

# DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD

## SEKTOR ZA METEOROLOŠKA ISTRAŽIVANJA I RAZVOJ

Doprinos projektu „Upravljanje krškim priobalnim vodonosnicima ugroženima klimatskim promjenama“ – KK.05.1.1.02.0022:

Analiza sadašnje klime i projekcije klime za tri pilot područja u jadranskom priobalju i otocima



Zagreb, kolovoz 2021.



Izvešće “Doprinos projektu UKV: Analiza sadašnje klime i projekcije klime za tri pilot područja u jadranskom priobalju i otocima” izrađena je u Državnom hidrometeorološkom zavodu, u Sektoru za meteorološka istraživanja i razvoj u sklopu projekta “Upravljanje krškim priobalnim vodonosnicima ugroženim klimatskim promjenama” (KK.05.1.1.02.0022).

Izradili su ga i doprinose pripremili: dr. sc. Ksenija Cindrić Kalin (poglavlja 2.1, 3.1 i 4.1)  
dr. sc. Ivan Güttler (poglavlja 1, 2.3, 3.3 i 4.3)  
mr. sc. Melita Perčec Tadić (poglavlja 1, 2.2, 3.2 i 4.2)  
mr. sc. Lidija Srnec (poglavlja 2.3, 3.3 i 4.3)  
dr. sc. Krešo Pandžić (glavni istraživač i DHMZ koordinator na projektu UKV)



## Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Pilot područje Vransko jezero na otoku Cresu	4
2.1.	Klimatološki podaci meteorološke postaje Cres	4
2.1.1.	Opće klimatske karakteristike	4
2.1.2.	Klimatske anomalije i trend	8
2.2.	Gridovi srednje temperature zraka i količine oborine	10
2.2.1.	Digitalni model terena	10
2.2.2.	Temperatura zraka	11
2.2.3.	Količina oborine	13
2.3.	Simulacije regionalnim klimatskim modelima	15
2.3.1.	Simulacije povijesne klime i statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka	15
2.3.2.	Simulacije buduće klime i utjecaj statističke obrade na signal klimatskih promjena	19
2.3.3.	Definiranje podskupa regionalnih klimatskih simulacija za potrebe hidroloških analiza	24
3.	Pilot područje sliva Bokanjac-Poličnik kod Zadra	26
3.1.	Klimatološki podaci meteorološke postaje Zadar	26
3.1.1.	Opće klimatske karakteristike	26
3.1.2.	Klimatske anomalije i trend	30
3.2.	Gridovi srednje temperature zraka i količine oborine	32
3.2.1.	Digitalni model terena	32
3.2.2.	Temperatura zraka	32
3.2.3.	Količina oborine	34
3.3.	Simulacije regionalnim klimatskim modelima	37
3.3.1.	Simulacije povijesne klime i statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka	37
3.3.2.	Simulacije buduće klime i utjecaj statističke obrade na signal klimatskih promjena	41
3.3.3.	Definiranje podskupa regionalnih klimatskih simulacija za potrebe hidroloških analiza	46
4.	Pilot područje Blatskog polja na otoku Korčuli	48
4.1.	Klimatološki podaci meteorološke postaje Vela Luka	48
4.1.1.	Opće klimatske karakteristike	48
4.1.2.	Klimatske anomalije i trend	52
4.2.	Gridovi srednje temperature zraka i količine oborine	54
4.2.1.	Digitalni model terena	54
4.2.2.	Temperatura zraka	54
4.2.3.	Količina oborine	56

4.3.	Simulacije regionalnim klimatskim modelima	59
4.3.1.	Simulacije povijesne klime i statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka	59
4.3.2.	Simulacije buduće klime i utjecaj statističke obrade na signal klimatskih promjena	63
4.3.3.	Definiranje podskupa regionalnih klimatskih simulacija za potrebe hidroloških analiza	68
5.	Izvori podataka i zahvale	70
6.	Literatura	71
7.	Prilog 1. Korišteni regionalni klimatski modeli u analizi simulacija povijesne klime i projekcija buduće klime	73
	Prilog 2. Dostava gridova	75
	Prilog 3. Dostava normala na postajama	75

## 1. Uvod

Istraživačke aktivnosti na projektu UKV, “Upravljanje krškim priobalnim vodonosnicima ugroženim klimatskim promjenama” provode se na tri pilot područja:

1. Pilot područje Vransko jezero na otoku Cresu
2. Pilot područje sliva Bokanjac–Poličnik kod Zadra
3. Pilot područje Blatskog polja na otoku Korčuli

Za potrebe analize sadašnje klime i projekcija klime za tri pilot područja uzeta su u obzir tri tipa klimatskih informacija: (1) vremenski nizovi srednje dnevne temperature zraka na 2 m i ukupne količine oborine na lokacijama meteoroloških postaja u mreži Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ), (2) prostorna polja istih veličina dobivena geostatističkom interpolacijom za šire područje analiziranih lokacija te (3) rezultati simulacija regionalnih klimatskih modela za povijesnu i buduću klimu.

Za prikaz klimatskih uvjeta na području slivova najčešći izvor podataka su podaci s najbliže meteorološke postaje. Tako su u analizi općih klimatskih prilika korišteni podaci s meteoroloških postaja Cres, Zadar i Vela Luka. Analizirani su osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, maksimum, minimum i percentili) sezonske i godišnje srednje dnevne temperature zraka referentnog klimatskog razdoblja 1981. – 2010. kao i koeficijent varijacije količine oborine. Prikazani su trendovi srednje sezonske i godišnje temperature zraka i količine oborine te je procijenjena njihova statistička značajnost pomoću Mann-Kendallovog testa (Gilbert 1987). Anomalije količine oborine na razini hidrološke godine (od listopada prethodne godine do rujna tekuće godine) analizirane su pomoću vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (*engl. Standardized Precipitation Index, SPI*) (McKee i sur. 1993) i standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (SPEI) (Begueria i sur. 2010) za mjesec rujna na 12-mjesečnoj skali (SPI-12, SPEI-12). Dok SPI uključuje samo podatke o količini oborine, vrijednosti indeksa SPEI ukazuju na anomalije vodne ravnoteže, uključujući i podatke o temperaturi zraka za izračun potencijalne evapotranspiracije.

Iako su podaci s meteoroloških postaja reprezentativni za lokaciju i okolno područje, često nisu dovoljni da bi pružili sveobuhvatan uvid u klimatske prilike sliva. Razlozi mogu biti različiti, primjerice najbliža postaja nije unutar sliva ili je sliv izrazito geografski kompleksan pa lokacija postaje nije reprezentativna za čitavo područje sliva. Posljednje može biti slučaj kod većih slivova gdje postoje i veće razlike u nadmorskoj visini kao jednom od glavnih klimatskih faktora pri čemu lokacija meteorološke postaje nije reprezentativna za opis klime na čitavom rasponu nadmorskih visina. Alternativa je korištenje interpoliranih podataka, odnosno gridova koji temeljem većeg skupa podataka mjerenja i dodatnih prediktora daju procjenu vrijednosti klimatskih varijabli na čitavom području sliva uključivo i lokacije na kojima ne postoje mjerenja. Ovdje korišteni gridovi dio su novog skupa prostornih podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda koji sadrži prostorno interpolirane srednje mjesečne temperature zraka i mjesečne sume oborine za svaki mjesec pojedine godine iz razdoblja 1981. – 2018. kao i mjesečne srednjake klimatske normale 1981. – 2010. Za izradu mjesečnih karata korištena je metoda regresijskog kriginga kojoj je prethodila analiza kvalitete podataka izmjerenih na postajama. Analiza je obuhvaćala analizu homogenosti i nadopunu nedostajućih mjesečnih podataka. Prostorna obilježja diskutirana su usporedbom s mjerenjima. Kod procjene vrijednosti klimatskih parametara na lokacijama na kojima nema mjerenja regresijski kriging kombinira višestruku regresiju ovisnu o klimatskim faktorima (nadmorska visina, udaljenost

od mora, geografska širina) i interpolaciju reziduala krigingom gdje su reziduali razlike izmjerenih vrijednosti i procjena regresijom. Korištene su statističke mjere koeficijenta determinacije ( $R^2$ ) za procjenu uspješnosti regresijskog modela i korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE) za ocjenu modela regresijskog kriginga (Perčec Tadić, 2010). Osim statistički mjera važna je i vizualna usporedba mjerenja i interpoliranih mjesečnih vrijednosti. Znanstveni rad s detaljnim opisom metodologije i verifikacije uspješnosti je u izradi (Perčec Tadić, 2021). Kompletna polja biti će dostupna nakon objavljivanja znanstvenog rada. Iz srednjih mjesečnih vrijednosti razdoblja 1981. – 2010. pripremljeni su i gridovi srednjih godišnjih vrijednosti kalendarske i hidrološke godine. Normala hidrološke godine pri tome se odnosi na nizove hidroloških godina od 1981./1982. do 2010./2011. Prostorne raspodjele meteoroloških parametara dane su za otok Cres i Korčulu te šire područje Zadra. Diskutirana je reprezentativnost pojedine meteorološke postaje za ocjenu klime šireg pilot područja koja ovisi prvenstveno o rasponu nadmorskih visina područja i samom položaju meteorološke postaje. Nadmorske visine prikazane su digitalnim modelom terena rezolucije 1000 m koji je korišten i kao prediktor kod regresijskog kriginga. U prilogima 2 i 3 nalaze se detalji dostave podataka s opisom dostavljenih mapa i datoteka.

U analizi klimatskih simulacija za povijesnu i buduću klimu korišten je ansambl regionalnih klimatskih modela iz EURO-CORDEX inicijative (Jacob i sur. 2014, Kotlarski i sur. 2014) te simulacije izrađene za potrebe izrade *Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu* (MZOE, 2017). Popis svih korištenih modela dan je u Prilogu 1. Numerička prostorna diskretizacija u korištenim regionalnim klimatskim modelima dana je prostornim korakom od 12.5 km, čime se ostvaruje realistično uvažavanje osnovnih lokalnih klimatskih faktora. Simulacije su analizirane za razdoblje 1971.–2070. iako neki od korištenih modela sadržavaju ranija i kasnija razdoblja. Rubni i početni uvjeti regionalnih klimatskih modela su zadani simulacijama CMIP5 globalnih klimatskih modela (Taylor i sur. 2012). Za povijesno razdoblje 1971.–2005. globalni i regionalni klimatski modeli koriste izmjerene vrijednosti koncentracija stakleničkih plinova. Za razdoblje 2006.–2070. isti modeli koriste RCP scenarije koncentracija stakleničkih plinova (Moss i sur. 2010). U ovom izvješću korištena su tri RCP scenarija: RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5. Jednu simulaciju razdoblja od 1971. do 2005. čini jedinstvena kombinacija izmjerenih koncentracija stakleničkih plinova te globalni klimatski model koji daje rubne uvjete regionalnom klimatskom modelu. Za razdoblje od 2006., koriste se navedeni RCP scenariji te je moguće imati istu kombinaciju globalnog i regionalnog klimatskog modela uz tri različita scenarija. U praksi, zbog ograničenih računalnih kapaciteta nisu ostvarene kombinacije svih postojećih scenarija te globalnih i klimatskih modela. Stoga, u ovom izvješću koristimo 14 dostupnih kombinacija za scenarij RCP2.6 (Prilog 1., Tablica 7.1), 22 dostupne kombinacije za scenarij RCP4.5 (Prilog 1., Tablica 7.2) te 39 dostupnih kombinacija za scenarij RCP8.5 (Prilog 1., Tablica 7.3).

Za izdvojiti je još tri metodološka elementa u analizi klimatskih simulacija u ovom izvješću:

(1) iako se prijelaz iz povijesnih simulacija u projekcije u modelima događa (prema protokolima CMIP i CORDEX inicijativa) u prijelazu s 2005. na 2006. a povijesna klima u analizi mjerenja je definirana kao razdoblje od 1981. do 2010., ovdje je definirano isto referentno razdoblje i za klimatske modele. Uključivanje 5 godina iz pojedinog RCP scenarija ne utječe značajno na referentnu klimu pojedinog modela jer su razlike između RCP scenarija manjeg intenziteta u prvim desetljećima 21. stoljeća. Ipak, kako bismo jasno razdvojili utjecaj RCP scenarija, analiza uspješnosti

regionalnih klimatskih modela u povijesnom referentnom razdoblju provedena je pojedinačno za svaki RCP scenarij.

(2) Za potrebe hidrološkog modeliranja unutar projekta UKV provedeno je statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka u vremenskim nizovima mjesečne temperature zraka na 2 m (aditivna korekcija) i mjesečnih količina oborine (relativna korekcija). Korištena metodologija je opisana u Gajić-Čapka i sur. (2018). Za potrebe analiza ovog izvješća rezultati regionalnih klimatskih modela su direktno statistički obrađeni u odnosu na DHMZ mjerenja te su u izvješću demonstrirani efekti statističkih obrada na razlike između projekcija za buduće razdoblje 2041.–2070. u odnosu na referentno povijesno razdoblje 1981.–2010. te utjecaj iste obrade na linearni trend godišnje temperatura zraka na 2 m i godišnjih količina oborine kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070.

(3) Rezultati regionalnih klimatskih modela mogu se prikazivati pojedinačno ili statističkom obradom ansambla. U ovom izvješću će biti korištena oba prikaza ovisno o analizi. U slučaju statistike ansambla, korištene su tri mjere:

(3.1) srednjak ansambla: srednjak svih simulacija povijesne klime odnosno projekcija buduće klime ovisno o vremenskom razdoblju,

(3.2) raspon ansambla: definiran minimalnom i maksimalnom vrijednošću sustavne pogreške ili signala klimatskih promjena za pojedinačni mjesec ili razdoblje,

(3.3) rasap ansambla: standardna devijacija svih simulacija povijesne klime odnosno projekcija buduće klime ovisno o vremenskom razdoblju. Ovu standardnu devijaciju na razini članova ansambla klimatskih modela je potrebno razlikovati od standardne devijacije mjesečnih vrijednosti u pojedinom klimatskom modelu.

## 2. Pilot područje Vransko jezero na otoku Cresu

Klima pilot područja Vransko jezero na otoku Cresu analizirana je prema podacima iz razdoblja 1981. – 2010. meteorološke postaje Cres ( $h = 5$  m,  $\varphi = 44^{\circ}57'$  N,  $\lambda = 14^{\circ}25'$  E) najbliže predmetnom pilot području (Pog. 2.1). Klimatske prilike detaljnije su prikazane gridovima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine (Pog. 2.2). Buduća klima i klimatske promjene prikazani su rezultatima klimatskih simulacija za povijesnu i buduću klimu. Korišten je ansambl regionalnih klimatskih modela iz inicijative EURO-CORDEX (Jacob i sur. 2014, Kotlarski i sur. 2014) te simulacije izrađene za potrebe izrade Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (MZOE, 2017) (Pog. 2.3).

### 2.1. Klimatološki podaci meteorološke postaje Cres

U ovom poglavlju prikazane su opće klimatske karakteristike na području Vranskog jezera na otoku Cresu te anomalije i opažene promjene temperature zraka i količine oborine. Godišnji hodovi pojedinog klimatološkog elementa i njihova međugodišnja varijabilnost analizirani su prema podacima meteorološke postaje Cres za referentno klimatološko razdoblje 1981.–2010. (potpoglavljje 2.1.1), dok je analiza trenda te ocjena sušnosti/kišnosti za pojedinu godinu provedena za najdulje raspoloživo razdoblje podataka, 1951.–2019. (potpoglavljje 2.1.2). Rezultati su uspoređeni s ranijom klimatološkom analizom na području Vranskog jezera koja je provedena za potrebe projekta CC-Waters (Gajić-Čapka i sur. 2010), a za koju je korišteno referentno klimatološko razdoblje 1961.–1990.

#### 2.1.1. Opće klimatske karakteristike

Otok Cres nalazi se veći dio godine u cirkulacijskom području umjerenih širina s čestim i intenzivnim promjenama vremena. Glavni modifikator klime tog područja je more, a uz neposredan utjecaj ciklogenetičkog djelovanja južne strane Alpa u kombinaciji s djelovanjem Sredozemlja osobito s područja Đenovskog zaljeva (poznata đenovska ciklona) i sjevernog Jadrana, važan modifikator klime je i jako razvijena orografija Dinarida. Ljeti je otok Cres pod utjecajem azorske anticiklone koja „sprječava” dolazak atmosferskih poremećaja i često dolazi pod utjecaj suptropskoga pojasa koji se zbog prividnog gibanja Sunca ljeti prema sjeveru (na sjevernoj hemisferi) također premješta prema sjeveru (Zaninović i sur. 2008). Prema Köppenovoj klasifikaciji klime (Kottek i sur. 2006; Penzar i Makjanić, 1978), koja uvažava bitne odlike srednjeg godišnjeg hoda temperature zraka i oborine, otok Cres ima umjereno toplu kišnu klimu (C) kojoj odgovara srednja temperatura najhladnijeg mjeseca viša od  $-3^{\circ}\text{C}$  i niža od  $18^{\circ}\text{C}$ . Najsuši mjesec je u toplom dijelu godine (od travnja do rujna) s manje od 40 mm oborine koja je bar tri puta manja od one koja pripada najkišovitijem mjesecu u hladnom dijelu godine (oznaka *s*). Ljeta su vruća sa srednjom temperaturom najtoplijeg mjeseca višom od  $22^{\circ}\text{C}$  (oznaka *a*). Konačna Köppenova oznaka za klimu na području Cresa je *Csa*.

Srednji godišnji hod **temperature zraka** na postaji Cres ima jasan valni oblik s maksimumom u srpnju ( $24.6^{\circ}\text{C}$ ), te minimumom u siječnju ( $6.2^{\circ}\text{C}$ ) (Slika 2.1.1.1 a). Utjecaj mora na godišnji hod temperature zraka očituje se u sporom jesenjem ohlađivanju i još sporijem proljetnom grijanju, tako da je proljeće hladnije od jeseni (Tablica 2.1.1.1). Vrijednosti standardnih devijacija, koje

predstavljaju prosječno odstupanje od klimatskog srednjaka, upućuju na podjednaku stabilnost temperature zraka tijekom godine, no ipak nešto manju u veljači i ožujku (1.6 °C i 1.7 °C), a veću u travnju i listopadu (1.1 °C) (Slika 2.1.1.1 b). Srednja godišnja temperatura zraka za postaju Cres iznosi 14.7°C, a vrijednosti srednje godišnje temperature u 30-godišnjem razdoblju bile su od 13.8°C do 15.7°C. U tablici 2.1.1.1 navedene su i vrijednosti percentila koji određuju (empirijsku) vjerojatnost prekoračenja ekstremnih vrijednosti temperature zraka. Razlika između 2. i 98. percentila veća je u toplom dijelu godine nego u hladnom što je suprotno od rezultata dobivenih za ranije klimatološko razdoblje, 1961. – 1990. (Gajić-Čapka i sur. 2010). Naime, u odnosu na ranije razdoblje, vrijednosti ovih razlika su se u novijem razdoblju smanjile zimi i u jesen, a povećale u proljeće i ljeto. Pogledamo li odstupanja između medijana (50. percentila) i 2., odnosno 98. percentila, koje bi u slučaju normalne i stacionarne razdiobe trebale biti jednake, u proljeće je uočeno veće odstupanje 98. percentila od medijana nego što je to slučaj za lijevi dio razdiobe, ukazujući na povećanje asimetrije proljetne razdiobe srednje dnevne temperature zraka.

**Tablica 2.1.1.1** Osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, maksimum, minimum i percentili) sezonske i godišnje srednje dnevne temperature zraka (u °C) na postaji Cres, za razdoblje 1981.–2010.

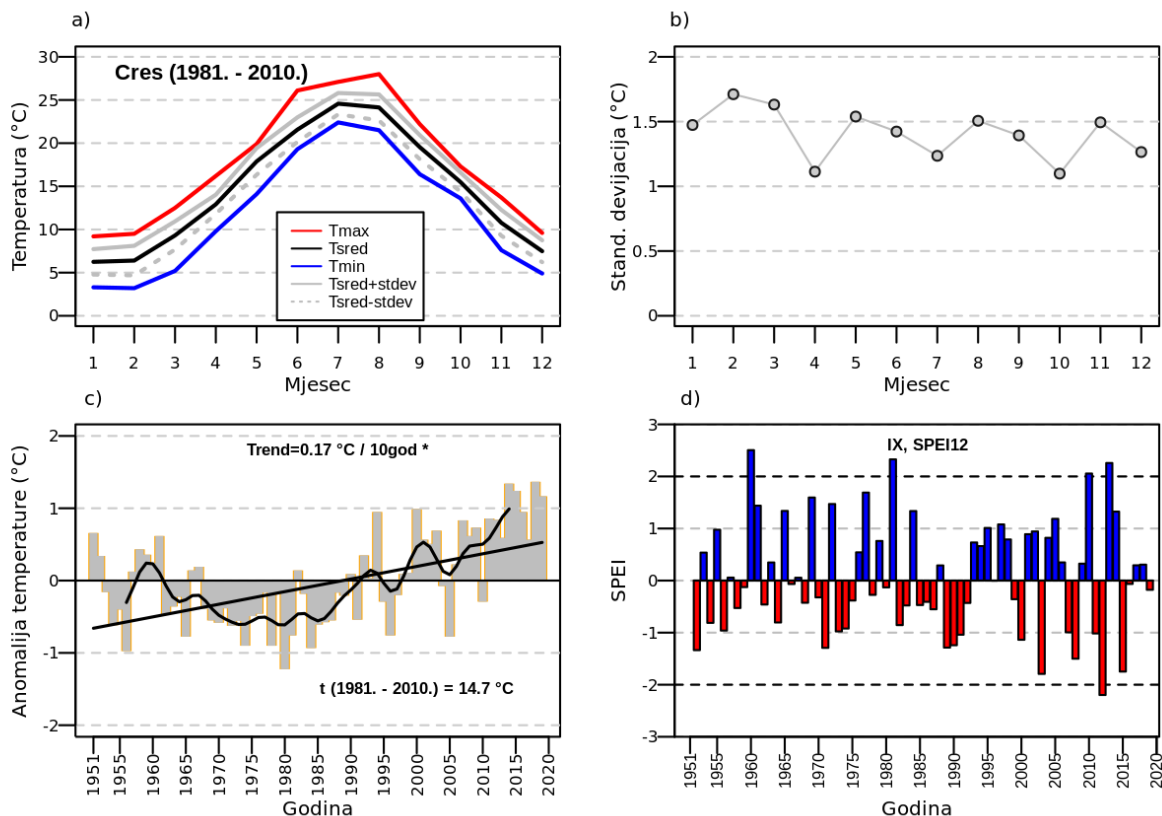
	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Godina
sred	6.7	13.4	23.4	15.3	14.7
stdev	1.1	1.0	1.0	0.8	0.5
maks	9.2	15.8	26.9	16.8	15.7
min	5.0	11.0	21.4	13.7	13.8
Percentili					
1.	5.1	11.2	21.5	13.8	13.8
2.	5.2	11.3	21.6	13.9	13.9
5.	5.4	11.9	21.9	14.1	13.9
10.	5.6	12.5	22.4	14.3	13.9
50.	6.3	13.4	23.4	15.1	14.7
90.	8.1	14.6	24.3	16.6	15.4
95.	8.5	14.9	24.6	16.7	15.6
98.	8.9	15.3	25.7	16.7	15.7
99.	9.1	15.6	26.3	16.8	15.7

Odnos količine **oborine** toplog i hladnog dijela godine ukazuje na maritimni tip oborinskog režima na području Cresa, s većom količinom oborine u hladnom nego u toplom dijelu godine i minimumom ljeti (Slika 2.1.1.2 a). Stoga i empirijska razdioba percentila sezonskih količina oborine i njihovo odstupanje od medijana ukazuje na veće vrijednosti tijekom jesenskih i zimskih mjeseci (Tablica 2.1.1.2). Prosječno godišnje padne 1099.5 mm oborine, a od toga oko 60 % padne u hladnom dijelu godine (jesen i zima) kada se mogu očekivati najintenzivnije dnevne količine oborine.

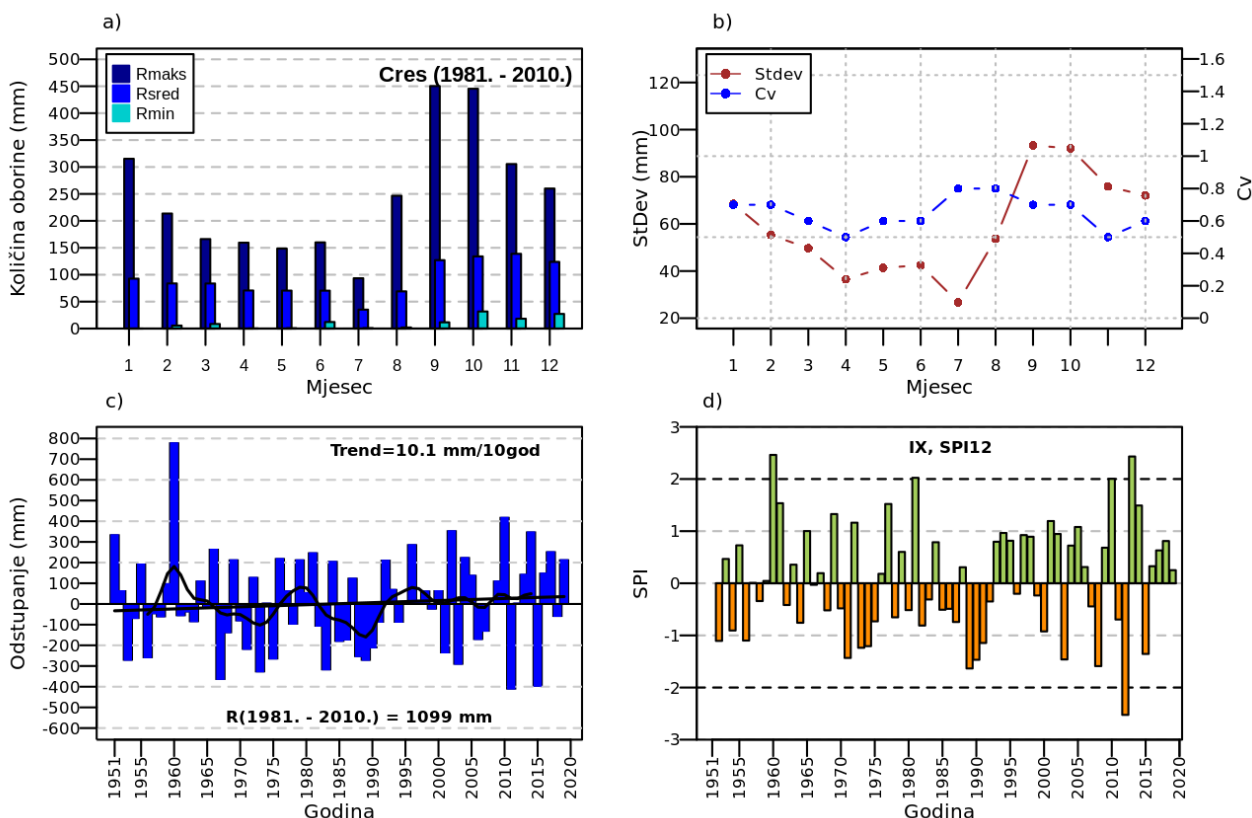
Maksimum oborine tijekom godine nastupa u studenom (138.8 mm) dok je srpanj mjesec s najmanjom količinom oborine (35.2 mm) (Slika 2.2a). U analiziranom 30-godišnjem razdoblju maksimalna mjesečna količina oborine zabilježena je u rujnu 1998. godine (450.4 mm) i bila je gotovo četiri puta veća od prosječne rujanske količine oborine. Vrijednosti koeficijenta varijacije upućuju na najmanju međugodišnju promjenljivost oborine u proljeće (20 %), dok se u ostalim sezonama kreće od 40 % (jesen) do 50 % (zima i ljeto). Ipak, na mjesečnoj razini, promjenjivost od godine do godine varira u rasponu od 51 % (travanj) do 76 % (kolovoz) (Slika 2.1.1.2 b). Godišnje količine oborine su stalnije od sezonskih i mjesečnih s promjenljivošću od 18 %. Godišnja količina oborine preko 1353.3 mm može se očekivati prosječno jednom u 10 godina, dok 50-godišnja povratna vrijednost iznosi 1483.1 mm. Proljetna i ljetna količina oborine koja odgovara 10-godišnjoj i većoj povratnoj vrijednosti ( $\geq 90$ . percentil) su sličnih vrijednosti (260.5 mm i 292.8 mm). Za cijeli raspon percentila, najveće su jesenske količine oborine. Razlike između jesenskih i zimskih vrijednosti, za povratne periode dulje od 10 godina, kreću se u rasponu od 140.3 do 198.5 mm. U usporedbi s ranijim razdobljem, 1961.–1990. (Gajić-Čapka i sur. 2010), te razlike su u novijem razdoblju znatno veće, što ukazuje na jesensko povećanje oborine. S druge strane, ekstremno sušne godine odnosno sezone su one u kojima je zabilježena količina oborine manja od pripadnog 2. percentila. Te vrijednosti su, u godišnjem hodu, najmanje u ljetnim mjesecima, i smanjene su u usporedbi s ranijim klimatološkim razdobljem što ukazuje na osušenje u ljetnim mjesecima na području Cresa.

**Tablica 2.1.1.2** Osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, koeficijent varijacije, maksimum i minimum i percentili razdiobe) sezonske i godišnje količine oborine (u mm) na postaji Cres, za razdoblje 1981. – 2010.

	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Godina
sred	298.4	224.8	174.6	399.7	1099.5
stdev	137.2	55.5	84.8	170.5	202.6
cv	0.5	0.2	0.5	0.4	0.18
maks	718.1	333.4	454.1	778.0	1520.4
min	73.5	118.9	22.9	124.8	778.4
Percentili					
1.	83.1	119.2	39.1	134.4	786.3
2.	92.8	119.5	55.4	144.1	794.2
5.	109.4	129.5	79.2	172.4	814.2
10.	147.2	152.6	89.4	209.6	840.8
50.	276.5	227.9	156.9	355.9	1107.4
90.	439.9	292.8	260.5	638.4	1353.3
95.	545.6	317.5	310.5	712.5	1425.8
98.	619.8	326.8	379	760.1	1483.1
99.	668.9	330.1	416.6	769.1	1501.8



**Slika 2.1.1.1** (a) Godišnji hod srednje, srednje minimalne i maksimalne mjesečne temperature zraka i (b) standardne devijacije i koeficijenta varijacije u razdoblju 1981.–2010. (c) Vremenski niz odstupanja srednjih godišnjih vrijednosti temperature zraka od srednjaka, linearni trend (crna linija) i binomni klizni srednjak (crna krivulja) te (d) vrijednosti standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (SPEI) na 12-mjesečnoj skali za rujan (hidrološka godina), na postaji Cres za razdoblje 1951.–2019.



**Slika 2.1.1.2** (a) Godišnji hod srednje količine oborine i (b) standardne devijacije u razdoblju 1981. – 2010. (c) Vremenski niz odstupanja godišnjih količina oborine od srednjaka, linearni trend (crna linija) i binomni klizni srednjak (crna krivulja) te (d) vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (SPI) na 12-mjesečnoj skali za rujan (hidrološka godina), na postaji Cres za razdoblje 1951.–2019.

## 2.1.2. Klimatske anomalije i trend

Na slici 2.1.1.1c prikazane su godišnje anomalije srednje dnevne temperature zraka u odnosu na referentni srednjak (1981.–2010.) na postaji Cres te iznos linearnog trenda za razdoblje 1951.–2019. Tab 2.1.2.1). Najveći doprinos godišnjem porastu temperature zraka dolazi od statistički značajnog porasta srednje dnevne temperature zraka u toplom dijelu godine kad je zabilježen statistički značajan trend u iznosu od  $0.26^{\circ}\text{C}/10$  god ljeti odnosno  $0.19^{\circ}\text{C}/10$  god u proljeće. Zatopljenje je uočeno i u hladnom dijelu godine, ali u iznosu manjem od  $0.1^{\circ}\text{C}/10$  god. Porast godišnje temperature zraka osobito je izražen od početka 21. stoljeća kad je u čak 16 godina odstupanje od srednjaka bilo pozitivno. Najtoplije godine na području Cresa bile su 2014. i 2018.

Odstupanje godišnjih količina oborine od srednjaka ne ukazuju na tako izražen trend kao u slučaju temperature zraka. Uočen je blagi porast godišnje količine oborine ( $10.1$  mm/10 god) koji nije statistički značajan (Tab 2.1.2.1 i Slika 2.1.1.2c). Taj porast je posljedica porasta jesenske količine oborine, dok je u ostalim sezonama trend količine oborine negativan, i to nešto veći ljeti ( $-9.1$  mm/10 god) nego u proljeće i zimi ( $-3.5$  mm/10 god). Jesenski porast količine oborine odražava se u povećanim vrijednostima percentilnih vrijednosti većih od medijana (50. percentil) u odnosu na ranije klimatološko razdoblje 1961.–1990. (Gajić-Čapka i sur. 2010).

Na komponente vodne ravnoteže najviše utječe kombinacija promatranih meteoroloških parametara. Povećanje temperature zraka na području Cresa uzrokuje pojačano isparavanje odnosno smanjenje razine Vranskog jezera. Ovo je dominantno ljeti, kada je sezonska oborina najniža, a

postoji i tendencija smanjenja ljetne količine oborine. Manjak oborine ljeti također može uzrokovati nedostatak vode u lokalnim izvorima.

Anomalije količine oborine na razini hidrološke godine (od listopada do rujna) analizirane su pomoću vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa i standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (SPEI) za mjesec rujna na 12-mjesečnoj skali (SPI-12, SPEI-12). U analiziranom 69-godišnjem razdoblju, najveće negativno odstupanje indeksa SPEI ( $SPEI-12 < -2$ ) zabilježeno je 2011. godine, a najvlažnije hidrološke godine ( $SPEI-12 > 2$ ) bile su 1959., 1980. i 2013. I vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (SPI-12) pokazuju da je najsušnija hidrološka (ali i kalendarska) godina bila 2011. ukazujući na to da je uzrok sušnosti uglavnom bio deficit oborine.

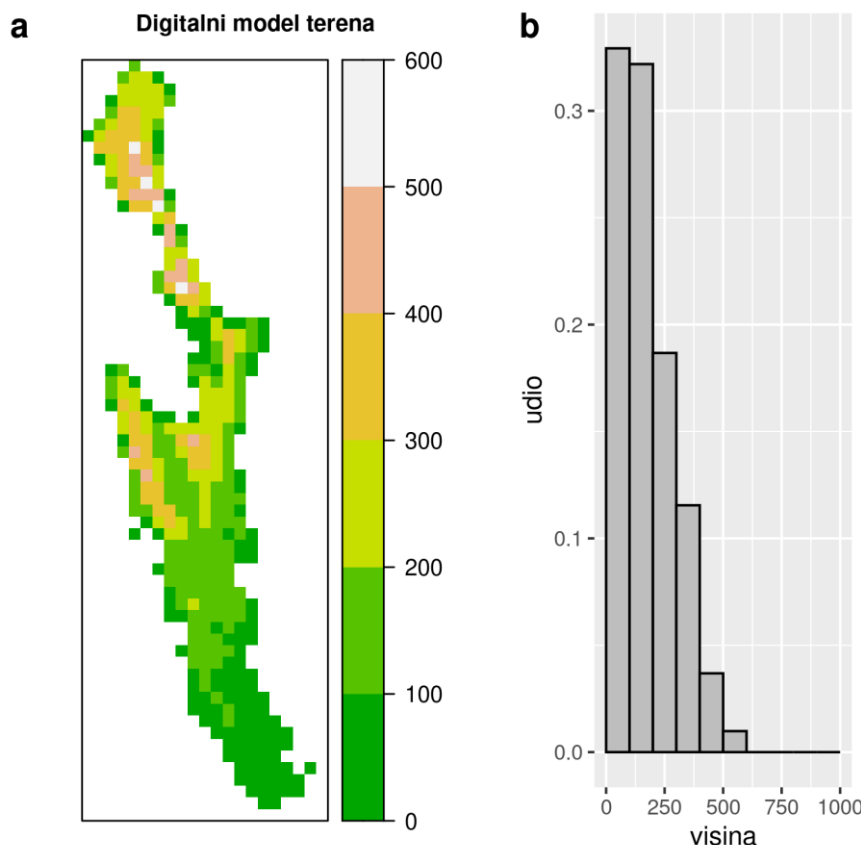
**Tablica 2.1.2.1** Rezultati trenda srednje sezonske i godišnje temperature zraka ( $t$ ) i količine oborine ( $R$ ) na postaji Cres, razdoblje 1951. – 2019. Vrijednosti statistički značajnog trenda su podebljane.

	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Godina
$t$ (°C/10 god)	0.07	<b>0.19</b>	<b>0.26</b>	0.09	<b>0.17</b>
$R$ (mm/10 god)	-3.5	-3.5	-9.1	13.1	10.1
$R$ (%/10 god)	-1.2	-2.0	-3.0	3.3	0.9

## 2.2. Gridovi srednje temperature zraka i količine oborine

Prostorna raspodjela temperature zraka i količine oborine dominantno ovisi o geografskim obilježjima, posebno o nadmorskim visinama. U pravilu je na manjim visinama toplije, a na višim hladnije, uz vrijednost vertikalne stope ohlađivanja od približno  $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Kod prostorne raspodjele oborine manje kiše obično imaju nizinska područja, a više brdska i planinska.

### 2.2.1. Digitalni model terena

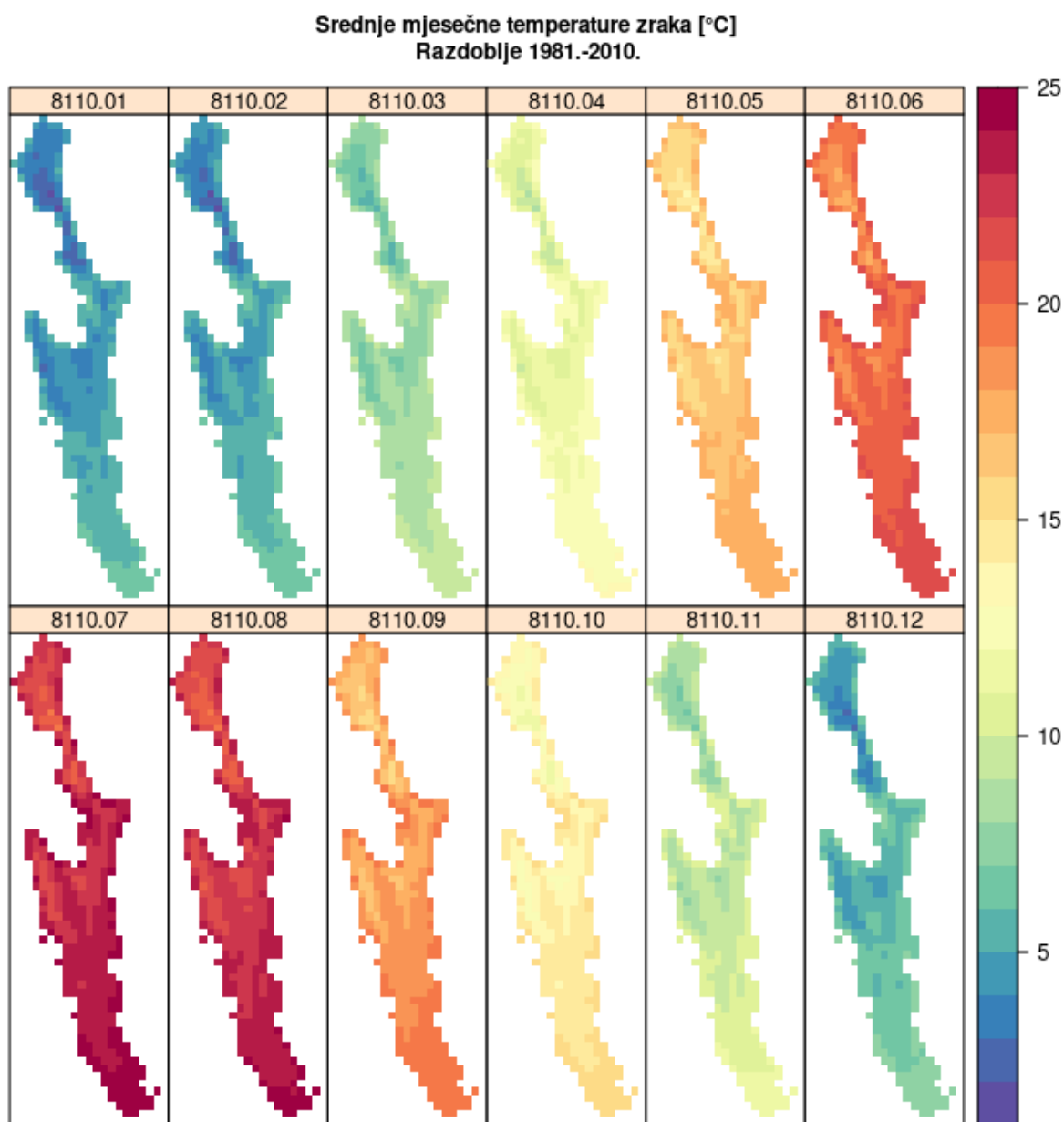


Slika 2.2.1.1 (a) Digitalni model terena i (b) histogram visina.

Prema korištenom digitalnom modelu terena rezolucije 1000 m površina otoka Cresa iznosi  $407\text{ km}^2$ . Najniža područja otoka Cresa nalaze se na 17 m n.v., a najviša su na 589 m n.v. Južni dio otoka i obala su niži dok su u centralnom i sjevernom dijelu otoka viši predjeli (Slika 2.2.1.1a). Histogram udjela nadmorskih visina prema razredima visina od 100 m (Slika 2.2.1.1b) pokazuje da je 33 % područja otoka Cresa na nadmorskim visinama do 100 m, 32 % na visinama od 100-200 m dok je ostatak područja na visinama iznad 200 m. Time podaci postaje Cres, koja se nalazi na 5 m nadmorske visine, nisu reprezentativni za oko 35 % površine otoka te se ukazuje na vrijednost gridova u procjeni klimatskih osobitosti područja na kojima nema mjerenja. Stoga su klimatske prilike razdoblja 1981. – 2010. detaljnije prikazane gridovima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine. Godišnje vrijednosti dane su za kalendarsku i hidrološku godinu (listopad-rujan).

## 2.2.2. Temperatura zraka

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.2.2.1, a detaljnije su u tablici 2.2.2.1 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih gridova. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Cres, temperature zraka izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tab. 2.2.2.1) usporedive su s najvišim vrijednostima iz gridova (stupac gr.maks) koje odgovaraju temperaturama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne vrijednosti temperature zraka su u siječnju, a najviše u srpnju. Srednja godišnja temperatura zraka je od 10.3°C na najvišim predjelima do 14.9°C uz obalu i na južnom nizinskom dijelu otoka uz srednjak na otoku od 13.4°C. Razlike mjerenja i vrijednosti iz grida na lokaciji postaje Cres ne prelaze 0.2°C što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.

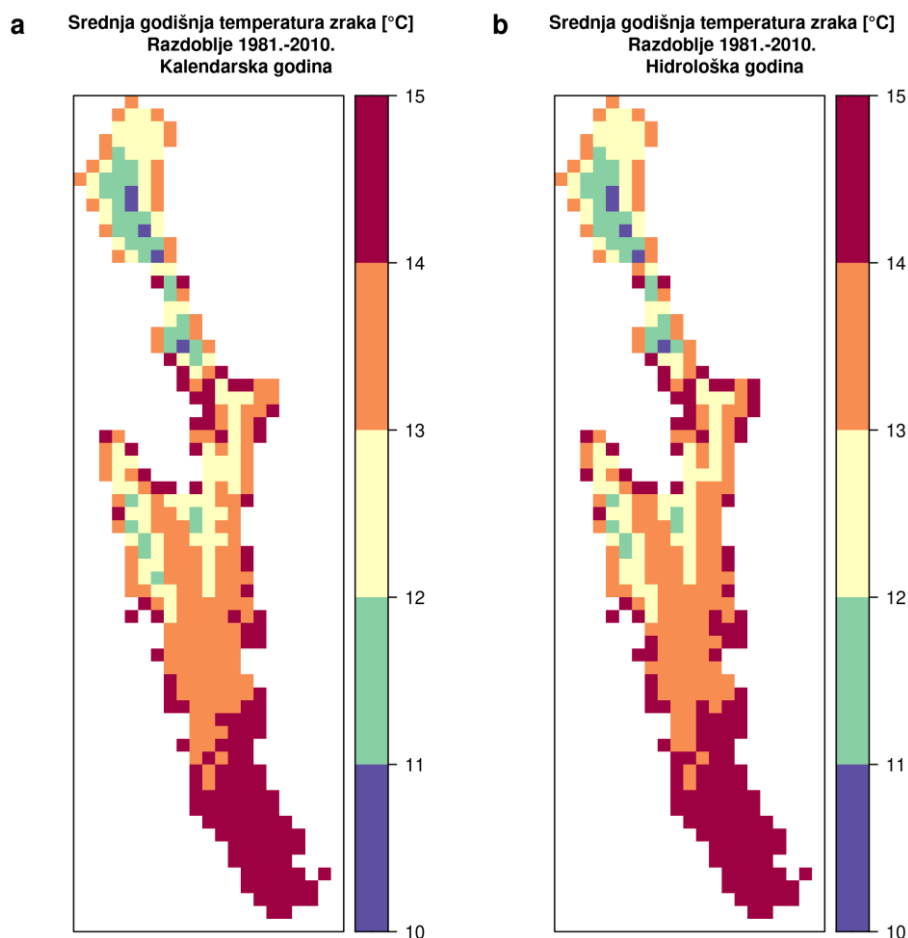


**Slika 2.2.2.1** Srednje mjesečne temperature zraka za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom razdoblja (8110) i mjeseca (01,...,12).

**Tablica 2.2.2.1** Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz grida (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti temperature zraka iz gridova za otok Cres, za razdoblje 1981. – 2010.

mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks
01	6.2	6.1	0.1	1.5	4.8	6.3
02	6.4	6.3	0.1	1.9	5.1	6.5
03	9.3	9.2	0.1	5.1	8.2	9.5
04	12.9	12.8	0.1	8.8	11.8	13.0
05	17.9	17.7	0.2	13.7	16.7	17.9
06	21.6	21.4	0.2	17.1	20.3	21.6
07	24.6	24.4	0.2	19.9	23.2	24.5
08	24.1	23.9	0.2	19.5	22.7	24.2
09	19.5	19.4	0.1	15.0	18.3	19.9
10	15.5	15.4	0.1	11.0	14.1	15.4
11	10.8	10.6	0.2	6.4	9.6	11.5
12	7.5	7.3	0.2	2.6	6.0	7.5
13	14.7	14.5	0.2	10.3	13.4	14.9

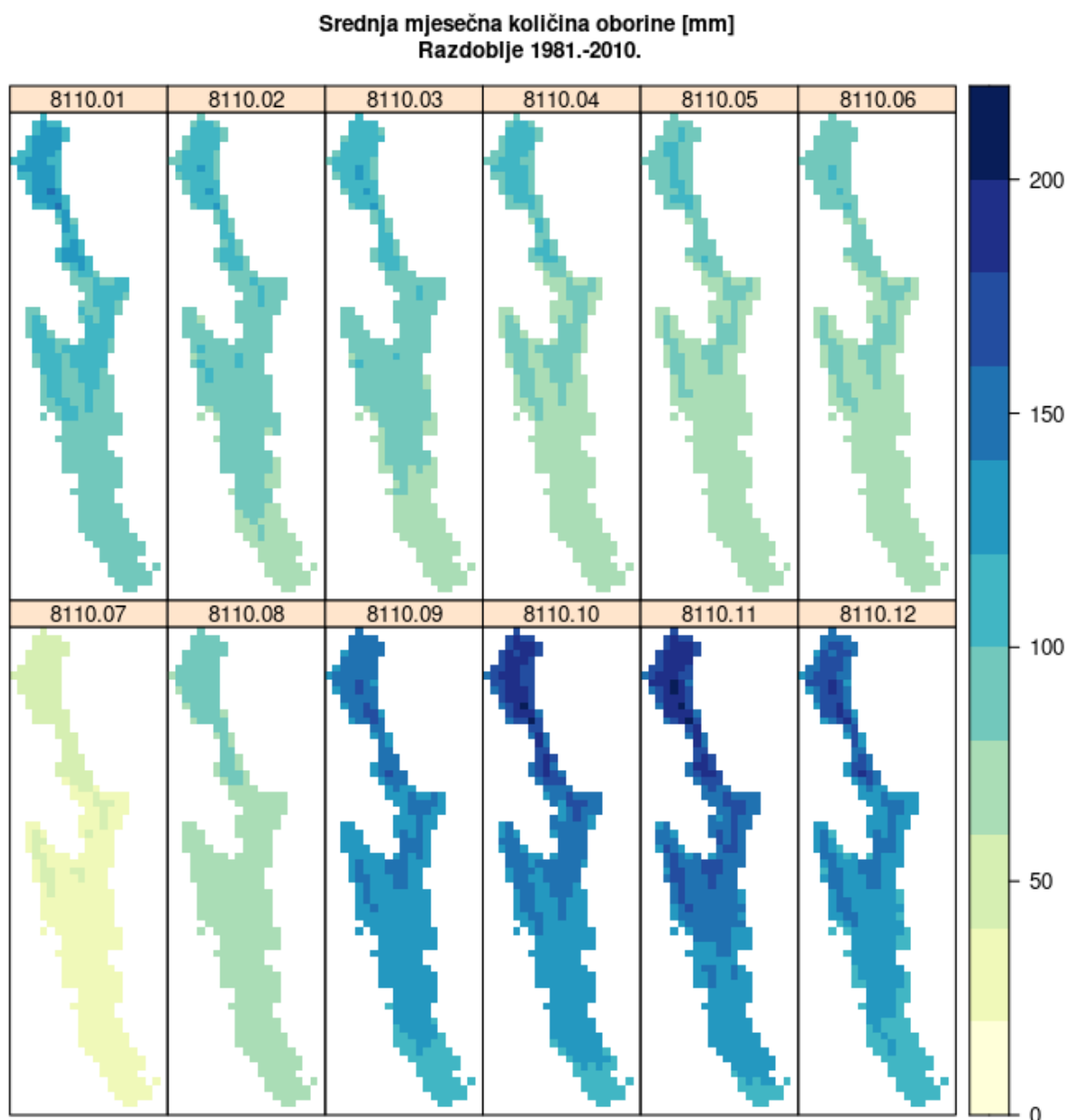
Usporedba srednjih godišnjih temperatura zraka za kalendarsku i hidrološku godinu ne otkriva značajne razlike na nivou srednjaka normale 1981. – 2010. (Slika 2.2.2.2)



**Slika 2.2.2.2** Srednja godišnja temperatura zraka za (a) kalendarsku i (b) hidrološku godinu. Razdoblje 1981. – 2010.

### 2.2.3. Količina oborine

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih količina oborine za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.2.2.2, a detaljnije su u tablici 2.2.2.2 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih gridova. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Cres, količine oborine izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tab. 2.2.2.2) usporedive su s najnižim vrijednostima iz gridova (stupac gr.min) koje odgovaraju oborinama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne količine oborine su u srpnju, a najviše u studenom. Srednja godišnja količina oborine kreće se od 980 mm na najnižim predjelima uz obalu i na južnom nizinskom dijelu otoka do 1666 mm na vršnim sjevernijim dijelovima otoka uz srednjak na otoku od 1193 mm. Apsolutne razlike mjerenja i vrijednosti iz grida na lokaciji postaje Cres ne prelaze 4.1 mm što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.

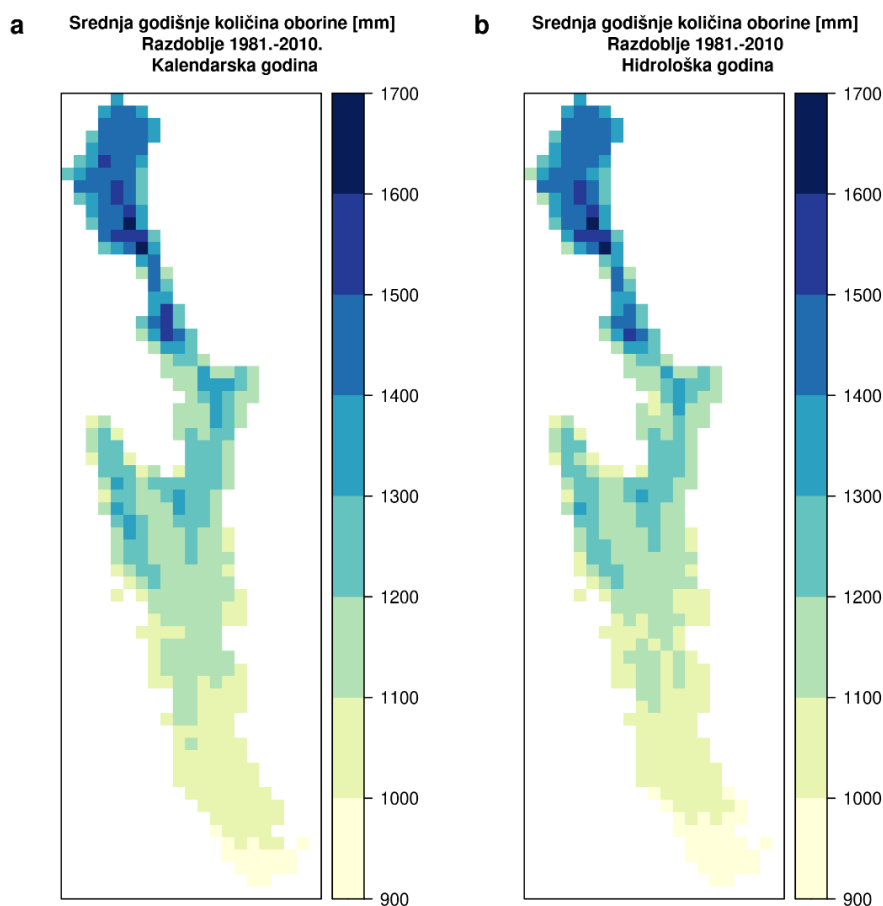


**Slika 2.2.2.3** Srednje mjesečne sume količine oborine za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom razdoblja (8110) i mjeseca (01,...,12).

**Tablica 2.2.2.2** Srednja mjesečna i godišnja količina oborine izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz grida (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti količine oborine iz gridova za otok Cres, za razdoblje 1981. – 2010.

mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks
01	92.7	93.8	-1.1	83.4	101.8	147.5
02	83.8	82.1	1.7	73.7	89.6	127.1
03	83.7	82.5	1.2	69.8	88.3	128.4
04	70.7	73.6	-2.9	67.4	81.1	118.6
05	70.5	73.9	-3.4	63.6	78.1	110.7
06	70.4	74.1	-3.7	65.6	78.5	105.3
07	35.2	36.7	-1.5	30.4	38.4	54.8
08	69.1	70.5	-1.4	60.2	73.0	93.7
09	127.0	130.0	-3.0	109.9	133.8	168.7
10	134.0	138.1	-4.1	116.3	143.7	203.1
11	138.8	140.7	-1.9	117.6	149.2	215.5
12	123.8	121.4	2.4	110.1	133.4	197.4
13	1099.5	1114.4	-14.9	980.1	1192.5	1666.3

Usporedba srednjih godišnjih količina oborine za kalendarsku i hidrološku godinu ne otkriva značajne razlike na nivou srednjaka normale 1981. – 2010. (Slika 2.2.2.4).

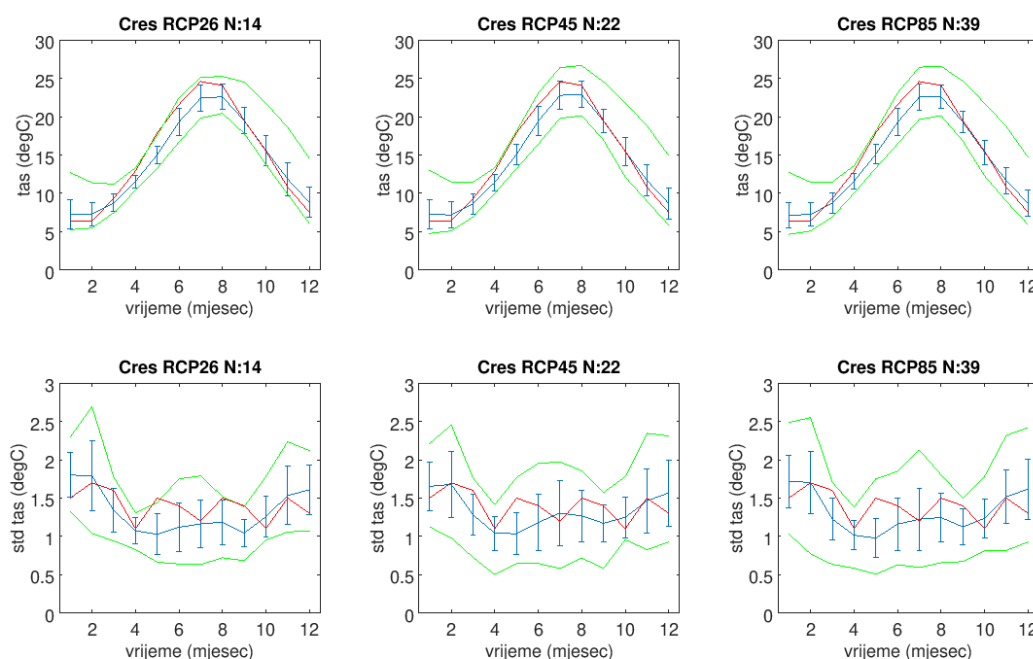


**Slika 2.2.2.4** Srednja godišnja količina oborine za (a) kalendarsku i (b) hidrološku godinu. Razdoblje 1981. – 2010.

## 2.3. Simulacije regionalnim klimatskim modelima

### 2.3.1. Simulacije povijesne klime i statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka

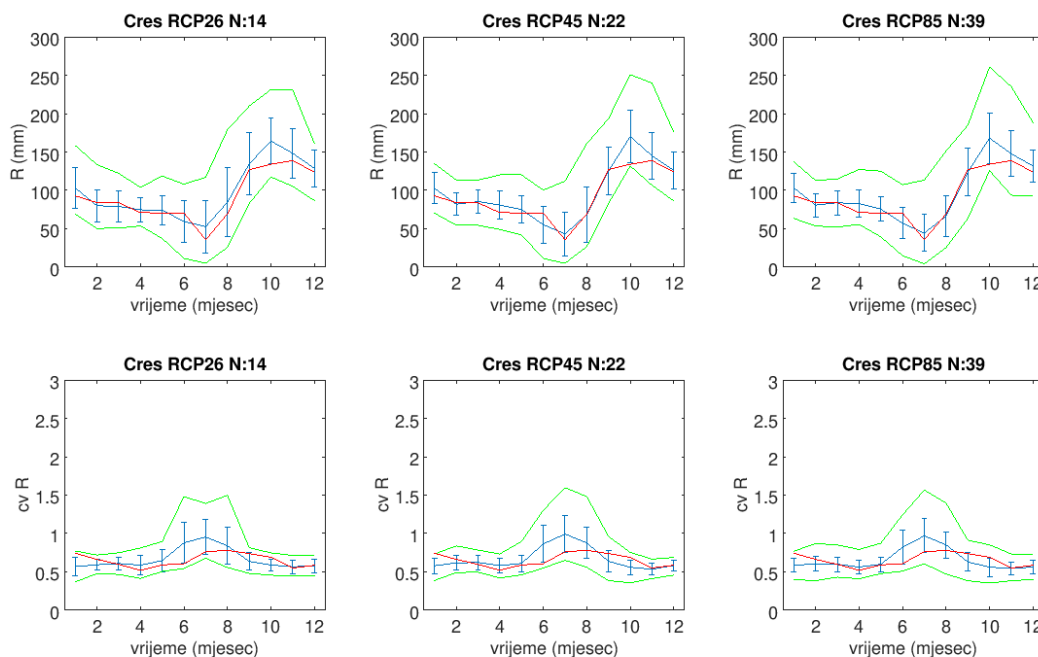
Analizirane simulacije povijesne klime upućuju na tendenciju podcjenjivanja srednje temperature zraka u toplom dijelu godine u sva tri podskupa simulacija (Slika 2.3.1.1, prvi red). U pojedinim mjesecima su mjerenja čak izvan rasapa ansambla, no i u tim mjesecima ukupan raspon simulacija regionalnih klimatskih modela sadrži izmjerene vrijednosti. Sličan odnos između rezultata na razini ansambla regionalnih klimatskih simulacija i mjerenja nalazimo i u slučaju standardne devijacije temperature zraka, gdje su odstupanja između srednjaka ansambla i mjerenja izraženija u svibnju (Slika 2.3.1.1, drugi red). Unatoč odstupanjima pojedinačnih modela od mjerenja, korištenjem ansambla regionalnih klimatskih simulacija dobiveno je realistično simuliranje osnovnih svojstava godišnjeg hoda srednje mjesečne temperature zraka i pripadne varijabilnosti.



**Slika 2.3.1.1** Godišnji hod srednje mjesečne temperature zraka (tas, u °C) (prvi red) i godišnji hod standardne devijacije mjesečne temperature zraka (std tas, u °C) (drugi red). Prvi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP2.6; drugi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP4.5; treći stupac: modeli uključeni u scenarij RCP8.5. Plavo: srednjak i standardna devijacija unutar RCM ansambla; zeleno: raspon unutar RCM ansambla; crveno: mjerenja. Razdoblje: 1981. – 2010. Izvor: mjerenja DHMZ-a i izvorne simulacije regionalnih klimatskih modela. Lokacija: Cres.

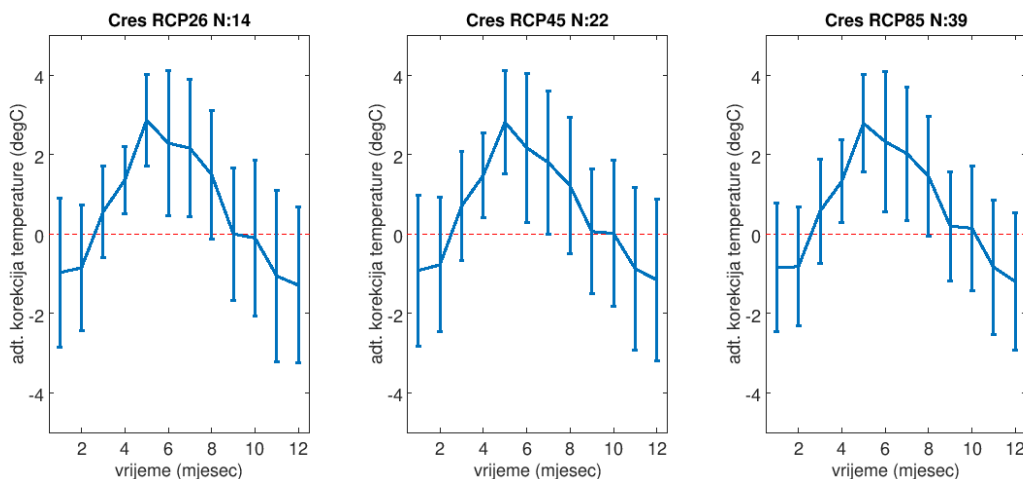
Usporedbom ansambla simulacija regionalnih klimatskih modela i mjerenja za srednju mjesečnu količinu oborine možemo zaključiti kako unatoč značajnom rasponu simuliranih vrijednosti (zelene linije) te umjerenom rasapu istih simulacija (plavi stupići), srednjak ansambla realistično prati opažene srednje vrijednosti (Slika 2.3.1.2, prvi red). Određeno precjenjivanje mjesečnih količina na razini srednjaka ansambla je prisutno u listopadu no rasap ansambla uspijeva obuhvatiti mjerenja i u tom mjesecu. U slučaju varijabilnosti mjerene koeficijentom varijacije, nalazimo određene poteškoće

u fazi i amplitudi maksimuma (Slika 2.3.1.2, drugi red). Ansambl modela daje razdoblje povećane varijabilnosti u ljetnim mjesecima, dok se u mjerenjima povećana varijabilnost javlja u jesen. Unatoč određenim ograničenjima na razini srednjaka ansambla simuliranog koeficijenta varijacije, izmjerene vrijednosti nalazimo unutar rasapa ansambla u većem dijelu godine u sva tri podskupa regionalnih klimatskih simulacija.



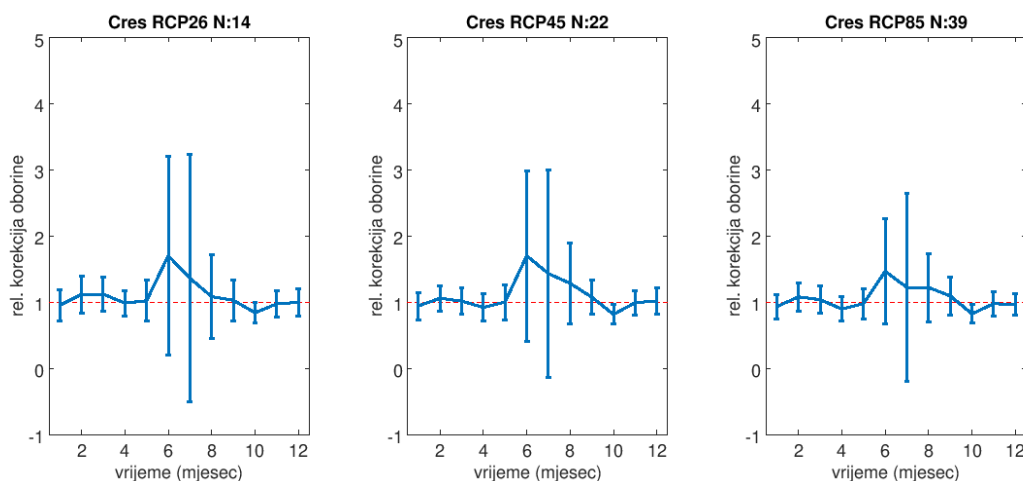
**Slika 2.3.1.2** Godišnji hod srednje mjesečne količine oborine ( $R$ , u mm; prvi red) i godišnji hod koeficijenta varijacije mjesečne količine oborine ( $cvR$ ; drugi red). Prvi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP2.6; drugi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP4.5; treći stupac: modeli uključeni u scenarij RCP8.5. Plavo: srednjak i standardna devijacija unutar RCM ansambla; zeleno: raspon unutar RCM ansambla; crveno: mjerenja. Razdoblje: 1981. – 2010. Izvor: mjerenja DHMZ i izvorne simulacije regionalnih klimatskih modela. Lokacija: Cres.

Primjenom statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka u rezultatima simulacija regionalnih klimatskih modela, omogućit će se primjena ovih simulacija kao ulaznih nizova za potrebe hidrološkog modeliranja. Za srednju temperaturu zraka određene su aditivne korekcije za svaki model i svaki mjesec (Slika 2.3.1.3). U sva tri podskupa simulacija nalazimo usporedive rezultate. Srednjak ansambla aditivnih korekcija je negativan za siječanj, veljaču, studeni i prosinac, pozitivan za ožujak, travanj, svibanj, lipanj, srpanj i kolovoz te blizak nuli za rujan i listopad. Na razini rasapa ansambla standardna devijacija aditivnih korekcija ima vrijednosti od 2 °C do 4 °C. Za većinu mjeseci rasap ansambla uključuje 0 °C, osim za razdoblje od travnja do srpnja gdje je i ranije detektirano podcjenjivanje simuliranih mjesečnih temperatura zraka u odnosu na mjerenja.



**Slika 2.3.1.3** Godišnji hod aditivne korekcije srednje mjesečne temperature zraka (°C). Prikazan je srednjak i standardna devijacija mjesečnih korekcija unutar RCM ansambla za modele koji su uključeni u scenarije RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Razdoblje: 1981. – 2010. Lokacija: Cres.

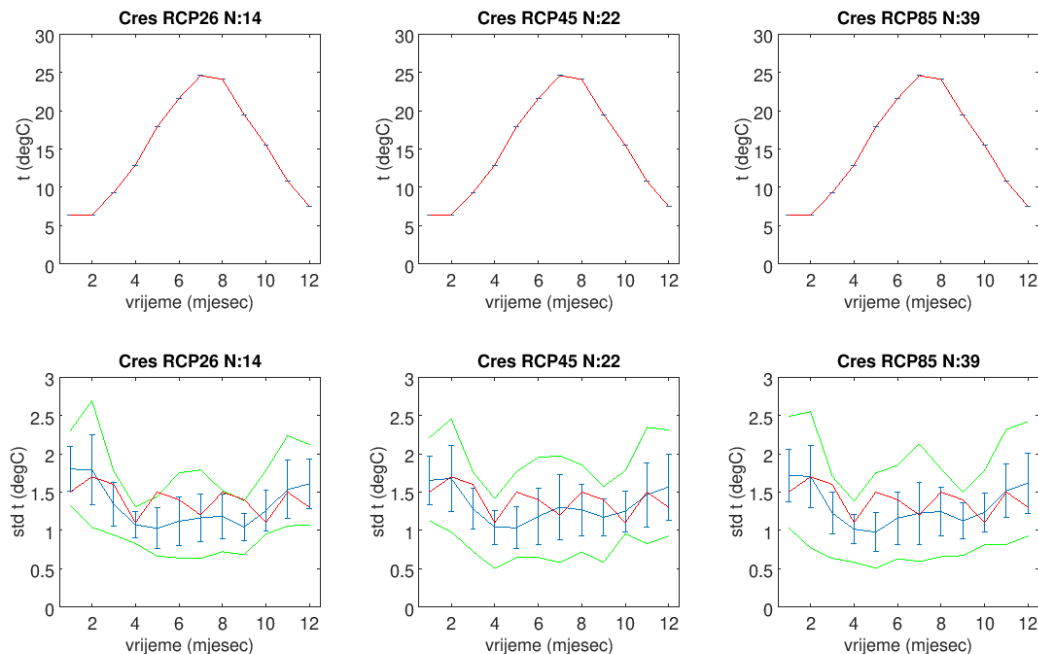
U slučaju srednje mjesečne oborine, statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka dobiva se primjenom relativnih korekcija (Slika 2.3.1.4). Srednjak i rasap ansambla relativnih korekcija (na osnovi pojedinačnih modelskih realizacija za svaki mjesec posebno) ukazuje na tri tipične situacije: (1) relativne korekcije su manje od 1.0 (bezdimenzionalna veličina) za listopad, mjesec za koji je na Slici 2.3.1.2 utvrđena tendencija precjenjivanja količine oborine, (2) relativne korekcije su izraženo veće od 1.0 za lipanj i srpanj, a rasap ansambla relativnih korekcija ističe se za iste mjesece uz dodatak kolovoza, (3) za ostale mjesece je srednjak ansambla relativnih korekcija blizak 1.0 uz rasap istog ansambla reda veličine 0.5.



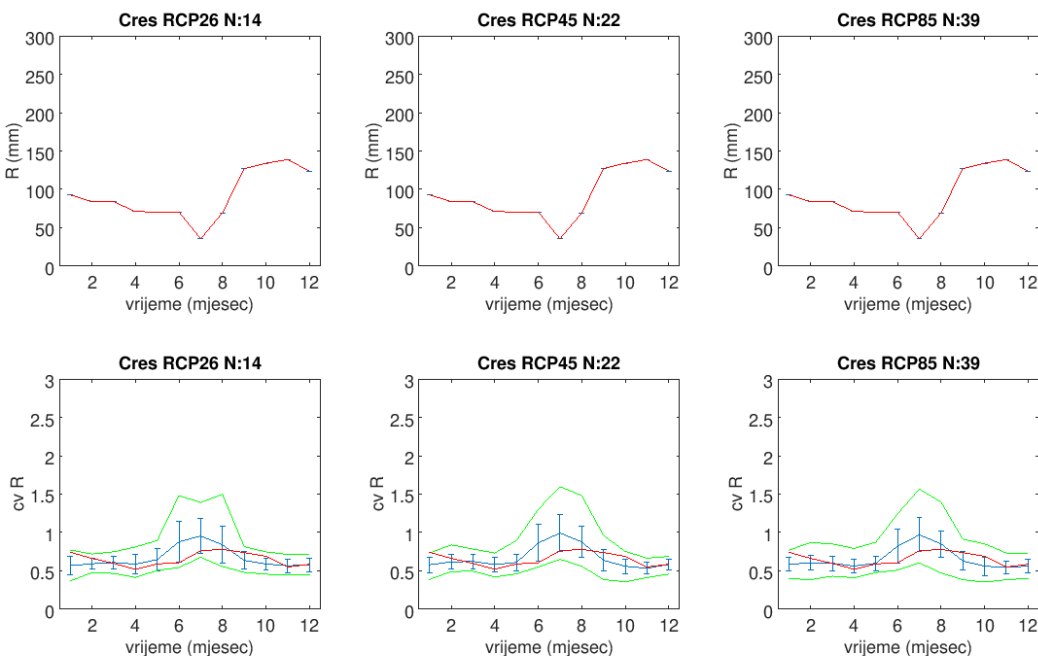
**Slika 2.3.1.4** Godišnji hod relativne korekcije srednje mjesečne količine oborine (bezdimenzionalna veličina). Prikazan je srednjak i standardna devijacija mjesečnih korekcija unutar RCM ansambla za modele koji su uključeni u scenarije RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Razdoblje: 1981. – 2010. Lokacija: Cres.

Kao dodatnu provjeru uspješnosti statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka, Slike 2.3.1.5 i 2.3.1.6 prikazuju srednju temperaturu zraka i količinu oborine te pripadnu varijabilnost izraženu standardnom devijacijom tj. koeficijentom varijacije nakon primjene aditivne tj. relativne korekcije. U slučaju srednje temperature zraka i količine oborine (prvi red Slike 2.3.1.5 i 2.3.1.6), prema

definiciji metode za statističko uklanjanje dobivamo očekivano izjednačavanje simuliranih i opaženih vrijednosti unutar razdoblja od 1981. do 2010. (ne i na razini pojedinih mjeseci unutar istog razdoblja) te je rasap ansambla 0 °C i 0 mm. Primijenjena metoda ne utječe na standardnu devijaciju simulirane temperature kao ni na koeficijent varijacije simulirane količine oborine što je potvrđeno usporedbama Slike 2.3.1.1 i Slike 2.3.1.5, tj. Slika 2.3.1.2 i Slika 2.3.1.6 (drugi red).



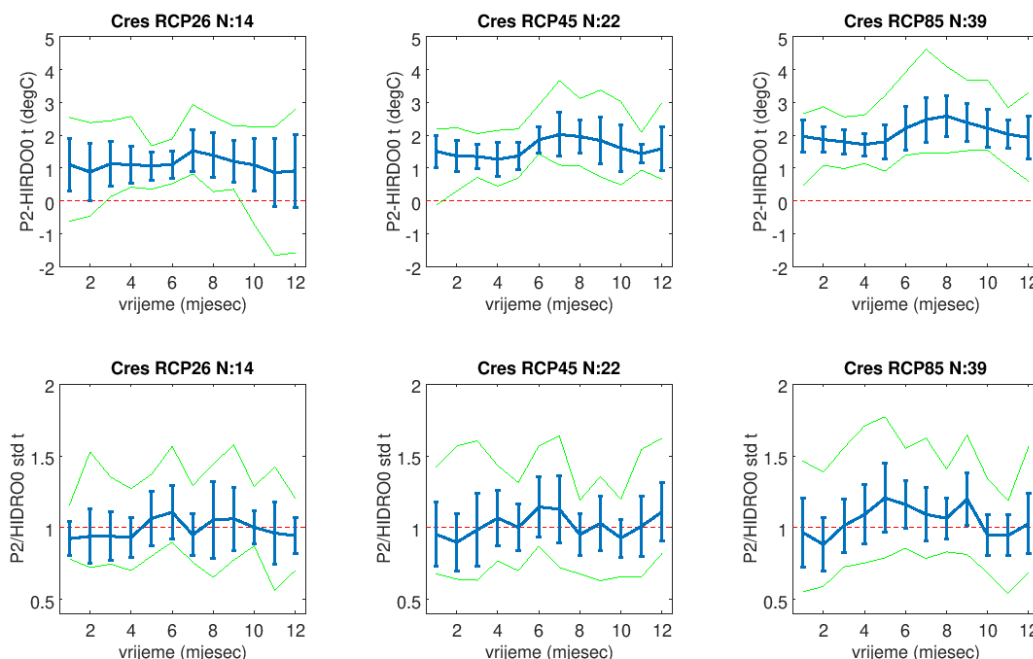
**Slika 2.3.1.5** Isto kao Slika 2.3.1.1 za *statistički obrađene* RCM simulacije. Razdoblje: 1981. – 2010. Lokacija: Cres.



**Slika 2.3.1.6** Isto kao Slika 2.3.1.2 za *statistički obrađene* RCM simulacije. Razdoblje: 1981. – 2010. Lokacija: Cres.

### 2.3.2. Simulacije buduće klime i utjecaj statističke obrade na signal klimatskih promjena

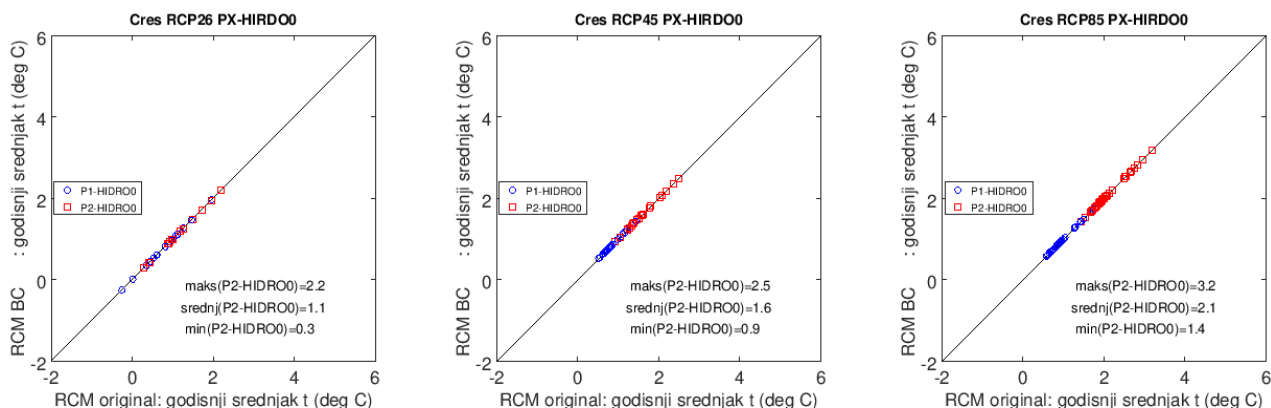
Regionalni klimatski modeli evaluirani u prethodnom poglavlju u odnosu na mjerenja DHMZ-a u razdoblju 1981. – 2010. korišteni su za procjenu signala klimatskih promjena na srednjoj mjesečnoj razini. U slučaju temperature zraka, prikazujemo razlike između simulirane srednje mjesečne temperature zraka u razdoblju 2041. – 2070. u odnosu na odabrano referentno povijesno razdoblje 1981. – 2010. (Slika 2.3.2.1, prvi red) te omjere simuliranih standardnih devijacija između ista dva razdoblja (Slika 2.3.2.1, drugi red). U slučaju srednje temperature, nalazimo relativno jednolik porast temperature tijekom čitave godine (uz izraženije zagrijavanje u ljetnim mjesecima) uz porast nivoa zagrijavanja podizanjem koncentracija od RCP2.6 do RCP8.5. U slučaju scenarija RCP2.6, nalazimo mjesece kada raspon (zeleno) i/ili rasap (plavo) ansambla uključuje negativne vrijednosti, i to u hladnom dijelu godine. Ipak, ovo nije situacija u scenariju RCP4.5 i posebno izraženo u scenariju RCP8.5. U slučaju omjera standardne devijacije temperature zraka nalazimo jačanje tendencije porasta u toplom dijelu godine podizanjem koncentracija od RCP2.6 do RCP8.5, no rasap i raspon na razini ansambla gotovo uvijek sadržava vrijednost 1.0 (iznimka je rujan u RCP8.5 za rasap ansambla) tako da ovaj tip analize za dva promatrana razdoblja ne ukazuje na jasan signal na razini ansambla regionalnih klimatskih simulacija. Ovo potvrđuje potrebu korištenja ansambla klimatskih modela u istraživanjima klimatskih promjena u područjima utjecaja kako bi se izbjegla ovisnost o jednom scenariju i jednom ili manjem broju modelskih realizacija.



**Slika 2.3.2.1** Razlika mjesečnih srednjaka temperature zraka između budućeg razdoblja 2041. – 2070. i referentne klime 1981. – 2010. (prvi redak) i omjer mjesečnih standardnih devijacija temperature zraka između budućeg razdoblja 2041. – 2070. i referentne klime 1981. – 2010. (drugi redak). Prvi stupac: RCP2.6; drugi stupac: RCP4.5; treći stupac: RCP8.5. Lokacija: Cres.

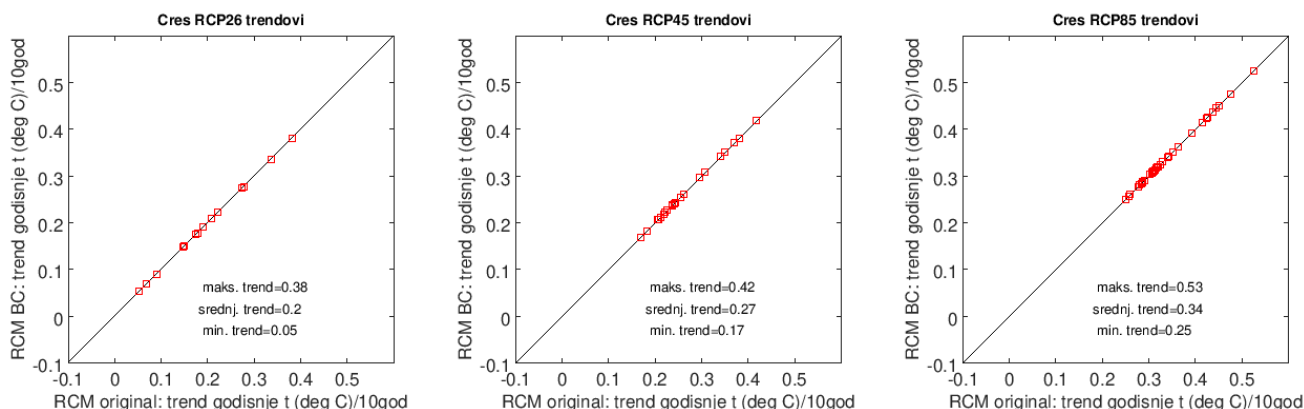
Osim usporedbe na srednjoj mjesečnoj skali, iste simulacije su analizirane i na srednjoj godišnjoj skali (Slika 2.3.2.2). Slika 2.3.2.2 sadrži tri dodatna elementa: (1) usporedbu promjena prije

(x-os) i poslije (y-os) statističkog uklanjanja sustavne pogreške, (2) usporedbu referentnog povijesnog razdoblja s razdobljem 2011. – 2040. (plavo) i s razdobljem 2041. – 2070. (crveno) te (3) prikaz svake pojedinačne modelirane realizacije. Rezultati pokazuju: (1) zagrijavanje nagodišnjoj skali u svim simulacijama usporedbom 2041. – 2070. i 1981. – 2010., (2) ovisno o primijenjenom scenariju srednje zagrijavanje raste u RCP2.6 od 1.1 °C (uz raspon 0.3 – 2.2 °C), u RCP4.5 1.6 °C (uz raspon 0.9 – 2.5 °C) te u RCP8.5 2.1 °C (uz raspon 1.4 – 4.2 °C), (3) jačanje signala simuliranjem vremenski udaljenijeg razdoblja izostaje u slučaju RCP2.6 te je umjereno i očito izraženo u RCP4.5 i RCP8.5, (4) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka ne utječe na signal klimatskih promjena, što je očekivano s obzirom na aditivnu korekciju u slučaju temperature zraka.



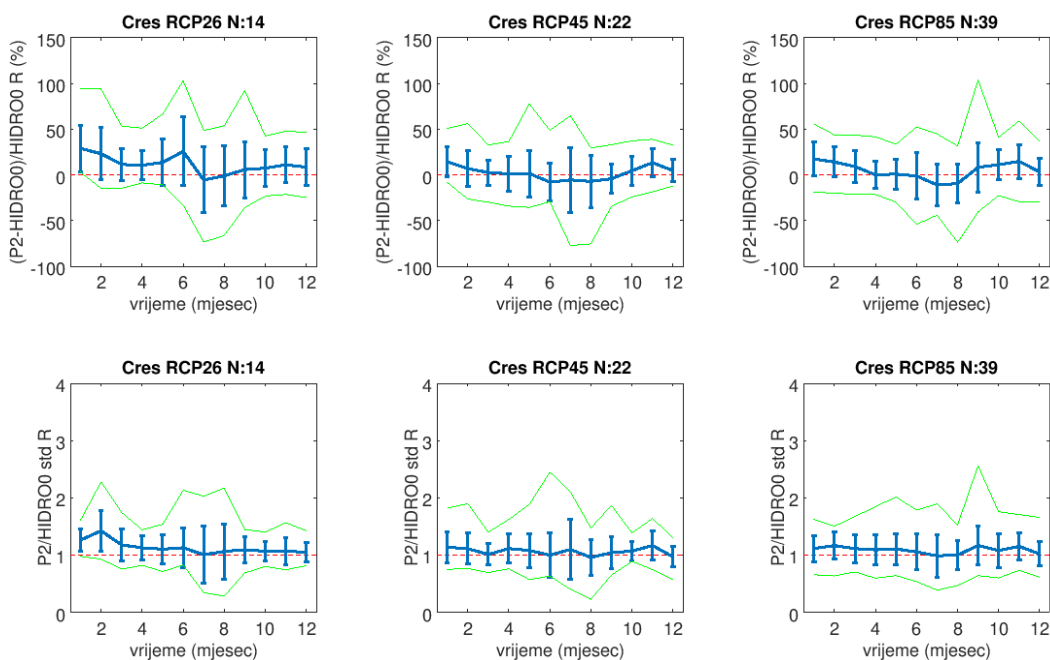
**Slika 2.3.2.2** Usporedba projicirane promjene u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os). Plavo: 2011. – 2040. u odnosu na 1981. – 2010.; crveno: 2041. – 2070. u odnosu na 1981. – 2010. Analizirana veličina: srednja godišnja temperatura zraka (°C). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (lijevo), RCP4.5 (sredina) i RCP8.5 (desno). Lokacija: Cres.

Osim promjena između dva tridesetogodišnja razdoblja, utjecaj odabira scenarija i primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka analiziran je za linearni trend kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. (Slika 2.3.2.3). Rezultati uključuju sljedeće: (1) zagrijavanje nalazimo u svim simulacijama, neovisno o scenariju; (2) ovisno o primijenjenom scenariju iznos linearnog trenda raste u RCP2.6 od 0.20 °C/10 god. (0.05 – 0.38 °C/10 god.), u RCP4.5 0.27 °C/10 god. (0.17 – 0.42 °C/10 god.) te u RCP8.5 0.34 °C/10 god. (0.25 – 0.53 °C/10 god.); (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka ne utječe na trend godišnjih temperatura zraka.



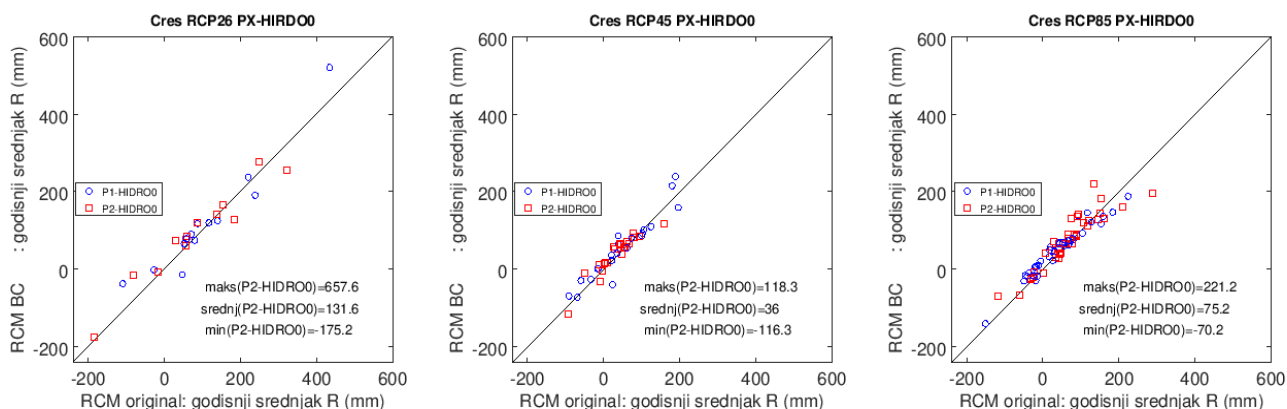
**Slika 2.3.2.3** Usporedba linearnog trenda u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os) za razdoblje 1971. – 2070. Analizirana veličina: trend godišnje temperature zraka ( $^{\circ}\text{C}/10$  god). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (lijevo), RCP4.5 (sredina) i RCP8.5 (desno). Lokacija: Cres.

U slučaju količine oborine, prikazujemo relativne razlike između simulirane srednje mjesečne količine oborine u razdoblju 2041. – 2070. u odnosu na odabrano referentno povijesno razdoblje 1981. – 2010. (Slika 2.3.2.4, prvi red) te omjere simuliranih koeficijenata varijacije između ista dva razdoblja (Slika 2.3.2.4, drugi red). Rezultate za sva tri podskupa regionalnih klimatskih modela možemo sažeti: (1) srednjak ansambla pokazuje sklonost negativnim promjenama u toplom dijelu godine te povećanju u hladnom dijelu godine u scenarijima RCP4.5 i RCP8.5, dok se u scenariju RCP2.6 javljaju pozitivne relativne promjene u svim mjesecima osim za srpanj; (2) unatoč promjenama simuliranim na razini srednjaka ansambla, rasap i raspon ansambla gotovo uvijek su isti, tj. 0 % (jedina iznimka je rasap ansambla u siječnju u slučaju scenarija RCP2.6); (3) omjer budućih i povijesnih koeficijenata varijacije ne pokazuje tendenciju značajnih promjena.



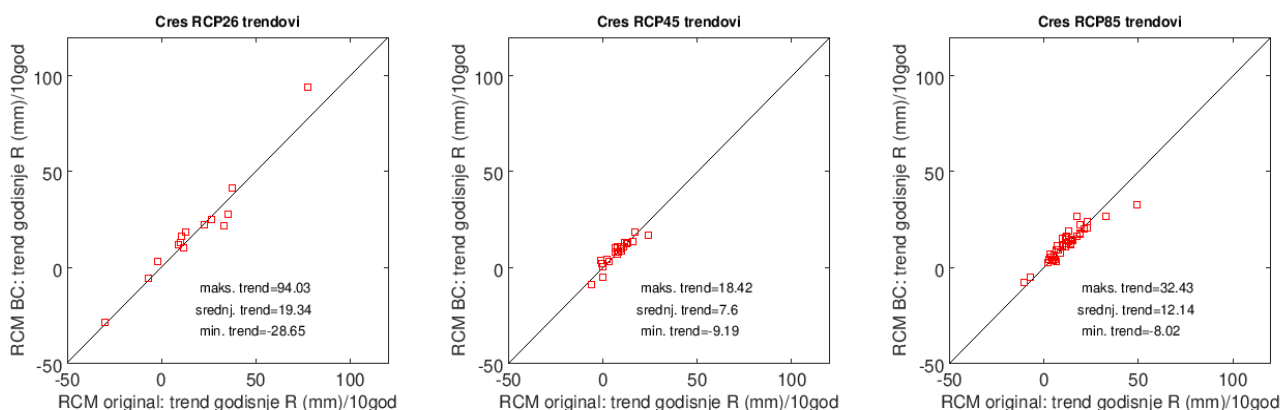
**Slika 2.3.2.4** Relativna razlika mjesečnih količina oborine između budućeg razdoblja 2041. – 2070. i referentne klime 1981. – 2010. (prvi redak) i omjer mjesečnih koeficijenata varijacije/standardne devijacije količine oborine između budućeg razdoblja 2041. – 2070. i referentne klime 1981. – 2010. (drugi redak). Prvi stupac: RCP2.6; drugi stupac: RCP4.5; treći stupac: RCP8.5. Lokacija: Cres.

Analiza simulacija na srednjoj godišnjoj skali ukazuje na tendenciju blagog povećanja količine oborine u sva tri scenarija (Slika 2.3.2.5). Rezultati uključuju sljedeće: (1) ovisno o primijenjenom scenariju srednje povećanje oborine raste u RCP2.6 131.6 mm (uz raspon od -175.2 do 657.6 mm), u RCP4.5 36 mm (uz raspon od -116.3 do 118.3 mm) te u RCP8.5 75.2 mm (uz raspon od -70.2 do 221.2 mm), (2) ne postoji izražena razlika između signala relativnih promjena u dva buduća razdoblja u odnosu na 1981. – 2010., (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka pokazuje veću osjetljivost nego u slučaju srednjih godišnjih temperatura no ograničeno utječe na signal klimatskih promjena.



**Slika 2.3.2.5** Usporedba projicirane promjene u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os). Plavo: 2011. – 2040. u odnosu na 1981. – 2010.; crveno: 2041. – 2070. u odnosu na 1981. – 2010. Analizirana veličina: srednja godišnja količina oborine (mm). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Lokacija: Cres.

Utjecaj odabira scenarija i primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka analiziran je za linearni trend kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. (Slika 2.3.2.6). Rezultati uključuju sljedeće: (1) tendencija blagog porasta srednje godišnje količine oborine neovisno o scenariju, (2) ovisno o primijenjenom scenariju iznos linearnog trenda raste u statistički obrađenim simulacijama u RCP2.6 za iznos 19.34 mm/10 god. (raspon od -28.65 do 94.03 mm/10 god.), u RCP4.5 za iznos 7.6 mm/10 god. (raspon od -9.19 do 18.42 mm/10 god.) te u RCP8.5 za iznos 12.14 mm/10 god. (raspon od -8.02 do 32.43 mm/10 god.), (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka utječe ograničeno na magnitudu trenda godišnjih količina oborine.



**Slika 2.3.2.6** Usporedba linearnog trenda u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os) za razdoblje 1971. – 2070. Analizirana veličina: trend godišnje količina oborine (mm/10 god). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Lokacija: Cres.

### 2.3.3. Definiranje podskupa regionalnih klimatskih simulacija za potrebe hidroloških analiza

Za potrebe hidrološkog modeliranja unutar projekta UKV unutar svakog od RCP scenarija odabrana su tri reprezentativna modela od dostupnih 14 u RCP2.6, 22 u RCP4.5 te 49 u RCP8.5. S obzirom na blag do umjeren signal promjena u hidrološkom ciklusu u usporedbama srednje klime od 1981. do 2010. te od 2041. do 2070., odnosno u analizama trendova kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. odabir podskupa regionalnih klimatskih modela je vođen izborom modela s nižim, srednjim i izraženim nivoom zagrijavanja. Također, odabrani su modeli unutar svakog scenarija koji su reprezentativni za sve tri lokacije unutar projekta UKV.

Za scenarij RCP2.6, promjena srednje godišnje temperature zraka između budućeg i povijesnog razdoblja na razini srednjaka ansambla je 1.1 °C (na razini medijana ansambla je 1.0 °C). Odabrani modeli su RCM3, RCM10 i RCM13 (Slika 2.3.3.1, prvi redak):

RCM3: ICHEC-EC-EARTH\_rcp26\_r12i1p1\_KNMI-RACMO22E\_v1,

RCM10: MPI-M-MPI-ESM-LR\_rcp26\_r1i1p1\_SMHI-RCA4\_v1a,

RCM14: MOHC-HadGEM2-ES\_rcp26\_r1i1p1\_DHMZ-RegCM42\_v1.

Za scenarij RCP4.5, promjena srednje godišnje temperature zraka između budućeg i povijesnog razdoblja na razini srednjaka ansambla je 1.6 °C (na razini medijana ansambla je 1.5 °C). Odabrani modeli su RCM7, RCM9 i RCM19 (Slika 2.3.3.1, drugi redak):

RCM7: ICHEC-EC-EARTH\_rcp45\_r1i1p1\_KNMI-RACMO22E\_v1,

RCM9: IPSL-IPSL-CM5A-MR\_rcp45\_r1i1p1\_SMHI-RCA4\_v1,

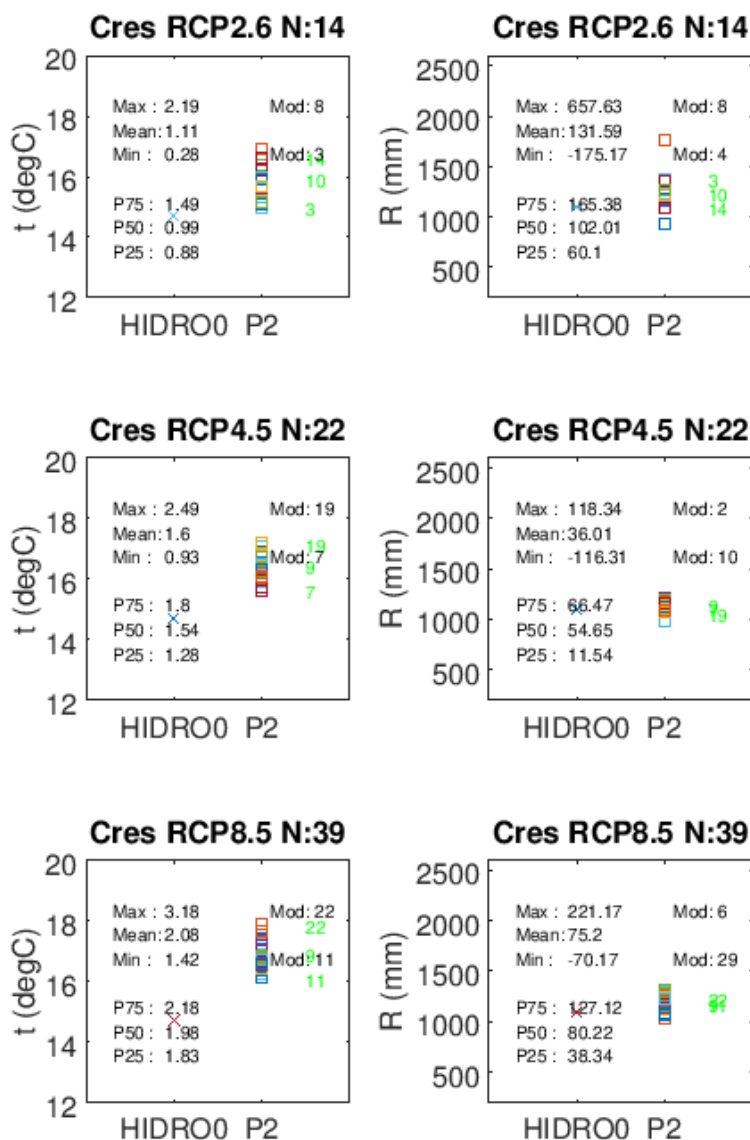
RCM19: MOHC-HadGEM2-ES\_rcp45\_r1i1p1\_DHMZ-RegCM42\_v1.

Za scenarij RCP8.5, promjena srednje godišnje temperature zraka između budućeg i povijesnog razdoblja na razini srednjaka ansambla je 2.1 °C (na razini medijana ansambla je 2.0 °C). Odabrani modeli su RCM11, RCM9 i RCM22 (Slika 2.3.3.1, treći redak):

RCM11: ICHEC-EC-EARTH\_rcp85\_r1i1p1\_KNMI-RACMO22E\_v1,

RCM9: ICHEC-EC-EARTH\_rcp85\_r12i1p1\_SMHI-RCA4\_v1,

RCM22: MOHC-HadGEM2-ES\_rcp85\_r1i1p1\_MOHC-HadREM3-GA7-05\_v1.



**Slika 2.3.3.1** Simulirana srednja godišnja temperatura zraka (lijevi stupac) i srednja godišnja količina oborine (desni stupac) u dva razdoblja: 1981. – 2010. (HIDRO0) i 2041. – 2070. (P2). Prvi redak: RCP2.6 za P2 razdoblje; drugi redak: RCP4.5 za P2 razdoblje; treći redak: RCP8.5 za P2 razdoblje. Svaka slika sadrži sljedeće statističke informacije: maksimalni signal između dva razdoblja (u kojem modelu), srednji signal između dva razdoblja, minimalni signal između dva razdoblja (u kojem modelu), 25., 50. i 75.-ti percentil svih analiziranih signala u pojedinom scenariju. Zeleno: odabrani podskup modela za potrebe hidrološkog modeliranja. Lokacija: Cres.

### 3. Pilot područje sliva Bokanjac-Poličnik kod Zadra

Klima pilot područja sliva Bokanjac-Poličnik kod Zadra analizirana je prema podacima meteorološke postaje Zadar ( $h = 5$  m,  $\varphi = 44^{\circ}08'$  N,  $\lambda = 15^{\circ}13'$  E) najbliže predmetnom pilot području (Pog. 3.1). Klimatske prilike razdoblja 1981. – 2010. detaljnije su prikazane gridovima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine (Pog. 3.2). Buduća klima i klimatske promjene prikazane su rezultatima klimatskih simulacija za povijesnu i buduću klimu. Korišten je ansambl regionalnih klimatskih modela iz EURO-CORDEX inicijative (Jacob i sur. 2014, Kotlarski i sur. 2014) te simulacije izrađene za potrebe izrade Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (MZOE, 2017) (Pog. 3.3).

#### 3.1. Klimatološki podaci meteorološke postaje Zadar

U ovom poglavlju prikazane su opće klimatske karakteristike na području sliva Bokanjac-Poličnik, te anomalije i opažene promjene temperature zraka i količine oborine. Godišnji hodovi pojedinog klimatološkog elementa i njihova međugodišnja varijabilnost analizirani su prema podacima meteorološke postaje Zadar za referentno klimatološko razdoblje 1981. – 2010. (potpoglavljje 3.1.1), dok je analiza trenda te ocjena sušnosti/kišnosti za pojedinu godinu provedena za najdulje raspoloživo razdoblje podataka, 1951.–2019 (potpoglavljje 3.1.2). Rezultati su uspoređeni s ranijom klimatološkom analizom na istom području koja je provedena za potrebe projekta CC-Waters (Gajić-Čapka i sur. 2010), a za koju je korišteno referentno klimatološko razdoblje 1961.–1990.

##### 3.1.1. Opće klimatske karakteristike

Područje Zadra nalazi se veći dio godine u cirkulacijskom području umjerenih širina, a ljeti pod utjecajem azorske anticiklone koja sprečava prodore hladnog zraka na Jadran prevladavaju značajke subtropske klime (Zaninović i sur. 2008). Jedan od najvažnijih modifikatora klime ovog područja je more, pa se ova klima može nazvati primorskom. Na obali i otocima osobito se očituje klimatsko djelovanje toplinskih razlika između kopna i mora na zračno strujanje odnosno razvoju obalne cirkulacije. Osim mora, važan modifikator klime ovog područja je blizina Velebita koji svojim položajem predstavlja važnu klimatsku pregradu između morske i kopnene klime. Razvijena orografija Velebita sprečava pristup atmosferskim tvorbama malih razmjera u zadarsko primorje ili smanjuje njihov utjecaj na vrijeme u Zadru (Kraljev i sur. 2005). Blizina prostranog kopnenog područja Ravnih kotara u zaleđu ima važan toplinski učinak na ovom području koji čini temperaturene ekstreme izrazitijim.

Prema Köppenovoj klasifikaciji klime (Kottek i sur. 2006), koja uvažava bitne odlike srednjeg godišnjeg hoda temperature zraka i oborine, područje Zadra ima umjereno toplu kišnu klimu (C) kojoj odgovara srednja temperatura najhladnijeg mjeseca viša od  $-3^{\circ}\text{C}$  i niža od  $18^{\circ}\text{C}$ . Najsuši mjesec je u toplom dijelu godine (od travnja do rujna) s manje od 40 mm oborine koja je bar tri puta manja od one koja pripada najkišovitijem mjesecu u hladnom dijelu godine (oznaka *s*). Ljeta su vruća sa srednjom temperaturom najtoplijeg mjeseca višom od  $22^{\circ}\text{C}$  (oznaka *a*). Konačna Köppenova oznaka za klimu na području Zadra je *Csa*.

Srednji godišnji hod **temperature zraka** na postaji Zadar ima jasan valni oblik s maksimumom u srpnju (24.6°C), te minimumom u siječnju i veljači (7.3°C) (Slika 3.1.1.1a). Utjecaj mora na godišnji hod temperature zraka očituje se u sporom jesenjem ohlađivanju i još sporijem proljetnom grijanju, tako da je proljeće u prosjeku hladnije od jeseni za 2.3°C (Tablica 3.1.1.1). Zbog jakog utjecaja mora koji ublažava temperaturne ekstreme, vrijednosti standardnih devijacija upućuju na podjednaku stabilnost temperature zraka tokom godine (od 0.8°C do 1°C). Nešto veće odstupanje može se očekivati u veljači (1.7°C) te ožujku i studenom (1.5 °C), a najmanje u travnju i srpnju (1.0 °C) (Slika 3.1.1.1b). Srednja godišnja temperatura zraka na postaji Zadar iznosi 15.3°C, a vrijednosti srednje godišnje temperature u tom 30-godišnjem razdoblju kretale su se od 14.2°C do 16.3°C. Standardna devijacija je na godišnjoj razini manja od sezonskih vrijednosti i iznosi 0.6 °C. Usporedbom s prethodnim razdobljem, 1961.–1990. (Gajić-Čapka i sur. 2010), srednja godišnja temperatura zraka se povećala za 0.6°C, a stabilnost godišnje srednje dnevne temperature zraka se smanjila za 0.3°C što je posljedica povećanja nestabilnosti temperature zraka u ljetnim mjesecima. U tablici 3.1.1.1 navedene su i vrijednosti percentila koji određuju (empirijsku) vjerojatnost prekoračenja ekstremnih vrijednosti temperature zraka. Razlika između 2. i 98. percentila veća je zimi nego ljeti. Usporedbom s rezultatima iz ranijeg razdoblja, 1961.–1990. (Gajić-Čapka i sur. 2010), raspon percentila se u novijem razdoblju povećao u svim sezonama. Pogledamo li odstupanja između medijana (50. percentila) i 2. odnosno 98. percentila, koje bi u slučaju normalne i stacionarne razdiobe trebale biti jednake, u proljeće je uočeno veće odstupanje 98. percentila od medijana nego što je to slučaj za lijevi dio razdiobe, ukazujući na moguće povećanje asimetrije proljetne razdiobe srednje dnevne temperature zraka.

**Tablica 3.1.1.1** Osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, maksimum, minimum i percentili) sezonske i godišnje srednje dnevne temperature zraka (u °C) na postaji Zadar, za razdoblje 1981.–2010.

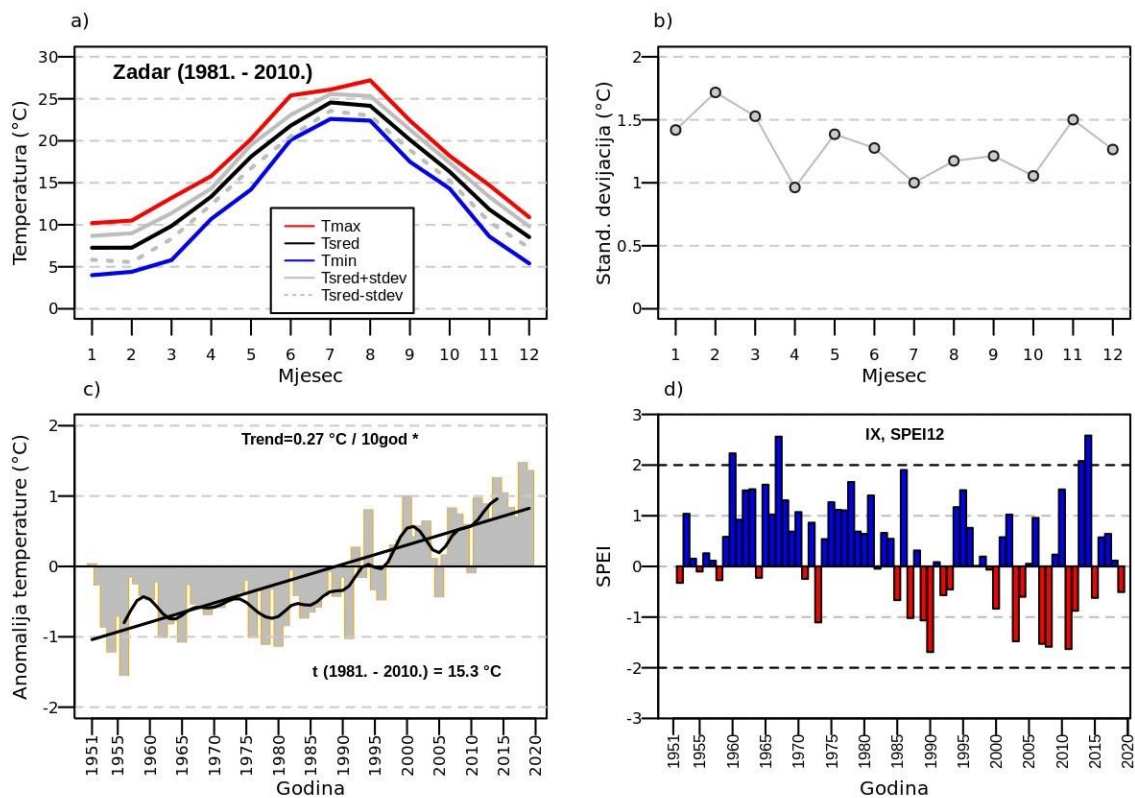
	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Godina
sred	7.7	13.8	23.5	16.1	15.3
stdev	1.0	0.9	0.9	0.8	0.6
maks	10.2	15.8	26.2	17.7	16.3
min	5.6	11.6	22.1	14.5	14.2
Percentili					
1.	5.8	11.7	22.1	14.5	14.3
2.	5.9	11.9	22.1	14.5	14.3
5.	6.2	12.2	22.1	14.7	14.5
10.	6.8	12.5	22.5	15.3	14.6
50.	7.6	13.8	23.4	15.9	15.2
90.	9.0	14.8	24.6	17.1	16.0
95.	9.4	15.1	24.8	17.2	16.1
98.	9.9	15.5	25.4	17.5	16.2
99.	10.1	15.7	25.8	17.6	16.2

Odnos količine **oborine** toplog i hladnog dijela godine ukazuje na maritimni tip oborinskog režima na području Zadra, s većom količinom oborine u hladnom nego u toplom dijelu godine i minimumom ljeti (Slika 3.1.1.2a). Stoga i empirijska razdioba percentila sezonskih količina oborine

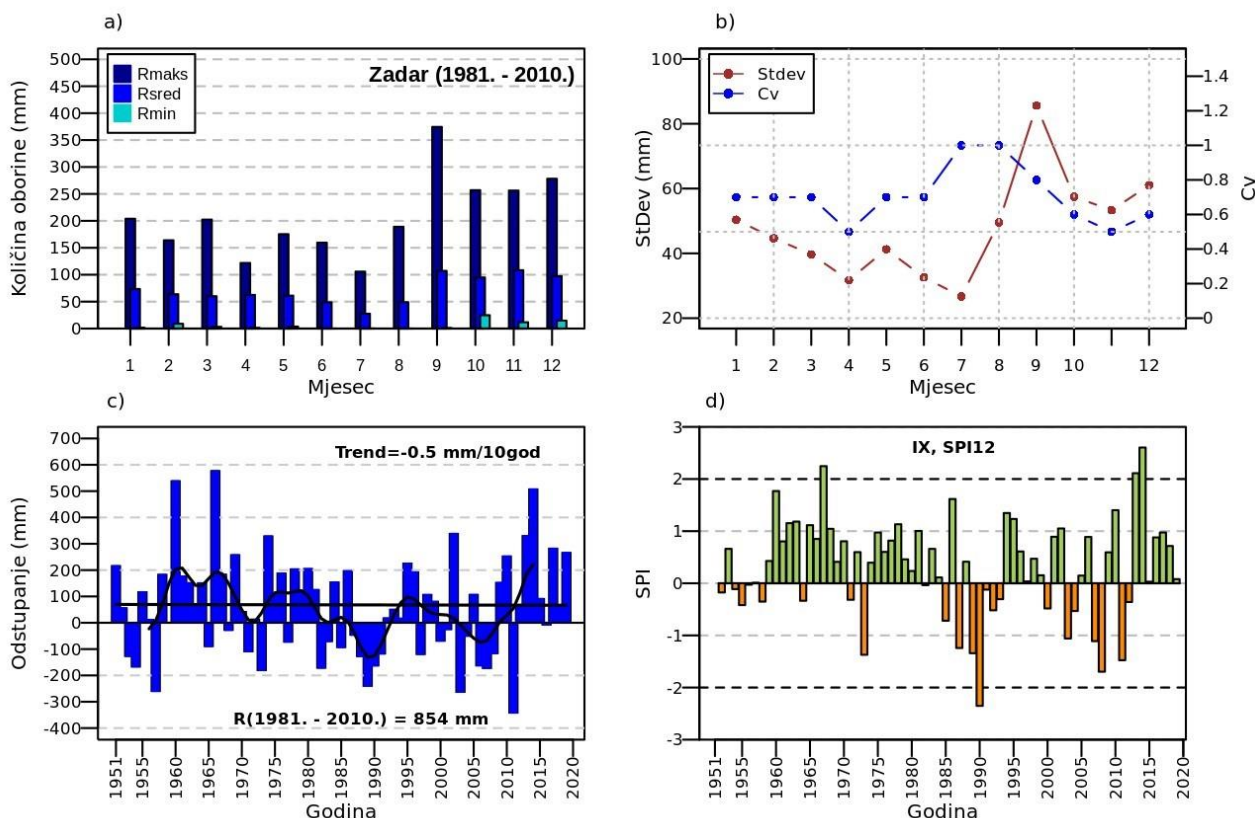
i njihovo odstupanje od medijana ukazuje na veće vrijednosti tijekom jesenskih i zimskih mjeseci (Tablica 3.1.1.2). Prosječno godišnje padne 853.9 mm oborine, a od toga 64 % padne u hladnom dijelu godine (jesen i zima) kad se mogu očekivati najintenzivnije dnevne količine oborine. Maksimum oborine tijekom godine nastupa u studenom (108.3 mm) dok je srpanj mjesec s najmanjom količinom oborine (27.5 mm) (Slika 3.1.1.2a). U analiziranom 30-godišnjem razdoblju maksimalna mjesečna količina oborine zabilježena je u rujnu 1986. godine (374.5 mm) i bila je tri puta veća od prosječne rujanske količine oborine. Vrijednosti koeficijenta varijacije kreću se od 30 % u proljeće do 50 % ljeti. Ipak, na mjesečnoj razini, promjenjivost od godine do godine varira u rasponu od 48 % (studeni) do 99 % (kolovoz) (Slika 3.1.1.2b). Godišnje količine oborine su stalnije od sezonskih i mjesečnih s promjenljivošću od 18 %. Godišnja količina oborine preko 1056.9 mm može se očekivati prosječno jednom u 10 godina, dok 50-godišnja povratna vrijednost iznosi 1145.7 mm. Proljetna i ljetna količina oborine koja odgovara 10-godišnjoj i većoj povratnoj vrijednosti ( $\geq 90$ . percentil) su sličnih vrijednosti. Za cijeli raspon percentila, najveće su jesenske količine oborine. Razlike između jesenskih i zimskih vrijednosti 90. percentila ili viših, kreću se u rasponu od 76.2 do 142.9 mm. U usporedbi s ranijim razdobljem, 1961.–1990. (Gajić-Čapka i sur. 2010), te razlike su znatno manje. S druge strane, ekstremno sušne godine, odnosno sezone, su one u kojima je zabilježena količina oborine manja od pripadnog 2. percentila. Ta vrijednost je, u godišnjem hodu, najmanja u ljetnim mjesecima, i nešto je većeg iznosa nego u ranijem klimatološkom razdoblju, dok je proljetna vrijednost 2. percentila smanjena u novijem razdoblju.

**Tablica 3.1.1.2** Osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, koeficijent varijacije, maksimum i minimum i percentili) sezonske i godišnje količine oborine (u mm) na postaji Zadar, za razdoblje 1981.–2010.

	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Godina
sred	233.5	183.8	125.3	310.3	854.0
stdev	99	52.9	64.6	117.6	160.3
cv	0.40	0.30	0.50	0.40	0.19
maks	455	290.7	305.2	549.7	1195.5
min	50.9	42.2	38.9	66.1	587.8
Percentili					
1.	55.8	56.7	42.2	85.6	594.4
2.	60.7	71.2	45.5	105.2	601.0
5.	70.2	104.9	51.6	143.2	641.0
10.	88.6	121.9	54.4	165.5	679.3
50.	224.1	186.3	110.5	309.2	815.2
90.	328.5	239.7	214.6	471.4	1056.9
95.	419.3	276.0	228.1	506.2	1097.5
98.	453.0	290.2	266.7	529.2	1145.7
99.	454.0	290.5	285.9	539.5	1170.6



**Slika 3.1.1.1** (a) Godišnji hod srednje, srednje minimalne i maksimalne mjesečne temperature zraka i (b) standardne devijacije u razdoblju 1981. – 2010. (c) Vremenski niz odstupanja srednjih godišnjih vrijednosti temperature zraka od srednjaka, linearni trend (crna linija) i binomni klizni srednjak (crna krivulja) te (d) vrijednosti standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (SPEI) na 12-mjesečnoj skali za rujan (hidrološka godina), na postaji Zadar za razdoblje 1951. - 2019.



**Slika 3.1.1.2** (a) Godišnji hod srednje količine oborine i (b) standardne devijacije i koeficijent varijacije u razdoblju 1981.– 2010. (c) Vremenski niz odstupanja godišnjih količina oborine od srednjaka, linearni trend (crna linija) i binomni klizni srednjak (crna krivulja) te (d) vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (SPI) na 12-mjesečnoj skali za rujana (hidrološka godina), na postaji Zadar za razdoblje 1951.–2019.

### 3.1.2. Klimatske anomalije i trend

Na slici 3.1.1.1c prikazane su godišnje anomalije srednje dnevne temperature zraka u odnosu na referentni srednjak (1981.–2010.) na postaji Zadar te iznos linearnog trenda za razdoblje 1951. - 2019. Rezultati ukazuju na statistički značajan porast temperature zraka, kako na godišnjoj ( $0.27\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{god}$ ) tako i na sezonskoj razini (od  $0.22$  do  $0.34\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) s najvećim zagrijavanjem ljeti (Tab 3.1.2.1). Porast godišnje temperature zraka osobito je izražen od početka 21. stoljeća kad je u svim godinama, osim 2005. i 2010., odstupanje od srednjaka bilo pozitivno. Najtoplija godina na području Zadra bila je 2018. s prosječnom godišnjom dnevnom temperaturom zraka od  $16.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Odstupanje godišnjih količina oborine od srednjaka ne ukazuju na tako izražen trend kao u slučaju temperature zraka. Štoviše, trend je vrlo mali i iznosi svega  $-0.5\text{ mm}/10\text{god}$  (Tab 3.1.2.1 i Slika 3.1.1.2c). Takav trend na godišnjoj razini je posljedica slabog porasta jesenske količine oborine ( $2.4\text{ mm}/10\text{god}$ ), dok je u ostalim sezonama trend količine oborine negativan. Samo je trend smanjenja ljetne količine oborine ( $-8.1\text{ mm}/10\text{god}$ ) statistički značajan. Usporedimo li ove rezultate s rezultatima trenda ranijih analiza, za razdoblje 1951. - 2009., vidljivo je smanjenje proljetne odnosno povećanje jesenske količine oborine u posljednjem desetljeću što se očituje u slabo izraženom trendu godišnje količine oborine.

Na komponente vodne ravnoteže najviše utječe kombinacija promatranih meteoroloških parametara. Povećanje temperature zraka uzrokuje pojačano isparavanje koje je dominantno ljeti,

kada je sezonska oborina najniža. Manjak oborine ljeti također može uzrokovati nedostatak vode u lokalnim izvorima.

Anomalije količine oborine na razini hidrološke godine (od listopada do rujna) analizirane su pomoću vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa i standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (SPEI) za mjesec rujna na 12-mjesečnoj skali (SPI-12, SPEI-12). U analiziranom 69-godišnjem razdoblju, najveće negativno odstupanje tog indeksa ( $SPEI-12 < -2$ ) zabilježeno je 1990. godine, a najvlažnije hidrološke godine ( $SPEI-12 > 2$ ) bile su 1959., 1966. i 2014. I vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (SPI-12) ukazuju da je najsušnija hidrološka (ali i kalendarska) godina bila 1990. ukazujući na to da je uzrok sušnosti uglavnom bio deficit oborine.

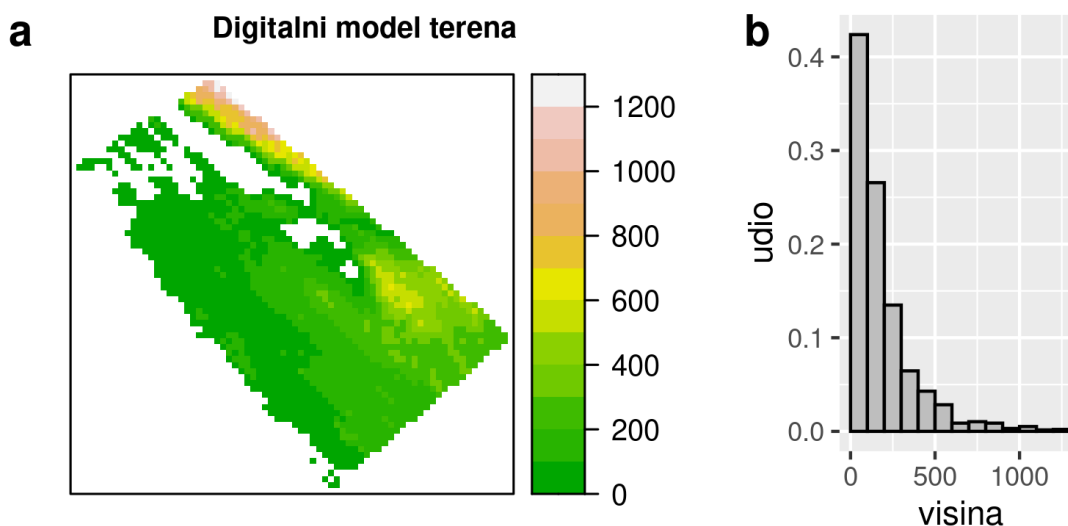
**Tablica 3.1.2.1** Rezultati trenda srednje sezonske i godišnje temperature zraka ( $t$ ) i količine oborine ( $R$ ) na postaji Zadar, razdoblje 1951. – 2019. Vrijednosti statistički značajnog trenda su podebljane.

	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Godina
$t$ (°C/10god)	<b>0.22</b>	<b>0.27</b>	<b>0.34</b>	<b>0.22</b>	<b>0.27</b>
$R$ (mm/10god)	-7.2	-7.2	<b>-8.1</b>	2.4	-0.5
$R$ (%/10god)	-3.1	-5.8	<b>-3.5</b>	0.8	-0.1

### 3.2. Gridovi srednje temperature zraka i količine oborine

Prostorna raspodjela temperature zraka i količine oborine dominantno ovisi u geografskim obilježjima, posebno o nadmorskim visinama. U pravilu je na manjim visinama toplije, a na višim hladnije, uz vrijednost vertikalne stope ohlađivanja od približno  $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Kod prostorne raspodjele oborine manje kiše obično imaju nizinska područja, a više brdska i planinska.

#### 3.2.1. Digitalni model terena



Slika 3.2.1.1 (a) Digitalni model terena i (b) histogram visina.

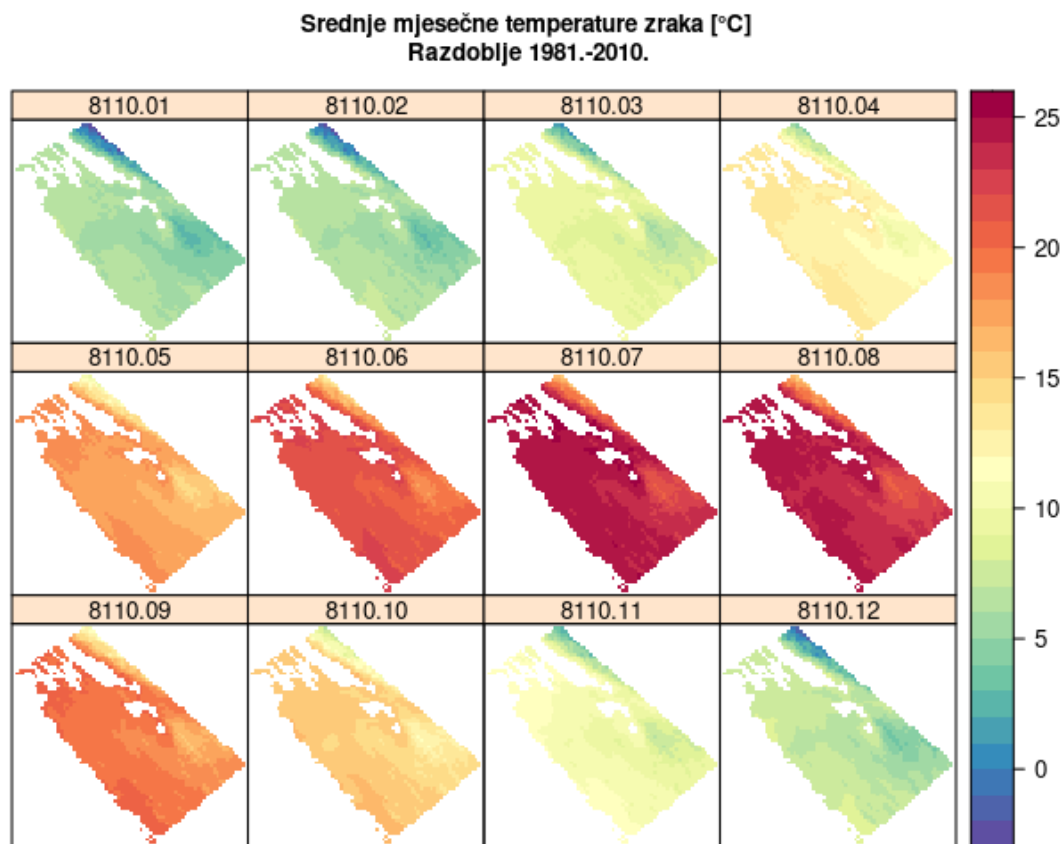
Prema korištenom digitalnom modelu terena rezolucije 1000 m (Slika 3.2.1.1) površina šireg područja sliva Bokanjac-Poličnik kod Zadra iznosi  $1935\text{ km}^2$ . Najniža područja nalaze se na 27 m n.v., najviša nizinska su do 674 m na Orljaku, a najviša zahvaćaju padine južnog Velebita do visina 1264 m n.v. Histogram udjela nadmorskih visina prema razredima visina od 100 m pokazuje da je 42 % područja na nadmorskim visinama do 100 m, 27 % na visinama od 100-200 m dok je ostatak područja na visinama iznad 200 m. Time podaci postaje Zadar, koja se nalazi na 5 m nadmorske visine, nisu reprezentativni za oko 31 % područja te se ukazuje na vrijednost gridova u procjeni klimatskih osobitosti područja na kojima nema mjerenja.

Klimatske prilike razdoblja 1981. – 2010. detaljnije su prikazane gridovima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine. Godišnje vrijednosti dane su za kalendarsku i hidrološku godinu (listopad-rujan).

#### 3.2.2. Temperatura zraka

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 3.2.2.1, a detaljnije su u tablici 3.2.2.1 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih gridova. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Zadar, temperature zraka izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tab. 3.2.2.1) usporedive su s najvišim vrijednostima iz gridova (stupac gr.maks) koje odgovaraju temperaturama na nižim nadmorskim

visinama. Najniže mjesečne vrijednosti temperature zraka su u siječnju, a najviše u srpnju. Srednja godišnja temperatura zraka je od 6.0°C na najvišim predjelima do 15.5°C uz obalu uz srednjak područja od 14.0°C. Apsolutne razlike mjerenja i vrijednosti iz grida na lokaciji postaje Zadar ne prelaze 0.2°C što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.

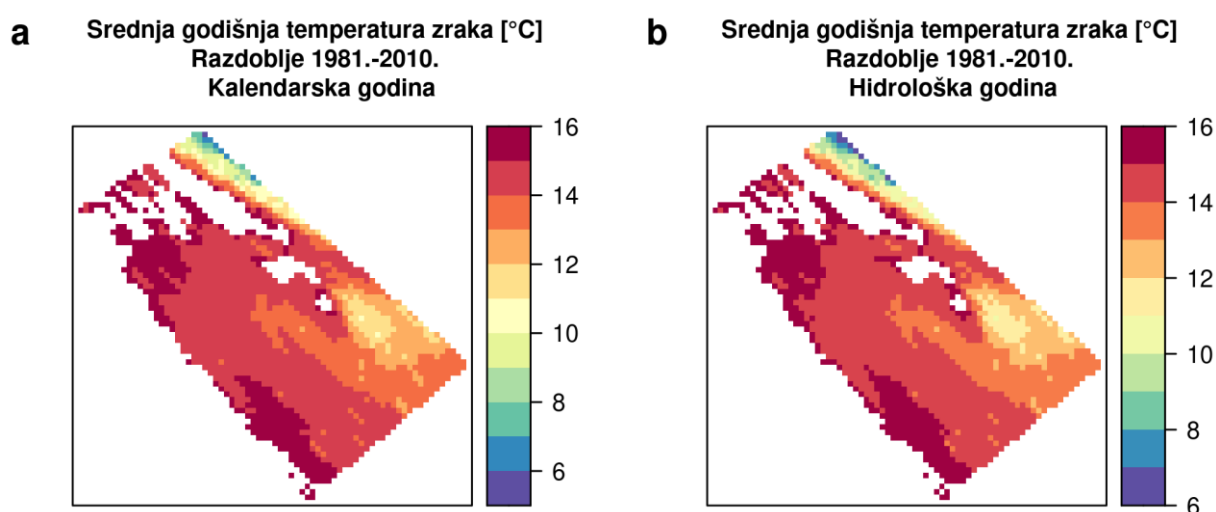


**Slika 3.2.2.1** Srednje mjesečne temperature zraka za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom razdoblja (8110) i mjeseca (01,...,12).

**Tablica 3.2.2.1** Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz grida (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti temperature zraka iz gridova za čitavo područje. Razdoblje 1981. – 2010.

mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks
01	7.3	7.3	0.0	-2.9	5.4	7.3
02	7.3	7.3	0.0	-2.4	5.7	7.4
03	9.9	9.8	0.1	0.7	8.6	10.3
04	13.4	13.4	0.0	4.5	12.2	13.9
05	18.1	18.1	0.0	9.7	17.2	18.9
06	21.8	21.8	0.0	12.9	21.0	22.5
07	24.6	24.8	-0.2	15.6	23.9	25.3
08	24.2	24.3	-0.1	15.3	23.5	24.8
09	20.1	20.0	0.1	10.7	18.9	20.3
10	16.3	16.3	0.0	6.9	14.8	16.4
11	11.8	11.6	0.2	2.0	9.9	11.6
12	8.5	8.5	0.0	-1.8	6.6	8.5
13	15.3	15.2	0.1	6.0	14.0	15.5

Usporedba srednjih godišnjih temperatura zraka za kalendarsku i hidrološku godinu ne otkriva značajne razlike na nivou srednjaka normale 1981. – 2010. (Slika 3.2.2.2).

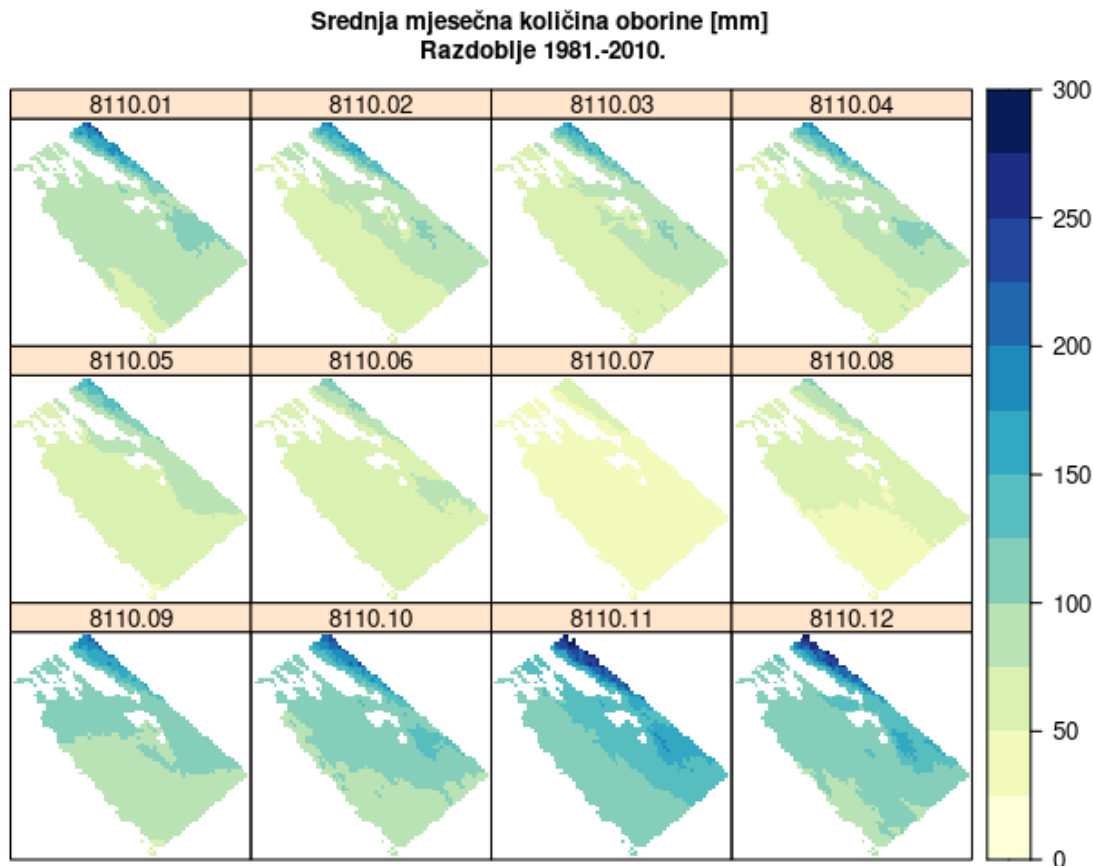


**Slika 3.2.2.2** Srednja godišnja temperatura zraka za (a) kalendarsku i (b) hidrološku godinu. Razdoblje 1981. – 2010.

### 3.2.3. Količina oborine

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih količina oborine za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 3.2.2.3, a detaljnije su u tablici 3.2.2.2 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih gridova. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Zadar, količina oborine izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tab. 3.2.2.2) usporedive su s najnižim vrijednostima iz gridova (stupac gr.min) koje odgovaraju oborinama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne

količine oborine su u srpnju, a najviše u studenom. Srednja godišnja količina oborine je od 776 mm na najnižim južnim dijelovima priobalja, raste udaljavanjem od obale na oko 1300 mm na Orljaku da bi na južnom Velebitu godišnje količine oborine premašile 2000 mm. Srednja količina oborine na ovom području je 1018 mm godišnje. Apsolutne razlike mjerenja i vrijednosti iz grida na lokaciji postaje Zadar ne prelaze 5.8 mm što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.

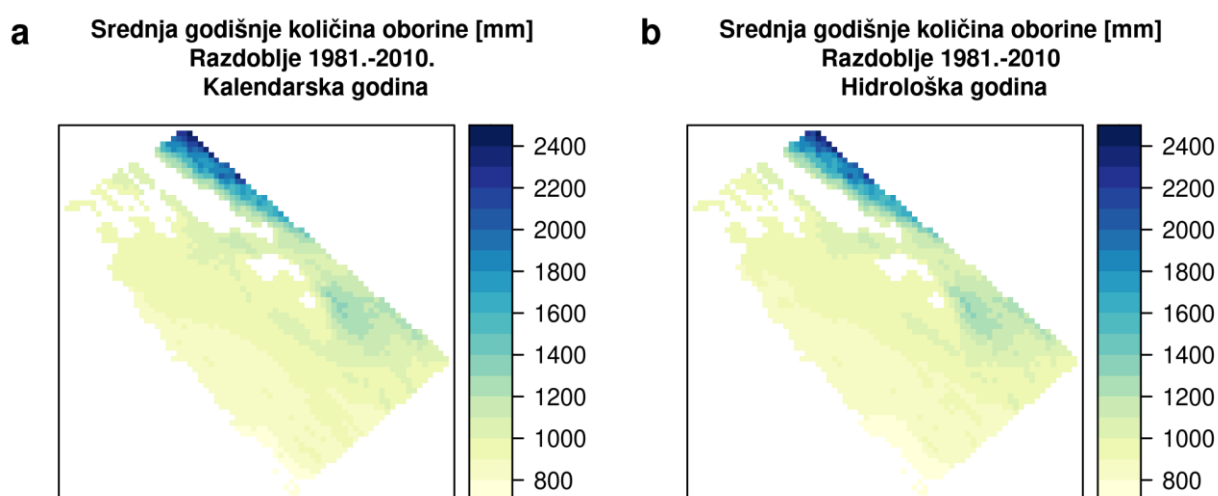


**Slika 3.2.2.3** Srednje mjesečne sume količine oborine za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom razdoblja (8110) i mjeseca (01,...,12).

**Tablica 3.2.2.2** Srednja mjesečna i godišnja količina oborine izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz grida (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti količine oborine iz gridova za čitavo područje. Razdoblje 1981. – 2010.

mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks
01	73.5	78.4	-4.9	69.4	90.5	233.0
02	63.7	65.4	-1.7	60.1	79.2	202.9
03	60.1	63.4	-3.3	62.8	78.0	184.9
04	62.5	65.0	-2.5	61.6	80.1	194.8
05	61.2	61.6	-0.4	47.9	71.3	162.1
06	48.8	52.3	-3.5	51.4	63.8	125.3
07	27.5	28.6	-1.1	25.0	34.1	74.9
08	49.0	50.4	-1.4	40.1	54.3	106.7
09	107.1	101.3	5.8	72.0	102.8	212.0
10	94.9	96.3	-1.4	80.8	110.1	241.9
11	108.4	111.9	-3.5	101.6	133.7	317.0
12	97.4	102.2	-4.8	90.6	120.4	321.9
13	854.0	875.8	-21.8	776.2	1017.8	2464.3

Usporedba srednjih godišnjih količina oborine za kalendarsku i hidrološku godinu ne otkriva značajne razlike na nivou srednjaka normale 1981. – 2010. (Slika 3.2.2.4).

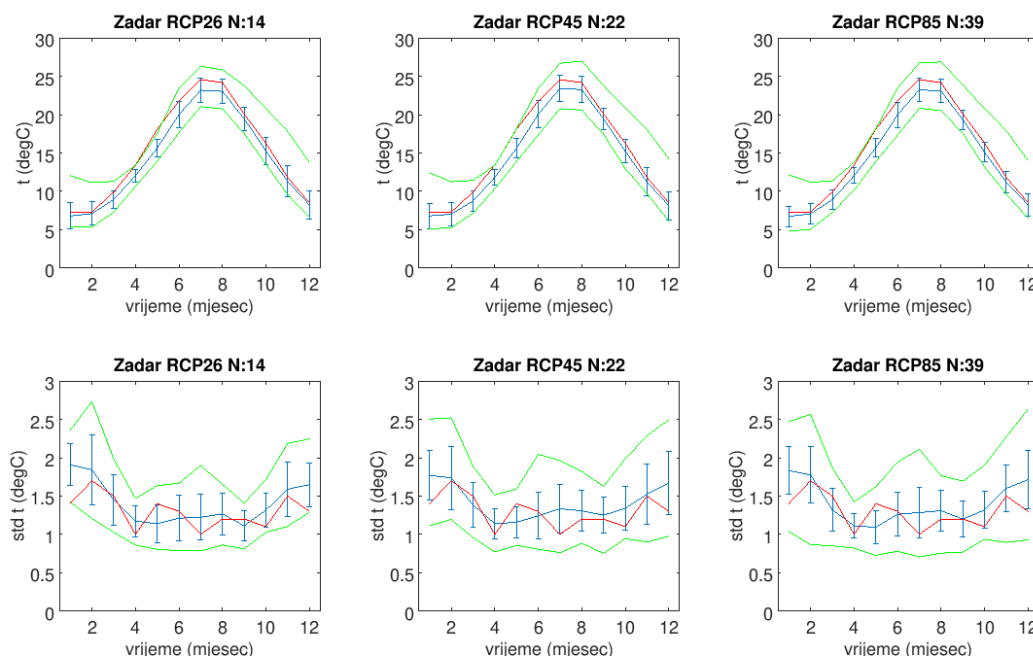


**Slika 3.2.2.4** Srednja godišnja količina oborine za (a) kalendarsku i (b) hidrološku godinu. Razdoblje 1981. – 2010.

### 3.3. Simulacije regionalnim klimatskim modelima

#### 3.3.1. Simulacije povijesne klime i statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka

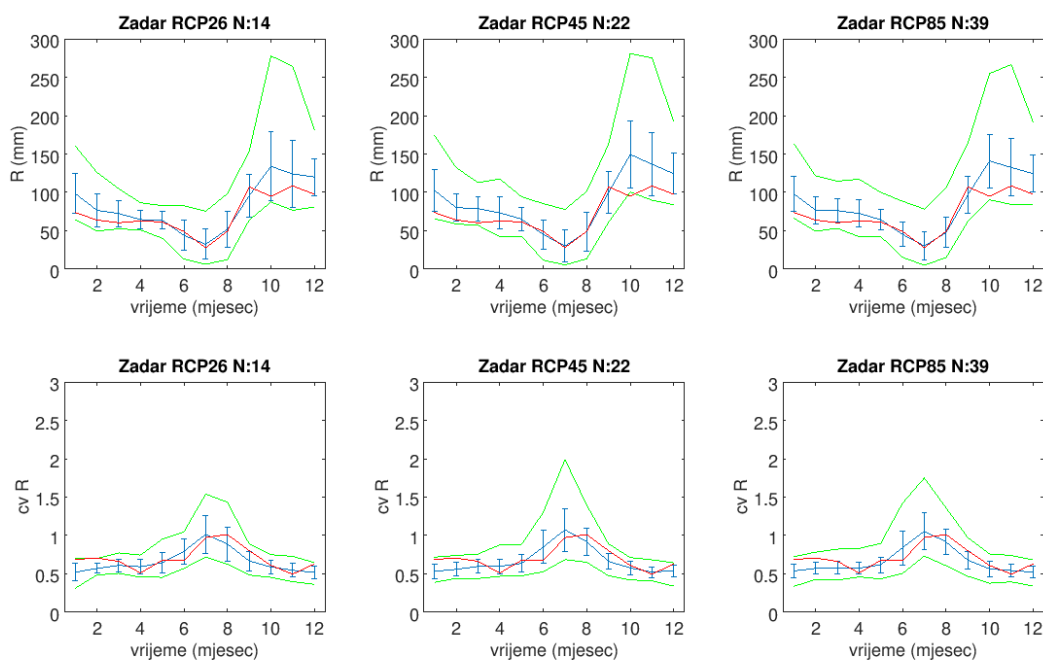
Analizirane simulacije povijesne klime upućuju na tendenciju podcjenjivanja srednje temperature zraka u toplom dijelu godine u sva tri podskupa simulacija (Slika 3.3.1.1, prvi red). Mjerenja su za sva tri podskupa simulacija u travnju i svibnju na gornjoj granici raspona, no i tada ukupni raspon simulacija regionalnih klimatskih modela sadrži vrijednosti koje nalazimo u mjerenjima. Sličan odnos između rezultata na razini ansambla regionalnih klimatskih simulacija i mjerenja nalazimo i u slučaju standardne devijacije temperature zraka, gdje su odstupanja između srednjaka ansambla i mjerenja najizraženija u siječnju (Slika 3.3.1.1, drugi red). Unatoč odstupanjima pojedinačnih modela od mjerenja, korištenjem ansambla regionalnih klimatskih simulacija dobiveno je realistično simuliranje osnovnih svojstava godišnjeg hoda srednje mjesečne temperature zraka i pripadne varijabilnosti.



**Slika 3.3.1.1** Godišnji hod srednje mjesečne temperature zraka (°C) (prvi red) i godišnji hod standardne devijacije mjesečne temperature zraka (°C) drugi red. Prvi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP2.6; drugi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP4.5; treći stupac: modeli uključeni u scenarij RCP8.5. Plavo: srednjak i standardna devijacija unutar RCM ansambla; zeleno: raspon unutar RCM ansambla; crveno: mjerenja. Razdoblje: 1981. – 2010. Izvor: mjerenja DHMZ-a i izvorne simulacije regionalnih klimatskih modela. Lokacija: Zadar.

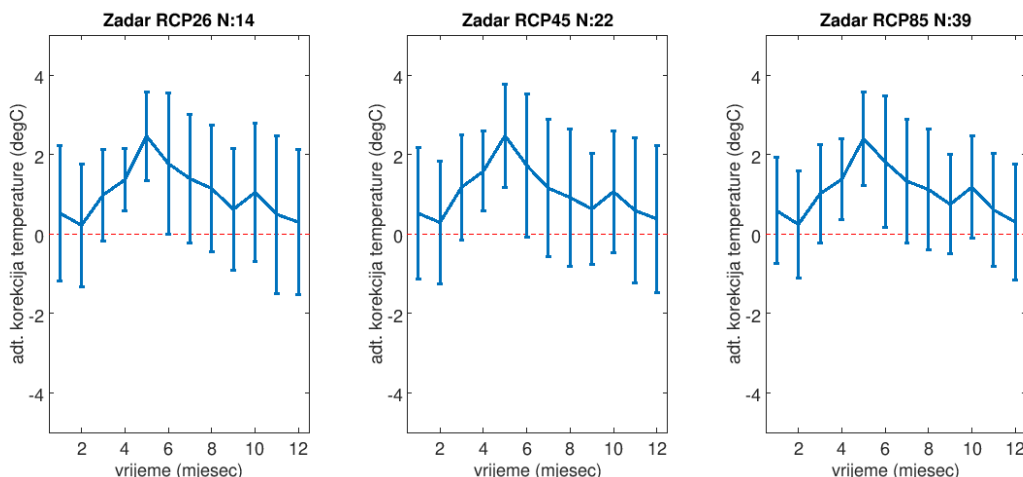
Usporedbom ansambla simulacija regionalnih klimatskih modela i mjerenja za srednju mjesečnu količinu oborine možemo zaključiti kako unatoč značajnom rasponu simuliranih vrijednosti (zeleno) umjerenom rasapu istih simulacija (plavi stupići) srednjak ansambla realistično prati opažene srednje vrijednosti (Slika 3.3.1.2, prvi red). Određeno precjenjivanje mjesečnih količina na razini srednjaka ansambla je prisutno u hladnom dijelu godine, no rasap ansambla uglavnom uspijeva

obuhvatiti mjerenja (izuzetak je listopad za RCP4.5 i RCP8.5). U slučaju varijabilnosti mjerene koeficijentom varijacije, nalazimo određene poteškoće u fazi i amplitudi maksimuma (Slika 3.3.1.2, drugi red). Ansambl modela daje maksimalnu varijabilnost u srpnju, dok se u mjerenjima maksimalna varijabilnost javlja u kolovozu. Unatoč određenim ograničenjima na razini srednjaka ansambla simuliranog koeficijenta varijacije, izmjerene vrijednosti nalazimo unutar rasapa ansambla u većem dijelu godine u sva tri podskupa regionalnih klimatskih simulacija.



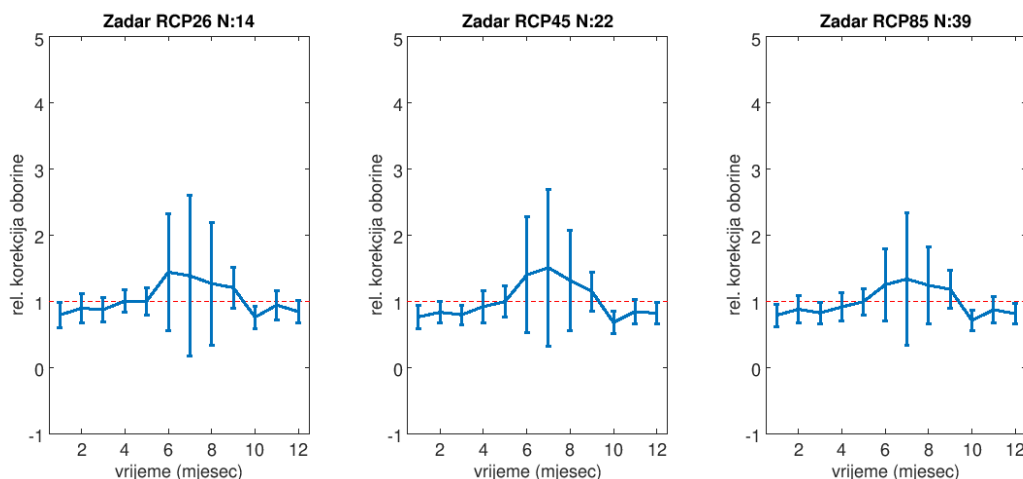
**Slika 3.3.1.2** Godišnji hod srednje mjesečne količine oborine (mm; prvi red) i godišnji hod koeficijenta varijacije mjesečne količine oborine (bez dimenzija; drugi red). Prvi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP2.6; drugi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP4.5; treći stupac: modeli uključeni u scenarij RCP8.5. Plavo: srednjak i standardna devijacija unutar RCM ansambla; zeleno: raspon unutar RCM ansambla; crveno: mjerenja. Razdoblje: 1981. – 2010. Izvor: mjerenja DHMZ i izvorne simulacije regionalnih klimatskih modela. Lokacija: Zadar.

Primjenom statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka u rezultatima simulacija regionalnih klimatskih modela, omogućit će se primjena ovih simulacija kao ulaznih nizova za potrebe hidrološkog modeliranja. Za srednju temperaturu zraka određene su aditivne korekcije za svaki model i svaki mjesec (Slika 3.3.1.3). U sva tri podskupa simulacija nalazimo usporedive rezultate. Srednjak ansambla aditivnih korekcija je pozitivan tijekom cijele godine s maksimumom u svibnju te minimumom u veljači. Na razini rasapa ansambla standardna devijacija aditivnih korekcija ima vrijednosti od 1.5 °C do 4 °C. Za većinu mjeseci rasap ansambla uključuje 0 °C, osim za travanj i svibanj u sva tri podskupa simulacija, a za RCP8.5 i u lipnju, gdje je i ranije najčešće detektirano podcjenjivanje simuliranih mjesečnih temperatura zraka u odnosu na mjerenja.



**Slika 3.3.1.3** Godišnji hod aditivne korekcije srednje mjesečne temperature zraka (°C). Prikazan je srednjak i standardna devijacija mjesečnih korekcija unutar RCM ansambla za modele koji su uključeni u scenarije RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Razdoblje: 1981. – 2010. Lokacija: Zadar.

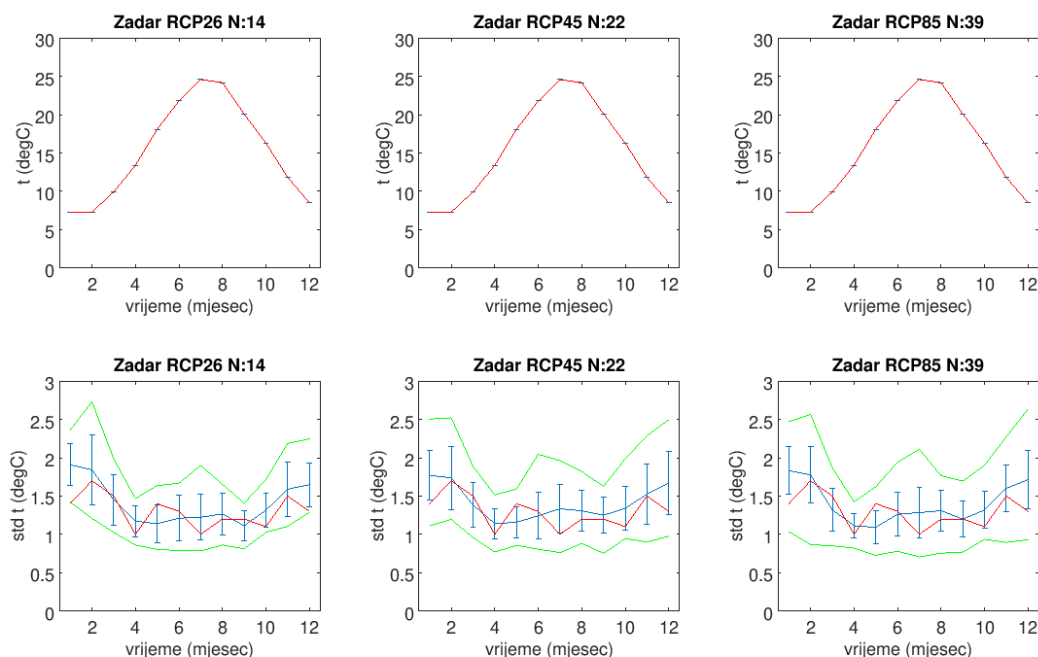
U slučaju srednje mjesečne oborine, statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka dobiva se primjenom relativnih korekcija (Slika 3.3.1.4). Srednjak i rasap ansambla relativnih korekcija (na osnovi pojedinačnih modelskih realizacija za svaki mjesec posebno) ukazuje na tri tipične situacije: (1) relativne korekcije su manje od 1.0 (bezdimenzionalna veličina) za listopad, mjesec za koji je na Slici 3.3.1.2 utvrđena tendencija precjenjivanja količine oborine, (2) relativne korekcije su izraženo veće od 1.0 za razdoblje od lipnja do rujna, kada se ističe i rasap ansambla relativnih korekcija, (3) za ostale mjesece je srednjak ansambla relativnih korekcija blizak 1.0 uz rasap istog ansambla reda veličine 0.5.



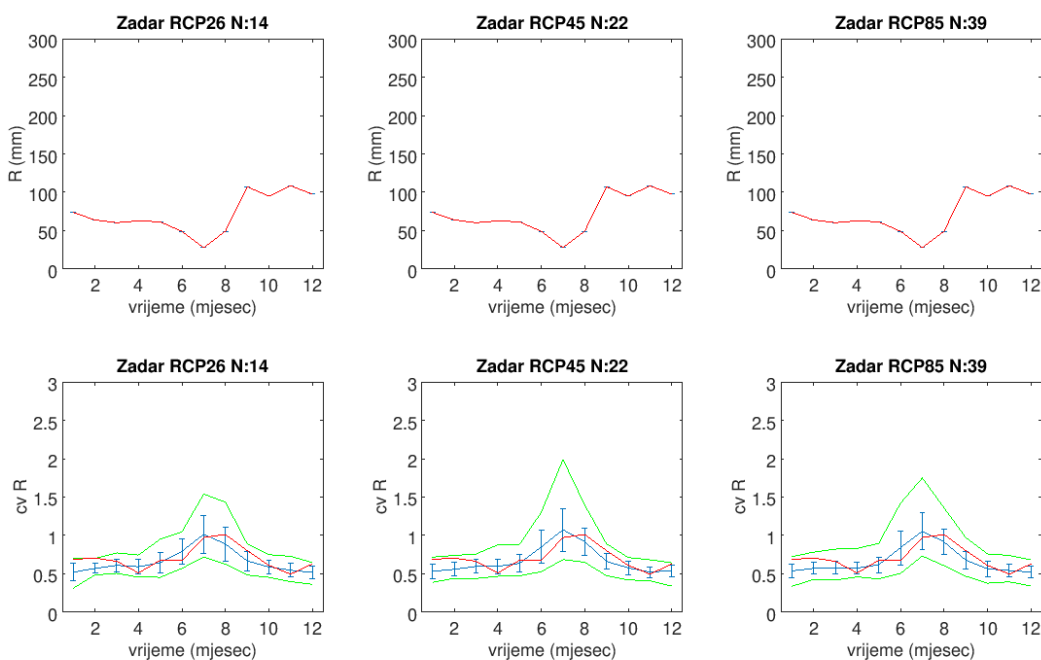
**Slika 3.3.1.4** Godišnji hod relativne korekcije srednje mjesečne količine oborine (bezdimenzionalna veličina). Prikazan je srednjak i standardna devijacija mjesečnih korekcija unutar RCM ansambla za modele koji su uključeni u scenarije RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Razdoblje: 1981. – 2010. Lokacija: Zadar.

Kao dodatnu provjeru uspješnosti statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka, Slike 3.3.1.5 i 3.3.1.6 prikazuju srednju temperaturu zraka i količinu oborine te pripadnu varijabilnost izraženu

standardnom devijacijom tj. koeficijentom varijacije nakon primjene aditivne tj. relativne korekcije. U slučaju srednje temperature zraka i količine oborine (prvi red Slike 3.3.1.5 i 3.3.1.6) po definiciji korištene metode za statističko uklanjanje dobivamo očekivano izjednačavanje simuliranih i opaženih vrijednosti unutar razdoblja od 1981. do 2010. (ne i na razini pojedinih mjeseci unutar istog razdoblja) te je rasap ansambla 0 °C i 0 mm. Primijenjena metoda ne utječe na standardnu devijaciju simulirane temperature te koeficijent varijacije simulirane količine oborine što je potvrđeno usporedbama Slike 3.3.1.1 i Slike 3.3.1.5, tj. Slike 3.3.1.2 i Slike 3.3.1.6 (drugi red).



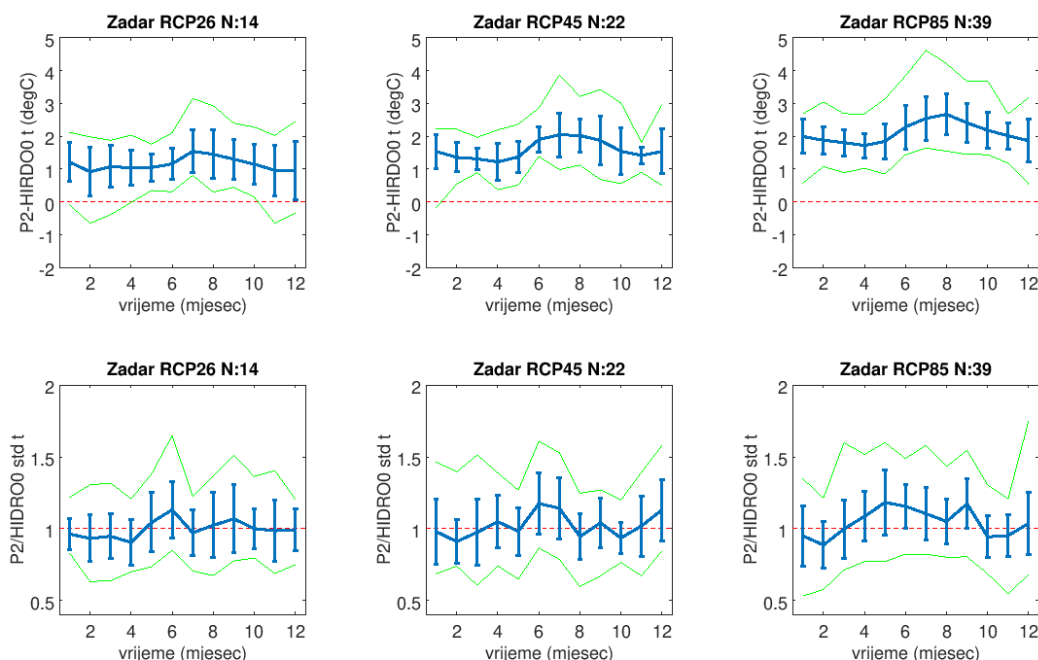
**Slika 3.3.1.5** Isto kao Slika 3.3.1.1 za *statistički obrađene* RCM simulacije. Razdoblje: 1981. – 2010. Lokacija: Zadar.



**Slika 3.3.1.6** Isto kao Slika 3.3.1.2 za *statistički obrađene* RCM simulacije. Razdoblje: 1981. – 2010. Lokacija: Zadar.

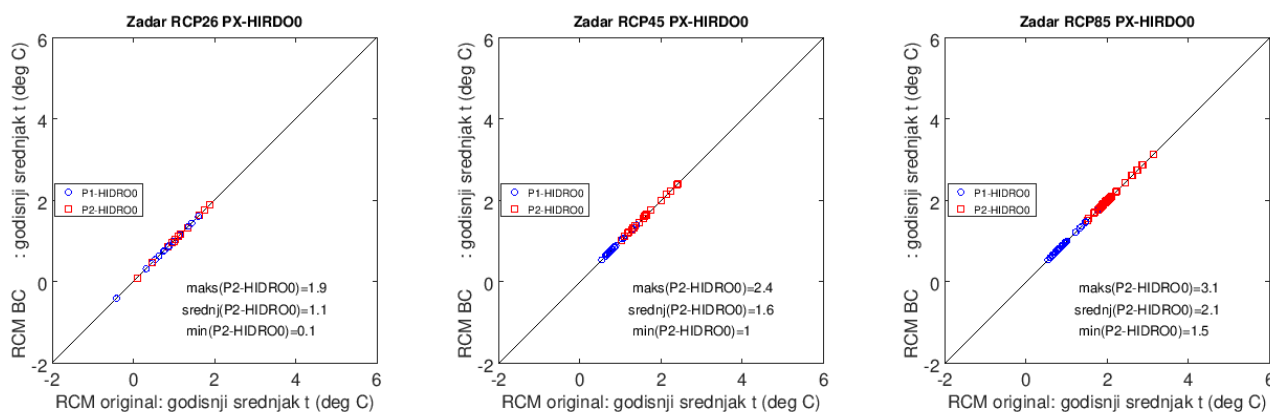
### 3.3.2. Simulacije buduće klime i utjecaj statističke obrade na signal klimatskih promjena

Regionalni klimatski modeli evaluirani u prethodnom poglavlju u odnosu na mjerenja DHMZ-a u razdoblju 1981. – 2010. korišteni su za procjenu signala klimatskih promjena na srednjoj mjesečnoj razini. U slučaju temperature zraka, prikazujemo razlike između simulirane srednje mjesečne temperature zraka u razdoblju 2041. – 2070. u odnosu na odabrano referentno povijesno razdoblje 1981. – 2010. (Slika 3.3.2.1, prvi red) te omjere simuliranih standardnih devijacija između ista dva razdoblja (Slika 3.3.2.1, drugi red). U slučaju srednje temperature, nalazimo relativno jednolik porast temperature tijekom čitave godine (uz izraženije zagrijavanje u ljetnim mjesecima) uz porast nivoa zagrijavanja podizanjem koncentracija od RCP2.6 do RCP8.5. U slučaju scenarija RCP2.6, nalazimo mjesece kada raspon (zeleno) ansambla uključuje negativne vrijednosti, i to u hladnom dijelu godine. Ipak, ovo nije situacija u scenariju RCP4.5 (osim za siječanj) i posebno izraženo u scenariju RCP8.5. U slučaju omjera standardne devijacije temperature zraka nalazimo jačanje tendencije porasta u toplom dijelu godine podizanjem koncentracija od RCP2.6 do RCP8.5, no rasap i raspon na razini ansambla gotovo uvijek sadržava vrijednost 1.0 (iznimka su lipanj i rujan u RCP8.5 za rasap ansambla) tako da ovaj tip analize za dva promatrana razdoblja ne ukazuje na jasan signal na razini ansambla regionalnih klimatskih simulacija. Ovo potvrđuje potrebu korištenja ansambla klimatskih modela u istraživanjima klimatskih promjena u područjima utjecaja kako bi se izbjegla ovisnost o jednom scenariju i jednom ili manjem broju modelskih realizacija.



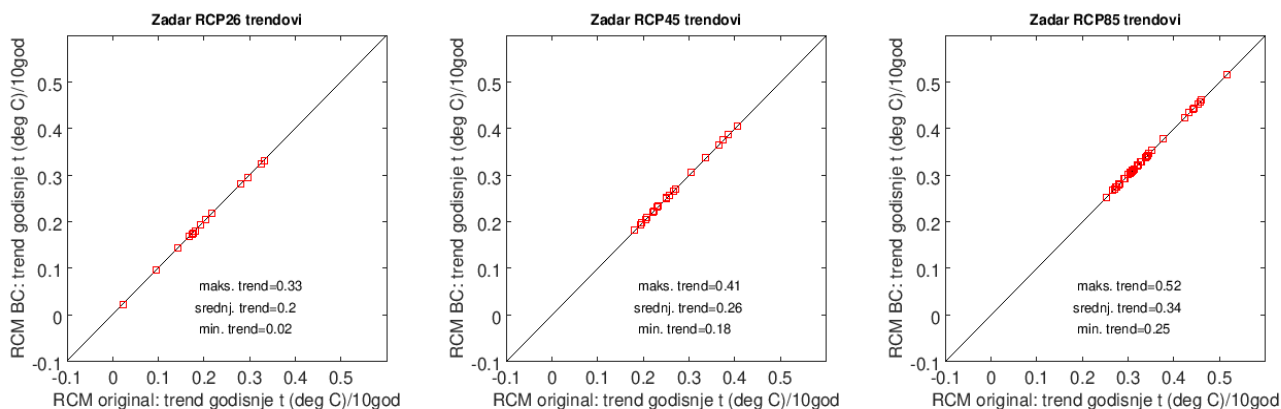
**Slika 3.3.2.1** Razlika mjesečnih srednjaka temperature zraka između budućeg razdoblja 2041. – 2070. i referentne klime 1981. – 2010. (prvi redak) i omjer mjesečnih standardnih devijacija temperature zraka između budućeg razdoblja 2041. – 2070. i referentne klime 1981. – 2010. (drugi redak). Prvi stupac: RCP2.6; drugi stupac: RCP4.5; treći stupac: RCP8.5. Lokacija: Zadar.

Osim usporedbe na srednjoj mjesečnoj skali, iste simulacije su analizirane i na srednjoj godišnjoj skali (Slika 3.3.2.2). Slika 3.3.2.2 sadrži tri dodatna elementa: (1) usporedbu promjena prije (x-os) i poslije (y-os) statističkog uklanjanja sustavne pogreške, (2) usporedbu referentnog povijesnog razdoblja s razdobljem 2011. – 2040. (plavo) i s razdobljem 2041. – 2070. (crveno) te (3) prikaz svake pojedinačne modelirane realizacije. Rezultati pokazuju: (1) zagrijavanje na godišnjoj skali nalazimo u svim simulacijama usporedbom 2041. – 2070. i 1981. – 2010., (2) ovisno o primijenjenom scenariju srednje zagrijavanje raste u RCP2.6 od 1.1 °C (uz raspon 0.1 – 1.9 °C), u RCP4.5 1.6 °C (uz raspon 1.0 – 2.4 °C) te u RCP8.5 2.1 °C (uz raspon 1.5 – 3.1 °C), (3) jačanje signala simuliranjem vremenski udaljenijeg razdoblja izostaje u slučaju RCP2.6 te je umjereno i očito izraženo u RCP4.5 i RCP8.5, (4) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka ne utječe na signal klimatskih promjena, što je očekivano s obzirom na aditivnu korekciju u slučaju temperature zraka.



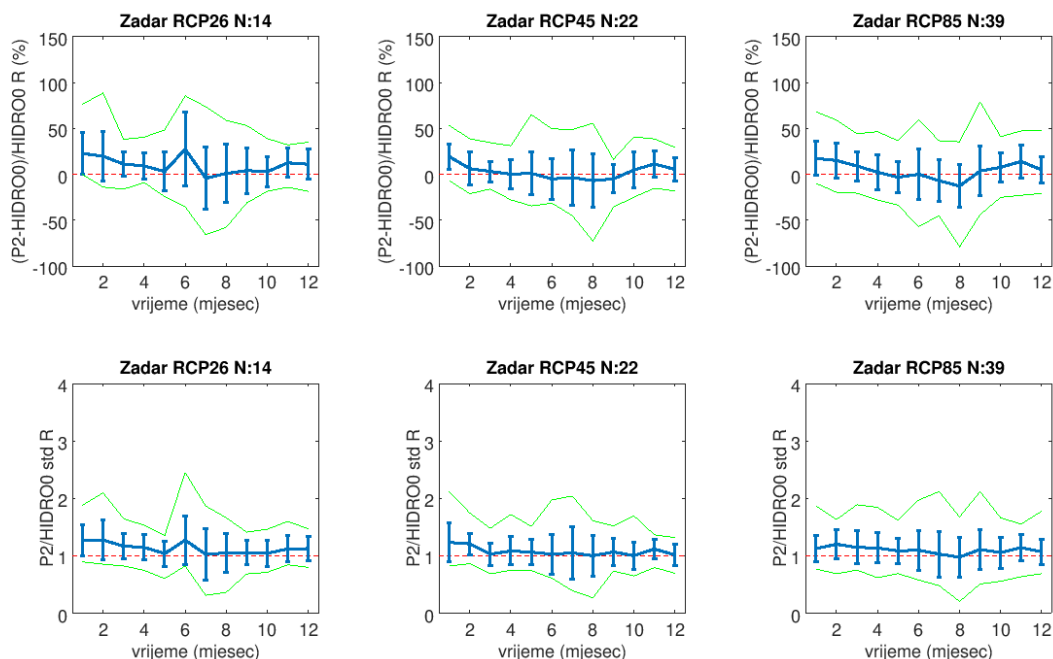
**Slika 3.3.2.2** Usporedba projicirane promjene u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os). Plavo: 2011. – 2040. u odnosu na 1981. – 2010.; crveno: 2041. – 2070. u odnosu na 1981. – 2010. Analizirana veličina: srednja godišnja temperatura zraka (°C). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (lijevo), RCP4.5 (sredina) i RCP8.5 (desno). Lokacija: Zadar.

Osim promjena između dva tridesetogodišnja razdoblja, utjecaj odabira scenarija i primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka analiziran je za linearni trend kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. (Slika 3.3.2.3). Rezultati uključuju sljedeće: (1) zagrijavanje nalazimo u svim simulacijama, neovisno o scenariju, (2) ovisno o primijenjenom scenariju iznos linearnog trenda raste u RCP2.6 od 0.20 °C/10 god. (0.02 – 0.33 °C/10 god.), u RCP4.5 0.26 °C/10 god. (0.18 – 0.41 °C/10 god.) te u RCP8.5 0.34 °C/10 god. (0.25 – 0.52 °C/10 god.), (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka ne utječe na trend godišnjih temperatura zraka.



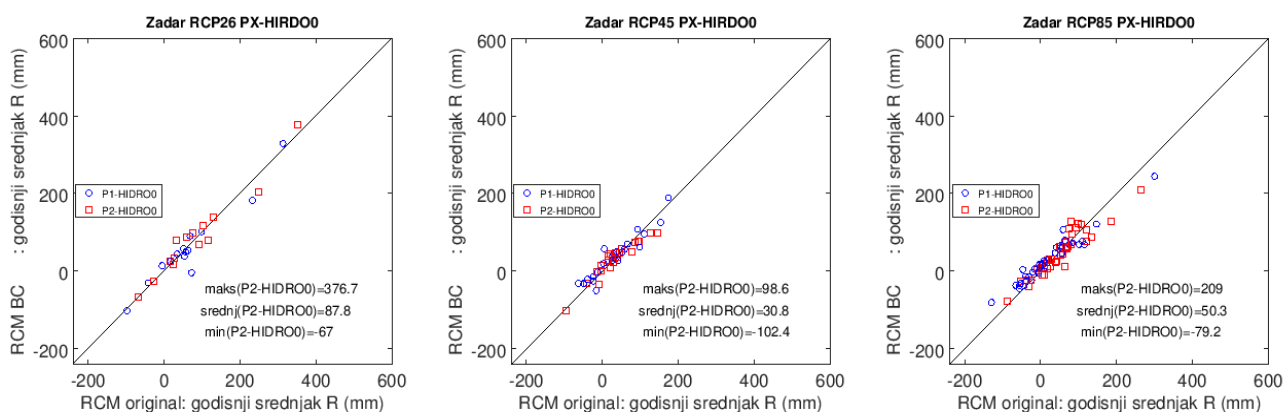
**Slika 3.3.2.3** Usporedba linearnog trenda u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os) za razdoblje 1971. – 2070. Analizirana veličina: trend godišnje temperature zraka ( $^{\circ}\text{C}/10$  god). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (lijevo), RCP4.5 (sredina) i RCP8.5 (desno). Lokacija: Zadar.

U slučaju količine oborine, prikazujemo relativne razlike između simulirane srednje mjesečne količine oborine u razdoblju 2041. – 2070. u odnosu na odabrano referentno povijesno razdoblje 1981. – 2010. (Slika 3.3.2.4, prvi red) te omjere simuliranih koeficijenata varijacije između ista dva razdoblja (Slika 3.3.2.4, drugi red). Rezultate za sva tri podskupa regionalnih klimatskih modela možemo sažeti: (1) srednjak ansambla pokazuje sklonost negativnim promjenama u toplom dijelu godine te povećanju u hladnom dijelu godine u scenarijima RCP4.5 i RCP8.5, dok se u scenariju RCP2.6 javljaju pozitivne relativne promjene u svim mjesecima osim za srpanj, (2) unatoč promjenama simuliranim na razini srednjaka ansambla, rasap i raspon ansambla gotovo uvijek su isti, tj. 0 % (jedina iznimka je rasap ansambla u siječnju u slučaju scenarija RCP4.5), (3) omjer budućih i povijesnih koeficijenata varijacije ne pokazuje tendenciju značajnih promjena.



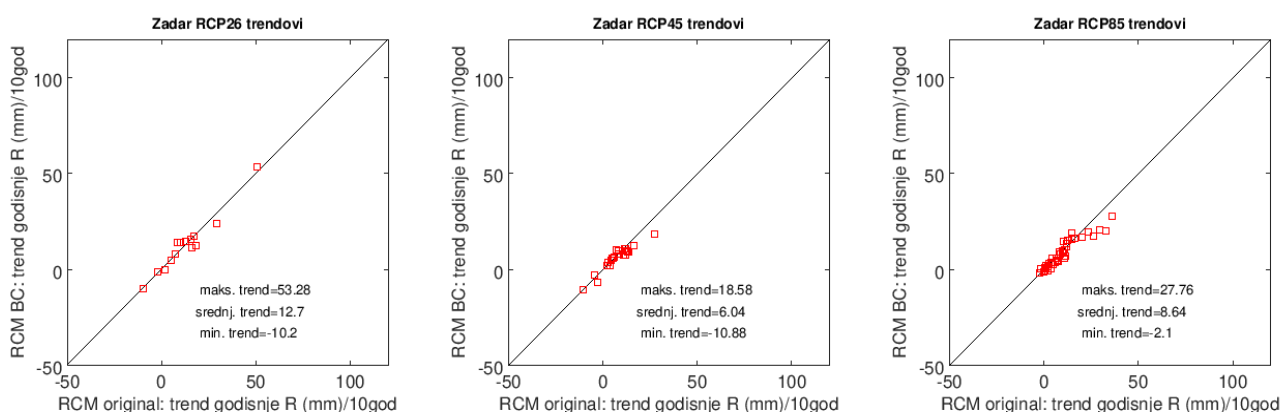
**Slika 3.3.2.4** Relativna razlika mjesečnih količina oborine između budućeg razdoblja 2041. – 2070. i referentne klime 1981. – 2010. (prvi redak) i omjer mjesečnih koeficijenata varijacije/standardne devijacije količine oborine između budućeg razdoblja 2041. – 2070. i referentne klime 1981. – 2010. (drugi redak). Prvi stupac: RCP2.6; drugi stupac: RCP4.5; treći stupac: RCP8.5. Lokacija: Zadar.

Analiza simulacija na srednjoj godišnjoj skali ukazuje na tendenciju blagog povećanja količine oborine u sva tri scenarija (Slika 3.3.2.5). Rezultati uključuju sljedeće: (1) ovisno o primijenjenom scenariju srednje povećanje oborine raste u RCP2.6 87.8 mm (uz raspon od -67.0 do 376.7 mm), u RCP4.5 30.8 mm (uz raspon od -102.4 do 98.6 mm) te u RCP8.5 50.3 mm (uz raspon od -79.2 do 209.0 mm), (2) ne postoji izražena razlika između signala relativnih promjena u dva buduća razdoblja u odnosu na 1981. – 2010., (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka pokazuje veću osjetljivost nego u slučaju srednjih godišnjih temperatura no ograničeno utječe na signal klimatskih promjena.



**Slika 3.3.2.5** Usporedba projicirane promjene u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os). Plavo: 2011. – 2040. u odnosu na 1981. – 2010.; crveno: 2041. – 2070. u odnosu na 1981. – 2010. Analizirana veličina: srednja godišnja količina oborine (mm). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Lokacija: Zadar.

Utjecaj odabira scenarija i primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogreška analiziran je za linearni trend kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. (Slika 3.3.2.6). Rezultati uključuju sljedeće: (1) tendencija blagog porasta srednje godišnje količine oborine neovisno o scenariju, (2) ovisno o primijenjenom scenariju iznos linearnog trenda raste u statistički obrađenim simulacijama u RCP2.6 za iznos 12.70 mm/10 god. (raspon od -10.20 do 53.28 mm/10 god.), u RCP4.5 za iznos 6.04 mm/10 god. (raspon od -10.88 do 18.58 mm/10 god.) te u RCP8.5 za iznos 8.64 mm/10 god. (raspon od -2.10 do 27.76 mm/10 god.), (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka utječe ograničeno na magnitudu trenda godišnjih količina oborine.



**Slika 3.3.2.6** Usporedba linearnog trenda u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os) za razdoblje 1971.–2070. Analizirana veličina: trend godišnje količina oborine (mm/10 god). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Lokacija: Zadar.

### 3.3.3. Definiranje podskupa regionalnih klimatskih simulacija za potrebe hidroloških analiza

Za potrebe hidrološkog modeliranja unutar projekta UKV unutar svakog od RCP scenarija odabrana su tri reprezentativna modela od dostupnih 14 u RCP2.6, 22 u RCP4.5 te 49 u RCP8.5. S obzirom na blag do umjeren signal promjena u hidrološkom ciklusu u usporedbama srednje klime od 1981. do 2010. te od 2041. do 2070., odnosno u analizama trendova kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. odabir podskupa regionalnih klimatskih modela je vođen izborom modela s nižim, srednjim i izraženim nivoom zagrijavanja. Također, odabrani su modeli unutar svakog scenarija koji su reprezentativni za sve tri lokacije unutar projekta UKV.

Za scenarij RCP2.6, promjena srednje godišnje temperature zraka između budućeg i povijesnog razdoblja na razini srednjaka ansambla je 1.2 °C (na razini medijana ansambla je 1.1 °C). Odabrani modeli su RCM3, RCM10 i RCM13 (Slika 3.3.3.1, prvi redak):

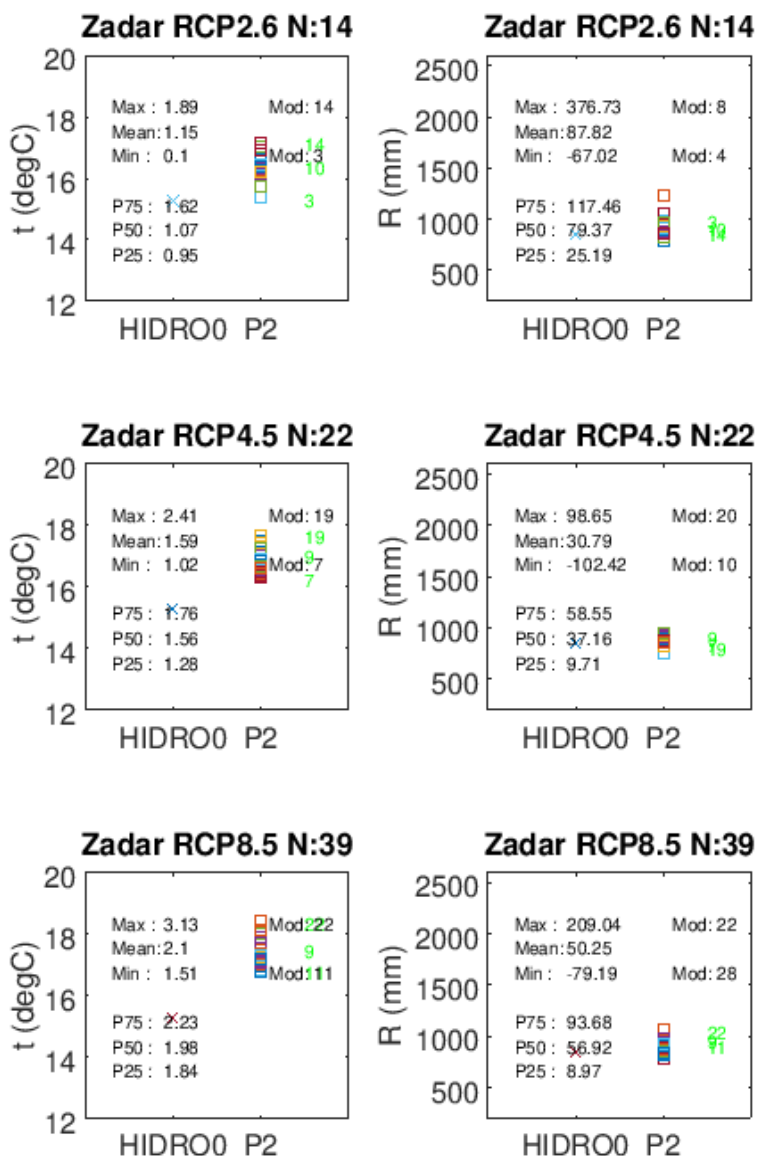
RCM3: ICHEC-EC-EARTH\_rcp26\_r12i1p1\_KNMI-RACMO22E\_v1,  
RCM10: MPI-M-MPI-ESM-LR\_rcp26\_r1i1p1\_SMHI-RCA4\_v1a,  
RCM14: MOHC-HadGEM2-ES\_rcp26\_r1i1p1\_DHMZ-RegCM42\_v1.

Za scenarij RCP4.5, promjena srednje godišnje temperature zraka između budućeg i povijesnog razdoblja na razini srednjaka ansambla je 1.6 °C (na razini medijana ansambla je 1.6 °C). Odabrani modeli su RCM7, RCM9 i RCM19 (Slika 3.3.3.1, drugi redak):

RCM7: ICHEC-EC-EARTH\_rcp45\_r1i1p1\_KNMI-RACMO22E\_v1,  
RCM9: IPSL-IPSL-CM5A-MR\_rcp45\_r1i1p1\_SMHI-RCA4\_v1,  
RCM19: MOHC-HadGEM2-ES\_rcp45\_r1i1p1\_DHMZ-RegCM42\_v1.

Za scenarij RCP8.5, promjena srednje godišnje temperature zraka između budućeg i povijesnog razdoblja na razini srednjaka ansambla je 2.1 °C (na razini medijana ansambla je 2.0 °C). Odabrani modeli su RCM11, RCM9 i RCM22 (Slika 3.3.3.1, treći redak):

RCM11: ICHEC-EC-EARTH\_rcp85\_r1i1p1\_KNMI-RACMO22E\_v1,  
RCM9: ICHEC-EC-EARTH\_rcp85\_r12i1p1\_SMHI-RCA4\_v1,  
RCM22: MOHC-HadGEM2-ES\_rcp85\_r1i1p1\_MOHC-HadREM3-GA7-05\_v1.



**Slika 3.3.3.1** Simulirana srednja godišnja temperatura zraka (lijevi stupac) i srednja godišnja količina oborine (desni stupac) u dva razdoblja: 1981. – 2010. (HIDRO0) i 2041. – 2070. (P2). Prvi redak: RCP2.6 za P2 razdoblje; drugi redak: RCP4.5 za P2 razdoblje; treći redak: RCP8.5 za P2 razdoblje. Svaka slika sadrži sljedeće statističke informacije: maksimalni signal između dva razdoblja (u kojem modelu), srednji signal između dva razdoblja, minimalni signal između dva razdoblja (u kojem modelu), 25., 50. i 75.-ti percentil svih analiziranih signala u pojedinom scenariju. Zeleno: odabrani podskup modela za potrebe hidrološkog modeliranja. Lokacija: Zadar.

## 4. Pilot područje Blatskog polja na otoku Korčuli

Klima pilot područja Blatskog polja na otoku Korčuli analizirana je prema podacima meteorološke postaje Vela Luka ( $h = 5$  m,  $\varphi = 42^{\circ}58'$  N,  $\lambda = 16^{\circ}43'$  E) najbliže predmetnom pilot području (Pog. 4.1). Klimatske prilike razdoblja 1981. – 2010. detaljnije su prikazane gridovima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine (Pog. 4.2). Buduća klima i klimatske promjene prikazana je rezultatima klimatskih simulacija za povijesnu i buduću klimu. Korišten je ansambl regionalnih klimatskih modela iz EURO-CORDEX inicijative (Jacob i sur. 2014, Kotlarski i sur. 2014) te simulacije izrađene za potrebe izrade Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (MZOE, 2017) (Pog. 4.3).

### 4.1. Klimatološki podaci meteorološke postaje Vela Luka

U ovom poglavlju prikazane su opće klimatske karakteristike na području Blatskog polja na otoku Korčuli, te anomalije i opažene promjene temperature zraka i količine oborine. Godišnji hodovi pojedinog klimatološkog elementa i njihova međugodišnja varijabilnost analizirani su prema podacima meteorološke postaje Vela Luka za referentno klimatološko razdoblje 1981. – 2010. (potpoglavljje 4.1.1), dok je analiza trenda te ocjena sušnosti/kišnosti za pojedinu godinu provedena za najdulje raspoloživo razdoblje podataka, 1951.–2019. (potpoglavljje 4.1.2). Rezultati su uspoređeni s ranijom klimatološkom analizom na istom području koja je provedena za potrebe projekta CC-Waters (Gajić-Čapka i sur. 2010), a za koju je korišteno referentno klimatološko razdoblje 1961.–1990.

#### 4.1.1. Opće klimatske karakteristike

Glavne klimatske karakteristike otoka Korčule određene su atmosferskom cirkulacijom umjerenih širina, utjecajem mora te kopnenom unutrašnjosti u zaleđu, a u manjoj mjeri klimu ovog područja modificira konfiguracija terena, tip tla i slično. Zbog svog položaja, ljeti ovo područje dolazi pod utjecaj subtropske zone visokog tlaka s prevladavajućim suhim i toplim vremenskim obilježjima (Zaninović i sur. 2008). U hladnom dijelu godine, Korčula je pod utjecajem zapadnih smjerova vjetera koji dominiraju u umjerenim širinama s redovitim izmjenama visokog i niskog tlaka zraka (Gajić-Čapka i sur. 2010). Utjecaj mora na klimu ovog područja se ponajviše očituje ublažavanjem temperaturnih ekstrema kroz godinu. Naime, zbog svog velikog toplinskog kapaciteta, more se ljeti manje ugrije nego kopno te u ljetnim mjesecima ima osvježavajući učinak, dok zimi smanjuje hladnoću.

Prema Köppenovoj klasifikaciji klime (Kottek i sur. 2006), koja uvažava bitne odlike srednjeg godišnjeg hoda temperature zraka i oborine, područje Vela Luke ima umjereno toplu kišnu klimu (C) kojoj odgovara srednja temperatura najhladnijeg mjeseca viša od  $-3^{\circ}\text{C}$  i niža od  $18^{\circ}\text{C}$ . Najsuši mjesec je u toplom dijelu godine (od travnja do rujna) s manje od 40 mm oborine koja je bar tri puta manja od one koja pripada najkišovitijem mjesecu u hladnom dijelu godine (oznaka *s*). Ljeta su vruća sa srednjom temperaturom najtoplijeg mjeseca višom od  $22^{\circ}\text{C}$  (oznaka *a*). Konačna Köppenova oznaka za klimu na području Vela Luke je *Csa*.

Srednji godišnji hod **temperature zraka** na postaji Vela Luka ima jasan valni oblik s maksimumom u srpnju (25.3°C), te minimumom u siječnju (7.3°C) (Slika 4.1.1.1a). Utjecaj mora na godišnji hod temperature zraka očituje se u sporom jesenjem ohlađivanju i još sporijem proljetnom grijanju, tako da je proljeće u prosjeku hladnije od jeseni za 2°C (Tablica 4.1.1.1). Zbog jakog utjecaja mora koji ublažava temperaturne ekstreme, vrijednosti standardnih devijacija upućuju na podjednaku stabilnost temperature zraka tokom godine (od 0.8°C do 0.9°C). Nešto veće odstupanje može se očekivati u hladnom dijelu godine, od studenog do ožujka (1.4 - 1.5°C), a najmanje u travnju, srpnju i listopadu (0.9 - 1.0 °C) (Slika 4.1.1.1b). Srednja godišnja temperatura zraka na postaji Vela Luka iznosi 15.6°C, a vrijednosti srednje godišnje temperature u tom 30-godišnjem razdoblju kretale su se od 14.7°C do 16.5°C. Standardna devijacija je na godišnjoj razini manja od sezonskih vrijednosti i iznosi 0.5 °C. Usporedbom s prethodnim razdobljem, 1961.–1990. (Gajić-Čapka i sur. 2010), srednja godišnja temperatura zraka se povećala za 0.2°C, a stabilnost godišnje srednje dnevne temperature zraka se smanjila za 0.1°C što je posljedica povećanja nestabilnosti temperature zraka u svim sezonama, osim jeseni. U tablici 4.1.1.1 navedene su i vrijednosti percentila koji određuju (empirijsku) vjerojatnost prekoračenja ekstremnih vrijednosti temperature zraka. Razlika između 2. i 98. percentila nešto je veća ljeti nego u ostalim sezonama. Usporedbom s rezultatima iz ranijeg razdoblja, 1961. – 1990. (Gajić-Čapka i sur. 2010), raspon percentila se u novijem razdoblju povećao u svim sezonama, osim u proljeće. Pogledamo li odstupanja između medijana (50.percentila) i 2., odnosno 98. percentila, koje bi u slučaju normalne i stacionarne razdiobe trebale biti jednake, u proljeće je uočeno veće odstupanje 98. percentila od medijana nego što je to slučaj za lijevi dio razdiobe, ukazujući na moguće povećanje asimetrije proljetne razdiobe srednje dnevne temperature zraka.

**Tablica 4.1.1.1** Osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, maksimum, minimum i percentili) sezonske i godišnje srednje dnevne temperature zraka (u °C) na postaji Vela Luka, za razdoblje 1981.–2010.

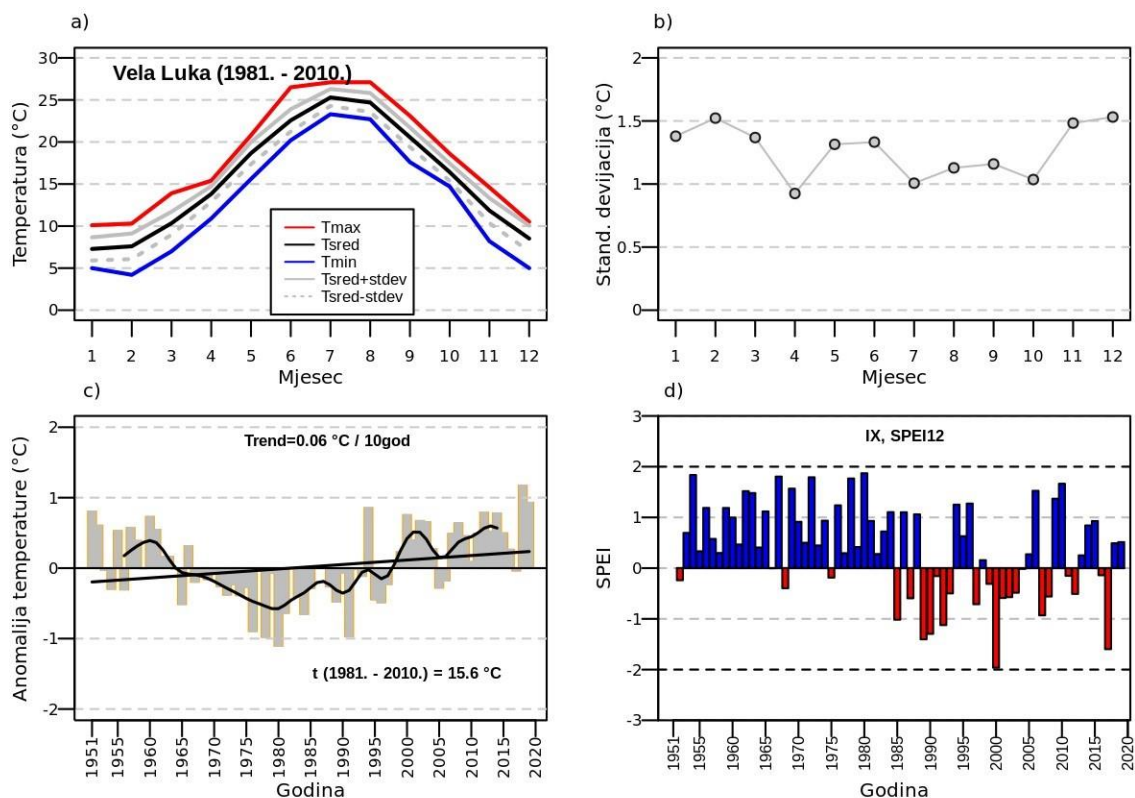
	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Godina
sred	7.8	14.3	24.2	16.3	15.6
stdev	0.9	0.8	0.9	0.8	0.5
maks	9.7	15.5	26.9	18.1	16.5
min	6.2	12.2	22.1	14.7	14.7
Percentili					
1.	6.2	12.4	22.3	14.8	14.7
2.	6.3	12.5	22.6	14.8	14.8
5.	6.3	13	23	14.9	15
10.	6.5	13.3	23.3	15	15.1
50.	7.8	14.2	24.1	16.3	15.6
90.	9	15.4	25.2	17.3	16.3
95.	9.2	15.5	25.4	17.6	16.4
98.	9.4	15.5	26.1	17.9	16.4
99.	9.6	15.5	26.5	18	16.5

Odnos količine **oborine** toplog i hladnog dijela godine ukazuje na maritimni tip oborinskog režima na području Vele Luke, s većom količinom oborine u hladnom nego u toplom dijelu godine i minimumom ljeti (Slika 4.1.1.2a). Stoga i empirijska razdioba percentila sezonskih količina oborine i njihovo odstupanje od medijana ukazuje na veće vrijednosti tijekom jesenskih i zimskih mjeseci (Tablica 4.1.1.2). Prosječno godišnje padne 771.7 mm oborine, a od toga 66 % padne u hladnom dijelu godine (jesen i zima) kad se mogu očekivati najintenzivnije dnevne količine oborine. Maksimum oborine tijekom godine nastupa u studenom (115.4 mm) dok je srpanj mjesec s najmanjom količinom oborine (15.9 mm) (Slika 4.1.1.2a). U analiziranom 30-godišnjem razdoblju maksimalna mjesečna količina oborine zabilježena je u studenom 1993. godine (315.7 mm) i bila je gotovo tri puta veća od prosječne količine oborine za studeni. Vrijednosti koeficijenta varijacije kreću se od 30 % u jesen do 70 % ljeti. Ipak, na mjesečnoj razini, promjenjivost od godine do godine varira u rasponu od 50 % (travanj) do 130 % (kolovoz) (Slika 4.1.1.2b). Godišnje količine oborine su stalnije od sezonskih i mjesečnih s promjenljivošću od 20 %. Godišnja količina oborine preko 968.8 mm može se očekivati prosječno jednom u 10 godina, dok 50-godišnja povratna vrijednost iznosi 1125.4 mm. Proljetna i ljetna količina oborine koja odgovara 10-godišnjoj i većoj povratnoj vrijednosti ( $\geq 90$ . percentil) su sličnih vrijednosti. Za lijevi dio empirijske razdiobe percentila, najveće su jesenske količine oborine, dok su u desnom dijelu veće zimske količine oborine. S druge strane, ekstremno sušne godine, odnosno sezone, su one u kojima je zabilježena količina oborine manja od pripadnog 2. percentila. Ta vrijednost je, u godišnjem hodu, najmanja u ljetnim mjesecima. U usporedbi s ranijim klimatološkim razdobljem, u novijem razdoblju su vrijednosti percentila u svim sezonama znatno manje što upućuje na sušnije prilike na ovom pilot području, u skladu s osušenjem u Sredozemlju.

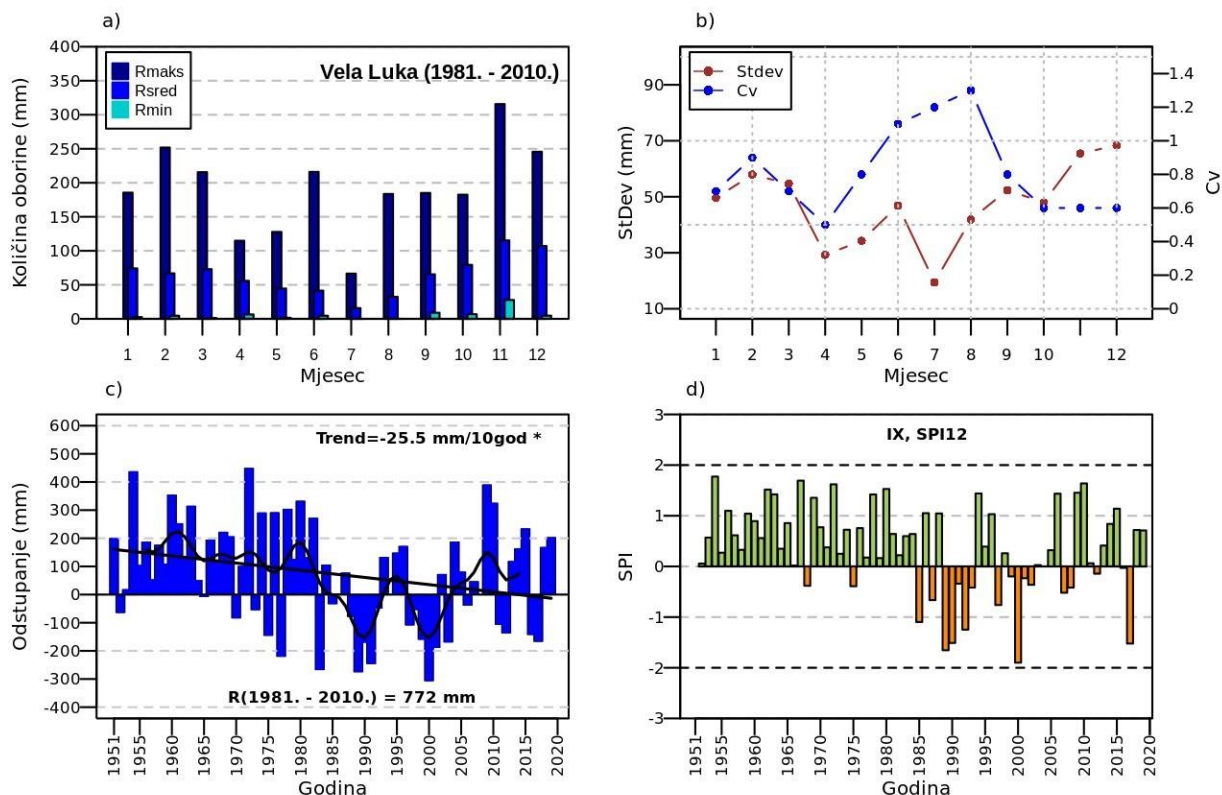
**Tablica 4.1.1.2.** Osnovni statistički parametri (srednjak, standardna devijacija, koeficijent varijacije, maksimum i minimum i percentili) sezonske i godišnje količine oborine (u mm) na postaji Vela Luka, za razdoblje 1981. – 2010.

	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Godina
sred	249.9	173.5	89.8	260.2	771.7
stdev	127.9	66.5	60.8	89	180.0
cv	0.5	0.4	0.7	0.3	0.2
maks	590.4	364.3	219.3	482.7	1163.2
min	43.8	69.8	16.9	118.3	463.9
Percentili					
1.	45.1	74.1	17.1	122.8	473.1
2.	46.4	78.4	17.3	127.3	482.3
5.	78.5	93.4	18.9	142.1	499.2
10.	116.4	104.9	26.4	154.2	522.5
50.	246.4	153.2	79.6	270.1	771.3
90.	404.8	256.7	193.7	337.5	968.8
95.	475.6	284.4	199.8	401.8	1074.1
98.	535.2	326.3	208.6	451.6	1125.4

99.	562.8	345.3	214.0	467.1	1144.3
-----	-------	-------	-------	-------	--------



**Slika 4.1.1.1.** (a) Godišnji hod srednje, srednje minimalne i maksimalne mjesečne temperature zraka i (b) standardne devijacije i koeficijenta varijacije u razdoblju 1981.–2010. (c) Vremenski niz odstupanja srednjih godišnjih vrijednosti temperature zraka od srednjaka, linearni trend (crna linija) i binomni klizni srednjak (crna krivulja) te (d) vrijednosti standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (SPEI), na 12-mjesečnoj skali za rujan (hidrološka godina), na postaji Vela Luka za razdoblje 1951.–2019.



**Slika 4.1.1.2.** (a) Godišnji hod srednje količine oborine i (b) standardne devijacije u razdoblju 1981.–2010. (c) Vremenski niz odstupanja godišnjih količina oborine od srednjaka, linearni trend (crna linija) i binomni klizni srednjak (crna krivulja) te (d) vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa (SPI) na 12-mjesečnoj skali za rujan (hidrološka godina), na postaji Vela Luka za razdoblje 1951.–2019.

#### 4.1.2. Klimatske anomalije i trend

Na slici 4.1.1.1c prikazane su godišnje anomalije srednje dnevne temperature zraka u odnosu na referentni srednjak (1981. – 2010.) na postaji Vela Luka te iznos linearnog trenda za razdoblje 1951.–2019. Rezultati ukazuju na statistički značajan porast temperature zraka u toplom dijelu godine (od 0.12 do 0.24°C), te negativan trend u hladnom dijelu godine (Tab 4.1.2.1) rezultirajući blagim porastom temperature zraka na godišnjoj razini (0.06°C). Naime, u razdoblju od 1966. do 1994. odstupanje godišnje temperature zraka od prosjeka bilo je negativno, dok je od početka 21. stoljeća zabilježeno pretežno pozitivno odstupanje temperature zraka od prosjeka. Najtoplija godina na području Vele Luke bila je 2018. s prosječnom godišnjom dnevnom temperaturom zraka od 16.8°C.

Rezultati trenda godišnje količine oborine na postaji Vela Luka ukazuju na statistički značajno smanjenje oborine (-25.5 mm/10god) koje je ponajviše posljedica statistički značajnog smanjenja zimske količine oborine (-15.9 mm/10god), ali negativan trend prevladava i u svim ostalim sezonama. Usporedimo li ove rezultate s rezultatima trenda ranijih analiza za razdoblje 1951.–2009. (Gajić-Čapka i sur. 2010), vidljivo je da se u posljednjem desetljeću nastavilo smanjenje ljetne količine oborine, ali u blažoj mjeri, dok se zimski trend smanjenja količine oborine znatno povećao. Proljetno slabo povećanje oborine u ranijem razdoblju se počelo smanjivati.

Na komponente vodne ravnoteže najviše utječe kombinacija promatranih meteoroloških parametara. Uz tendenciju smanjenja količine oborine i povećanja temperature zraka u toplom dijelu godine, postoji rizik od pojačanog isparavanja i mogućnosti manjka vode na području Blatskog polja.

Anomalije količine oborine na razini hidrološke godine (od listopada do rujna) analizirane su pomoću vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa i standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa (SPEI) za mjesec rujna na 12-mjesečnoj skali (SPI-12, SPEI-12). U analiziranom 69-godišnjem razdoblju, primjetno je kako su do 1980-ih godina prevladavale pozitivne vrijednosti oba indeksa. Početkom 1990-ih, na hidrološkoj razini je zabilježeno sušno razdoblje u trajanju od pet godina, a potom su se izmjenjivala sušna i kišna razdoblja. Najsušnije godine bile su 2000. te 2017. godina. Slični rezultati oba indeksa, SPI i SPEI, ukazuju na to da je uzrok sušnosti uglavnom bio deficit oborine, a manje ekstremne temperature.

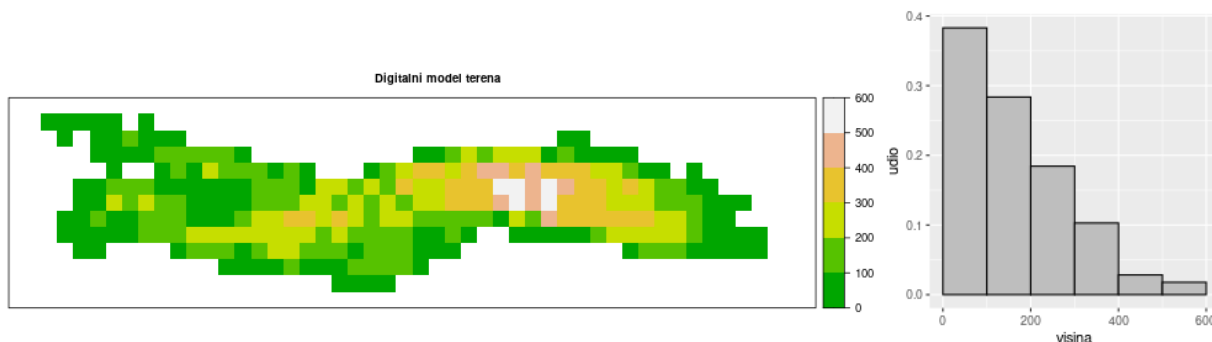
**Tablica 4.1.2.1** Rezultati trenda srednje sezonske i godišnje temperature zraka ( $t$ ) i količine oborine ( $R$ ) na postaji Vela Luka, razdoblje 1951. – 2019. Vrijednosti statistički značajnog trenda su podebljane.

	Zima	Proljeće	Ljeto	Jesen	Godina
$t$ (°C/10god)	<b>-0.13</b>	<b>0.12</b>	<b>0.24</b>	-0.02	0.06
$R$ (mm/10god)	<b>-15.9</b>	-0.7	-2.0	-2.4	<b>-25.5</b>
$R$ (%/10god)	<b>-6.4</b>	-0.7	-0.8	-0.9	<b>-3.3</b>

## 4.2. Gridovi srednje temperature zraka i količine oborine

Prostorna raspodjela temperature zraka i količine oborine dominantno ovisi u geografskim obilježjima, posebno o nadmorskim visinama. U pravilu je na manjim visinama toplije, a na višim hladnije, uz vrijednost vertikalne stope ohlađivanja od približno  $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Kod prostorne raspodjele oborine manje kiše obično imaju nizinska područja, a više brdska i planinska.

### 4.2.1. Digitalni model terena



**Slika 2.2.1.1** (a) Digitalni model terena i (b) histogram visina.

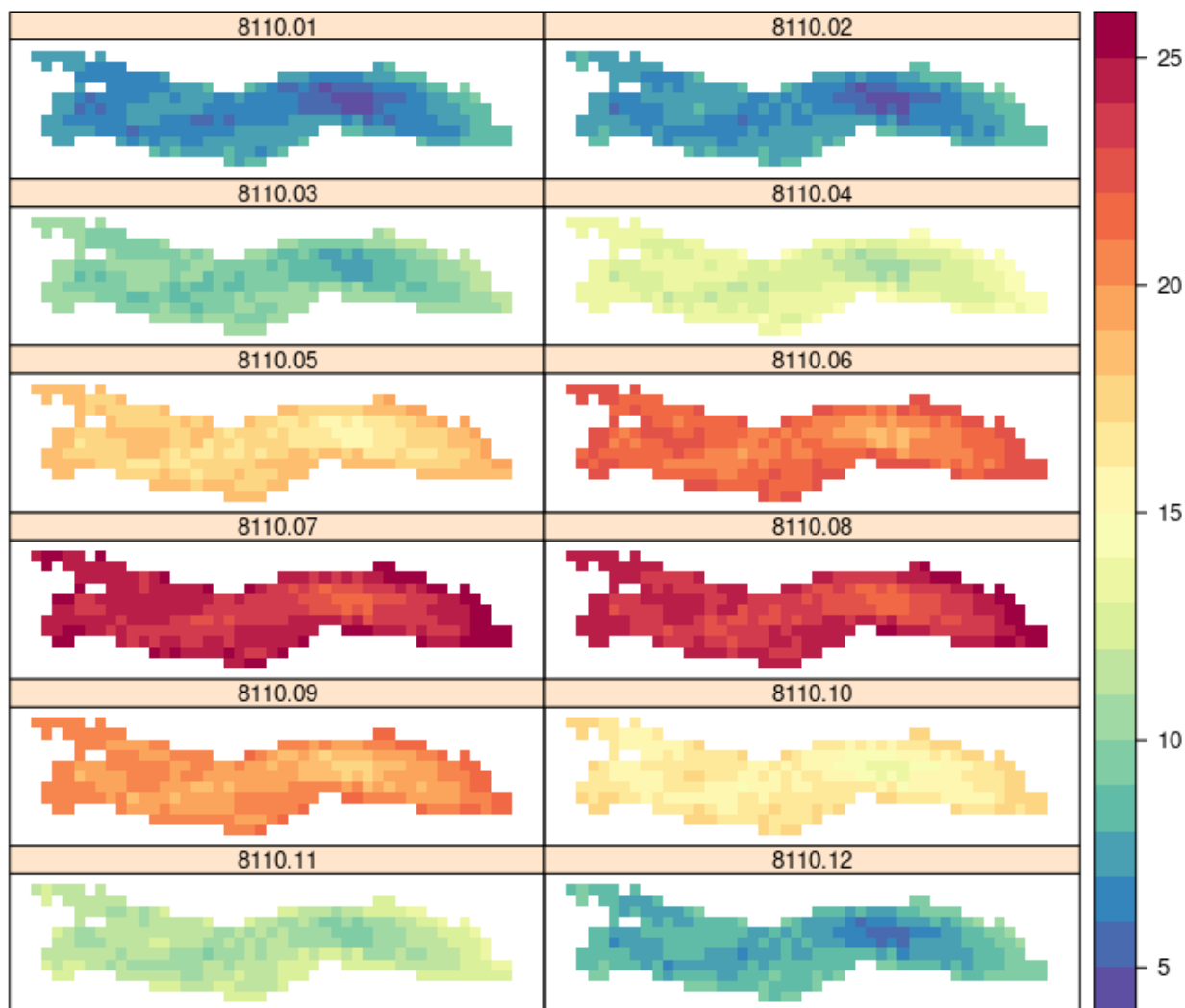
Prema korištenom digitalnom modelu terena rezolucije 1000 m površina otoka Korčule iznosi  $282\text{ km}^2$ . Najniža područja otoka Korčule nalaze se na 15 m n.v., a najviša su na 533 m n.v. Histogram udjela nadmorskih visina prema razredima visina od 100 m pokazuje da je 38 % područja otoka Korčule na nadmorskim visinama do 100 m, 28 % na visinama od 100-200 m dok je ostatak područja na visinama iznad 200 m. Time podaci postaje Vela Luka, koja se nalazi na 5 m nadmorske visine, nisu reprezentativni za oko 34 % područja te se ukazuje na vrijednost gridova u procjeni klimatskih osobitosti područja na kojima nema mjerenja.

Klimatske prilike razdoblja 1981. – 2010. detaljnije su prikazane gridovima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine. Godišnje vrijednosti dane su za kalendarsku i hidrološku godinu (listopad-rujan).

### 4.2.2. Temperatura zraka

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 4.2.2.1, a detaljnije su u tablici 4.2.2.1 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih gridova. Usprkos položaju na obali podaci postaje Vela Luka (stupac lokacija u Tab. 4.2.2.1) usporedivi su sa srednjacima gridova (stupac gr.sred), a ne s maksimumima kako je bio slučaj kod prva dva pilot područja. Najniže mjesečne vrijednosti temperature zraka su u siječnju, a najviše u srpnju. Srednja godišnja temperatura zraka je od  $12.6^{\circ}\text{C}$  na najvišim predjelima do  $16.6^{\circ}\text{C}$  uz obalu. Srednja godišnja temperatura zraka na otoku je  $15.0^{\circ}\text{C}$ . Razlike mjerenja i vrijednosti iz grida na lokaciji postaje Vela Luka ne prelaze  $0.6^{\circ}\text{C}$  što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.

Srednje mjesečne temperature zraka [°C]  
 Razdoblje 1981.-2010.

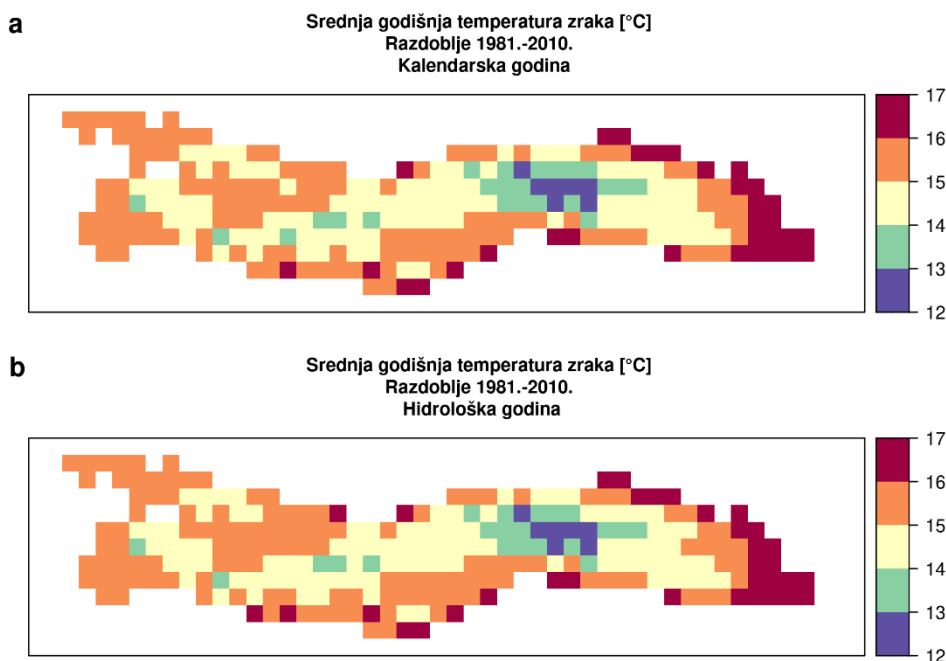


**Slika 4.2.2.1** Srednje mjesečne temperature zraka za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom razdoblja (8110) i mjeseca (01,...,12).

**Tablica 4.2.2.1** Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz grida (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti temperature zraka iz gridova za otok Korčulu.

mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks
01	7.2	6.8	0.4	4.4	7.0	9.2
02	7.5	7.3	0.2	4.7	7.2	9.2
03	10.5	10.0	0.5	7.3	9.8	11.5
04	13.8	13.4	0.4	10.7	13.0	14.6
05	18.8	18.2	0.6	15.4	17.7	19.2
06	22.6	22.1	0.5	18.8	21.4	22.8
07	25.3	25.0	0.3	21.6	24.2	25.7
08	24.7	24.5	0.2	21.3	23.8	25.5
09	20.5	20.5	0.0	17.5	20.0	21.5
10	16.3	16.0	0.3	13.8	16.2	17.8
11	11.8	11.6	0.2	9.3	11.5	13.4
12	8.6	8.2	0.4	5.6	8.2	10.3
13	15.6	15.4	0.2	12.6	15.0	16.6

Usporedba srednjih godišnjih temperatura zraka za kalendarsku i hidrološku godinu ne otkriva značajne razlike na nivou srednjaka normale 1981. – 2010. (Slika 2.2.2.2).

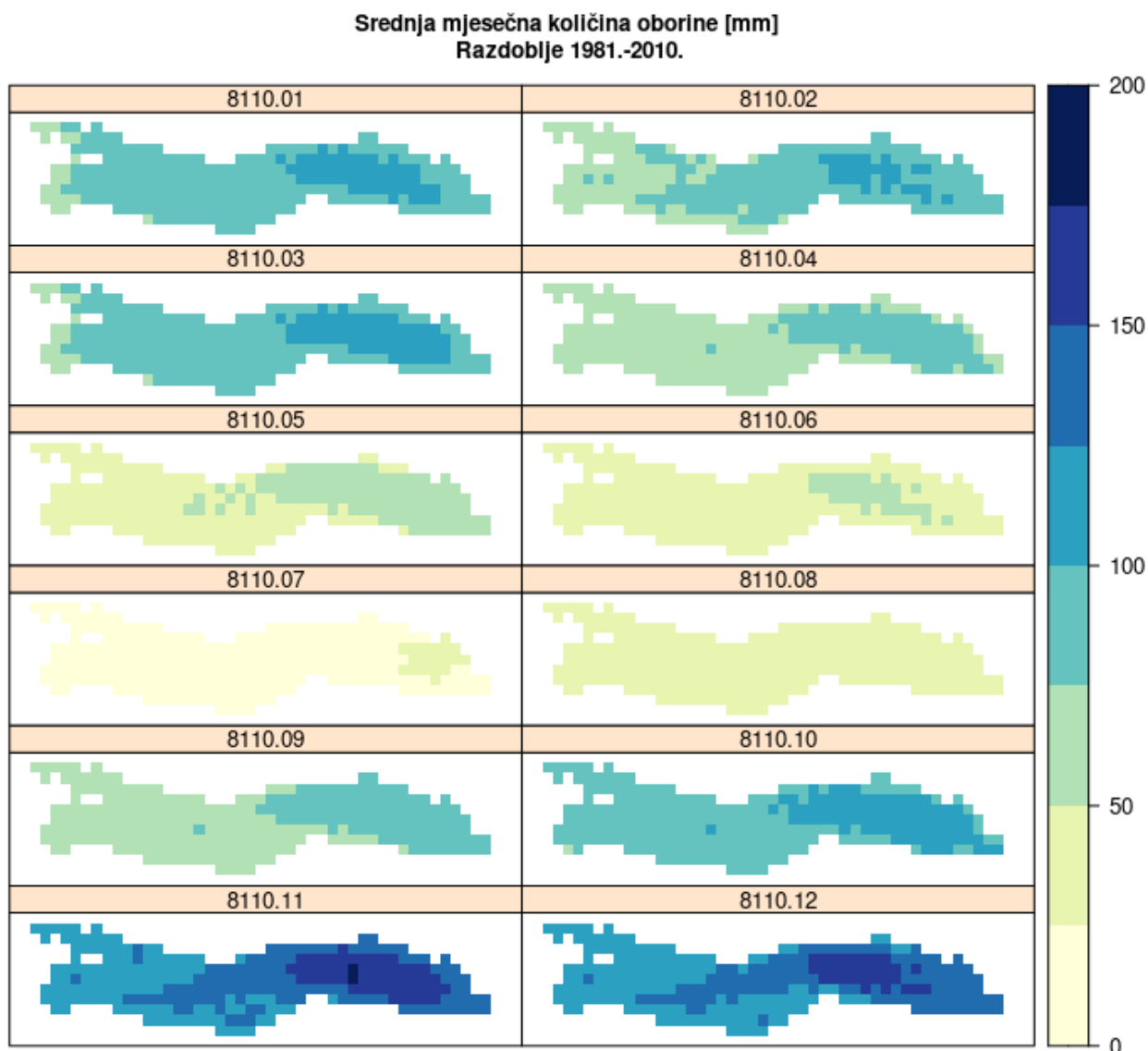


**Slika 4.2.2.2** Srednja godišnja temperatura zraka za (a) kalendarsku i (b) hidrološku godinu. Razdoblje 1981. – 2010.

### 4.2.3. Količina oborine

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih količina oborine za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 4.2.2.3, a detaljnije su u tablici 4.2.2.2 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih gridova. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Vela Luka, količina

oborine izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tab. 4.2.2.2) usporedive su s najnižim vrijednostima iz gridova (stupac gr.min) koje odgovaraju oborinama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne količine oborine su u srpnju, a najviše u studenom. Srednja godišnja količina oborine je od 745 mm na najnižim zapadnim dijelovima otoka do 1207 mm na vršnim istočnim dijelovima otoka uz srednjak na otoku od 919 mm. Razlike mjerenja i vrijednosti iz grida na lokaciji postaje Vela Luka ne prelaze 4.2 mm što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.

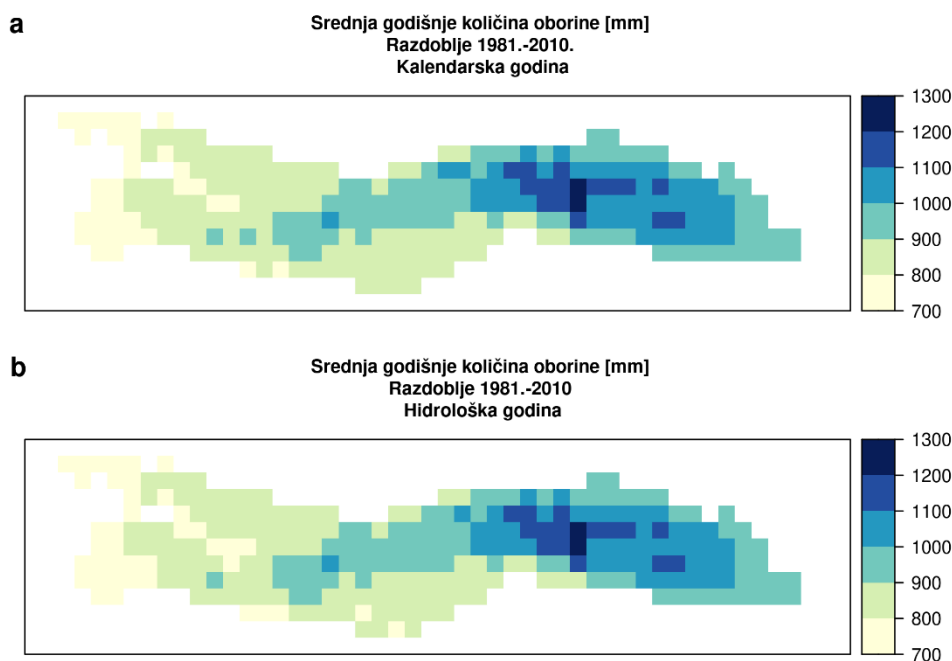


**Slika 4.2.2.3** Srednje mjesečne sume količine oborine za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom razdoblja (8110) i mjeseca (01,...,12).

**Tablica 4.2.2.2** Srednja mjesečna i godišnja količina oborine izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz grida (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti količine oborine iz gridova za otok Korčulu. Razdoblje 1981. – 2010.

mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks
01	71.9	75.2	-3.3	70.1	88.9	120.0
02	64.6	67.8	-3.2	63.0	82.7	113.9
03	73.9	75.4	-1.5	70.5	90.1	120.9
04	56.2	58.5	-2.3	53.8	70.4	96.0
05	42.4	43.1	-0.7	38.6	48.6	62.4
06	41.7	41.0	0.7	38.9	45.1	54.9
07	15.9	16.6	-0.7	15.8	19.4	26.1
08	32.9	33.1	-0.2	31.1	37.1	45.4
09	67.0	63.5	3.5	57.8	72.2	89.4
10	78.8	81.6	-2.8	74.8	94.2	119.3
11	115.5	111.3	4.2	103.7	132.0	176.5
12	109.3	107.0	2.3	101.2	127.1	174.5
13	771.6	787.5	-15.9	744.9	918.6	1206.9

Usporedba srednjih godišnjih količina oborine za kalendarsku i hidrološku godinu ne otkriva značajne razlike na nivou srednjaka normale 1981. – 2010. (Slika 4.2.2.4).

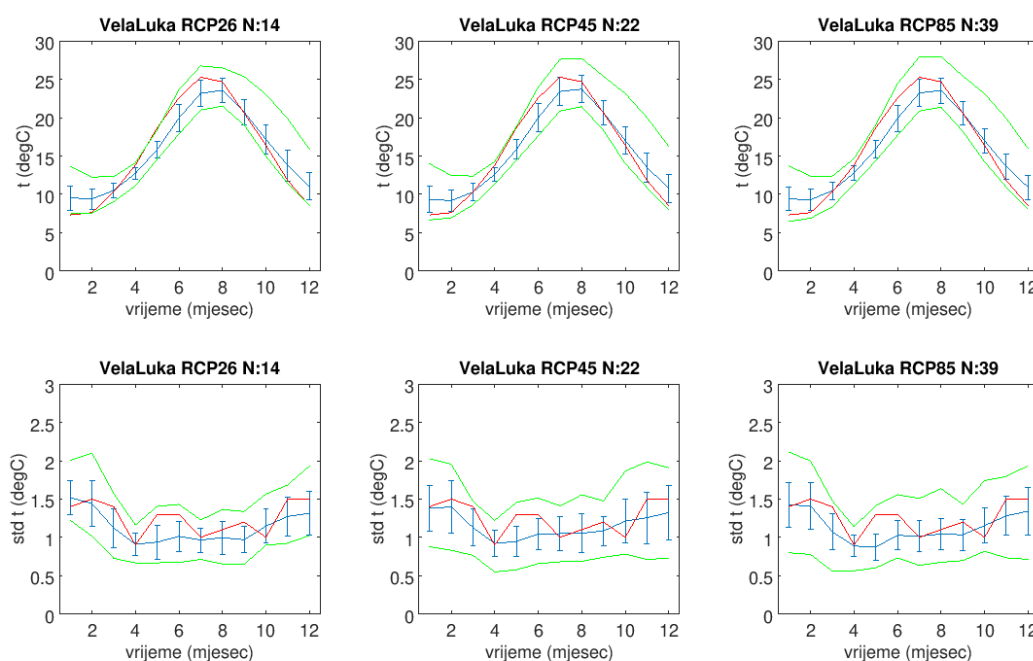


**Slika 4.2.2.4** Srednja godišnja količina oborine za (a) kalendarsku i (b) hidrološku godinu. Razdoblje 1981. – 2010.

### 4.3. Simulacije regionalnim klimatskim modelima

#### 4.3.1. Simulacije povijesne klime i statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka

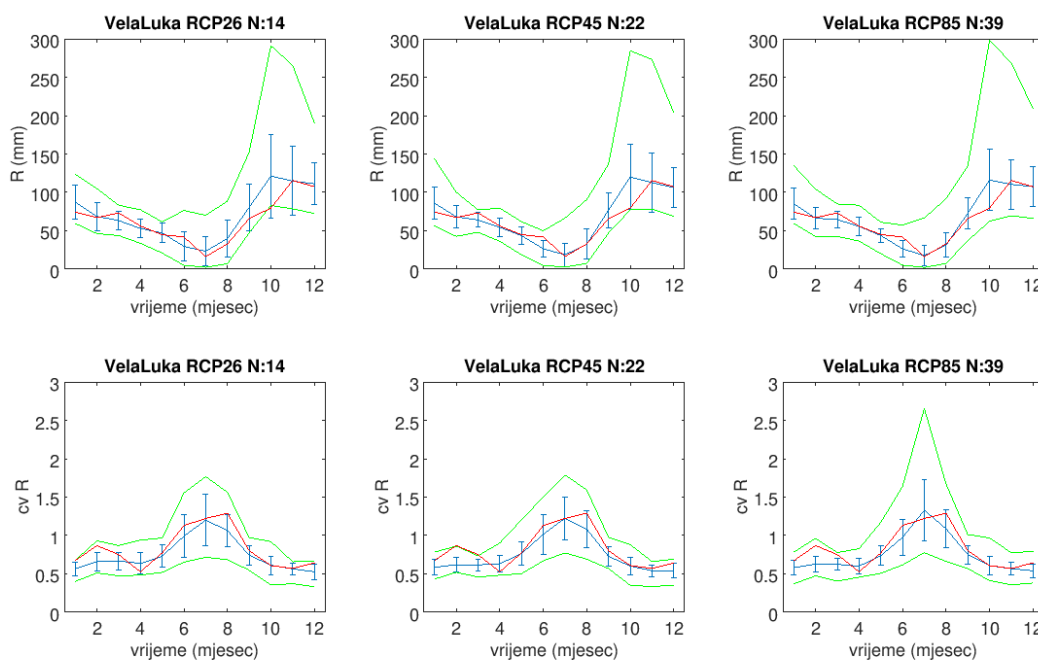
Analizirane simulacije povijesne klime upućuju na tendenciju podcjenjivanja srednje temperature zraka u toplom dijelu godine u sva tri podskupa simulacija (Slika 4.3.1.1, prvi red). Mjerenja izlaze izvan rasapa ansambla za simulacije od travnja do srpnja, no i u tim mjesecima ukupan raspon simulacija regionalnih klimatskih modela sadrži vrijednosti koje nalazimo u mjerenjima. Sličan odnos između rezultata na razini ansambla regionalnih klimatskih simulacija i mjerenja nalazimo i u slučaju standardne devijacije temperature zraka, gdje su odstupanja između srednjaka ansambla i mjerenja izraženija u svibnju (Slika 4.3.1.1, drugi red). Unatoč odstupanjima pojedinačnih modela od mjerenja, korištenjem ansambla regionalnih klimatskih simulacija dobiveno je realistično simuliranje osnovnih svojstava godišnjeg hoda srednje mjesečne temperature zraka i pripadne varijabilnosti.



**Slika 4.3.1.1** Godišnji hod srednje mjesečne temperature zraka (°C) (prvi red) i godišnji hod standardne devijacije mjesečne temperature zraka (°C) drugi red. Prvi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP2.6; drugi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP4.5; treći stupac: modeli uključeni u scenarij RCP8.5. Plavo: srednjak i standardna devijacija unutar RCM ansambla; zeleno: raspon unutar RCM ansambla; crveno: mjerenja. Razdoblje: 1981. – 2010. Izvor: mjerenja DHMZ-a i izvorne simulacije regionalnih klimatskih modela. Lokacija: Vela Luka.

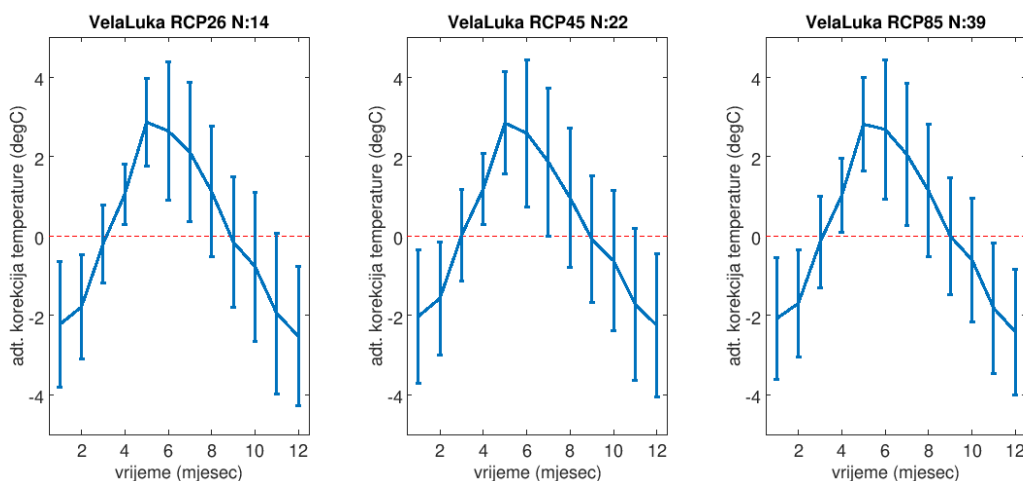
Usporedbom ansambla simulacija regionalnih klimatskih modela i mjerenja za srednju mjesečnu količinu oborine možemo zaključiti kako unatoč značajnom rasponu simuliranih vrijednosti (zeleno) umjerenom rasapu istih simulacija (plavi stupići) srednjak ansambla realistično prati opažene srednje vrijednosti (Slika 4.3.1.2, prvi red). Određeno precjenjivanje mjesečnih količina na razini srednjaka ansambla je prisutno za listopad no rasap ansambla uspijeva obuhvatiti mjerenja i

tom mjesecu. U slučaju varijabilnosti mjerene koeficijentom varijacije, nalazimo određene poteškoće u fazi i amplitudi maksimuma (Slika 4.3.1.2, drugi red). Ansambl modela daje maksimalnu varijabilnost u srpnju, dok se u mjerenjima maksimalna varijabilnost javlja u kolovozu. Unatoč određenim ograničenjima na razini srednjaka ansambla simuliranog koeficijenta varijacije, izmjerene vrijednosti nalazimo unutar rasapa ansambla u većem dijelu godine u sva tri podskupa regionalnih klimatskih simulacija.



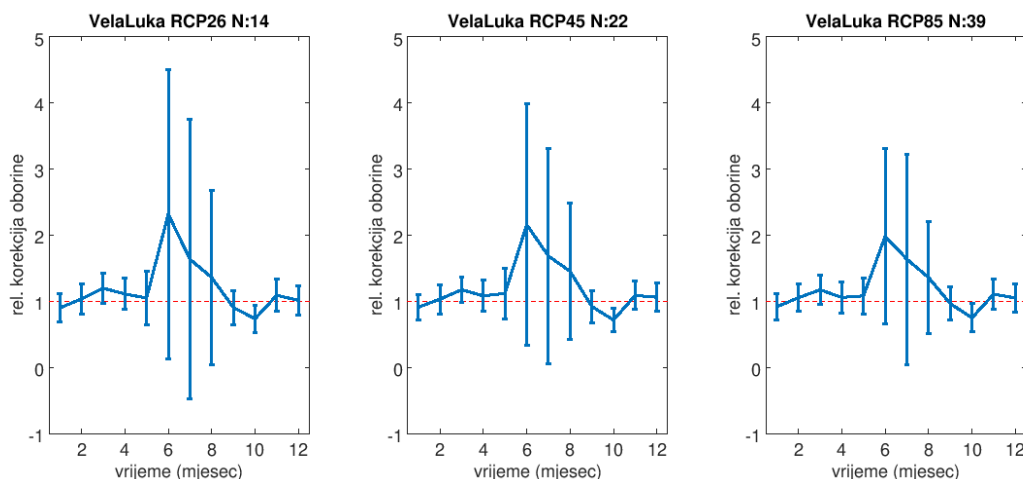
**Slika 4.3.1.2** Godišnji hod srednje mjesečne količine oborine (mm; prvi red) i godišnji hod koeficijenta varijacije mjesečne količine oborine (bez dimenzija; drugi red). Prvi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP2.6; drugi stupac: modeli uključeni u scenarij RCP4.5; treći stupac: modeli uključeni u scenarij RCP8.5. Plavo: srednjak i standardna devijacija unutar RCM ansambla; zeleno: raspon unutar RCM ansambla; crveno: mjerenja. Razdoblje: 1981. – 2010. Izvor: mjerenja DHMZ i izvorne simulacije regionalnih klimatskih modela. Lokacija: Vela Luka.

Primjenom statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka u rezultatima simulacija regionalnih klimatskih modela, omogućit će se primjena ovih simulacija kao ulaznih nizova za potrebe hidrološkog modeliranja. Za srednju temperaturu zraka određene su aditivne korekcije za svaki model i svaki mjesec (Slika 4.3.1.3). U sva tri podskupa simulacija nalazimo usporedive rezultate. Srednjak ansambla aditivnih korekcija je negativan za siječanj, veljaču, listopad, studeni i prosinac, pozitivan za travanj, svibanj, lipanj, srpanj i kolovoz te blizak nuli za ožujak i rujan. Na razini rasapa ansambla standardna devijacija aditivnih korekcija ima vrijednosti od 1.5 °C do 4 °C. Za većinu mjeseci rasap ansambla uključuje 0 °C, osim za razdoblje od travnja do srpnja gdje je i ranije detektirano podcjenjivanje simuliranih mjesečnih temperatura zraka u odnosu na mjerenja.



**Slika 4.3.1.3** Godišnji hod aditivne korekcije srednje mjesečne temperature zraka (°C). Prikazan je srednjak i standardna devijacija mjesečnih korekcija unutar RCM ansambla za modele koji su uključeni u scenarije RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Razdoblje: 1981. – 2010. Lokacija: Vela Luka.

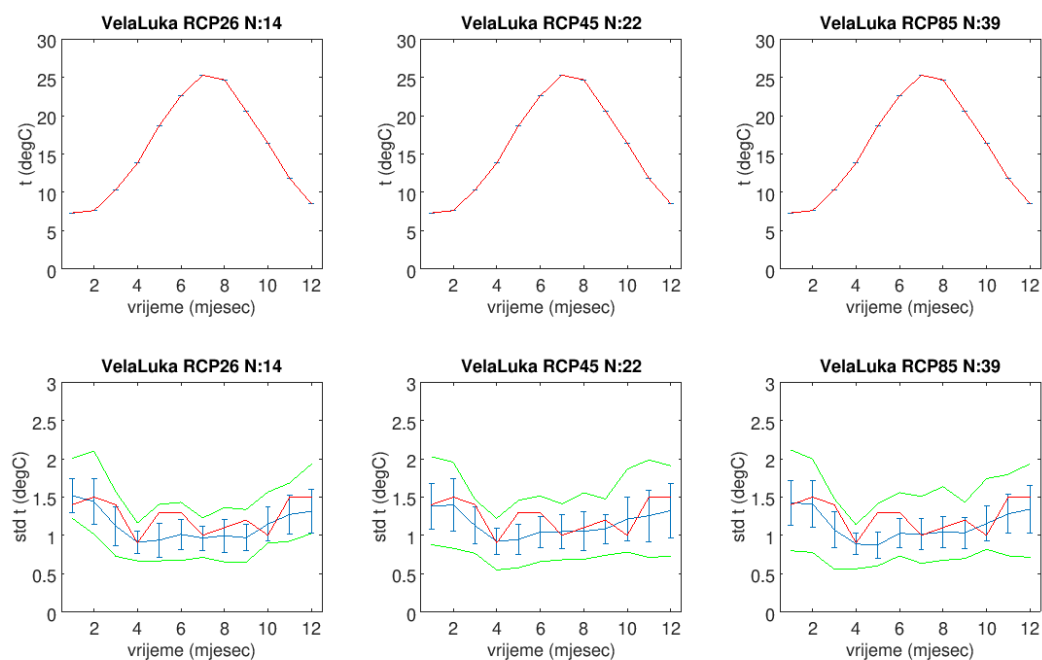
U slučaju srednje mjesečne oborine, statističko uklanjanje sustavnih pogrešaka dobiva se primjenom relativnih korekcija (Slika 4.3.1.4). Srednjak i rasap ansambla relativnih korekcija (na osnovi pojedinačnih modelskih realizacija za svaki mjesec posebno) ukazuje na tri tipične situacije: (1) relativne korekcije su manje od 1.0 (bezdimenzionalna veličina) za siječanj, rujanj i listopad, mjesec za koji je na Slici 4.3.1.2 utvrđena tendencija precjenjivanja količine oborine, (2) relativne korekcije su izraženo veće od 1.0 za lipanj, srpanj i kolovoz a rasap ansambla relativnih korekcija je ističe se za iste mjesece, (3) za ostale mjesece je srednjak ansambla relativnih korekcija blizak 1.0 uz rasap istog ansambla reda veličine 0.5.



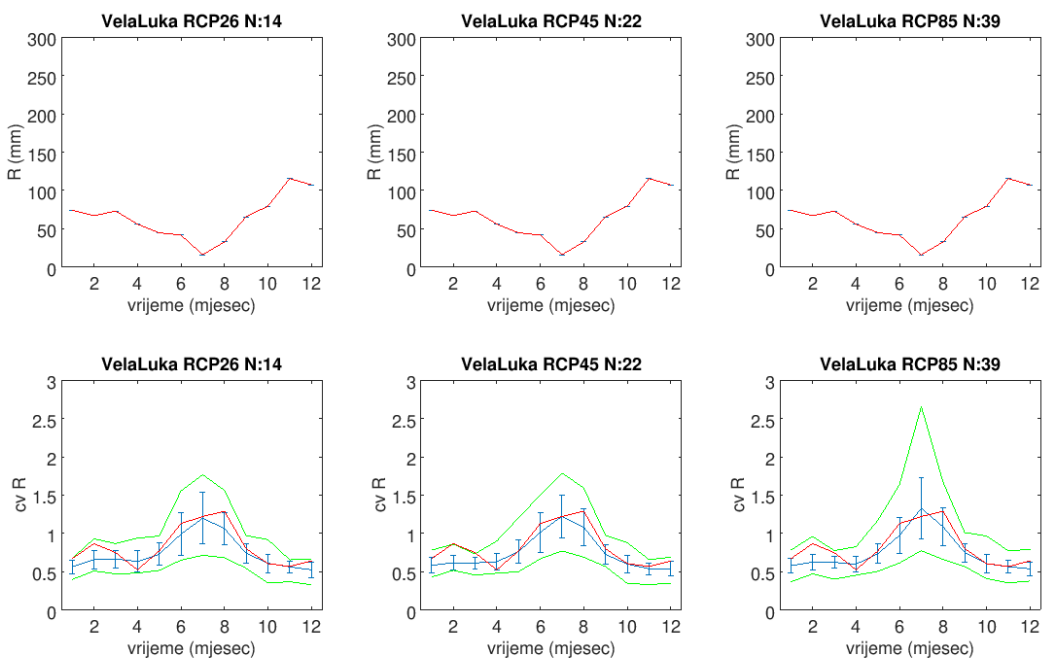
**Slika 4.3.1.4** Godišnji hod relativne korekcije srednje mjesečne količine oborine (bezdimenzionalna veličina). Prikazan je srednjak i standardna devijacija mjesečnih korekcija unutar RCM ansambla za modele koji su uključeni u scenarije RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Razdoblje: 1981. – 2010. Lokacija: Vela Luka.

Kao dodatnu provjeru uspješnosti statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka, Slike 4.3.1.5 i 4.3.1.6 prikazuju srednju temperaturu zraka i količinu oborine te pripadnu varijabilnost izraženu standardnom devijacijom tj. koeficijentom varijacije nakon primjene aditivne tj. relativne korekcije.

U slučaju srednje temperature zraka i količine oborine (prvi red Slike 4.3.1.5 i 4.3.1.6) po definiciji korištene metode za statističko uklanjanje dobivamo očekivano izjednačavanje simuliranih i opaženih vrijednosti unutar razdoblja od 1981. do 2010. (ne i na razini pojedinih mjeseci unutar istog razdoblja) te je rasap ansambla 0 °C i 0 mm. Primijenjena metoda ne utječe na standardnu devijaciju simulirane temperature te koeficijent varijacije simulirane količine oborine što je potvrđeno usporedbama Slike 4.3.1.1 i Slike 4.3.1.5, tj. Slike 4.3.1.2 i Slike 4.3.1.6 (drugi red).



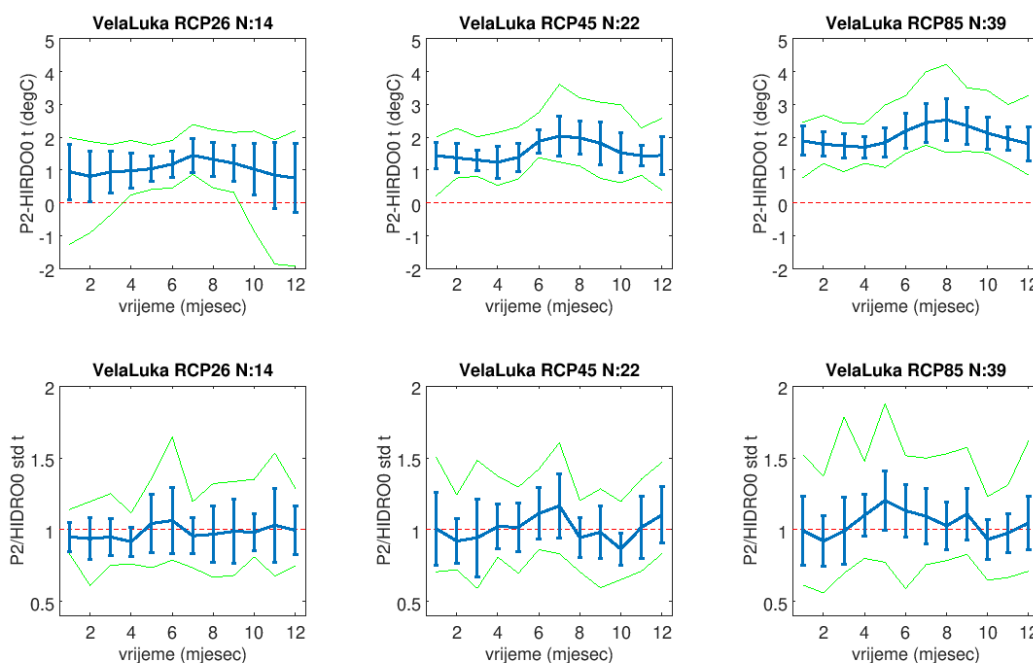
**Slika 4.3.1.5** Isto kao Slika 4.3.1.1 za *statistički obrađene* RCM simulacije. Razdoblje: 1981. – 2010. Lokacija: Vela Luka.



**Slika 4.3.1.6** Isto kao Slika 4.3.1.2 za *statistički obrađene* RCM simulacije. Razdoblje: 1981. – 2010. Lokacija: Vela Luka.

### 4.3.2. Simulacije buduće klime i utjecaj statističke obrade na signal klimatskih promjena

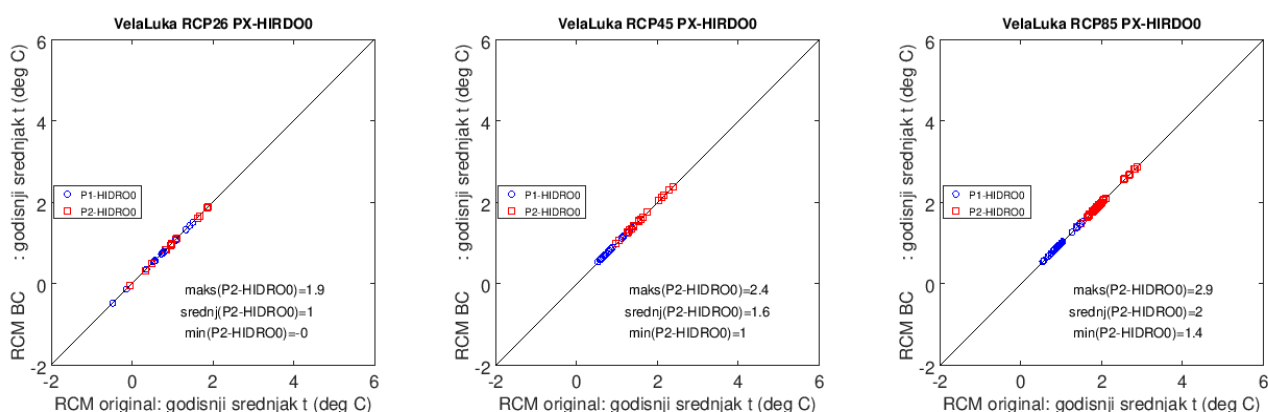
Regionalni klimatski modeli evaluirani u prethodnom poglavlju u odnosu na mjerenja DHMZ-a u razdoblju 1981. – 2010. korišteni su za procjenu signala klimatskih promjena na srednjoj mjesečnoj razini. U slučaju temperature zraka, prikazujemo razlike između simulirane srednje mjesečne temperature zraka u razdoblju 2041. – 2070. u odnosu na odabrano referentno povijesno razdoblje 1981. – 2010. (Slika 4.3.2.1, prvi red) te omjere simuliranih standardnih devijacija između ista dva razdoblja (Slika 4.3.2.1, drugi red). U slučaju srednje temperature, nalazimo relativno jednolik porast temperature tijekom čitave godine (uz izraženije zagrijavanje u ljetnim mjesecima) uz porast nivoa zagrijavanja podizanjem koncentracija od RCP2.6 do RCP8.5. U slučaju scenarija RCP2.6, nalazimo mjesece kada raspon (zeleno) i/ili rasap (plavo) ansambla uključuje negativne vrijednosti, i to u hladnom dijelu godine. Ipak, ovo nije situacija u scenariju RCP4.5 i posebno izraženo u scenariju RCP8.5. U slučaju omjera standardne devijacije temperature zraka nalazimo jačanje tendencije porasta u toplom dijelu godine podizanjem koncentracija od RCP2.6 do RCP8.5, no rasap i raspon na razini ansambla uvijek sadrže vrijednost 1.0 tako da ovaj tip analize za dva promatrana razdoblja ne ukazuje na jasan signal na razini ansambla regionalnih klimatskih simulacija. Ovo potvrđuje potrebu korištenja ansambla klimatskih modela u istraživanjima klimatskih promjena u područjima utjecaja kako bi se izbjegla ovisnost o jednom scenariju i jednom ili manjem broju modelskih realizacija.



**Slika 4.3.2.1** Razlika mjesečnih srednjaka temperature zraka između budućeg razdoblja 2041. – 2070. i referentne klime 1981. – 2010. (prvi redak) i omjer mjesečnih standardnih devijacija temperature zraka između budućeg razdoblja 2041. – 2070. i referentne klime 1981. – 2010. (drugi redak). Prvi stupac: RCP2.6; drugi stupac: RCP4.5; treći stupac: RCP8.5. Lokacija: Vela Luka.

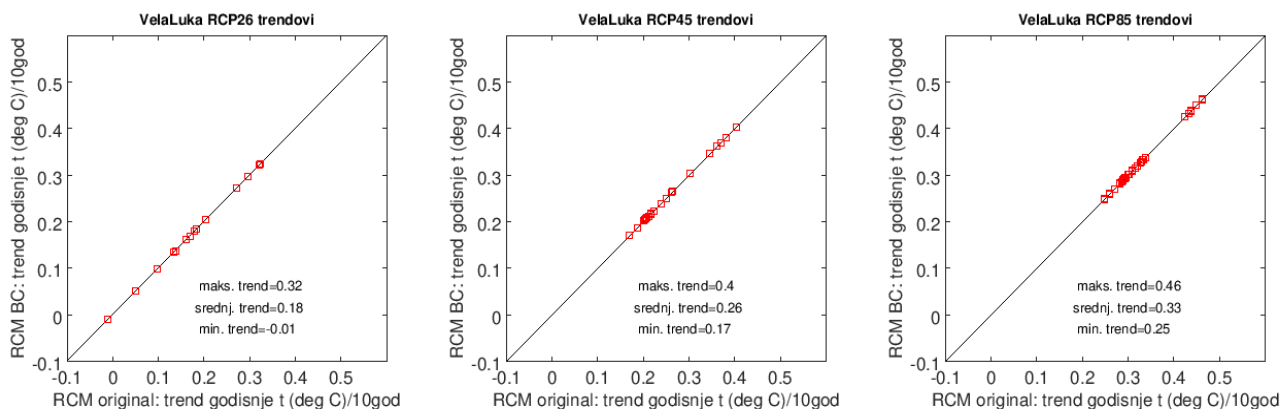
Osim usporedbe na srednjoj mjesečnoj skali, iste simulacije su analizirane i na srednjoj godišnjoj skali (Slika 4.3.2.2). Slika 4.3.2.2 sadrži tri dodatna elementa: (1) usporedbu promjena prije

(x-os) i poslije (y-os) statističkog uklanjanja sustavne pogreške, (2) usporedbu referentnog povijesnog razdoblja s razdobljem 2011. – 2040. (plavo) i s razdobljem 2041. – 2070. (crveno) te (3) prikaz svake pojedinačne modelirane realizacije. Rezultati pokazuju: (1) zagrijavanje na godišnjoj skali nalazimo u svim simulacijama usporedbom 2041. – 2070. i 1981. – 2010., (2) ovisno o primijenjenom scenariju srednje zagrijavanje raste u RCP2.6 od 1.0 °C (uz raspon 0.0 – 1.9 °C), u RCP4.5 1.6 °C (uz raspon 1.0 – 2.4 °C) te u RCP8.5 2.0 °C (uz raspon 1.4 – 2.9 °C), (3) jačanje signala simuliranjem vremenski udaljenijeg razdoblja izostaje u slučaju RCP2.6 te je umjereno i očito izraženo u RCP4.5 i RCP8.5, (4) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka ne utječe na signal klimatskih promjena, što je očekivano s obzirom na aditivnu korekciju u slučaju temperature zraka.



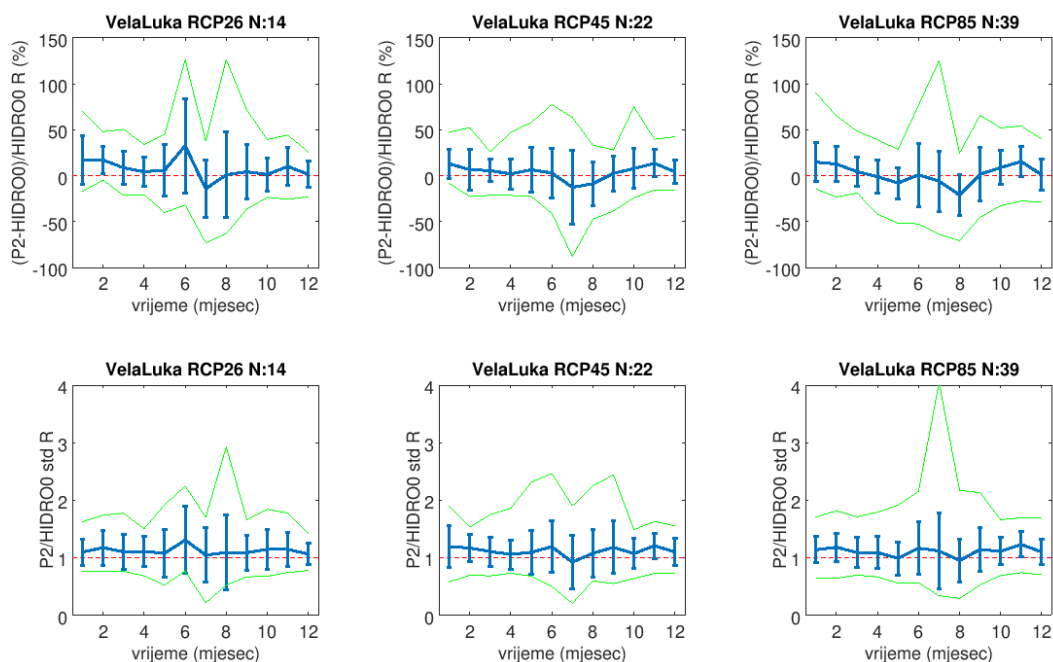
**Slika 4.3.2.2** Usporedba projicirane promjene u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os). Plavo: 2011. – 2040. u odnosu na 1981. – 2010.; crveno: 2041. – 2070. u odnosu na 1981. – 2010. Analizirana veličina: srednja godišnja temperatura zraka (°C). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (lijevo), RCP4.5 (sredina) i RCP8.5 (desno). Lokacija: Vela Luka.

Osim promjena između dva tridesetogodišnja razdoblja, utjecaj odabira scenarija i primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka analiziran je za linearni trend kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. (Slika 4.3.2.3). Rezultati uključuju sljedeće: (1) zagrijavanje nalazimo u svim simulacijama, neovisno o scenariju, (2) ovisno o primijenjenom scenariju iznos linearnog trenda raste u RCP2.6 od 0.18 °C/10 god. (0.01 – 0.32 °C/10 god.), u RCP4.5 0.26 °C/10 god. (0.17 – 0.40 °C/10 god.) te u RCP8.5 0.33 °C/10 god. (0.25 – 0.46 °C/10 god.), (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka ne utječe na trend godišnjih temperatura zraka.



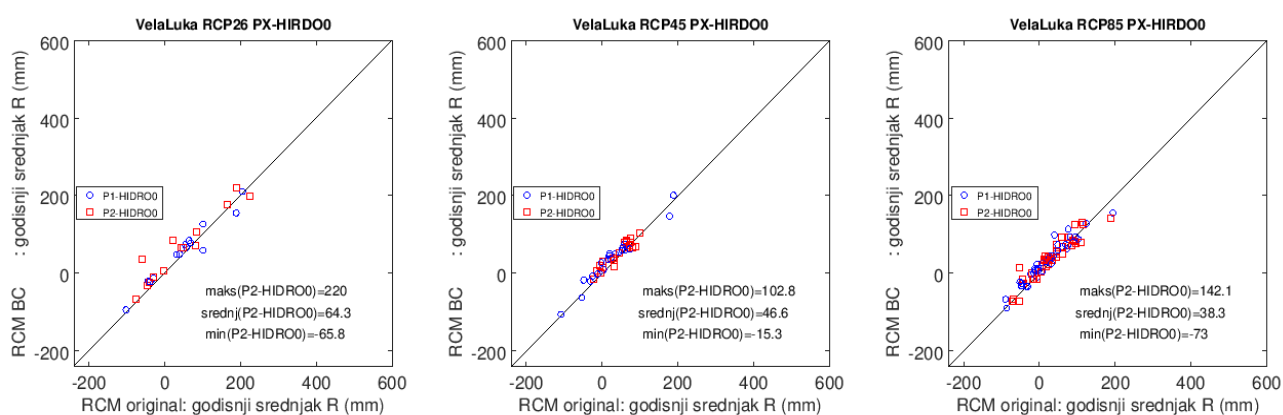
**Slika 4.3.2.3** Usporedba linearnog trenda u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os) za razdoblje 1971. – 2070. Analizirana veličina: trend godišnje temperature zraka ( $^{\circ}\text{C}/10$  god). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (lijevo), RCP4.5 (sredina) i RCP8.5 (desno). Lokacija: Vela Luka.

U slučaju količine oborine, prikazujemo relativne razlike između simulirane srednje mjesečne količine oborine u razdoblju 2041. – 2070. u odnosu na odabrano referentno povijesno razdoblje 1981. – 2010. (Slika 4.3.2.4, prvi red) te omjere simuliranih koeficijenata varijacije između ista dva razdoblja (Slika 4.3.2.4, drugi red). Rezultate za sva tri podskupa regionalnih klimatskih modela možemo sažeti: (1) srednjak ansambla pokazuje sklonost negativnim promjenama u pojedinim mjesecima (najčešće srpanj i kolovoz) toplom dijela godine te povećanju u hladnom dijelu godine u scenarijima RCP4.5 i RCP8.5, dok se u scenariju RCP2.6 javljaju pozitivne relativne promjene u svim mjesecima osim za srpanj; (2) unatoč promjenama simuliranim na razini srednjaka ansambla, rasap i raspon ansambla gotovo uvijek su isti, tj. 0 %; (3) omjer budućih i povijesnih koeficijenata varijacije ne pokazuje tendenciju značajnih promjena.



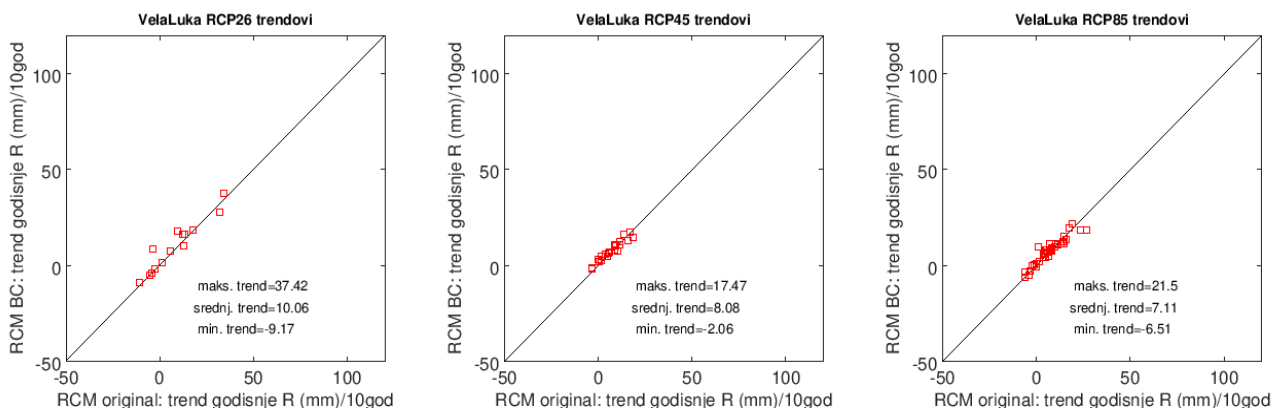
**Slika 4.3.2.4** Relativna razlika mjesečnih količina oborine između budućeg razdoblja 2041. – 2070. i referentne klime 1981. – 2010. (prvi redak) i omjer mjesečnih koeficijenata varijacije/standardne devijacije količine oborine između budućeg razdoblja 2041. – 2070. i referentne klime 1981. – 2010. (drugi redak). Prvi stupac: RCP2.6; drugi stupac: RCP4.5; treći stupac: RCP8.5. Lokacija: Vela Luka.

Analiza simulacija na srednjoj godišnjoj skali ukazuje na tendenciju blagog povećanja količine oborine u sva tri scenarija (Slika 4.3.2.5). Rezultati uključuju sljedeće: (1) ovisno o primijenjenom scenariju srednje povećanje oborine raste u RCP2.6 64.3 mm (uz raspon od -65.8 do 220.0 mm), u RCP4.5 46.6 mm (uz raspon od -15.3 do 102.8 mm) te u RCP8.5 38.3 mm (uz raspon od -73.0 do 142.1 mm), (2) ne postoji izražena razlika između signala relativnih promjena u dva buduća razdoblja u odnosu na 1981. – 2010., (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka pokazuje veću osjetljivost nego u slučaju srednjih godišnjih temperatura no ograničeno utječe na signal klimatskih promjena.



**Slika 4.3.2.5** Usporedba projicirane promjene u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os). Plavo: 2011. – 2040. u odnosu na 1981. – 2010.; crveno: 2041. – 2070. u odnosu na 1981. – 2010. Analizirana veličina: srednja godišnja količina oborine (mm). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Lokacija: Vela Luka.

Utjecaj odabira scenarija i primjene statističkog uklanjanja sustavnih pogreška analiziran je za linearni trend kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. (Slika 4.3.2.6). Rezultati uključuju sljedeće: (1) tendencija blagog porasta srednje godišnje količine oborine neovisno o scenariju; (2) ovisno o primijenjenom scenariju iznos linearnog trenda raste u statistički obrađenim simulacijama u RCP2.6 za iznos 10.06 mm/10 god. (raspon od -9.17 do 37.42 mm/10 god.), u RCP4.5 za iznos 8.08 mm/10 god. (raspon od -2.06 do 17.47 mm/10 god.) te u RCP8.5 za iznos 7.11 mm/10 god. (raspon od -6.51 do 21.50 mm/10 god.); (3) primjena statističkog uklanjanja sustavnih pogrešaka utječe ograničeno na magnitudu trenda godišnjih količina oborine.



**Slika 4.3.2.6** Usporedba linearnog trenda u originalnim simulacijama (x-os) te statistički obrađenim simulacijama (y-os) za razdoblje 1971. – 2070. Analizirana veličina: trend godišnje količina oborine (mm/10 god). Analiza za korištene scenarije koncentracija stakleničkih plinova RCP2.6 (prvi stupac), RCP4.5 (drugi stupac) i RCP8.5 (treći stupac). Lokacija: Vela Luka.

#### 4.3.3. Definiranje podskupa regionalnih klimatskih simulacija za potrebe hidroloških analiza

Za potrebe hidrološkog modeliranja unutar projekta UKV unutar svakog od RCP scenarija odabrana su tri reprezentativna modela od dostupnih 14 u RCP2.6, 22 u RCP4.5 te 49 u RCP8.5. S obzirom na blag do umjeren signal promjena u hidrološkom ciklusu u usporedbama srednje klime od 1981. do 2010. te od 2041. do 2070., odnosno u analizama trendova kroz stogodišnje razdoblje od 1971. do 2070. odabir podskupa regionalnih klimatskih modela je vođen izborom modela s nižim, srednjim i izraženim nivoom zagrijavanja. Također, odabrani su modeli unutar svakog scenarija koji su reprezentativni za sve tri lokacije unutar projekta UKV.

Za scenarij RCP2.6, promjena srednje godišnje temperature zraka između budućeg i povijesnog razdoblja na razini srednjaka ansambla je 1.0 °C (na razini medijana ansambla je 1.0 °C). Odabrani modeli su RCM3, RCM10 i RCM13 (Slika 4.3.3.1, prvi redak):

RCM3: ICHEC-EC-EARTH\_rcp26\_r12i1p1\_KNMI-RACMO22E\_v1,

RCM10: MPI-M-MPI-ESM-LR\_rcp26\_r1i1p1\_SMHI-RCA4\_v1a,

RCM14: MOHC-HadGEM2-ES\_rcp26\_r1i1p1\_DHMZ-RegCM42\_v1.

Za scenarij RCP4.5, promjena srednje godišnje temperature zraka između budućeg i povijesnog razdoblja na razini srednjaka ansambla je 1.6 °C (na razini medijana ansambla je 1.5 °C). Odabrani modeli su RCM7, RCM9 i RCM19 (Slika 4.3.3.1, drugi redak):

RCM7: ICHEC-EC-EARTH\_rcp45\_r1i1p1\_KNMI-RACMO22E\_v1,

RCM9: IPSL-IPSL-CM5A-MR\_rcp45\_r1i1p1\_SMHI-RCA4\_v1,

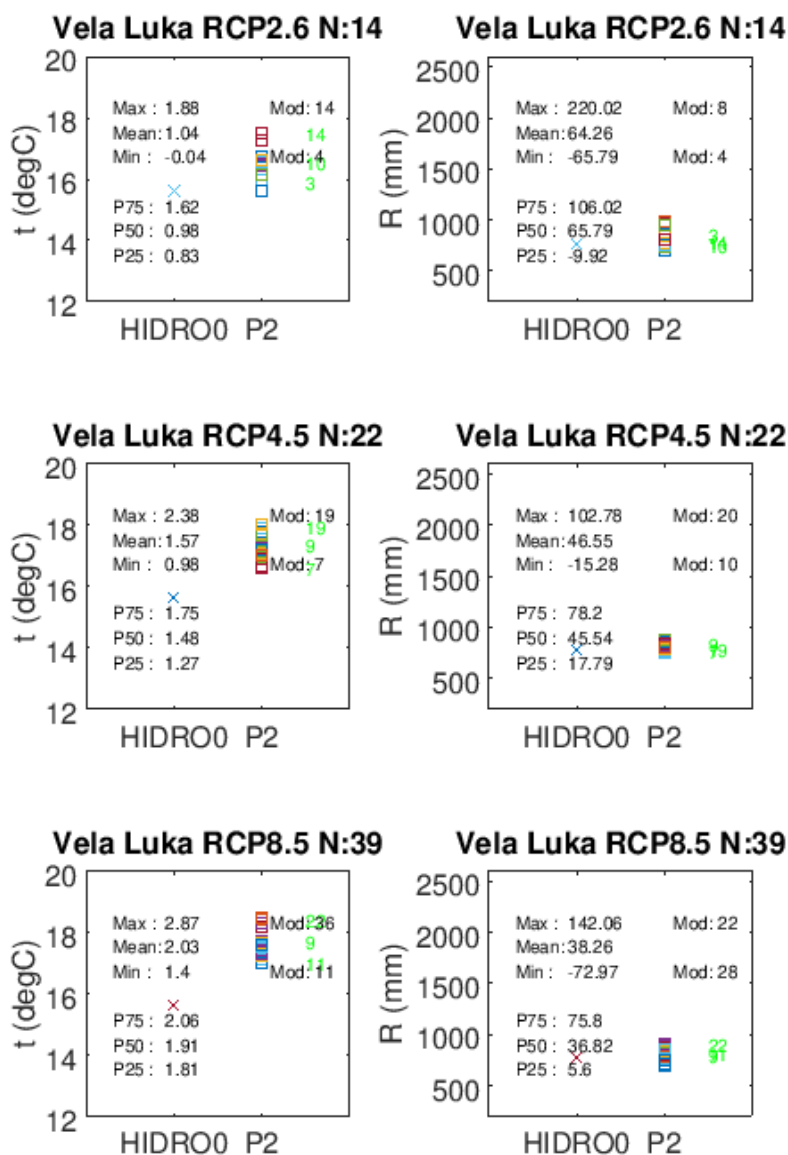
RCM19: MOHC-HadGEM2-ES\_rcp45\_r1i1p1\_DHMZ-RegCM42\_v1.

Za scenarij RCP8.5, promjena srednje godišnje temperature zraka između budućeg i povijesnog razdoblja na razini srednjaka ansambla je 2.0 °C (na razini medijana ansambla je 1.9 °C). Odabrani modeli su RCM11, RCM9 i RCM22 (Slika 4.3.3.1, treći redak):

RCM11: ICHEC-EC-EARTH\_rcp85\_r1i1p1\_KNMI-RACMO22E\_v1,

RCM9: ICHEC-EC-EARTH\_rcp85\_r12i1p1\_SMHI-RCA4\_v1,

RCM22: MOHC-HadGEM2-ES\_rcp85\_r1i1p1\_MOHC-HadREM3-GA7-05\_v1.



**Slika 4.3.3.1** Simulirana srednja godišnja temperatura zraka (lijevi stupac) i srednja godišnja količina oborine (desni stupac) u dva razdoblja: 1981. – 2010. (HIDRO0) i 2041. – 2070. (P2). Prvi redak: RCP2.6 za P2 razdoblje; drugi redak: RCP4.5 za P2 razdoblje; treći redak: RCP8.5 za P2 razdoblje. Svaka slika sadrži sljedeće statističke informacije: maksimalni signal između dva razdoblja (u kojem modelu), srednji signal između dva razdoblja, minimalni signal između dva razdoblja (u kojem modelu), 25., 50. i 75.-ti percentil svih analiziranih signala u pojedinom scenariju. Zeleno: odabrani podskup modela za potrebe hidrološkog modeliranja. Lokacija: Vela Luka.

## 5. Izvori podataka i zahvale

U izradi izvješća korištena su dva izvora rezultata simulacija regionalnih klimatskih modela te izražavamo zahvale na otvorenom pristupu podataka:

### 1. RegCM4 simulacije dostupne preko baze Dabar (<https://repositorij.meteo.hr/>):

*U izradi ovog dokumenta korišteni su rezultati regionalnog klimatskog modela RegCM4 dobiveni 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-O1-010)” koji se financira sredstvima iz Prijelaznog instrumenta tehničke pomoći EU.*

### 2. EURO-CORDEX simulacije dostupne preko baze ESGF (<https://esg-dn1.nsc.liu.se/projects/esgf-liu/>):

*We acknowledge the World Climate Research Programme's Working Group on Regional Climate and Working Group on Coupled Modelling, the former coordinating body of CORDEX, and the responsible panel for CMIP5. We also acknowledge the Earth System Grid Federation infrastructure, an international effort led by the U.S. Department of Energy's Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, the European Network for Earth System Modelling, and other partners in the Global Organisation for Earth System Science Portals (GOESSP).*

## 6. Literatura

Gajić-Čapka M., Güttler I., Branković Č. (2010) Contribution to CC-Waters project: a study of climate and climate change for three test beds in Croatia.

Gajić-Čapka M., Güttler I., Cindrić K., Branković Č. (2018) Observed and simulated climate and climate change in the lower Neretva river basin. *J. Water Clim. Change*, 9(1): 124–136

Gilbert R.O. (1987): *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. John Wiley & Sons, Inc., New York

Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O.B., Bouwer L.M., Braun A., Colette A., Déqué M., Georgievski G., Georgopoulou E., Gobiet A., Menut L., Nikulin G., Haensler A., Hempelmann N., Jones C., Keuler K., Kovats S., Kröner N., Kotlarski S., Kriegsmann A., Martin E., van Meijgaard E., Moseley C., Pfeifer S., Preuschmann S., Radermacher C., Radtke K., Rechid D., Rounsevell M., Samuelsson P., Somot S., Soussana J.-F., Teichmann C., Valentini R., Vautard R., Weber B., Yiou P. (2014). EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*. 14: 563–578

Kotlarski S., Keuler K., Christensen O.B., Colette A., Déqué M., Gobiet A., Goergen K., Jacob D., Lüthi D., van Meijgaard E., Nikulin G., Schär C., Teichmann C., Vautard R., Warrach-Sagi K. & Wulfmeyer V. (2014) Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geoscientific Model Development*. 7(4): 1297–1333

Kottek M., Jürgen G., Christoph B., Bruno R., Franz R. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. 15(3): 259–263.

Kraljev D., Gajić-Čapka M., Zaninović K. (2005): *U okrilju Sunca i mora: klimatska monografija Zadra*. Zadar: Zadiz, Hrvatsko meteorološko društvo

McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. (1993): The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17–22 January 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.

Moss R.H., Edmonds J.A., Hibbard K.A., Manning M.R., Rose S.K., van Vuuren D.P., Carter T.R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G.A., Mitchell J.F.B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S.J., Stouffer R.J., Thomson A.M., Weyant J.P., Wilbanks T.J., (2010) The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. 463: 747–756

MZOE (2017) 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.

Penzar, B., Makjanić, B. (1978) Uvod u klimatologiju. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Liber-Zagreb, str. 206

Perčec Tadić, M. (2010), Gridded Croatian climatology for 1961-990, Theor. Appl. Climatol., 102(1-2), 87–103

Taylor, K.E., Stouffer R.J., Meehl, G.A. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. Bulletin of the American Meteorological Society, 93(4): 485-498.

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I. (2010): A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. Journal of Climate 23: 1696, DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1.

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec-Tadić, M. et al. (2008). Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia: 1961. - 1990., 1971. - 2000., Zagreb: Državni hidrometeorološki zavod, str. 200.

## 7. Prilog 1. Korišteni regionalni klimatski modeli u analizi simulacija povijesne klime i projekcija buduće klime

**Tablica 7.1** Korišteni regionalni klimatski modeli za povijesnu klimu i scenarij RCP2.6.

Regionalni klimatski model	Puni naziv modela
1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp26_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v2
2	ICHEC-EC-EARTH_rcp26_r12i1p1_CLMcom-CCLM4-8-17_v1
3	ICHEC-EC-EARTH_rcp26_r12i1p1_KNMI-RACMO22E_v1
4	ICHEC-EC-EARTH_rcp26_r12i1p1_SMHI-RCA4_v1
5	ICHEC-EC-EARTH_rcp26_r3i1p1_DMI-HIRHAM5_v2
6	IPSL-IPSL-CM5A-LR_rcp26_r1i1p1_GERICS-REMO2015_v1
7	MOHC-HadGEM2-ES_rcp26_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v2
8	MOHC-HadGEM2-ES_rcp26_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1
9	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp26_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v1
10	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp26_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1a
11	NCC-NorESM1-M_rcp26_r1i1p1_GERICS-REMO2015_v1
12	NCC-NorESM1-M_rcp26_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1
13	NOAA-GFDL-GFDL-ESM2G_rcp26_r1i1p1_GERICS-REMO2015_v1
14	MOHC-HadGEM2-ES_rcp26_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1

**Tablica 7.2** Korišteni regionalni klimatski modeli za povijesnu klimu i scenarij RCP4.5.

Regionalni klimatski model	Puni naziv modela
1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp45_r1i1p1_CLMcom-CCLM4-8-17_v1
2	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp45_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v2
3	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1
4	ICHEC-EC-EARTH_rcp45_r12i1p1_CLMcom-CCLM4-8-17_v1
5	ICHEC-EC-EARTH_rcp45_r12i1p1_KNMI-RACMO22E_v1
6	ICHEC-EC-EARTH_rcp45_r12i1p1_SMHI-RCA4_v1
7	ICHEC-EC-EARTH_rcp45_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v1
8	ICHEC-EC-EARTH_rcp45_r3i1p1_DMI-HIRHAM5_v2
9	IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1
10	MOHC-HadGEM2-ES_rcp45_r1i1p1_CLMcom-CCLM4-8-17_v1
11	MOHC-HadGEM2-ES_rcp45_r1i1p1_DMI-HIRHAM5_v2
12	MOHC-HadGEM2-ES_rcp45_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v2
13	MOHC-HadGEM2-ES_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1
14	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp45_r1i1p1_CLMcom-CCLM4-8-17_v1
15	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1a
16	NCC-NorESM1-M_rcp45_r1i1p1_DMI-HIRHAM5_v3
17	NCC-NorESM1-M_rcp45_r1i1p1_GERICS-REMO2015_v1
18	NCC-NorESM1-M_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1
19	MOHC-HadGEM2-ES_rcp45_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1
20	ICHEC-EC-EARTH_rcp45_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1
21	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp45_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1
22	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp45_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1

**Tablica 7.3** Korišteni regionalni klimatski modeli za povijesnu klimu i scenarij RCP8.5.

1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp85_r1i1p1_CLMcom-CCLM4-8-17_v1
2	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp85_r1i1p1_DMI-HIRHAM5_v2
3	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp85_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v2
4	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp85_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1
5	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r12i1p1_CLMcom-CCLM4-8-17_v1
6	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r12i1p1_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1_v1
7	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r12i1p1_DMI-HIRHAM5_v1
8	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r12i1p1_KNMI-RACMO22E_v1
9	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r12i1p1_SMHI-RCA4_v1
10	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r1i1p1_DMI-HIRHAM5_v1
11	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v1
12	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1
13	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r3i1p1_DMI-HIRHAM5_v2
14	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r3i1p1_KNMI-RACMO22E_v1
15	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r3i1p1_SMHI-RCA4_v1
16	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r12i1p1_MOHC-HadREM3-GA7-05_v1
17	IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp85_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v1
18	IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp85_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1
19	MOHC-HadGEM2-ES_rcp85_r1i1p1_CLMcom-CCLM4-8-17_v1
20	MOHC-HadGEM2-ES_rcp85_r1i1p1_DMI-HIRHAM5_v2
21	MOHC-HadGEM2-ES_rcp85_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v2
22	MOHC-HadGEM2-ES_rcp85_r1i1p1_MOHC-HadREM3-GA7-05_v1
23	MOHC-HadGEM2-ES_rcp85_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1
24	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r1i1p1_CLMcom-CCLM4-8-17_v1
25	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r1i1p1_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1_v1
26	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r1i1p1_DMI-HIRHAM5_v1
27	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1a
28	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r2i1p1_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1_v1
29	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r2i1p1_SMHI-RCA4_v1
30	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r3i1p1_GERICs-REMO2015_v1
31	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r3i1p1_SMHI-RCA4_v1
32	NCC-NorESM1-M_rcp85_r1i1p1_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1_v1
33	NCC-NorESM1-M_rcp85_r1i1p1_DMI-HIRHAM5_v3
34	NCC-NorESM1-M_rcp85_r1i1p1_GERICs-REMO2015_v1
35	NCC-NorESM1-M_rcp85_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1
36	MOHC-HadGEM2-ES_rcp85_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1
37	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1
38	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp85_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1
39	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r1i1p1_DHMZ-RegCM42_v1

## Prilog 2. Dostava gridova

Podaci se dostavljaju u mapama **cres, zadar i korcula**.

Podaci su pripremljeni za klimatološke elemente:

srednja mjesečna temperatura zraka u mapi **pro19\_DHMZ\_climatol\_1981\_te\_su\_mean\_mean**  
mjesečna količina oborine u mapi **pro19\_DHMZ\_climatol\_1981\_ob\_mm\_sum\_mean**.

Dostavljaju se datoteke u (geo) *tif* i *R grd* formatu. Geotif format prikladan je za korištenje u GIS-u, a *grd* format je R rasterski format za čuvanje rasterskih slojeva u jednoj datoteci. Podaci se dostavljaju u mapama:

Mapa	Sadržaj
grid.8110	mjesečne normale, grd
Y.grid.8110	godišnja normala, kalendarska godina, grd
Yhidro.grid.8211	godišnja normala, hidrološka godina, grd
tif.8110	mjesečne normale, tif
Y.tif.8110	godišnja normala, kalendarska godina, tif
Yhidro.tif.8211	godišnja normala, hidrološka godina, tif
extract.grid.location	usporedba normala iz mjerenja (stupac 'value') i procjene na lokaciji (stupac 'grid.mean')

Usporedba normala iz mjerenja i procjene na lokaciji nalaze se u mapi **extract.grid.location** koja sadrži datoteku *kmi\_Mnorm\_8110.lok.l* s vrijednostima čelije grida koja se preklapa s lokacijom i datoteku *mean.kmi\_Mnorm\_8110.lok.l* koja sadrži srednjak čelija čiji centar je od lokacije udaljen manje od 1000 m.

## Prilog 3. Dostava normala na postajama

Podaci višegodišnjih srednjaka korištenih pri izradi gridova dostavljaju se za svako područje u mapi **CroClim5118/get** koja sadrži podatke mjesečne i godišnje normale u csv i rds formatima i meta podatke o lokaciji u shp datoteci.

Zbog toga što lokacija Zadar pada van čelije grida kreiran je i modificirani shp s lokacijom pomaknutom za c(1000,500) m (CroClim5118/get/mod.stations\_DO).

Zbog toga što lokacija Vela Luke pada van čelije grida kreiran je i modificirani shp s lokacijom pomaknutom za c(500,0) m (CroClim5118/get/mod.stations\_DO).

Datoteka	Sadržaj
kmi_Mnorm_8110.l	mjesečne normale s postaja, long format zapisa, csv i rds format datoteka
kmi_Mnorm_8110.w	mjesečne normale s postaja, wide format zapisa, csv i rds format datoteka
stations_DO	meta podaci o lokaciji