



Univerzitet u Novom Sadu,
Prirodno-Matematički Fakultet,
Departman za Fiziku

Analiza značaja i intenziteta modelovanih klimatskih promena temperature i količine padavina tokom 21. veka

Diplomski rad

Autor:

Velibor Želi

Mentor:

prof. dr Milica Pavkov-Hrvojević

Novi Sad, 26. septembar 2014

Sadržaj

1	Uvod	3
1.1	Bilans zračenja	3
1.2	Rad IPCC	5
1.3	RCP	6
2	Podaci i njihova obrada	9
2.1	Prikupljanje podataka	9
2.2	Obrada podataka	12
2.2.1	Grupisanje podataka	12
2.2.2	Studentov t-test	13
3	Analiza rezultata	16
3.1	Srednje mesečne temperature vazduha	16
3.2	Minimalne i maksimalne temperature vazduha	19
3.3	Količine padavina	19
4	Zaključak	27
	Literatura	28

Slike

2	Razlika vrednosti trenutnog bilansa zračenja i vrednosti bilansa zračenja na početku industrijske revolucije (1750. godina), plavom bojom su obeležene negativne vrednosti forsiранja, crvenom pozitivne, a crne linije predstavljaju nesigurnosti, preuzeto iz [4]	5
3	Promena vrednosti bilansa zračenja za različite scenarije, preuzeto iz [3]	7
4	Grafički prikaz procesa obrade podataka, konačan rezultat za svaku sezonu je jedna vrednost koja reprezentuje klimu za navedene periode.	12
5	Promena srednje mesčne vrednosti temperature vazduha u zimskoj sezoni (gornja tri panela) i u prolećnoj sezoni (donja tri panela).	17
6	Promena srednje mesčne vrednosti temperature vazduha u letnjoj sezoni (gornja tri panela) i u jesenjoj sezoni (donja tri panela).	18
7	Promena maksimalne mesčne vrednosti temperature vazduha u zimskoj sezoni (gornja tri panela) i u prolećnoj sezoni (donja tri panela).	20
8	Promena maksimalne mesčne vrednosti temperature vazduha u letnjoj sezoni (gornja tri panela) i u jesenjoj sezoni (donja tri panela).	21
9	Promena minimalne mesčne vrednosti temperature vazduha u zimskoj sezoni (gornja tri panela) i u prolećnoj sezoni (donja tri panela).	22
10	Promena minimalne mesčne vrednosti temperature vazduha u letnjoj sezoni (gornja tri panela) i u jesenjoj sezoni (donja tri panela).	23
11	Promena srednje količine padavina u zimskoj sezoni (gornja tri panela) i u prolećnoj sezoni (donja tri panela).	25
12	Promena srednje količine padavina u letnjoj sezoni (gornja tri panela) i u jesenjoj sezoni (donja tri panela).	26

Sažetak

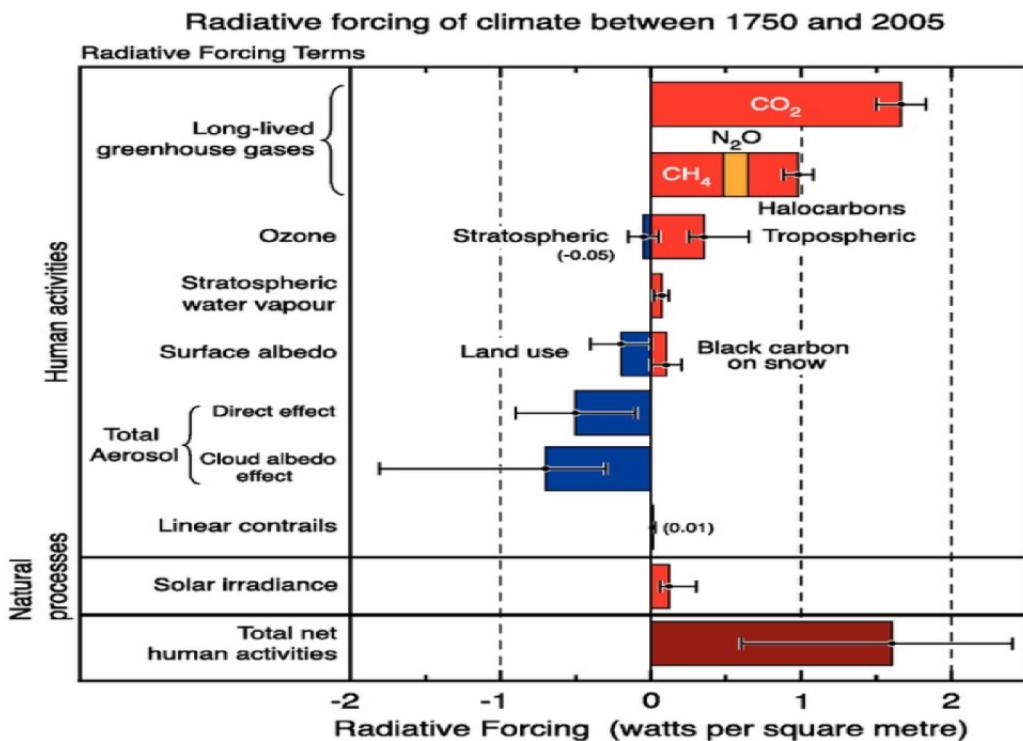
Cilj rada se sastoji u prikupljanju i obradi mesečnih količina pada-vina, maksimalne, minimalne i srednje temperature vazduha modelovanih klimatskim modelima i to za istorijski period (1986 – 2005) kao i za tri perioda u budućnosti koji su dobijeni primenom klimatskog scenaria RCP8.5. Pomenuti periodi, koji opisuju buduće stanje klime, su podeljeni na sledeći način: a) period bliže budućnosti 2016 – 2035, b) period dalje budućnosti 2046 – 2065 i c) period daleke budućnosti 2081 – 2100. Treba napomenuti da su oba klimatska izlaza (istorijski i za budući period) rezultat korišćenja istog globalnog klimatskog modela GCM Canadian Earth System Model 2 (CanESM2). Obrada podataka podrazumeva utvrđivanje statističkog značaja i intenziteta promena, a analiza se vrši za oblast Evrope. Vrednosti meteoroloških elemenata za budućnost su obrađivani na isti način kao i oni koji se odnose na prošlost kako bi mogle da se utvrde eventualne promene u klimi koje nas očekuju u budućnosti. Nakon toga što je utvrđeno da li postoje promene u klimatskim vrednostima između istorijskog perioda i budućeg perioda, pomoću student t-testa je testirano da li su te razlike klimatskih vrednosti statistički značajne ili nisu značajne.

1 Uvod

1.1 Bilans zračenja

U svakodnevnim aktivnostima ljudi obavljaju mnoge aktivnosti koje utiču na sastav Zemljine atmosfere. Nepravilno rukovođenje otpadom koji čovek proizvodi menja se ono što smatramo normalnim sastavom i strukturom atmosfere. Ovo odstupanje od normalnog stajstava atmosfere uzrokuje debalans između koncentracija atmosferskih komponenti. Kao predstavnike ovih komponenti, čije se koncentracije značajno menjaju čovekovom aktivnošću, navećemo gasove staklene bašte poput ugljen-dioksida, metana, vodene pare i troposferskog ozona. Pored gasova staklene bašte tu spadaju i druge komponente kao što su različite vrste aerosola poput: a) sulfatnih aerosola koji

su proizvod sagovrevanja uglja; b) aerosola u obliku dima nastalih prilikom paljenja tropskih šuma i drugih. Sagorevanje fosilnih goriva doprinosi povećanju koncentracije navedenih gasova staklene bašte i aerosola. Shodno tome možemo zaključiti da se od početka industrijske revolucije koncentracija ovih komponenti u atmosferi povećavala jer je tada počelo intenzivno sagorevanje fosilnih goriva. Trenutna klimatološka situacija na Zemlji u velikoj meri zavisi od odnosa koncentracija atmosferskih komponenti. U svetu toga, ako se u dužem vremenskom periodu menja odnos između koncentracija atmosferskih komponenti doći će do promene klime. Promene odnosa koncentracija komponenti atmosfere utiču na promenu klimatološke situacije na taj način što menjaju odnos upadnog Sunčevog zračenja i izlaznog infracrvenog zračenja koji zajedno čine ideo u Zemljinom energetskom bilansu. Prilikom promena energetskog bilansa direktno se menja temperatura Zemljine atmosfere, a promenom temperature menja se i celokupna meteorološka situacija u atmosferi. Pored toga, Zemlja se susreće sa još jednim problemom a to je povećanje broja ljudi na planeti. Ovaj problem se javlja pri menjanju svrhe u koju se koristi zemljište menja se svojstvo zemljišta kao što je albedo a albedo je jedan od članova koji utiče na energetski bilans Zemlje. Do sada, svi ovi problemi vezani za menjanje energetskog bilansa Zemlje su nastali kao rezultat ljudskih aktivnosti. U pokušaju da se izračuna ukupna promena energetskog bilansa Zemlje koristi se bilans zračenja (eng. radiative forcing). Bilans zračenja predstavlja razliku između toga koliko energije Zemlja primi i koliko energije ona vrati nazad u vasionu. Obračunava se na visini tropopauze u jedinicama W/m^2 . Pozitivan bilans zračenja znači da se Zemlja zagreva, a negativan da se hlađi. Na Slici 2. se može videti vrednost razlike trenutnog bilansa zračenja i bilansa zračenja koji se odnosi na početak industrijske revolucije. Takođe se vidi da svi gasovi staklene bašte produkovani čovekovim aktivnostima, osim stratosferskog ozona, utiču na porast bilansa zračenja. Aerosoli u atmosferi menjaju energetski bilans time što neki od njih absorbuju dok druge reflektuju Sunčeve zračenje, ali ukoliko se sumira njihovo dejstvo oni zajedno imaju za rezultat smanjenja bilansa zračenja jer učestvuju u mehanizmu stvaranja oblaka.



Slika 2: Razlika vrednosti trenutnog bilansa zračenja i vrednosti bilansa zračenja na početku industrijske revolucije (1750. godina), plavom bojom su obeležene negativne vrednosti forsiranja, crvenom pozitivne, a crne linije predstavljaju nesigurnosti, preuzeto iz [4]

1.2 Rad IPCC

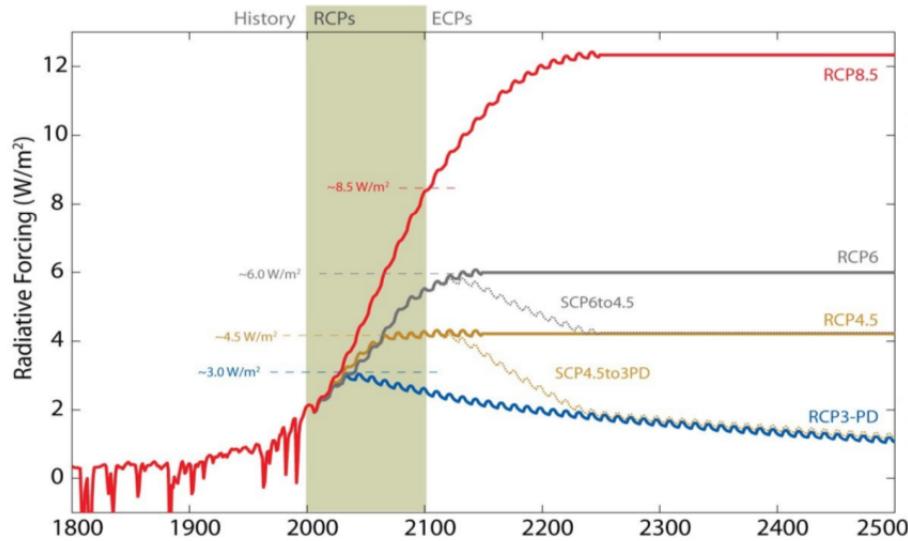
Međuvladin panel o klimatskim promenama (*eng* The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) je ogrank formiran od strane programa Ujedinjenih nacija za životnu sredinu i Svetske meteorološke organizacije. Ovaj ogrank je nastao iz potreba za naučnim podacima o promeni klime. Glavni cilj IPCC-a je da proverava i objavljuje specijalne izveštaje na temu o štetnom dejstvu klimatskih promena. IPCC kao organizacija nije zadužena za istraživanja niti prikupljanje podatke o klimatskim promenama. Naučnici koji rade na projektima IPCC-a su volonteri, a rade svoj posao kao autori. Organizacija je podeljen u 3 radne grupe: 1. grupa Fizička osnova za nastanak klimatskih promena, 2. grupa Uticaj klimatskih promena, adaptacija

i ranjivost, 3. grupa Migracije klimatskih promena i postoji 4. grupa koja je operativna. Do sada, IPCC je publikovao četiri obimna izveštaja (*.eng assessment report, AR*), koji su vezani za klimatske promene u svetu. Prvi izveštaj o proceni je napisan 1990. godine, drugi izveštaj (SAR) je napisan 1995. godine, treći izveštaj (TAR) je napisan 2001. godine i četvrti izveštaj (AR4) je napisan 2007. godine dok peti izveštaj (AR5) treba da se publikuje u toku 2014. godine. AR5 je poslednji u nizu izveštaja o proceni i u poređenju sa prethodnim trebao bi da ima značajniji akcenat na socijalno-ekonomskom aspektu klimatskih promena, implikacijama u razvoju i upravljanju rizikom, kao i odgovor na klimatske promene putem adaptacije i njihovim ublažavanjem [1].

1.3 RCP

Povećanje koncentracije gasova staklene bašte u atmosferi dovodi do pitanja: kakve su posledice tog povećanja i koje vrednosti meteoroloških veličina možemo da očekujemo u budućnosti? U današnje vreme postoji veliki broj globalnih klimatskih modela koji su zasnovani na fizičkim zakonima a pri tome povezuju okean i atmosferu u jednu celinu. Ovakvi modeli se koriste kako bi se dobila procena stanja klime u budućnosti. Na osnovu toga se može proceniti intenzitet klimatskih promena tako što se prognozirane klimatske vrednosti uporede sa trenutnim klimatskim vrednostima. Bitno je naglasiti da ovaj postupak ne predstavlja prognozu klime u budućnosti, u opšte prihvaćenom smislu reći prognoza, već dobra procena dobijena izlaza globalnog klimatskog modela. Ovakvi klimatski modeli, kao svoje ulaze, zahtevaju čitav niz podataka kao što su promene koncentracije gasova staklene bašte (ove promene su manje-više iste kao i promena u bilansu zračenja jer je poznato da su one povezane), da bi radili i davali rezultate o projektovanim klimatskim vrednostima za temperaturu vazduha, količinu padavina i ostalih meteoroloških veličina u budućnosti. Informacije koje se daju modelima pre njihovog pokretanja vezane za promene koncentracije gasova staklene bašte u atmosferi predstavljaju scenarije o klimatskim promenama. Kako bi se ovo bolje približilo čitaocu napravljeno je poređenje, kako u gradu postoji više različi-

tih načina da se dođe sa jednog mesta na drugo, slično tome u klimatskim promenama postoje različite putanje kojima se mogu kretati antropogeni faktori od sadašnjeg momenta do nekog momenta u budućnosti, a ovi scenariji se nazivaju reprezentativne koncentracijske putanje (.eng Representative concentration pathways, RPCs). Zarad njihovih izveštaja o proceni, IPCC je zainteresovan za pravljenje novih scenarija za potencijalne antropogene klimatske promene u budućnosti (interesuje ih samo onaj deo promena koje su prouzrokovane čovekovim aktivnostima, za razliku od prirodnih promena koje mogu biti uzrokovane erupcijama vulkana ili povećanjem vrednosti solarne konstante). Pošto ova organizacija ne vrši istraživanje, njen posao se svodi da koordiniše i odobrava nove scenarije. RPC-jevi su projektovani tako da uzimaju u obzir i demografske, socijalno-ekonomske i tehnološke promene. Konkretno za AR5 postoje četiri različita scenarija koja se uzimaju u obzir, a to su RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5 i RCP2.6. Svaki od scenarija je dobio ime po promeni bilansa zračenja koju on prepostavlja ($8.5, 6.0, 4.5, 2.6 \text{ W/m}^2$) do kraja 2100. godine.



Slika 3: Promena vrednosti bilansa zračenja za različite scenarije,
preuzeto iz [3]

Na Slici 3. je prikazano kako se RPC-jevi razlikuju jedan od drugog. Na donjoj granici se nalazi RCP2.6 koji je optimističan scenario i predviđa da

će maksimum promene bilansa zračenja oko 3 W/m^2 , a nakon toga će početi da opada. Dok na gornjoj granici se nalazi scenario koji predviđa promenu bilansa zračenja od 8.5 W/m^2 do kraja 2100. godine a potom i dalje ima tendenciju porasta. Srednja dva scenario RPC4.0 i RPC6.5 predstavljaju slučajevе u kojima bilans zračenja raste do u imenu navedenih vrednosti i nakon 2100. godine se stabilizuje. Ideja je da se uzme u obzir paran broj scenarioja kako ne bi moglo da dođe do zabune da je srednji scenario sa najvećom verovatnoćom da se ostvari, a pri tome i da se stavi akcenat na to da cilj AR5 nije da predvidi budućnost, već da se pomoću njega vidi koje su moguće promene u budućnosti (sa svojim neodređenostima) kao i da se vidi kako različite odluke čovekovih aktivnosti prema prirodi mogu da dovedu do različitih promena klimatskih vrednosti meteoroloških veličina.

2 Podaci i njihova obrada

2.1 Prikupljanje podataka

Modelovanje klimatskih promena nije trivijalan posao, postoje mnogi instituti koji imaju svoje modelarske grupe koje se bave ovim zadatkom. Ove modelarske grupe su razvile svoje globalne klimatske modele pomoću kojih dobijaju klimatske vrednosti za buduće periode. Posao ovih modelarskih grupa jeste da pri različitim uslovima i za različite periode pokreću svoj model, prikupljaju što više rezultata i isti taj model poboljšavaju. Većina ovih grupa objavljuju dobijene rezultate i dele ih sa javnošću. Rezultati većeg broja ovih modelarskih grupa se čuvaju na jednom mestu i sa tog mesta su prikupljeni potrebni podaci za ovaj diplomski rad. Internet adresa je <http://pcmdi9.llnl.gov/esgf-web-fe/live>. Mnogi izlazi iz modela koji se nalaze na ovom portalu su nastali kao rezultat nekog projekta na kom radi više modelarskih grupa zajedno, gde svaka modelarska grupa koristi svoj model a na kraju sve rezultate obrađuju i porede. Najznačajniji projekat za ovaj rad je Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)¹, on predstavlja grupu koordinisanih klimatskih modela koji koriste iste ulazne podatke, i na taj način ljudi koji rade na različitim modelima mogu da uvide razlike između modela čak i ako su oni pokrenuti sa istim početnim usovima. Na datoj internet adresi, nakon registracije moguće je izabrati grupu podataka koja se namerava prikupiti sa sajta. Podaci su podeljeni u mnoštvo grupa, kako bi se olakšao odabir. Primera radi, na portalu može da bude izabранo da se odabir podataka vrši: a) prema projektu, b) prema modelu (podaci se dele prema globalnim klimatskim modelima koji ih produkuju), c) prema eksperimentu (podaci se dele prema scenariju kojem pripadaju), d) prema meteorološkim promenljivim, e) prema vremenskoj učestalosti izlaza (tročasovni podaci, šestočasovni podaci, dnevni podaci, mesečni podaci) kao i raznim drugim filterima. Ovakvim podelama, što više informacija pružimo o traženim podacima odabir će biti temeljnije i lakše ćemo naći tražene klimatske izlaze. Ako se unese dovoljno informacije u filter na kraju se dobije

¹Na internet adresi <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/index.html?submenuheader=0> se može naći više podataka o CMIP5 projektu.

samo jedan rezultat koji je prvo bitno i bio tražen. Podatke je moguće tražiti i pomoću pretraživača koji traži podatke po imenu. U slučaju da se podaci traže po imenu, treba biti obazriv jer klimatski izlazi imaju svoje skraćenice. Prenos podataka je moguće obaviti na dva načina. Prvi način je direktni prenos, pritiskom na link internet pretraživač će krenuti da prenosi podatke sa portala, ali podatke je moguće (poželjno, pogotovo u slučaju veće količine podataka) skidati na drugi način, preko wget programa i wget skripti. Na taj način wget program je zadužen za skidanje informacije sa portala. Ovde je objašnjena procedura kako se skidaju podaci pomoću wget skripti i wget programa pod operativnim sistemom GNU/Linux. Nakon odabira podataka, na sajtu postoji opcija WGET ili WGET all selected², na taj način portal spravlja wget skripte koje u sebi sadrže sve potrebne putanje za klimatske izlaze koji su prethodno odabrani. Potom će wget program koristiti ove skripte da bi prikupio sve rezultate klimatskih izlaza koji se nalaze u skriptama. Takođe je preporučljivo, da se prave posebno wget skripte za svaki rezultat pretrage, jer jedna skripta ne može da skine više od 1000 različitih datoteka čak i ako se naprave sa više od 1000 putanja za podatke (ograničene su iz tog razloga što administratori portala ne žele da preopterete server). Kada portal kreira skripte, one se ne mogu pokrenuti sve dok se ne promeni njihov status u operativnom sistemu, ovo se radi u terminalu pomoću komande `chmod u+x ime_wget_skripte`. Potom se iskoristi komanda `./ime_wget_podatka` koja će pokrenuti prenos traženih podataka sa servera. Ovaj program prenosi podatke na lokalni disk u folder gde se nalazi skripta, pa je korisno pre prenosa podataka proveriti da li na lokalnom disku ima dovoljno slobodnog memorijskog prostora i da su wget skripte postavljene u odgovarajuće lokacije na lokalnom disku. Svi podaci koji se prenesu sa sajta biće u netCDF formatu (.eng network common data form).

U ovom radu, izabrano je da se radi sa mesečnim podacima GCM Canadian Earth System Model 2 (CanESM2) za dva scenarija: istorijski i RCP8.5. Odabrane promenljive se nalaze u Tabeli 1.

²Savet: dok ste na stranici sa pretraživačem i odabranim podacima, bitno je izabrati opciju “show all”, a ne opciju “filter over the text” jer u tom slučaju WGET skripte neće biti napravljene i prikazaće se greška.

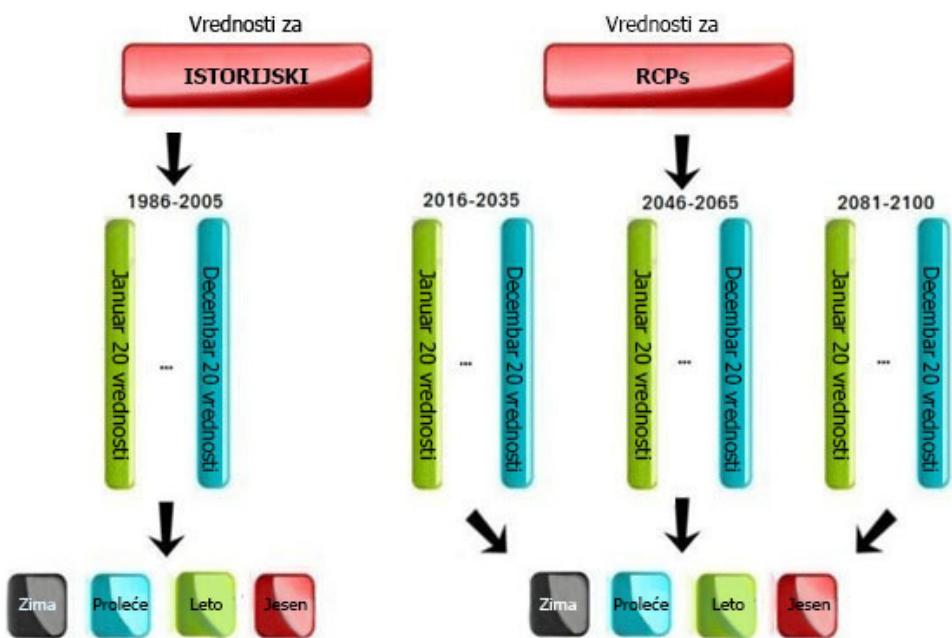
model \ scenario	historical	RCP8.5
CanESM2	Maksimalna temperatura vazduha (tasmax) Minimalna temperatura vazduha (tasmin) Temperatura vazduha (tas) Količine padavina (pr)	Maksimalna temperatura vazduha (tasmax) Minimalna temperatura vazduha (tasmin) Temperatura vazduha (tas) Količine padavina (pr)

Tabela 1: Promenljive koje su korišćene u radu, u zagradi su njihove skraćenice.

2.2 Obrada podataka

2.2.1 Grupisanje podataka

Prikupljeni podaci, koji su korišteni u ovom radu, su u obliku srednjih mesečnih vrednosti i shodno tome uobičajeno je da se njihova obrada vrši po, manje više, standardnoj proceduri. Dakle, za svaku promenljivu (promenljive su navedene u Tabeli 1.) izvučene su sve srednje mesečne vrednosti za četiri perioda koja su opisana u uvodu. Odabirom perioda u ovom radu, odstupa se od klasičnog pristupa obrade klimatskih podataka u tom smislu što je pri razmatranju klime Svetska meteorološka organizacija predložila da se uzme u obzir niz od 30 godina uzastopnih podataka, ali ta vrednost može da varira. Za neke atmosferske promenljive može da se uzme i kraći period, kao što je u ovom radu uzet dvadesetogodišnji niz. Obrada podataka za



Slika 4: Grafički prikaz procesa obrade podataka, konačan rezultat za svaku sezonom je jedna vrednost koja reprezentuje klimu za navedene periode.

svaki vremenski period je rađena po istoj proceduri da bi se mogla vršiti me-

đusobna poređenja rezultata iz različitih perioda. Podaci su obrađeni tako da se za svaki mesec u godini dobije dvadesetogodišnja vrednost mesečnih (dvadesetogodišnji mesečni srednjak) količina padavina i vrednosti temperature. Potom, tako dobijene srednje vrednosti za svaki mesec su grupisane u srednje sezonske vrednosti koje će predstavljati vrednost sezonske klime za datu promenljivu. Sezone su formirane na sledeći način: Decembar, Januar i Ferbruar čine zimu; Mart, April i Maj čine proleće; Jun, Jul i Avgust čine leto; i Septembar, Oktobar i Novembar čine jesen. Na Slici 4. je ilustrovan tok obrade podataka i način dobijanja srednje sezonske vrednosti. Nakon što su podaci grupisani na ovaj način, potrebno je da se za svaku promenljivu odrede razlike predviđenih klimatskih vrednosti u budućnosti sa onim koje su implementirane za istorijski period. Razlike su grafički prikazane za oblast Evrope, na taj način ilustruju intenzitet promene klimatskih vrednosti. Iako grafička interpretacija rezultata daje dovoljno dobru informaciju čitalcu o klimatskim promenama, napravljen je korak dalje u analizi i korišćen je studentov t-test koji ukazuje na to da li je promena između prognoziranih klimatskih vrednosti i klimatskih vrednosti u istorijskom periodu statistički značajno različita ili nije. Primena studentovog t-testa je zahtevala da se vrši drugačije grupisanje podataka. Prvo se izdvojilo dvadeset srednjih vrednosti za svaki mesec, a zatim se te vrednosti spoje za tri meseca koja čine jednu sezonu. Na taj način je grupišano šezdeset vrednosti po sezoni. Ova procedura se ponavlja za sve sezone i za sve vremenske periode. Nakon grupisanja podataka na ovaj način, ostaje da se upotrebi studentov t-test za poređenje svake sezone iz budućeg perioda sa odgovarajućom sezonom perioda 1986 – 2005. Kao rezultat se dobijaju p-vrednosti koje mogu biti velike ili male, a one daju informaciju o tome da li je promena između buduće klime i sadašnje klime statistički značajna.

2.2.2 Studentov t-test

Studentov t-test se primenjuje da grupe podataka kako bi se ustanovalo da li su vrednosti tih grupa statistički značajno različite jedna od druge, tačnije da li su uzorci iz iste populacije [2]. Ta osobina studentovog t-testa je

ono što je potrebno pri obradi podataka za ovaj rad. Hoćemo da ustanovimo jesu li klimatske vrednosti u istorijskom periodu statistički značajno različite od onih koji se odnose na buduće periode. Bitna karakteristika studentovog t-testa je da spada pod domen inferencijane statistike, što znači da su rezultati koji se dobiju ovakvim testom zasnovani na merenjima, proceni nepoznatih parametara populacije i testiranja statističkih hipoteza. Ovako dobijeni rezultati mogu dati značajne informacije o čitavoj populaciji a ne samo o uzorku koji smo se posmatra. Na sledećem primeru se lako vidi moć inferencijalne statistike. U gradu se nasumično odabere 10 žena i 10 muškaraca i daju im se testovi inteligencije, srednja vrednost rezultata za žene je 105, a za muškarce 102. Za razliku od testova deskriptivne statistike³ koji bi se zadržali na konkretnom primeru i analizirali isti, t-test daje rezultat generalizovan za sve žene i muškarce na svetu, obzirom da je ispunjen onaj uslov "nasumičnog" odabira žena i muškaraca pri prikupljanju podataka. Sa ovim testom bi se dobio rezultat za čitavu populaciju, koji bi jasno glasio da ne postoji statistički značajna razlika u inteligenciji muškaraca i žena. Prednost je što sa slučajnim odabirom dvadeset ljudi može da se pravi zaključak o svih sedam milijardi ljudi na planeti. Ideja t-testa je izgrađena na tome da se prikupljaju podaci o razlici srednjih vrednosti između grupa i dele se sa varijacijama unutar samih grupa, količnik predstavlja t-vrednost. Treba imati u vidu da varijacije unutar grupa ovde predstavljaju razliku između maksimalne i minimalne vrednosti merenja unutar jedne grupe podataka, odnosno predstavlja interval unutar kog se "rasipaju" rezultati merenja svake grupe.

$$t\text{-vrednost} = \frac{\text{razlika srednjih vrednosti između grupa}}{\text{varijacije unutar samih grupa}} \quad (1)$$

U jednačini (1) se uočava da što je razlika srednjih vrednosti između grupa veća, brojilac će imati veću vrednost i t-vrednost će biti veća, u suprotnom ako je razlika srednjih vrednosti između grupa manja i t-vrednost će biti manja. Neka je t-vrednost izračunata i iznosi 4, to znači da je razlika srednjih vrednosti između grupa četiri puta veća nego razlika unutar grupa. Dolazi se

³Testovi deskriptivne statistike nisu zasnovani na teoriji verovatnoće i ne daju nikakvu informaciju vezanu za populaciju iz koje je uzorak prikupljen.

da pitanja: "Kako se na osnovu t-vrednosti zna da li je razlika statistički značajna?" Ta informacija se ne dobija direktno iz t-vrednosti već iz p-vrednosti i nulte hipoteze koja se postavi⁴. Dakle p-vrednost predstavlja verovatnoću da se dobije bar toliko ekstremna vrednost sledećim uzorkovanjem iz iste populacije kao što je merenje koje već imamo, time ako je p-vrednost mala (najčešće se uzima granica za p-vrednost 0.05 i u odnosu na nju se posmatra da li je neka vrednost "mala" ili "velika") znači da će verovatnoća dobijanja sličnog rezultata biti jako mala pod nultom hipotezom, tada se odbacuje nulta hipoteza i kaže se da je razlika značajna. Pošto postoji veza između t-vrednosti i p-vrednosti (najčešće se očitava iz tabela, a ređe se računa putem formule), računanjem t-vrednosti i zatim preračunavanjem t-vrednosti u p-vrednost može se lako praviti zaključak o tome da li je razlika između dve grupe podataka statistička značajna.

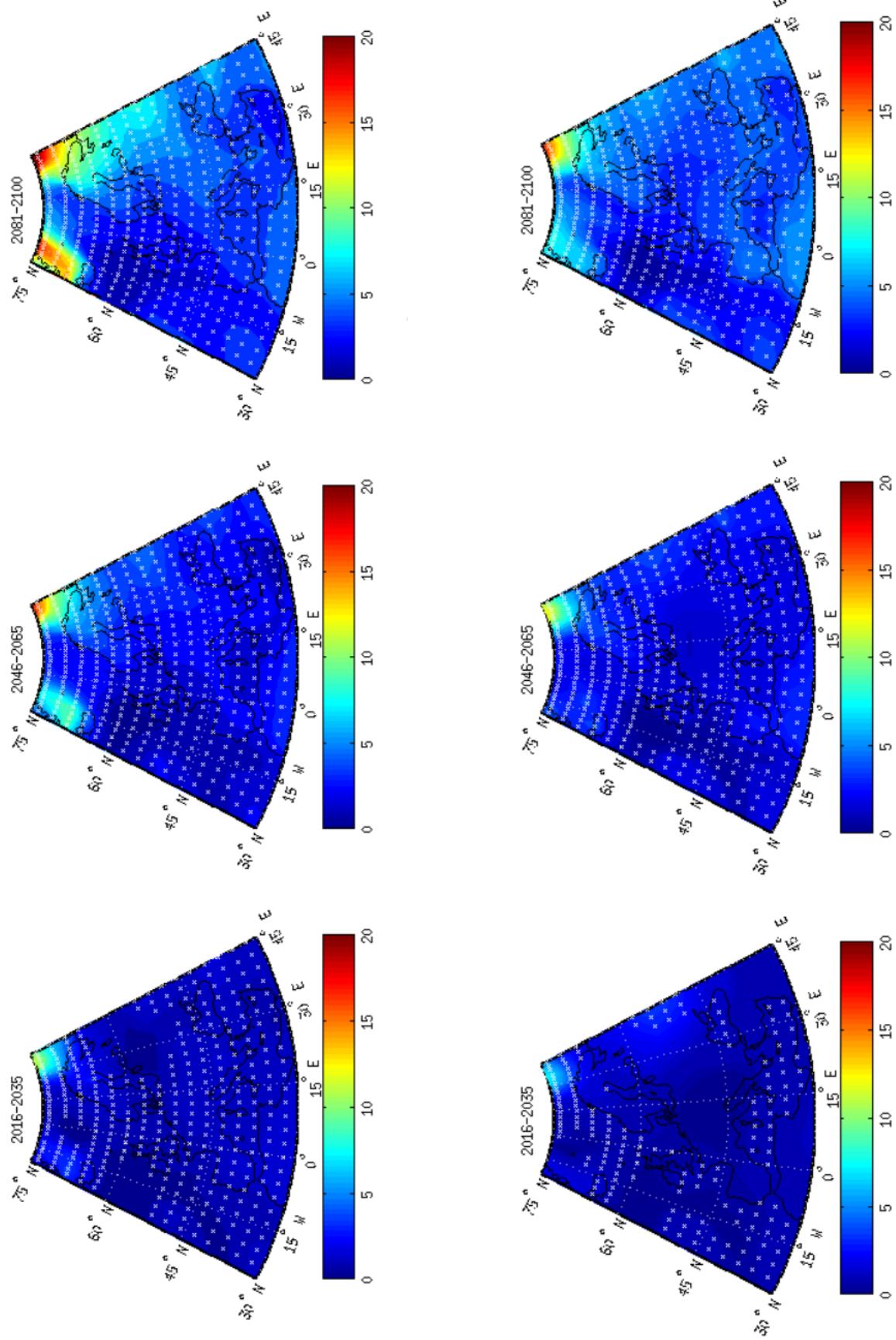
⁴Pod nultom hipotezom se po konvenciji smatra da grupe nisu statistički značajno različite.

3 Analiza rezultata

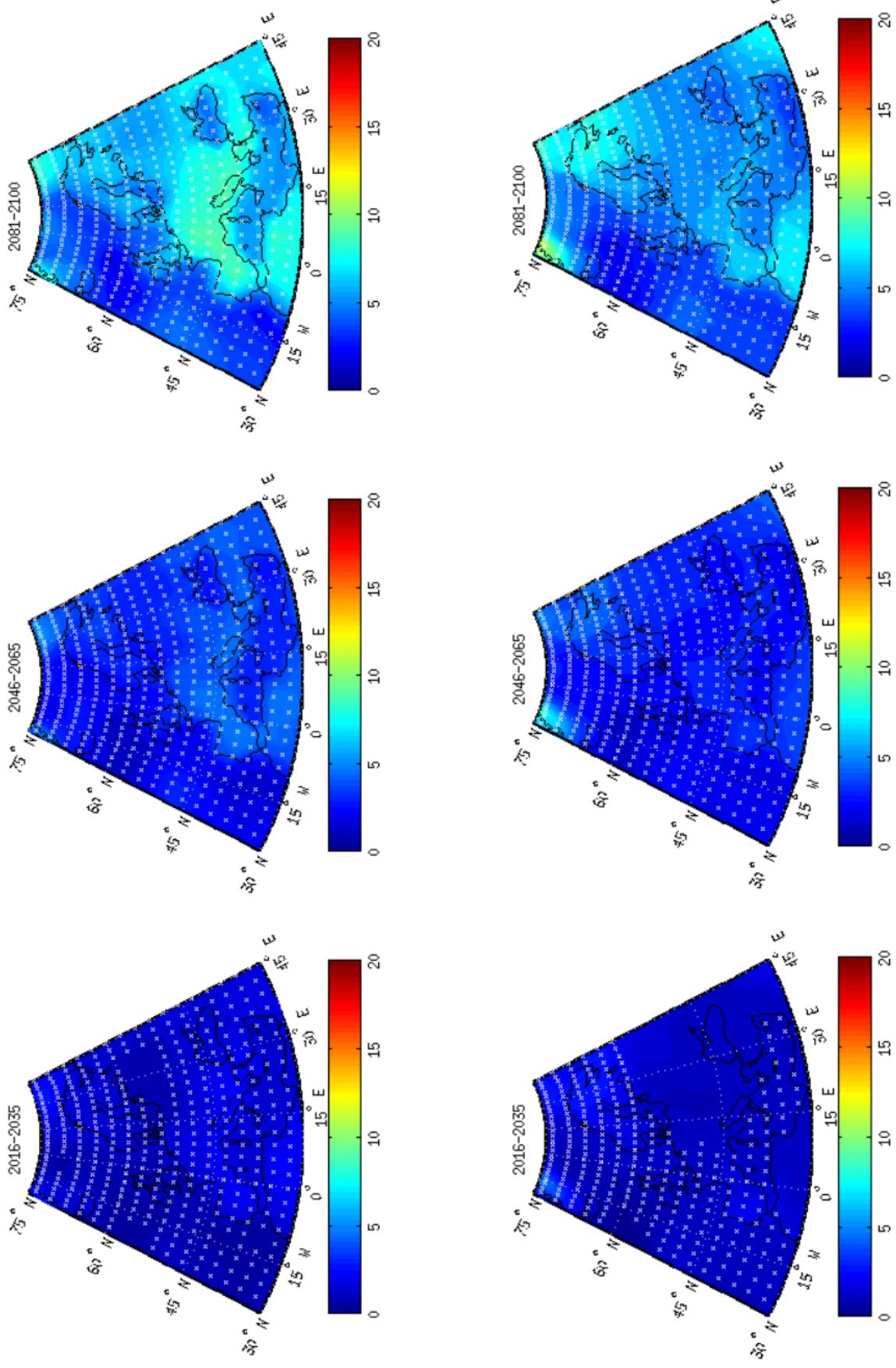
Kao što je opisano, analiziraćemo dve vrste efekata klimatskih promena temperature i količine padavina. To su intenzitet i statistička značajnost promene. Intenzitet promene je određivan kao razlika srednjih sezonskih vrednosti obrađivanih veličina. Definisan je tako da može biti pozitivan i negativan u zavisnosti od smera u kom je tekla klimatska promena. Statistička značajnost promene određivana je studentovim t-testom. Kao što je opisano, t-vrednost se prevodi u p-vrednost. Dobijena p-vrednost može biti broj u intervalu od 0 do 1, a u odnosu na p-vrednost se određuje statistička značajnost promene. Konkretno, uzeta je vrednost 0.05 kao granična vrednost u odnosu na koju se određuje da li je promena značajna (nulta hipoteza ne važi) ili nije značajna (nulta hipoteza je zadržana). Radi jasnijeg grafičkog prikaza, na grafikonima koji slede, su prikazana oba efekta. Intenzitet promene je prikazan različitim bojama (pozadinska kontura) dok je statistički značaj na istim grafikonima prikazan znakom “X” ili “*” ukoliko je promena statistički značajna a u suprotnom simbol je izostavljen. Iznad svakog grafikona se nalaze oznake koje ukazuju na vremenski period za koji su analizirane klimatske promene.

3.1 Srednje mesečne temperature vazduha

Na Slikama 5. i 6. su prikazani grafikoni koji predstavljaju rezultate intenziteta i statističkog značaja promene za srednje mesečne vrednosti temperature vazduha. Promena temperature je prikazana u jedinicama °C. Na Slikama 5. i 6. može da se uoči da će promena temperature vazduha u budućnosti biti pozitivna. Imajući u vidu izabrani scenario može se očekivati da će promene biti najveće u periodu daleke budućnosti. Opravdanost ove pretpostavke se lako može uočiti na navedenim grafikonima, pogotovo u toplo delu godine iznad kontinentalnih površina. U tom slučaju predviđene promene temperature mogu uzimati vrednosti i do 7-8 °C. Posebno velike promene temperature se uočavaju na krajnjem severu Evrope, blizu Severnog pola. U tome regionu promena temperature iznosi oko 7 °C tokom leta i je-



Slika 5: Promjena srednje mjesčne vrednosti temperature vazduha u zimskoj sezoni (gornja tri panela) i u prolećnoj sezoni (donja tri panela).



Slika 6: Promena srednje mesečne vrednosti temperature vazduha u letnjoj sezoni (gornja tri panela) i u jesenjoj sezoni (donja tri panela).

seni, dok u zimskom periodu one iznose čak i 20°C . Imajući u vidu uticaj polarnih kapa na planetarni albedo i samim tim globalni energetski bilans opisani efekat budi posebnu zabrinutost. Pomoću rezultata statističke analize uočava se da u najблиžoj budućnosti još uvek postoje oblasti gde promena srednje mesečne temperature vazduha nije statistički značajna, ali kako se posmatraju dalji vremenski periodi promena postaje značajna nad čitavom analiziranim oblašću.

3.2 Minimalne i maksimalne temperature vazduha

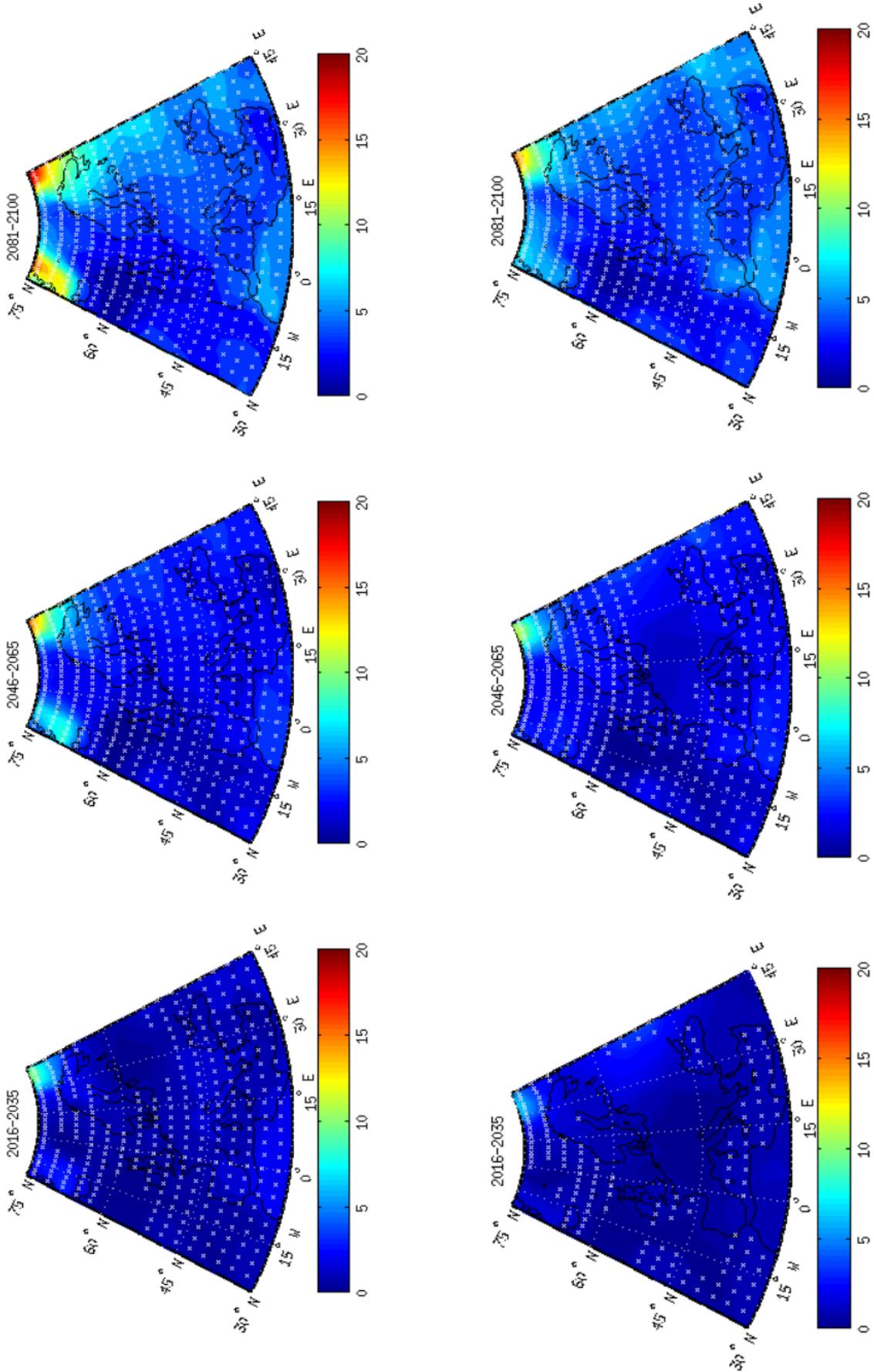
Na Slikama 7. i 8. su prikazani grafikoni promene maksimalne temperature vazduha, a na Slikama 9. i 10. grafikoni promene minimalne temperature vazduha. Poređenjem grafikona promene minimalne i maksimalne temperature vazduha koji se odnose na iste periode i sezone primećuje se sličnost. Iz tog razloga nema potrebe eksplicitno navoditi da li se analiza odnosi na promenu minimalne ili maksimalne temperature vazduha, već se mogu objediniti pojmom promenama graničnih temperatura vazduha.

Posmatranjem grafikona uočava se da su promene graničnih temperatura u letnjem periodu izraženije iznad centralnog i južnog dela Evrope, dok su u zimskom i prolećnom periodu promene graničnih temperatura izražene nad severnim delovima Evrope. Rezultati student t-testa ukazuju na to da tokom proleća, u periodu najbliže budućnosti, iznad kontinentalnog dela Evrope neće biti značajnih promena. Dok u toku letnje sezone već u periodu najbliže budućnosti uočava se da je promena značajna nad skoro svim delovima analizirane oblasti.

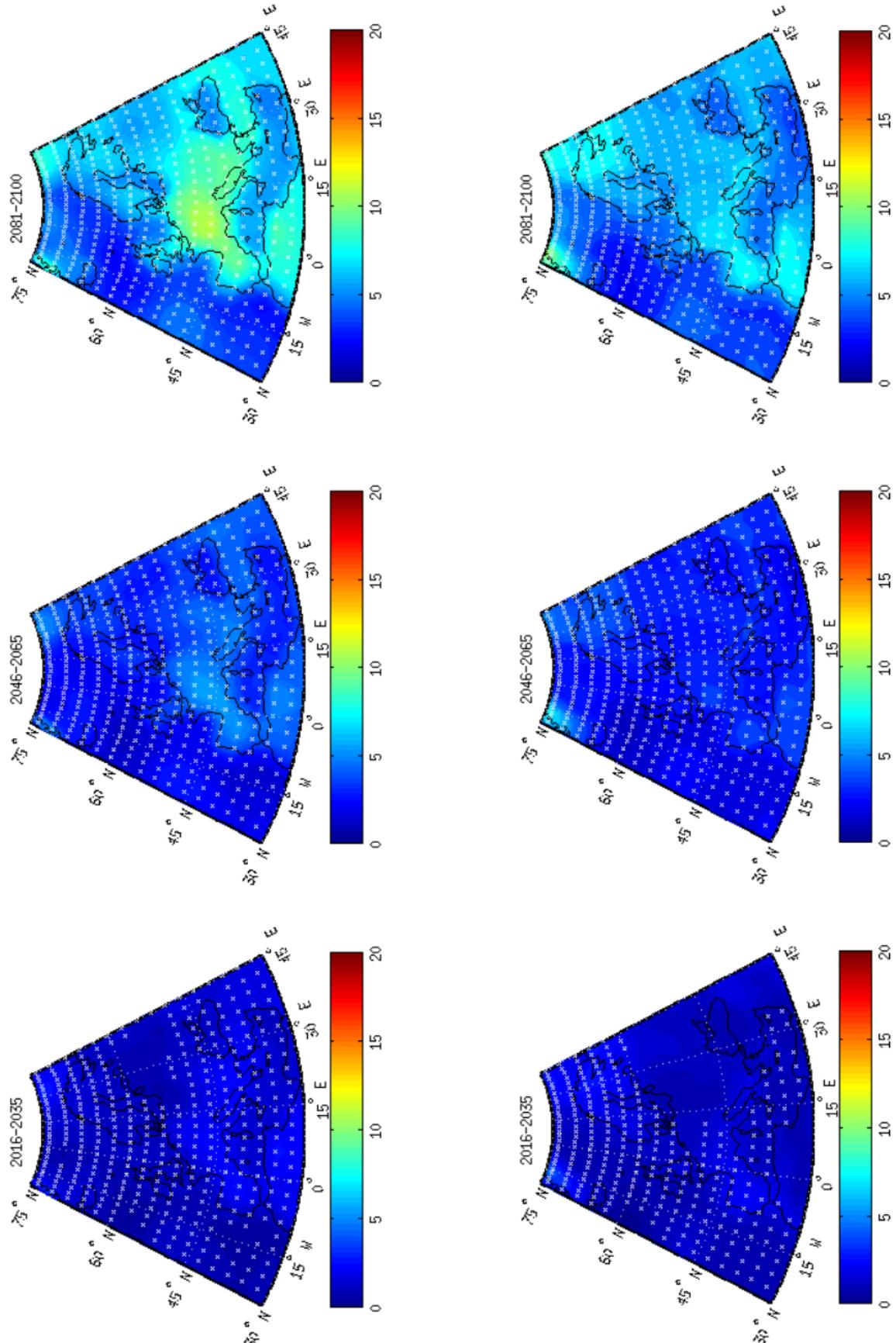
3.3 Količine padavina

Na Slikama 11. i 12. su prikazani rezultati dobijeni analizom promena srednjih sezonskih količina padavina. Jedinica u kojoj je izražena promena količine padavina je $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$, odnosno gustina fluksa mase.

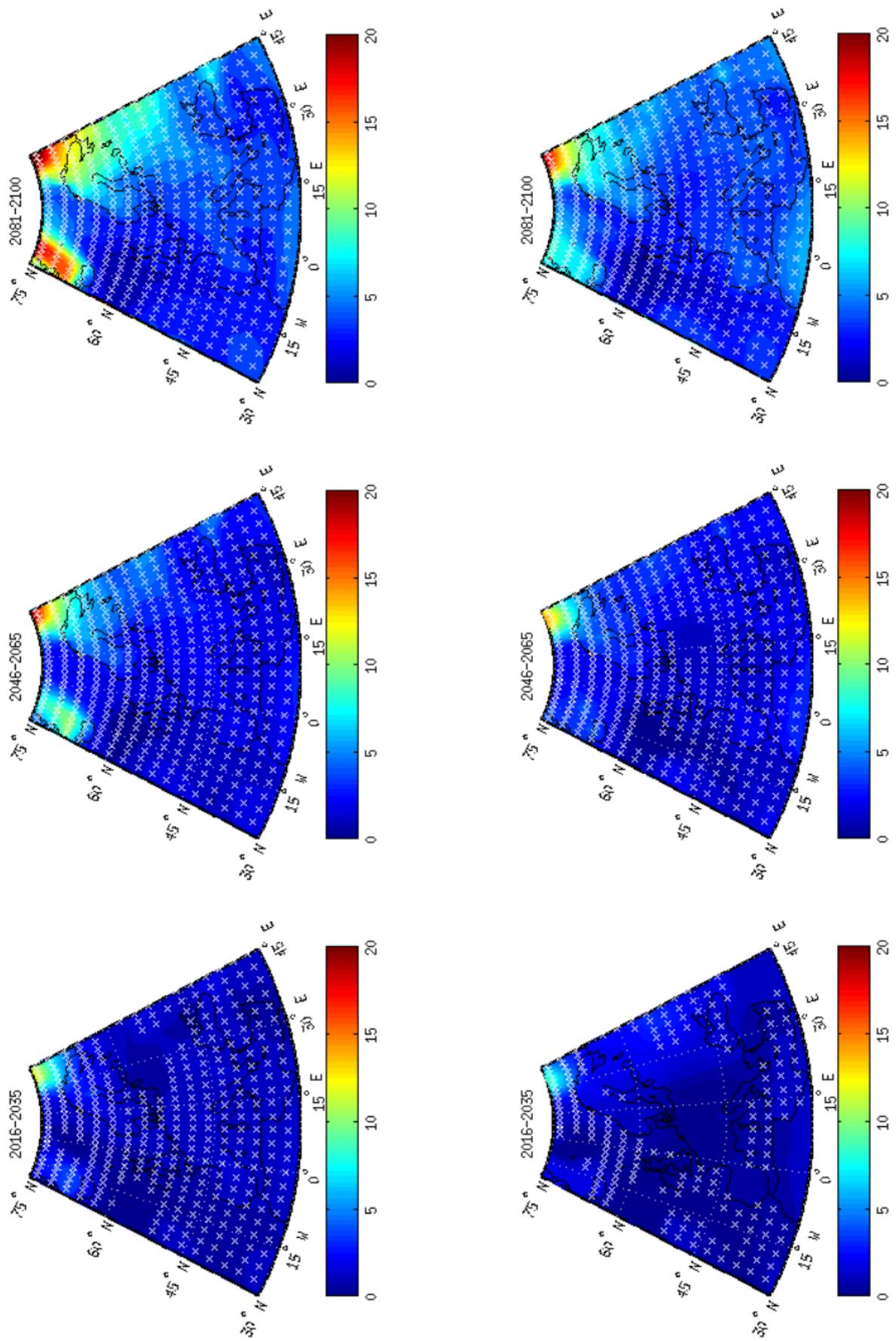
Za razliku od dosadašnjih analiza, promena količine padavina uzima i pozitivne i negativne vrednosti. Negativni rezultati promene količine padavina



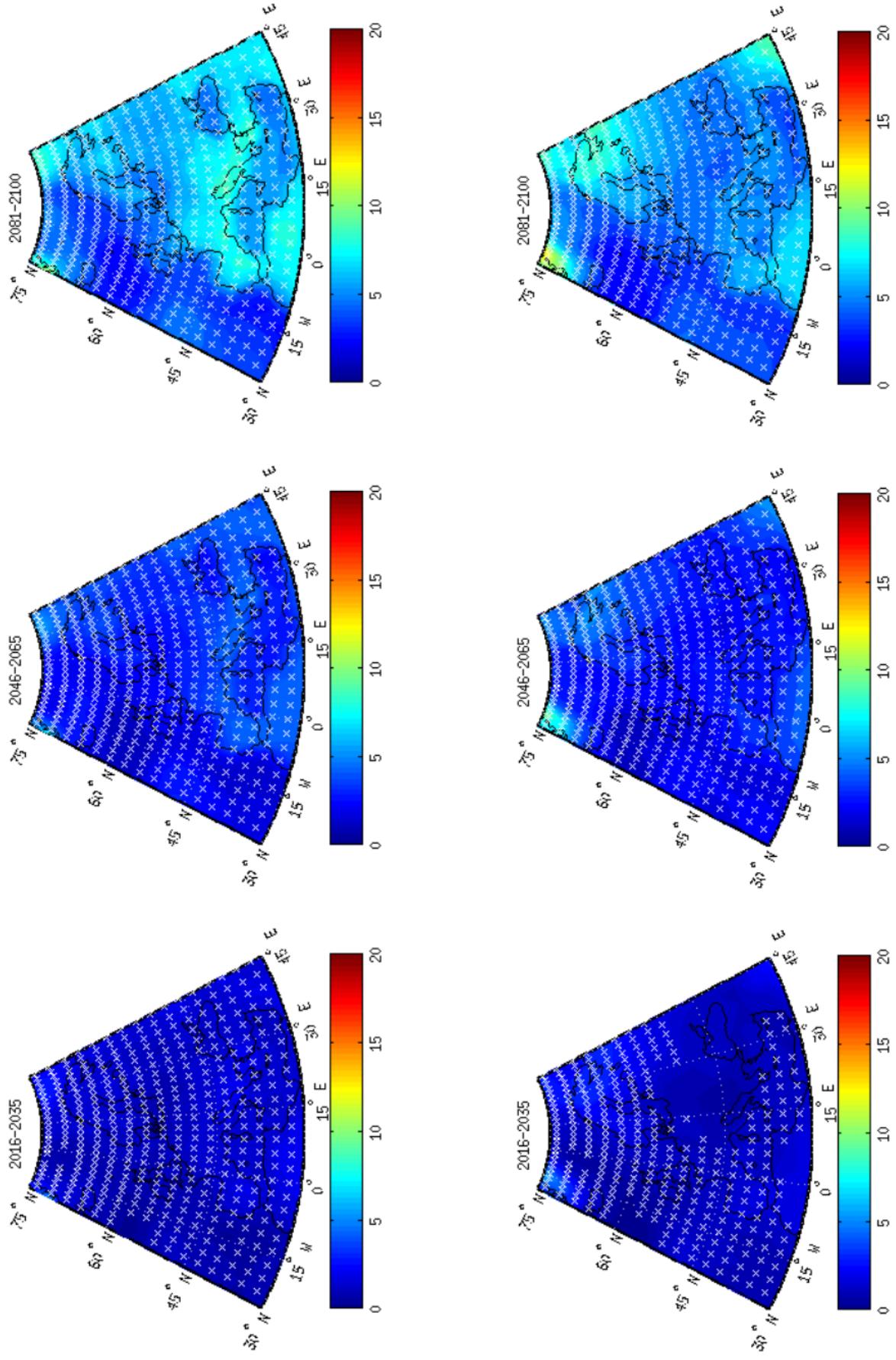
Slika 7: Promena maksimalne mesečne vrednosti temperature vazduha u zimskoj sezoni (gornja tri panela) i u prolećnoj sezoni (donja tri panela).



Slika 8: Promena maksimalne mješovite vrednosti temperature vazduha u letnjoj sezoni (gornja tri panela) i u jesenjoj sezoni (donja tri panela).

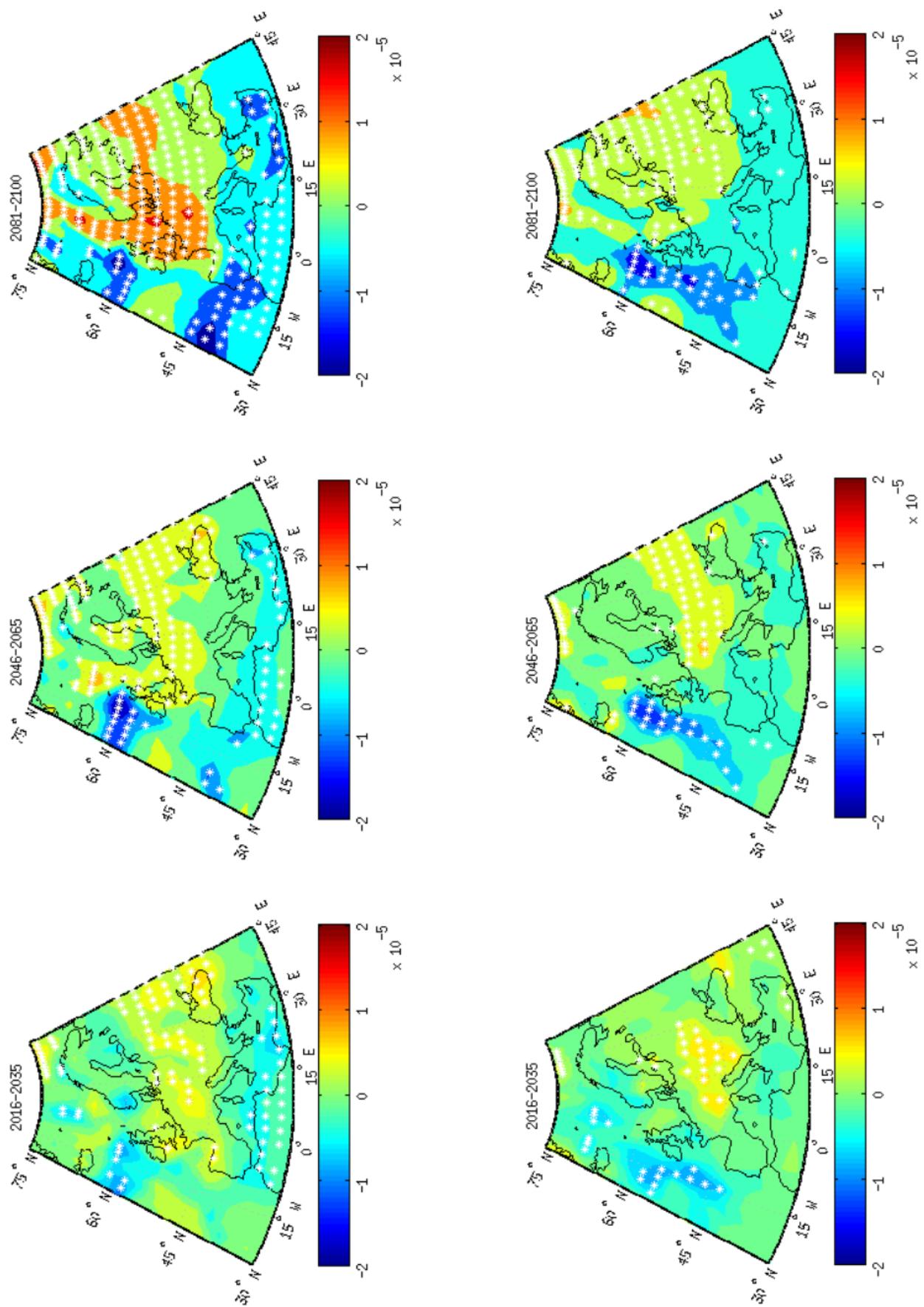


Slika 9: Promena minimalne mesečne vrednosti temperature vazduha u zimskoj sezoni (gornja tri panela) i u prolećnoj sezoni (donja tri panela).

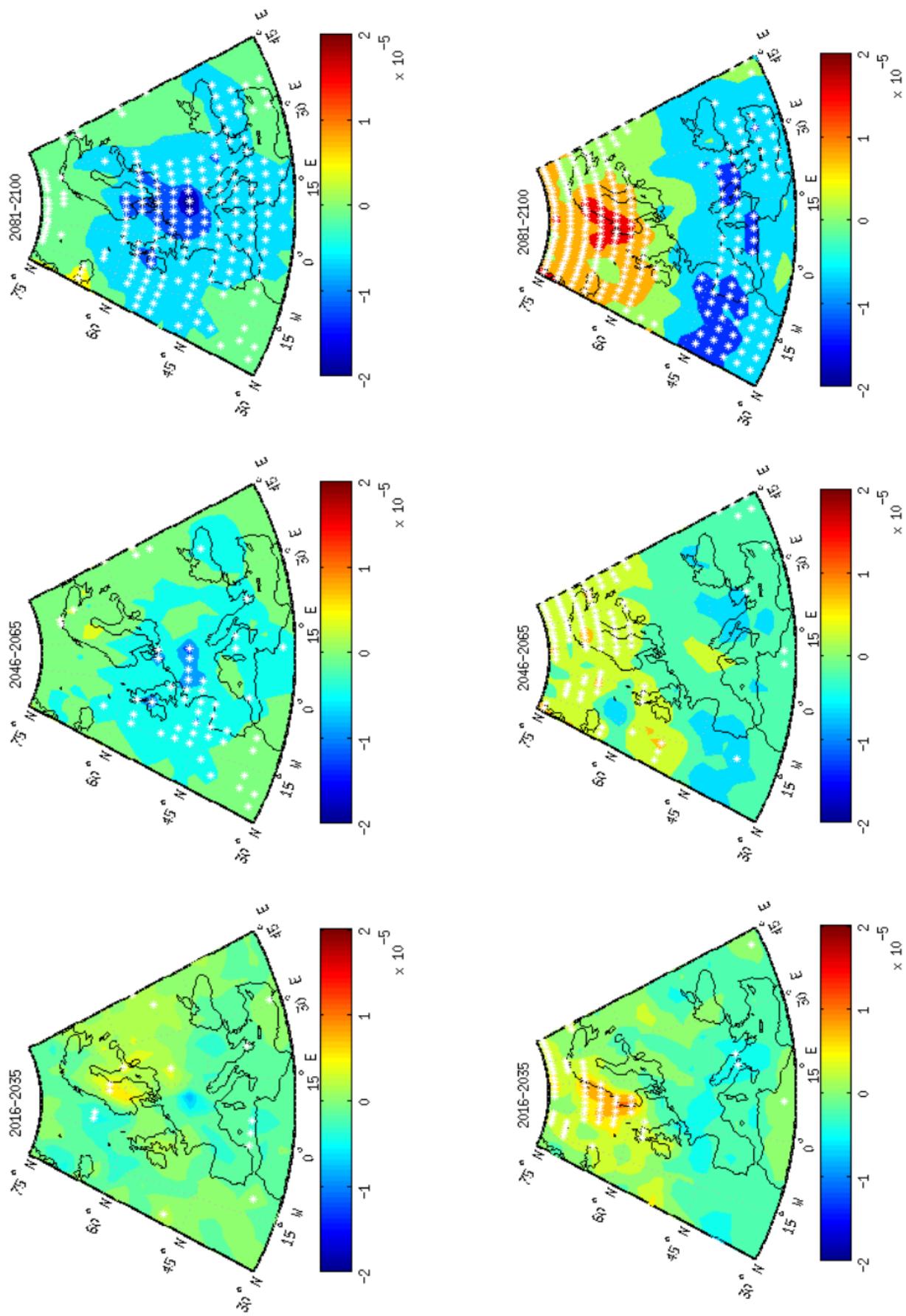


Slika 10: Promena minimalne mesečne vrednosti temperature vazduha u letnjoj sezonji (gornja tri panela) i u jesenjoj sezonji (donja tri panela).

predstavljaju novinu, jer do sada nisu bili uočeni na grafikonima promene srednjih mesečnih i srednjih graničnih temperatura vazduha. Studentovim t-testom se uočava da tokom perioda 2016 – 2035 i 2046 – 2065 promena količine padavina neće biti značajna nad velikim delovima Evrope. Dok u period daleke budućnosti primeti se veliki broj “*” koje ukazuju na to da je promena količina padavina značajna, odnosno da je distribucija padavina značajno različita u odnosu na istorijski period. Prilikom analiziranja promene treba imati u vidu da je pouzdanost dobijenih rezultata smanjena u odnosu na promenu temperature. Ovo je prouzrokovano time što je osnova ove pojave mnogo složenija.



Slika 11: Promena srednje količine padavina u zimskoj sezoni (gornja tri panela) i u prolećnoj sezoni (donja tri panela).



Slika 12: Promena srednje količine padavina u letnjoj sezoni (gornja tri panela) i u jesenjoj sezoni (donja tri panela).

4 Zaključak

U ovom radu pokazano je i objašnjeno kako se prikupljaju klimatološki podaci sa Earth System Global Federation portala. Navedeni su i korisni saveti za bilo koga ko bi žele da uradi nešto slično. Pokazano je na primeru temperature i količine padavina kako se intenzit i statistički značaj promene mogu koristiti u analiziranju klimatskih promena.

Nakon analiziranih rezultata, nema sumnje da se značajnije klimatske promene mogu uočiti čak i u bliskoj budućnosti. Pokazano je da se u budućnosti temperatura vazduha i količina padavina ne menjaju svuda podjednako, već su nad nekim oblastima promene intenzivnije nego nad drugim. U periodima dalje i daleke budućnosti promene su intenzivnije i zahvataju veće oblasti. Nažalost sa ovim radom nije moguće dobiti više informacija o tome šta tačno uzrokuje da se promenljive menjaju na uočeni način, i zašto se na nekim mestima menjaju više nego na drugim. Da bi se dobio odgovor na ovo pitanje, trebalo bi vršiti dalje analize. Treba imati u vidu da je ovde korišćen samo RCP8.5 scenario, koji je za sada najrigorozniji scenario od svih koje IPCC uzima u obzir za svoj sledeći izveštaj. Analiziranjem ostali scenariji bi trebalo da se dobiju manje drastični rezultati. Dobijene rezultate ne treba shvatiti kao izvesnu budućnost, već samo kao procenu o tome šta može da se dogodi u slučaju da bilans zračenja nastavi da raste kao što je predviđeno scenarijom RCP8.5. Takođe treba biti realan u svemu i razumeti da ovakvi modeli koji povezuju atmosferu i okean su na kraju krajeva samo modeli čije su mogućnosti ograničene, i da je atmosfera vrlo kompleksan sistem.

Jedna stvar je sigurna, antropogeni faktori koji utiču na porast bilansa zračenja su u isto vreme odgovorni i za klimatske promene. Čovek svakodnevnim aktivnostima vrši veliki uticaj na klimu i podstiče njenu promenu.

Literatura

- [1] [http://www.ipccdata.org/.](http://www.ipccdata.org/)
- [2] Woodward W. A. Elliot A. C. *Statistical Analysis, Quick Reference Guidebook*. SAGE. 2007.
- [3] Sander Brinkman Eduardo Calvo Tim Carter Jae Edmonds Ismail Elgizouli Seita Emori Lin Erda Kathy Hibbard Roger Jones Mikiko Kainuma Jessica Kelleher Jean Francois Lamarque Martin Manning Ben Matthews Jerry Meehl Leo Meyer John Mitchell Nebojsa Nakicenovic Brian O'Neill Ramon Pichs Keywan Riahi Steven Rose Paul Runcl Ron Stouffer Detlef van Vuuren John Weyant Tom Wilbanks Jean Pascal van Ypersele Monika Zurek Richard Moss, Mustafa Babiker. *non published, Further Work On Scenarios Report From The IPCC Expert Meeting Towards New Scenarios For Analysis Of Emissions, Climate Change, Impacts, And Response Strategies*.
- [4] D. Qin M. Manning Z. Chen M. Marquis K.B. Averyt M.Tignor Solomon, S. and H.L. Miller (eds.). *IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

Biografija



Velibor Želi je rođen 01.11.1991. godine u Novom Sadu. Osnovnu školu "Mihajlo Pupin" je završio u Veteniku. Srednju medicinsku školu "7. April" je završio 2010. godine i iste godine upisao Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu, smer "Fizičar-meteorolog" na Departmanu za fiziku. Poslednji ispit na osnovnim studijama je završio 16.09.2014. sa prosečnom ocenom 9,00.

Univerzitet u Novom Sadu
Prirodno-matematički fakultet
Ključna dokumentacijska informacija:

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa:

Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada:

Diplomski rad

VR

Autor:

Velibor Želić

AU

Mentor:

prof. dr. Milica Pavkov-Hrvojević

MN

Naslov rada:

Analiza značaja i intenziteta modelovanih klimatskih promena temperatire i količine padavina tokom 21. veka

NR

Jezik publikacije:

srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda:

srpski / engleski

JI

Zemlja publikovanja:

Srbija

ZP

Uže geografsko područje:

Vojvodina

UGP

Godina:

2014

GO

Izdavač:

Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa:

MA

Fizicki opis rada:

FO

Naučna oblast:

NO

Naučna disciplina:

ND

Ključne reči:

KR

Čuva se:

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod:

IZ

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik komisije:

Prirodno-mateatički fakultet,

Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

(poglavlja/strana/citata/tabela/grafika/priloga)

(4/28/4/1/11/0)

Fizika

Meteorologija

Bilans zračenja, RCP, klimatske promene

globalni klimatski modeli, Studentov t-test

Biblioteka departmana za fiziku,

PMF-a u Novom Sadu

nema

Prikupljanje i obrada mesečnih količina padavina
minimalne i srednje temperature vazduha mode-
lovanih klimatskim modelima za period 2000 – 2100.

Član:

dr Milan Pantić

Član:

dr Ilija Arsenić

Član:

dr Milica Pavkov-Hrvojević, mentor

University of Novi Sad

Faculty of Science

Key Words Documentation:

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Documentation type:

Monograph publication

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Content code:

Final paper

CC

Author:

Velibor Želi

AU

Mentor:

dr Milica Pavkov-Hrvojević

MN

Title:

Analysis of the significance and intensity as a result of climate changes related to the temperature and amount of precipitation during the 21st century
Serbian (latin)

Language of text:

LT

Language of abstract:

English

JI

Country of publication:

Serbia

CP

Locality of publication:

Vojvodina

LP

Publication year:

2014

PY

Publisher:

Author's reprint

PU

Publication place:

Prirodno-mateatički fakultet,

PP

Physical description:

Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

(4/28/4/1/11/0)

PD

Scientific field:

Physics

SF

Scientific discipline:

Meteorology

SD

Key words:

KW

Radiative forcing, RCP, climate changes

global climate models, Students t-test

Holding data:

Library of Department of Physics

HD

Note:

none

N

Abstract:

Obtaining the monthly data for amount of precipitation,
maximum, minimum and average air a temperature.

Making statistical analysis and comparing future climate
with the climate in the time of 1986 – 2005.

AB

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on:

DE

Thesis defend board:

DB

President:

dr Milan Pantić

Member:

dr Ilija Arsenić

Member:

dr Milica Pavkov-Hrvojević, mentor