

Klimatske projekcije prizemne ekvivalentne temperature zraka nad jadranskim područjem

Bašić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:723848>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-19**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

Ivan Bašić

Klimatske projekcije prizemne ekvivalentne
temperature zraka nad jadranskim područjem

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ FIZIKA-GEOFIZIKA

SMJER: METEOROLOGIJA I FIZIČKA OCEANOLOGIJA

Ivan Bašić

Diplomski rad

**Klimatske projekcije prizemne
ekvivalentne temperature zraka nad
jadranskim područjem**

Voditelj diplomskog rada: prof. dr. sc. Branko Grisogono

Suvoditelj diplomskog rada: dr. sc. Ivan Güttler

Zagreb, 2022.

Htio bih se zahvaliti svojoj obitelji i prijateljima koji su mi bili podrška tijekom studiranja u Zagrebu. Hvala i svim profesorima, posebno mentoru prof. dr. sc. Branku Grisogonu i sumentoru dr. sc. Ivanu Güttleru koji su uvijek bili raspoloživi i strpljivi prema meni i navodili me u pisanju ovog diplomskog rada. Hvala mojoj ženi Magdaleni, koja mi je najveća podrška i motivacija.

Sažetak

U ovom radu proučavana je prizemna ekvivalentna temperatura (T_e) u klimatskim projekcijama na području Jadrana, pri čemu su korišteni rezultati regionalnog klimatskog modela RegCM4, horizontalne rezolucije 12.5 km i s rubnim uvjetima 4 globalna klimatska modela: EC-EARTH, CNRM-CM5, MPI-ESM-MR i HadGEM2-ES. Prizemna ekvivalentna temperatura zraka izračunata je iz prizemne temperature zraka i specifične vlažnosti zraka, koje su jedne od produkata RegCM4.

Uspoređivanjem ekvivalentne temperature u projekcijama za razdoblja 2021.-2050. i 2041.-2070. za dva različita scenarija koncentracija stakleničkih plinova, RCP 4.5 i RCP 8.5, uočen je značajan porast u svim simulacijama T_e u cijelom promatranom području, a naročito nad morem i u toplijem dijelu godine nad kopnom. Primijećeno je također da omjer miješanja značajno doprinosi povećanom trendu rasta T_e , što govori da T_e ima snažnu povezanost s dostupnošću vlage. Štoviše, sve simulacije ukazuju da je srednjak T_e iznad mora veći nego iznad kopna.

Ključne riječi: prizemna ekvivalentna temperatura zraka, projekcije regionalnih klimatskih modela, Jadran, klimatske promjene

Climate projections of near-surface air equivalent temperature over the Adriatic region

Abstract

This diploma work (master thesis) studies near-surface air equivalent temperature (T_e) in climate projections, over the Adriatic region. The climate projections were given by the regional climate model RegCM4, with horizontal resolution of 12.5 km, and with boundary conditions determined by 4 global climate models: EC-EARTH, CNRM-CM5, MPI-ESM-MR i HadGEM2-ES. T_e was obtained from near-surface air temperature and specific humidity of air, which are both among the products of RegCM4. By comparing the equivalent temperature in projections for 2021 - 2050 and 2041 - 2070 periods, for two different scenarios of greenhouse gases concentrations, RCP 4.5 and RCP 8.5, the significant increase in all simulations over all areas of analysis was observed, especially over sea areas and, in the warmer part of the year, over land areas. It was also observed that the mixing ratio significantly contributes to the upward trend of T_e , which indicates that T_e has a strong relationship with moisture availability. Furthermore, all simulations indicate that the mean equivalent temperature over the sea is greater than over the land for both periods in the future.

Keywords: near-surface air equivalent temperature, regional climate model projections, Adriatic, climate change

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Podaci i metode	7
2.1 Projekcija klime.....	7
2.2 Izvedene veličine	9
2.3 Procjena statističke značajnosti	10
3. Rezultati i diskusija	12
3.1 Vremenski niz godišnjih prostornih srednjaka.....	13
3.2 Prostorna raspodjela po razdobljima i sezonama	16
3.3 Rezultati testova značajnosti: Studentov t-test i WMW test	23
3.4 Dnevni hod.....	29
3.5 Linearni trend.....	32
3.6 Razlika kopna i mora	34
4. Zaključak.....	36
Priznanja i zahvale.....	39
Literatura.....	40
Popis kratica.....	43

1. Uvod

Svrha ovog rada je usporediti prizemnu ekvivalentnu temperaturu (T_e) u Hrvatskoj u povijesnoj klimi i u klimatskim projekcijama te njenu sezonsku i prostornu varijabilnost. Klimatske promjene i klimatska varijabilnost su u literaturi uglavnom procjenjivane pomoću varijabilnosti i trendova prizemne temperature. Doduše, sama prizemna temperatura nije jedina mjera topline pri tlu jer ne ubraja promjene u toplini zbog promjena vlažnosti u zraku. Štoviše, povišenje temperature rosišta za 1°C daje istu promjenu u toplini kao povišenje temperature za 2.5°C . To znači ako se povišenje od 1°C u temperaturi zraka i sniženje temperature rosišta za 1°C dogodi simultano (recimo danje miješanje u graničnom sloju zbog zagrijavanja), toplina pri površini će se zapravo umanjiti (Younger i sur. 2019.). Ovaj odnos između vlažnosti i količine topline najviše se odražava u toploj, vlažnoj atmosferi, a najmanje u hladnijoj, sušoj atmosferi (Davey i sur. 2006.).

Kako bi se istražio odnos između vlažnosti i količine topline, potrebno je poznavati interakciju tla i atmosfere kroz efekte poput neto dugovalnog i sunčevog zračenja, turbulentnog toka senzibilne i latentne topline, toka topline u tlu, oborine, evaporacije i transpiracije (evapotranspiracije), otjecanja i infiltracije. Te veličine se isprepliću i promjena u jednoj utječe na promjenu u drugoj. Također, značajnije promjene u zemljinom pokrovu i krajoliku imaju netrivialan utjecaj na klimatski sustav u globalnoj, regionalnoj i lokalnoj skali. Kako je T_e , osim na temperaturu, osjetljiva i na vegetaciju, evapotranspiraciju i turbulenciju, ona omogućuje točniji uvid u površinski toplinski budžet (npr. Güttler i sur. 2014).

Ekvivalentna je izvedena veličina koja se u svojoj biti sastoji od prizemne senzibilne temperature (T) i prizemnog omjera miješanja (r). To znači da njen linearni trend, projekcije, statistička značajnost i dr. ovise o projekcijama prethodne dvije vrijednosti. Na temelju dosadašnjih istraživanja, u Hrvatskoj se očekuje sveopći porast T_e jer se očekuje i porast T . Koliko će se povećati T_e , ovisi i o promijeni r .

Ekvivalentna temperatura slijedi isti obrazac kao i temperatura, ali s većim vrijednostima nego sama T zbog činjenice da postoji neka količina vlage u zraku. Razlika između T i T_e je najistaknutija tijekom vlažnog perioda kada biljke najviše

rastu, kao i u područjima s većom stopom površinske evaporacije i transpiracije (more). Sve nam to govori da je T_e prikladnija mjera za očitavanje karakteristika regionalnih toplinskih budžeta i da je antropogeni utjecaj još važniji u kontekstu iste (Schoof i sur. 2015., Younger i sur. 2019.).

Općenito, klima je određena bilancom zračenja koja je ukupan zbroj sve primljene i izgubljene energiju u bilo kojem obliku elektromagnetskog zračenja. Klimatske karakteristike određenog područje na Zemlji je na manjoj prostornoj skali najviše ovise o geografskom položaju. Intenzitet Sunčevog zračenja koji dopijeva na Zemlju ovisi o geografskoj širini. Područja u višim geografskim širinama dobivaju manje Sunčevog zračenja kroz godinu. Nakon geografskog položaja, stanje klimatskog sustava ovisi i o međudjelovanju atmosfere, hidrosfere, kriosfere, tla i biosfere. Ono čime se klima opisuje u užem smislu su prosječne vremenske prilike poput srednjaka, ekstrema i varijabilnosti temperature zraka, vjetra, oborine itd. u nekom dužem razdoblju. Najčešće razdoblje za promatranje klime je 30 godina, koja su uzeta i u ovom radu. Ako klima (statistički) značajno promijeni svoje srednje stanje ili varijabilnost tijekom dužeg razdoblja, može se reći da je došlo do klimatske promijene. Razlozi mogu biti razni, no posebna pažnja posvećena je antropogenim utjecajima koji u atmosferu ispuštaju tzv. stakleničke plinove: vodena para, ugljikov dioksid, didušikov oksid, metan i dr. (Slike 1.2 i 1.3). Atmosfera se zagrijava dugovalnim zračenjem zemljine površine, koja se zagrijava kratkovalnim Sunčevim zračenjem. Staklenički plinovi su ovdje ključni jer oni apsorbiraju dio dugovalnog zračenja sa Zemlje, što zauzvrat zagrijava atmosferu. Od industrijske revolucije (polovica 18. stoljeća) do danas, koncentracija i emisije stakleničkih plinova se povećavaju i time se sve više Zemlja zagrijava. U IPCC-jevom (engl. *Intergovernmental Panel on Climate Change*) izvještaju iz 2014. godine (IPCC, 2014.) pokazalo se da je veza između kumulativnih emisija CO₂ i porasta globalne površinske temperature približno linearna kroz povijest, stoga se isti trend očekuje i u budućnosti.

Buduće klimatske prilike se predviđaju korištenjem klimatskih modela, koji vrše numeričke simulacije buduće klime za neke klimatske scenarije. Klimatski scenariji su mogući prikazi budućih klimatskih faktora koji su produkt prirodnog i antropogenog utjecaja. U ovom radu obrađuju se klimatski scenariji tipa RCP (engl. *Representative Concentration Pathways*) koji prikazuju razinu koncentracija

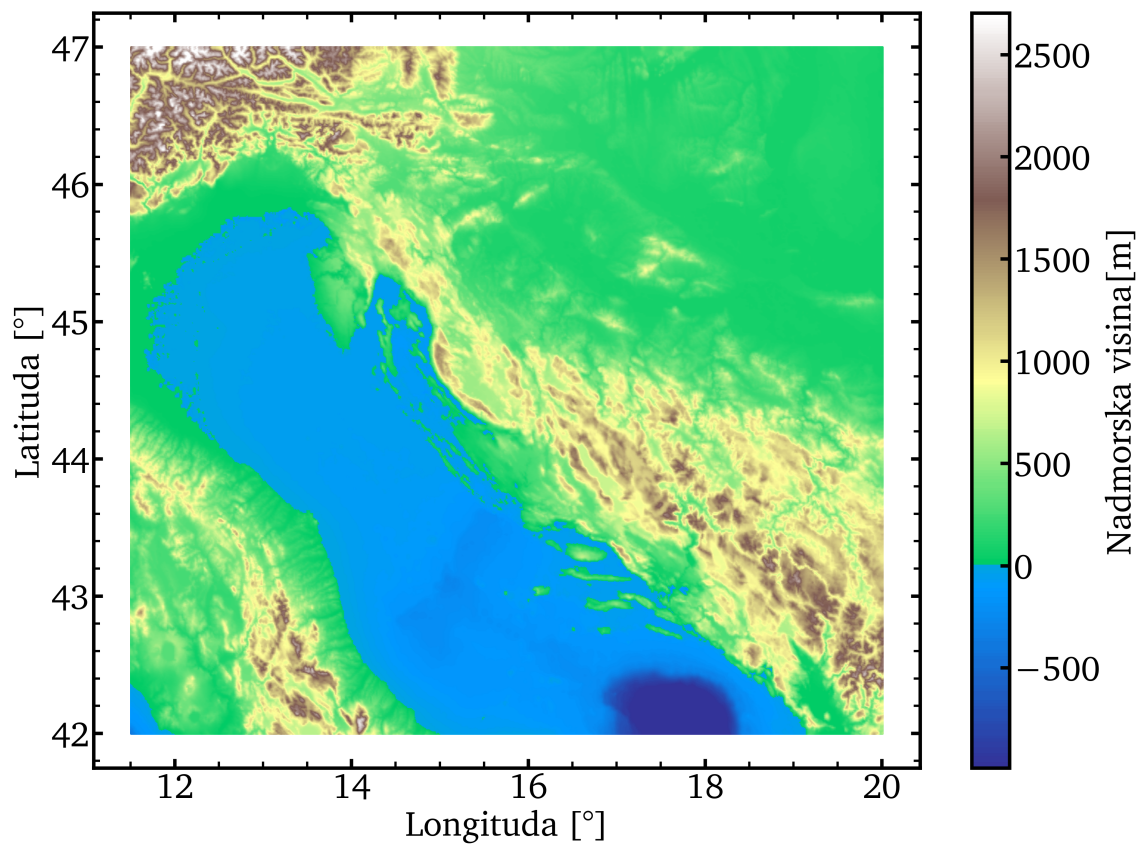
stakleničkih plinova koje objavljuje IPCC. Označeni su brojem (npr. 4.5, 8.5) koji znači razliku u zagrijavanju zemlje u W/m^2 u 2100. u odnosu na povijesnu klimu.

Globalni klimatski modeli (GCM) imaju grubu prostornu skalu, stoga se dinamičkom prilagodbom (engl. *dynamical downscaling*) oni prilagođuju manjim skalama (Jacob i sur. 2020.). Upravo tako nastaju regionalni klimatski modeli (engl. *Regional Climate Model (RCM)*), koji su moderan način za istraživanje budućeg klimatskog sustava pomoću simulacija za ograničeno područje. Njihov razvoj započeo je krajem 80.-tih godina prošloga stoljeća (Rummukainen 2010, 2016). Svrha RCM-a je dati opis klimatskog sustava u prošlosti, sadašnjosti i budućnosti. U ovom radu analizirani su rezultati regionalnog klimatskog modela RegCM4. Osnovne postavke simulacija RegCM4 (Giorgi i sur., 2012, Güttler i sur. 2020., Srnec i Güttler 2019.) koji se koristi u ovom radu su:

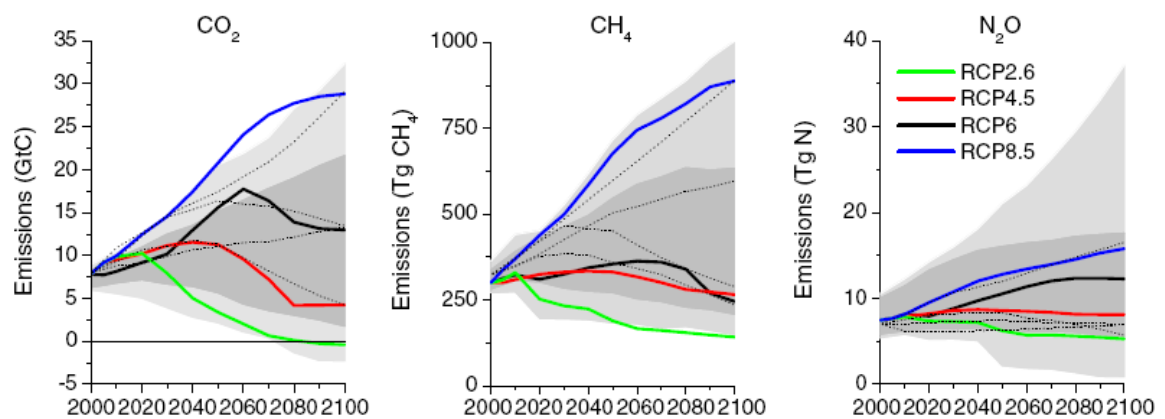
1. Prostorna rezolucija od 12.5 km, koja uvažava osnovnu orografiju i mezoskalne procese jadranskog područja (Slika 1.1).
2. Globalni i regionalni klimatski modeli koriste izmjerene koncentracije stakleničkih plinova za povijesno razdoblje 1971.-2000., no kako su buduća stanja neizvjesna, model daje više mogućih stanja klimatskog sustava u dva moguća scenarija: umjerenom RCP 4.5 i ekstremnom RCP 8.5 scenariju. Niti u jednom od ta dva scenarija ne može se očekivati zaustavljanje globalnog porasta T ispod $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do 2100. godine.
3. Globalni modeli, regionalni model te scenariji prikazuju pojednostavljenu klimatologiju koja se razlikuje od one stvarne, kompleksnije, što rezultira podacima određene nepouzdanosti. Analiziranje više globalnih modela znači da su rezultati iskazani u rasponima simuliranih signala jer je regionalni model odvojeno forsiran s 4 globalna modela. Time je postignuta neovisnost o pretpostavkama i specifičnostima samo jednog globalnog modela, posebno vezano za parametrizaciju konvektivnih procesa i mikrofizike oblaka. Rubne uvjete simulacijama buduće klime daju GCM-ovi, stoga se one gledaju kao projekcije koje procjenjuju promjene na dužoj vremenskoj skali u obliku raspona i trendova.

Jednadžbe za dinamičku jezgru, parametrizacije fizike te alati za predobradu i naknadnu obradu podataka u RegCM4 su temeljene prema Güttler i sur. (2017). Koncentracije i emisije stakleničkih plinova za pojedine scenarije su prikazani IPCC-jevim grafovima na slikama 1.2 i 1.3, zajedno sa scenarijima iz van Vuuren i sur. 2011. Graf antropogenih emisija CO₂ (IPCC, 2014.) za razne scenarije dan je na Slici 1.4. Scenariji ovise o ekonomskom rastu, tehnološkom napretku i odlukama koje se donesu u vezi ograničavanja emisija.

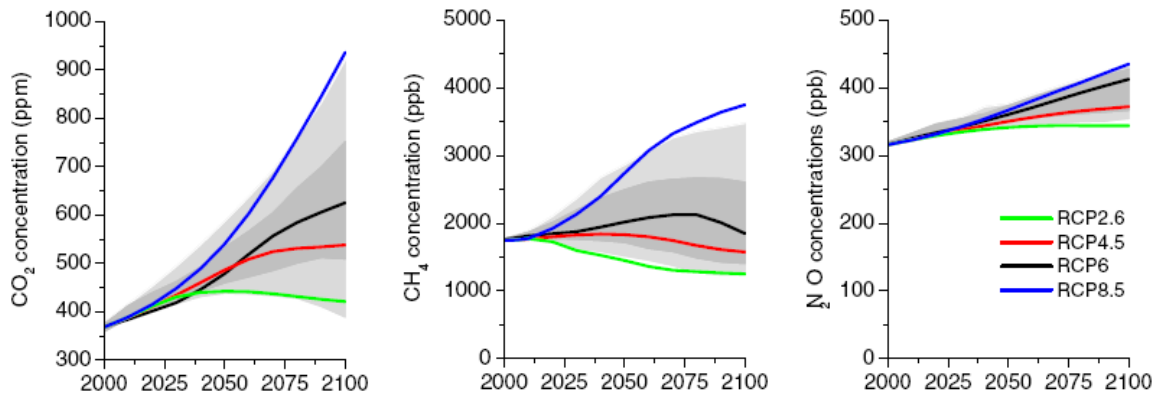
Klima nad Jadranskim područjem, odnosno referentne vrijednosti s kojima se uspoređuju vrijednosti iz klimatskih projekcija, je raznolika. Većina Hrvatske, kao i susjednih zemalja ima umjerenu kontinentalnu klimu. Nizinska Hrvatska, Mađarska, Srbija imaju vlažnu kontinentalnu klimu s toplim ljetom (Köppenova klasifikacija), sa srednjim mjesečnim temperaturama -3°C u siječnju i 18°C u srpnju. Slovenija isto ima kontinentalnu klimu, ali umjerenu sa svježim ljetom. Na obali Jadrana prevladava mediteranska klima sa suhim ljetom. U Gorskom Kotru, Lici, Dinaridima prevladava snježno-šumska klima, a snježna klima je u Alpama (gornji lijevi kut na Slici 1.1). Uzevši to sve u obzir, može se zaključiti da jadransko područje ima otprilike istu srednju temperaturu od 8-10°C kao i Europa, jer raznoliku klimu koja se nalazi i u ostatku Europe.



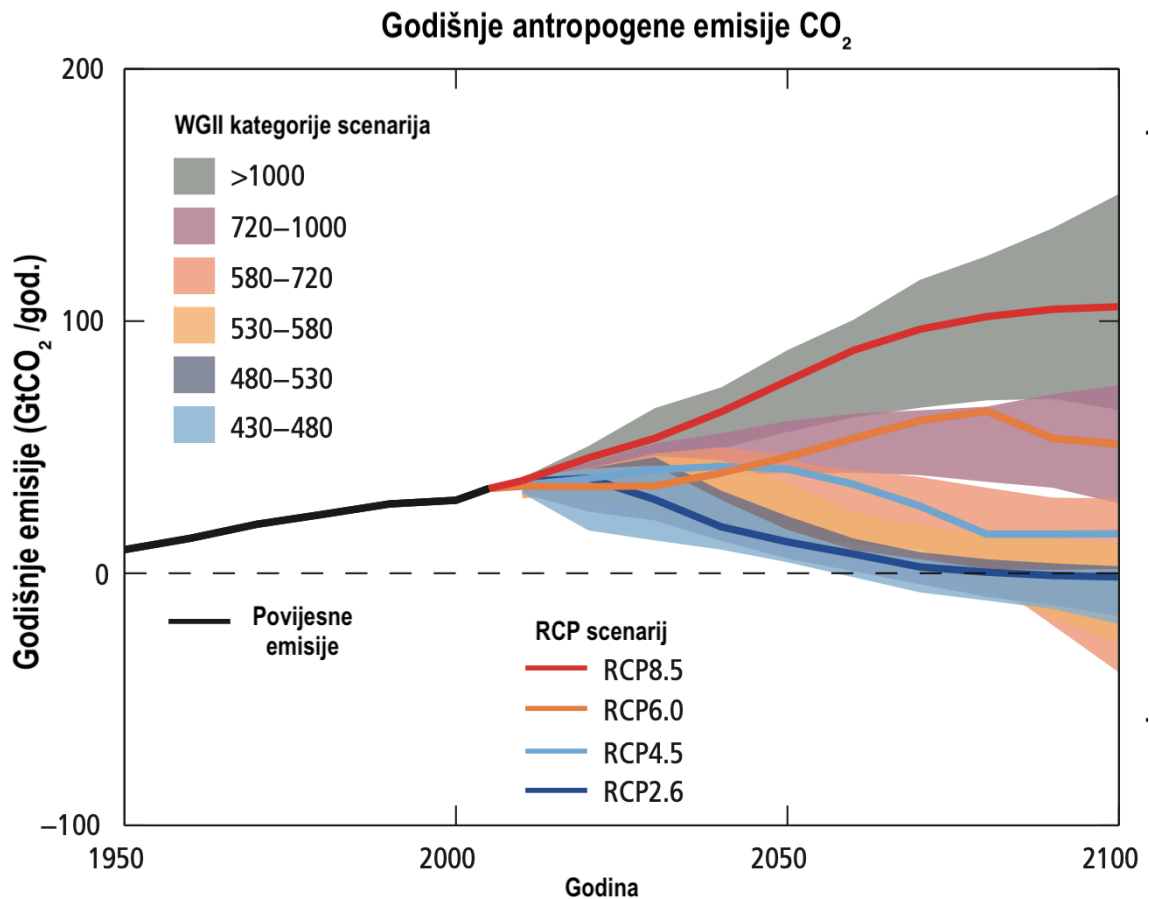
Slika 1.1: Orografija jadranskog područja.



Slika 1.2: Emisije glavnih stakleničkih plinova u RCP-ima. Sivo područje označava 98. i 99. percentil iz literature. Isprekidane linije označuju 4 scenarija iz van Vuuren i sur. 2011.



Slika 1.3: Koncentracije glavnih stakleničkih plinova u RCP-ima. Sivo područje označava 98. i 99. percentil iz literature. Isprekidane linije označuju 4 scenarija iz van Vuuren i sur. 2011.



Slika 1.4: IPCC-jev graf godišnjih antropogenih emisija CO₂ u gigatonama po godini za povijesno razdoblje i RCP scenarije.

2. Podaci i metode

2.1 Projekcija klime

U ovom radu korišteni su izlazni podaci regionalnog klimatskog modela RegCM4 iz Koordiniranog eksperimenta regionalne klime dinamičkom prilagodbom (CORDEX). RegCM4 ima korak mreže (prostornu razlučivost) od 12.5 km s trosatnim vrijednostima klimatskih parametara na 23 vertikalna nivoa (od površine do vrha stratosfere). Ostali produkti modela su: prostorni i vertikalni presjeci klimatskih parametara, vremenski nizovi klimatskih parametara, ASCII datoteke i tablice simuliranih veličina i NetCDF datoteke simuliranih polja. Za potrebe ovog rada, korištene su NetCDF datoteke simuliranih polja. Rubni uvjeti (forsiranje) klimatskog modela dani su rezultatima četiriju globalnih klimatskih modela iz Pete generacije projekata međusobne usporedbe klimatskih modela, CMIP5 (engl. Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5):

1. EC-EARTH; <https://www.ec-earth.org/index.php/about>
2. CNRM-CM5; <http://www.umr-cnrm.fr/cmip5/spip.php?article11>
3. MPI-ESM-MR; <http://www.mpimet.mpg.de/en/science/models/mpie-sm>
4. HadGEM2-ES; <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem2>

Proučavani vremenski okvir je razdoblje od 1971. - 2070. u tri definirana razdoblja: P0 (1971. - 2000.), P1 (2011. - 2040.) i P2 (2041. - 2070.). Rezultati modela RegCM4 preuzeti su iz repozitorija Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) (MZOE 2017.). Za simulaciju klimatskog sustava za razdoblje 1971.-2000. uzete su izmjerene vrijednosti koncentracija stakleničkih plinova, a za razdoblje 2011.-2070. korišteni su IPCC-jevi RCP scenariji koncentracija (Slika 1.4). Analiza je obuhvaćala 2 RCP scenarija: RCP 8.5 i RCP 4.5 (van Vuuren i sur. 2011). RCP4.5 je tzv. umjereni scenarij u kojemu se od 2040. do kraja 21. stoljeća emisija stakleničkih plinova smanjuje. Količina bi stakleničkih plinova, doduše, u atmosferi ostala nepromijenjena zbog njihovog dugog zadržavanja u atmosferi. Ono što bi se u tom scenariju dogodilo je

prestanak povećanog rasta temperature. Temperatura bi nastavila rasti, ali na razini od sredine stoljeća. U scenariju RCP 8.5 koncentracija stakleničkih plinova se povećava do kraja 21. stoljeća i uz takav scenarij se očekuje i veći porast temperature zraka. Jednu projekciju, stoga, čine jedan GCM i jedan RCP, što znači ukupno 8 simulacija buduće klime (uz 4 simulacije povijesne klime).

Ćelije modela pri površini Zemlje u RegCM4 sastavljene su ili od kopna ili od mora. To znači da rezultati za priobalna područja mogu imati nešto veća odstupanja. Sezone su definirane klimatološki: prosinac-siječanj-veljača (DJF), ožujak-travanj-svibanj (MAM), lipanj-srpanj-kolovoz (JJA) i rujan-listopad-studen (SON). Jednu godinu čine 4 sezone, ali tako da DJF prva sezona i prosinac se odnosi na godinu prije.

Ekstrakcija i obrada podataka, izračun izvedenih veličina, vremenskih i prostornih srednjaka odrađen je pomoću skupa računalnih operatora CDO (engl. *Climate Data Operators*; <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo>). Prikaz podataka i dodatne analize izvršene su u programskom paketu Python (Spyder; <https://www.spyder-ide.org>).

2.2 Izvedene veličine

Temperatura zraka i specifična vlažnost su direktni izlaz iz simulacija RegCM4.

Ekvivalentna temperatura i omjer miješanja su veličine izvedene iz ta dva izlaza te iz par znanih konstanti. Vlažna entalpija/količina topline izražava se:

$$H = c_p T + L_v q, \quad (2.1)$$

gdje je c_p izobarička specifična toplina zraka ($1005 \text{ J/kg}^{-1}\text{K}^{-1}$), T temperatura zraka (K), L_v latentna toplina isparavanja ($2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}^{-1}$) i q specifična vlažnost, koja je dana u rezultatima modela. Ekvivalentna temperatura je definirana kao:

$$T_e = \frac{H}{c_p} \quad (2.2)$$

Jednadžba (2.1) uvrsti se u (2.2) i dobije se izraz za računanje ekvivalentne temperature:

$$T_e = T + \frac{L_v}{c_p} q \quad (2.3)$$

i omogućuje usporedbu između temperature zraka i ukupne količine topline pri tlu.

Omjer miješanja (r) može se izračunati preko q po formuli:

$$r = \frac{q}{1 - q} \quad (2.4)$$

Iz rezultata RegCM4 izdvojeni su parametri prizemne T i prizemne q te su izračunate izvedene veličine prizemne T_e i prizemnog r preko (2.3) i (2.4).

2.3 Procjena statističke značajnosti

Kao sljedeći korak analize bio je procijeniti statističku značajnost projekcija naspram povijesnog razdoblja. Za procjenu statističke značajnosti korišten je Studentov t-test (t-test) i Wilcoxon-Mann-Whitney test (WMW) (potpoglavlje 2.3). Izračunate su p-vrijednosti i statistička značajnost je određena na nivou značajnosti 95%, odnosno $\alpha = 0.05$. Nivo značajnosti α je faktor pogreške statističkog testa značajnosti. Taj faktor predstavlja vjerojatnost da će test pogrešno odbaciti početnu hipotezu H_0 . Ako je neka vrijednost statistički značajna na nekom nivou značajnosti, znači da je njegova p-vrijednost manja od α ($p < \alpha$). Oba testa dostupna su u Pythonovoj biblioteci SciPy u modulu *scipy.stats*.

Studentov t-test (ili samo: t-test) je statistički test hipoteze gdje statistika prati studentovu t-raspodjelu. U ovom istraživanju, svaka točka na prostornom polju podataka sadrži godišnje ili sezonske srednjake koji služe kao uzorak u testu. Broj podataka u uzorcima je jednak i iznosi 30 (30 godina je jedno razdoblje). Test je izvršen pod pretpostavkom da su uzorci neovisni i jednake varijance. Ta pretpostavka opravdana je time što su uzorci skup godišnjih srednjaka, što implicira nezavisnost među podacima. Nul-hipoteza u t-testu je da uzorci imaju jednake srednjake. Postavljaju se dvije hipoteze:

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_1 : \mu \neq \mu_0$$

Računa se t statistika sljedećom formulom:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma_p \sqrt{\frac{2}{n}}}$$

gdje je:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sigma_{X_1}^2 + \sigma_{X_2}^2}{2}}$$

σ_p je združena standardna devijacija, a $\sigma_{X_1}^2$ i $\sigma_{X_2}^2$ su nepristrani procjenitelji varijanci dvaju uzoraka.

Pretpostavlja se da je H_0 istinita ako se ne pokaže da je razlika statistički značajna, odnosno da je p-vrijednost < 0.05 . U ovom slučaju dvostranog testa, izračuna se p-vrijednost svake točke prostornog polja i ako je:

- $p < \alpha \Rightarrow$ odbacujemo H_0 i prihvaćamo hipotezu H_1
- $p > \alpha \Rightarrow$ ne možemo odbaciti H_0 . To znači da podaci ne daju dovoljno argumenata za njeno odbacivanje (ne da je H_0 potvrđena kao valjana).

Wilcoxon-Mann-Whitney test je neparametarski test s nul-hipotezom da za nasumično odabrane vrijednosti X i Y iz dvije populacije, vjerojatno da X bude veća od Y je jednaka vjerojatnosti da Y bude veći od X . Test ima više metoda, i obično se računa statistika zvana U , čija je raspodjela znana. Za veće uzorke (veće od 20), pretpostavka je da U prati normalnu raspodjelu. Metoda je sljedeća: prvo se dodjeljuju numerički rangovi svim vrijednostima iz oba skupa, počevši s rangom 1 za najmanju vrijednost. Ako je negdje više istih vrijednosti, njima se dodijeli namješteni rang koji je srednja vrijednost između susjednih nenamještenih rangova. Npr. rangovi skupa $(5,6,7,8,9)$ su $(1,2,3,4,5)$, ali ako imamo primjerice skup: $(5,7,7,7,9)$, rangovi članova tog skupa bili bi: $(1,3,3,3,5)$. Nakon toga, zbroje se rangovi iz prvog i drugog uzorka zasebno. U statistika je tada dana s:

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2}$$

gdje je R_1 suma rangova u prvom uzorku. Izračuna se U_1 i U_2 i uzme se manja vrijednost za tablice signifikantnosti. Zbroj statistika U_1 i U_2 je:

$$U_1 + U_2 = n_1 n_2$$

Nakon što se izračunaju U statistike, postupak izračuna p-vrijednosti je analogan postupku za t-test.

3. Rezultati i diskusija

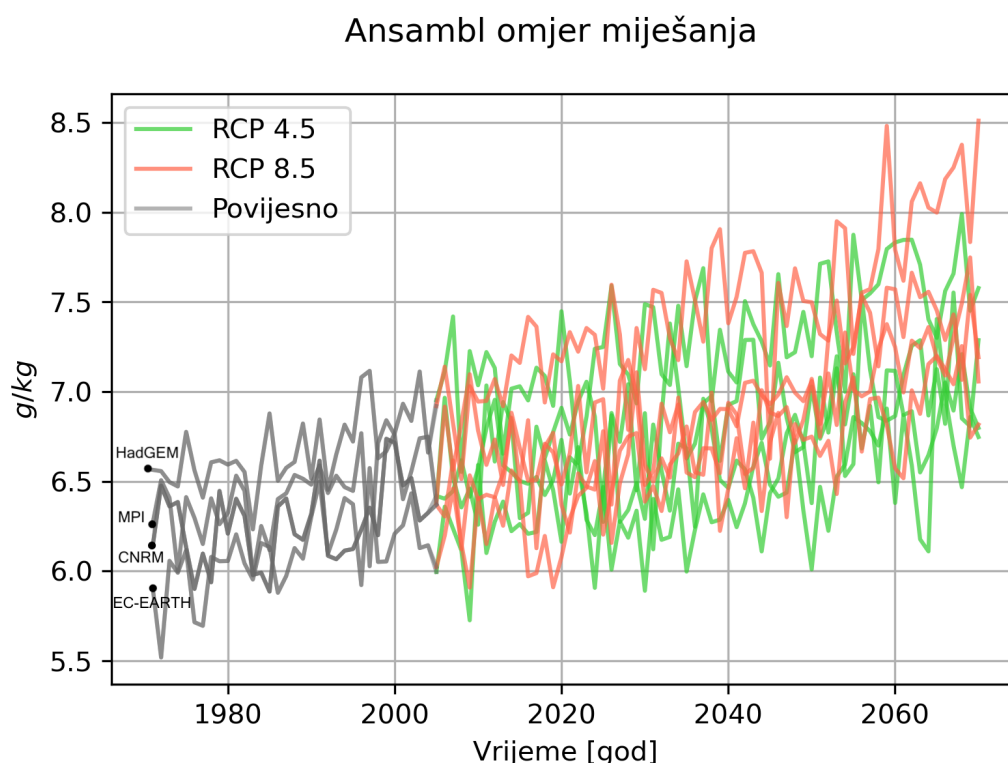
Na početku analize, izračunati su godišnji vremenski srednjaci prizemnog omjera miješanja (r), prizemne temperature zraka (T) i prizemne ekvivalentne temperature zraka (T_e) za razdoblje 1971.-2070. godine. U potpoglavlju 3.1., prikazani su za povijesno razdoblje i za svaku kombinaciju globalnog modela i scenarija. Zatim su izračunata prostorna polja r , T i T_e sezonskih srednjaka tridesetogodišnjih razdoblja P0, P1 i P2 u potpoglavlju 3.2. Razdoblje P0 prikazano je posebno, a P1 i P2 prikazani su u odnosu na P0 razdoblje. Nakon toga su izvršeni testovi značajnosti za sve tri veličine u svakoj točki prostornog polja sezonskih srednjaka, za svaku kombinaciju globalnog modela, scenarija i razdoblja u potpoglavlju 3.3. Prikazan je i dnevni hod sve tri veličine (potpoglavlje 3.4.), izračunat posebno za svaki globalni model i zatim prikazan kao kompozit svih modela. Na kraju, izračunat je linearni trend T_e i T (3.5.) i uspoređena je promjena T_e i T iznad mora i kopna, za prostorne srednjake tridesetogodišnjih razdoblja (3.6.).

Analiza prostornih projekcija, testova značajnosti i dnevnog hoda vršila se posebno za svaku simulaciju regionalnog modela forsiranog globalnim modelom za različita razdoblja i scenarije. To je rezultiralo velikim brojem simulacija te su u samom radu stavljeni većinom kompoziti i(li) oni modeli koji su smatrani najrelevantnijima.

3.1 Vremenski niz godišnjih prostornih srednjaka

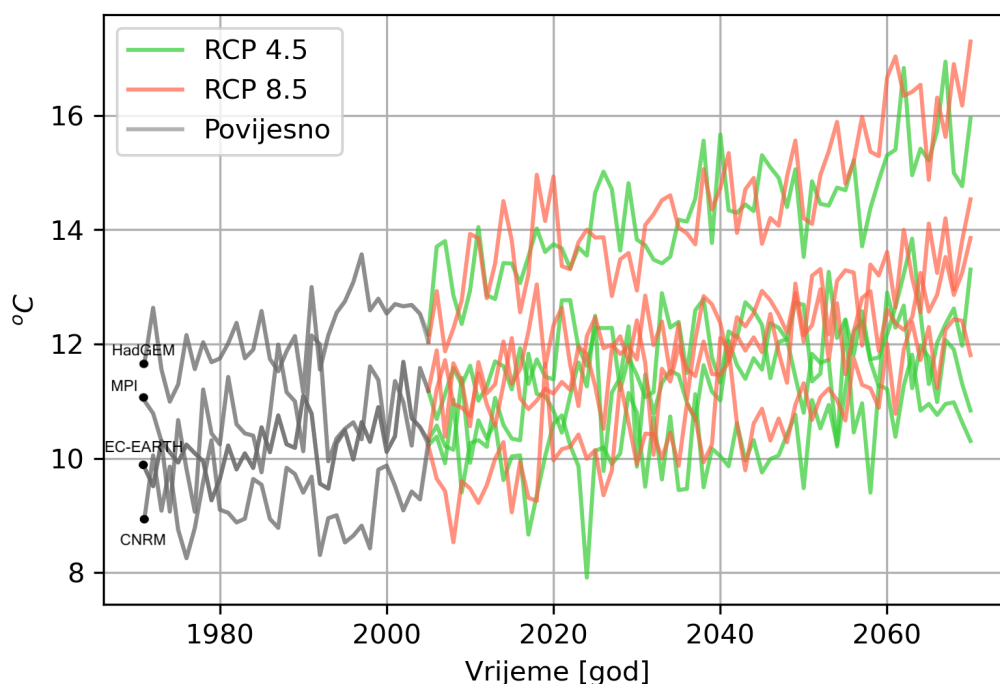
Izračunati su nizovi godišnjih srednjaka nad cijelim promatranim područjem (Slika 1.1) koji čine usrednjene trosatne vrijednosti za svaku godinu za razdoblje 1971.-2070. Razdoblje 1971.-2005. je prikazano kao povijesno razdoblje, jer su za to razdoblje uzeta stvarna mjerenja koncentracija stakleničkih plinova. Za razdoblje 2006.-2070. uzete su koncentracije koje odgovaraju klimatskih scenarijima RCP 4.5 i 8.5, za svaki GCM.

Slika 3.1.1 prikazuje srednjak r za svaki GCM i scenarij. Može se primijetiti da r u povijesnoj klimi ima raspon između 5.5 i 7.1 g/kg i da ima pozitivni linearni trend. Trend se nastavlja i u projekcijama za oba scenarija, pa r za P1 razdoblje ima raspon između 5.7 i 7.8 g/kg, dok je za P2 razdoblje između 6.0 i 8.5 g/kg. Najveće vrijednosti prostornih godišnjih srednjaka r daje simulacija RegCM4 + HadGEM, a najmanje



Slika 3.1.1: Ansambl omjer miješanja. Prikazan je vremenski niz godišnjih prostornih srednjaka svih vrijednosti prizemnog omjera miješanja. Svaki globalni model je za svaki scenarij prikazan zasebno i označen je na grafu. Sivo obojene krivulje prikazuju povijesne klime, dok zelene i crvene krivulje scenarije RCP 4.5 i RCP 8.5.

Ansambl temperatura



Slika 3.1.2: Ansambl temperatura. Prikazan je vremenski niz godišnjih prostornih srednjaka svih vrijednosti prizemne temperature. Svaki globalni model je za svaki scenarij prikazan zasebno i označen je na grafu. Sivo obojene krivulje prikazuju povijesne klime, dok zelene i crvene krivulje scenarije RCP 4.5 i RCP 8.5.

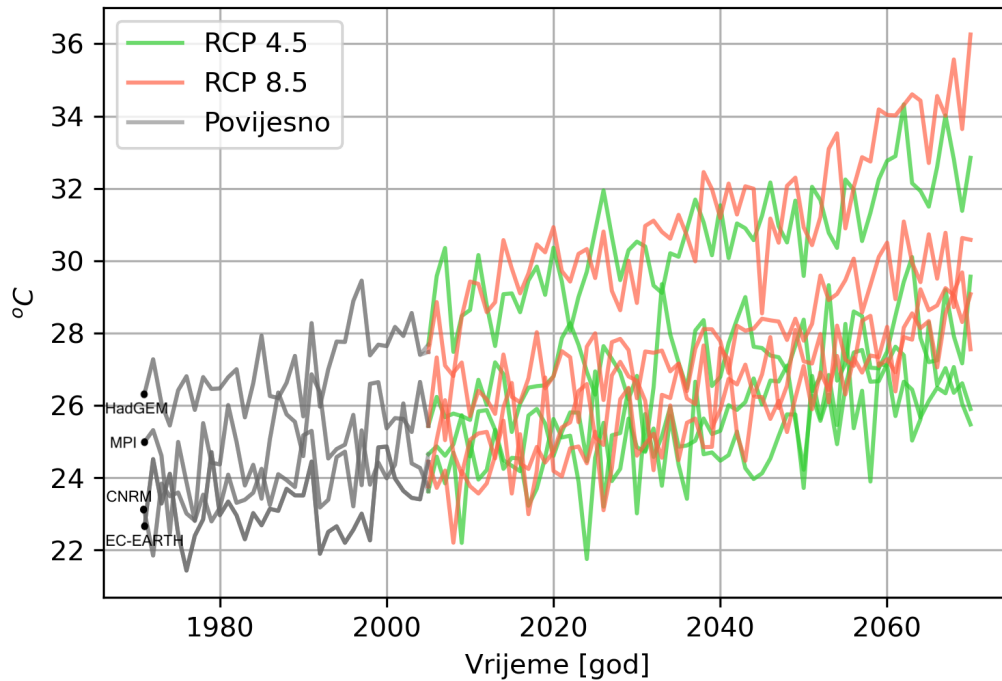
vrijednosti RegCM4 + CNRM. Vrijednosti u RCP 8.5 scenariju za r prosječno veće za P1 i P2, a najveća razlika je u P2.

Ansambl simulacija T na Slici 3.1.2 daje raspon T povijesne klime između 8.2 i 13.5 °C u P0 razdoblju, 8 do 15.5 °C u P1 te 9.5 do 17 °C u P2. Jasno je i okom vidljiv linearni trend i može se primijetiti da je scenarij RCP 8.5 ima nešto veće vrijednosti koje su više izražene u P2. Najveće vrijednosti daje RegCM4 + HadGEM, a najmanje vrijednosti RegCM4 + EC-EARTH i RegCM4 + CNRM.

Nadalje, ansambl simulacija T_e na Slici 3.1.3 odražava promjene u prethodne dvije varijable. Vidimo veći porast u svim simulacijama jer i r i T imaju pozitivni linearni trend (više o linearnom trendu u 5. potpoglavlju). Ako usporedimo grafove za T i T_e , možemo primijetiti međusobnu sličnost, što upućuje da je T_e najvećim dijelom forsirana od T . Iako r čini manji dio vrijednosti T_e naspram T , r inducira trendove T_e koji su veći nego trendovi T (Fall i sur 2010., Pryor i Schoof 2016.). Na ovoj slici je razlika među scenarijima najočitija u P2 razdoblju, dok se za scenarije za P1 razdoblje

ne može uočiti značajna razlika u srednjoj vrijednosti, trendu i(li) varijanci. Opet, daleko najveće vrijednosti daje model RegCM4 + HadGEM.

Ansambli ekvivalentna temperatura



Slika 3.1.3: Ansambli ekvivalentna temperatura. Prikazan je vremenski niz godišnjih prostornih srednjaka svih vrijednosti prizemne temperature. Svaki globalni model je za svaki scenarij prikazan zasebno i označen je na grafu. Sivo obojene krivulje prikazuju povijesne klime, dok zelene i crvene krivulje scenarije RCP 4.5 i RCP 8.5.

3.2 Prostorna raspodjela po razdobljima i sezonama

Na slikama 3.2.1-3.2.6. prikazana su usrednjena prostorna polja klimatskih projekcija analiziranih veličina svih globalnih modela (kao rubni uvjeti RegCM4) za svaku sezonu, po razdobljima. U prvom redu slika prikazano je P0 razdoblje, a u sljedeća dva reda razlika između projekcije klime i povijesne klime. Vrijednosti su izražene u (g/kg) za r , odnosno u °C za T i T_e . Prostorna raspodjela odziva pojedinih kombinacija modela na klimatski scenarij je važna, jer nam daje uvid gdje projekcije daju najveća odstupanja, a gdje odstupanja nisu izražena.

Na Slikama 3.2.1 i 3.2.2, prikazana je prostorna raspodjela srednjaka r po razdobljima i sezonama za RCP 4.5 scenarij (Slika 3.2.1) i RCP 8.5 scenarij (Slika 3.2.2). Vrijednosti u povijesnom razdoblju su u DJF sezoni između 3 i 4 g/kg nad kopnom te između 4 i 7 g/kg nad morem i obalnim područjem. U MAM sezoni su je kontrast između kopna i mora manji, jer je to vegetacijska sezona i sa zatopljenjem u atmosferu isparava sve više vodene pare. Manje vrijednosti se još uvijek zadržavaju u području Dinarida, Gorskog Kotra, Slovenije i Alpa. U JJA sezoni je r iznad mora između 8 i 12 g/kg, a iznad kopna između 4 i 10 g/kg. Manje vrijednosti su opet iznad planinskih područja. Sezona SON daje jednoliku raspodjelu r iznad Hrvatske i susjednih država (6-7 g/kg), a nešto manje vrijednosti nad Apeninima i Alpama (1-3 g/kg). Kontrast između kopna i mora je izražen gdje je more još uvijek skoro na razinama iz JJA sezone: između 7 i 10 g/kg. Razlog tomu je toplinski kapacitet mora koji je veći nego toplinski kapacitet kopna. More se sporije hladi nego kopno (vidljivo na Slici 3.2.3, prvi red) i time zadržava veći r .

U projekcijama r za scenarij RCP 4.5 (Slika 3.2.1), vidimo da su promjene u odnosu na P0 nad cijelim analiziranim područjem pozitivne. Nad kopnom su promjene najveće u P1 razdoblju u DJF i MAM sezoni (0.2-0.5 g/kg). Najmanje povećanje u r su u JJA sezoni nad kopnom u P1 razdoblju (do 0.2 g/kg). U P2 razdoblju promjene nad kopnom u svim sezonama osim u JJA između 0.5 i 0.7 g/kg. JJA sezona ima nešto manje vrijednosti u sredini domene. Kontrast između kopna i mora u DJF i MAM sezoni je malen (ili nepostojeći), a najveći kontrast između mora i kopna je u JJA i SON sezoni. Ako se pogleda Slika 3.2.2, koja je ista kao Slika 3.2.1, ali za RCP 8.5 scenarij, mogu se vidjeti sveukupno veće promijene r -a. U DJF i MAM sezoni u P1 razdoblju su

promjene gotovo na cijelom području jednake: između 0.2 i 0.5 g/kg iznad kopna i 0.5-0.7 g/kg iznad mora u DJF, i 0.5-0.7 g/kg svugdje osim nad Italijom (0.2-0.5 g/kg) u MAM sezoni. U P2 razdoblju su najveće razlike r -a u odnosu na P0. Slična je slika kao za P1 razdoblje, ali s vrijednostima većim za otprilike 0.3 g/kg. u SON sezoni su promijene nad morem još i veće: >0.5 g/kg. Projekcije time govore da će SON sezona, ako se približimo RCP 8.5 scenariju, vjerojatno biti znatno vlažnija.

Ako se gledaju klimatske projekcije za T u RCP 4.5 scenariju na Slici 3.2.3, mogu se vidjeti pozitivne razlike u P1 i P2 razdoblju u odnosu na P0, i to u svim sezonama i na cijelom području. Promjene su uglavnom veće nad kopnom nego nad morem, zbog toplinskog kapaciteta kopna koji je manji od morskog. Doduše, približno jednake promjene se vide u DJF, MAM i SON sezonama. Najveća promjena je dakako u JJA sezoni, kada su dani najduži i područje prima najviše Sunčevog zračenja. U P1 razdoblju u JJA sezoni se može primijetiti da su promjene najveće nad Dinaridima, Istrom i nad velikim dijelom Apeninskog poluotoka i iznose 2.2-2.7 °C. Ovakve promijene bi mogle značiti da ljeta više neće biti svježija u tim područjima. U P2 razdoblju se također vide najveće promjene ljeti iznad kopna, no ovdje su te promjene približno jednolike.

Promjene T u RCP 8.5 scenariju su prikazane na Slici 3.2.4. U P1 razdoblju, sezone DJF, MAM i JJA sve pokazuju jednoliko povećanje u T iznad kopna i mora. U SON sezoni, promijene su isto približno jednolike, osim u Gorskom Kotru, Lici i gornjoj polovici BiH, gdje su promijene nešto manje. Promijene za JJA iznose između 1.8 i 2.2 °C, a za ostale sezone 1.4-1.8 °C. U P2 razdoblju za RCP 8.5 scenarij su projekcije promjena u T uvjerljivo najveće. U sezonama DJF, MAM i SON nad kopnom temperatura raste za 2.7-3.1 °C, a nad morem 1.8-2.2 °C. U JJA sezoni, temperatura nad kopnom raste između 3.1 i 3.6 °C, a nad kopnom između 2.7 i 3.1 °C. Ovaj klimatološki scenarij je vrlo rigorozan i predočuje posljedice kumulativnog utjecaja emisija, odnosno neprekidnog povećanog rasta koncentracija stakleničkih plinova kroz 21. stoljeće.

Nakon analize T i r , prizemna ekvivalentna temperatura zraka bi trebala biti kombinacija prethodnih dviju vrijednosti (jednadžba 2.3). Na Slikama 3.2.5 i 3.2.6 možemo vidjeti da je u povijesnoj klimi T_e najveća iznad mora u svim sezonama. To

upućuje na značajan doprinos vlažnosti (omjera miješanja) u vrijednostima T_e . Vidi se također da je ekvivalentna temperatura najniža u Gorskom Kotaru i Lici, isto kao i u Dinaridima. U Gornjem desnom kutu područja su Alpe (Slika 1.1) i ondje se isto vidi niska ekvivalentna temperatura. U klimatskim projekcijama vidimo da je najveće povećanje u T_e iznad mora u RCP 4.5 scenariju. U RCP 8.5 scenariju promjene su veće i dosežu najveću promjenu također iznad mora, ali samo u ljetnoj (JJA) i jesenskoj (SON) sezoni. U zimskoj (DJF) i proljetnoj (MAM) sezoni odstupanja su jednolikija po cijelom promatranom području. U MAM sezoni se promjena T_e procjenjuje sličnom nad kopnom kao i nad morem, za razliku od ljetne i jesenske, gdje su promjene nad morem veće. Razlog tomu je što u proljeće isparavanje nad kopnom raste brže nego nad morem (vegetacijska sezona). Prema Fall i sur. (2010), srednje razlika između T_e i T su najveće iznad područja s većom stopom evaporacije i transpiracije. Nadalje, promjene na kopnu nemaju veliku prostornu varijabilnost, pogotovo u P2 razdoblju. Najveća varijabilnost je između kontinentalnog područja i priobalnog područja u P2 razdoblju za JJA i SON sezonu, kad su razlike T_e između mora/obale i kopna oko 1.5 °C (potpoglavlje 3.6). To upućuje da će se T_e nad kopnom povećati približno jednoliko, neovisno o nadmorskoj visini područja. Primjerice, ako uspoređujemo P0 razdoblje i P2 razdoblje u RCP 4.5 u DJF sezoni, projekcija ekvivalentne temperature iznad Dinarida se s 4-10 °C penje za 3 °C, kao i područje središnje i istočne Hrvatske: za 10-17 °C. Treba imati na umu da priobalna područja imaju možda nešto veća odstupanja, jer su prizemne ćelije modela kategorizirane kao ili nad morem ili nad kopnom. To znači da su za puno otoka koje Hrvatska ima, vrijednosti koje kompozit modela pokazuje u tom području možda nerealne (Branković i sur. 2013.).

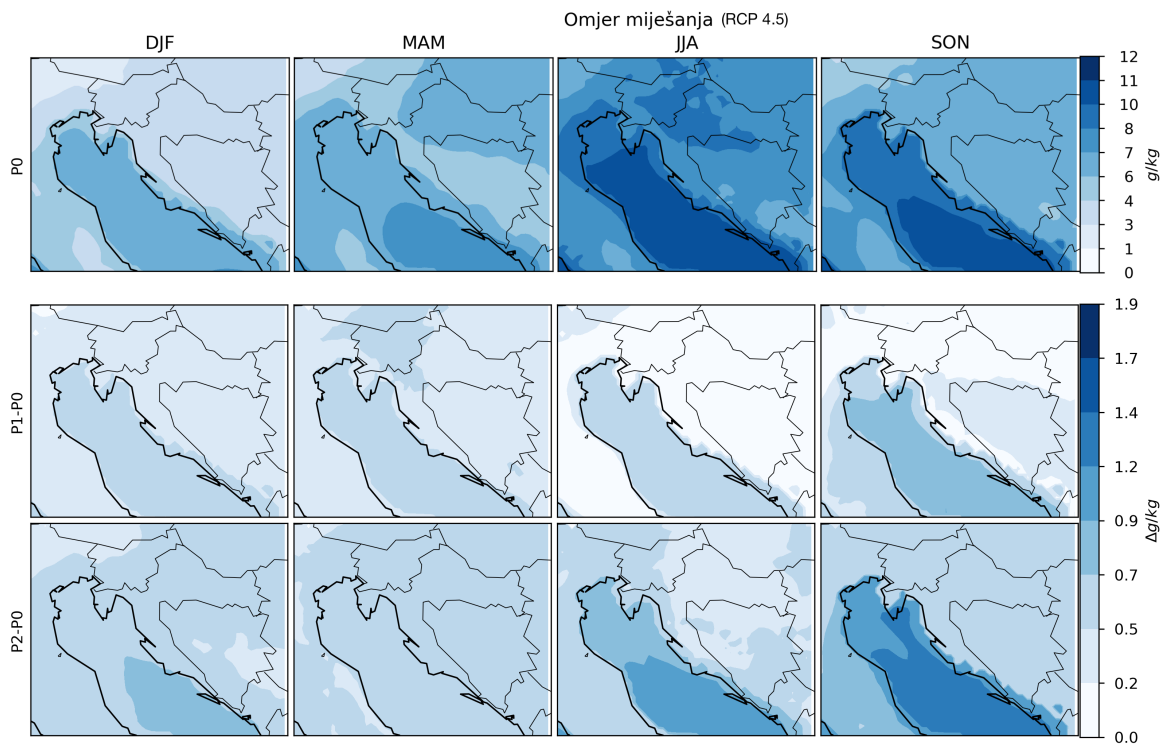
Iz Slika 3.2.5 i 3.2.6 jasno je da je povećanje T_e veće za P2 razdoblje u oba scenarija. U scenariju RCP 4.5 se, kao što je već spomenuto, koncentracije stakleničkih plinova rastu do sredine stoljeća te nakon toga počnu opadati. No i dalje to ne znači prestanak povećanja niti jedne od analiziranih veličina, nego samo znači prestanak povećanog rasta. U RCP 8.5 scenariju vidimo ukoliko se koncentracije nastave povećavati, modeli uistinu pokazuju veće povećanje u P2 razdoblju na cijelom promatranom području.

Gledajući prostorni prikaz T_e za ekstremni RCP 8.5 scenarij na Slici 3.2.6, dobiva se predodžba gornja granica promjena toplinskog budžeta nad Hrvatskom.

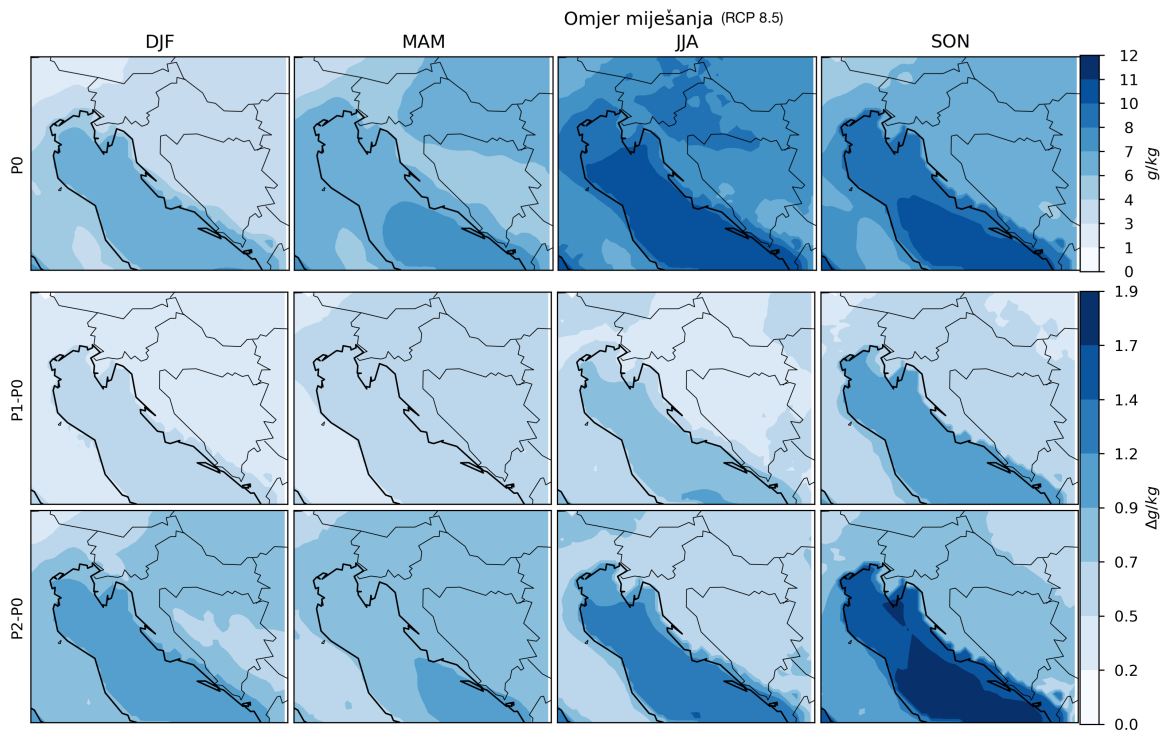
Trenutno, u 2021. godini, emisije su blizu RCP 4.5 scenariju, no zadržavanje porasta T_e ispod 1.5 °C zahtijevat će emisije niže od RCP 4.5 u narednom razdoblju.

Modeli nam daju predodžbu o analiziranim vrijednostima kroz razdoblja:

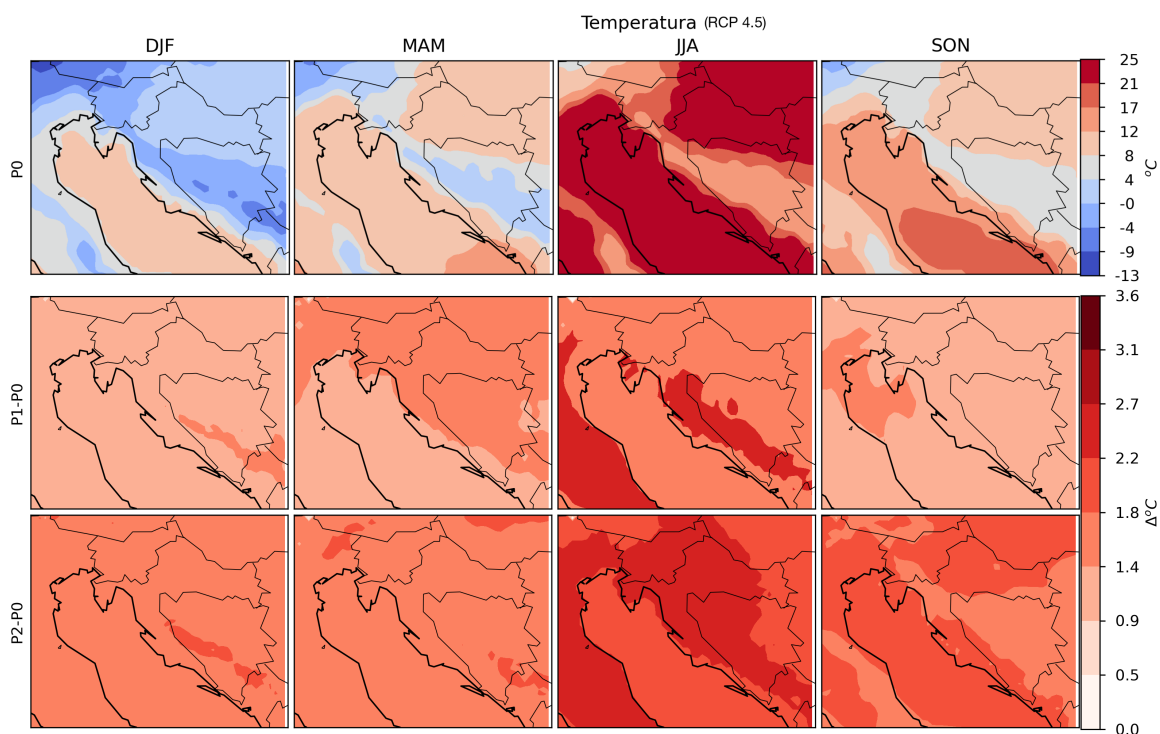
- P1: porast T_e nad kopnom je najveće u MAM sezoni. Nad morem, najveće je u JJA i SON sezoni, a najmanje u DJF.
- P2: porast T_e nad kopnom najmanje je u DJF sezoni. Nad morem, najveće je u JJA i SON sezoni.



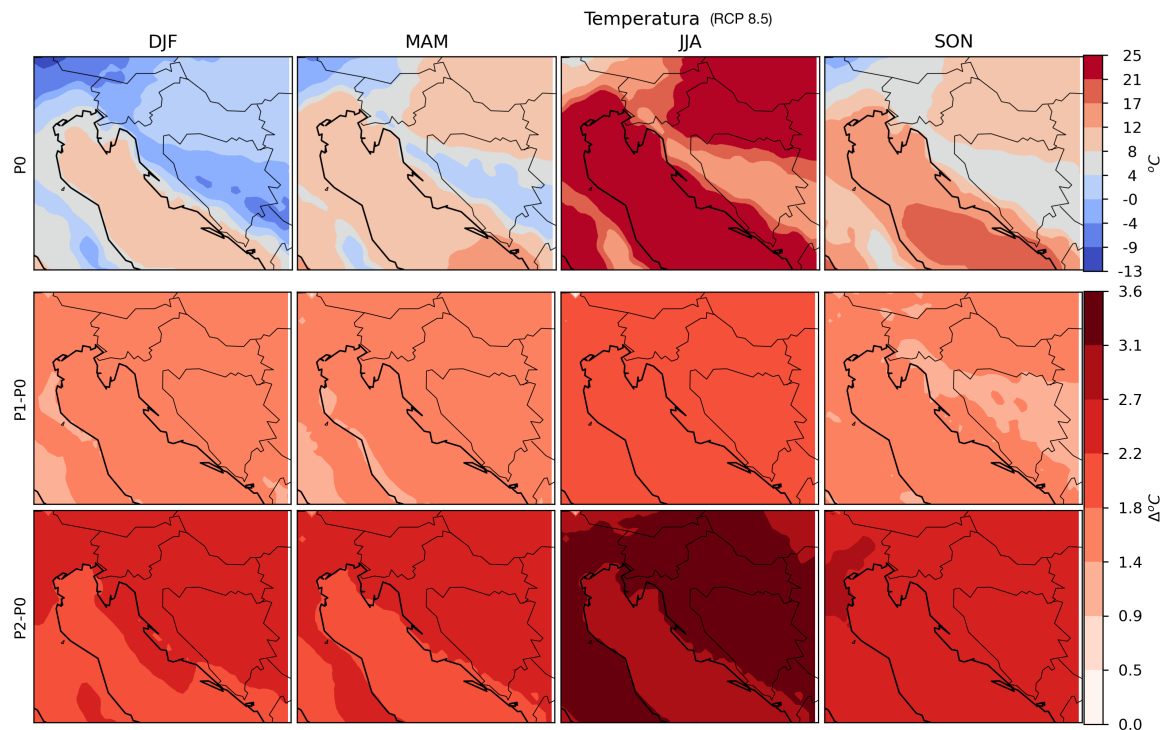
Slika 3.2.1: Prostorni prikaz srednjaka simulacija r po sezonama (stupci) u P0 razdoblju (prvi red) te P2 i P1 razdoblju u odnosu na P0 razdoblje (drugi i treći red) za RCP 4.5 scenarij.



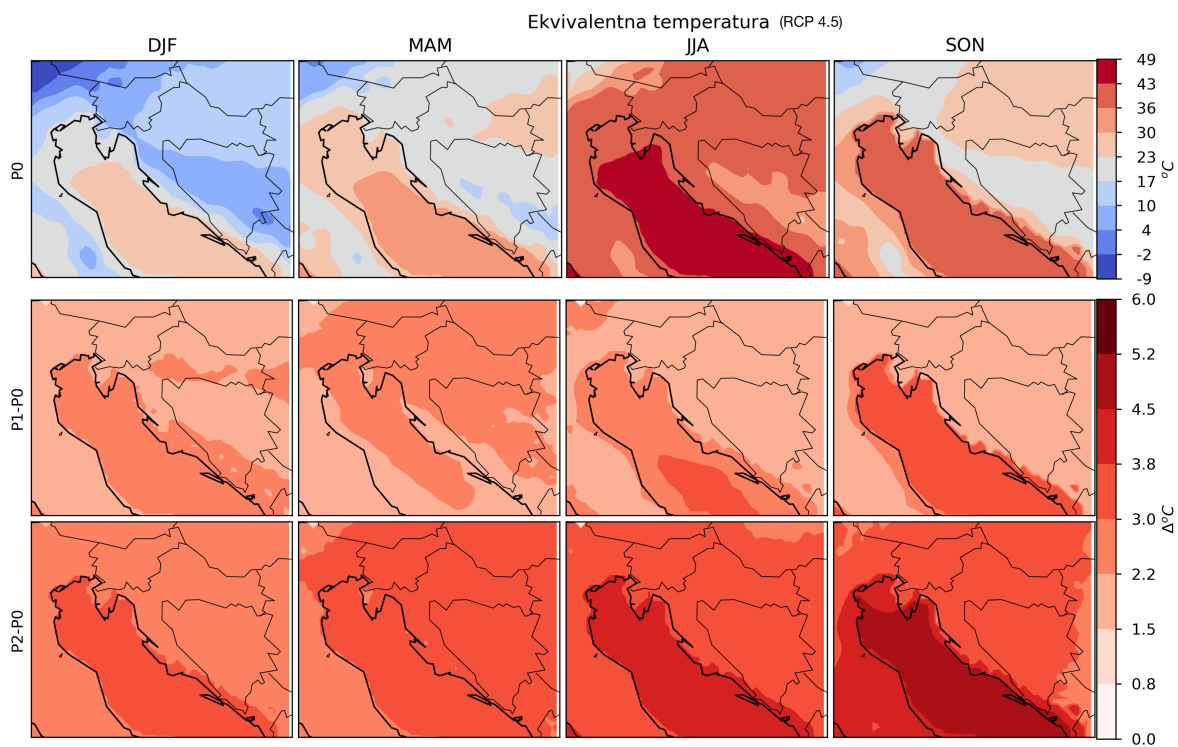
Slika 3.2.2: Prostorni prikaz srednjaka simulacija r po sezonama (stupci) u P0 razdoblju (prvi red) te P2 i P1 razdoblju u odnosu na P0 razdoblje (drugi i treći red) za RCP 8.5 scenarij.



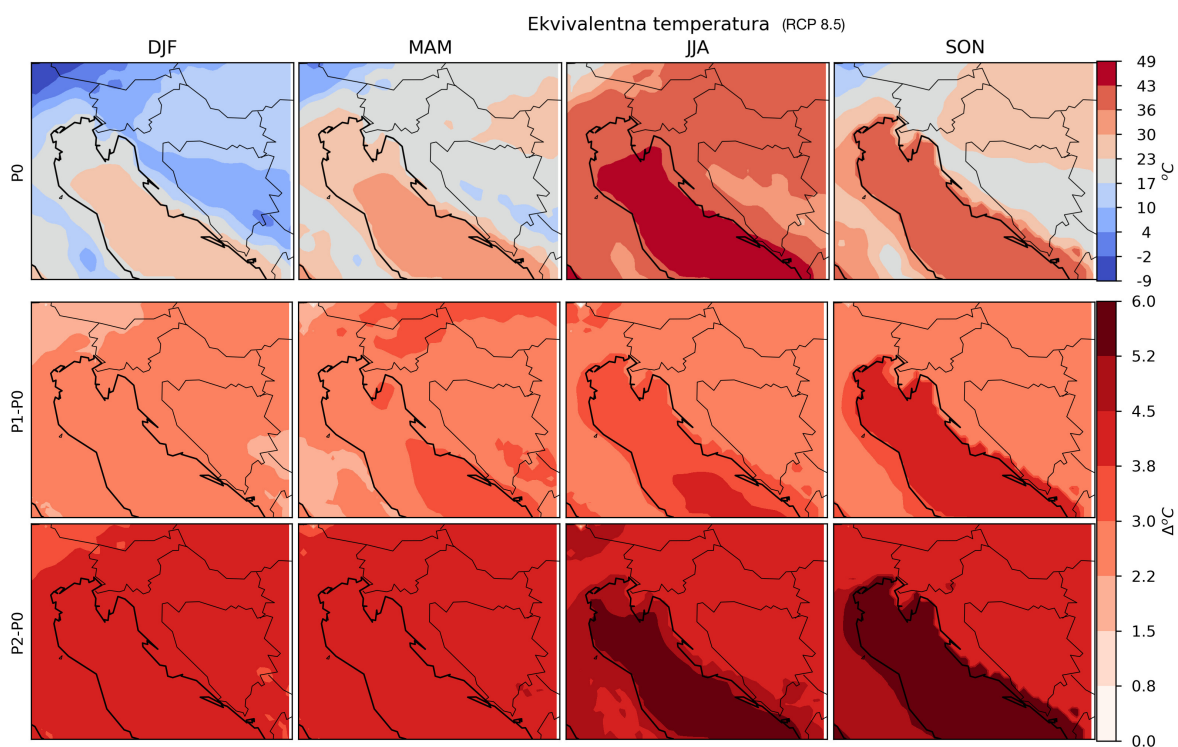
Slika 3.2.3: Prostorni prikaz srednjaka simulacija T po sezonama (stupci) u P0 razdoblju (prvi red) te P2 i P1 razdoblju u odnosu na P0 razdoblje (drugi i treći red) za RCP 4.5 scenarij.



Slika 3.2.4: Prostorni prikaz srednjaka simulacija T po sezonama (stupci) u P0 razdoblju (prvi red) te P2 i P1 razdoblju u odnosu na P0 razdoblje (drugi i treći red) za RCP 8.5 scenarij.



Slika 3.2.5: Prostorni prikaz srednjaka simulacija T_e po sezonama (stupci) u P0 razdoblju (prvi red) te P2 i P1 razdoblju u odnosu na P0 razdoblje (drugi i treći red) za RCP 4.5 scenarij.



Slika 3.2.6: Prostorni prikaz srednjaka simulacija T_e po sezonama (stupci) u P0 razdoblju (prvi red) te P2 i P1 razdoblju u odnosu na P0 razdoblje (drugi i treći red) za RCP 8.5 scenarij.

3.3 Rezultati testova značajnosti: Studentov *t*-test i WMW test

Studentov *t*-test i Wilcoxon-Mann-Whitney (WMW) test izvršeni su za 2 jednaka skupa međusobno nezavisnih podataka (dvije jednake populacije):

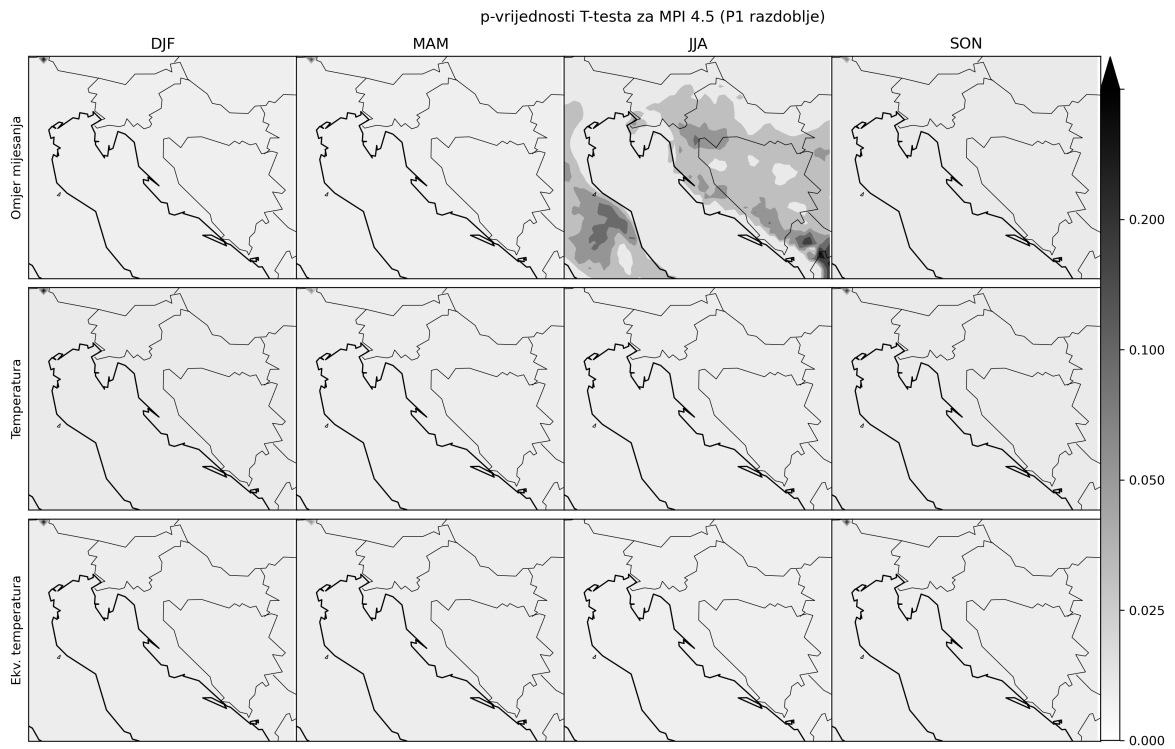
1. Povijesne prostorne vrijednosti u točki mreže (razdoblje P0)
2. Projekcije u točki mreže koja se sastoji od: RegCM4 forsiranog nekim GCM-om (CNRM-CM5, EC-EARTH, MPI-ESM-MR, HadGEM2-ES), za RCP 4.5 ili RCP 8.5 scenarij i P1 ili P2 razdoblje.

Izvršeno je ukupno 32 testa (16+16) za svaku točku prostornog polja, gdje je za svaku točku prikazana *p*-vrijednosti testa. *p*-vrijednosti koje su manje od 0.05 (svijetlo sivo-bijelo) smatraju se statistički značajnima, dok vrijednosti iznad (tamnije sivo-crno) su statistički neznačajne. Rezultati pokazuju da je većina testova statistički značajna, te da se statistička neznačajnost javlja velikom većinom samo za omjer miješanja nad kopnom u JJA sezoni. Na Slikama 3.3.1-3.3.4., prikazani su rezultati *t*-testa, a na Slikama 3.3.5-3.3.8 rezultati WMW testa za model RegCM4 + MPI. Može se primijetiti da se statistička neznačajnost javlja u *r* iznad kopna u JJA sezoni. U P1 razdoblju promjene u *r* javljaju se u gotovo cijelom području Hrvatske za oba testa, dok se u P2 razdoblju javljaju samo u središnjoj i istočnoj Hrvatskoj. Simulacija RegCM4 + MPI za ru svim ostalim sezonama te T i T_e procjenjuje da su promjene statistički značajne nad cijelim promatranim područjem. Tolika dominantnost statistički značajnih promjena za T_e , T , i *r* za umjereniji RCP 4.5 scenarij je znak da se uz očekivani trend porasta T , T_e raste još većim trendom zbog promjene u *r*. U ljetnoj JJA sezoni modeli ne procjenjuju značajni porast *r* iznad kopna.

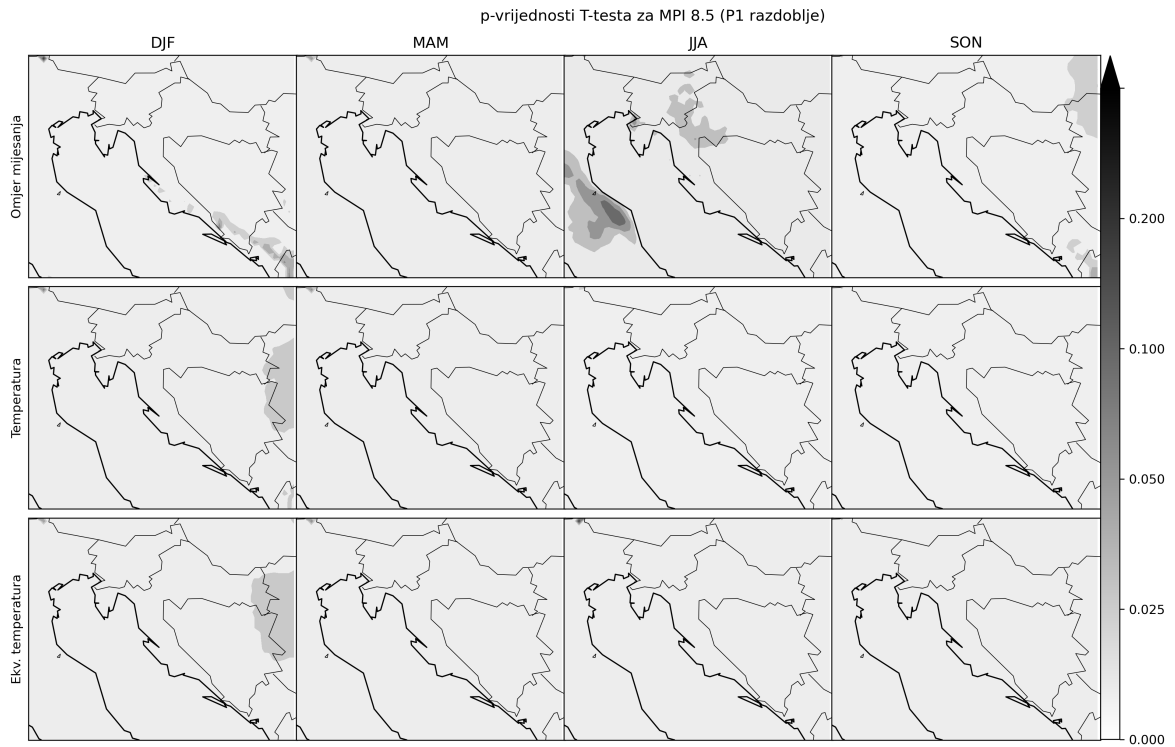
Vrijednosti temperature i omjera miješanja su varijabilni od godine do godine (Slike 3.1.1 i 3.1.2). Zbog toga, T_e postiže veće anomalije ukoliko su anomalije T i ristog predznaka. Međutim, ako su anomalije omjera miješanja i temperature suprotnog predznaka, može doći do sušne sezone u slučaju pozitivne anomalije temperature i negativne anomalije omjera miješanja (Rogers i sur. 2007.). Ako gledamo P1 period, moguće je da će ljeto u kontinentalnoj Hrvatskoj u tom razdoblju biti vruće, ali ne i puno vlažnije. U P2 razdoblju se promjena *r* na Jadranu i

priobalnom području procjenjuje kao značajna, što bi značilo da će cijelo priobalno područje biti vlažnije i vruće u drugoj polovici 21. stoljeća.

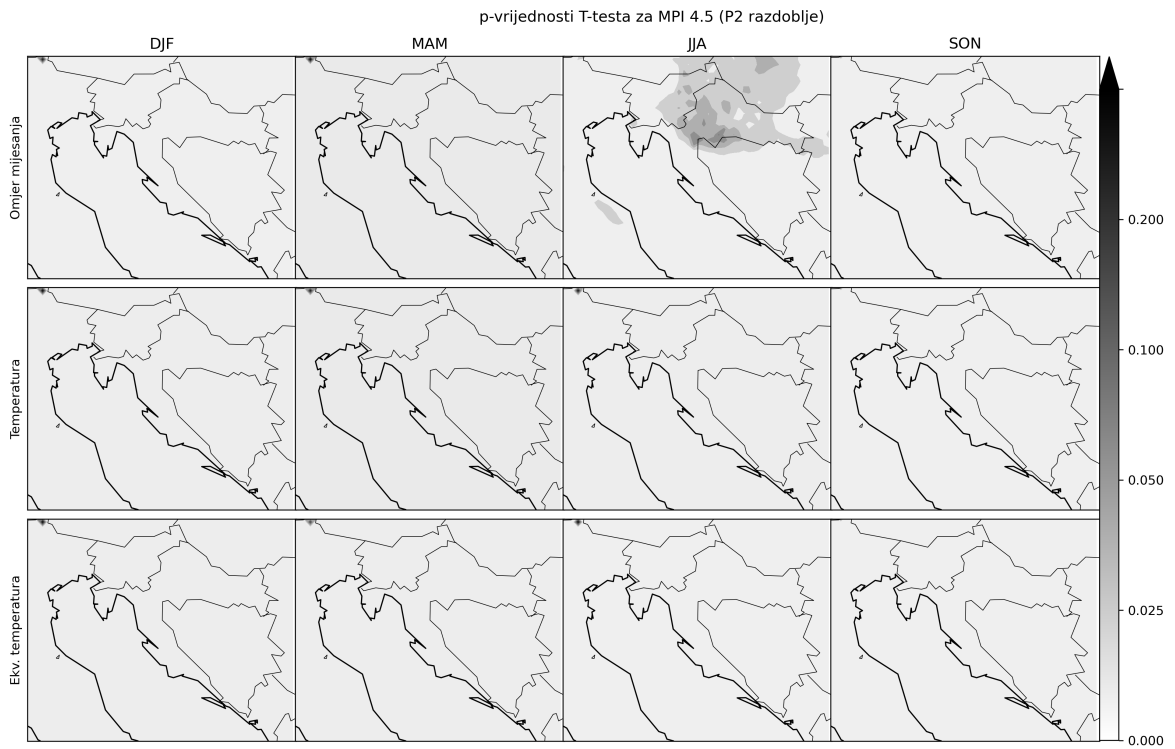
Projekcije za RCP 8.5 scenarij velikom većinom pokazuju statističku značajnost u svakoj točki projekcije za sve tri veličine. Izuzetak čini sezona SON (RCP 8.5) za r , gdje u gornjem lijevom i desnom kutu domene model MPI-ESM-MR pokazuje statističku neznačajnost promjena. Još jedan izuzetak je JJA sezona (P1, RCP 8.5), u kojoj se statistička neznačajnost promjena procjenjuje na dijelu Apeninskog poluotoka i dijelu Hrvatske i Slovenije (Slika 3.3.5).



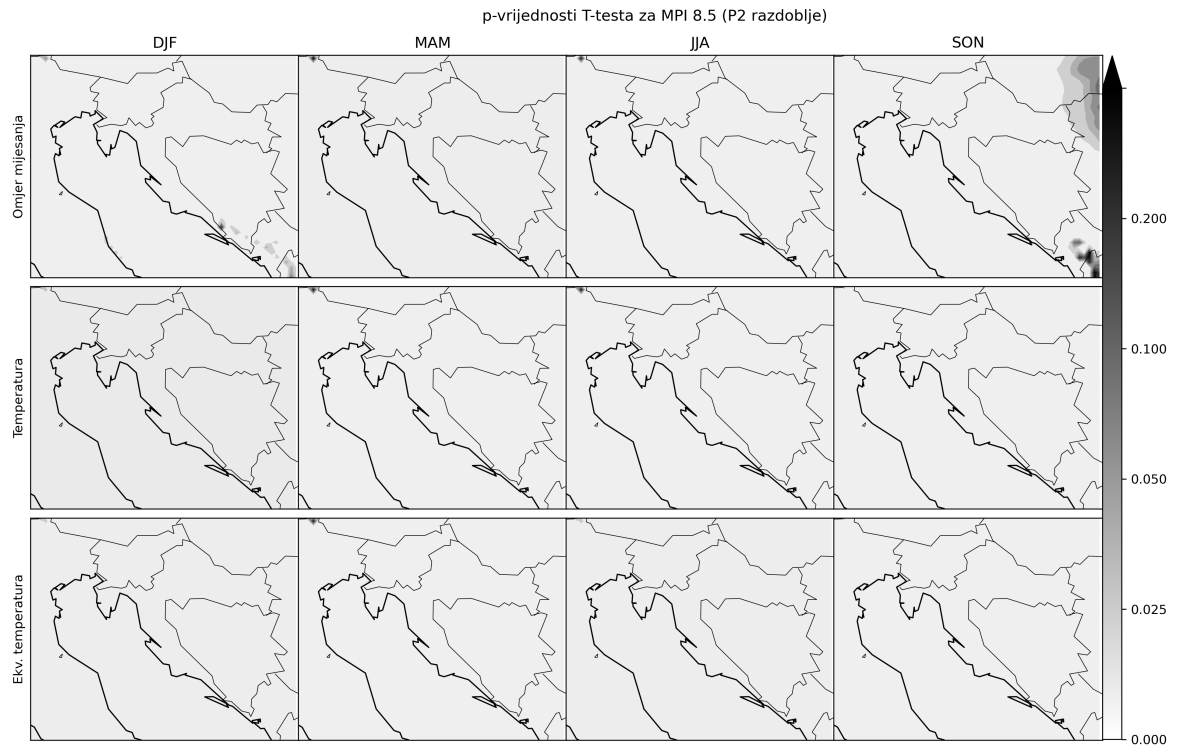
Slika 3.3.1: Prikaz sezonskih prostornih p-vrijednosti Studentovog t-testa simulacije (MPI-ESM-MR) +RegCM4 za r , T i T_e , za RCP 4.5 scenarij za P1 u odnosu na P0 razdoblje.



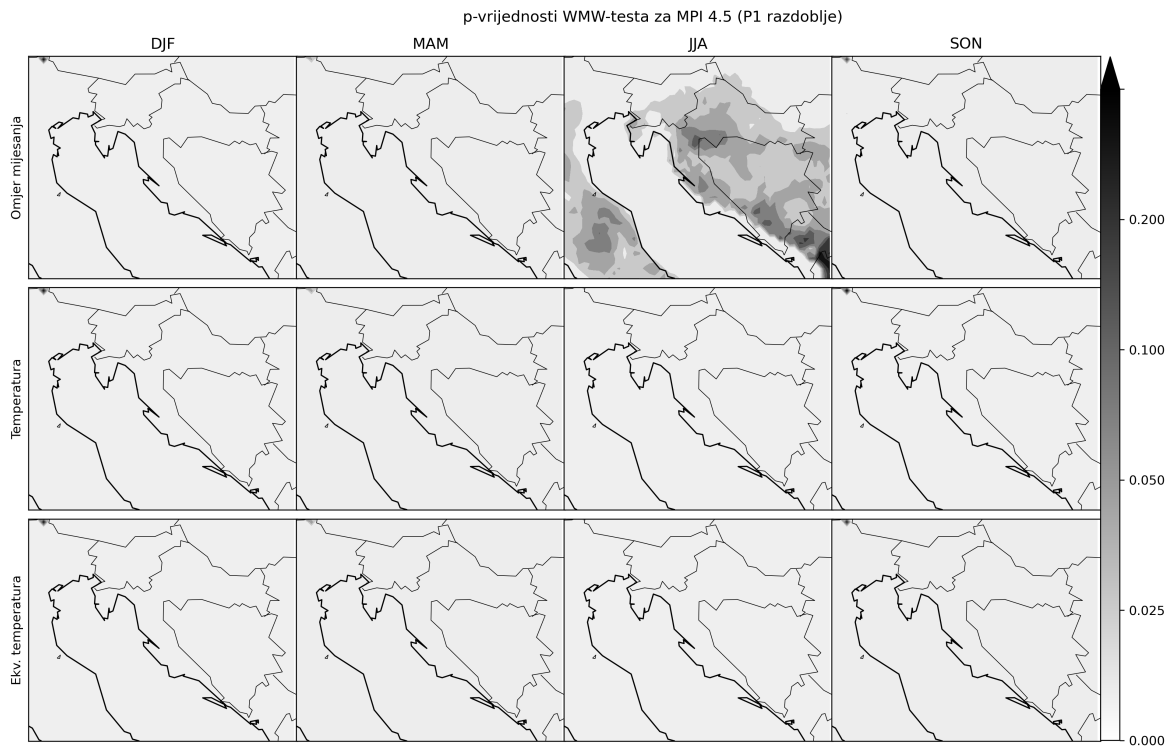
Slika 3.3.2: Prikaz sezonskih prostornih p-vrijednosti Studentovog t-testa simulacije (MPI-ESM-MR) +RegCM4 za r , T i T_e , za RCP 8.5 scenarij za P1 u odnosu na P0 razdoblje.



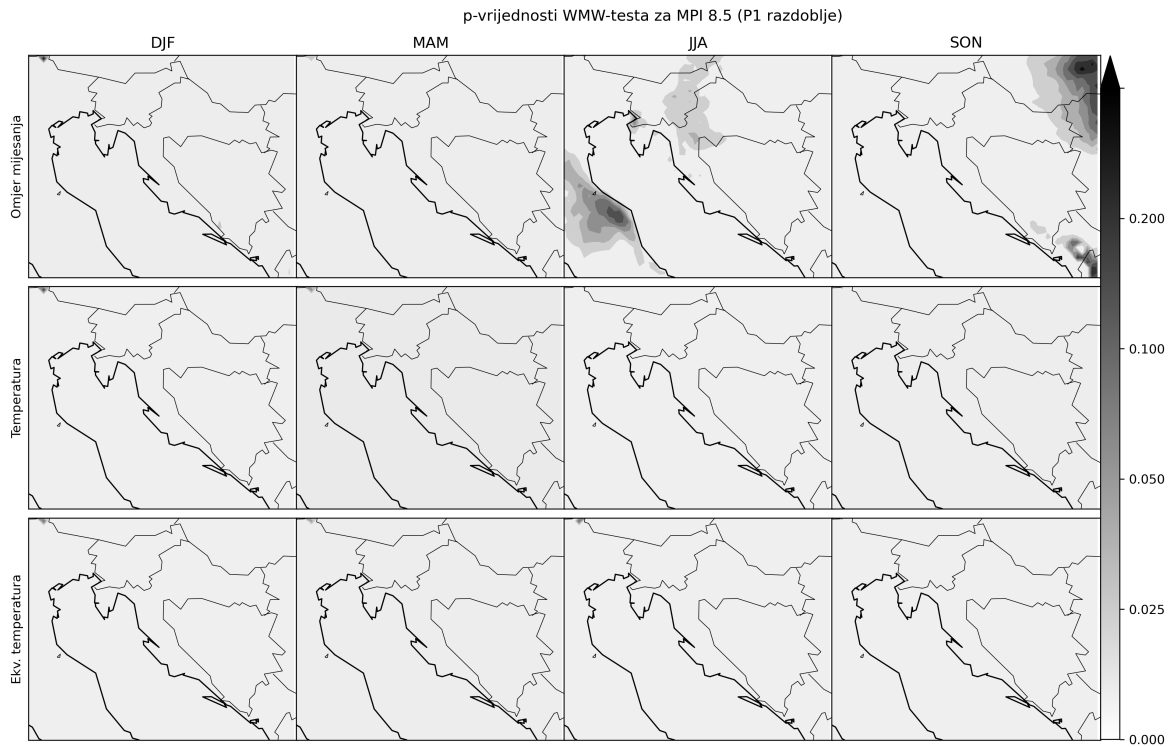
Slika 3.3.3: Prikaz sezonskih prostornih p-vrijednosti Studentovog t-testa simulacije (MPI-ESM-MR) +RegCM4 za r , T i T_e , za RCP 4.5 scenarij za P2 u odnosu na P0 razdoblje.



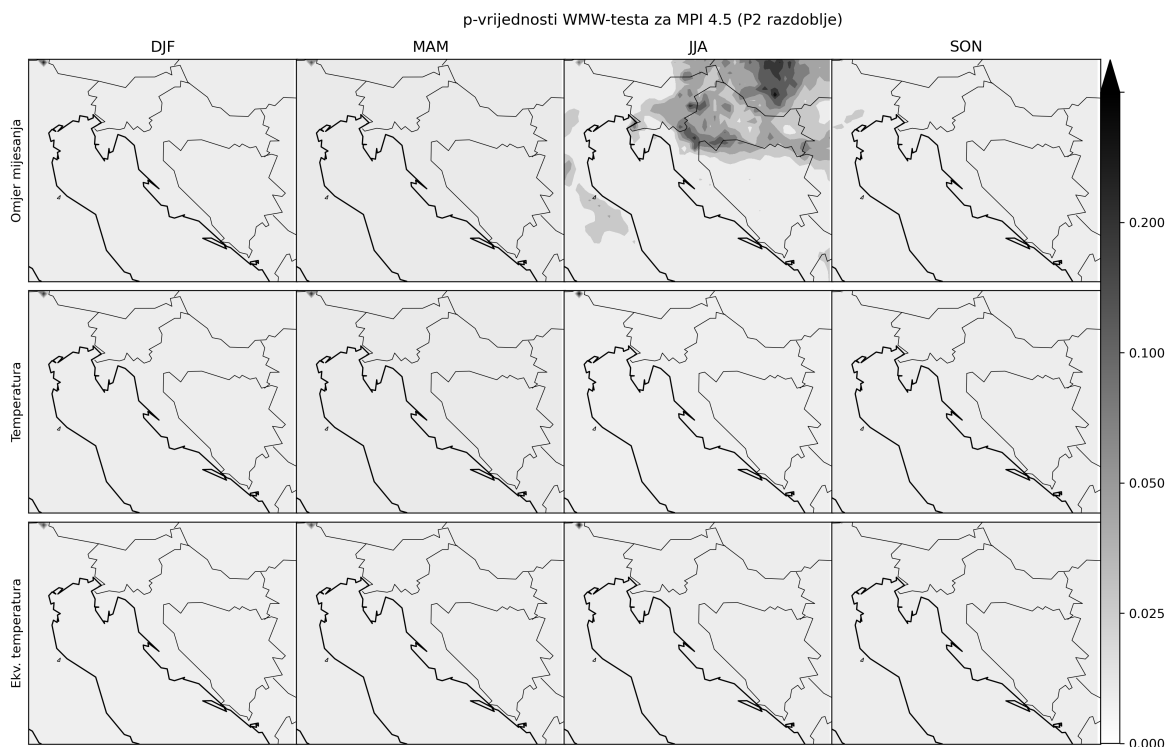
Slika 3.3.4: Prikaz sezonskih prostornih p-vrijednosti Studentovog t-testa simulacije (MPI-ESM-MR) +RegCM4 za r , T i T_e , za RCP 8.5 scenarij za P2 u odnosu na P0 razdoblje.



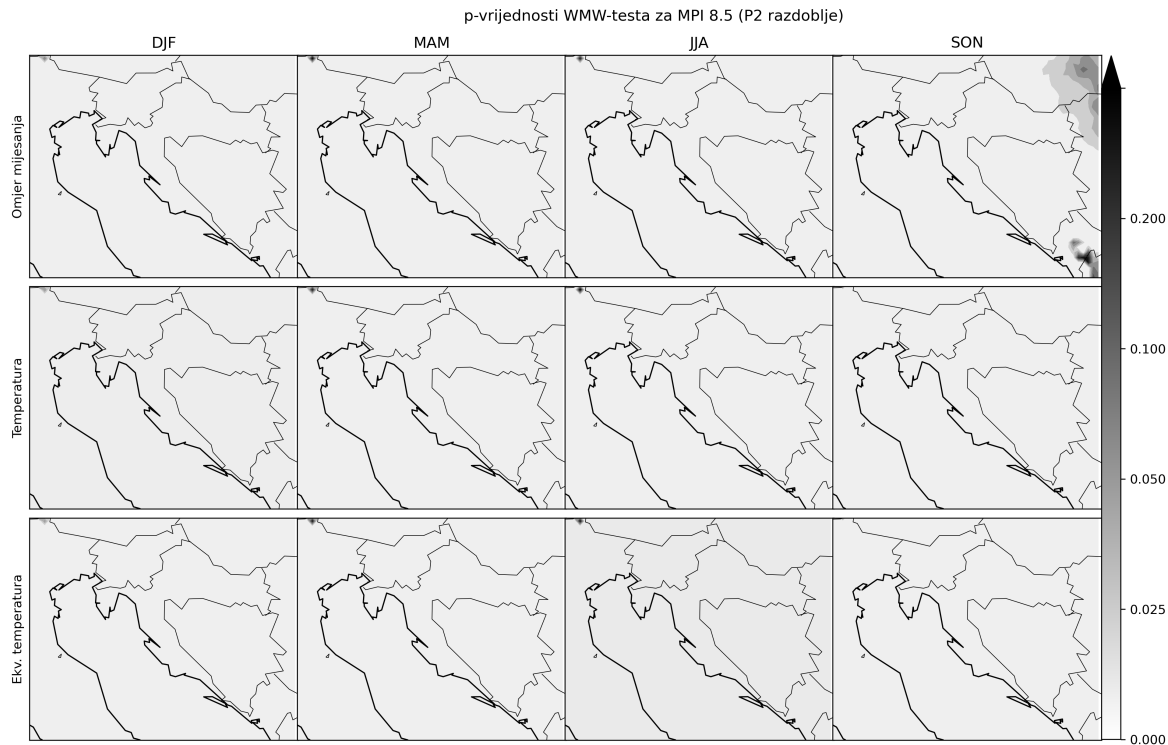
Slika 3.3.5: Prikaz sezonskih prostornih p-vrijednosti WMW testa simulacije (MPI-ESM-MR) +RegCM4 za r , T i T_e , za RCP 4.5 scenarij za P1 u odnosu na P0 razdoblje.



Slika 3.3.6: Prikaz sezonskih prostornih p-vrijednosti WMW testa simulacije (MPI-ESM-MR) +RegCM4 za r , T i T_e , za RCP 8.5 scenarij za P1 u odnosu na P0 razdoblje.



Slika 3.3.7: Prikaz sezonskih prostornih p-vrijednosti WMW testa simulacije (MPI-ESM-MR) +RegCM4 za r , T i T_e , za RCP 4.5 scenarij za P2 u odnosu na P0 razdoblje.



Slika 3.3.8: Prikaz sezonskih prostornih p-vrijednosti WMW testa simulacije (MPI-ESM-MR) +RegCM4 za r , T i T_e , za RCP 8.5 scenarij za P2 u odnosu na P0 razdoblje.

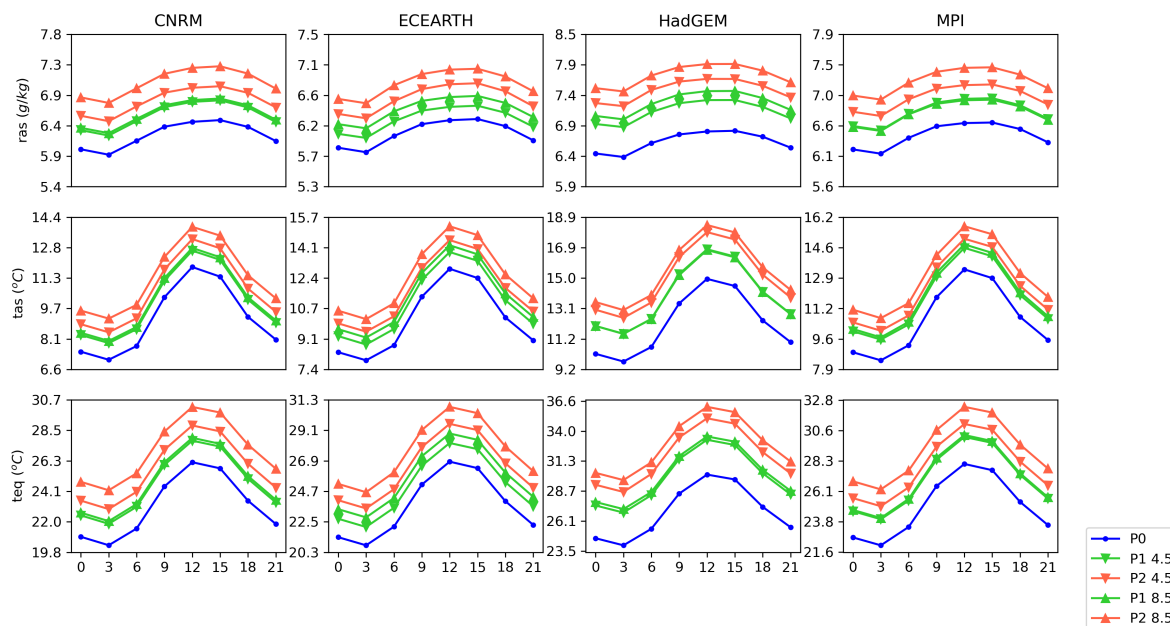
3.4 Dnevni hod

Kako su dostupni podatci trosatni, izračunati su godišnji srednjaci analiziranih veličina po satima (svaka tri sata: 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21). Dnevni hod simulacija je napravljen s ciljem da pokaže varijaciju u promjenama vrijednosti među satima u danu. Na Slici 3.4.1 prikazan je dnevni hod godišnjih srednjaka za sve globalne modele, scenarije i razdoblja. Gledajući sliku, primjećuje se da je poredak kombinacija scenarija i razdoblja gotovo uvijek isti: najveće vrijednosti daje RCP 8.5 za P2 razdoblje, a na drugom mjestu je RCP 4.5 za P2 razdoblje. Na temelju toga se može zaključiti da je razdoblje P2 najtoplije, neovisno o scenariju. Svaki graf na slici ima svoju skalu kako bi se dnevni hod i razlike među scenarijima i razdobljima mogle uočiti.

Slika 3.4.2 prikazuje srednjak projekcija u odnosu na povijesnu klimu (plava krivulja na Slici 3.4.1). Na ovoj slici vidimo da je varijabilnost među satima zanemariva, odnosno da nijedan sat ne odskače po razlici porasta r , T ili T_e . To će reći da dnevni hod ostaje nepromijenjen, ali ima pozitivan posmak. Vidi se također da su scenariji slični za P1 razdoblje i da najveću razliku daje P2 razdoblje za oba scenarija.

Na Slici 3.4.3 prikazani su sezonski godišnji satni srednjaci promjena r , T i T_e za globalni model MPI-ESM-MR. Za r možemo vidjeti da u P1 razdoblju (zeleno) promjene u scenarijima nisu veće od 0.5 g/kg u niti jednom satu. DJF i MAM sezone daju veće povećanje r u 15 h nego u ostatku dana. Takva raspodjela je vjerojatno posljedica većeg danjeg isparavanja koje je karakteristično za to doba godine. JJA sezona procjenjuje veće povećanje u noćnim i ranojutarnjim satima (00 h, 03 h, 06 h) nego tijekom dana. Oštar pad u r između 06 i 09 h je karakteristično za ljetnu sezonu, gdje sunce brzo zagrijava površinu zemlje i r time pada. SON sezona daje otprilike jednoliku promjenu po svim satima u danu. U P2 razdoblju (crveno) vidimo najveće promjene u r . RCP 4.5 scenarij procjenjuje promjenu od oko 0.5 g/kg u DJF i MAM sezoni i 0.7 u JJA i SON sezoni.

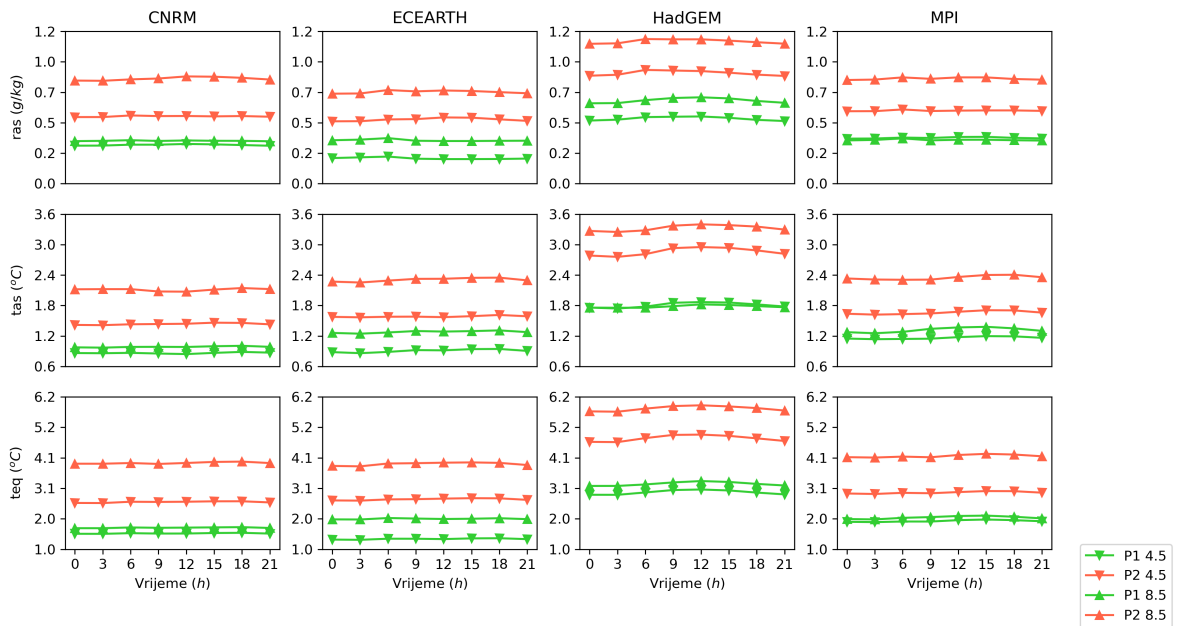
Simulacija RegCM4 + MPI u P1 razdoblju za T (zeleno) mijenja od 0.8 do 1.3 °C u svim satima u DJF, MAM i SON sezonama. Većinom se radi o većoj promjeni u popodnevnim satima, ali razlike nisu velike. Najveće odstupanje između modela za te



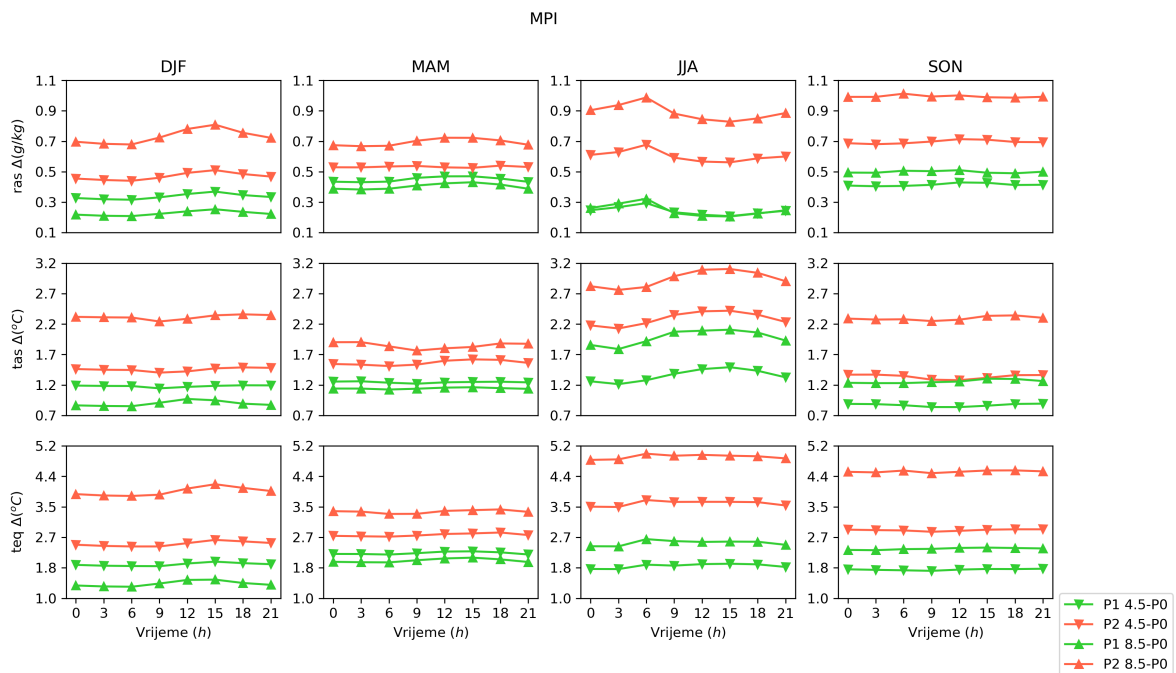
Slika 3.4.1: Dnevni hod godišnjih satnih srednjaka r , T i T_e , razvrstan po globalnim modelima. Svaka krivulja odgovara jednoj kombinaciji razdoblja i scenarija.

sezona je u P2 razdoblju za RCP 8.5 scenarij. RCP 8.5 je ekstremni scenarij koji često predstavlja gornju granicu i nije realna procjena, no može dočarati kolike mogu biti promjene u T u kasnijim razdobljima ako se tendencija porasta koncentracija stakleničkih plinova nastavi povećavati. Između P1 i P2 razdoblja u RCP 8.5 scenariju je veliki jaz, pogotovo u DJF i MAM sezoni gdje se vidi da u P1 razdoblju RCP 8.5 predviđa najmanje promjene, a u P2 najveće. To upućuje da povećani rast trenda koncentracija stakleničkih plinova ima najjači efekt na povećanje T . Promjena T prema MPI modelu se u JJA sezoni procjenjuje između 1.2 i 1.7 °C u P1 razdoblju, te između 2.2 i 3.2 °C u P2 razdoblju. Ovdje je razlika između prijepodnevnih i popodnevnih sati primjetna, odnosno model procjenjuje rast maksimalne dnevne temperature u Hrvatskoj većim nego rast jutarnje (minimalne) temperature.

Za dnevni hod T_e , RegCM4 + MPI simulacija (Slika 3.13.) procjenjuje rast u P1 razdoblju između 1.2 i 2.7 °C, i 2.5 i 5 °C u P2 razdoblju. RegCM4 + MPI, kao i za r i T , procjenjuje veće vrijednosti T_e u popodnevnim satima u DJF i MAM sezoni. Kako je T_e kombinacija T i r , to je u ovom slučaju razumno. Također je velika razlika između P1 i P2 razdoblja za scenarij RCP 8.5, što je isto očekivano ako gledamo promjene T i r . Najveća razlika je možda u DJF i SON sezoni, gdje RCP 8.5 za P2 razdoblje procjenjuje značajno veću T_e s obzirom na srednje temperature u tim sezonama. To znači da će



Slika 3.4.2: Dnevni hod godišnjih satnih srednjaka r , T i T_e , razvrstan po globalnim modelima. Svaka krivulja odgovara jednoj kombinaciji razdoblja i scenarija.



Slika 3.4.3: Dnevni hod godišnjih satnih srednjaka r , T i T_e , za kombinaciju (MPI-ESM-MR)+RegCM4. Svaka krivulja odgovara jednom paru razdoblja i scenarija.

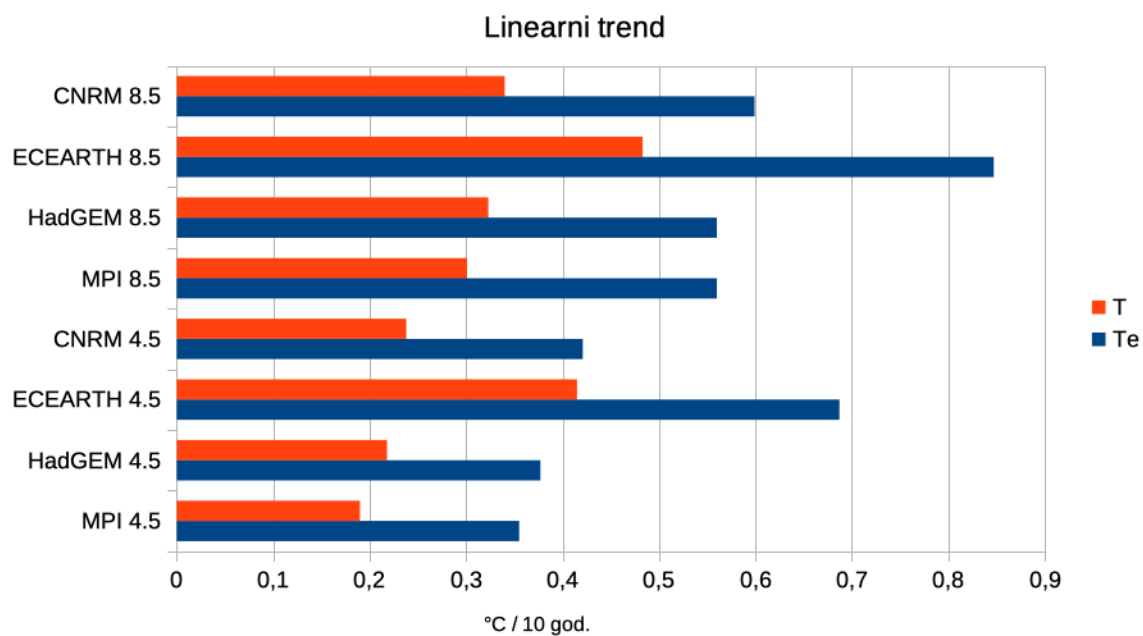
najniže godišnje temperature, po procjeni MPI modela, biti do oko 2 °C veće u P1 razdoblju i oko 3 °C u P2 razdoblju. Ljeti, povećane jutarnje vrijednosti r i povećane popodnevne vrijednosti T rezultiraju u približno jednolikom povećanju T_e u svim satima u danu.

3.5 Linearni trend

Slika 3.5.1 pokazuje linearni trend temperature i ekvivalentne temperature za svaku kombinaciju globalnog modela i RegCM4 i pripadnog scenarija. Možemo uočiti da je linearni trend T_e veći od linearnog trenda T . To je direktna posljedica pozitivnog linearnog trenda r (Slika 3.1.1 i Slike 3.2.) koji time povećava i trend T_e . Udio vlage u linearnom trendu T_e kreće se od 25% do gotovo 100%, ali se okvirno može reći da oko 40% linearnog trenda T_e čini doprinos vlage u zraku, odnosno 2. član u jednadžbi (2.3). Ako uzmemo u obzir primjerice simulaciju RegCM4 + MPI, u RCP 4.5 scenariju vidimo da je linearni trend T blizu $0.2\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ god}$, a trend T_e oko $3.5\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ god}$. U scenariju RCP 8.5, linearni trend T je nešto veći i iznosi $0.3\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ god}$, što znači razliku od $0.1\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ god}$. S druge strane, linearni trend T_e u RCP 8.5 iznosi preko $0.5\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ god}$, što je razlika od $0.2\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ god}$. To za klimu na pojedinom području znači da količina energije i topline gotovo jednako ovisi o promjeni senzibilne temperature zraka i o promjeni r . Doduše, općeniti trend rasta temperature za sva područja ne znači isto povećanje energijskog budžeta nad tim područjem. Povećanje energije ovisi i o trendu r . Iz toga se može zaključiti da r igra značajnu ulogu u procjenama linearnog trenda T_e za neko područje, jer toplinsko opterećenje ovisi i o dostupnosti vlage u atmosferi i tlu.

Na Slici 3.5.1 se među ostalom mogu vidjeti i razlike između pojedinih kombinacija GCM-ova i RegCM4. U potpoglavlju 3.1 na Slikama 3.1.2 i 3.1.3, vide se vremenski nizovi T i T_e za GCM+RegCM4 te je pozitivni trend očigledan, ali se razlike u iznosu trendova ne mogu sasvim razaznati. Slike nam pokazuje da su GCM-ovi CNRM-CM5 i EC-EARTH "najblaži" modeli, odnosno da imaju najmanju osjetljivost na koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi. Njihove su vrijednosti za T i T_e stoga najmanje. S druge strane, HadGEM2-ES+RegCM4 se pokazao kao daleko najosjetljivija kombinacija modela što se tiče koncentracija stakleničkih plinova te su njegove vrijednosti za T i T_e zauzvrat najveće. Slika 3.5.1 pokazuje pomalo obrnuto stanje od slika iz potpoglavlja 3.1 u smislu trenda T_e . Najblaži modeli EC-EARTH i CNRM-CM5 ovdje pokazuju najveće trendove u oba RCP scenarija. To implicira da je model CNRM-CM5, a poglavito EC-EARTH, više osjetljiv na povećane emisije stakleničkih plinova

nego na njihove koncentracije. Pokazuje da može doći do znatnog pozitivnog trenda T i T_e ako se emisije ne počnu smanjivati.

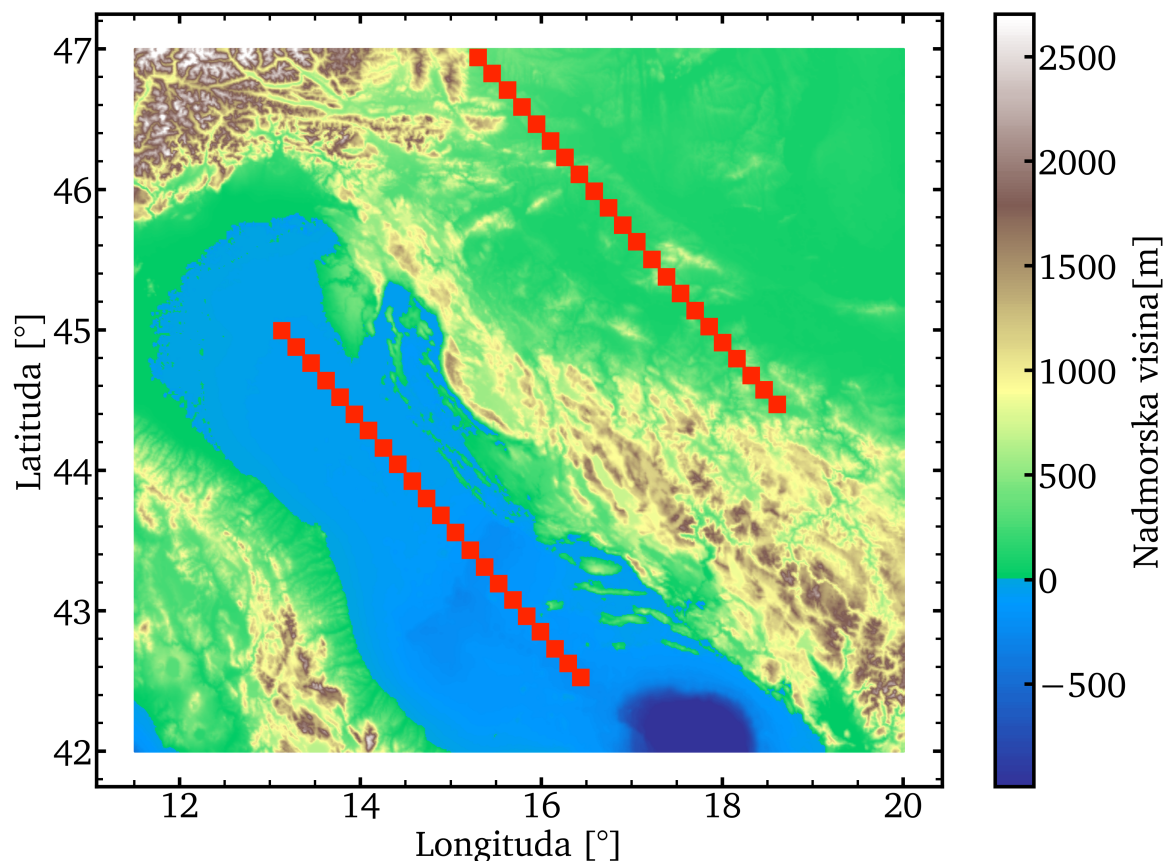


Slika 3.5.1: Linearni trend T (crveno) i T_e (plavo) za kombinacije globalnog modela i RegCM4 i pripadnog scenarija za cijelo razdoblje 1971.-2070. god., izražen u stupnjevima celzijusa po 10 godina.

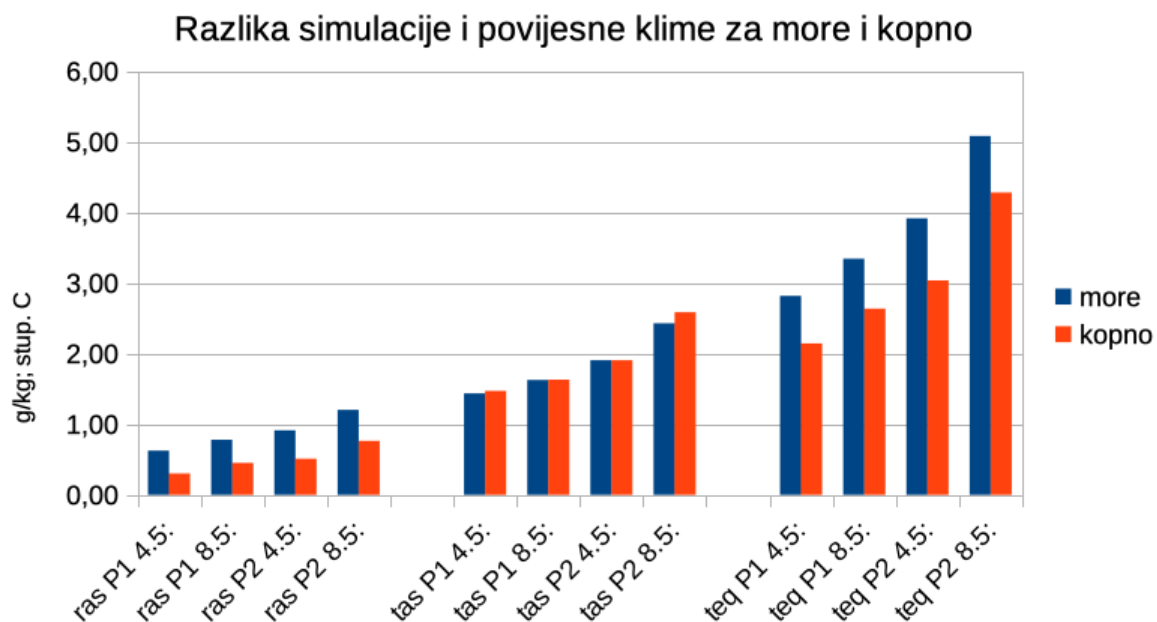
3.6 Razlika kopna i mora

Još jedna analiza koja bi za područje Hrvatske i Jadrana bila bitna je prostorna razlika srednjaka klimatskih scenarija i povijesne klime za more i kopno. Maritimno i kontinentalno područje imaju različiti odziv na klimatske scenarije, kao što se moglo vidjeti u poglavlju 3.2. Stoga, uzet je prostorni srednjak 22 ćelije svih modela iznad mora i iznad kopna. Pozicija ćelija nad morem i kopnom prikazana je na Slici 3.6.1. Ćelije imaju isti oblik, ali su ćelije nad kopnom translaticirane $\sim 45^\circ$ u odnosu na ćelije nad morem. Ovaj položaj ćelija uzet je jer se time želi pokazati što vjerodostojnija razlika između kopna i mora.

Računanjem srednjaka ćelija u ovakvoj poziciji možemo vidjeti razliku u rezultatima za morske i kopnene ćelije. Srednjak ćelija iznad mora nam daju dojam analiziranih veličina (Slika 3.6.2) nad Jadranskim morem za različite kombinacije scenarija i razdoblja. Može se vidjeti kako je odziv na klimatske scenarije preko 50% veći u svojoj vrijednosti iznad mora nego iznad kopna za r . Ova razlika se odnosi isključivo u odnosu na P0 razdoblje, a ne na ukupnu vrijednost. Odziv u T nešto je veći nad kopnom u odnosu na more. To se objašnjava većom količinom dostupne vlage za isparavanje iznad mora nego iznad kopna. Tlo se Sunčevim zračenjem brže zagrije nego more jer sadrži manje vlage. Nad morem se energija troši na latentnu temperaturu isparavanja vode više nego na kopnu, što dovodi do manjeg zagrijavanja vode. Doduše, i dalje je odziv nad morem velik skoro kao i nad kopnom, što znači da ipak latentna toplina ne igra jako važnu ulogu u projekcijama T . Odziv T_e je konstantno veći za more, što je i očekivano jer je r veći iznad mora. Ovakav odziv u T_e je razumljiv jer je povećanje u T jednako nad kopnom kao i nad morem. Zagrijavanje nad morem dovodi do većeg isparavanja, što zauzvrat povećava r . Povećani r dovodi do veće T_e , a najveće iznad mora. I dalje je većina vrijednosti T_e sadržana u T , no razlika u podlozi, i time dostupnoj vlazi, igra bitnu ulogu u odzivu RegCM4 na promjene u T_e .



Slika 3.6.1: Orografija jadranskog područja sa ucrtanim usrednjenim ćelijama koje su uspoređiane (crvene kockice)



Slika 3.6.2: Razlika prostornih srednjaka kompozita globalnih modela za more (plavo) i kopno (crveno), u odnosu na P0 razdoblje. *ras* je oznaka za prizemni omjer miješanja, *tas* za prizemnu temperaturu zraka te *teq* za prizemnu ekvivalentnu temperaturu zraka.

4. Zaključak

U ovom radu istražena je prizemna ekvivalentna temperatura (T_e) u klimatskim projekcijama regionalnog klimatskog modela RegCM4 nad jadranskim područjem za razdoblja 2021. - 2050. god. (P1) i 2041. - 2070. god. (P2) u odnosu na vrijednosti iz povijesnog razdoblja 1971.-2000. god. (P0). RegCM4 je za rubne uvjete imao modele: EC-EARTH, CNRM-CM5, MPI-ESM-MR i HadGEM2-ES. Uz T_e , istražena je prizemna temperatura zraka (T) i prizemni omjer miješanja (r). U analizi ovih veličina, u obzir su uzete simulacije za dva IPCC-jeva scenarija: RCP 4.5 i RCP 8.5. Linearni trend i vrijednosti T u simulacijama su bile očekivano pozitivne i statistički značajne. Vrijednosti T su bile veće u RCP 8.5 nego u RCP 4.5 scenariju za sva područja i sezone, a naročito za ljetnu sezonu.

Pozitivan linearni trend u projekcijama nad jadranskim područjem pokazao je i r , pogotovo iznad mora. Testovi statističke značajnosti za P1 i P2 razdoblje i RCP4.5 i RCP8.5 scenarije, pokazuju da je promjena u r nad kopnom u ljetnoj sezoni (JJA), i manjim dijelom u jesenskoj sezoni (SON), u većini modela statistički neznačajna. S druge strane, zimska i proljetna sezona (DJF i MAM), pokazuju velikom većinom statističku značajnost u r nad cijelim promatranim područjem i u svim projekcijama. Zajedničko svim kombinacijama modela, razdoblja i scenarija je da su promjene r iznad mora uvijek statistički značajne. Uz to, varijacije u dnevnom hodu r za projekcije u odnosu na povijesne vrijednosti su minimalne, što znači da za svako doba u danu modeli predviđaju podjednaku promjenu u iznosu.

U projekcijama T_e očekivao se linearni trend, jer i sama T pokazuje pozitivan linearni trend. Magnituda trenda, doduše, ovisila je i o linearnom trendu r , koji se također pokazao pozitivnim. Testovi statističke značajnosti za oba razdoblja i scenarija su pokazali statističku značajnost u gotovo svim točkama prostorne mreže. Dnevni hod T_e također ima samo pozitivan posmak, bez razlike u povećanju za različite dijelove dana.

Opaženo je da je globalni model HadGEM2-ES izrazito osjetljiv na koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi jer daje vidljivo veće vrijednosti za sve

tri analizirane veličine. S druge strane, modeli najmanje osjetljivi na koncentracije stakleničkih plinova ,EC-EARTH i CNRM-CM5, pokazali su veću osjetljivost na povećanje emisija stakleničkih plinova rezultirajući najvećim linearnim trendom T i T_e za oba RCP 4.5 i RCP 8.5 scenarija i razdoblja P1 i P2.

Trend porasta r nam govori da će s povećanjem T doći i do povećanog isparavanja koje će biti dovoljno veliko da i porast T_e bude značajan. U ljetnoj sezoni, kada promjene u r nisu značajne kao u ostalim sezonama, glavni dio T_e čini T , koja tada dostiže svoju najveću magnitudu porasta, te čini T_e i dalje statistički značajnom veličinom. MAM sezona daje najmanju razliku u promjeni T_e iznad kopna i mora, dok JJA i SON daju najveću. Ako bi se radile procjene T_e prema srednjim vrijednostima projekcija svih modela za razdoblja P1 i P2 i scenarije RCP 4.5 i RCP 8.5, glasile bi:

- P1 razdoblje: prosječno povećanje T_e za oko 2.3 °C. nad kopnom te za 3.1 °C nad morem.
- P2 razdoblje: prosječno povećanje T_e za oko 3.6 °C. nad kopnom te za 4.5 °C nad morem.
- Linearni trend ekvivalentne temperature od 0.5 °C/10 god.
- Dnevni hod ostaje nepromijenjen u smislu razlika među satima, ali s pozitivnim posmakom.

Ako su nas dosadašnja istraživanja, bazirana na analizi projekcija T , upućivala na to da će se srednje, minimalne i(li) maksimalne prizemne temperature zraka na nekom području povećavati, onda bi ovaj uvid u projekciju T_e nad Jadranskim područjem značio da je projekcija T "ublažena" za isparavanje koje se događa nad površinom. Ovi rezultati opisuju ukupnu promjenu u prizemnom energijskom budžetu atmosfere u obliku T_e , i time dodatno upućuju na promjenu klime u ovim područjima u godinama što dolaze.

Dodatne nesigurnosti u vezi klimatskih projekcija su te da ne znamo koji ćemo imati scenarij i kakva će biti reakcija prirode, no ono što imamo su predodžbe o okvirnom rasponu porasta temperature i omjera miješanja za različite scenarije. Dodatna istraživanja mogu se usmjeriti na pitanje kako se periodi ekstremne oborine (i

ekstremne suše) odražavaju na raspodjelu T_e i kako sinoptički obrasci utječu na dnevne fluktuacije u količini topline. Rezultati ovoga rada za P1 (2021.-2050.) razdoblje su pouzdaniji rezultati, nego oni za P2 (2041.-2070.) razdoblje. Razlog tomu je što je P1 razdoblje manje varijabilno u odnosu na scenarije nego P2 razdoblje, jer oba scenarija predviđaju rast emisija stakleničkih plinova do otprilike polovice 21. stoljeća. Magnituda porasta r , T i T_e u P2 razdoblju još uvijek u većoj mjeri ovisi o scenariju kojim se čovječanstvo, odnosno Zemlja, bude nalazilo u godinama što dolaze.

Priznanja i zahvale

U izradi ovog diplomskog rada korišten je dio rezultata regionalnog klimatskog modela RegCM4 dobivenih u sklopu projekta „Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama (Broj ugovora: TF/HR/P3-M1-01-010)” koji se financira sredstvima iz Prijelaznog instrumenta tehničke pomoći EU. Pristup tim rezultatima omogućio je DHMZ, kojemu se ovim putem zahvaljujem. Pohvalio bih radnu skupinu za združeno modeliranje (engl. Coupled Modelling), bivše koordinacijsko tijelo CORDEX-a (engl. Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) i odgovorno povjerenstvo za CMIP5 (engl. Coupled Model Intercomparison Project). Zahvaljujem se skupinama za modeliranje klime koje su proizvele i učinile dostupnim svoj model čije rezultate koristim u ovom radu.

Literatura

- Branković, Č., Güttler, I., Gajić-Čapka, M., 2013. *Evaluating climate change at the Croatian Adriatic from observations and regional climate models' simulations*. *Clim Dyn* 41, 2353–2373. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1646-z>
- Davey, C., Pielkes, R., Gallo, K., 2006. *Differences between near-surface equivalent temperature and temperature trends for the Eastern United States Equivalent temperature as an alternative measure of heat content*. *Global and Planetary Change* 54, 19–32. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2005.11.002>
- Fall, S., Diffenbaugh, N.S., Niyogi, D., Pielke, R.A., Rochon, G., 2010. *Temperature and equivalent temperature over the United States (1979-2005): TEMPERATURE AND EQUIVALENT TEMPERATURE*. *Int. J. Climatol.* 30, 2045–2054. <https://doi.org/10.1002/joc.2094>
- Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M.B., Bi, X., Elguindi, N., Diro, G.T., Nair, V., Giuliani, G., Turuncoglu, U.U., Cozzini, S., Güttler, I., O'Brien, T.A., Tawfik, A.B., Shalaby, A., Zakey, A.S., Steiner, A.L., Stordal, F., Sloan, L.C., Branković, Č., 2012. *RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains*. *Clim Res* 52, 7-29. <https://doi.org/10.3354/cr01018>
- Güttler, I., Č. Branković, T. A. O'Brien, E. Coppola, B. Grisogono, F. Giorgi, 2014. *Sensitivity of the regional climate model RegCM4.2 to planetary boundary layer parameterization*. *Clim. Dyn.* 43, 1753-1772. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-2003-6>.
- Güttler, I., Stilinović, T., Srnc, L., Branković, Č., Coppola, E., Giorgi, F., 2020. *Performance of RegCM4 simulations over Croatia and adjacent climate regions*. *Int J Climatol* 40, 5843–5862. <https://doi.org/10.1002/joc.6552>
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jacob, D., Teichmann, C., Sobolowski, S., Katragkou, E., Anders, I., Belda, M., Benestad, R., Boberg, F., Buonomo, E., Cardoso, R.M., Casanueva, A., Christensen, O.B., Christensen, J.H., Coppola, E., De Cruz, L., Davin, E.L., Dobler, A., Domínguez, M., Fealy, R., Fernandez, J., Gaertner, M.A., García-Díez, M., Giorgi, F., Gobiet, A., Goergen, K., Gómez-Navarro, J.J., Alemán, J.J.G., Gutiérrez, C., Gutiérrez, J.M., Güttler, I., Haensler, A., Halenka, T., Jerez, S., Jiménez-Guerrero, P., Jones, R.G., Keuler, K., Kjellström, E., Knist, S., Kotlarski, S., Maraun, D., van Meijgaard, E., Mercogliano, P., Montávez, J.P., Navarra, A., Nikulin, G., de Noblet-Ducoudré, N., Panitz, H.-J., Pfeifer, S., Piazza, M., Pichelli, E., Pietikäinen, J.-P., Prein, A.F., Preuschmann, S., Rechid, D., Rockel, B., Romera, R., Sánchez, E., Sieck, K., Soares, P.M.M., Somot, S., Srnec, L., Sørland, S.L., Termonia, P., Truhetz, H., Vautard, R., Warrach-Sagi, K., Wulfmeyer, V., 2020. *Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community*. Regional Environmental Change 20, 51. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01606-9>

MZOE, 2017. *RegCM4, Projekt programa Prijelazni instrument tehničke pomoći EU: Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama*. (Broj ugovora: TF/HR/P3-M1-O1- 010), Ministarstvo zaštite okoliša i energetike (MZOE), Zagreb.

Pryor, S.C., Schoof, J.T., 2016. *Evaluation of near-surface temperature, humidity, and equivalent temperature from regional climate models applied in type II downscaling*. J. Geophys. Res. Atmos. 121, 3326–3338. <https://doi.org/10.1002/2015JD024539>

Rogers, J.C., Wang, S.-H., Coleman, J.S.M., 2007. *Evaluation of a Long-Term (1882–2005) Equivalent Temperature Time Series*. Journal of Climate 20, 4476–4485. <https://doi.org/10.1175/JCLI4265.1>

- Rummukainen, M., 2016. *Added value in regional climate modeling*. WIREs Clim Change 7, 145–159. <https://doi.org/10.1002/wcc.378>
- Rummukainen, M., 2010. *State-of-the-art with regional climate models*. WIREs Clim Change 1, 82–96. <https://doi.org/10.1002/wcc.8>
- Schoof, J.T., Heern, Z.A., Therrell, M.D., Remo, J.W.F., 2015. *Assessing trends in lower tropospheric heat content in the central United States using equivalent temperature: EQUIVALENT TEMPERATURE TRENDS IN THE CENTRAL USA*. Int. J. Climatol. 35, 2828–2836. <https://doi.org/10.1002/joc.4175>
- Srncec, L., Güttler, I., 2019. *Interpretacija analize klimatskih promjena za planske potrebe upravljanja vodama*. Zagreb: Državni hidrometeorološki zavod, Sektor za meteorološka istraživanja i razvoj, Služba za klimatologiju. https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/interpretacija_analize_klimatskih_promjena_za_planske_potrebe_upravljanja_vodama.pdf
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K., 2011. *The representative concentration pathways: an overview*. Climatic Change 109, 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Younger, K., Mahmood, R., Goodrich, G., Pielke, R.A., Durkee, J., 2019. *Mesoscale surface equivalent temperature (TE) for East Central USA*. Theor Appl Climatol 136, 65–75. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2468-7>

Popis kratica

T	Prizemna (senzibilna) temperatura zraka
T_e	Prizemna ekvivalentna temperatura zraka
r	Prizemni omjer miješanja
CMIP5	engl. <i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 5</i>
CNRM-CM5	Globalni klimatski model francuske meteorološke službe Météo-France (franc. <i>Centre National de Recherches Météorologiques</i>)
CORDEX	Koordinirani eksperiment regionalne klime dinamičkom prilagodbom(engl. <i>Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment</i>)
DJF	klimatološka sezona prosinac-siječanj-veljača (engl. <i>December-January-February</i>)
EC-EARTH	Globalni klimatski model europskog (nizozemskog) konzorcija
GCM	Globalni klimatski model (engl. <i>Global Climate Model</i>)
RCM	Regionalni klimatski model (engl. <i>Regional Climate Model</i>)

HadGEM2-ES	Globalni klimatski model engleske meteorološke službe Met-Office (engl. <i>Hadley Centre Global Environment Model version 2</i>)
ICTP	Međunarodni centar za teorijsku fiziku, Trst, Italija (engl. <i>International Centre for Theoretical Physics</i>)
IPCC	Međuvladino tijelo za klimatske promjene (engl. <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
JJA	Klimatološka sezona lipanj-srpanj-kolovoz (engl. <i>June - July - August</i>)
MAM	ožujak-travanj-svibanj (engl. <i>March - April - May</i>)
MPI-ESM-MR	Globalni klimatski model njemačkog instituta za meteorologiju Max-Planck (njem. <i>Max-Planck Institut für Meteorologie, MPI, Hamburg, Njemačka</i>)
P0	Povijesno klimatsko razdoblje 1971.-2000. god.. P1 buduće klimatsko razdoblje 2021.-2050. god.. P2 buduće klimatsko razdoblje 2041.-2070. god.
RCP	Reprezentativne trajektorije koncentracije stakleničkih plinova (engl. <i>Representative concentration pathways</i>)
RegCM4	Naziv regionalnog klimatskog modela ICTP-ja
SON	Klimatološka sezona rujan-listopad-studeni (engl. <i>September - October - November</i>)