

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geofizički odsjek

UTJECAJ EL NIÑA I LA NIÑE NA URAGANE U ATLANTSKOM I PACIFIČKOM OCEANU

Kristina Klemenčić

Mentori

Doc. dr. sc. Željka Fuchs

Prof. dr. sc. Branko Grisogono

Zagreb, 2011.

Želim zahvaliti svojoj obitelji, posebno mami i tati, prijateljima i profesorima koji su bili uz mene i bodrili me te mi pomogli da steknem diplomu.

Također želim mnogo zahvaliti svojim mentorima Željki Fuchs i Branku Grisogonu.

Sadržaj

1. Uvod.....	5
1.1. Uragani.....	6
1.1.1. Okidači uragana.....	8
1.1.2. Razvoj uragana.....	8
1.1.3. Jednostavan matematički opis uragana.....	9
1.1.4. Struktura uragana.....	11
1.1.5. Putanja uragana.....	12
1.1.6. Zamiranje uragana.....	12
1.1.7. Uragani i klimatske promjene.....	13
1.2. El Niño Južna oscilacija (ENSO).....	14
1.2.1. El Niño i La Niña.....	15
1.2.2. Utjecaj i posljedice El Niña i La Niñe.....	16
1.2.3. ENSO i klimatske promjene.....	18
2. Motivacija.....	19
3. Metode rada.....	20
3.1. Prikupljanje podataka.....	20
3.2. Obrada podataka.....	21
4. Rezultati.....	22
4.1. Utjecaj El Niña i La Niñe na uragane istočnog Pacifika.....	22
4.2. Utjecaj El Niña i La Niñe na uragane sjevernog Atlantika.....	23
4.3. Godišnje usrednjavanje za istočni Pacifik.....	24
4.4. Godišnje usrednjavanje za sjeverni Atlantik.....	27

4.5. Broj uragana po kategorijama u istočnom Pacifiku.....	29
4.6. Broj uragana po kategorijama u sjevernom Atlantiku.....	30
5. Diskusija.....	31
5.1. Diskusija rezultata vezanih uz istočni Pacifik.....	31
5.2. Diskusija rezultata vezanih uz sjeverni Atlantik.....	31
6. Zaključak.....	32
7. Literatura.....	34

1. Uvod

Pojave u prirodi koje sa sobom nose veliku snagu oduvijek su privlačile ljude. Uragan je veličanstven, ali i opasan - s vjetrom koji puše i do 80 m/s. Zbog mnoštva faktora koji utječu na nastanak i razvoj uragana (npr. Coch 2006), još uvijek nismo u stanju u potpunosti matematički opisati takav sustav.

Život uragana započinje razvojem duboke konvekcije iznad tople površine oceana (npr. Holton 2004). Za razvoj duboke konvekcije potreban je određeni okidač (fizikalni proces koji će je pokrenuti) i velika vlažnost zraka, a za održavanje i daljnji razvoj potreban je konstantni dotok energije, koju poremećaj crpi iz oceana u obliku latentne topline (npr. Ralph i Gough 2009, Steenhof i Gough 2008). Sve dok poremećaj ima dostupan spremnik goriva, on se može razvijati; duboka konvekcija se pojačava, tlak pada, a brzina vjetra raste. Nakon što brzina vjetra dosegne srednju vrijednost od 33 m/s, možemo govoriti o uraganu prve kategorije. Dolaskom uragana na područje hladne vode ili kopna, počinje njegovo smirivanje i zamrijanje (npr. Shen i sur. 2002, Kimball 2006).

Uragani svake godine uzrokuju milijunske štete (npr. Malmstadt i sur. 2009, McTaggart-Cowan i sur. 2007, Kupfer i sur. 2008) i odnose mnoge živote. Dio štete nastaje zbog velike brzine vjetra, a dio zbog velike količine vode koja dolazi na kopno u obliku oborine ili olujnog uspora (npr. Coch 1994). Na materijalnu štetu se ne može mnogo utjecati, ali zato postoji mogućnost smanjenja broja žrtava evakuacijom. Da bi evakuacija bila pravovremena, potrebna je dobra prognoza koja zahtjeva valjani matematički opis uragana i atmosferskih procesa koji djeluju na njega (npr. O'Hagan i sur. 2008). Najjednostavnije je prvo promotriti svaki utjecaj posebno, a zatim promatrati njihove međusobne veze.

U oceanima postoje stacionarne struje kao što su Labradorska i Golfska struja, no postoje procesi koji utječu na te struje i mijenjaju ih. Promijene u stacionarnim strujama mogu nastati zbog promijena u atmosferi (npr. oscilacije u polju tlaka zraka ili polju vjetra) ili zbog promijena u samom oceanu (npr. promijena gustoće i saliniteta zbog otapanja polarnog leda). El Niño Južna oscilacija (ENSO) je takav proces (npr. Sarachik i Cane 2010). Ona započinje varijacijom tlaka nad Indonezijskim otočjem i istočnim Pacifikom. Ta varijacija utječe na Humboldtovu struju, a time i na površinsku temperaturu oceana, odnosno količinu dostupne energije za razvoj uragana.

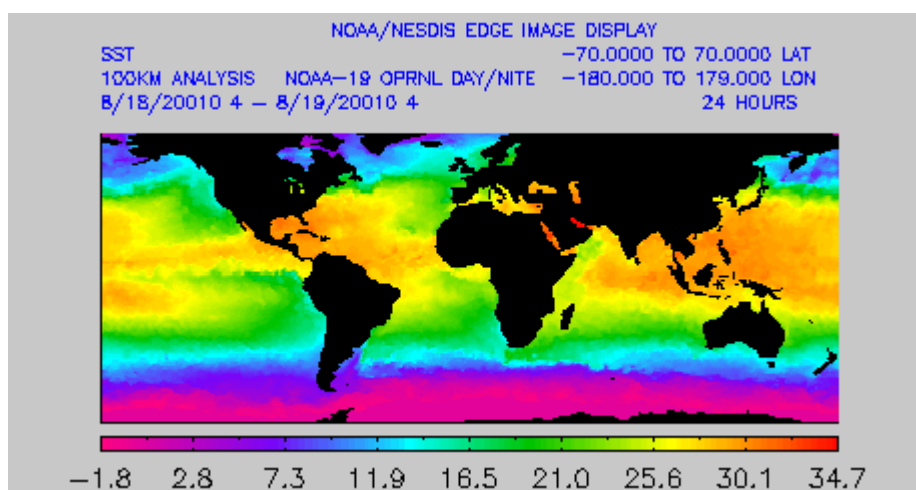
ENSO ima dva ekstrema: El Niño i La Niña. Kod El Niña se smanjuje podizanje duboke, hladne vode i površina istočnog Pacifika postaje iznadprosječno topla. Za vrijeme La Niñe podizanje hladne vode se pojačava i površina istočnog Pacifika postaje iznadprosječno hladna. Promjena površinske temperature utječe na promjenu strujanja u atmosferi (npr. Bo i Tianjun 2010). Osim spomenutih lokalnih promjena površinske temperature oceana i strujanja u atmosferi ENSO ima i globalni utjecaj (npr. Gong 1999, L'Heureux i Thompson 2006) o kojem će biti više riječi u poglavlju 1.2.2.

S obzirom da ENSO utječe na oba medija koji sudjeluju u stvaranju i razvoju uragana – površinska temperatura oceana i atmosferska strujanja, javlja se ideja da postoji određena veza između ENSO-

a i uragana. U ovom radu ta će se veza istraživati promatranjem utjecaja El Niña i La Niñe na broj uragana, trajanje uragana te maksimalnu brzinu vjetra. Daljnja rasprava o problemu i cilju rada, provodi se u poglavlju 2.

1.1. Uragani

Uragan je sustav rotirajućeg vjetra koji se razvija iznad tropskih oceanskih površina (radijus ~ 200km, trajanje ~ 14 dana). Prepoznatljiv je po mirnom središtu, odnosno oku uragana, koje je okruženo zidom oblaka. Uragan donosi jake oborine i jak vjetar, a ponekad i tornada (npr. Baker i sur. 2009). Kako se uragan približava obali, odnosno plićem moru primjetan je i olujni uspor uzrokovan niskim tlakom i vjetrom. Osim uobičajenog naziva uragan, ovakav sustav naziva se još i tajfun ili ciklona ovisno o geografskom području.



Slika 1
Površinska temperatura svjetskih oceana u °C.
(Mrežni izvor: <http://www.noaa.gov/>)

Uragani su u stvari rijetka pojava. Da bi se neki meteorološki poremećaj razvio u uragan, moraju biti zadovoljeni sljedeći uvjeti:

- Geografska širina mora biti između 8° i 20° (na sjevernoj i južnoj hemisferi)
- Velika relativna vlažnost zraka srednje atmosfere (~ 700hPa)
- Malo smicanje vjetra
- Topla površina oceana, površinska temperatura $\geq 26.5^{\circ}$ C do dubine od 60m (Slika 1)

- Uvjetna nestabilnost
- Pojačana vrtložnost u donjoj troposferi

Za razvoj tropske ciklone svi gore navedeni uvjeti moraju biti istodobno zadovoljeni, ali ni to nije garancija da će se uragan razviti. Parametrom nastanka može se izračunati vjerojatnost za nastanak uragana na tropskom području Atlantika (npr. Demaria i sur. 2001). Za Područje Pacifika takav indeks nije dostupan.

Za daljnji razvoj potreban je topao ocean kao izvor latentne topline, a smicanje vjetra ne smije biti prejako kako bi se latentna toplina zadržala u konvektivnom sustavu. Ako će dotok topline biti veći od gubitka energije (npr. trenjem) uragan će se nastaviti razvijati i jačati. Kategorizacija uragana prikazana je u Tablici 1.

Tablica 1. Kategorizacija uragana po Saffir-Simpsonu.

Kategorija	Srednja brzina vjetra / (m/s)	Minimalni tlak u centru / hPa
Tropska depresija	< 17,5	
Tropska oluja	18 – 32,5	
Uragan 1. kategorije	33 – 42,5	> 980
Uragan 2. kategorije	43 - 49	978 - 965
Uragan 3. kategorije	49,5 - 58	964 - 945
Uragan 4. kategorije	58,5 - 69	944 - 920
Uragan 5. kategorije	> 69	< 920

Razvijeni su mnogi numerički modeli kojima bismo mogli predvidjeti razvoj i evoluciju tropskih oluja i uragana. Neki znanstvenici koriste meteorološke modele kao što su WRF (The Weather Research and Forecasting Model) i NCEP (National Center for Environment Prediction Model) koji se mogu prilagoditi željenoj primjeni (npr. Davis i sur. 2008, Khain i sur. 2010, Chao i Tolman 2010, Zhao i sur. 2010). Drugi znanstvenici razvijaju vlastite modele koristeći i prilagođavajući već utemeljene matematičke modele kako bi mogli promatrati samo određene aspekte uragana (npr. Zhong i Zhang 2010, Vickery i sur. 2009).

Kako bi u budućnosti mogli preciznije prognozirati nastanak i razvoj uragana, potrebno je razviti bolje matematičke modele (ili prilagoditi već postojeće kao što su WRF i NCEP) u kojima bi se objedinjeni procesi u atmosferi, oceanu i uraganu, te njihovo međudjelovanje. Znanstvenici još uvijek nisu u mogućnosti matematički opisati sve procese odgovorne za razvoj uragana, ali razvoj tehnologije, nova istraživanja i ideje, u meteorologiji i oceanografiji pridonose razvoju novih teorija i prilagodbi starih.

Sezona uragana na sjevernoj hemisferi u Atlantskom oceanu počinje sredinom svibnja i traje do sredine studenog s maksimumom krajem kolovoza i početkom rujna. U Pacifičkom oceanu sezona

uragana na sjevernoj hemisferi započinje u svibnju i traje do sredine studenog, s maksimumom u kolovozu.

1.1.1. *Okidači uragana*

Da bi se na nekom području počeo razvijati sustav koji ima potencijal narasti u uragan potreban je okidač. Taj će okidač pokrenuti konvergenciju, a zatim i konvekciju toplog i vlažnog zraka.

Postoje tri uzročnika konvergencije koji pogoduju razvoju uragana:

- Sudaranje pasata južne i sjeverne Zemljine polutke na području oko ekvatora koje obiluje grmljavinskim olujama. To područje naziva se intertropska zona konvergencije (ITCZ). Ponekad takva oluja uspije doći iznad 8°S/J i ima potencijal razviti se u uragan.
- Konvergencija zraka duž tople i hladne zračne struje. Težak, hladan zrak može pomoći podizanju toplog, vlažnog zraka duž fronte. Ponekad takav sustav dođe do Meksičkog zaljeva ili istočne obale Sjedinjenih Američkih Država (npr. Fogarty i sur. 2007) te se razvije u uragan.
- Afrički istočni valovi su atmosferski valovi koji putuju preko Atlantskog oceana. Oni su uzročnici oko 60% tropskih oluja i slabijih uragana. Međutim ako se promatraju samo uragani viših kategorija, tada se čak 85% njih može povezati s Afričkim istočnim valovima.

Afrički istočni valovi nastaju zbog nestabilnosti u Afričkoj istočnoj mlaznoj struji. Afrička Istočna mlazna struja nastaje zbog velikoga gradijenta temperature između vruće Sahare i mnogo hladnijeg Gvinejskog zaljeva.

1.1.2. *Razvoj uragana*

Velika vlažnost atmosfere, topla površina oceana i uvjetna nestabilnost nužni su za razvoj duboke konvekcije. Dubokom konvekcijom poremećaj dobiva potrebnu energiju za daljnji rast. Kruženje topline unutar uragana može se opisati pomoću klasičnoga Carnotovog eneretskoga ciklusa (Emanuel 2005a). Zbog toga se uragan može teorijski promatrati kao zatvoreni sustav, s konstantnom kružnom brzinom vjetra.

Carnotov energetski ciklus u uraganu započinje strujanjem zraka uz površinu oceana prema centru ciklone. Iako se tlak zraka smanjuje prema centru i zrak se širi, nema pada temperature. Temperatura zraka je približno konstantna zato što zrak ima ogroman dotok topline s površine oceana. Brzina vjetra je najveća neposredno prije centra, u zidu oka uragana. Stoga će i preuzimanje vodene pare s površine oceana tamo biti najveće.

Vjetar dodatno pridonosi povećanju temperature turbulentnim trenjem. Kako zrak struji prema centru poremećaja, zrak se zagrijava i zbog trenja. Što je brzina vjetra veća, a površina hrapavija,

to će i temperatura zraka biti veća.

Kada dostigne zid oka zrak se počinje dizati. Dizanjem se zrak hladi. Kada se temperatura zraka koji se diže izjednači s temperaturom rosišta, počinje kondenzacija vodene pare i oslobađanje latentne topline. U stvarnosti zrak izlazi na vrhu zida uragana vrlo velikom brzinom i daleko od uragana, no zbog lakšeg shvaćanja pretpostavlja se da se zrak natrag spušta prema površini daleko od centra.

1.1.3. Jednostavan matematički opis uragana

Korišteni matematički opis preuzet je iz (Emanuel 2005a). Uz pretpostavku da je uragan Carnotov stroj (zatvoren sustav) i da je površina oceana konstantna, moguće je izračunati brzinu vjetra. Gubitak kinetičke energije po jedinici površine (disipacija), D je:

$$D \approx C_D \rho V^3$$

ρ je gustoća zraka, V je brzina vjetra, a C_D koeficijent potezanja turbulentnog trenja. Veća brzina vjetra znači veću disipaciju.

Ukupan dotok topline Q , isparavanjem i disipacijom kinetičke energije vjetra iznosi:

$$Q = C_K \rho V E + C_D \rho V^3$$

C_K je koeficijent izmjene entalpije, odnosno brzina izmjene topline između atmosfere i oceana. E je potencijal isparavanja oceana, odnosno mjera potencijala za prijenos topline između oceana i atmosfere, a ovisi o razlici u temperaturi atmosfere i oceana te relativnoj vlažnosti blizu površine. Što je vlažnost zraka manja, moguće je jače isparavanje i E je veći.

Stoga je ukupan rad jednak ukupnom dotoku topline puta termodinamička efikasnost:

$$W \approx (C_K \rho V E + C_D \rho V^3) * \left(\frac{T_{toplo} - T_{hladno}}{T_{toplo}} \right)$$

Ako se izjednači ukupan rad i gubitak zbog trenja, dobije se izraz za maksimalnu brzinu:

$$C_D \rho V^3 \approx (C_K \rho V E + C_D \rho V^3) * \frac{T_{toplo} - T_{hladno}}{T_{toplo}}$$

$$C_D V^2 \approx (C_K E + C_D V^2) * \frac{T_{toplo} - T_{hladno}}{T_{toplo}}$$

$$C_D V^2 \left(1 - \frac{T_{toplo} - T_{hladno}}{T_{toplo}}\right) \approx C_K E * \frac{T_{toplo} - T_{hladno}}{T_{toplo}}$$

$$C_D V^2 \frac{T_{hladno}}{T_{toplo}} \approx C_K E * \frac{T_{toplo} - T_{hladno}}{T_{toplo}}$$

$$V^2 \approx \frac{C_K}{C_D} E * \frac{T_{toplo} - T_{hladno}}{T_{hladno}}$$

Omjer C_K/C_D je približno jednak 1.

$$V_{max} \approx \sqrt{\frac{T_{toplo} - T_{hladno}}{T_{hladno}} * E}$$

Da bi se izračunao E , potrebno je znati površinsku temperaturu oceana, temperaturu i vlažnost zraka tik uz površinu te tlak zraka na površini na mjestu maksimalnog vjetera. Vrijednost tlaka nije poznata jer ovisi o maksimalnoj brzini. Ona se mora pretpostaviti. T_{toplo} (površinska temperatura oceana) i T_{hladno} (temperatura gdje zrak napušta uragan u visokoj atmosferi) moguće je izmjeriti. Iako uragan rijetko kada dostiže svoj maksimalni potencijal, maksimalan vjetar se može koristiti kao procjena za intenzitet uragana.

Osim konvekcije potrebna je i vrtložnost. Vrtložnost je mjera rotacije fluida. Na objema hemisferama ciklone imaju pozitivnu rotaciju, iako se na sjevernoj hemisferi vjetar unutar ciklona giba suprotno od smjera kazaljke na satu, a na južnoj u smjeru kazaljke na satu. Vrtložnost zadržava oslobođenu toplinu unutar sustava (npr. Braun i sur. 2010). Rasipanje topline značilo bi da sustav ne može sam sebe uzdržavati, i da će se s vremenom raspasti.

Da bi početni sustav konvekcije mogao preživjeti, rasti i razviti se u uragan, mora biti određenih dimenzija (npr. Holton 2004). Sustavi čije su dimenzije veće od Rossbyevog radijusa L_R preživjet će, a sustavi čije su dimenzije manje od L_R neće. Sustavi većih dimenzija otporniji su na vanjske utjecaje od onih manjih dimenzija.

$$L_R = \frac{NH}{\zeta + f_0}$$

N je Brunt Väisäläova frekvencija, H je dubina poremećaja, f_0 je Coriolisov parametar, a ζ vertikalna komponenta relativne vrtložnosti.

Inercijalna stabilnost I je mjera otpornosti sustava na vanjski utjecaj.

$$I^2 = (\zeta + f_0) * \left(f_0 + \frac{2v}{r}\right)$$

ζ je relativna vrtložnost, v/r relativna kutna brzina. Inercijalna stabilnost sustava će rasti kako se sustav bude skupljao i dobivao na snazi i zbog toga snažniji uragani manje osjećaju utjecaj okolša. Unutar samog sustava inercijalna stabilnost se mijenja jer ovisi o radijusu i f_0 .

1.1.4. Struktura uragana

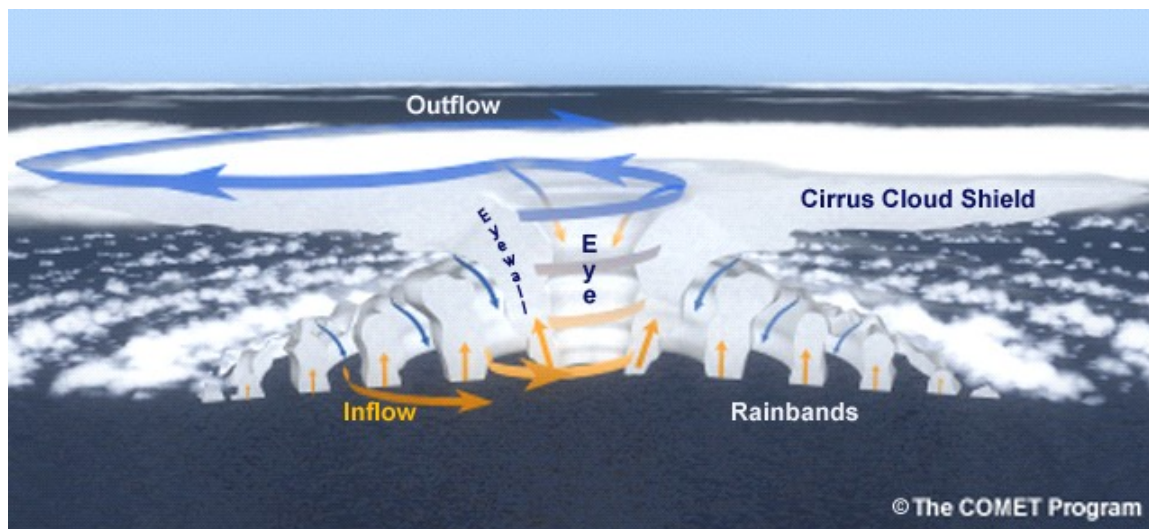
Rotacijski sustav kojeg nazivamo uragan ili tropska ciklona ima toplo središte. U središtu se nalazi minimum tlaka i dobro definirana cirkulacija pri površini. Svaka tropska ciklona (npr. Wang 2008), ima sličnu strukturu (prikazanu na Slici 2) koja se sastoji od: ulaznog toka u graničnom sloju, zida oka, cirusnog štita, oborinskih pruga, izlaznog toka u gornjoj atmosferi, te oka uragana kada ciklona ojača. Cirusni štit može dosežati visinu od ~18km, a radijus uragana može biti ~200km.

U tropskoj cikloni vjetar je najjači uz površinu blizu centra ciklone, a brzina mu se smanjuje prema vrhu (npr. Franklin i sur. 2003). Stoga možemo koristiti termalni vjetar $\vec{V}_T$ za opisivanje te promijene i za praćenje evolucije uragana (Emanuel 2005a).

$$\vec{V}_T = \frac{g}{f_0} \vec{k} \times (z_A - z_B) = \frac{R}{f_0} \vec{k} \times \nabla \bar{T} \ln\left(\frac{p_B}{p_A}\right)$$

g je ubrzanje sile teže, $\vec{k}$ je jedinični vektor u vertikalnom smjeru, $z_A - z_B$ je debljina promatranog sloja atmosfere, R je plinska konstanta, $\bar{T}$ je srednja temperatura sloja, p_B i p_A su vrijednosti tlaka na pripadnim visinama z_B odnosno z_A .

Centar uragana, odnosno njegovo oko najmirnije je područje uragana. Prisutan je lagani vjetar i tu nema naoblake ni oborine jer se zrak na tom mjestu spušta. Oko je okruženo zidom kumulonimbusa. Vjetar na tom području doseže najviše brzine i oborina je najobilnija. Što je uragan razorniji to će oko biti bolje formirano.



Slika 2

Unutarnja struktura uragana.

(Mrežni izvor: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Hurricanes/hurricanes_2.php)

1.1.5. Putanja uragana

U prvoj aproksimaciji, uragani se kreću u smjeru srednje okolne cirkulacije, odnosno srednjeg strujanja u atmosferi koje bi bilo prisutno da nema uragana (npr. Boybeyi i sur. 2007). Vjetar ne mora nužno imati isti smjer i intenzitet na raznim visinama. Mjerenjima i računalnim simulacijama uragana pokazalo se da je najbolje pratiti strujanja na 4-5km visine.

Bolja aproksimacija bila bi promatrati srednje strujanje okolnog zraka duž cijele visine uragana zbog toga što se srednje strujanje okolnog zraka relativno sporo mijenja. Za vrijeme ovakve aproksimacije važno je imati na umu da se gustoća zraka mijenja. To znači da je na većim visinama gustoća zraka manja i zbog toga je potrebno brzine na većim visinama uzeti s manjom težinom (npr. Emanuel 2005a).

Nije samo atmosfera ta koja djeluje na uragan, već i uragan djeluje na okolnu atmosferu. On stvara dva prateća vrtloga. Vrtlog s rotacijom u smjeru kazaljke na satu nalazi se na sjeveroistočnoj strani, a vrtlog s rotacijom suprotnom od smjera kazaljke na satu s jugozapadne strane. Tok zraka oko ta dva sporedna vrtloga stvara "beta struju" koja gura uragan prema sjeverozapadu, a može imati brzinu od 2 m/s (npr. Li i Wang 1996, Wang i Li 1997).

Ako se dalje promatra apsolutna vrtložnost, dobiva se izlazna struja suprotnog smjera rotacije. Ako nema smicanja na visini izlazne struje, tada se centar rotacije izlazne struje poklapa s centrom rotacije uragana. No ako postoji smicanje, taj će se centar premjestiti i pogurnuti će uragan u drugom smjeru (npr. Wu i Emanuel 1994).

Na površini oceana nema mnogo elemenata koji mogu utjecati na putanju uragana (osim ako prelazi preko otoka), ali kada uragan dođe do obale površina zemlje jako utječe na njegovu putanju. Smanjenje brzine vjetra zbog povećanog trenja utjecat će na beta struju, koja će se također smanjivati. Ali najveća promjena u smjeru kretanja uragana, može se očekivati zbog orografije, odnosno zbog velikih planinskih lanaca (npr. Farfan i Zehnder 2001).

1.1.6. Zamiranje uragana

Na geografskim širinama oko 20°S i J, nalaze se suptropska područja visokog tlaka. Ona su sastavni dio opće cirkulacije. Dok se na području oko ekvatora zrak diže i pogoduje razvoju oluja, na području oko 20° taj se isti zrak spušta. On tada više ne sadrži vlagu, ali sadrži toplinu koju je vodena para otpustila. Spuštanjem temperatura zraka raste i javlja se inverzija. To je iznimno stabilno područje.

Na tom istom području prisutan je i jak vjetar na visinama. On pogoduje kidanju naoblake zbog raspršivanja latentne topline. Raspršivanje topline znači gubitak energije potrebne za održavanje konvekcije pa se, ako uragan dospije oko 20° geografske širine (S ili J), očekuje njegovo raspadanje.

Ako se uragan odsiječe od svojeg izvora energije, njegova snaga naglo pada. Točno to se događa

kada uragan dođe iznad hladne vode ili kopna. Iznad kopna je i trenje mnogo jače, stoga brzina vjetra naglo pada, osobito blizu površine.

1.1.7. Uragani i klimatske promjene

Zbog klimatskih promjena uragani se intenzivno proučavaju. Razvijeni su mnogi numerički modeli koji se bave evolucijom klime i njezinog utjecaja na ponašanje uragana. Promjena klime utjecat će na frekvenciju, intenzitet i putanju uragana (npr. Elsner 2008).

Osim razvijanja novih klimatskih modela, znanstvenici se okreću i prema dalekoj prošlosti. Koristeći razvoj paleontologije znanstvenici su trenutno u stanju doći do podataka koji prije nisu bili dostupni. Uspoređivanjem ponašanja uragana u današnjim klimatskim uvjetima i klimatskim uvjetima prisutnima prije desetaka tisuća godina, može se doći do novih saznanja i odgovora (npr. Mann 2009).

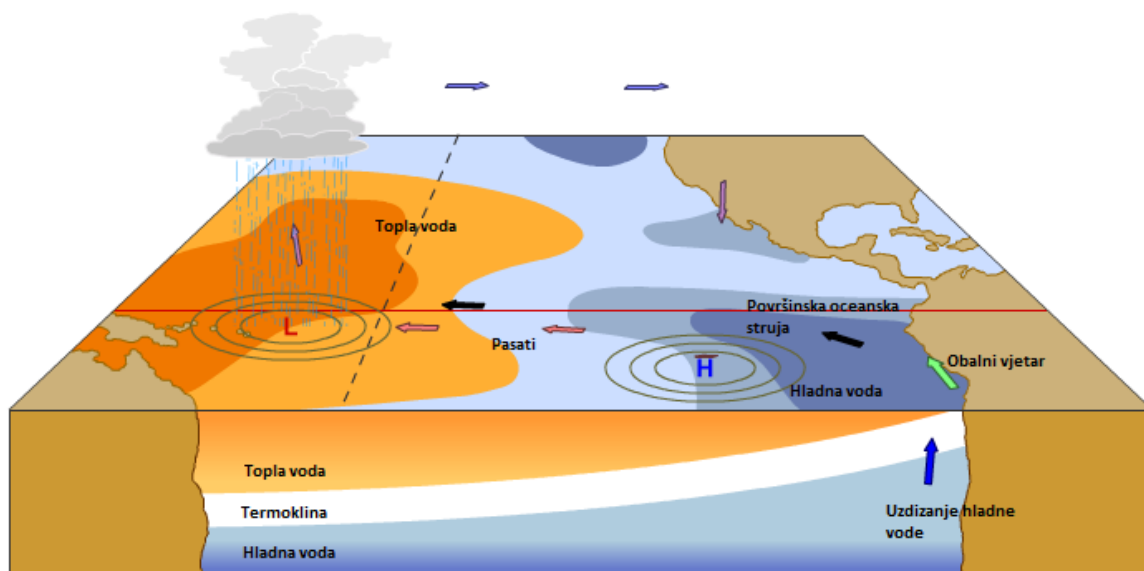
Istraživanja su pokazala da ne postoji znatna korelacija između broja uragana i povećanja globalne temperature, ali zato postoji korelacija između povećanja temperature i intenziteta uragana. Zbog toga se u budućnosti može očekivati da se broj uragana neće znatno promijeniti, ali će oni koji se razviju biti dugotrajniji i snažniji (npr. Emanuel 2005b).

1.2. El Niño Južna oscilacija (ENSO)

Postoje dva osnovna aspekta ENSO oscilacije, meteorološki i oceanografski (npr. Sarachik i Cane 2010). Južna oscilacija je atmosferska komponenta koja se odnosi na fluktuacije atmosferskog tlaka iznad tropskog dijela indopacifičkog područja. Stanje Južne oscilacije u bilo kojem trenutku može se definirati pomoću indeksa Južne oscilacije (Southern Oscillation Index, SOI). SOI uspoređuje razliku atmosferskog tlaka iznad Australije i Indonezije i tlaka iznad istočnog djela južnog Pacifika.

Ocean i atmosfera međusobno utječu jedan na drugo. Atmosfera utječe na ocean kroz anomalije u površinskoj napetosti koje su posljedica površinskog vjeta, dok ocean utječe na atmosferu kroz anomalije u površinskoj temperaturi i pripadajućim tokovima senzibilne i latentne topline. Iz raznih istraživanja donesen je zaključak da se gradijent atmosferskog tlaka razvija prvi, a zatim slijede promjena u napetosti vjeta na površini oceana, te promjena površinske temperature. Točan okidač promjene gradijenta tlaka još nije određen.

Da bi se dobila slika o ENSO-u, prvo se promatra normalna situacija. Pasati na ekvatorijalnom području zakreću prema zapadu, gurajući toplu površinsku vodu prema Australiji i Indoneziji. Vlagom bogat zrak se diže (područje niskog tlaka) i dolazi do konvekcije te stvaranja naoblake. Australija, Indonezija i istočna Azija imaju razdoblje obilate oborine, monsuna. Na području istočnog Pacifika imamo spuštanje zraka i visoki tlak. Da bi se manjak vode u istočnom Pacifiku nadoknadio, razvija se dotok hladne vode iz dubine koja obiluje hranjivim tvarima. Velika količina planktona povoljno će utjecati na razvoj ribe, a time i na ribarstvo te ekonomiju zemalja tih ribolovnih područja.



Slika 3

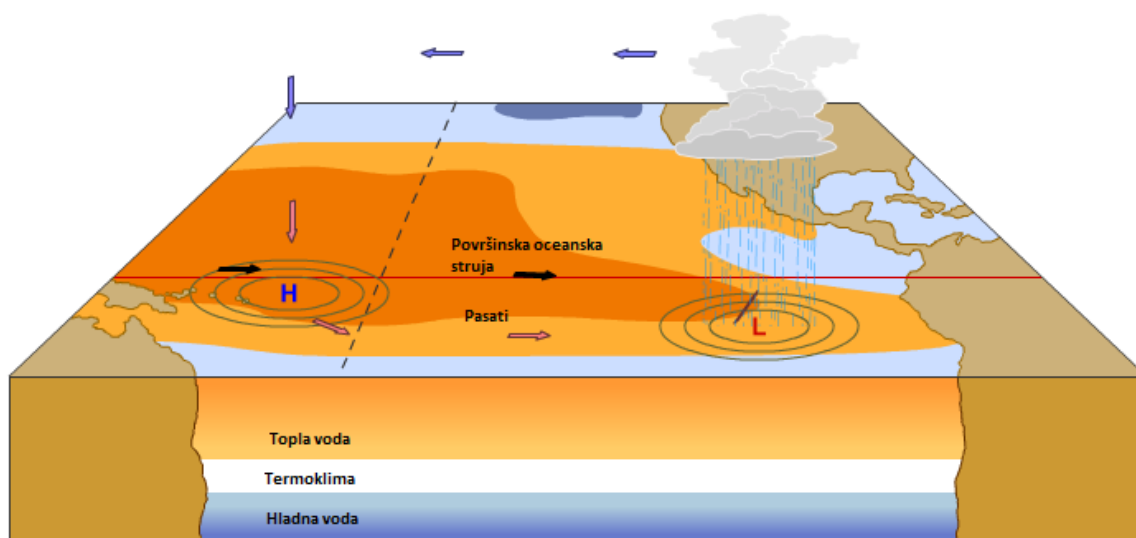
Cirkulacija zraka i stanje oceana u normalnim (neporemećenim) uvjetima.

(Mrežni izvor http://esminfo.prenhall.com/science/geoanimations/animations/26_NinoNina.html)

1.2.1. El Niño i La Niña

Svakih tri do sedam godina pasati gube intenzitet ili čak mijenjaju smjer. Uzrok razvoju ovakve situacije je Južna oscilacija. Ona premješta područje visokog tlaka na područje Australije i Indonezije, a područje niskog tlaka na područje istočnog Pacifika. Zbog ovakve promjene konvekcija se seli uz obalu Južne Amerike i sa sobom donosi jake oborine i oluje. U isto vrijeme na području Australije i Indonezije nastupa razdoblje suša zato što oborina koja bi inače padala na području Australije i Indonezije, sada pada uz obalu Južne Amerike.

I u Pacifičkom oceanu se događaju promjene. Zapadni vjetar gura toplu površinsku vodu prema Južnoj Americi, prestaje uzdizanje hladne dubinske vode, a dotok tople vode u istočnom Pacifiku spušta termoklinu.



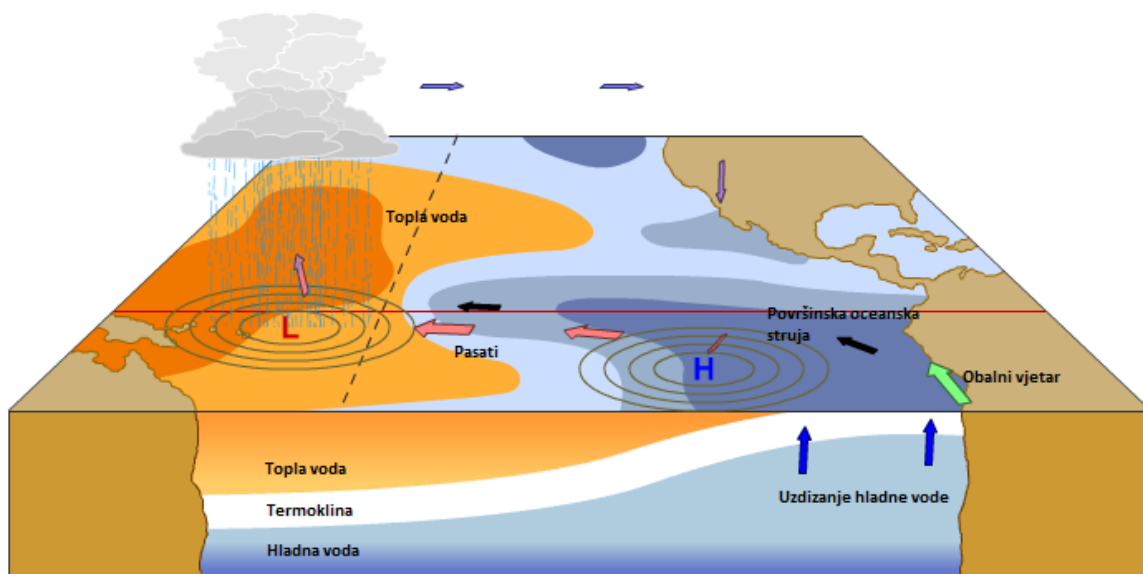
Slika 4

Cirkulacija zraka i stanje oceana kada je El Niño razvijen u potpunosti.

(Mrežni izvor: http://esminfo.prenhall.com/science/geoanimations/animations/26_NinoNina.html)

Samo ime El Niño potječe od lokalnog stanovništva. Svake godine u razdoblju oko Božića, kada na južnoj hemisferi nastupa vrhunac ljeta, javlja se topla južna protustruja duž obale Perua koja nadomješta Humboltovu struju. Ona bi trajala najviše nekoliko tjedana, nakon čega bi se natrag vratila Humboltova hladna struja. Vežući ovu pojavu uz Božić, lokalni stanovnici nazvali su je El Niño - "Dječak". Znanstvenici su usvojili taj naziv, ali ga vežu uz Južnu oscilaciju i pojavu neobično tople površine srednjeg i istočnog dijela Pacifika, koje može potrajati od tri mjeseca do dvije godine.

Nakon El Niña može doći do normalizacije ili do La Niñae - "Djevojčice". Kod razvoja La Niñae pasati postaju posebno jaki. Još jače guraju površinsku vodu Pacifika prema Australiji i Indoneziji, što uzrokuje jače podizanje termokline i jači dotok hladne vode.



Slika 5

Cirkulacija zraka i stanje oceana kada je La Niña razvijena u potpunosti.

(Mrežni izvor http://esminfo.prenhall.com/science/geoanimations/animations/26_NinoNina.html)

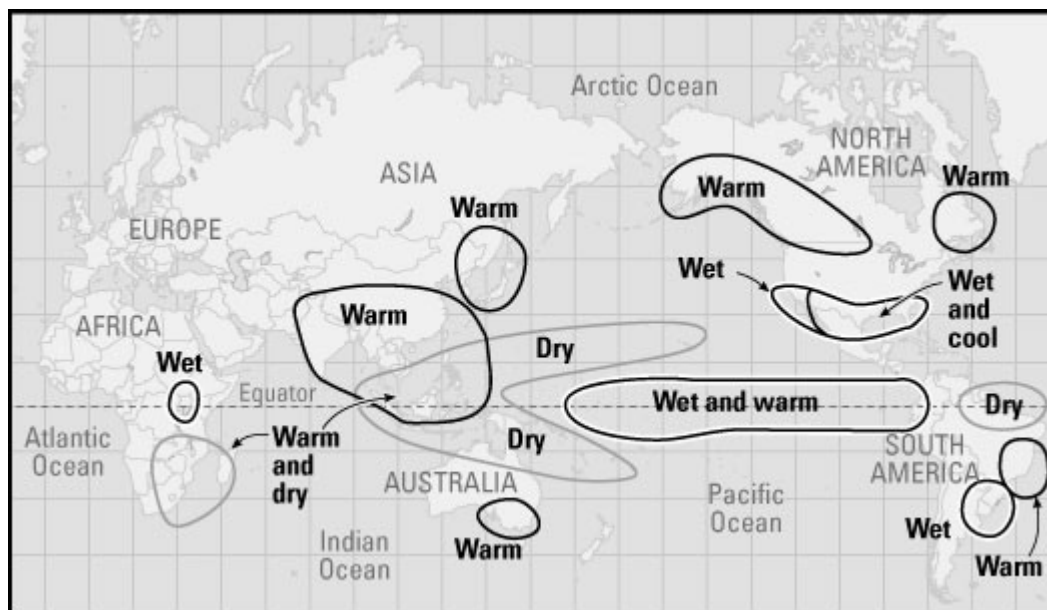
1.2.2. Utjecaj i posljedice El Niña i La Niñe

Utjecaj El Niña i La Niñe nije ograničen samo na područje Pacifičkog oceana. Fluktuacije atmosferskog tlaka iznad tropskog dijela indopacifičkog područja uzrokuju nastajanje Kelvinovog i Rossbyevog vala (npr. Jialin 2009, Shang-Ping i sur. 2010). Oba vala putuju oko Zemlje na ekvatorijalnom pojasu i uzrokuju klimatske fluktuacije na cijelom planetu. Klimatske fluktuacije se odnose na promjenu klimatskog obilježja pojedinih regija (kao što se vidi na Slici 6 i Slici 7), a ne na klimatske promjene uzrokovane promjenom sastava atmosfere (globalnim zagrijavanjem).

El Niño donosi jaku oborinu u područja koja inače nemaju veliku količinu oborine, kao što su Peru, Ekvador i Kalifornija. Tlo na tim područjima (stepa i pustinja) teško upija veliku količinu vode, stoga se javljaju poplave i odronjavanja tla. S druge strane suša se javlja na području Bolivije i Srednje Amerike. El Niño također ima veliki utjecaj na monsun s područja Indije, jugoistočne Azije te dijelova Afrike (npr. Jinhee i Sang-Wook 2010, Hyo-Seok i sur. 2010). On odnosi vlažan zrak potreban za nastanak monsun. Izostanak jakih oborina znači glad u većini tih zemalja.

Ima El Niño i nekih dobrih strana, kao što je blaža zima u zapadnoj Kanadi i sjevernim djelovima Amerike. Mlazna struja odnosi sve oluje prema Aljasci, a u vrijeme sezone uragana razvija se jak visinski vjetar koji kida naoblaku i koči razvoj uragana na području Atlantskog oceana. El Niño pojačava pacifičku putanju oluja, i gura je više prema jugu, izravnavajući je (uglavnom se proteže ravno preko Pacifika).

Utjecaj La Niñe teže je predvidjeti. Putanja oluja kod La Niñe je slaba, nepravilna i puna oscilacija. Zbog toga je teško predvidjeti kretanje oluja (npr. Solman i Menéndez 2002).

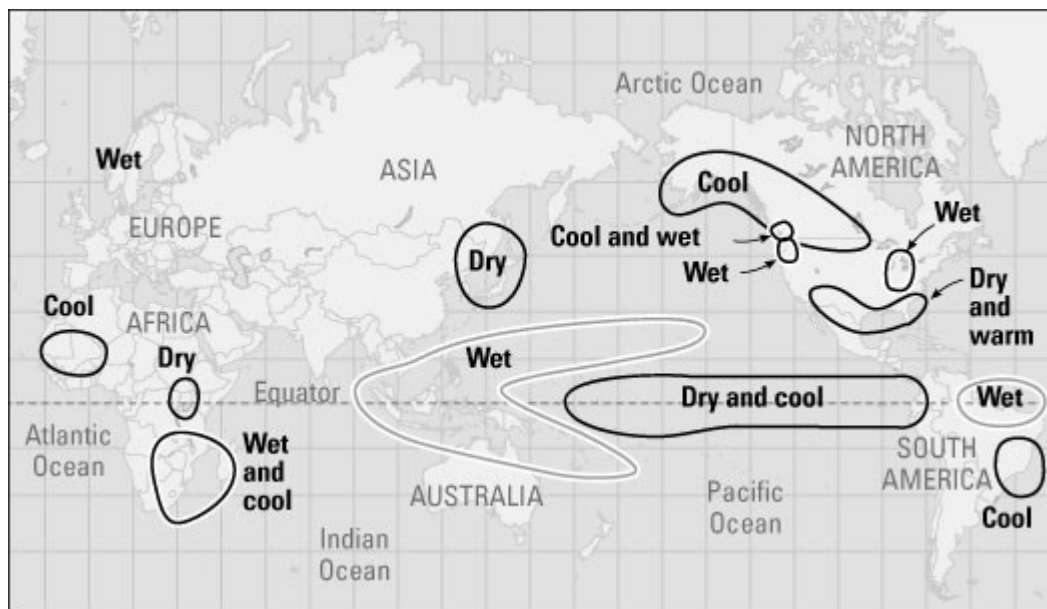


Slika 6

Utjecaj El Niña na temperaturu i količinu oborine na raznim područjima Zemlje.

(Mrežni izvor: <http://www.dummies.com/how-to/content/el-nino-and-la-nina-weather-siblings.html>)

La Niña naglašava već uobičajene uvjete raznih područja, što znači: izraženije zime, veća količina snijega, a na područjima s malo oborine, još jača suša. Godine El Niña također pogoduju razvoju uragana, koji tada nisu samo intenzivniji, nego i razdoblje u kojem se mogu razviti dulje traje.



Slika 7

Utjecaj La Niñe na temperaturu i količinu oborine na raznim područjima Zemlje.

(Mrežni izvor: <http://www.dummies.com/how-to/content/el-nino-and-la-nina-weather-siblings.html>)

1.2.3. ENSO i klimatske promjene

U promatranju klimatskih promjena ENSO je vrlo važan dio slagalice, zbog toga ga znanstvenici istražuju s velikim zanimanjem. Kao i u slučaju uragana, ne promatraju se samo budući scenariji, već i scenariji daleke prošlosti (npr. Kitoh 2007, Bush 2007). Takvim se promatranjima uvidjelo da se i sam ENSO mijenja (npr. Mo 2010).

Razne simulacije i analiza koraljnih grebena pokazali su da ENSO tijekom dugog razdoblja (npr. Cane 2005) pokazuje lagani pad u amplitudi, bez obzira na klimatske promijene. Točna interakcija ENSO-a i klimatskih promjena još nije točno poznata, ali postoje naznake da bi klimatske promjene mogle dodatno naglašavati utjecaj El Niña i La Niñe na klimatske prilike već spomenutih područja.

2. Motivacija

Kao što je navedeno u uvodu uragani uzrokuju milijunske štete i odnose mnoge živote. Već je i sama ta činjenica dovoljna da se uragani pobliže promotre. Ako bi jednom znanstvenici bili u stanju predvidjeti evoluciju uragana, populacija bi mogla biti obaviještena i evakuirana na vrijeme. I dalje ostaje problem materijalnih šteta, ali ljudski život je vrijedniji od materijalnih dobara.

Postoji ideja da bi se uragani na neki način mogli kontrolirati. Prvotna ideja u šezdesetima i sedamdesetima bila je korištenje srebrnog jodida uz pretpostavku da se može dobro prognozirati putanja uragana. Srebrni jodid bi se koristio za stvaranje naoblake ispred uragana, tako da bi uragan uvlačio topao i suhi zrak umjesto vlažnog. Time bi se utjecalo na putanju i intenzitet. Rezultati su bili loši i ideja nije zaživjela.

Trenutno se razmatraju ideje o podvodnim pumpama koje bi pumpale hladnu vodu iz dubina, i time utjecale na dostupnu energiju za razvoj. Druga ideja je razvoj biorazgradivog ulja koje bi kao opna pokrivalo ocean. Time bi se pomoću ulja zatvorio dotok energije. Još uvijek nije poznata uloga uragana u globalnoj klimi i zbog toga bi se trebalo izbjegavati kontroliranje uragana, kako se ne bi prouzročila još veća šteta.

Uragani u Atlantskom oceanu su mnogo bolje istraženi. Glavni razlog tome je što gotovo svi uragani koji dostignu kopneni dio Sjeverne Amerike dolaze iz Atlantskog oceana. Stoga većina novca kojim se financiraju istraživanja vezana uz uragane odlazi na letove i mjerenja fokusirana na Atlantski ocean.

Prvotna ideja za rad je bila traženje povezanosti uragana i El Niña odnosno La Niñe ovisno o srednjoj mjesečnoj temperaturi oceana. S obzirom da ti podatci nisu bili dostupni, rad je krenuo u drugom smjeru. Klimatske promjene sve su zanimljivija tema, kako laicima, tako i znanstvenicima. ENSO, odnosno njegove komponente vezane uz ocean - EL Niño i La Niña - su prirodni procesi koji mogu poslužiti kao predložak i uvid u utjecaj klimatskih promjena na uragane, odnosno utjecaj temperature promjene površine oceana na razvoj uragana.

Osnovni cilj ovog rada bio je promotriti utjecaj El Niña i La Niñe na broj uragana, maksimalnu brzinu vjetra i trajanje uragana na području Atlantskog i Pacifičkog oceana. Daljnji cilj je bio usporediti dobivene rezultate, odnosno zaključiti da li El Niño i La Niña imaju jednak ili različit utjecaj na uragane Atlantskog i Pacifičkog oceana.

Ovaj rad ima i prediktivnu funkciju. Promatrajući ponašanje uragana tijekom prošlog vremenskog niza (1950. – 2009.) želi se predvidjeti ponašanje uragana u nadolazećim razdobljima El Niña i La Niñe.

3. Metode rada

3.1. Prikupljanje podataka

Podaci koji su korišteni za obradu u ovom radu, dobiveni su od agencije NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Podaci su sadržavali popis svih zabilježenih tropskih depresija i oluja te uragana u sjevernom Atlantiku i istočnom Pacifiku, kao i vrijednosti oceanskog Niño Indeksa (ONI). Obrada podataka provedena je za vremensko razdoblje od 1950. do 2009. godine.

Korišten je ONI 3.4 koji se računa kao klizni srednjak mjesečnog temperaturnog odstupanja tri uzastopna mjeseca za područje (5°N - 5°S , 120° - 170°W). To znači da se umjesto mjesečne ovisnosti promatrala tromjesečna ovisnost. Promatrana tromjesečja i njihove pripadne kratice su sadržane u Tablici 2.

Tablica 2. Tromjesečja i njihove pripadne kratice

Tromjesečje	Kratice
Prosinac – siječanj – veljača	PSV
Siječanj – veljača – ožujak	SVO
Veljača – ožujak – travanj	VOT
Ožujak – travanj – svibanj	OTS
Travanj – svibanj – lipanj	TSL
Svibanj – lipanj – srpanj	SLS
Lipanj – srpanj – kolovoz	LSK
Srpanj – kolovoz – rujan	SKR
Kolovoz – rujan – listopad	KRL
Rujan – listopad – studeni	RLS
Listopad – studeni – prosinac	LSP
Studen – prosinac – siječanj	SPS

Ako je indeks veći od $+0,5^{\circ}\text{C}$, odnosno manji od $-0,5^{\circ}\text{C}$ za najmanje 5 uzastopnih tromjesečja govorimo o epizodi El Niña odnosno La Niña. Ovako se analiza orijentirala na potragu za korelacijom oceanskog aspekta ENSO-a i ponašanja uragana.

Podaci za uragane uključuju datum i vrijeme mjerenja, ime uragana, koordinate položaja, brzinu vjetra te tlak zraka u centru uragana. Mjerenja se bilježe četiri puta na dan u 00.00, 06.00, 12.00 te 18.00 sati po univerzalnom vremenu.

U promatranom vremenskom razdoblju (1950. - 2009.) nad Istočnim Pacifikom zabilježeno je 374 uragana, a nad sjevernim Atlantikom 442. U sjevernom Atlantiku zabilježeno je mnogo više uragana prve kategorije. Uragani druge i treće kategorije javili su se podjednako, dok su se oni četvrte kategorije javili skoro dva puta češće u sjevernom Atlantiku. Istočni Pacifik je plodniji na području uragana pete kategorije. Popis svih zabilježenih uragana po kategorijama sadržan je u Tablici 3.

Tablica 3. Broj uragana po kategorijama.

	Istočni Pacifik	Sjeverni Atlantik
Prva kategorija uragana	150	199
Druga kategorija uragana	63	68
Treća kategorija uragana	74	69
Četvrta kategorija uragana	55	86
Peta kategorija uragana	32	20

3.2. Obrada podataka

Obrada podataka i sam izračun provedeni su u matematičkom programu MATLAB-u. Napisani su programi s kojima se radilo sortiranje podataka, a zatim proveli računi. Za provedbu računa bilo je potrebno izdvojiti samo podatke za uragane, trajanje svakog uragana i maksimalna postignuta brzina vjetra. Te su vrijednosti zatim pridodane svakom tromjesečju.

Kako bi se što bolje promotrio utjecaj El Niña i La Niñe računati su koeficijenti korelacije za svako tromjesečje za broj uragana i ONI-ja, maksimalnu dostignutu brzinu vjetra i ONI-ja, srednju maksimalnu brzinu vjetra i ONI-ja, maksimalnog trajanja i ONI-ja, srednjeg trajanja i ONI-ja.

Isti račun proveden je i za godišnje usrednjavanje. Vrijednosti ONI-ja su usrednjene za svaku godinu u razdoblju 1950. – 2009. Podaci za uragane su također usrednjeni (u slučaju kada se radilo o srednjim vrijednostima brzine i trajanja) i prilagođeni (u slučaju maksimalne brzine i trajanja).

Na kraju se još tražila korelacija između broja uragana određene kategorije i INO-a. Podaci za koje su se računali koeficijenti korelacije prikazani su grafikonima raspršenja.

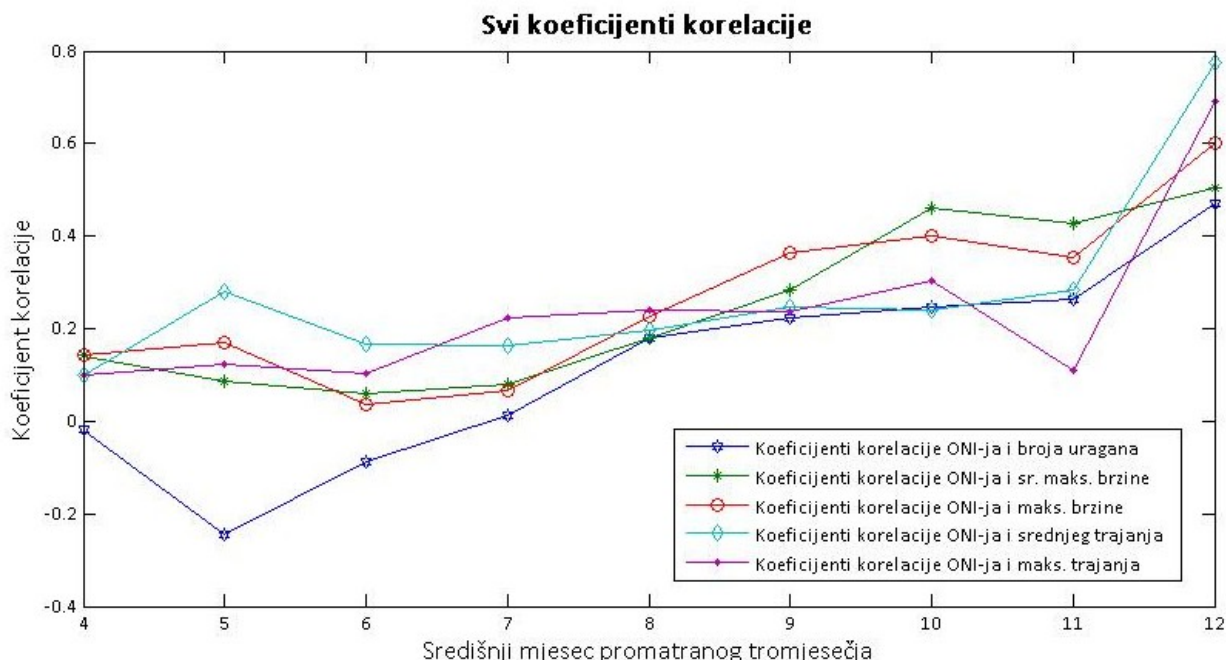
Sve analize provedene su posebno za Atlantski i Pacifički ocean. Zbog različitih utjecaja El Niña i La Niñe na atmosferu očekuje se i različit utjecaj na uragane u Atlantskom odnosno Pacifičkom oceanu.

4. Rezultati

4.1. Utjecaj El Niña i La Niña na uragane istočnog Pacifika

Koeficijente korelacije nije bilo moguće izračunati za sva tromjesečja zato što u određenim tromjesečjima nije bilo zabilježen dovoljan broj uragana za statističku obradu. Koeficijenti korelacije izračunati su za sljedeća tromjesečja: OTS, TSL, SLS, LSK, SKR, KRL, RLS, LSP, SPS.

U doljnjem grafikonu prikazani su svi izračunati koeficijenti korelacije. Na x-osi nalaze se tromjesečja, koja su označena brojevima. Brojevi se odnose na središnji mjesec promatranog tromjesečja (npr. ako se na x-osi nalazi 9, tada je pripadno tromjesečje KRL).



Slika 9

Na ovom grafu prikazani su svi izračunati koeficijenti korelacije po tromjesečjima za čitavo vremensko razdoblje (1950.-2009.) za uragane koji su zabilježeni u istočnom Pacifiku.

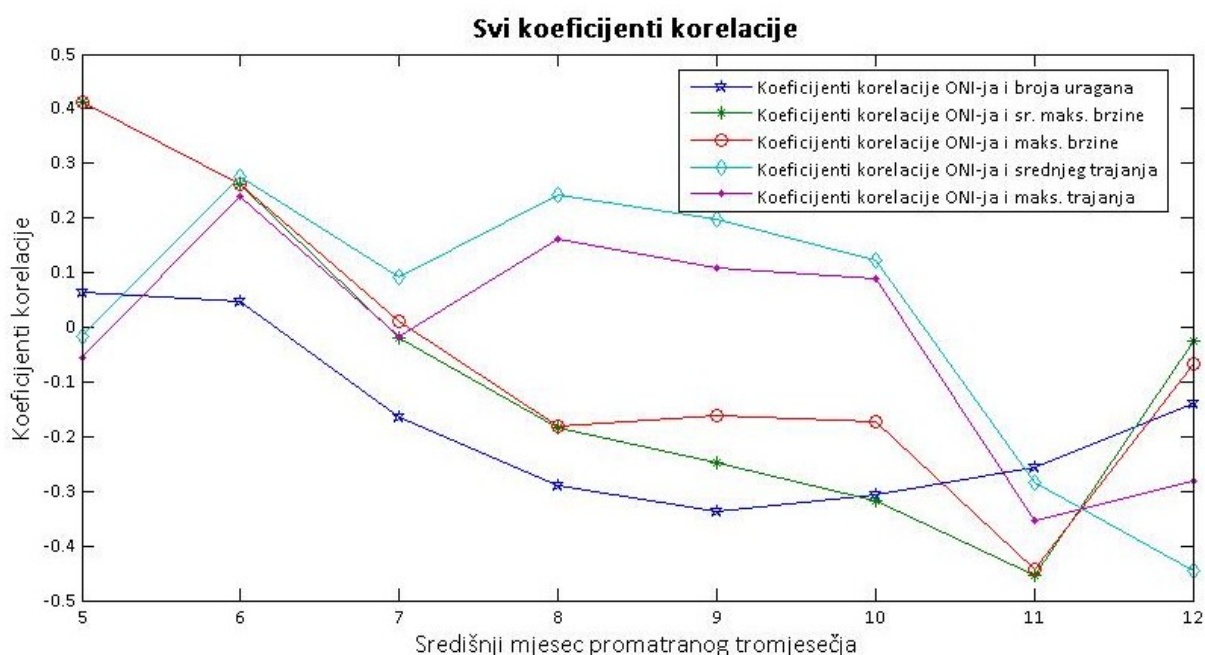
Koeficijenti korelacije za ONI i srednju maksimalnu brzinu vjetra, za ONI i maksimalnu brzinu vjetra, za ONI i srednje trajanje uragana, te ONI i maksimalno trajanje uragana poprimaju pozitivne vrijednosti u čitavoj sezoni uragana (Slika 9). Za razliku od njih koeficijent korelacije ONI-ja i broja uragana poprima negativne vrijednosti na početku sezone uragana. Promatrajući apsolutnu vrijednost izračunatih koeficijenata korelacije vidi se da koeficijenti poprimaju vrijednosti (0, 0,8).

Daljnijim promatranjem može se uočiti rast prikazanih koeficijenata korelacije prema kraju sezone uragana. Koeficijent korelacije ONI-ja i srednjeg trajanja uragana poprima najvišu vrijednost i to u

zadnjem tromjesečju.

4.2. Utjecaj El Niña i La Niña na uragane sjevernog Atlantika

Kao i u slučaju istočnog Pacifika, ni za sjeverni Atlantik nije bilo moguće provesti račune za tromjesečja PSV, SVO i VOT zbog premalog broja zabilježenih uragana. Za sjeverni Atlantik dodatno nije bilo moguće provesti račun za OTS iz istog razloga. Na Slici 10 prikazani su svi izračunati koeficijenti korelacije. Na x-osi nalaze se tromjesečja, koja su označena brojevima. Brojevi se odnose na središnji mjesec promatranog tromjesečja.



Slika 10

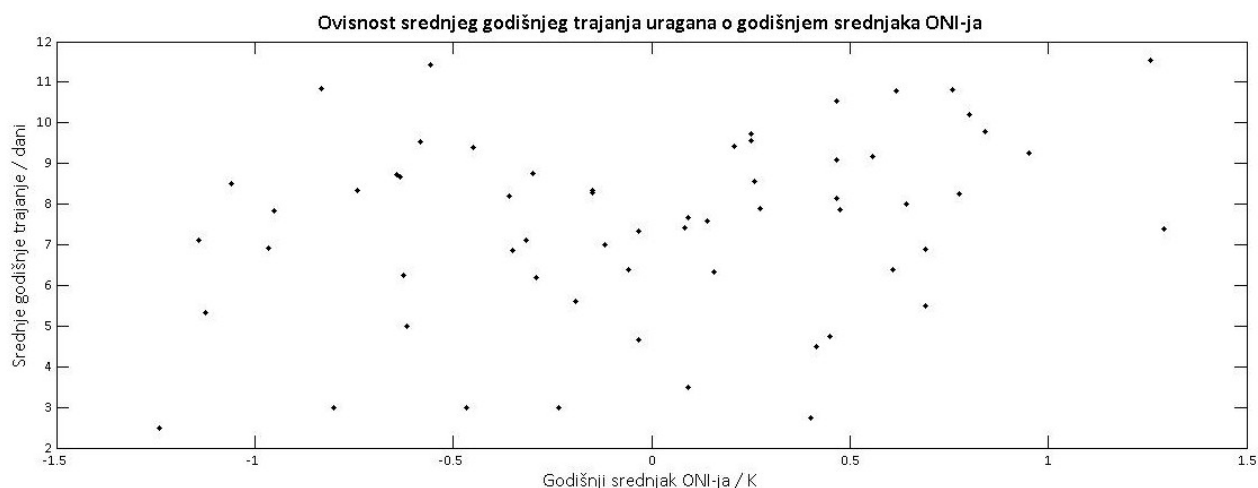
Na ovom grafu prikazani su svi izračunati koeficijenti korelacije po tromjesečjima za čitavo vremensko razdoblje (1950.-2009.) za uragane koji su zabilježeni u sjevernom Atlantiku.

Koeficijenti korelacije za ONI i srednju maksimalnu brzinu, za ONI i maksimalnu brzinu, za ONI i srednje trajanje, te za ONI i broj uragana poprimaju pozitivne vrijednosti početkom sezone uragana. Prema sredini sezone uragana vrijednosti koeficijenata korelacije padaju. Koeficijenti korelacije za ONI i maksimalnu brzinu, za ONI i srednju maksimalnu brzinu, te za ONI i broj uragana poprimaju negativne vrijednosti, dok vrijednosti koeficijenata korelacije za ONI i srednje trajanje uragana, te ONI i maksimalno trajanje uragana ostaju pozitivni. Na kraju sezone uragana svi koeficijenti korelacije poprimaju negativne vrijednosti.

Promatranjem apsolutnih vrijednosti koeficijenata korelacije, vidi se da koeficijenti poprimaju vrijednosti (0, 0,5), s maksimumom u predzadnjem tromjesečju.

4.3. Godišnje usrednjavanje za istočni Pacifik

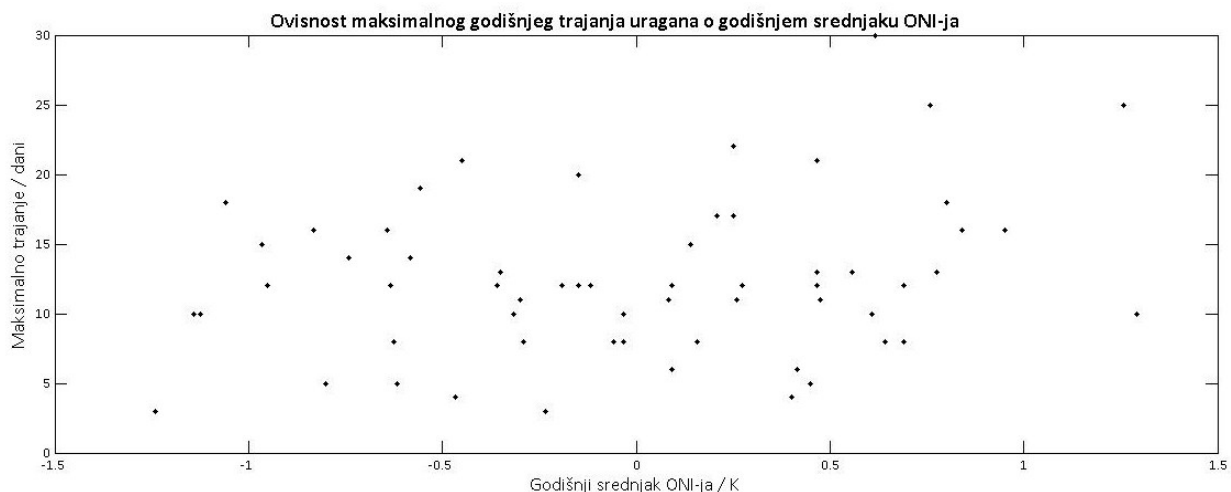
Daljnja analiza provodi se za godišnje usrednjavanje i prilagodbu podataka za uragane u istočnom Pacifiku. Prikazani su diagrami raspršenja za srednje godišnje trajanje uragana i godišnjeg srednjaka ONI-ja, za maksimalno godišnje trajanje uragana i godišnjeg srednjaka ONI-ja, za maksimalnu godišnju brzinu vjetra i godišnjeg srednjaka ONI-ja, za srednju godišnju maksimalnu brzinu vjetra i godišnjeg srednjaka ONI-ja, te broja uragana u godini i godišnjeg srednjaka ONI-ja.



Slika 11

Ovisnost srednjeg godišnjeg trajanja uragana iznad istočnog Pacifika o godišnjem srednjaku ONI-ja.

Koeficijent korelacije godišnjeg srednjaka ONI-ja i srednjeg trajanja uragana iznosi 0,2722 (Slika 11).

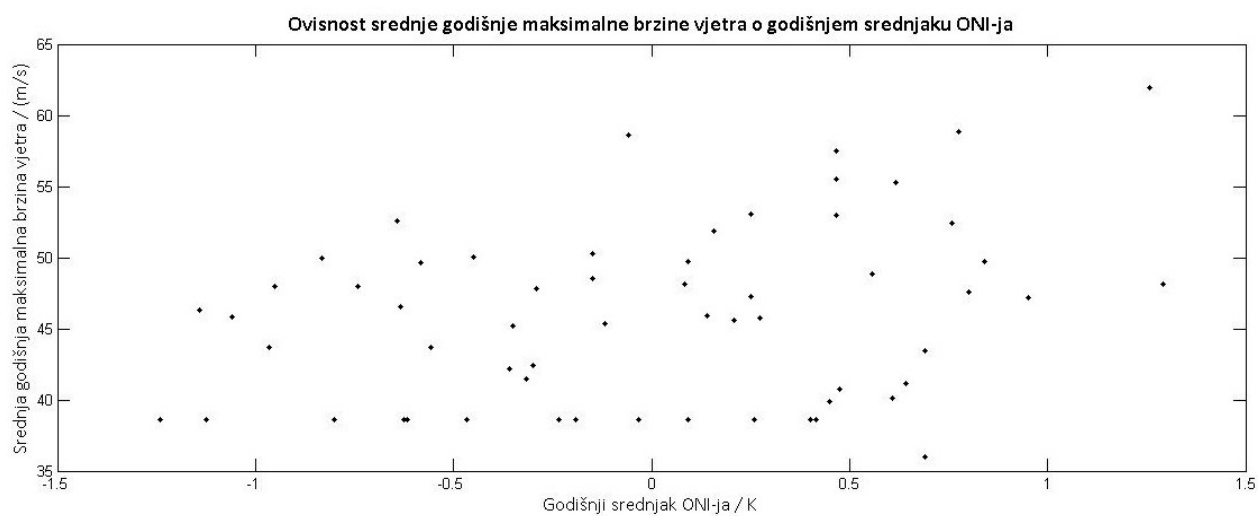


Slika 12

Ovisnost maksimalnog godišnjeg trajanja uragana iznad Istočnog Pacifika o godišnjem srednjaku ONI-ja

Koeficijent korelacije godišnjeg srednjaka ONI-a i maksimalnog godišnjeg trajanja uragana iznosi

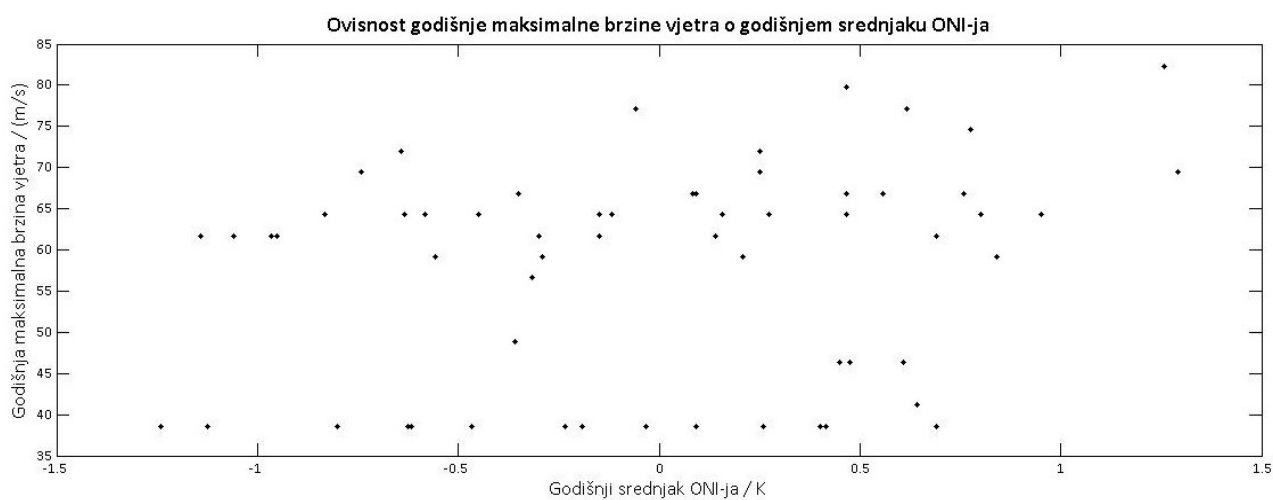
0,2388 (Slika 12).



Slika 13

Ovisnost srednje godišnje maksimalne brzine vjetra iznad Istočnog Pacifika o godišnjem srednjaku ONI-ja.

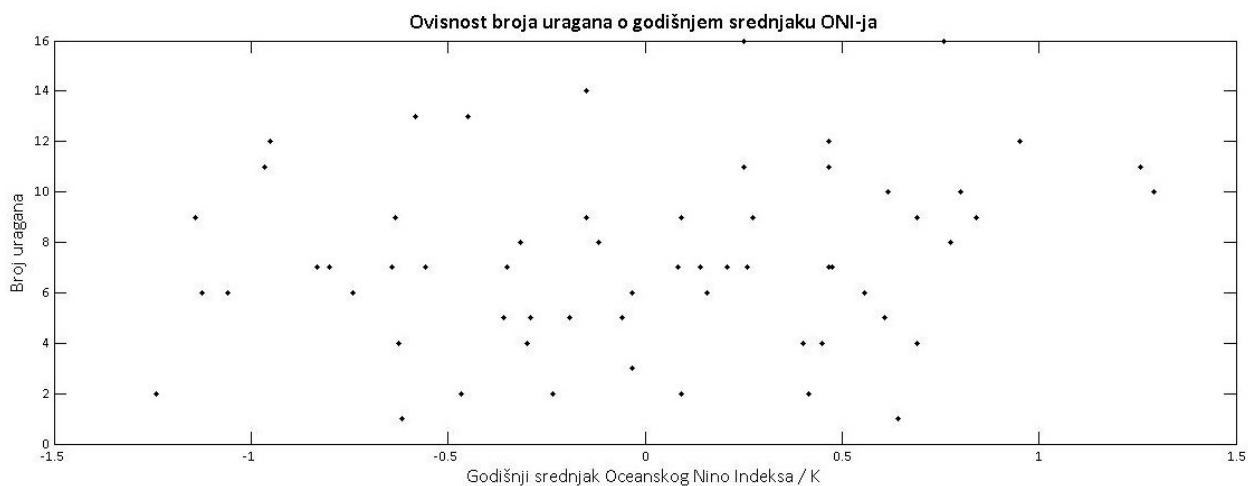
Koeficijent korelacije godišnjeg srednjaka ONI-a i srednje godišnje maksimalne brzine vjetra iznosi 0,2916 (Slika 13).



Slika 14

Ovisnost maksimalne brzine vjetra iznad Istočnog Pacifika o godišnjem srednjaku ONI-ja.

Koeficijent korelacije godišnjeg srednjaka ONI-a i maksimalne brzine vjetra iznosi 0,2262 (Slika 14).



Slika 15

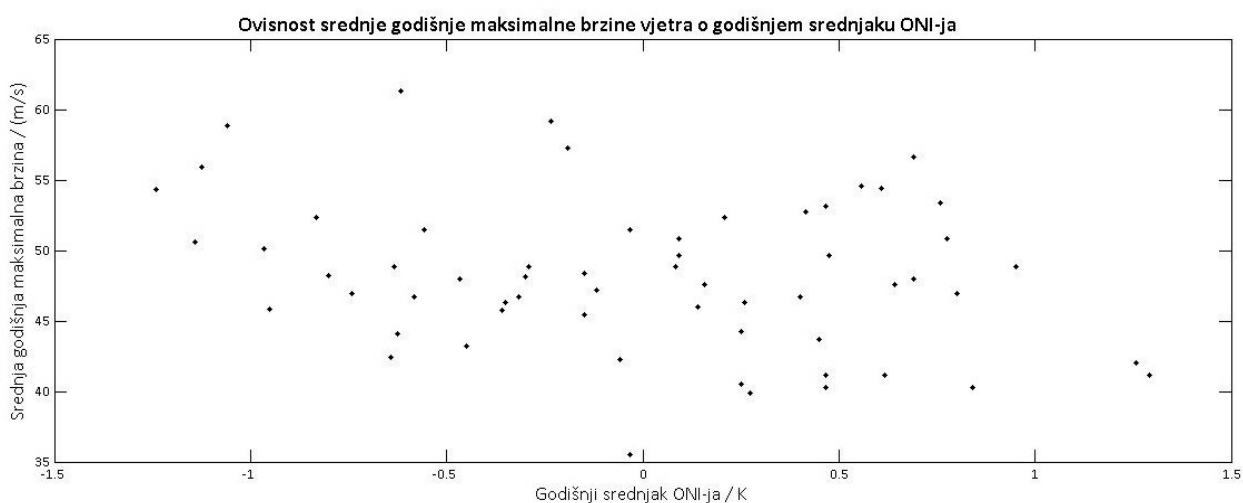
Ovisnost broja uragana u godini iznad Istočnog Pacifika o godišnjem srednjaku ONI-ja.

Koeficijent korelacije godišnjeg srednjaka ONI-a i broja uragana iznosi 0,1884 (Slika 15).

Svi izračunati koeficijenti korelacije su pozitivni. Najveći koeficijent korelacije dobiven je za ONI i srednju godišnju maksimalnu brzinu vjetra (Slika 13), a najmanji za ONI i broj uragana (Slika 15).

4.4. Godišnje usrednjavanje za sjeverni Atlantik

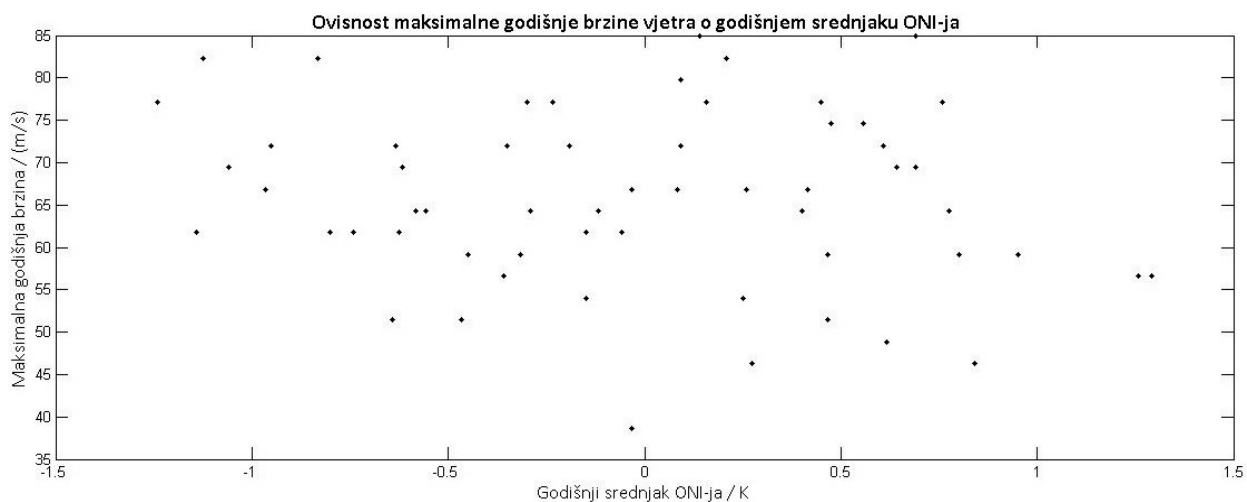
Daljnja analiza provodi se za godišnje usrednjavanje i prilagodbu podataka za zabilježene uragane u sjevernom Pacifiku. U ovom slučaju biti će prikazan grafikon koji prikazuje ovisnost godišnje maksimalne brzine o godišnjem srednjaku ONI-ja, grafikon koji prikazuje ovisnost srednje godišnje maksimalne brzine o godišnjem srednjaku ONI-ja, te grafikon koji prikazuje ovisnost broja uragana u godini o godišnjem srednjaku ONI-ja. Ostala dva grafikona neće biti prikazana (grafikon koji prikazuju ovisnost srednjeg godišnjeg trajanja i ovisnost maksimalnog godišnjeg trajanja o ONI-ju), zato što su dobiveni koeficijenti korelacije ≈ 0 .



Slika 16

Ovisnost srednje godišnje maksimalne brzine vjetra iznad sjevernog Atlantika o godišnjem srednjaku ONI-ja.

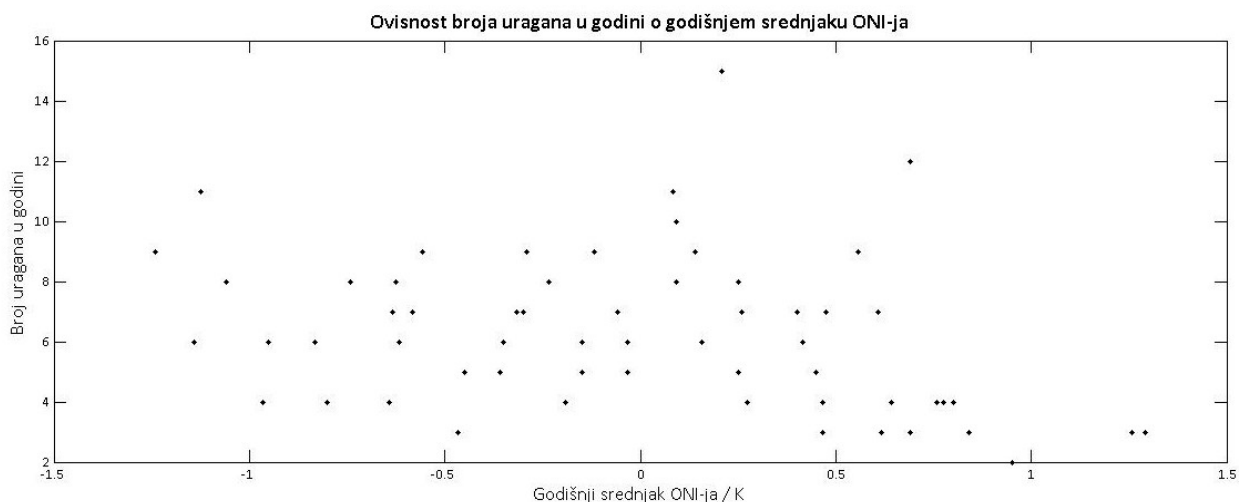
Koeficijent korelacije godišnjeg srednjaka ONI-ja i srednje godišnje maksimalne brzine iznosi -0,2724 (Slika 16).



Slika 17

Ovisnost maksimalna brzine vjetra iznad sjevernog Atlantika o godišnjem srednjaku ONI-ja.

Koeficijent korelacije godišnjeg srednjaka ONI-ja i maksimalne godišnje brzine iznosi -0,1685 (Slika 17).



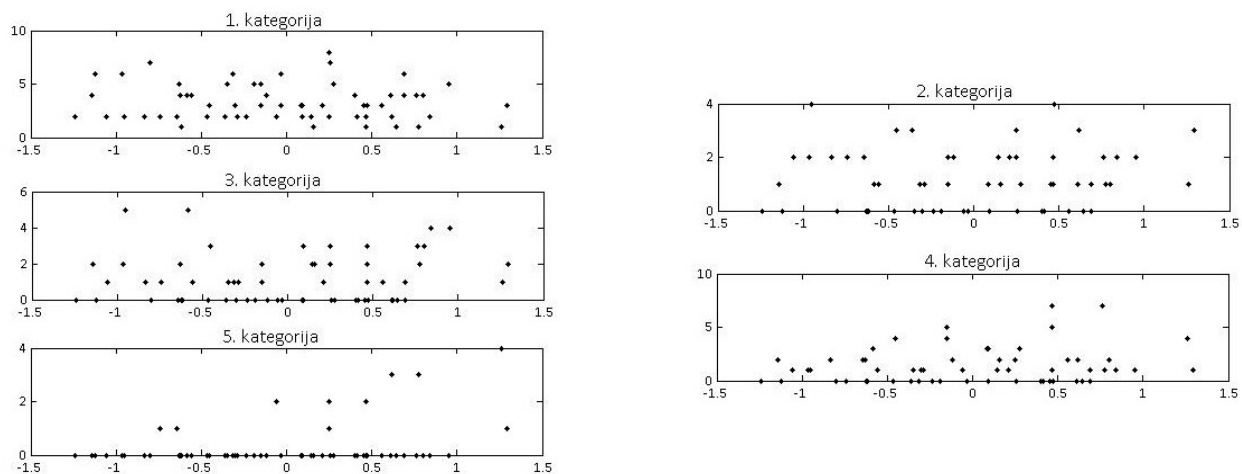
Slika 18

Ovisnost broja uragana u godini iznad sjevernog Atlantika o godišnjem srednjaku ONI-ja.

Koeficijent korelacije godišnjeg srednjaka ONI-ja i broja uragana u godini iznosi -0,3032 (Slika 18).

Svi navedeni koeficijenti korelacije su negativni. Ako se promotre apsolutne vrijednosti izračunatih koeficijenata korelacije, vidi se da je najveći koeficijent korelacije dobiven za godišnji srednjak ONI-ja i broja uragana u godini.

4.5. Broj uragana po kategorijama za istočni Pacifik



Slika 19

Broj uragana u godini po kategorijama za istočni Pacifik kroz čitav vremenski niz u ovisnosti o ONI-ju. Na x osi su vrijednosti godišnjeg srednjaka ONI-ja, a na y osi broj uragana.

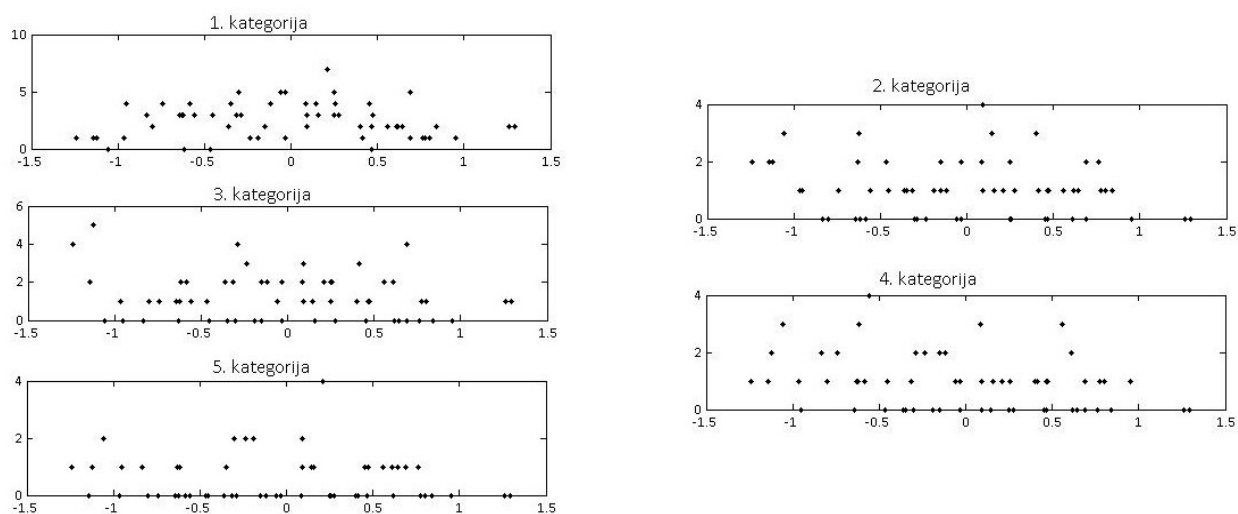
Koeficijenti korelacije Slike 19 navedeni su u Tablici 4.

Tablica 4. Koeficijenti korelacije za ONI i sve kategorije uragana

Kategorija uragana	Prva	Druga	Treća	Četvrta	Peta
Koeficijent korelacije	−0,0555	−0,0413	0,0358	0,1031	0,2946

Koeficijenti korelacije za prvu kategoriju uragana i ONI-ja, za drugu kategoriju uragana i ONI-ja te za treću kategoriju uragana i ONI-ja ≈ 0 . Promatrajući apsolutne vrijednosti gore navedenih koeficijenata korelacije vidi se da je najveći koeficijent za petu kategoriju uragana. Zanimljivo je primjetiti da koeficijenti korelacije rastu od najmanje prema najvećoj kategoriji.

4.5. Broj uragana po kategorijama za sjeverni Atlantik



Slika 20

Broj uragana u godini po kategorijama za sjeverni Atlantik kroz čitav vremenski niz. Na x osi su vrijednosti godišnjeg srednjaka ONI-ja, a na y osi broj uragana.

Koeficijenti korelacije Slike 20 navedeni su u Tablici 5:

Tablica 5. Koeficijenti korelacije za ONI i sve kategorije uragana

Kategorija uragana	Prva	Druga	Treća	Četvrta	Peta
Koeficijent korelacije	−0,0409	−0,0853	−0,1314	−0,0882	−0,0127

Za sjeverni Atlantik svi koeficijenti korelacije su negativni i ≈ 0 (Tablica 5). Promatrajući apsolutne vrijednosti koeficijenata korelacije vidi se da je najveći koeficijent za treću kategoriju, a najmanji za petu.

5. Diskusija

5.1. Diskusija rezultata vezanih uz istočni Pacifik

Gotovo svi koeficijenti korelacije za tromjesečni račun su pozitivni. Izuzetak su koeficijenti korelacije za ONI i broj uragana u tromjesečjima OTS, TSL i SLS, gdje poprimaju negativne vrijednosti (za OTS -0,0186, za TSL -0,2462, SLS -0,0891). Najmanji koeficijenti korelacije dobiveni su za ovisnost broja uragana o ONI-ja, dok su najveći koeficijenti korelacije dobiveni većinom za ovisnost srednje maksimalne brzine o ONI-ja, te ovisnost srednjeg trajanja o ONI-ja. Uspoređujući vrijednosti koeficijenata korelacije na početku sezone i na kraju, može se primijetiti rast tih koeficijenata. Najveći koeficijenti korelacije dobiveni su za zadnje tromjesečje SPS (za ONI i broj uragana 0.4723, za ONI i srednju maksimalnu brzinu 0,5035, za ONI i maksimalnu brzinu 0.6027, za ONI i srednje trajanje uragana 0,7744, te za ONI i maksimalno trajanje 0,6907).

Kod godišnjeg usrednjavanja svi koeficijenti korelacije su pozitivni. Najveći koeficijent korelacije je dobiven za ovisnost srednje godišnje maksimalne brzine o godišnjem srednjaku ONI-ja 0,2916, a najmanji za ovisnost broja uragana u godini o godišnjem srednjaku ONI-ja 0,1884.

U zadnjem provedenom računu za korelaciju između ONI-ja i broja uragana po kategorijama, apsolutna vrijednost koeficijenta korelacije je jako mala, pogotovo za prvu, drugu i treću kategoriju. Jedina veća vrijednost koeficijenta korelacije dobivena je za petu kategoriju uragana 0,2946.

5.2. Diskusija rezultata vezanih uz sjeverni Atlantik

Koeficijenti korelacije računati za ONI i broj uragana, za ONI i maksimalnu brzinu, za ONI i srednju maksimalnu brzinu, za ONI i srednje trajanje, te za ONI i maksimalno trajanje podjednako poprimaju pozitivne i negativne vrijednosti. Negativne vrijednosti koeficijenata korelacije većinom se odnose na korelaciju ONI-ja i broja uragana, ONI-ja i srednje maksimalne brzine, te ONI-ja i maksimalne brzine. Ako se promatraju apsolutne vrijednosti koeficijenata korelacije, moguće je uočiti da su koeficijenti korelacije najveći za trajanje, srednju maksimalnu brzinu i maksimalnu brzinu. Iako koeficijenti korelacije osciliraju tokom čitave sezone uragana, ipak se može uočiti rast apsolutne vrijednosti tih koeficijenata prema kraju sezone.

Pri promatranju koeficijenata korelacije za godišnje usrednjene vrijednosti vidi se da su koeficijenti korelacije negativni za ONI i broj uragana, za ONI i srednju maksimalnu brzinu, te za

ONI i maksimalnu brzinu, a pozitivni za ONI i srednje trajanje, te ONI i maksimalno trajanje. Ako se promatra apsolutna vrijednost koeficijenata korelacije najveći koeficijent dobiven je za ovisnost broja uragana o ONI-ju 0,3032, a najmanji za ovisnost srednjeg trajanja o ONI-ja 0,0101.

U posljednjem računu, gdje se promatrala ovisnost broja uragana po kategorijama o ONI-ju, dobiveni su samo negativni koeficijenti korelacije. Ono što je zanimljivo je da su svi koeficijenti jako mali, odnosno ≈ 0 .

6. Zaključak

U istočnom Pacifiku sezona uragana počinje jedan mjesec ranije nego u sjevernom Atlantiku. Utjecaj El Niña i La Niñe raste prema kraju sezone uragana. Najveći utjecaj El Niño i La Niña imaju na brzinu vjetra koji se razvija unutar uragana i na trajanje, ali ne i na broj uragana. S obzirom da su gotovo svi promatrani tromjesečni koeficijenti korelacije pozitivni očekuje se povećanje broja uragana, veća vrijednost brzine vjetra i duže trajanje uragana u razdoblju El Niña. Isti se zaključak može izvesti promatrajući godišnje usrednjavanje. Ako se uključe i rezultati dobiveni za ovisnost broja uragana u godini o srednjem godišnjem ONI-ja, u godinama El Niña može se očekivati veći broj snažnijih uragana, pogotovo pete kategorije. Broj uragana manjih kategorija (prve, druge i treće) ne ovisi o tome da li se nalazimo u razdoblju EL Niñe ili La Niñe.

U sjevernom Atlantiku koeficijenti korelacije ONI-ja i broja uragana, ONI-ja i srednjeg trajanja, ONI-ja i maksimalnog trajanja, ONI-ja i maksimalne brzine vjetra, te ONI-ja o srednjeg maksimalnog vjetra u promatranima tromjesečjima mijenjaju predznak kroz čitavu sezonu uragana, dok konačno ti koeficijenti korelacije ne poprime negativne vrijednosti pri kraju sezone. Apsolutna vrijednost koeficijenata raste prema kraju sezone. El Niño i La Niña imati će najveći utjecaj na broj uragana i maksimalnu brzinu vjetra, ali neće imati značajan utjecaj na trajanje uragana. Zbog negativnih koeficijenata korelacije (za broj uragana i maksimalnu brzinu), u godinama La Niñe očekuje se veći broj uragana većih brzina ali kraćeg trajanja (zbog pozitivnih koeficijenata korelacije za trajanje) nego u godinama El Niñe. Ovakav se utjecaj također vidi iz koeficijenata korelacije kod godišnjeg usrednjavanja. Rezultati dobiveni za ovisnost broja uragana određene kategorije o ONI-u indiciraju da El Niño i La Niña nemaju značajan utjecaj na broj uragana određene kategorije.

Ovakvom analizom dolazi se do zaključka da El Niño i La Niña imaju veći utjecaj na uragane Istočnog Pacifika, odnosno uragane koji se javljaju na području gdje se događa El Niño i La Niña. Za vrijeme El Niña u istočnom Pacifiku očekujemo aktivniju sezonu uragana nego u razdoblju La Niñe. U razdoblju El Niña očekuje se veći broj uragana koji će dulje trajati i unutar kojih će razvijene brzine vjetra biti veće. To se jako lijepo vidi pri promatranju kategorija uragana i ONI-ja. Koeficijent korelacije dobiven za uragane pete kategorije bilo je najviši. Ovakav se zaključak poklapa sa

zaključkom (Emanuel 2005a), koji iznosi tezu da će zagrijavanje oceana zbog klimatskih promjena utjecati na intezitet uragana, ali neće utjecati na njihovu brojnost.

Daljnja istraživanja trebaju se usredotočiti na uragane istočnog Pacifika te uzeti u obzir i atmosfersku komponentu ENSO-a. Potrebno je promotriti utjecaj promjene strujanja u atmosferi na evoluciju i život uragana. Sljedeći korak istraživanja bio bi promatranje putanja uragana ovisno o spomenutim promjenama cirkulacije u atmosferi.

Za dobivanje konkretnih podataka dostatnih za razvoj matematičkih opisa, uragani bi se promatrali pojedinačno. Pomoću razvijenog matematičkog alata može se zatim uhvatiti u koštac s razvojem algoritma. U algoritam bi se unosili podaci o ENSO-u, a algoritam bi zatim generirao moguće uragane, njihovu evoluciju i putanju ovisno o ENSO utjecaju na atmosferu i ocean. Ovakav algoritam bio bi tema doktorske disertacije, a njegova primarna primjena bila bi predviđanje jako aktivnih sezona uragana i izdavanje obavijesti o potencijalno smrtonosnim uraganima.

7. Popis literature

- Baker, A, Parker, M, & Eastin, M 2009**, 'Environmental ingredients for supercells and tornadoes within hurricane Ivan', *Weather & Forecasting*, 24, 1, str. 223-244
- Bo, W, Li, T, & Tianjun, Z 2010**, 'Asymmetry of atmospheric circulation anomalies over the western North Pacific between El Niño and La Niña', *Journal of Climate*, 23, 18, str. 4807-4822
- Boybeyi, Z, Novakovskaia, E, MacCracken, R, Bacon, D, & Kaplan, M 2007**, 'Targeted GOES satellite observations to improve hurricane track forecast: A case study of hurricane Floyd', *Pure & Applied Geophysics*, 164, 10, str. 2083-2100
- Braun, S, Montgomery, M, Mallen, K, & Reasor, P 2010**, 'Simulation and interpretation of the genesis of tropical storm Gert (2005) as part of the NASA tropical cloud systems and processes experiment', *Journal of the Atmospheric Sciences*, 67, 4, str. 999-1025
- Bush, AG 2007**, 'Extratropical influences on the El Niño-Southern oscillation through the late Quaternary', *Journal of Climate*, 20, 5, str. 788-800
- Cane, MA 2005**, 'The evolution of El Niño, past and future', *Earth and Planetary Science Letters*, 230, 3-4, str. 227-240
- Chao, Y, & Tolman, H 2010**, 'Performance of NCEP regional wave models in predicting peak sea states during the 2005 North Atlantic hurricane season', *Weather & Forecasting*, 25, 5, str. 1543-1567
- Coch, NK 1994**, 'Geologic effects of hurricanes', *Geomorphology*, 10, 1-4, str. 37-63
- Coch, NK 2006**, 'The unique damage potential of northern hurricanes', *Geological Society of America*, 38, 7, str. 335
- Davis, C, Wang, W, Chen, S, Chen, Y, Corbosiero, K, DeMaria, M, Dudhia, J, Holland, G, Klemp, J, Michalakes, J, Reeves, H, Rotunno, R, Snyder, C, & Xiao, Q 2008**, 'Prediction of landfalling hurricanes with the advanced hurricane WRF model', *Monthly Weather Review*, 136, 6, str. 1990-2005
- Demaria, M, Knaff, J, & Connell, B 2001**, 'A tropical cyclone genesis parameter for the tropical Atlantic', *Weather & Forecasting*, 16, 2, str. 219
- Elsner, JB 2008**, 'Hurricanes and climate change', *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89, 5, str. 677-679
- Emanuel, K 2005a**, *Devine Wind*. Oxford University Press Inc, 285
- Emanuel, K 2005b**, 'Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years', *Nature*, 436, 7051, str. 686
- Farfan, L, & Zehnder, J 2001**, 'An analysis of the landfall of hurricane Nora (1997)', *Monthly Weather Review*, 129, 8, str. 2073
- Fogarty, C, Greatbatch, R, & Ritchie, H 2007**, 'The use of a vortex insertion technique to simulate the extratropical transition of hurricane Michael (2000)', *Weather & Forecasting*, 22, 3, str. 480-500

- Franklin, J, Black, M, & Valde, K 2003**, 'GPS dropwindsonde wind profiles in hurricanes and their operational implications', *Weather & Forecasting*, 18, 1, str. 32
- Gong, D 1999**, 'The influence of ENSO on global temperature during the last 100 years', *Diqiu Kexue Jinzhan = Advance in Earth Science*, 14, 5, str. 518-523
- Holton, JR 2004**, 'An introduction to dynamic meteorology', Elsevier Inc, str. 535
- Hyo-Seok, P, Chiang, J, Lintner, B, & Zhang, G 2010**, 'The delayed effect of major El Niño events on Indian monsoon rainfall', *Journal of Climate*, 23, 4, str. 932-946
- Jialin, L 2009**, 'Ocean-atmosphere interaction in the lifecycle of ENSO: The coupled wave oscillator', *Chinese Annals of Mathematics*, 30, 6, str. 715-728
- Jinhee, Y, & Sang-Wook, Y 2010**, 'Influence of the Pacific decadal oscillation on the relationship between El Niño and the northeast Asian summer monsoon', *Journal of Climate*, 23, 17, str. 4525-4537
- Khain, A, Lynn, B, & Dudhia, J 2010**, 'Aerosol effects on intensity of landfalling hurricanes as seen from simulations with the WRF model with spectral bin microphysics', *Journal of the Atmospheric Sciences*, 67, 2, str. 365-384
- Kimball, SK 2006**, 'A modeling study of hurricane landfall in a dry environment', *Monthly Weather Review*, 134, 7, str. 1901-1918
- Kitoh, A 2007**, 'El Niño-Southern Oscillation simulation at 6000 years before present with the MRI-CGCM2.3; effect of flux adjustment', *Journal of Climate*, 20, 11, str. 2484-2499
- Kupfer, J, Glenn, D, & Sackett, J 2008**, 'Patterns and controls of hurricane-caused Forest damage: A landscape-scale analysis of treefall direction following hurricane Katrina', *Professional Geographer*, 60, 4, str. 478-494
- L'Heureux, M, & Thompson, D 2006**, 'Observed relationships between the El Niño–Southern oscillation and the extratropical zonal-mean circulation', *Journal of Climate*, 19, 2, str. 276-287
- Li, X, & Wang, B 1996**, 'Acceleration of the hurricane beta drift by shear strain rate of an environmental flow', *Journal of the Atmospheric Sciences*, 53, 2, str. 327
- Ludlum, MD 1991**: *Field guide to North American weather*, Alfred A. Knop Inc, str. 649
- Mann, ME 2009**, 'Atlantic hurricanes and climate over the past 1,500 years', *Nature [London]*, 460, 7257, str. 880-883
- Malmstadt, J, Scheitlin, K, & Elsner, J 2009**, 'Florida hurricanes and damage Costs', *Southeastern Geographer*, 49, 2, str. 108-131
- McTaggart-Cowan, R, Bosart, L, Gyakum, J, & Atallah, E 2007**, 'Hurricane Katrina (2005). Part I: Complex life cycle of an intense tropical cyclone', *Monthly Weather Review*, 135, 12, str. 3905-3926
- Mo, KC 2010**, 'Interdecadal modulation of the Impact of ENSO on precipitation and temperature over the United States', *Journal of Climate*, 23, 13, str. 3639-3656
- O'Hagan, T, Ward, B, & Coughlin, K 2008**, 'How many Katrinas? Predicting the number of hurricanes striking the USA', *Significance*, 5, 4, str. 163-167
- Ralph, T, & Gough, W 2009**, 'The influence of sea-surface temperatures on Eastern North

Pacific tropical cyclone activity', *Theoretical & Applied Climatology*, 95, 3/4, str. 257-264

Sarachik, ES, & Cane, MA 2010, 'The El Niño – Southern oscillation phenomenon', Cambridge university press, str. 369

Shang-Ping, X, Yan, D, Gang, H, Xiao-Tong, Z, Hiroki, T, Kaiming, H, & Qinyu, L 2010, 'Decadal shift in El Niño influences on Indo–Western Pacific and East Asian climate in the 1970s', *Journal of Climate*, 23, 12, str. 3352-3368

Shen, W, Ginis, I, & Tuleya, R 2002, 'A numerical investigation of land surface water on landfalling hurricanes', *Journal of the Atmospheric Sciences*, 59, 4, str. 789

Solman, S, & Menéndez, C 2002, 'ENSO-related variability of the Southern Hemisphere winter storm track over the Eastern Pacific–Atlantic sector', *Journal of the Atmospheric Sciences*, 59, 13, str. 2128

Steenhof, P, & Gough, W 2008, 'The impact of tropical sea surface temperatures on various measures of Atlantic tropical cyclone activity', *Theoretical & Applied Climatology*, 92, 3/4, str. 249-255

Vickery, P, Wadhera, D, Powell, M, & Chen, Y 2009, 'A hurricane boundary layer and wind field model for use in engineering applications', *Journal of Applied Meteorology & Climatology*, 48, 2, str. 381-405

Wang, B, & Li, X 1997, 'Direction of hurricane beta drift in horizontally sheared flows', *Journal of the Atmospheric Sciences*, 54, 11, str. 1462

Wang, Y 2008, 'Structure and formation of an annular hurricane simulated in a fully compressible, nonhydrostatic Model—TCM4', *Journal of the Atmospheric Sciences*, 65, 5, str. 1505-1527

Wu, C, & Emanuel, K 1994, 'On hurricane outflow structure', *Journal of the Atmospheric Sciences*, 51, 13, str. 1995

Zhao, M, Held, I, & Vecchi, G 2010, 'Retrospective forecasts of the hurricane season using a global atmospheric model assuming persistence of SST anomalies', *Monthly Weather Review*, 138, 10, str. 3858-3868

Zhong, L, Li, M, & Zhang, D 2010, 'How do uncertainties in hurricane model forecasts affect storm surge predictions in a semi-enclosed bay?', *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 90, 2, str. 61-72