temperature i ENSO fenomena, te ispitati kakva je veza između dvije pomenute varijable.

Planirana istraživanja će obuhvatiti period od 120. godina (1901-2020), a baziraće se na podacima relevantnih ili u naučnim krugovima opšte priznatih međunarodnih institucija (agencija).

Veza između klimatskih promjena i ENSO fenomena tema je mnogobrojnih naučnih istraživanja koja su u toku (S.George Philander, 1989). Iako ne postoji potpuna saglasnost u naučnoj zajednici, nedavne studije ukazuju nam na povezanost globalne temperature i El Ninja.

El Ninjo fenomeni, posebno oni iz 2009, 2014, 2015. i 2016. godine, imali su značajan uticaj na porast globalne temperature. Ove godine su obilježene među najtoplijim u istoriji, a njihov uticaj na klimu može se povezati sa povećanjem globalne temperature izazvane širenjem toplih voda u Pacifiku, što je pogoršalo efekat staklene bašte (Bengtsson et al., 2006; IPCC, 2013; NOAA, 2016).

3. METEOROLOŠKI FENOMEN EL NINJO JUŽNA OSCILACIJA (ENSO)

3.1. El Ninjo fenomen

Početkom 20. vijeka, britanski naučnik Volker posvetio je pažnju fenomenu tople morske struje i zaključio da je ona samo jedan dio složenih atmosferskih procesa u tropskom Pacifiku (V.Ducić, 2005). Ustanovio je da postoji suprotan odnos vazdušnog pritiska između istočnog i zapadnog dela te oblasti – kada je pritisak visok na jednoj strani, na drugoj je nizak, i obrnuto. Ovu pojavu potvrdila su mjerenja vazdušnog pritiska u Darvinu (Australija) i na ostrvu Tahiti (V. Ducić, 2005)

“El Ninjo, ako želimo da budemo precizni, jeste samo topla morska struja koja se javlja uz obalu Perua svakih dvije do sedam godina”, iznosi časopis Newsweek. El Ninjo kao fizička pojava je dokazana činjenica. Način na koji funkcioniše ovaj fenomen zapravo jeste teorija, odnosno postoji više teorija na osnovu kojih funkcioniše. Ovaj fenomen je stvaran baš kao i drugi vremenski fenomeni poput grmljavine, na primjer. Prepoznamo njegove karakteristike kao slične prethodnim pojavama i primjećujemo da je njegov životni ciklus u većini slučajeva uglavnom isti. Naravno da je svaka pojava ovog fenomena drugačija, ali osnovna evolucija je dovoljno slična da znamo, kada nastupi, da je u pitanju El Ninjo.

El Ninjo je prirodni fenomen koji se javlja duž obala Perua i Ekvadora, a u novije vrijeme se smatra jednim od ključnih faktora značajnih promjena u klimatskom sistemu cirkulacije okeana i atmosfere (S.George Philander, 1989). Ova pojava predstavlja specifičnu interakciju između okeana i atmosfere, koju naučnici iz oblasti okeanografije, meteorologije i klimatologije smatraju važnom za dublje razumijevanje vremenskih i klimatskih promjena (S.George Philander, 1989).

Elementi El Ninja i njegovi povezani atmosferski partneri su upečatljivi aspekti klime i vremenskih uslova tropskog dijela Tihog okeana. Još u doba španskih istraživača Latinske Amerike, tokom perioda osvajanja Pizarove ere, ove pojave su bile poznate. Međutim, jedan od najintrigantnijih aspekata proučavanja klime je činjenica da je trebalo

više od 400 godina, sve do sredine 20. vijeka, da se ovi fenomeni prepoznaju kao dio šireg globalnog sistema (S.George Philander, 1989). Njihovi efekti uključuju suše u nekim područjima, obilne kiše u drugim, narušavanje bioloških ciklusa u tropskom dijelu Tihog okeana i mnoge druge izazove (S.George Philander, 1989).

Predstavlja se kao jedan od najpoznatijih klimatskih fenomena na Planeti Zemlji. Glavni razlog zbog kojeg se smatra najpoznatijim klimatskim fenomenom, jeste taj da ima uticaj na klimu cijele planete Zemlje. Značaj ovog fenomena u globalnom klimatskom sistemu je izuzetan, jer objašnjava značajan dio klimatskih varijacija, odmah nakon sezonskih ciklusa i monsunskog sistema (Mike Davis, 2001).

U nekim pisanim dokumentima koji datiraju još iz XVI vijeka spominje se pojava povišene temperature mora pored pacifičkih obala ekvatorijalnog pojasa Južne Amerike. Naziv El Ninjo vodi porijeklo iz španskog jezika. Još tada ribari koji žive u Peruu, ovu pojavu su nazvali El Ninjo ili u prevodu dječak (G. Jovanović, 2010).

Ribari na obali Perua i Ekvadora su primijetili da se promjene u temperaturama mora javljaju tokom božićnih mjeseci, pa su fenomen nazvali El Niño, jer je to vrijeme kada se slavi rođenje Isusa Hrista (Glantz, M. H., 1996).

El Ninjo predstavlja dio prirodnog ciklusa poznatijeg kao ENSO (El Nino–Southern Oscillation), koji pod ovim pojmom podrazumijeva promjene u temperaturi površinskih voda u centralnom i istočnom dijelu Tihog okeana (V. Ducić, 2005). Dugo vremena se fenomen smatrao lokalnim, ali kako su naučnici počeli da proučavaju njegov uticaj na globalnu klimu, shvatili su da El Niño predstavlja mnogo širu pojavu koja utiče na globalne vremenske obrasce.

Taj ciklus ima tri faze, koje obuhvataju: El Ninjo, La Ninjo i neutralnu fazu (Glantz, M. H., 1996).

- El Ninjo – kada dolazi do izuzetnog zagrijavanja površinskih voda Tihog okeana

Za vrijeme trajanja El Ninja, površinske vode u istočnom tropskom Pacifiku (blizu obale Južne Amerike) postaju neobično tople. Ovaj porast temperature je rezultat slabljenja ili zaustavljanja pasatnih vjetrova koji obično guraju tople vode prema zapadu (Marshall &

Plumb). S toplijom vodom, više vlage isparava u atmosferu, što utiče na vremenske obrasce širom svijeta.

- La Ninja – kada su površinske vode hladnije od prosjeka

Tokom La Ninje, površinske vode u istočnom tropskom Pacifiku postaju hladnije nego obično, dok pasatni vjetrovi postaju jači, gurajući tople vode dalje prema zapadu (Ducić & Luković, 2005). Ovaj proces pojačava "upwelling" – dotok hladne, hranjive vode iz dubina okeana na površinu (Chavez et al., 1999).

- Neutralna faza – kada su temperature u uobičajenim granicama

Neutralna faza je često prelazno stanje koje se može pojaviti između El Ninjo i La Ninja faza, obilježeno stabilnijim klimatskim uslovima, ali i mogućnošću manjih promjena u regionalnim vremenskim uslovima (Trenberth, K. E., 1997)

3.2. Proces nastanka El Ninja

Procesi u okeanima i atmosferi

Formiranje klimatskog fenomena El Ninjo je dugo godina bila zagonetka. Veza među ovim klimatskim efektima u udaljenim krajevima svijeta i El Ninja sad je uspostavljena i ako je naučnicima trebalo vremena da povežu djelove slagalice od okeanskih struja do vjetrova i jakih kiša (Candace Gudmundson, 2006).

El Ninjo je naziv za međusobno djelovanje sistema okean-atmosfera, koji obuhvata ekvatorijalni dio Tihog okeana (Ducić & Luković, 2005). El Ninjo je naziv za okeanski dio ove pojave, a Južna Oscilacija za atmosferski dio. Naziv El Ninjo je izvorno korišten kako bi se opisala topla sezonska morska struja koja je stizala do obala Ekvadora i Perua

u periodu oko Božića (Glantz, M. H., 1996) . Naziv Južna Oscilacija koristi se zbog toga jer su atmosferski uticaji ove pojave najupečatljiviji na južnoj polulopti.

U normalnim uslovima, vjetrovi koji su poznati kao pasati, oni duvaju sa istoka prema zapadu preko ekvatora gurajući toplu vodu sa površine prema zapadnom Pacifiku (prema Aziji i Australiji). Zbog toga se u zapadnom Pacifiku formira rezervoar tople vode, dok se hladnija voda iz dubine podiže uz obale Južne Amerike, pored Perua i Ekvadora, stvarajući hladne okeanske struje.

Za nastanak El Ninja karakteristični su vjetrovi, odnosno pasati koji dominiraju nad čitavim tropskim područjem, pa samim tim i nad Tihim okeanom. Oni imaju pravac kretanja od istoka prema zapadu, gdje se međusobno približavaju nad australijsko-indonežanskim niskim vazdušim pritiskom, gdje dolazi do izdizanja vazduha onosno konvekcije, a sledstveno tome dolazi do stvaranja oblaka i samim tim padavina (Philander, S. G., 1983). Taj hladni vazduh pomjera se istočnom visinskom strujom ka istočnom dijelu tropskog Tihog okean, nakon čega tu dolazi do subsidencije hladnog vazduha, te do stvaranja čelijskog visokog vazduha iznad Tahitija i duž zapadne obale Južne Amerike. Ovakva cirkulacija i raspodjela vazduha iznad tropskog dijela Tihog okeana, definisana je kao "Walkerova cirkulacija"(Philander S. G., 1983). Ciklus El Ninjo Južne Oscilacije povezuje interakcija atmosfere i okeana, pa je zbog toga neophodno objasniti uticaj temperature okeana na raspodjelu vazdušnog pritiska, a takođe i na karakteristike klime tropskog dijela Tihog okeana. Sunčevo zračenje jednako je na svim geografskim širinama. Sunčevim zračenjem podjednako se voda zagrijava u cijelom bazenu tropskog Pacifika, međutim pasati zbog svog smjera duvanja od istoka prema zapadu imaju tendenciju pomjeranja toplo površinskog vodenog stuba, dubine od 50 do 100m, od istoka ka zapadu Tihog okeana (Dawson & O'Hare, 2000). Nakon čega dolazi do procesa nagomilavanja tople vode nad zapadnim Pacifikom, što doprinosi pozitivno niskom vazdušnom pritisku a samim tim utiče na jaču konvekciju i padavine. Zbog nagomilavanja tople vode, termoklina je u zapadnom bazenu Tihog okeana potisnuta na 150 metara, pa je morski nivo čitvog zapadnog bazena viši od istočnog u prosjeku 40 cm (Dawson & O'Hare, 2000). U istočnom dijelu tropskog Pacifika na mjestu tople površinske vode, dolazi, odnosno podiže se hladna voda iz dubine. Ovo je proces poznat

kao **upwelling**. Upwelling je okeanografski fenomen koji uključuje kretanje guste, hladnije i vode bogate hranjivim materijama prema površini okeana, izazvane vjetrom. Hladna voda zajedno sa Humboltovom strujom pozitivno doprinosi visokom pritisku iznad istočnog Pacifika, a shodno tome se održava relativna aridnost klime i stabilnost vremena. Humboltva struja i hladna voda uslovljavaju podizanje termokline u istočnom bazenu tropskog Tihog okeana na 30 metara od površine. Razlike u temperaturi vode, između istočnog i zapadnog bazena Tihog okeana, iznose uglavnom u prosjeku oko 8°C (Dawson & O'Hare, 2000).

Kada Sunce dostigne svoju najjužniju tačku, u periodu prije Božića, pasati budu slabiji, vode oko zapadne obale Južne Amerike, budu toplije. Uslijed slabljenja pasata, topla površinska voda počinje da teče od zapada prema istoku Tihog okeana. Ove promjene uglavnom su male, do 2°C, a kako se Sunce pomjera nazad prema sjeveru uslovi se vraćaju u normalnu. Za ENSO ciklus karakteristična je ovakva raspodjela temperature u okeanima i ona je vjekovima prepoznatljiva peruanskim ribarima, kao topla morska struja (Sarachik & Cane, 2010).

Tokom vremena ova struja je postajala sve toplija, mnogo duže je trajala i bila je zastupljena mnogo dalje na zapad i na jug. Sve navedeno praćeno je jako neobičnim pojavama koje su se dešavale na moru i kopnu. Jake kiše padale su duž obala Perua, inače za ovu oblast to je bila veoma rijetka pojava, jer je ta oblast bila skoro pa pustinjska. U ovoj oblasti padavine su bile više nego i dobrodošle baš zbog toga jer je uz pomoć njih zemljište samo za nekoliko nedelja krasilo prelijepa zelena i bujna vegetacija. Padavine su bile poželjne sve dok god od njih nijesu prijetile opasnosti izazvane poplavama.

3.2.1. Reakcija okeana i atmosfere na El Ninjo uslove

Okeanska ekspresija Walkerove cirkulacije u Tihom okeanu je termoklina, koja predstavlja zonu oštrog temperaturnog prelaza, razdvajajući gotovo čitav okean na dva odvojena bazena – površinski, sa toplom vodom, i dubinski, sa hladnom vodom. U uslovima kada nije prisutan El Ninjo, termoklina se nalazi dublje na zapadu Tihog okeana, za otprilike 100 metara, kao rezultat pomenutog nagomilavanja tople površinske vode pod uticajem pasatnih vetrova (Sarachik & Cane, 2010). Srednje temperature

površinskih voda u istočnom i zapadnom dijelu Tihog okeana, predstavljaju rezultat interakcije između atmosfere i okeana. Pasatni vjetrovi pomjeraju vertikalni stub vode, na dubini od otprilike 50-100 metara, prema zapadu Tihog okeana, što omogućava podizanje hladne vode na istoku, odnosno upwelling (Sarachik & Cane, 2010). Površinske temperature mora u tropskom Pacifiku se prije svega mijenjaju pod uticajem upwellinga hladne vode sa dubine, a s obzirom na to da efikasnost upwellinga zavisi od dubine termokline, ona je ključna za razumijevanje promjena u temperaturi okeana (Sarachik & Cane, 2010). U godinama kada dolazi do javljanja El Ninjo, kada pasatni vetrovi oslabe ili prestanu, dolazi do horizontalne redistribucije vode koja uzrokuje smanjenje horizontalnog temperaturnog gradijenta okeana (Sarachik & Cane, 2010). Smanjenjem uticaja pasatnih vjetrova, smanjuje se hidraulički pritisak u zapadnom dijelu Tihog okeana, zatim se akumulirana potencijalna energija u vodi počinje otpuštati prema istočnom bazenu u obliku Kelvinovih talasa (Barber & Kogelschatz, 1989). Toploj vodi je potrebno u prosjeku 3-4 mjeseca da stigne do zapadne obale Južne Amerike u obliku Kelvinovih talasa. Anomalno topli uslovi mogu podići temperaturu u istočnom dijelu Tihog okeana i do 9°C, što dovodi do smanjenja dubine termokline za nekoliko desetina metara. Smanjenje dubine termokline smanjuje upwelling, što otežava miješanje voda. Takođe, dolazi do promjene u nivou mora, gde se istočni bazen podiže za 40 cm, dok se zapadni bazen spušta za istu visinu (Barber & Kogelschatz, 1989).

Ustanovljeno je da su horizontalni temperaturni gradijenti u tropskim područjima izuzetno mali, što znači da čak i slaba pozitivna varijabilnost, poput zagrijavanja, može značajno uticati na konvekciju vazduha, a samim tim i na kondenzaciju i padavine (Philander S. G., 1983). Kako se istočni dio Tihog okeana zagrijava tokom El Ninjo faze, visoki atmosferski pritisak koji je uobičajen za to područje opada, a razlike u temperaturama i pritiscima između istočnog i zapadnog Pacifika postaju sve manja. Efekat zagrijavanja istočnog bazena Tihog okeana stvara nizak pritisak, što dovodi do povećane atmosferske nestabilnosti u tom regionu (Sarachik & Cane, 2010). Ova promjena atmosferskog pritiska uzrokuje pomjeranje oblasti kontinuiranih padavina sa zapada prema istoku. Naime, prestankom ili slabljenjem pasatnih vjetrova, izdignuti zrak nad istočnim Pacifikom počinje da se pomjera visinskom strujom prema zapadu, gdje dolazi do subsidence (potapanja) vazduha nad Indonezijom i sjevernim dijelom

Australije, stvarajući područje visokog pritiska koje izaziva vedro vrijeme i često dovodi do suše (Maradin, 2005).

Za vrijeme El Ninjo događaja, površinske vode u centralnom i istočnom Pacifiku se zagrijavaju, odnosno postaju znatno toplije nego što su inače. Ta promjena je usko povezana sa atmosferom i vjetrovima koji duvaju iznad ogromnog prostranstva Pacifika. Istočni pasati (koji duvaju od Amerike ka Aziji) slabe i mogu čak da promijene smjer u zapadne vjetrove. Ovo omogućava velikim masama tople vode da se pomjere sa zapadnog Pacifika ka Amerikama, odnosno Sjevernoj i Južnoj Americi. Takođe smanjuje izdizanje hladnijih, hranljivim materijama bogatih voda iz dubina – zaustavljajući ili preokrećući okeanske struje duž ekvatora i duž zapadne obale Južne i Centralne Amerike (Candace Gudmundson, 2006).

Cirkulacija vazduha iznad tropskog Pacifika reaguje na ovo ogromno preraspodjeljivanje toplote okeana. Obično jaki sistemi visokog pritiska u istočnom Pacifiku slabe, čime se mijenja ravnoteža atmosferskog pritiska širom istočnog, centralnog i zapadnog Pacifika. Dok istočni vjetrovi obično donose suvo i stabilno vrijeme, zapadni vjetrovi iz Pacifika obično dolaze u naletima toplijeg, vlažnijeg vazduha.

3.3. El Ninjo i globalna klima

El Ninjo ima značajan uticaj na globalnu klimu, jer njegov efekat nije ograničen samo na Pacifik i okolne zemlje, već se širi preko atmosferskih i okeanskih struja širom svijeta. Njegov uticaj se osjeća u različitim regionima kroz ekstremne vremenske pojave poput suša, poplava, toplotnih talasa i promjena u sezonskim vremenskim obrascima (Kovats et al., 2003).

3.3.1 Uticaj El Ninja na globalnu temperaturu

El Ninjo je fenomen u tropskom Pacifiku koji ima značajan uticaj na globalnu klimu, uključujući promjene u temperaturama širom svijeta.

El Ninjo utiče na temperaturu takođe i zbog njegovog uticaja na atmosferske cirkulacije. Tople površinske vode u Pacifiku smanjuju razliku u temperaturi između tropskih i polarnog regiona, što može poremetiti globalne cirkulacije vazduha, uključujući Walkerovu cirkulaciju. Ove promjene mogu izazvati porast temperature na globalnom nivou, jer ometaju uobičajeni ciklus energije između okeana i atmosfere (Sarachik & Cane, 2010). Na globalnom nivou, ovo može uzrokovati promjene u vremenskim uslovima, povećanje frekvencije ekstremnih vremenskih događaja i povećanje globalnih prosječnih temperatura (Bengtsson et al., 2006).

U periodima El Ninja, temperatura na globalnom nivou često dostiže rekordne vrijednosti, jer zagrijavanje u Pacifiku doprinosi jačanju efekta staklene bašte. Prema IPCC (2014), tokom godina sa El Ninjo fenomenoma, zabilježen je porast u globalnoj temperaturi, koji može biti uzrokovan dodatnim zagrijavanjem usljed povećane koncentracije ugljen-dioksida i drugih stakleničkih gasova u atmosferi. Takođe, tokom godina kada se dešava El Ninjo, globalna temperatura može porasti za oko 0.2°C , što je značajan doprinos u odnosu na uobičajene varijacije temperature.

Dakle, El Ninjo ima dugoročan uticaj na globalnu temperaturu, jer ne samo da doprinosi porastu globalne temperature tokom svojih ciklusa, već utiče i na klimatske promjene, uključujući povećanje broja sušnih i vlažnih perioda u mnogim regionima svijeta, čime dodatno mijenja temperaturne i vremenske uslove širom planete (Bengtsson et al., 2006).

3.3.2. Uticaj El Ninja na padavine

El Ninjo značajno utiče na globalnu distribuciju padavina, izazivajući suše u nekim regionima i obilne kiše u drugim. Ove promjene su posljedica poremećaja u cirkulaciji atmosfere i okeana. El Ninjo dovodi do premještanja zona konvekcije u tropskom Pacifiku, što rezultira promjenama u sezonskim padavinama širom svijeta (Rasmusson et al., 1982). Tokom El Ninjo događaja, zone intenzivne konvekcije i padavina se pomjeraju istočno, prema centralnom i istočnom Pacifiku.



Slika 1. Poplave u Meksiku februar, 2010. Izvor: <https://www.google.com/amp/s/phys.org/news/2010-03-el-nino-phenomenon-die-mid-year.amp>

Povećane padavine se bilježe u oblastima poput zapadne Južne Amerike, gdje obale Perua i Ekvadora često doživljavaju obilne kiše i poplave (Trenberth & Caron, 2000). Na primjer, tokom jakog El Ninjo iz 1997–1998, količina padavina u Peruu bila je nekoliko puta veća od prosjeka, što je izazvalo razorne poplave i klizišta (McPhaden, 1999). S druge strane, El Ninjo izaziva suše u regionima koji su tradicionalno zavisni od sezonskih monsunu. Suše u jugoistočnoj Aziji, Australiji i južnoj Africi su čest rezultat El Ninjo događaja, jer oslabljeni pasati smanjuju dotok vlage u ovim oblastima (Ropelewski & Halpert, 1987). Jedan od najozbiljnijih primjera bio je tokom El Ninjo epizode 1982–1983, kada su u Indoneziji i Australiji zabilježene rekordne suše koje su dovele do velikih gubitaka u poljoprivredi.

3.4. Osobine okeana i atmosfere za vrijeme El Ninja

NASA, Nacionalna agencija za okeane i atmosferu (NOAA) i druge naučne institucije prate i proučavaju El Ninjo na razne načine. Od podvodnih plovaka koje mjere uslove u dubinama Pacifika do satelita koji posmatraju visinu površine mora i vjetrove visoko iznad nje, naučnici sada imaju mnoge alate za analizu ovog "nemirnog djeteta" vremenskih prilika.

Podvodne temperature i vodene mase

Temperature, salinitet i druge karakteristike variraju u tri dimenzije, od sjevera ka jugu, od istoka ka zapadu, te od površine do dubina. Promjene blizu površine često započinju promjenama u dubinama. Tropski dio Pacifika prima više količine sunčeve svjetlosti nego bilo koji drugi region na Zemlji, a veliki dio te energije se skladišti u okeanu kao toplota. U neutralnim, normalnim uslovima, vode kod jugoistočne Azije i Australije su toplije, a nivo mora je viši nego u istočnom Pacifiku; ova topla voda se gura ka zapadu i tamo je drže istočni pasati. Međutim, kako se razvija El Niño i kako pasati slabe, gravitacija uzrokuje da se topla voda pomjeri prema istoku. Ova masa, poznata kao "topli bazen zapadnog Pacifika", proteže se do dubine od oko 200 metara, fenomen koji se može posmatrati pomoću usidrenih ili plutajućih instrumenata u okeanu: plutajuće bove praćene satelitima, sidrišta, jedrilice i Argo plovci koji se kreću od površine okeana do velikih dubina. (<https://education.nationalgeographic.org/resource/el-nino/>). Ovi instrumenti (njih više od 3.000) bilježe temperature i druge osobine u gornjih 300 metara globalnog okeana.

Temperature površine mora

Tokom El Ninja, površinske temperature mora u istočnom i centralnom Pacifiku značajno rastu. Tople vode u ovom regionu izazivaju promjene u vertikalnoj cirkulaciji okeana. U normalnim uslovima, pasatni vjetrovi guraju tople površinske vode prema zapadu Tihog okeana, dok hladna voda iz dubokih slojeva mora dolazi na površinu u istočnom Pacifiku kroz proces upwellinga (Sarachik & Cane, 2010). Međutim, tokom El Ninja, smanjenje snage pasatnih vjetrova ometa ovu cirkulaciju, što dovodi do horizontalne redistribucije tople vode, smanjujući temperaturni gradijent između istočnog i zapadnog dijela Tihog okeana (Philander S. G., 1983). Stotinama godina, temperatura blizu površine mora mjerena je instrumentima na brodovima, sidrištima i, u novije vrijeme, plutajućim instrumentima. Od kraja 1970-ih, sateliti su pružili globalni uvid u temperature površine mora, popunjavajući praznine između pojedinačnih tačaka na kojima se mogu vršiti

plutajući mjerenja. Temperature površine mora mjere se iz svemira pomoću radiometara, koji otkrivaju elektromagnetnu energiju (pretežno svjetlost i toplotu) koju emituju objekti i površine na Zemlji. U slučaju okeana, satelitski radiometri—kao što je Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) na NOAA vremenskim satelitima i Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) na NASA-inim Terra i Aqua satelitima—mjerne snage infracrvenih i mikrovalnih emisija s gornjih nekoliko milimetara vode (<https://www.climate.gov/enso>).

Kada odlučuju da li je Pacifik u El Ninjo stanju, klimatolozi iz NOAA ispituju temperature površine mora u istočno-srednjem tropskom Pacifiku (između 120° i 170° zapadno). El Ninjo se proglašava kada prosječna temperatura ostane više od 0.5 stepeni Celzijusa iznad dugoročnog prosjeka tokom pet uzastopnih mjeseci. Tokom 1997-98 i 2015-16, temperature površine mora su porasle više od 2.5 stepeni Celzijusa (4.5 stepeni Farenhajta) iznad prosjeka (<https://oceanservice.noaa.gov>)

Visina površine mora

Tople vode koje se nakupljaju u istočnom Pacifiku tokom El Ninja mogu izazvati povećanje nivoa mora u tom regionu za nekoliko desetina centimetara. Ovo povećanje nivoa mora može uticati na obalu Latinske Amerike, uključujući Peru i Ekvador, i izazvati poplave i eroziju (Barber & Kogelschatz, 1989).

Boja okeana

Kako se temperature mijenjaju usled El Ninja, drugi efekti se šire kroz okean. U istočnom Pacifiku, talas tople vode produbljuje termoklinu, tanki sloj koji odvaja površinske vode od dubokih okeanskih voda. Ovaj deblji sloj tople vode na površini smanjuje uobičajeno podizanje hladnije, hranljivima bogate vode—vode koja obično podržava bogate ribolovne oblasti u tom regionu. Ovaj gubitak izvora hranljivih materija ogleda se u opadajućim koncentracijama klorofila u površinskoj vodi, zelenog pigmenta prisutnog u većini fitoplanktona. Promjene u svojstvima vode, kao što su sadržaj kiseonika i ugljen-dioksida, takođe utiču na morski život. Istorijaska posmatranja su pokazala da, kada je dostupno manje fitoplanktona, ribe koje se hrane planktonom i veće ribe koje se hrane

tim manjim ribama imaju znatno smanjen izvor hrane. U najekstremnijim El Ninjo događajima, opadanje zaliha ribe dovelo je do gladi i dramatičnih smanjenja populacija morskih životinja kao što su galapagoške pingvine, morske iguane, tuljane i foke (<https://science.nasa.gov/earth/explore/el-nino/>)

Površinski vjetrovi

Ponašanje vjetrova i voda su usko povezani u Pacifičkom basenu tokom El Ninjo događaja. Tokom godine El Ninja, slabljenje vjetrova duž ekvatora dovodi do zagrijavanja površinskih temperatura vode, što dodatno slabi vjetrove (Bertrand et al., 2020.)

Oblačnost i padavine

Promjenom raspodjele toplote i vjetra širom Pacifika, El Ninjo mijenja obrasce padavina od mjeseci do godišnjih doba. Dok topla površina okeana zagrijava atmosferu iznad nje, vazduh bogat vlagom se izdiže i razvija u oblake kiše. Dakle, dok se većina padavina obično javlja iznad zapadnog Pacifika u neutralnim godinama, mnogo više padavina se razvija u centralnom i istočnom Pacifiku tokom El Ninjo događaja. Oblačnost je rezultat vlage koja se uzdiže sa površine okeana u atmosferu. Tokom El Ninja, oblačnost se povećava u istočnom Pacifiku zbog toga što topla voda oslobađa više vlage i toplote u atmosferu. Ti oblaci mogu dovesti do većih padavina, ali takođe i zaklanjaju vodu tokom dana i zadržavaju toplotu blizu površine tokom noći.

(<https://science.nasa.gov/earth/explore/el-nino/>)

3.5. Istorija El Ninja/El Ninjo u prošlosti i kroz vrijeme

Još u 16. vijeku ribari iz Perua i Ekvadora primijetili su da se svakih nekoliko godina tokom zime javlja neuobičajeno zagrijavanje morske vode uz obalu (O'Brien et al., 1999).

Inače, voda u tom području je hladnija zbog Peruanske struje koja pomjera površinsku vodu prema otvorenom moru, omogućavajući izbijanje hladne, hranjivim materijama bogate vode iz dubine, što je ključno za ribolov na incune (Ramage, 1986). Na početku svake godine, kratkotrajni priliv toplije južne struje zamijenio bi hladne vode, a ribari su ovo vrijeme koristili za popravku opreme (Wallace & Vogel, 1994). Ipak, povremeno bi se zagrijavanje dešavalo ranije, trajalo duže od godinu dana i značajno povisilo temperaturu mora (Wallace & Vogel, 1994). To je negativno uticalo na riblju populaciju zbog neprikladnih uslova i manjka hranjivih materija (Ahrens, 2012). Geografi su primijetili da su ova toplija razdoblja u određenim godinama bila intenzivnija i povezana s neuobičajenim klimatskim i okeanskim pojavama (Wang et al., 2006).

Pošto se ovaj fenomen javljao oko Božića, ribari su ga nazvali El Niño, što na španskom znači "Božićno dijete" (Wallace et al., 2001), a ovaj naziv je postao poznat krajem 19. vijeka (Wang & Picaut, 2004). Početkom 20. vijeka, dolazak stranih naučnika u Peru doveo je do toga da je ENSO prepoznat i u globalnoj naučnoj zajednici (Lobell, 1942). Ubrzo su shvatili da je El Niño događaj koji ima velike posljedice, a povezan je sa zagrijavanjem tropskog Pacifika (Wang & Picaut, 2004).

Ovaj obrazac promjena u vodi i vjetru traje desetinama hiljada godina. Naučnici, historičari i arheolozi pretpostavljaju da je El Niño imao ulogu u propasti ili poremećaju nekoliko drevnih civilizacija, uključujući Maje, Inke i druge kulture u Americi. Međutim, zabilježena istorija El Niña zaista počinje u 1500-im godinama, kada su evropske kulture stigle u Novi svijet i srele se sa autohtonim kulturama Amerike.

Prvi poznati zapis o ovom fenomenu potiče iz 1525. i 1526. godine, kada je Fransisko Pizaro opisivao toplo i kišovito vrijeme u Peruu i pisao o zelenjavanju inače sušnih područja Perua (Ros-Tonen & Boxel, 1999). Međutim, intenzivna istraživanja i napredak u razumijevanju ovog fenomena vezuju se za 20. vijek, gdje se kao značajan naučnik ističe ser Gilbert Voker. On je otkrio velike fluktuacije u pritisku na nivou mora između istočnog i zapadnog dijela Tihog okeana u pokušaju da predvidi ljetnji monsun. Otkrićem oblasti niskog vazdušnog pritiska iznad Darvina u Australiji i visokog iznad Tahitija, definisana je „Southern Oscillation“ (SO) ili južna oscilacija (Zebiak et al., 2014). Ipak,

ova cirkulacija bila je isključivo povezana s raspodjelom pritiska iznad Tihog okeana. Tek 1960-ih godina, naučnici su počeli da povezuju temperaturu mora s raspodjelom vazdušnog pritiska, čime je postalo jasno da postoji i okeanska perturbacija. Ovdje se kao najvažniji naučnik izdvaja Jakob Bjerknes, koji je predložio mehanizam povezivanja ova dva fenomena (Zebiak et al., 2014).

Međutim, tek tokom 1970-ih i početkom 1980-ih došlo je do povezivanja temperature mora i raspodjele pritiska iznad tropskog Pacifika, što je dovelo do nastanka termina ENSO, odnosno „El Niño-Southern Oscillation“ (Philander S. G., 1983). Od 1970-ih godina, ENSO događaji postali su jedan od najvažnijih fokusa meteoroloških, klimatoloških i okeanografskih istraživanja, posebno jer su od tog perioda događaji postajali sve intenzivniji, sa sve izraženijim bioekološkim i socioekonomskim posljedicama (Dawson & Hare, 2000).

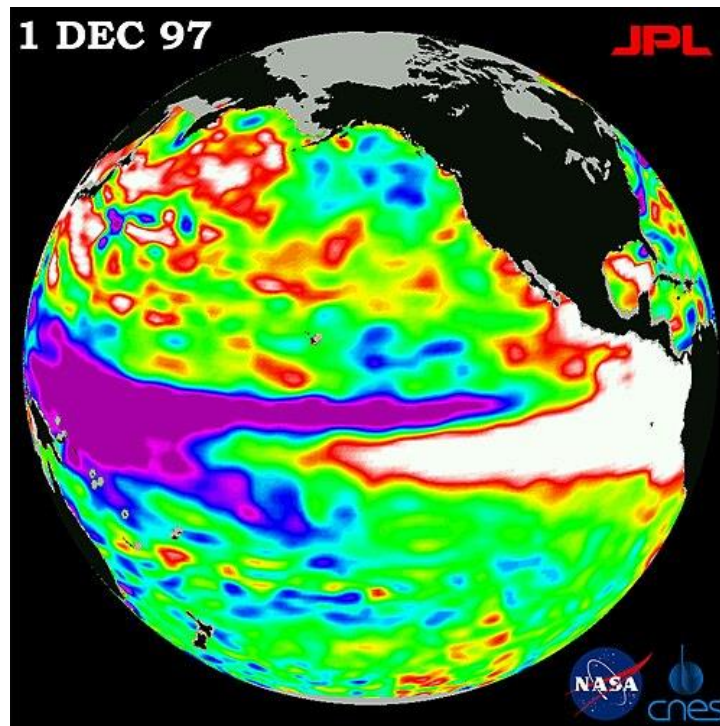
Tokom 20. veka dogodilo se nekoliko intenzivnih El Ninjo događaja (1972–1973, 1982–1983. i 1997–1998), koji su imali različite socioekonomske i bioekološke posljedice. One su podstakle intenzivnije angažovanje naučne zajednice u proučavanju ovog fenomena. Ipak, uprkos postojećim naučnim mjerenjima, informacijama i tehnologiji, naučnici su često potcenjivali snagu ovog fenomena i značaj njegovog istraživanja, pa su negativne posljedice bile intenzivnije nego što se očekivalo (Rosenzweig & Hillel, 2008).

El Ninjo iz perioda 1972–1973. skrenuo je pažnju svjetske javnosti na ENSO ciklus jer je izazvao značajne ekonomske gubitke. To se posebno odnosi na kolaps peruanskog ribarstva i cijele ribarske industrije. Takođe, ovaj događaj je prouzrokovao velike suše u Srednjoj Americi i sjeveroistoku Brazila, kao i opštu nestašicu hrane širom Latinske Amerike. Po prvi put, uticaji El Niña prepoznati su na globalnom nivou. Ovaj El Ninjo smatra se temeljem savremenih klimatoloških i okeanografskih istraživanja tog fenomena (Rosenzweig & Hillel, 2008).

El Ninjo iz 1982–1983. godine pokazao je naučnicima da svi El Ninjo događaji i njihove manifestacije nisu isti. Ovaj El Niño je iznenadio klimatološku i meteorološku zajednicu jer je počeo ranije nego inače, već u septembru i oktobru, kada je temperatura istočnog Pacifika na pojedinim mjestima bila viša i za 6°C od prosječnih vrijednosti. Međutim, latinoameričke države su se ekonomski bolje pripremile za dolazak ovog El Ninja, pa njegove socioekonomske posljedice nisu bile toliko izražene kao kod prethodnog. Ovaj

fenomen doveo je do uspostavljanja programa TOGA, koji je omogućio dodatni angažman svjetske naučne zajednice u monitoringu, modeliranju i razumevanju fenomena (Rosenzweig & Hillel, 2008).

El Ninjo iz 1997–1998. godine ponovo je iznenadio naučnu zajednicu zbog svog iznenadnog formiranja, velike amplitude i dugog trajanja. Ovo je bio najvažniji događaj koji je svojom amplitudom nadmašio sve dotad poznate El Ninjo događaje i bio je prvi fenomen čiji su se uticaji redovno naučno, ali i medijski pratili širom svijeta (Rosenzweig & Hillel, 2008).

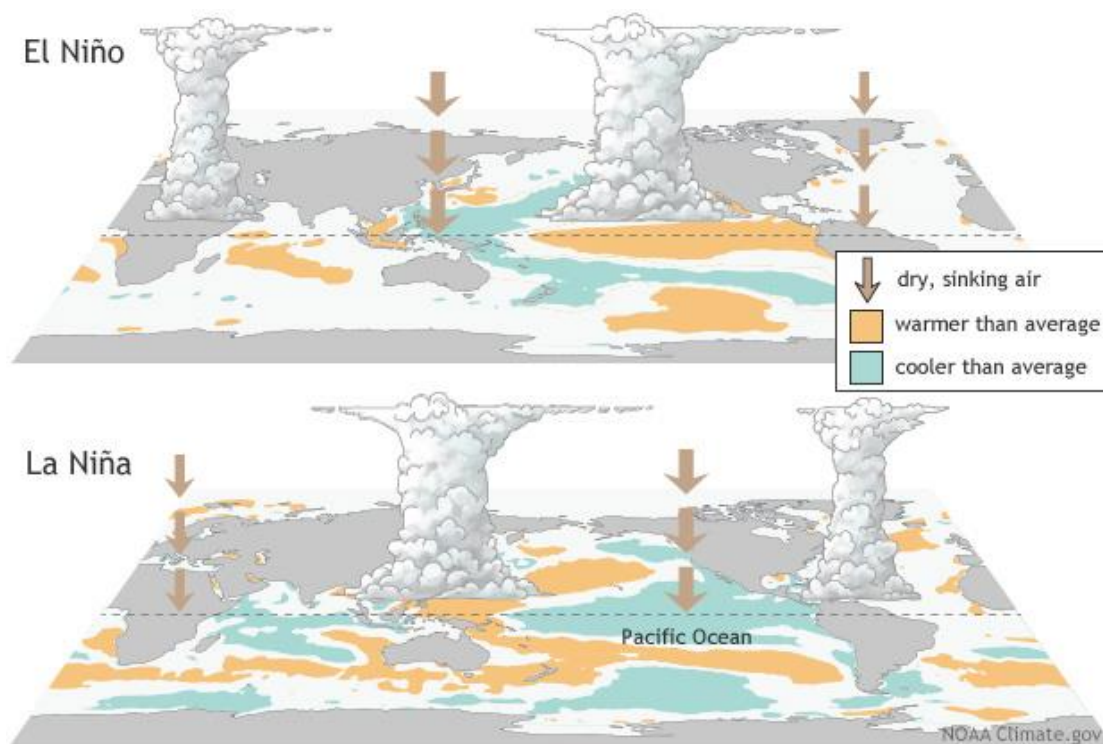


Slika 2. Promatranja El Ninja od 1997. do 1998. s vještačkog satelita TOPEX/Poseidon. Bijela područja pokazuju veliku količinu tople vode na dijelu Tihog okeana zapadno od obala Čilea i Perua. Izvor: Vikipedija

Uprkos njegovoj amplitudi i relativnoj nespremnosti naučne zajednice na njegove efekte, njegovo formiranje predviđeno je šest mjeseci unaprijed, što je omogućilo određenu organizaciju država u pogledu obezbjeđivanja hrane, zdravstvene zaštite i ekonomske pomoći najugroženijima. Takođe, ovaj fenomen omogućio je dugoročni kredibilitet praćenja klime i povećao javnu pažnju na razumijevanje klimatoloških i okeanografskih fenomena (Rosenzweig & Hillel, 2008).

3.6. Promjena ENSO faza

ENSO (El Nino-Southern Oscillation) je ciklični fenomen koji obuhvata tri faze: El Ninjo, La Ninja i neutralnu fazu. Svaka od ovih faza izaziva specifične promjene u atmosferi i okeanu, što ima globalne klimatske efekte.



Slika 3. El Ninjo i La Ninja, izvor: <https://www.climate.gov/enso>

El Ninjo ili topla faza

Topla faza El Ninjo je dio ENSO ciklusa (El Nino-Southern Oscillation), karakterističan značajnim zagrijavanjem površinskih voda u centralnom i istočnom tropskom Pacifiku. Ova faza ima dalekosežne posljedice na globalnu klimu i vremenske obrasce. El Ninjo

počinje slabljenjem ili obrnutim pravcem istočnih pasata koji obično guraju tople površinske vode ka zapadnom Pacifiku. Ovo omogućava toploj vodi da se širi ka istočnom Pacifiku, dok se smanjuje upwelling-uzdizanje hladnih voda iz dubina duž obala Južne Amerike. Topla faza El Ninjo karakteriše se smanjenjem temperaturnog gradijenta između zapadnog i istočnog Pacifika, što destabilizuje atmosfersku cirkulaciju i izaziva anomalije u pritisku i padavinama širom svijeta (Philander, 1990). Jedna od bitnih karakteristika tople faze je ta da je redistribucija toplote u okeanu i povezana promjena u Hadleyevoj cirkulaciji, izaziva pomijeranje tropske kišne zone (ITCZ) prema istočnom Pacifiku (Cane & Zebiak, 1985). Tokom tople faze, temperature površinskih voda u istočnom tropskom Pacifiku rastu za 1-3°C iznad prosjeka (McPhaden et al., 1998). Ove anomalije temperature imaju direktan uticaj na globalnu energetska ravnotežu. Tokom El Ninjo 1997–1998, globalne temperature su dostigle rekordne vrijednosti za to vrijeme (McPhaden, 1999).

Južna oscilacija, koja mjeri razliku u pritisku između Tahitija i Darvina, prelazi u negativnu fazu tokom El Ninjo. Pad atmosferskog pritiska u istočnom Pacifiku i njegov porast u zapadnom Pacifiku destabilizuju regionalnu cirkulaciju vjetrova i povećavaju umjerenost vremenskih uslova (Rasmusson et al., 1982). Redistribucija toplote i promjene u atmosferskoj cirkulaciji tokom tople faze uzrokuju ekstremne vremenske prilike. Kao što su povećane padavine u istočnom Pacifiku i zapadnoj Južnoj Americi, gdje su poplave uobičajene, suše u jugoistočnoj Aziji, Australiji i južnoj Africi zbog smanjenog dotoka vlage iz okeana (Ropelewski & Halpert, 1987). Topla faza El Ninjo povećava učestalost i intenzitet tropskih ciklona u Pacifiku, dok smanjuje aktivnost uragana u Atlantskom okeanu (Bove et al., 1998). El Ninjo iz 1997–1998 bio je jedan od najintenzivnijih zabilježenih događaja. Temperature površinskih voda u istočnom Pacifiku porasle su za više od 3°C iznad prosjeka. Globalne posljedice uključivale su ekstremne poplave u Peruu, rekordne suše u Indoneziji i šumske požare u Australiji (McPhaden, 1999).

La Ninja

Hladni događaji u centralnom dijelu ekvatorijalnog Pacifika nazivaju se različitim terminima, a jedan od najčešće korišćenih je La Ninja. Alternativni izrazi uključuju fraze poput "hladna epizoda". La Ninja faza je hladna faza ENSO ciklusa koja se javlja kada temperature površinskih voda u istočnom i centralnom Pacifiku postanu značajno niže od prosjeka. Tokom ove faze, pojačavaju se pasatni vjetrovi, što omogućava hladnim vodama da se podignu iz dubokih slojeva okeana (Rasmusson & Carpenter, 1982). Ovaj fenomen izaziva promjene u atmosferi koje imaju dalekosežne posljedice na klimatske uslove, padavine i temperature širom svijeta (Trenberth & Caron, 2000).

La Ninja se precizno definiše kao ekstremno sniženje temperature površine mora u ovom regionu, dok manje izražena odstupanja ne spadaju u ovu kategoriju. Ipak, u nekim djelovima svijeta, La Ninja se posmatra kao intenzivan oblik onoga što se smatra uobičajenim vremenskim obrascem.

La Ninja faza nastaje kada se smanjuje temperatura površinskih voda u tropskom Pacifiku, naročito u njegovom istočnom dijelu. Ove promjene izazivaju povećanje snage pasatnih vjetrova koji potiskuju tople površinske vode prema zapadnom Pacifiku, dok hladne, hranljive vode iz dubokih slojeva okeana izlaze na površinu. Ovaj proces, poznat kao upwelling, ima ključnu ulogu u hlađenju površinskih voda i promjeni globalnih vremenskih obrazaca (Rasmusson & Carpenter, 1982).

U periodima kada nije prisutan El Ninjo, topli vodeni bazen obično se nalazi u zapadnom dijelu ekvatorijalnog Pacifika. Ovaj bazen omogućava isparavanje koje doprinosi nastanku oblaka i kišnih sistema, čime obezbjeđuje neophodnu vlagu atmosferi. Kao rezultat toga, u tom regionu se bilježe obilne padavine koje se smatraju uobičajenim i koje su ključne za snabdijevanje vodom u zemljama istočne, južne i jugoistočne Azije, kao i na pacifičkim ostrvima (Michael.H.Glantz, 2002). Ove kiše podržavaju poljoprivredu, hidroenergetiku, vodosnabdijevanje i plovidbu. Istovremeno, u istočnom dijelu Pacifika i duž peruanske obale prisutna je hladna voda koja uzrokuje spuštanje vazduha. Ovaj proces ograničava formiranje oblaka i doprinosi sušnim uslovima u

priobalnim oblastima zapadne Južne Amerike. Ovi uslovi, koji nisu povezani s El Ninjem, obuhvataju i La Ninju i tzv. normalne vremenske obrasce (Michael.H.Glantz, 2002). Kao što možemo zaključiti La Ninja faza dovodi do pojačane aktivnosti monsuna i obilnih padavina u jugoistočnoj Aziji i Australiji, dok u Južnoj Americi izaziva sušu (McPhaden et al., 1998) .

La Ninja i normalni uslovi često djeluju vrlo slični, posebno za ljude koji žive u zapadnim delovima Pacifičkog basena. Međutim, tek krajem 20. vijeka ovaj fenomen privukao je značajniju pažnju medija. La Ninja se definiše kao period u kojem temperature površine mora u centralnom i istočnom dijelu ekvatorijalnog Tihog okeana postaju znatno niže od prosjeka tokom određenog vremenskog intervala (Michael.H.Glantz, 2002). Ovakvi uslovi se javljaju kada vjetrovi koji duvaju prema zapadu postanu vrlo jaki, kada indeks južnih oscilacija dostigne visoke pozitivne vrijednosti, a termoklina u zapadnom Pacifiku opadne, dok u istočnom Pacifiku dolazi do njenog približavanja površini okeana (Michael.H.Glantz, 2002).

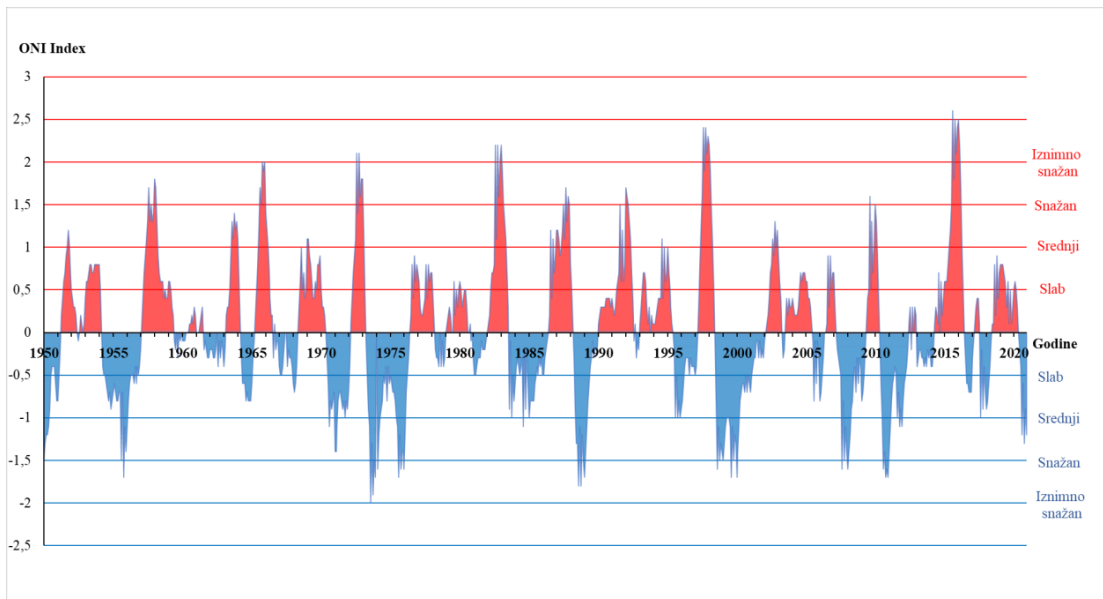
Događaji vezani za La Ninju mogu varirati po intenzitetu – od slabih, preko umjerenih i jakih, do izuzetno snažnih. Na primjer, istraživači su ocijenili La Ninju iz perioda 1988-89 kao snažnu, dok je ona iz 1995. bila slabog intenziteta. Događaji iz sredine 1980-ih, poput epizode iz 1984-85, takođe su klasifikovani kao slabi. Poređenja intenziteta pokazala su da je hladna epizoda iz 1998-2000. bila slična po snazi epizodama iz 1970-71. i 1973-76, snažnija od one iz sredine 1980-ih, ali slabija od epizode iz 1988-89 (NCEP, 2000).

Ispostavilo se da su globalni uticaji La Ninja generalno suprotni od onih koji prate El Ninjo. Na primjer, suše obično prate El Ninjo u sjeveroistočnoj Australiji, Indoneziji i južnim Filipinima, dok jake kiše i poplave imaju veću vjerovatnoću da će La Ninja izazvati akcenat na istim lokacijama. Drugi primjer bi bila obalna zona sjevernog Perua koja je sklona poplavama tokom El Ninja, ali se obično vraća u sušne uslove tokom normalnih i La Ninja perioda (Michael.H.Glantz, 2002).

Neutralna faza

Neutralna faza predstavlja period kada nema značajnih promjena u temperaturama površinskih voda Pacifika. U ovoj fazi, pasatni vjetrovi su uobičajeni, a temperaturni gradijent između zapadnog i istočnog Pacifika je stabilan. Globalne temperature tokom neutralne faze obično se kreću oko prosječnih vrijednosti (Philander, 1983).

U neutralnoj fazi, globalne temperature su uglavnom stabilne i ne dolazi do velikih varijacija u odnosu na dugoročne prosjeke (Sarachik & Cane, 2010). Padavine u ovoj fazi obično se distribuiraju prema uobičajenim obrascima za određene regione, sa normalnim nivoima padavina u tropskim područjima, dok u drugim djelovima svijeta padavine ne prelaze prosječne vrijednosti (Maradin, 2005).



Slika 4 Prikaz El Ninjo (crveno) i La Ninja (plavo) događaja prema ²ONI indeksu 1950.-2020.
Izvor: NOAA (2021)

Promjene u fazama ENSO-a imaju značajan uticaj na vremenske prilike u udaljenim djelovima svijeta, što je predmet posebnog interesovanja naučnika kroz proučavanje telekonekcija. Telekonekcije predstavljaju veze između klimatskih događaja u različitim djelovima svijeta.

3.7. Uticaj El Ninja na morske i kopnene ekosisteme

Tokom El Ninja, obala Južne Amerike u Tihom okeanu, poznata po visokoj biološkoj produktivnosti, prolazi kroz velike promjene. U normalnim uslovima, hladna voda bogata nutrijentima poput fosfata i nitrata izlazi na površinu iz dubljih slojeva kroz proces „upwellinga“ (usled pomeranja toplih površinskih voda ka zapadu), što omogućava da ovaj ekosistem bude izuzetno bogat (Rossi & Soares, 2017). Međutim, kada nastupi El Ninjo, dolazi do porasta temperature i spuštanja termokline (graničnog sloja između toplijih i hladnijih voda), što blokira „upwelling“ i zaustavlja dotok hranljivih materija iz dubina. To dovodi do nestanka određenih vrsta i migracija riba, dok ukupna biološka produktivnost značajno opada. Povišena temperatura privlači tropske vrste iz toplijih dijelova Pacifika i Srednje Amerike (Rossi & Soares, 2017). Usljed promjena koje El Ninjo donosi, uslovi često prevazilaze ono što većina organizama može da toleriše u pogledu koncentracije kiseonika, saliniteta i temperature, što uzrokuje uginuća i migracije raznih vrsta (Rossi & Soares, 2017). Ove promjene pogađaju i čitav lanac ishrane, jer smanjenje nutrijenata dovodi do pada broja planktonskih organizama, koji su ključni za održavanje ekosistema. Na kraju, slabljenje Humboldtove struje predstavlja opadanje vitalnosti organizama koji od nje zavise (Rosenzweig & Hillel, 2008). Promjene u ekosistemima i lancima ishrane koje izaziva El Ninjo stvaraju ozbiljne socioekonomske probleme za lokalno stanovništvo, posebno u ribarstvu. Nedostatak određenih vrsta ribe, koje su ključne za ribarsku industriju i ekonomiju, dovodi do velikih gubitaka. Primjer za to je krah ribarstva u Peruu tokom El Ninja 1972–1973, što je uzrokovalo ekonomske probleme koji su se osjećali decenijama kasnije (Rosenzweig & Hillel, 2008).

Još jedna posljedica El Ninja je šteta izazvana na koralima i vrstama koje žive na koralnim grebenima. Koralni organizmi su veoma prilagođeni specifičnim fizičkim i hemijskim uslovima i osjetljivi su na promjene. Zbog povišenih temperatura tokom El Ninja dolazi do „izbjeljivanja“ koralna – gubitka simbiotskih algi koje im daju pigment i koje su ključne za njihov opstanak (Rossi & Soares, 2017). Ako visoke temperature potraju, koralni mogu izumrijeti u roku 2-4 nedelje, što negativno utiče na koralne grebene i biodiverzitet koji oni podržavaju. Izbijeljeni grebeni podržavaju manju biološku raznovrsnost, kraće lance ishrane i nižu produktivnost (Glynn, 1989).

Iako je koralna smrtnost kratkoročna posljedica El Ninja, dugoročne promjene utiču na ribe i organizme koji zavise od grebena. Šteta na koralnim grebenima ima ozbiljan uticaj na lokalno stanovništvo u Latinskoj Americi, posebno u Centralnoj Americi i Belizeu, koje često zavisi od stabilnosti koralnih ekosistema (Bertrand et al., 2020). Koralni grebeni su takođe važni za proučavanje istorije El Ninja, jer njihov skelet bilježi uslove u kojima su živjeli, omogućavajući rekonstrukciju klimatskih promjena hiljadama godina unazad. To je dragocjeno za razumijevanje današnjeg uticaja El Ninja i procjenu njegovih efekata u prošlosti (Bertrand et al., 2020).

Iako se uticaj El Ninja najviše istražuje na morskim ekosistemima, ovaj fenomen ima značajan uticaj i na kopnene ekosisteme (Holmgren et al., 2001). Jedan od najpoznatijih primjera na kopnu je transformacija pustinja duž zapadne obale Južne Amerike, što je još Francisco Pizzaro opisivao. Tokom El Ninja, zbog povećane količine padavina, obalne pustinje postaju zelene i travnate. U Čileu su, na primjer, zabilježena povećanja travnatih zajednica i do 200% tokom El Ninja (Rosenzweig & Hillel, 2008). Povećana količina padavina ima još jedan značajan efekat – dolazi do naglog porasta populacije sitnih sisara, naročito glodara, koji brzo reaguju na promjene u meteorološkim uslovima. Veći broj glodara donosi i socioekonomske posljedice, kao što su štete na usjevima i opasnost po zdravlje ljudi, jer su glodari prenosnici krpelja i bolesti koje mogu ugroziti lokalno stanovništvo (Jakšić, 2001). El Ninjo takođe utiče na obalne ekosisteme, uključujući morske ptice i morske lavove. Njihova primarna hrana, ribe, tokom El Ninja migrira na veće dubine ili udaljenosti, pa su ptice i morski lavovi primorani da pređu daleke razdaljine u potrazi za hranom (Rosenzweig & Hillel, 2008). Zbog toga morske ptice često napuštaju svoje mlade, što uzrokuje gubitak cijele generacije ptica, a time i

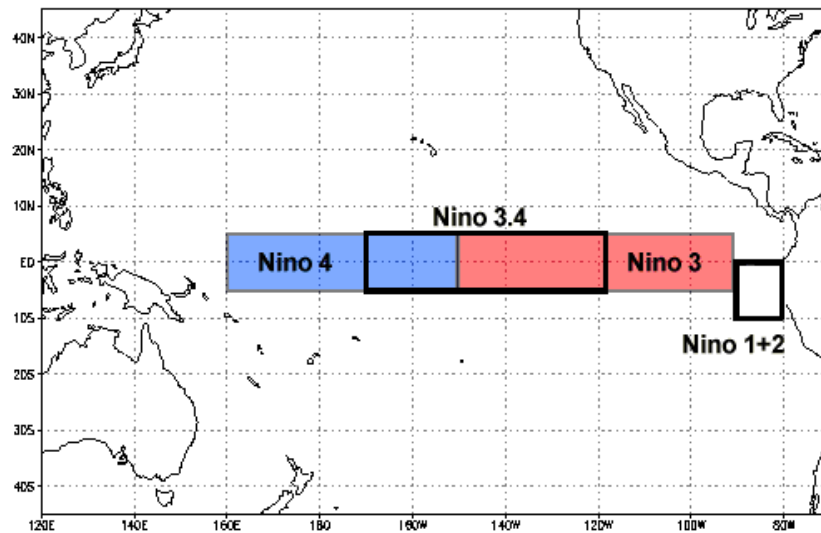
smanjenje količine guana (ptičjeg izmeta koji se koristi kao đubrivo). Ovaj gubitak direktno pogađa poljoprivredu. Populacija morskih lavova takođe značajno opada – kod obala Perua ona se može smanjiti i do 25% tokom godina El Ninja, jer mladunci nisu u stanju da pređu velike udaljenosti u potrazi za hranom (Rosenzweig & Hillel, 2008)

4. BAZA PODATAKA I METODI ISTRAŽIVANJA

Za master rad korišćeni su podaci za globalnu temperaturu i fenomen ENSO. Globalna temperatura razmatrana je osnovu najnovijeg seta podataka HadCRUT-5 mreže, koji je razvio Haldey Centar (Hadley Centre) u Britaniji i čuveni britanski Univerzitet Istočna Anglia (UEA - University of East Anglia) u Noriču, odnosno njihov Centar za klimatska istraživanja (Hadley Centre and the Climatic Research Unit at the University of East Anglia). U suštini, HadCRUT-5 podaci dati su u vidu odstupanja od prosečne temperature za bazni period 1961-1990. godine za gridove od $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ geografske širine i dužine koji porivaju cijelu planetu. Do sada je bilo nekoliko verzija ovih podataka, označenih ciframa od 0 do 5, a najnovija ažuriranja mrežnih podataka urađena su 2020. godine (HadCRUT-5) i uključuju veći broj meteoroloških i okeanskih stanica ([Morice et al., 2021](#); [Osborn et al., 2021](#)). Prethodna baza podataka (HadCRUT-4) brojala je 5 583 stanice, dok verzija 5 (HadCRUT-5) koristi podatke sa skoro duplo više stanica - ukupno 10 639 stanice ([Osborn et al., 2021](#)).

Fenomen ENSO prati se u nekoliko regiona u ekvatorijalnom dijelu Pacifika, koji su označeni kao: NINO 4, NINO 3.4, Nino 3 i Nino 1+2 ([slika 1](#)). Varijacije ENSO fenomen prati Nacionalna uprava za okeane i atmosferu Sjedinjenih Američkih Država (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration). S obzirom na to da vazduh u troposferi, posebno u prizemnom sloju, osnovne karakteristike prima od podloge, kada se dešavaju razlike u površinskoj temperaturi vode iznad ekvatorijalnog Pacifika u odnosu na uobičajeno stanje, to se manifestuje i na vazduh iznad podloge, uslovljavajući time i promjene u vazdušnom pritisku, odnosno promjene u oscilaciji vazduha. Te

promjene u oscilaciji vazduha su u naučnoj literaturi poznate kao Južna oscilacija (SO). Zato se ovaj poremećaj u sistemu okean-atmosfera zajednički naziva ENSO. Za potrebe ovog rada korišćeni su podaci za površinsku temperaturu vode Pacifika za region NINO3.4. Pomenuti region zahvata prostor u Tihom okeanu između 5°N - 5°S i 170°W - 120°W . U odnosu na prosječnu vrijednost površinske temperature vode u pomenutom dijelu Pacifika, pozitivna odstupanja ukazuju na pojavu El Ninja, a negativna odstupanja ukazuju na La Ninju.



Slika 5. ENSO regioni u kojima se mjeri površinska temperatura vode u ekvatorijalnom dijelu Tihog okeana (<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/sst>).

Za oba parametra (globalna temperatura i ENSO) korišćeni su podaci za period od 124 godine (1901-2024), a izvori sa kojih su preuzeti podaci dati su [tabeli 1](#). Potrebno je istaći da podaci za 2024. godinu nijesu bili potpuni. Naime, za globalnu temperaturu nedostajali su podaci samo za decembar mjesec 2024. godine, dok je posljednje ažuriranje za ENSO fenomen bilo zaključno sa majom, odnosno za jun i naredne mjesece nije bilo podataka za NINO3.4 region.

Tabela 1. Izvori podata, jedinica mjere i analizirani period za globalnu temperaturu sa HadCRUT-5 mreže i ENSO fenomen

Parametar	Izvor	Jedica mjere	Period
Temperatura (HadCRUT-5)	https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow	°C	1901-2024
ENSO (NINO3.4)	https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Nino34/	°C	1901-2024

Istraživanje u okviru teme master rada realizovano je primjenom sljedećih metoda:

- Trend komponenta, pokazuje opšti pravac kretanja globalne temperature i ENSO fenomena.
- Metod kategorizacije primjenjen je za svrstavanje globalne temperature i ENSO indeksa (pokazatelj promjena ENSO), a za ovu namjenu korišćen je metod normalizovanih odstupanja.
- Metodom korelacije ispitana je statistička povezanost između globalne temperature i pokazatelja ENSO (NINO3.4).
- Metod diferencije korišćen je za uporedni prikaz subperioda u okviru cijelog 124-godišnjeg perioda.

Trend je proračunat metodom najmanjih kvadrata, a značajnost trenda je ispitana na nivou od 95% i 99% ($p < 0,05$ i $p < 0,01$), pomoći t -testa po obrazcu (Haan, 1977):

$$t = R \sqrt{\frac{n-2}{1-R^2}} = \frac{b_1}{s \sqrt{SS_x}}$$

b1 – koeficijent linearne regresije,

s – standardna devijacija,

SSx - sume kvadrata nezavisno promenljive (vrijeme u analizi trenda).

Metod normalizovanih odstupanja koristi standardnu devijaciju kao mjeru veličine anamalija iznad ili ispod prosječne vrijednosti. Kada se utvrdi veličina odstupanja u standardnim devijacijama (SD), dobijena vrijednost svrstava se u određenu klasu ([tabela 2](#)). Statistička povezanost između dvije varijable (globalne temperature i ENSO feonomena) ispitana je pomoću Pirsonovog koeficijenta korelacije. Direktnu vezi pokazuju pozitivne vrijednosti koefecijenda (do +1), a indirektnu negativne vrijednosti (do -1). Zanačajnost veze između dvije pomenute varijable, takođe je ispitana na nivou rizika od $p < 0.05$ i $p < 0.01$. Prostom diferencijom ispitana je razlika u temperaturi između 20-godišnjih perioda (1901-1920, 1921-1940,.... i poslednji 24-godišnji period, 2001-2024) u odnosu na bazni period prosječne globalne temperature 1961-1990. godine.

Tabela 2. Klasifikacija globane temperature i NINO3.4 prema standardnoj devijaciji (SD)

Karakteristika	Klase (SD)	Klasa temperature	Klasa NINO3.4
Veoma hipernormalno	> 2	Veoma toplo	Veoma jak El Ninjo
Hipernormalno	1 – 2	Toplo	Jak El Ninjo
Normalno	-1 – 1	Normalno	Normalno
Subnormalno	-1 – (-2)	Hladno	Jaka La Ninja
Veoma subnormalno	< -2	Veoma hladno	Veoma jaka La Ninja

5. REZULTATI I DISKUSIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

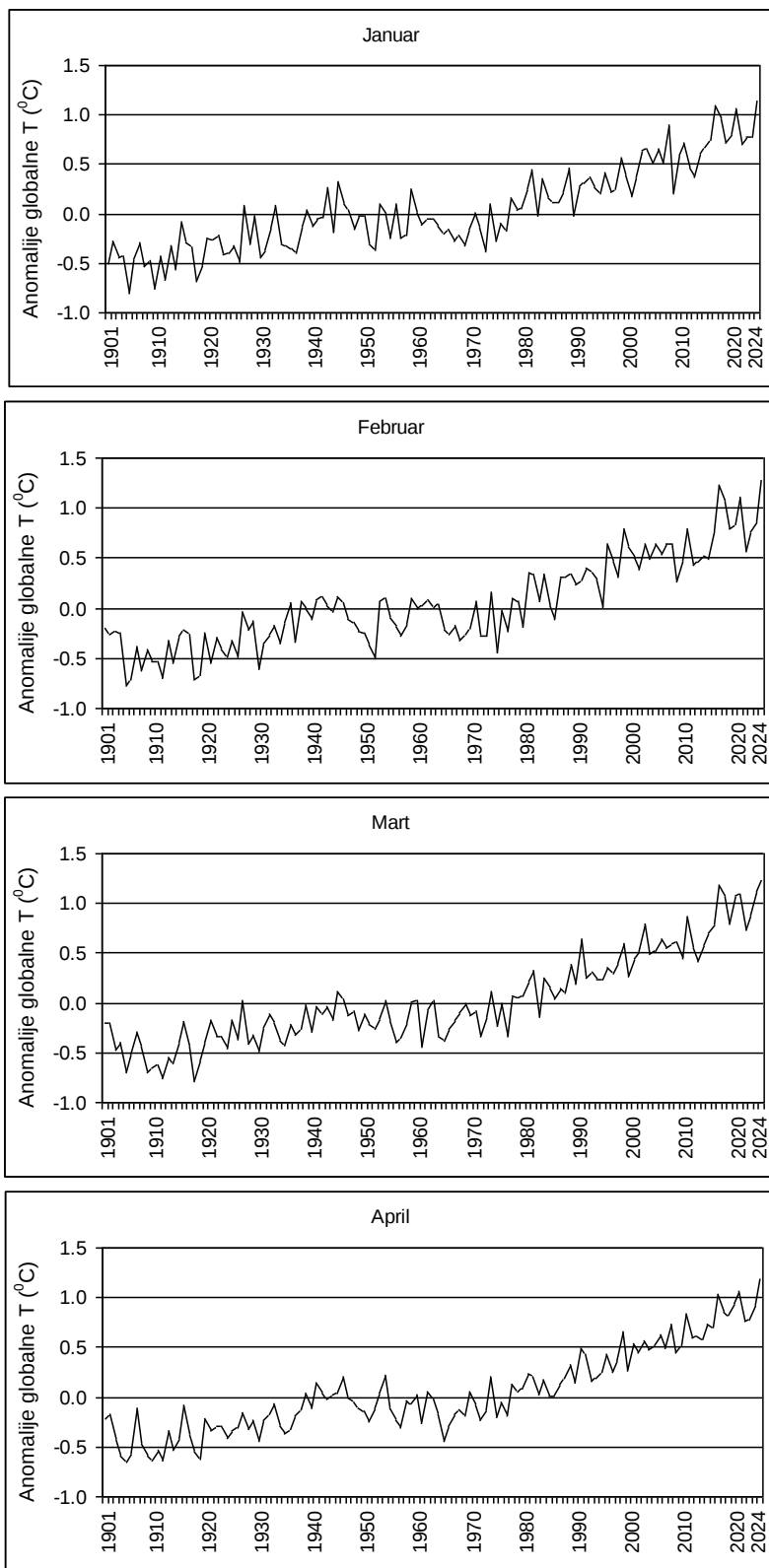
5.1. Globalna temperatura vazduha

5.1.1. Anomalije srednjih mjesečnih globalnih temperatura za period 1901-2024.

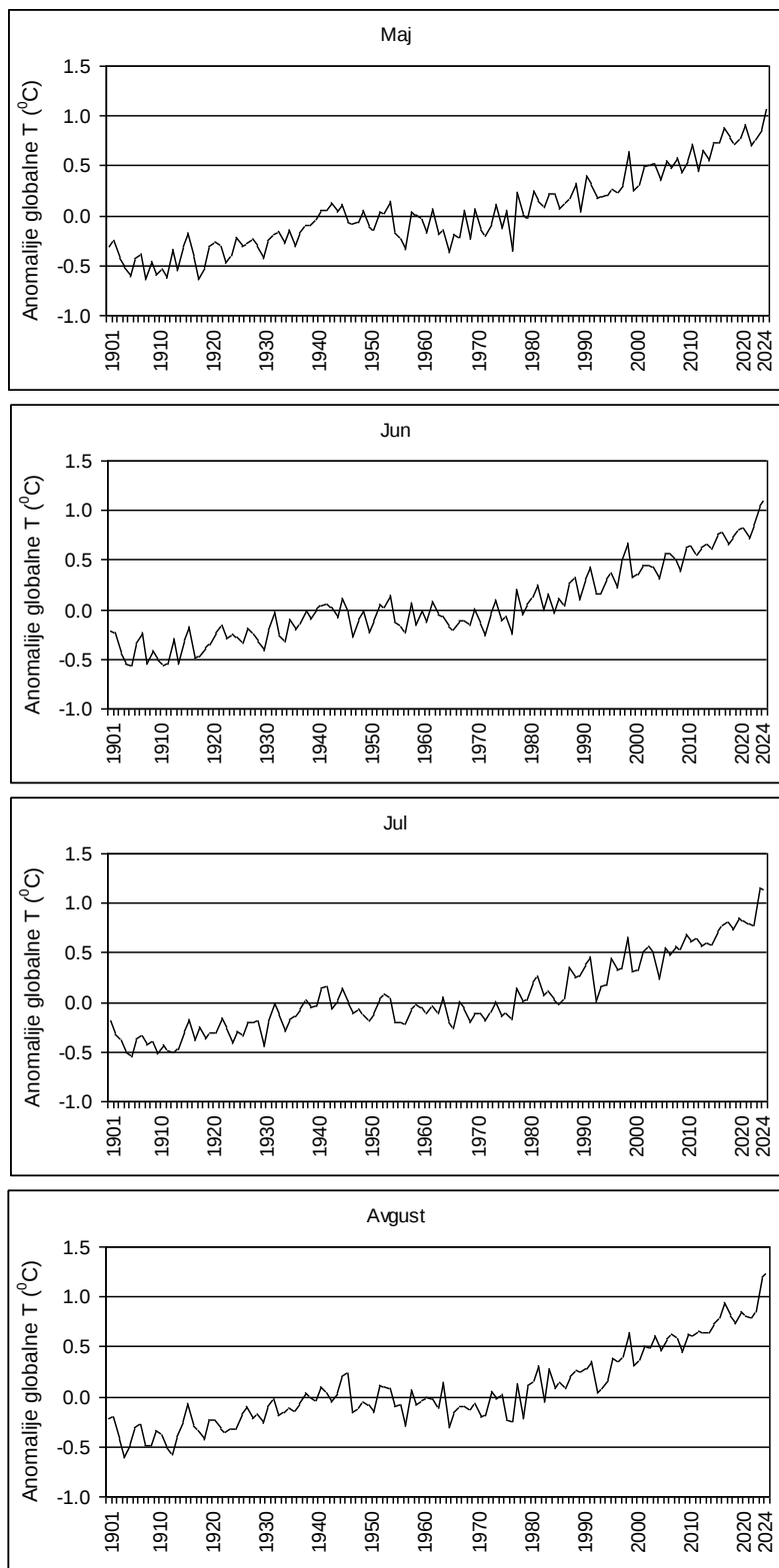
Prosječna godišnja globalna temperatura za period 1961-1990. godine iznosila je 14⁰C. Nažalost, globalne mreže ne daju prosječnu globalnu temperaturu na mjesečnom nivou, već samo anomalije. U svakom slučaju, anomalije globalne temperature odnose se na prosjek klimatskog perioda 1961-1990. godine.

Rezultati analize pokazuju da je npr. u januaru mjesecu, početkom 20. vijeka, sve do sredina 1920-ih godina, prosječna temperatura bila ispod klimatske normale za period 1961-1990. godine. U periodu od sredine 1920-ih do 1976. godine odstupanja su bila oko normale, ali u granicama $\pm 0,5^0\text{C}$. Od 1977. godine registruju se pozitivne anomalije, uglavnom veće od 0,5⁰C poslije 2000-te godine. Prema HadCRUT-5, prosječno najhladniji januar registrovan je 1904. godine, sa odstupanje od -0,81⁰C, a najtopliji 2024. godine, sa odstupanjem od 1,15⁰C. Slične kvalitativne karakteristile se primjećuju i kod ostalih mjeseci - dominacija negativnih odstupanja u prvoj polovini perioda, a pozitivnih u drugoj polovini posmatranog perioda ([slike 2, 3 i 4](#)). Zajednička karakteristika je i ta da su najveća negativna odstupanja registrovana na samom početku perioda (početkom 1900-ih), a najveća pozitivna odstupanja krajem perioda (početkom 2020-ih godina).

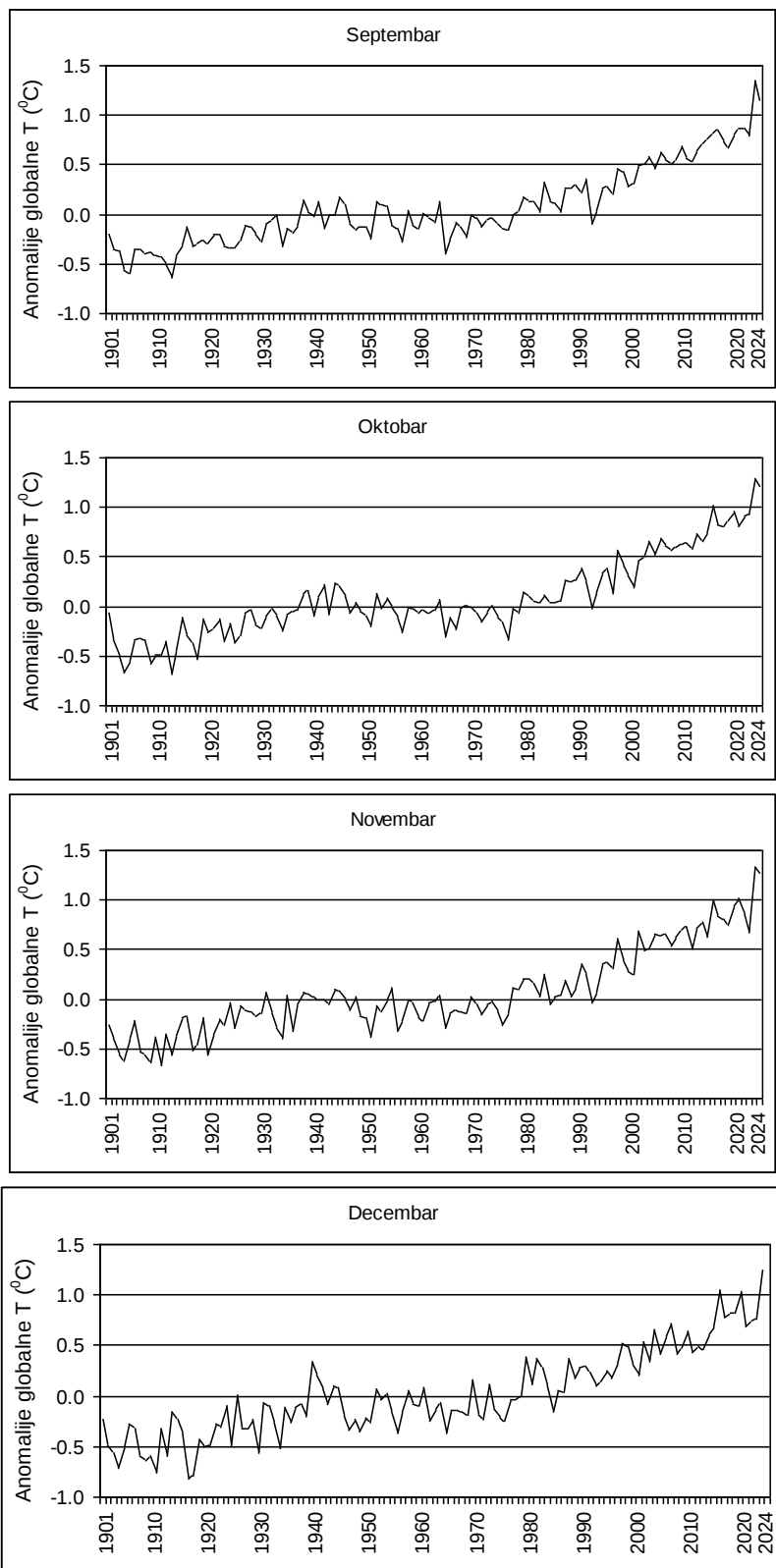
Gotovo svi mjeseci bili su najtopliji 2024. godine. Izuzetak su jedino jul, septembar i novembar, koji su u cijelom 124-godišnjem periodu bili najtopliji 2023. godine. Tokom 2024. godine, svi mjeseci imali su višu srednju temperaturu u rasponu od 1,08⁰C (maj) do 1,25⁰C (mart i novembar) u odnosu na klimatsku normalu. Najviše pozitivno odstupanje u cijelom periodu od 124. godine imao je septembar 2023. godine (+1,35⁰C). Ovo su jasni pokazatelji da su u 20. i dosadašnjem dijelu 21. vijeka 2024. i 2023 bile dvije najtoplije godine.



Slika 6. Anomalije srednjih temperatura za period 1901-2024. za januar-april u odnosu na klimatsku normalu (1961-1990)



Slika 7. Anomalije srednjih temperatura za period 1901-2024. za maj-avgust u odnosu na klimatsku normalu (1961-1990)

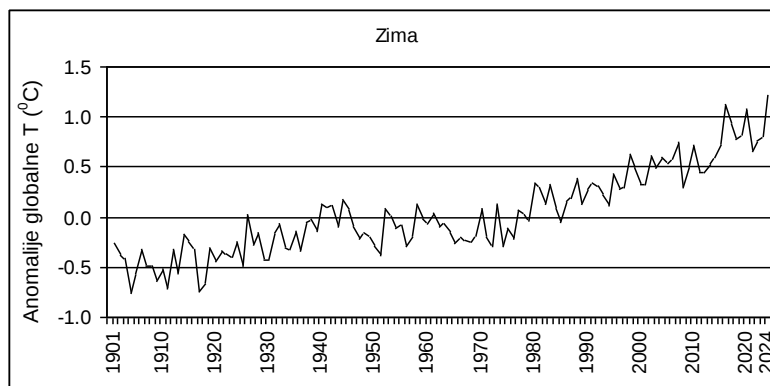


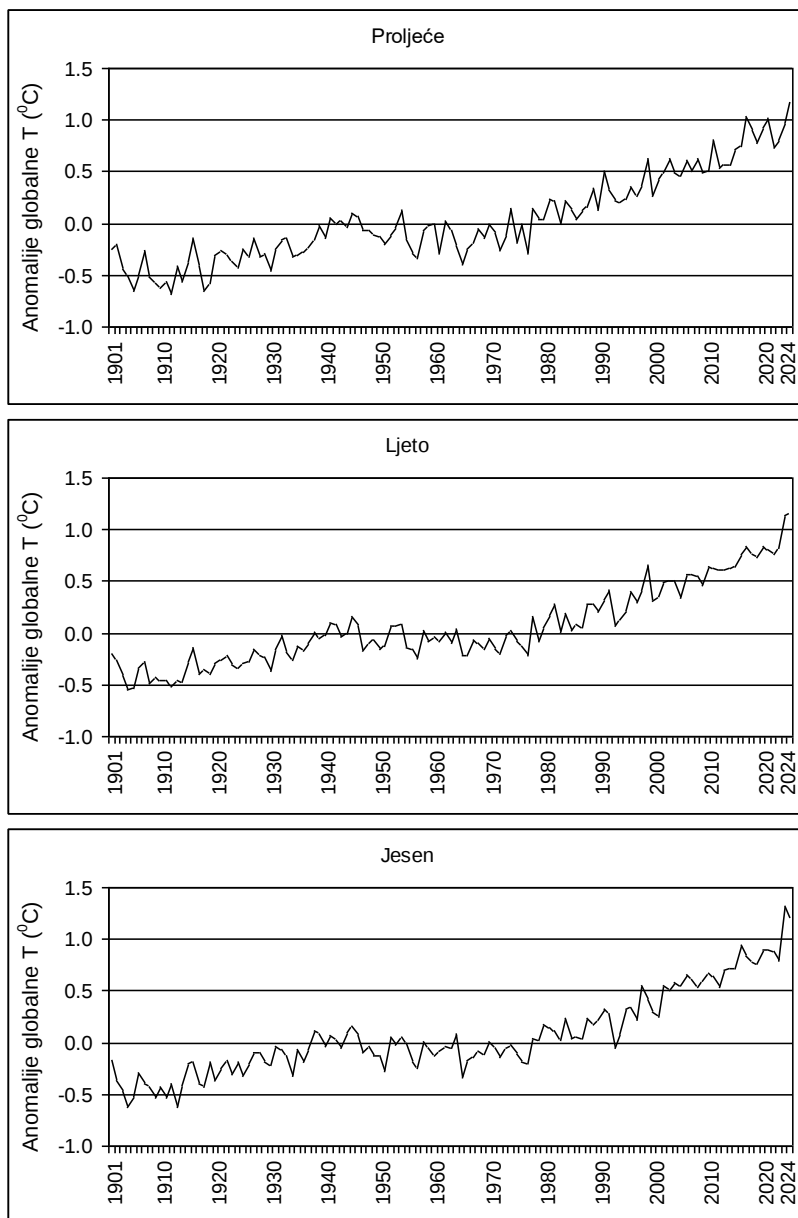
Slika 8. Anomalije srednjih temperatura za period 1901-2024. za septembar-decembar u odnosu na klimatsku normalu (1961-1990)

5.1.2. Anomalije srednjih sezonskih globalnih temperatura za period 1901-2024.

Odstupanja srednjih sezonskih temperatura su u skladu sa mjesečnim vrijednostima. Zimi su od 1980-ih godina dominantna pozitivna odstupanja, koja su od 2000-ih iznad $0,5^{\circ}\text{C}$, a krajem perioda i iznad $1,0^{\circ}\text{C}$. Tokom analiziranog 124. godišnjeg perioda, najtoplija zima registrovana je upravo 2024. godine (decembar 2023 + januar i februar 2024). Zima 2024. godine, globalno je bila toplija u odnosu na uobičajenu srednju temperaturu za ovo godišnje doba za $1,23^{\circ}\text{C}$.

Takođe, prolječna i ljetnja sezona bile su najtoplije 2024. godine. U odnosu na uobičajenu prosječnu globalnu temperaturu, proljeće pomenute godine bilo je toplije za $1,18^{\circ}\text{C}$, a ljeto za $1,16^{\circ}\text{C}$. Jedino jesenja sezona nije bila najtoplija 2024, već 2023. godine (+ 1.32°C). Na listi najtoplijih jeseni na našoj planeti, 2024. bila je druga u nizu, sa odstupanjem od 1.20°C . U dosadašnjem dijelu 21. vijeka, gotovo sva godišnja doba bila su toplija od prosječnog globalnog toplotnog stanja za više od $0,5^{\circ}\text{C}$, a krajem perioda toplija i za više od $1,0^{\circ}\text{C}$ ([slika 5](#)). Drugim riječima, može se konstatovati da globalno zagrijavanje ne samo da postoji, već da se intenzivira (pojačava) u poslednje vrijeme, što se ističe i u najnovijem Šestom Izvještaju [IPCC \(2021\)](#). Dakle, dosadašnji rezultati jasno pokazuju da globalna temperatura raste, što je u ovom radi za sada i dokazano, i to na osnovu najpriznatije globalne baze podataka (HadCRUT-5 mreže).



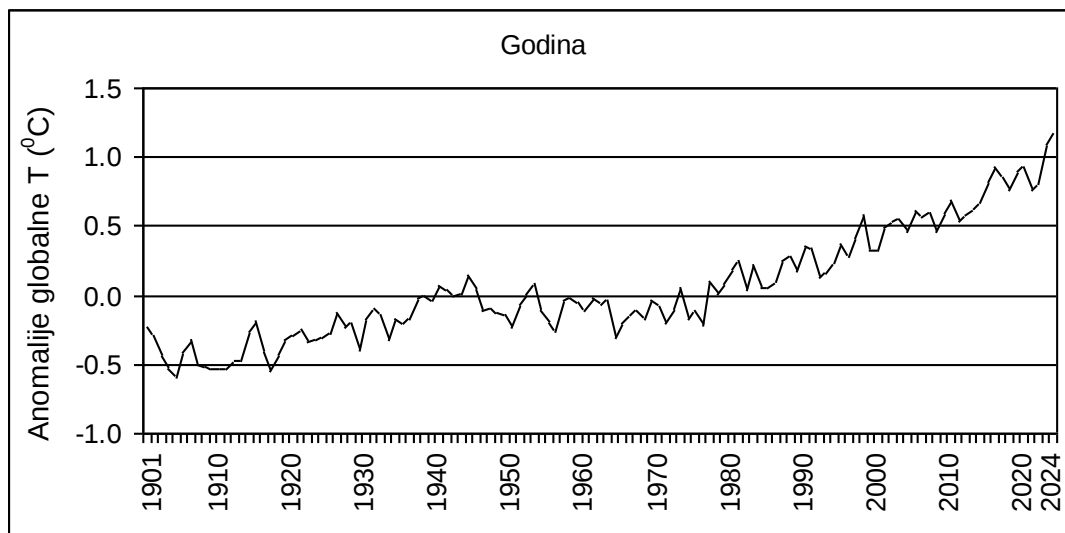


Slika 9. Anomalije srednjih sezonskih temperatura za period 1901-2024. u odnosu na klimatsku normalu (1961-1990)

5.1.3. Anomalije srednjih godišnjih globalnih temperatura za period 1901-2024.

Kada se govori o porastu globalne temperature, to se prevashodno odnosi na godišnjem nivou. Podaci predloženi u ovom radu, ukazuju na dominaciju negativnih anomalija srednje godišnje globalne temperature sve do 1976. godine. Nakon pomenute godine,

svaka godina bila je prosječno toplija na globalnom nivou u odnosu na klimatsku normalu. Poslije 2000-te godine, gotovo svaka godina bila je toplija prosječno za više od $0,5^{\circ}\text{C}$ (slika 6), a posljednje dvije godine analiziranog perioda (2023. i 2024.) bile su toplije za više od $1,0^{\circ}\text{C}$. U prethodnih 124. godine (1901-2024), najtoplija godina na našoj planeti bila je posljednja godina analiziranog perioda, tj. 2024., sa odstupanjem od $1,19^{\circ}\text{C}$. Dakle, ako je prosječna globalna temperatura za period 1961-1990. godine iznosila 14°C , a za 2024. godinu ona je bila $15,2^{\circ}\text{C}$.



Slika 10. Anomalije srednjih godišnjih temperatura za period 1901-2024. u odnosu na klimatsku normalu (1961-1990)

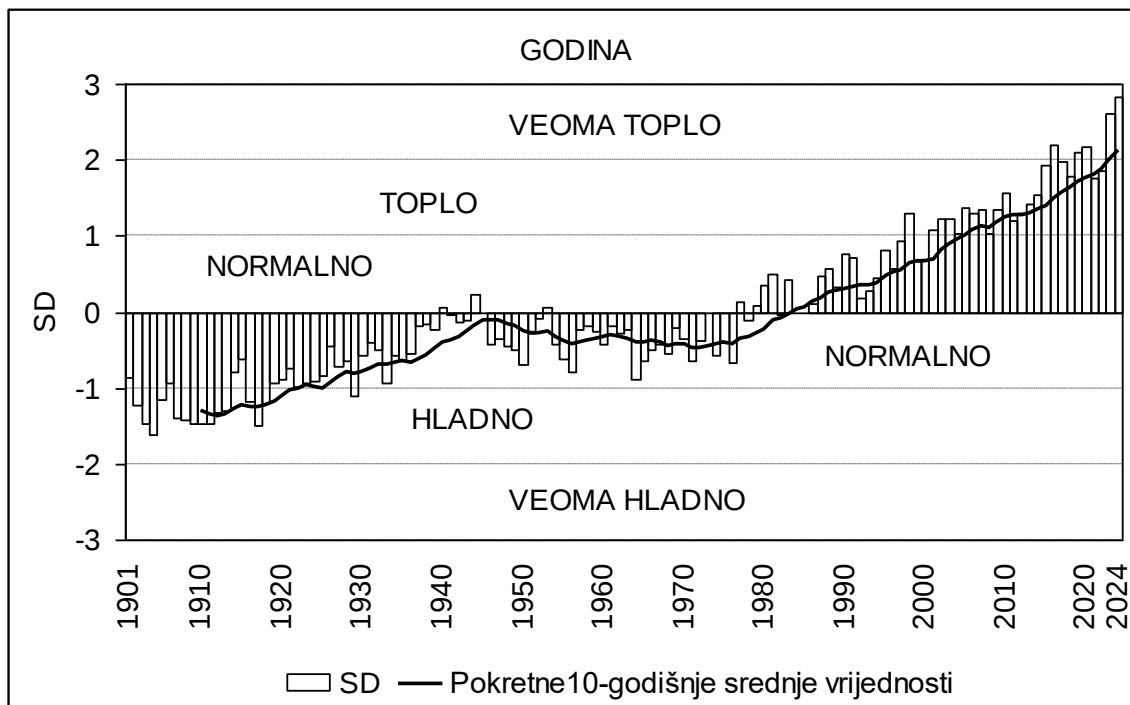
Porast globalne temperature od $1,2^{\circ}\text{C}$, odnosno današnja vrijednost (2024. godine) od $15,2^{\circ}\text{C}$, značajno je viša u odnosu na početne projekcije IPCC s kraja 20. vijeka i Pariski sporazum iz 2015. godine. Naime, prema Pariskom sporazumu, koga su potpisale sve države svijeta, bilo je predviđeno da se zaustavi rast globalne temperature na $1,5^{\circ}\text{C}$ do 2100. godine. Međutim, IPCC je u posljednjem Izvještaju (2021) nagovijestio da bi globalna temperatura već do 2040. godine mogla da bude viša i do $1,5^{\circ}\text{C}$ u odnosu na klimatsku normalu. Na osnovu dosadašnjih rezultata, vrlo vjerovatno da će se posljednje

procjene IPCC i obistiniti, odnosno da će do 2040. godine prosječna godišnja globalna temperatura biti viša za 1,5°C u odnosu na uobičajeno toplotno stanje.

Veće je pomenuto da su početko 20. vijeka registrovane najniže, a krajem analiziranog perioda (dosadašnji dio 21. vijeka) najviše vrijednosti globalne temperature. U ovom dijelu data je egzaktna klasifikacija godina prema vrijednostima standardizovanih anomalija. Generalno, dobijeni rezultati su pokazali da je tokom prvih 15 godina (1901-1915) godovo svaka godina klasi *hladno*. *Veoma hladnih* godina nije bilo u posmatranom 124. godišnjem periodu. Nakon toga slijedi jedan duži period sve do sredine 1990-ih godina sa kolebanjima srednje godišnje temperature u granicama *normalnog opsega* (od -1 do +1 SD). Međutim, već od početka 1980-ih godina počinju da se registruju isključivo pozitivna odstupanja, i to sve veća, tako da se 1998. godina javlja kao prva u cijelom 124-godišnjem periodu koja je pripadala klasi *toplo*. U periodu 2001-2015. svaka godina pripadala je klasi *toplo*. Prva godina koja je ocijenjena kao *veoma topla* bila je 2016. Posle pomenute godine još četiri puta su registrovane *veoma tople* godine: 2019, 2020, 2023. i 2024. godina. Dakle, svih pet veoma toplih godina na globalnom nivou zabilježene su u poslednjih 9 godina.

Analizirajući pokretne 10-godišnje vrijednosti, grfički prikaz ([slika 7](#)) jasno pokazuje da je prva dekada pripadala klasi hladni, a zatim se uočava uzlazni trend sve do sredine 1940-ih godina. Od tada pa do početka 1980-ih godina, pokredne srednje vrijednosti su i dalje ispod prosjeka, ali se sve do sredine 1970-ih godina ne uočava uzlazni trend. Štaviše, u ovom periodu (od sredine 1940-ih do sredine 1970-ih godina) prisutan je blagi trend pada globalne temperature. Od sredine 1970-ih godina, pokretni srednjaci imaju sve veće vrijednosti, a od početka 1980-ih godina pa do kraja posmatrane vremenske serije dobijaju pozitivan znak. Dakle, na osnovu pokretnih 10-godišnjih srednjih vrijednosti period od 124. godine se može podijeliti na tri subperioda. Prvi subperiod je od 1901. do sredine 1940-ih godina kada srednja godišnja globalna temperatura ima tendenciju rasta. Drugi period je od sredine 1940-ih do sredine 1970-ih godina kada se ne učava vidljiv trend porasta ili pada globalne temperature. Treći subperiod je od sredine 1970-ih godina

pa do kraja vremenske serije (do 2024) kada je jasno uočljiva linija trenda koja pokazuje porast globalne temperature.



Slika 11. Klasifikacija srednje godišnje globalne temperature izrežane preko standardizovanih devijacija za period 1901-2024. godine

5.1.4. Diferencija prosječnih globalnih temperatura za 20-godišnje subperiodu u odnosu na bazni period 1961-1990.

Kako bi se jasnije vidjelo kako se prosječna globalna temperatura mijenjala u periodu 1901-2024. godine, izračunata su prosječna odstupanja za 20-godišnje periode. U odnosu na bazni period (1961-1990), januarska prosječna globalna temperatura je u podperiodu 1901-1920. godine bila niža za $0,44^{\circ}\text{C}$. I podperiod 1921-1940. godine bio je hladniji ($-0,23^{\circ}\text{C}$), ali gotovo duplo manje hladniji u odnosu na prehodni. I naredna dva podperioda (1941-1960. i 1961-1980) bili su hladniji od prosječne januarske temperature, ali je ta negativna razlika bivala sve manja. Već u narednom podperiodu (1981-2000), prosječna globalna temperatura u januaru mjesecu bila je viša od klimatske normale za $0,26^{\circ}\text{C}$.

Najzad, poslednji podperiod (2001-2024) topliji je za čak 0,69°C u odnosu na klimatsku normalu (tabela 3).

Zajednička karakteristika za sve mjesece je da su prva četiri 20-godišnja podperioda bila hladnija u odnosu na klimatsku normalu, a poslednja dva podperioda toplija. U poslednjem podperiodu (2001-2024), najintenzivnije se zagrijavaju mart, oktobar i novembar mjesec (0,76°C). Primjera radi, mart mjesec je na našoj planeti sada (2001-2024) topliji za čak 1,26°C u odnosu na podperiod 1901-1920. godine.

Tabela 3. Diferencije (°C) srednjih mjesečnih globalnih temperatura za 20-godišnje subperiode u odnosu na klimatsku normalu perioda 1961-1990.

Period	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC
1901-1920	-0.44	-0.46	-0.49	-0.44	-0.45	-0.41	-0.39	-0.36	-0.38	-0.40	-0.44	-0.51
1921-1940	-0.23	-0.23	-0.27	-0.22	-0.23	-0.19	-0.17	-0.15	-0.14	-0.11	-0.12	-0.19
1941-1960	-0.04	-0.09	-0.15	-0.06	-0.04	-0.06	-0.05	-0.02	-0.05	0.00	-0.09	-0.11
1961-1980	-0.10	-0.10	-0.10	-0.08	-0.07	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.05	-0.09
1981-2000	0.26	0.32	0.27	0.26	0.24	0.25	0.25	0.25	0.22	0.21	0.20	0.23
2001-2024	0.69	0.70	0.76	0.72	0.66	0.65	0.67	0.72	0.71	0.76	0.76	0.67

Kada su sezone u pitanju, globalno zagrijavanje je u poslednjem podperiodu (2001-2024) najintenzivnije tokom jeseni (0,74°C). U odnosu na klimatsku normalu perioda 1961-1990 (14°C), prosječna godišnja globalna temperatura je prvom podperiodu (1901-1920) bila niža za 0,43°C. Negativna razlika se smanjivala zaključno sa podperiodom 1961-1980 (-0,08°C), da bi u poslednja dva podperioda bila pozitivna. Drugim riječima, prosječna globalna temperatura za podperiod 1981-2000. godine bila je viša za 0,25°C, tj. Iznosila je 14,25°C, a za poslednji podperiod (2001-2024) iznosila je 14,71°C (tabela 4). Dakle, kao početna godina poslednjeg globalnog zagrijavanja uzima se 1974. godina (IPCC, 2021), a svi dosadašnji rezultati jasno pokazuju da se od tada intenzivira porast temperature na našoj planeti.

Tabela 4. Diferencije ($^{\circ}\text{C}$) srednjih sezonskih i godišnjih globalnih temperatura za 20-godišnje subperiode u odnosu na klimatsku normalu perioda 1961-1990.

Period	ZIMA	PROLJEĆE	LJETO	JESEN	GODINA
1901-1920	-0.47	-0.46	-0.39	-0.40	-0.43
1921-1940	-0.23	-0.24	-0.17	-0.12	-0.19
1941-1960	-0.07	-0.08	-0.04	-0.05	-0.06
1961-1980	-0.10	-0.08	-0.07	-0.06	-0.08
1981-2000	0.27	0.26	0.25	0.21	0.25
2001-2024	0.68	0.71	0.68	0.74	0.71

5.2. Varijacije ENSO fenomena

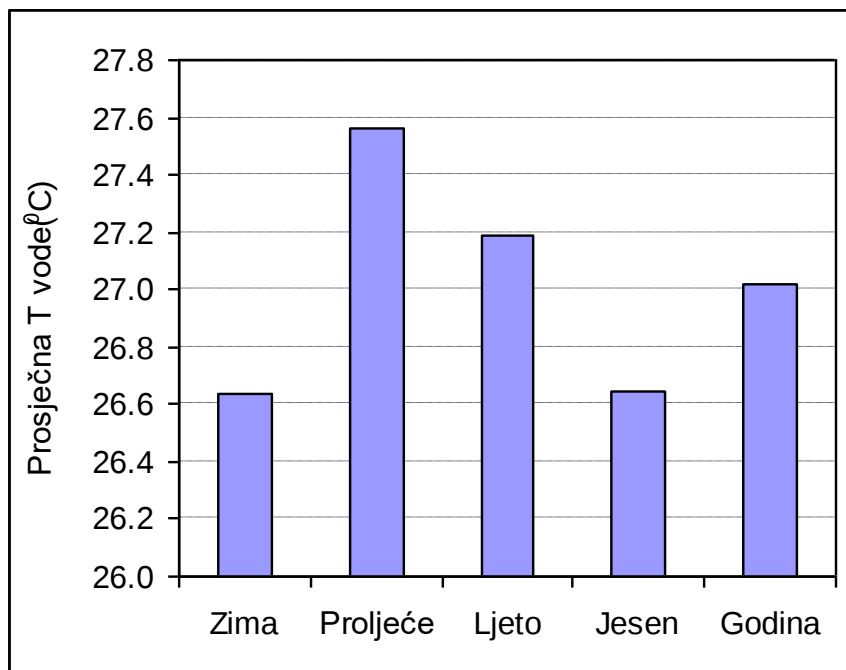
5.2.1. Prosječna površinska temperatura vode u ekvatorijalnom dijelu Pacifika (region NINO3.4)

Površinska temperature vode u ekvatorijalnom tijelu Tihog okeana se vrlo malo mijenja u toku prosječne godine. Za cio period (1901-2024), prosječne mjesečne vrijednosti kreću se od $26,6^{\circ}\text{C}$ u novembru, decembru i januaru do $27,8^{\circ}\text{C}$ u maju ([tabela 5](#)). Tokom zime i jeseni, prosječna temperatura površine vode u posmatranom regionu je $26,6^{\circ}\text{C}$, ljeti je $27,2^{\circ}\text{C}$, a najviša je u proljeće $27,6^{\circ}\text{C}$. Treba podsjetiti da region NINO3.4 zahvata prostor u Tihom okeanu između 5°N - 5°S i 170°W - 120°W , pa registrovanje najviše temperature u proljeće je vjerovatno u vezi sa pomjeranjem termičkog ekvatora. Naime, u proljeće i ljeto na sjevernoj hemisferi termički ekvator je više pomjeren prema sjevru nego što je spušten prema jugu tokom zime i jeseni.

Tabela 5. Prosječna temperatura ($^{\circ}\text{C}$) površine vode u ekvatorijalnom dijelu Pacifika (region NINO3.4) za period 1901-2024.

JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC
26.6	26.8	27.2	27.7	27.8	27.6	27.1	26.8	26.7	26.7	26.6	26.6

Prosječna godišnja temperatura u posmatranom regionu Pacifaka je 27,0⁰C ([slika 8](#)). Najnižu prosječnu godišnju temperaturu u regionu NINO3.4 imala je 1955. godina (25,9⁰C), a najvišu 2015. godina (28,5⁰C). Tokom pomenutih godina bila je izražena negativna (La Ninja), odnosno pozitivna faza (El Ninjo).

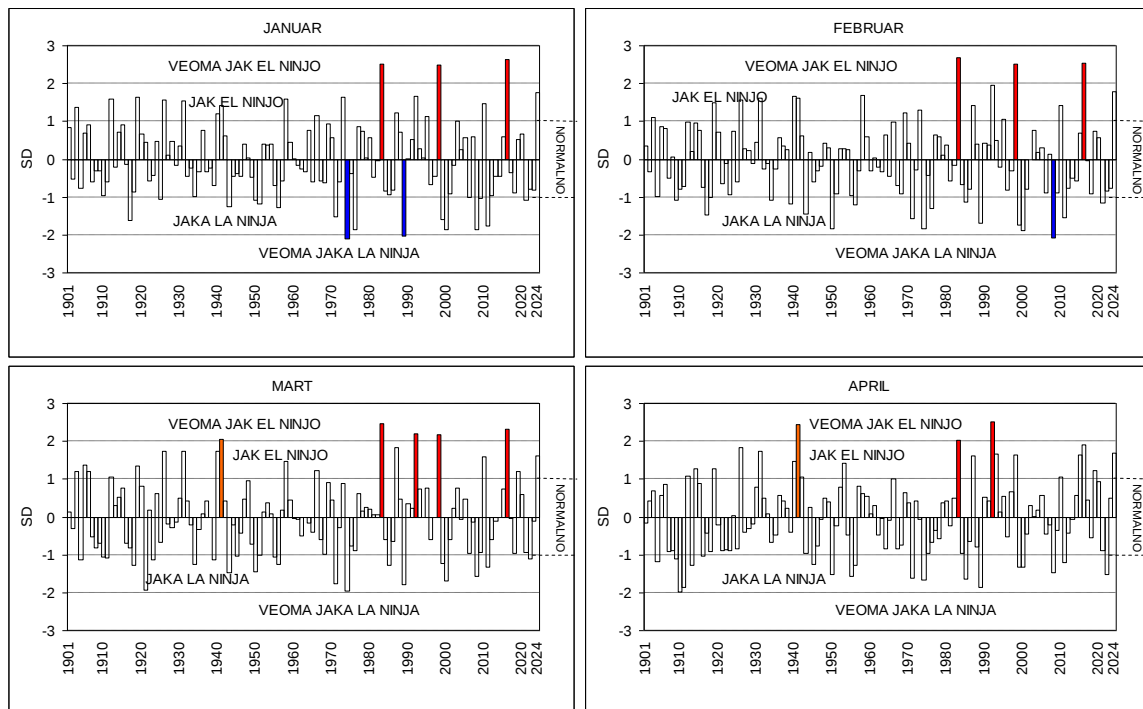


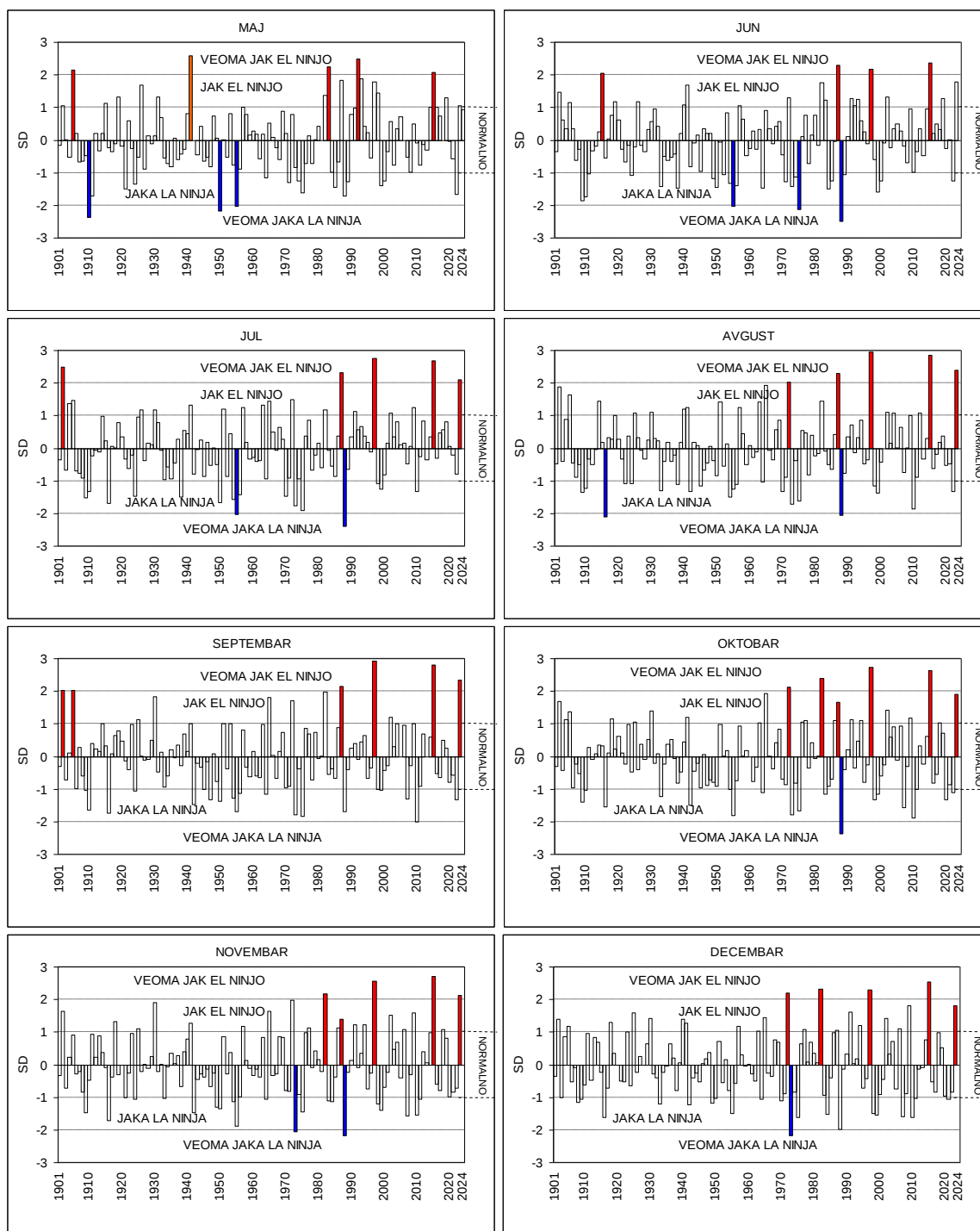
Slika 12. Prosječne sezonske i godišnje temperature površine vode u ekvatorijalnom dijelu Pacifika (region NINO3.4) za period 1901-2024.

Osim 2015. godine, jak El Ninjo, odnosno topla faza ENSO fenomena zabilježena je i 1987, 1997. i 2024. godine. Svjetska meteorološka organizacija (World Meteorological Organization - WMO) je u novembru 2023. godina saopštila da je od jula 2023. počeo da se razvija El Ninjo, a da se od sredine oktobra 2023. to osjetilo i na temperaturu površine mora i druge atmosferske i okeanske indikatore u centralno-istočnom tropskom Pacifiku. U pomenutom saopštenju je naglašeno da će El Ninjo trajati najmanje do aprila 2024. godine, kao i da će vrhunac tople faze ENSO fenomena biti u periodu novembar 2023. - januar 2024. godine ([WMO, 2023](#)). Tople i hladne faze ENSO fenomena detaljnije će biti razmatrane u nastavku rada.

5.2.2. Klasifikacija ENSO događaja (tope i hladne faze) u periodu 1901-2024.

Klasifikacija toplih i hladnih faza urađena je svaki mjesec, kao i na sezonskom i godišnjem nivou. Zajedničko za sve mjesece da je u većini slučajeva ENSO fenomen bio u granicama normalnog odstupanja. U januaru mjesecu, tri puta je registrovana veoma topla faza (veoma jak El Ninjo), i to: 1983, 1998. i 2016. godine. Najjača topla faza uabilježena je januara 2016. godine. Četvrti u nizu najjačih El Ninjo događaja desio se januara 2024. godine, ali bio je jak, ne veoma jak. Sa druge strane, dva puta su registrovane veoma jake hladne faze (veoma jaka El Ninja): 1974. i 1989. godine. Tokom istih godina kao za januar, zabilježena je veoma jaka topla faza i za februar, što znači da je izrazit El Ninjo bio razvijen i januaru i u februaru 1983, 1998. i 2016. godine. Takođe, tokom tri pomenute godine veoma jaka topla faza nastavila se i u martu, ali je veoma jak El Ninjo u ovom mjesecu bio i 1941. i 1992. godine ([slika 9](#)).

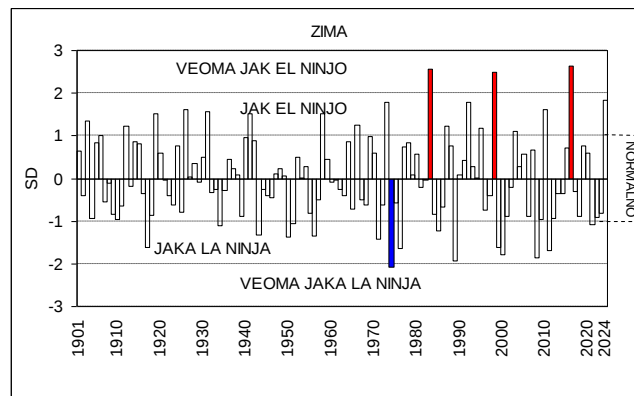


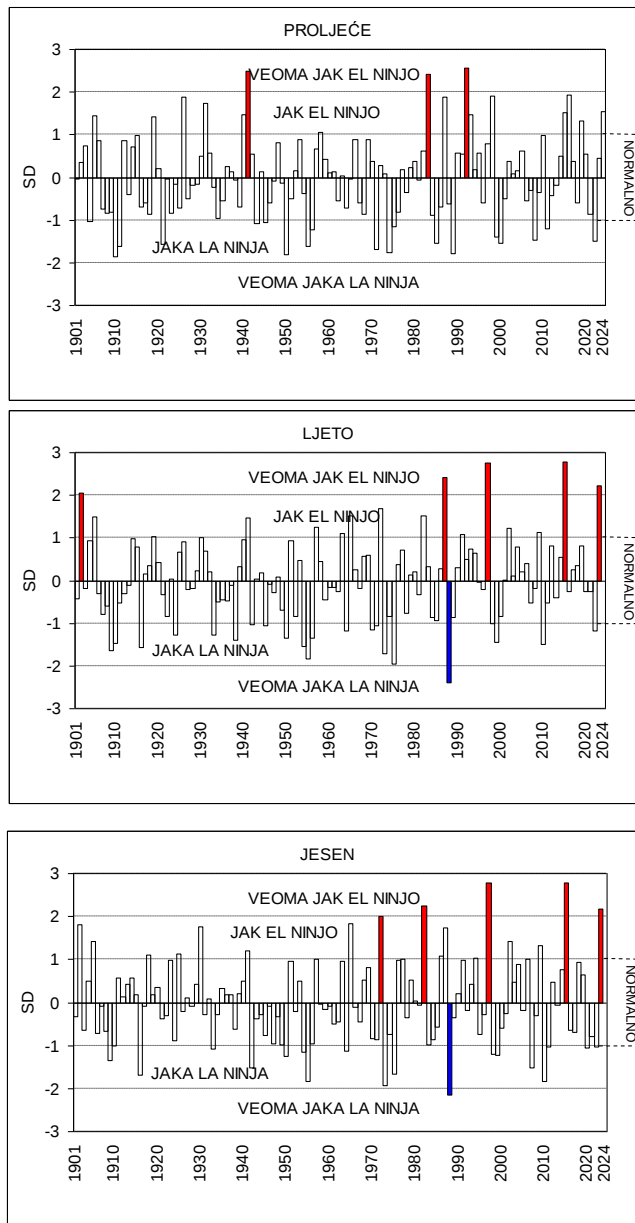


Slika 13. Klasifikacija mjesečnih ENSO događaja za period 1901-2024.

Na grafičkim priložima se mogu jasno vidjeti tople i hladne faze ENSO fenomena i za ostale mjesece. Zajednička karakteristika za sve mjesece je da u posmatranom 124-godišnjem periodu višu puta registrovana veoma topla u odnosu na veoma hladnu fazu. Veoma jaki El Ninjo događaja registrovani su 3 do 6 puta, a veoma jaki La Ninja događaji registrovani su do 3 puta. Mart, april i septembar nijesu registrovali ni jednu veoma hladnu fazu u posmatranoj vremenskoj seriji.

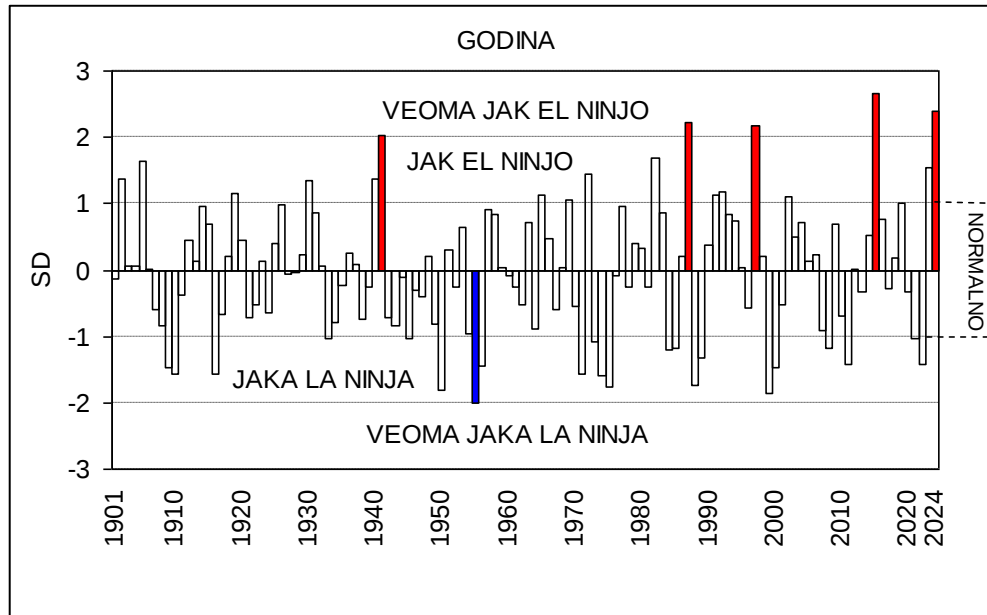
Uočljivo je da su kod svih mjeseci veoma tople faze češće registrovane nakon 1980. godine nego prije. Slično se zapaža i na nivou sezona. Zimi su sve tri veoma jaka El Ninjo događaja zabilježena poslije 1980. godine: 1983, 1998. i 2016. godine. Najjača zimska topla faza desila se 2016. godine. Ta zima (2016) bila je druga u nizu najtoplijih u cijelom periodu - najtoplija je bila zima 2024. godine (decembar 2023. godine + januar+februar 2024. godine). Zimski ENSO 1974. godine karakteriše veoma jaka hladna faza (veoma jaka La Ninja), a to je bila i jedna od hladnijih zima na globalnom nivou. Tokom proćeća nije bilo veoma hladnih faza ENSO fenomena, ali bilo je ukupno 18 hladnih faza. Veoma jakih El Ninjo događaji bilo je tokom proljeća 1941, 1983. i 1992. godine. U cijelom periodu (1901-2024), ljeti je najjači El Ninjo registrovan 2015. godine, a to je bila jedna toplijih godina u svijetu, generalno. Osim pomenute 2016, vema jaka ljetnja topla faza zabilježena je još 4 puta: 1902, 1987, 1997. i 2023. godine. Ukupno 5 puta veoma jaka topla fasa registrovana je i tokom jesenje sezone: 1972, 1982, 1997, 2015. i 2023. godine ([slika 10](#)).





Slika 14. Klasifikacija sezonskih ENSO događaja za period 1901-2024.

Godišnje vrijednosti ENSO događaja ukazuju na 14 toplih faza i 5 veoma toplih faza. Hladnih faza bilo je 21, a veoma hladnih samo jedna (1955. godina). Najjače veoma tople faze bile su 2015. i 2024. godine ([slika 11](#)).



Slika 15. Klasifikacija godišnjih ENSO događaja za period 1901-2024.

Prethodni rezultati su pokazali da se i na sezonskom i na godišnjem nivou, veoma tople faze ENSO fenomena češće registruju posle 1980. godine. Da li je takva čestina u vezi sa savremenim klimatskim promjenama, zahtjeva detaljnija istraživanja. Međutim, neke ustudije ukazuju da savremene klimatske promjene utiču na varijacije atmosferskih i okeanskih oscilacija, kao što su Sjeverno atlantska oscilacija, Arktička oscilacija, ENSO i druge (Shi et al., 2021).

5.3. Trend globalne temperature

Globalna temperatura raste i to je opšte poznata činjenica. Za potrebe ovog rada cilj je da se proračuna trend i ispita da su dobijene vrijednosti promjena globalne temperature značajne ili ne. Drugim riječima, da se utvrdi veličina i značaj promjena globalne temperature na mjesečnom, sezonskom i godišnjem nivou za period 1901-2024. godine. Dobijeni rezultati ukazuju na prilično ujednačen trend, koji se kreće od $0,095^{\circ}\text{C}$ po dekadi u avgustu do $0,115^{\circ}\text{C}$ u martu. Tokom godišnjih doba, vrijednost trenda iznosi: zimi $0,104^{\circ}\text{C}$ po dekadi, u proljeće $0,106^{\circ}\text{C}$ po dekadi, ljeti $0,096^{\circ}\text{C}$ po dekadi i u jesen $0,099^{\circ}\text{C}$ po dekadi. Godišnja stopa trenda je $0,102^{\circ}\text{C}$ po dekadi. Važno je istaći da su

dobijene vrijednosti trenda globalne temperature statistički značajne na najvišem nivou rizika prihvatanja hipoteze ([tabela 6](#)).

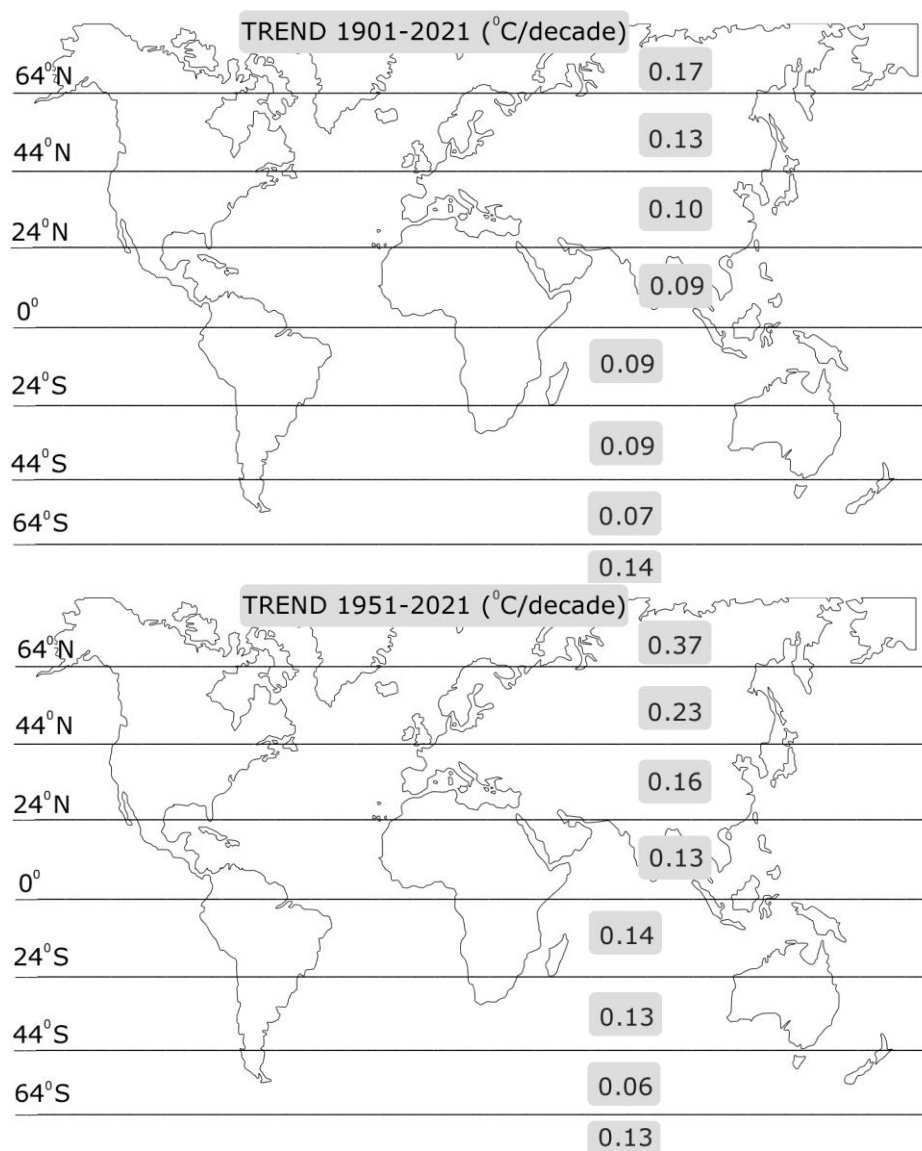
Tabela 6. Trend srednje mjesečne, sezonske i godišnje globalne temperature za period 1901-2024.

Vrijeme	Trend (°C/dekadi)	Značajnost
JAN	0.102	**
FEB	0.107	**
MAR	0.115	**
APR	0.105	**
MAJ	0.100	**
JUN	0.096	**
JUL	0.096	**
AVG	0.095	**
SEP	0.096	**
OKT	0.098	**
NOV	0.102	**
DEC	0.104	**
GOD	0.102	**
ZIMA	0.104	**
PROLJEĆE	0.106	**
LJETO	0.096	**
JESEN	0.099	**

** značajno za $p < 0.01$

Dakle, dokazano je da globalna temperatura značajno raste u periodu 1901-2024. godine, kao i to da je globalno zagrijavanje intenzivnije od sredine 20. vijeka. Koristeći podatke NASA-GISS mreže, [Burić & Penjišević \(2023\)](#) su proračunali trend globalne temperature za period 1951-2021. godine. Pomenuti autori su raspolagali sa podacima za 8 zona (po 4 na obje polulopte): 0°-24°S, 24°S-44°S, 44°S-64°S i 64°S-90°S, odnosno 0°-24°N, 24°N-44°N, 44°N-64°N i 64°N-90°N. Nihovi rezultati su pokazali da u ovom periodu (1951-2021), globalna temperatura na sjevernoj polulopti mnogo brže raste nego na južnoj. Najintenzivniji porast temperature autori su dobili za sjeverne polarne širine, odnosno za

zanu između 64⁰N-90⁰N. U ovoj zoni autori ističu da trend porasta temperature iznosi 0,370C po dekadi za period 1951-2021. godine ([slika 12](#)).



Slika 16. Trend srednje godišnje temperature na planeti po pojasevima u periodu 1901-2021. i 1951-2021., prema podacima NASA-GISS mreže ([Burić & Penjišević, 2023](#))

5.4. Trend meteorološkog fenomena ENSO

Ako savremene klimatske promjene utiču na poremećaj u sistemu okean - atmosfera, onda bi trebalo očekivati da postoji pozitivan trend i za ENSO fenomen. Međutim, kada se posmatra cio period (1901-2024) za januar, februar i za zimsku sezonu trend je

negativnog znaka. Za ostale mjesece, kao i tokom proljeća, ljeta i jeseni trend je pozitivan. Treba naglasiti da su promjene površinske temperature vode u regionu NINO3.4 u Pacifiku statistički beznačajne. Takođe su beznačajne i kada se posmatra period 1951-2024, ali je u ovom periodu trend pozitivnog znaka za sve vremenske jedinice (mjeseci, sezone i godina) i mnogo veći nego u cijelom periodu (tabela 7). Značajno veći trend porasta površinske temperature vode u drugom posmatranom periodu (1951-2024) u odnosu na cio period (1901-2024), ukazuje da savremene klimatske promjene imaju uticaja na ENSO fenomen, ali zahtijeva dalja istraživanja.

Tabela 7. Trend srednje mjesečne, sezonske i godišnje površinske temperature vode (°C/dekadi) u regionu NINO3.4 za period 1901-2024. i 1951-2024.

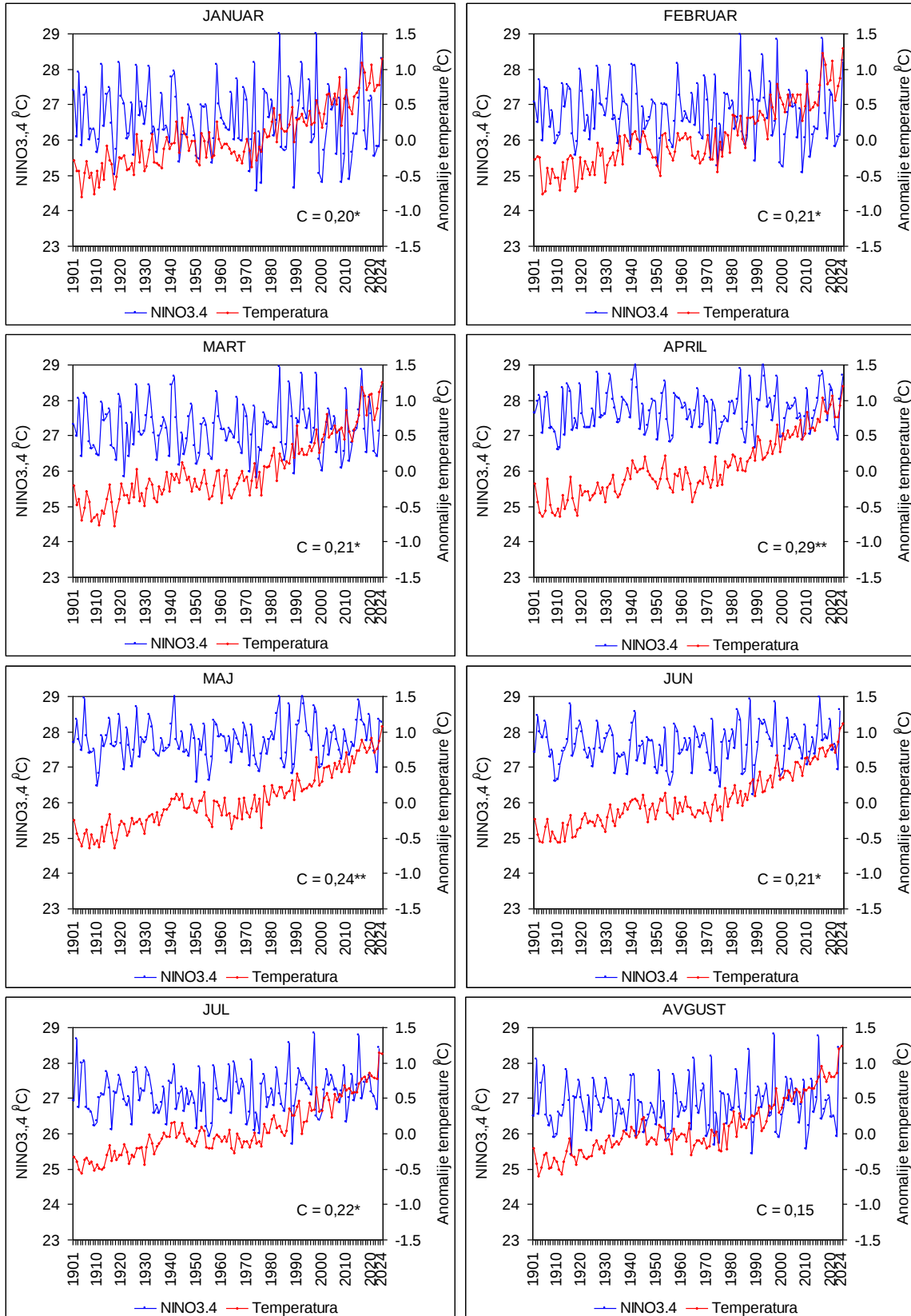
Vrijeme	1901-2024	1951-2024
JAN	-0.02	0.01
FEB	-0.01	0.01
MAR	0.01	0.02
APR	0.02	0.03
MAJ	0.02	0.04
JUN	0.02	0.06
JUL	0.02	0.07
AVG	0.01	0.03
SEP	0.01	0.04
OKT	0.01	0.02
NOV	0.02	0.05
DEC	0.00	0.02
GOD	0.01	0.04
ZIMA	-0.01	0.01
PROLJEĆE	0.01	0.03
LJETO	0.02	0.05
JESEN	0.01	0.04

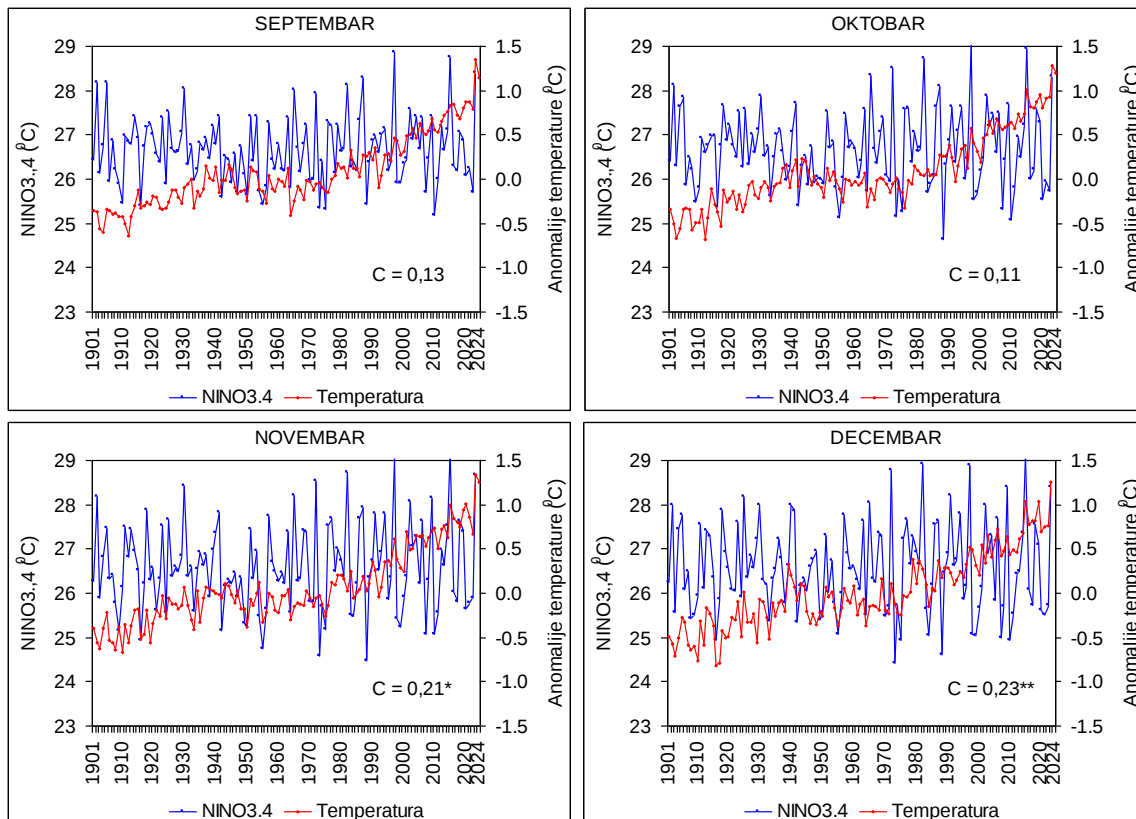
5.5. Korelacija globalne temperature sa ENSO fenomenom

5.5.1. Povezanost mjesečnih vrijednosti globalne temperature i ENSO događaja

Klimatski sistem naše planete je veoma složen. U najprostijem obliku, njega čini sistem atmosfera - Zemljina površina, odnosno pet komponenti: atmosfera, hidrosfera, kriosfera, kopnena površina i vegetacija. U posljednje vrijeme, kao posebna izdvaja se antroposfera ili uticaj čovjeka. Promjene jednog dijela elementa, odražavaju se na varijabilnost svih ostalih komponenti (Luković & Burić, 2023). Postoji nekoliko poznatih atmosferskih i okeanskih oscilacija, ali svakako jedan od najpoznatijih meteoroloških događaja ili varijacija u klimatskom sistemu je ENSO fenomen. Uticaj ovog fenomena je najjači u tropskom pojasu Pacifika, ali ENSO ima uticaja na vrijeme i klimu u mnogim regionima naše planete. U ovom dijelu master rada ispitaće se uticaj ENSO fenomena na globalnu temperaturu za period 1901-2024. godine.

Koeficijent korelacije za januar između mjesečnih vrijednosti globalne temperature i pokazatelja varijabilnosti ENSO fenomena (NINO3.4) iznosi 0,20. Za februar i mart, statistička veza između dvije pomenute varijable je 0,21. Na mjesečnom nivou, najveća vrijednost koeficijenta korelacije dobijena je za april i maj, 0,29 i 0,24. u junu i julu, ta vrijednost je 0,21 i 0,22. Avgust, septembar i oktobar imaju koeficijente korelacije između 0,11-0,15. Za posljednja dva mjeseca (novembar i decembar), izračunat je koeficijent od 0,21 i 0,23. Dakle, korelacija između dvije pomenute varijable je pozitivna (direktna), što je i logično, jer veće vrijednosti NINO3.4 uslovljavaju višu globalnu temperaturu (slika 13). Statistika *t*-testa pokazala je da jedino za avgust, septembar i oktobar ne postoji značajna veza. Za sve ostale mjesece, prisutna je statistički značajna povezanost između dvije varijable (NINO3.4 i globalne temperature), i to za: januar, februar, mart, jun, jul i novembar na nivou rizika od $p < 0,05$, a za april, maj i decembar na nivou rizika od $p < 0,01$.

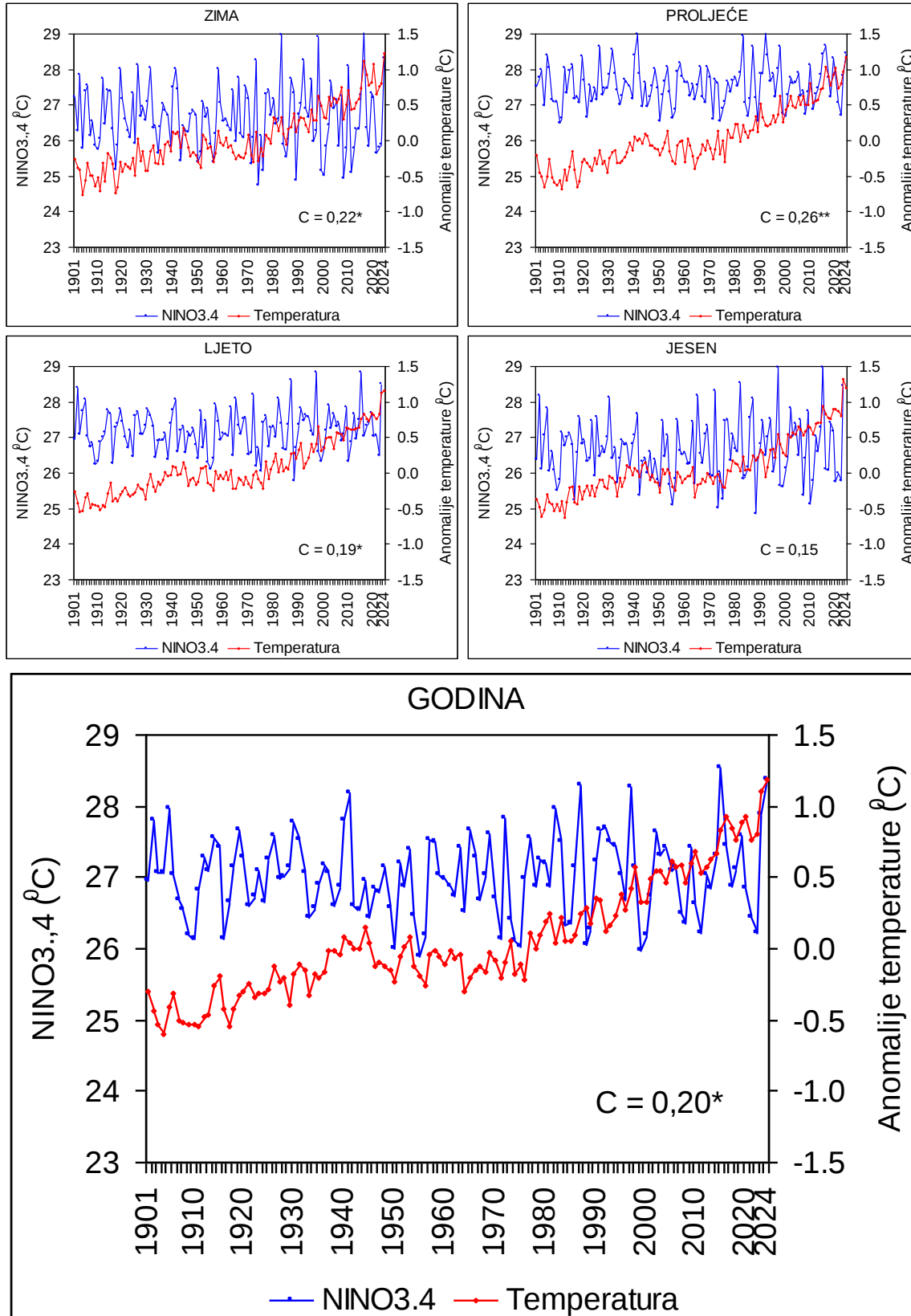




Slika 17. Koeficijenti korelacije (c) između mjesečnih vrijednosti anomalija globalne temperature i NINO3.4 za period 1901-2024.

5.5.2. Korelacija između sezonskih i godišnjih vrijednosti globalne temperature i pokazatelja varijabilnosti ENSO događaja

Naravno, i na sezonskom i godišnjem nivou postoji direktna korelacija između dvije pomenute varijable. Najjača veza dobijena je za proljećnu sezonu ($c = 0,21$), a najslabija za jesenju ($c = 0,15$). Pritom, za jesenju sezonu povezanost između varijabilnosti NINO3.4 i globalne temperature je beznačajna, a za ostale tri sezone statistički značajna. I na godišnjem nivou prisutna je statistički značajna povezanost između dvije pomenute promjenljive ($p < 0,05$), jer je vrijednost koeficijenta 0,20 ([slika 14](#)).



Slika 18. Koeficijenti korelacije (c) između sezonskih i godišnjih vrijednosti anomalija globalne temperature i NINO3.4 za period 1901-2024.

6. ZAKLJUČAK

Master rad imao je za cilj da pokaže uticaj El Ninjo Južne Oscilacije (ENSO) na kolebanje globalne temperature. Da bi se dobio odgovor saglasan naslovu rukopisa, prvo je urađena detaljna analiza varijabilnosti globalne temperature i kolebanja ENSO fenomena, koji je analiziran pomoću najčešće korišćenog pokazatelja, a to NINO3.4. Istraživački dio bazirao se na nekoliko metoda: trend, standardizovana odstupanja, pokretne 10-godišnje vrijednosti, diferencije i metod korelacije. Svi proračuni urađeni su na mjesečnom, sezonskom i godišnjem nivou za period od 124 godine (1901-2024).

Dobijeni rezultati su pokazali da je početkom 20. vijeka globalna srednja temperatura bila ispod prosječne vrijednosti za period 1961-1990, a od 1980. godine gotovo uvijek iznad klimatske normale, kako na mjesečnom, tako i sezonskom i godišnjem nivou. Zima 2024. godine, globalno je bila toplija u odnosu na uobičajenu srednju temperaturu za ovo godišnje doba, i to za $1,23^{\circ}\text{C}$. U odnosu na uobičajenu prosječnu globalnu temperaturu, i proljeće i ljeto 2024. godine bili su najtopliji u cijelom 124-godišnjem periodu, i to $1,18^{\circ}\text{C}$ i $1,16^{\circ}\text{C}$. Najtoplija jesen u posmatranoj vremenskoj seriji bila je 2023. godine (toplija od prosjeka za $1,32^{\circ}\text{C}$). Prosječna godišnja globalna temperatura za period 1961-1990. godine iznosila je 14°C . U 20. i dosadšnjem dijelu 21. vijeka, poslednja analizirana godina, a to je 2024., bila je najtoplija godina na našoj planeti, sa odstupanjem od $+1,19^{\circ}\text{C}$. To znači da je prosječna godišnja globalna temperatura malo prešla 15-i podiok Celzijusove skale. Na osnovu pokretnih 10-godišnjih srednjih vrijednosti, period od 124. godine se može podijeliti na tri izrazita subperioda. Prvi subperiod je od 1901. do sredine 1940-ih godina, kada srednja godišnja globalna temperatura ima tendenciju rasta. Drugi subperiod je od sredine 1940-ih do sredine 1970-ih godina, kada se ne uočava vidljiv trend porasta ili pada globalne temperature. Treći subperiod je od sredine 1970-ih godina pa do kraja vremenske serije (do 2024), kada je jasno uočljiva linija trenda koja pokazuje porast globalne temperature. Proračuni za 20-godišnje podperiode pokazali su da je zajednička karakteristika za sve mjesece ta da su prva četiri 20-godišnja podperioda bila hladnija u odnosu na klimatsku normalu, a poslednja dva podperioda toplija. U poslednjem podperiodu (2001-2024), najintenzivnije se zagrijavaju mart, oktobar i

novembar mjesec ($0,76^{\circ}\text{C}$). Primjera radi, mart mjesec je na našoj planeti sada (2001-2024) prosječno topliji za čak $1,26^{\circ}\text{C}$ u odnosu na podperiod 1901-1920. godine.

Površinska temperature vode u ekvatorijalnom tijelu Tihog okena, preciznije u regionu NINO3.4, vrlo se malo mijenja u toku prosječne godine. Za cio period (1901-2024), prosječne mjesečne vrijednosti kreću se od $26,6^{\circ}\text{C}$ u novembru, decembru i januaru do $27,8^{\circ}\text{C}$ u maju. Klasifikacija toplih i hladnih faza ENSO fenomena pokazala je da su se češće registrovali veoma jaki El Ninjo događaji u odnosu na veoma hladne La Ninja događaje. Veoma jaki El Ninjo događaja registrovani su 3 do 6 puta, a veoma jaki La Ninja događaji registrovani su do 3 puta, a mart, april i septembar nijesu registrovali ni jednu veoma hladnu fazu u posmatranom 124-godišnjem periodu.

Na osnovu trend proračuna, utvrđeno je da globalna temperatura značajno raste u posmatranom 124-godišnjem periodu, i to po stopi od $0,095^{\circ}\text{C}$ po dekadi u avgustu do $0,115^{\circ}\text{C}$ u martu. Godišnja stopa trenda globalne temperature je $0,102^{\circ}\text{C}$ po dekadi. U radu je pomenuto značajno intenzivniji porast temperature od sredine 20. vijeka (1951-2021), naročito na sjevernoj polulopti. Trend površinske temperature vode u ekvatorijalnom dijelu Pacifika (region NINO3.4) je beznačajan na svim vremenskim jedinicama (mjeseci, sezone i godina), ali treba istaći da je dobijen negativan znak za januar, februar i za zimsku sezonu, dok je za ostale mjesece, kao i tokom proljeća, ljeta i jeseni, te na godišnjem nivou, tendencija pozitivna. Za period 1951-2024, površinska temperatura vode u ekvatorijalnom dijelu Pacifika registruje pozitivan trend tokom svih mjeseci, narovni i na sezonskom i godišnjem nivou.

Kada je korelaciona analiza u pitanju, dobijeni rezultati su pokazali da postoji direktna veza između kolebanja globalne temperature i ENSO fenomena. Ta veza je beznačajna jedino za avgust, septembar i oktobar, dok je za sve ostale mjesece prisutna statistički značajna povezanost između dvije pomenute varijable (NINO3.4 i globalne temperature).

Za jesenju sezonu povezanost između varijabilnosti NINO3.4 i globalne temperature je beznačajna, a za ostale tri sezone statistički značajna. I na godišnjem nivou prisutna je statistički značajna povezanost između dvije pomenute promjenljive. Dakle, uticaj ENSO fenomena na globalnu temperatura je dokazan, u smislu da pozitivna faza dovodi do viših, a negativna do nižih temperatura. El Ninjo južna oscilacija najjači uticaj na vrijeme i klimu ima u tropskom dijelu Tihog okeana, ali je ovaj rad pokazao da se uticaj ovog fenomena osjeća i na globalnom nivou. Na kraju dodajmo i to da je globalno zagrijavanje prepoznato kao ozbiljan problem današnje civilizacije, jer utiče, direktno ili indirektno, na mnoge djelatnosti u čovjekovom životu i radu. Opšte je mišljenje da je globalno zagrijavanje posledica nekontrolisanih ljudskih aktivnosti, prevashodno u smislu sagorijevanja fosilnih goriva (ugalj, nafta, plin) i promjene namjene zemljišta (krčenje šuma, intenzivna urbanizacija i industrijalizacija). Međutim, klimatski sistem je veoma dinamičan, a ovaj master rad je pokazao da pored antropogenog faktora treba uzeti u obzir i varijacije atmosferskih i okeanskih oscilacija. Buduća istraživanja trebalo bi da budu usmjerena na ispitivanje uticaja drugih faktora, prije svega geografskih (uticaj čovjeka i prirodnih ciklusa u geografskoj sredini).

LITERATURA

1. Arsenović, P., Tošić, I., Unkašević, M. 2015: Trends in combined climate indices in Serbia from 1961 to 2010. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 127(4), 489–498.
2. Ahrens, C. D. (2012). *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment*, Cengage Learning
<https://doi.org/10.1007/s00703-015-0380-6>
3. Barber, R. T., & Kogelschatz, K. (1989). Oceanic response to El Niño: Changes in oceanic structure and the effects on coastal ecosystems. *Nature*, 337(6208), 537-539.
4. Bengtsson, L., et al. (2006). The role of the oceans in the Earth's climate system. *Nature*, 441(7095), 242-245.
5. Bengtsson, L., et al. (2006). The role of the oceans in the Earth's climate system. *Nature*, 441(7095), 242-245.
6. Bertrand, A., Lengaigne, M., Takahashi, K., Avadí, A., Poulain, F., Harrod, C., 2020: El Nino Southern Oscillation (ENSO) effects on fisheries and aquaculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), <https://reliefweb.int/report/world/el-nino-southern-oscillation-enso-effects-fisheries-and-aquaculture>
7. Bove, M. C., Elsner, J. B., Landsea, C. W., Niu, X., & O'Brien, J. J. (1998). Effect of El Niño on US landfalling hurricanes, revisited. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(11), 2477-2482.
8. Burić D, Stanojević G. (2020). Trends and possible causes of cloudiness variability in Montenegro in the period 1961-2017. *Climate Research*, 81: 187-205. <https://doi.org/10.3354/cr01615>
9. Burić D., Banjak D., Doderović M., and Marčev A. 2022: Example of the Importance of early warning of extreme weather events in Montenegro in the context of recent climate change. *Collection of Papers - Faculty of Geography at the University of Belgrade*, 70(1), 57-72. <http://doi.org/10.5937/zrgfub2270057B>
10. Burić, D. & Penjišević, I. (2023). Southern Hemisphere temperature trend in association with greenhouse gases, El Niño Southern Oscillation, and Antarctic Oscillation. *IDOJARAS (IDÓJÁRÁS)*, 127(1): 23-42. <http://doi.org/10.28974/idojaras.2023.1.2>
11. Burić, D. 2014: Dinamika i mogući uzroci temperaturnih i padavinskih ekstrema na teritoriji Crne Gore u periodu 1951–2010. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Beograd.
12. Burić, D., and Penjišević, I. 2023: *Southern Hemisphere temperature trend in association with greenhouse gases*, El Niño Southern Oscillation, and Antarctic Oscillation. *IDOJARAS*, 127(1), 23-42. <http://doi.org/10.28974/idojaras.2023.1.2>
13. Burić, D., Doderović, M., Dragojlović, J., and Penjišević, I., 2021: Extreme weather and climate events in Montenegro – case study, November 2019. *Weather* 76(11), 383–388. <https://doi.org/10.1002/wea.3885>

14. Burić, D., Ducić, V., and Luković J., 2011: Kolebanje klime u Crnoj Gori u drugoj polovini XX i početkom XXI vijeka. Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Podgorica. ISBN 978–86–7215–283–8; COBISS.CG–ID 19199760.
15. Burić, D., Ducić, V., and Doderović, M. 2016: Poplave u Crnoj Gori krajem 2010. godine sa osvrtom na kolebanje proticaja Morače. Glasnik Odjeljenja prirodnih nauka, CANU, 21, 47-64. <https://www.researchgate.net/publication/343935126>
16. Cane, M. A., & Zebiak, S. E. (1985). A theory for El Niño and the Southern Oscillation. *Science*, 228(4703), 1085-1087.
17. Chavez, F. P., Ryan, J., Lluch-Cota, S. E., & Niquen, M. (1999). From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, 299(5604), 217-221.
18. Davis, Mike (2001). Late Victorian Holocausts: El Niño Famines and the Making of the Third World. London: Verso. p. 271.
19. Dawson, G., A., i O'Hare, G., 2000: Ocean-Atmosphere Circulation and Global Climate: The El Nino-Southern Oscillation, *Geography*, 85 (3), 193-208.
20. Dawson, J., & O'Hare, G. (2000). The impact of El Niño on the environment. *Environmental Science & Policy*, 3(2), 125-136.
21. Del Rio, S., Cano-Ortiz, A., Herrero, L., and Penas, A.P. 2012: *Recent trends in mean maximum and minimum air temperatures over Spain (1961–2006)*. Theoretical and Applied Climatology, 109, 605–626. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0593-2>.
22. Ducić, V., i Luković, J. 2005: Moguće veze između El Ninjo južne oscilacije (ENSO) i promena količine padavina u Srbiji. Zbornik radova-Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu, 53, 13-22. <https://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=0351-465X0553013D>
23. Glantz, M. H. (1996). Currents of Change: Impacts of El Niño and La Niña on Climate and Society. Cambridge University Press.
24. Glanz, M. H. (2002). La Niña and its impacts: Facts and speculation. United Nations University Press.
25. Glynn, W., P., 1989: Coral Mortality and Disturbances to Coral Reefs in the Tropical Eastern Pacific, u: Glynn, W., P., (ur.): Global Ecological Consequences of the 1982-83 El Nino-Southern Oscillation, Elsevier Science Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, 55-117.
26. Haan, C.T. (1977). Statistical Methods in Hydrology, The Iowa State University. Ames, 2nd ed. English 2002.
27. Hansen, J., et al. (1997). Global surface temperature change. *Reviews of Geophysics*, 31(3), 199-204.
28. Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X., Zhang, T., and Pegion, P. 2012: On the increased frequency of Mediterranean drought. *Journal of Climate*, 25, 2146–2161. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00296.1>
29. Holmgren, M., Scheffer, M., Ezcurra, E., Gutiérrez, R., J., Mohren, M., J., G., 2001: El Nino effects on the dynamics of terrestrial ecosystems, *Trends in Ecology & Evolution*, 16 (2), 89-94.
30. IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change.

31. IPCC (2014). Climate Change 2014: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change.
32. IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. 2021.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf
33. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [(eds. Masson–Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou)]. Cambridge University Press. In Press.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf
34. Jakšić, M., F., 2001: Ecological effects of El Nino in terrestrial ecosystems of western South America, *Ecography*, 24 (3), 241-250.
35. Jovanović, G. (2010) Prirodna varijabilnost globalnog klimatskog sistema - klimatski fenomeni El Ninjo i La Ninja. Beograd: Meteorološko društvo Srbije
36. Kostopoulou, E., Giannakopoulos, C., Krapšiti, D., and Karali, A. 2017: Temporal and Spatial Trends of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece Using Observations and Output from Regional Climate Models. In: Karacostas T., Bais A., Nastos P. (eds), *Perspectives on Atmospheric Sciences*. Springer Atmospheric Sciences, 475–481. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-35095-0_68
37. Kovats, R. S., et al. (2003). "El Niño and health." *The Lancet* 362(9394): 1481-1489
38. Lemus-Canovas, M., and Lopez-Bustins, J.A. 2021: Assessing internal changes in the future structure of dry-hot compound events: the case of the Pyrenees. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 21(6), 1721–1738. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1721-2021>
39. Lobell, M. J. (1942). "Some observations on the Peruvian coastal current." *Eos, Transactions American Geophysical Union* 23(2): 332-336
40. Luković J. & Burić D. (2023). Klimatske promene. Univerzitet u Beogradu-Geografski fakultet, Beograd. ISBN 978–86–6283–147–7
41. Maradin, M., 2005: ENSO-El Nino-Southern Oscillation, *Geografija.hr*, <https://geografija.hr/enso-el-nino-southern-oscillation/>
42. Marshall, J., & Plumb, R. A. (2008). *Atmosphere, ocean and climate dynamics: an introductory text* (Vol.93).
43. McPhaden, M. J. (1999). Genesis and evolution of the 1997–98 El Niño. *Science*, 283(5404), 950-954.

44. McPhaden, M. J., Zebiak, S. E., & Glantz, M. H. (1998). ENSO as an integrating concept in earth science. *Science*, 282(5386), 950-954.
45. Mihajlović, J. Burić, D. Ducić, V., and Milenković, M. 2021: Synoptic characteristics of an extreme weather event: The tornadic waterspout in Tivat (Montenegro), on June 9, 2018. *Geographia Polonica* 94(1), 69-90. <https://doi.org/10.7163/GPol.0194>
46. Milošević, D., Savić, M., Stankov, U., Žiberna, I., Pantelić, M., Dolinaj, D., and Leščešen, I. 2017: Maximum temperatures over Slovenia and their relationship with atmospheric circulation patterns. *Geografie*, 122(1), 1–20.
47. Morice, C.P., Kennedy, J.J., Rayner, N.A., Winn, J.P., Hogan, E., Killick, R.E., Dunn, R.J.H., Osborn, T.J., Jones, P.D., & Simpson, I.R. (2021). An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 dataset. *Journal of Geophysical Research*, 126, e2019JD032361. <https://doi.org/10.1029/2019JD032361>
48. NOAA (2016). El Niño 2015-2016: The Most Powerful El Niño of the 21st Century. National Oceanic and Atmospheric Administration.
49. O'Brien, J., et al. (1999). "El Niño, La Niña and Florida's climate: effects on agriculture and forestry." The Florida Consortium: The Florida State University, University of Florida. University of Miami, Tallahassee, FL
50. Osborn, T.J., Jones, P.D., Lister, D.H., Morice, C.P., Simpson, I.R., Winn, J.P., Hogan, E., & Harris, I.C. (2021). Land surface air temperature variations across the globe updated to 2019: the CRUTEM5 dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 126, e2019JD032352. <https://doi.org/10.1029/2019JD032352>
51. Philander, G., 1989: El Niño and La Niña, *American Scientist*, Vol. 77.
52. Philander, S. G. (1983). *El Niño and the Southern Oscillation*. Academic Press.
53. Philander, S. G. H. (1990). *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. Academic Press.
54. Popov, T., Gnjato, S., Trbić, G., and Ivanišević, M. 2018: Recent trends in extreme temperature indices in Bosnia and Herzegovina. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 13(1), 211–224. DOI:10.26471/cjees/2018/013/019
55. Ramage, C. S. (1986). "El Niño." *Sci. Am.*; (United States) 254(6)
56. Rasmusson, E. M., & Carpenter, T. H. (1982). Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*, 110(5), 354-384.
57. Rasmusson, E. M., & Carpenter, T. H. (1982). Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*, 110(5), 354-384.
58. Ropelewski, C. F., & Halpert, M. S. (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115(8), 1606-1626.
59. Rosenzweig, C., Hillel, D., 2008: *Climate Variability and the Global Harvest: Impacts of El Niño and Other Oscillations on Agro-Ecosystems*. Oxford University Press, New York.

60. Rossi, S., Soares, M., 2017: Effects of El Nino on the Coastal Ecosystems and Their Related Services, *Mercator*, 16 (2017), 1-16.
61. Ros-Tonen, M., Boxel, J., 1999: El Nino in Latin America: The Case of Peruvian Fishermen and North-East Brazilian Peasants, *Revista Europea De Estudios Latinoamericanos Y Del Caribe / European Review of Latin American and Caribbean Studies*, 67 (1999), 5-20.
62. Sarachik, E. S., & Cane, M. A. (2010). *The El Niño-Southern Oscillation Phenomenon*. Cambridge University Press.
63. Shi, X., Huang, Q., & Li, K. (2021). Decomposition-based teleconnection between monthly streamflow and global climatic oscillation. *Journal of Hydrology*, 602, 126651. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126651>
64. Tošić, I., and Unkašević, M. 2014: Analysis of wet and dry periods in Serbia. *International Journal of Climatology*, 34(5), 1357–1368. <https://doi.org/10.1002/joc.3757>
65. Trbić, G., Popov, T., and Gnjato, S. 2017: Analysis of air temperature trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica*, 21(2), 68–84. DOI:10.18421/GP21.02-01
66. Trenberth, K. E., & Caron, J. M. (2000). The atmospheric energy budget and implications for surface fluxes and ocean heat transports. *Climate Dynamics*, 17(1), 259-276.
67. Trenberth K., 1997: The definition of El Nino, *Bulletin of the Amer. Met. Soc.*, Vol. 78, 2771–2777. <https://www.researchgate.net/publication/304989253>
68. Vecchi, G. A., & Soden, B. J. (2006). Global warming and the weakening of the tropical circulation. *Journal of Climate*, 19(17), 4316-4340.
69. Wallace, J. M. and S. Vogel (1994). "El Niño and Climate Prediction." Reports to the Nation on Our Changing Planet, from <http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/report/credits.html>
70. Wang, C. and J. Picaut (2004). "Understanding ENSO physics—A review." *Earth's Climate*: 21-48
71. Wang, C. and P. C. Fiedler (2006). "ENSO variability and the eastern tropical Pacific: a review." *Progress in Oceanography* 69(2): 239-266.
72. WMO - World Meteorological Organization (2023). El Niño expected to last at least until April 2024. *Pristupljeno: 25.10.2024*. <https://wmo.int/media/news/el-nino-expected-last-least-until-april-2024>
73. Zebiak, S., Orlove, B., Muñoz, G., Á., 2014: Investigating El Nino-Southern Oscillation and society relationships, *Wiley Interdisciplinary Reviews Change*, 6 (1), 17-34.
74. Zubair, L., Siriwardhana, M., Siriwardhana M., Chandimala J., and Yahiya, Z. 2007: Predictability of Sri Lankan rainfall based on ENSO. *International Journal of Climatology*, 28(1), 91-101. <https://doi.org/10.1002/joc.1514>

Linkovi:

1. <https://education.nationalgeographic.org/resource/el-nino/>
2. <https://www.climate.gov/enso>
3. <https://oceanservice.noaa.gov>
4. <https://science.nasa.gov/earth/explore/el-nino/>