

DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD
SEKTOR ZA METEOROLOŠKA ISTRAŽIVANJA I RAZVOJ
Služba za klimatologiju

Procjena klimatskih promjena u budućnosti za grad Rijeku



Zagreb, travanj 2020.

Elaborat "Procjena klimatskih promjena u budućnosti za grad Rijeku" izrađen je prema zahtjevu Grada Rijeke od 11.3.2020. i ponudi Državnog hidrometeorološkog zavoda (KLASA: 920-05/20-02/11, URBROJ: 554-05-03/004-20-2) od 12.3.2020., te narudžbenici Grada Rijeke br. 10000-2020-17 od 18.03.2020. (KLASA: 920-05/20-02/11; URBROJ: 2-20-3). Izrađen je u Državnom hidrometeorološkom zavodu, Sektoru za meteorološka istraživanja i razvoj, u Službi za klimatologiju, u Odjelu za klimatsko modeliranje, praćenje klimatskih promjena i biometeorologiju.

Dokument i pripremu podataka su izradili:

mr. sc. Lidija Srnec

dr. sc. Ivan Güttler

Voditeljica Službe za klimatologiju:

M. Perčec Tadić

mr. sc. Melita Perčec Tadić

GLAVNA
RAVNATELJICA:



dr. sc. Branka Ivančan-Picek

SADRŽAJ

1. PROCJENE KLIMATSKIH PROMJENA U BUDUĆNOSTI.....	1
1.1. Očekivane promjene temperature zraka i količine oborine.....	2
2.1. Očekivane promjene indeksa temperaturnih ekstrema.....	3
3.1. Očekivane promjene indeksa oborinskih ekstrema	5
4.1. Zaključak.....	7

1. PROCJENE KLIMATSKIH PROMJENA U BUDUĆNOSTI

Procjena klimatskih parametara za buduće razdoblje 2021.-2050. dobivena je korištenjem dnevnih podataka iz ansambla Med-CORDEX simulacija. Podacima se može pristupiti nakon registracije na poveznici <https://www.medcordex.eu/>. Analizirani su podaci dobiveni korištenjem 4 regionalna klimatska modela RCM koji su za ulazne podatke koristili različite globalne modele GCM. Kombinacija korištenih modela je sljedeća:

- RCM1: GUF-CCLM4-8-18 (GCM: MPI-ESM-LR)
- RCM2: CNRM-ALADIN5.2 (GCM: CNRM-CM5)
- RCM3: CMCC-CCLM4-8-19 (GCM: CMCC-CM)
- RCM4: LMD-LMDZ4-NEMOMED8 (GCM: IPSL-CM5A-MR).

Horizontalna rezolucija regionalnih modela je 50 km i treba naglasiti da ovako „gruba“ rezolucija predstavlja određenu nepouzdanost posebno na područjima s razvijenom obalom i orografijom. Buduća klima simulirana je prema scenariju emisija i koncentracija stakleničkih plinova RCP4.5. Analizom ansambla od četiri klimatska modela za svaku analiziranu varijablu dobiven je moguć raspon njezinih promjena u budućnosti. Na taj je način uključena neizvjesnost koja proizlazi iz pojedinog klimatskog modela.

Podaci na lokaciji Grad Rijeka (geografska širina 45.21°N, geografska dužina 14.26°E) određeni su metodom bilinearne interpolacije za nizove srednje dnevne temperature zraka, maksimalne i minimalne dnevne temperature zraka, te dnevne količine oborine. Simulirano sadašnje razdoblje (P0) je definirano za razdoblje 1971.-2000. Buduća klima je promatrana za razdoblje: 2021.-2050. (P1). Očekivane klimatske promjene srednjih varijabli, temperaturnih i oborinskih indeksa su izvedene kao razlike između budućeg i sadašnjeg razdoblja: P1-P0, posebno za svaki regionalni klimatski model.

1.1. Očekivane promjene temperature zraka i količine oborine

Očekivane promjene srednje dnevne temperature zraka *tas* prema analiziranim Med-CORDEX simulacijama (Tablica 1.1) upućuju na moguće zagrijavanje u P1 razdoblju u odnosu na P0 u rasponu od 1.0°C do 1.6°C.

Tablica 1.1 Godišnji srednjak dnevne temperature zraka *tas* u skupu simulacija regionalnih klimatskih modela za razdoblja P0 i P1 (prema RCP4.5 scenariju) te razlika P1-P0. Mjerna jedinica: ° C.

<i>tas</i> (°C)	P0	P1	P1-P0
RCM1	11.0	12.1	1.0
RCM2	9.6	10.6	1.0
RCM3	9.0	10.5	1.5
RCM4	12.3	13.9	1.6

Sličan se raspon promjene u budućem razdoblju P1 prema P0 može očekivati i za godišnji srednjak maksimalne dnevne temperature zraka *tasmx* (Tablica 1.2). Dva modela daju porast maksimalne temperature zraka od 1.1°C dok druga dva modela ukazuju na nešto veći porast u iznosu od 1.6°C.

Tablica 1.2 Godišnji srednjak maksimalne dnevne temperature zraka *tasmx* u skupu simulacija regionalnih klimatskih modela za razdoblja P0 i P1 (prema RCP4.5 scenariju) te razlika P1-P0. Mjerna jedinica: ° C.

<i>tasmx</i> (°C)	P0	P1	P1-P0
RCM1	14.1	15.2	1.1
RCM2	14.2	15.3	1.1
RCM3	12.6	14.1	1.6
RCM4	15.9	17.5	1.6

Očekivane promjene srednje ukupne količine oborine *pr* prema analiziranim Med-CORDEX simulacijama (Tablica 1.3) razlikuju se u iznosu kao i u predznaku promjene ovisno o primijenjenom regionalnom modelu. Po dva modela daju smanjenje oborine (-33.3 mm, odnosno -78.2 mm), dok druga dva modela daju porast oborine relativno sličnog iznosa (30.4 mm i 34.7 mm).

Tablica 1.3 Godišnji srednjak ukupne količine oborine *pr* u skupu simulacija regionalnih klimatskih modela za razdoblja P0 i P1 (prema RCP4.5 scenariju) te razlika P1-P0. Mjerna jedinica: mm.

<i>pr</i> (mm)	P0	P1	P1-P0
RCM1	1459.7	1490.1	30.4
RCM2	1298.2	1220.0	-78.2
RCM3	1172.5	1139.3	-33.3
RCM4	875.4	910.1	34.7

2.1. Očekivane promjene indeksa temperaturnih ekstrema

U studiji je provedena analiza promjene godišnjeg broja toplih i vrućih dana, dana s tropskim noćima te trajanje toplih razdoblja. Svi ovi indeksi računaju se iz maksimalnih, odnosno minimalnih dnevnih temperatura zraka, a njihove kratice i definicije su prikazane u Tablici 2.1.

Tablica 2.1 Definicija indeksa temperaturnih ekstrema.

Indeks (<i>kratica; jedinica</i>)	Definicija indeksa
Topli dani (SU25; dani)	Broj dana s maksimalnom dnevnom temperaturom zraka > 25°C
Vrući dani (HD; dani)	Broj dana s maksimalnom dnevnom temperaturom zraka ≥ 30°C
Trajanje toplih razdoblja (WSDI; dani)	Broj dana u razdobljima od najmanje 6 uzastopnih dana s maksimalnom temperaturom zraka > 90. percentila maksimalne temperature zraka za kalendarski dan u referentnom razdoblju
Tropske noći (TR20; dani)	Broj dana s minimalnom temperaturom zraka > 20°C

Očekivane promjene broja toplih dana *SU25* (dani s maksimalnom temperaturom zraka iznad 25 °C) prema analiziranim Med-CORDEX simulacijama (Tablica 2.2) upućuju na njihov porast između sadašnje klima P0 i budućeg razdoblja P1. Raspon porasta je između 15.2 i 20.2 dana.

Tablica 2.2 Godišnji srednjak broja toplih dana *SU25* u skupu simulacija regionalnih klimatskih modela za razdoblja P0 i P1 (prema RCP4.5 scenariju) te razlika P1-P0. Mjerna jedinica: dani.

<i>SU25</i> (dani)	P0	P1	P1-P0
RCM1	25.5	45.5	20.1
RCM2	32.7	50.8	18.1
RCM3	37.1	52.2	15.2
RCM4	68.8	88.7	20.2

Također se očekuje i veći broj vrućih dana *HD* (dani s maksimalnom temperaturom zraka većom ili jednakom 30 °C). Porast takvih dana u P1 razdoblju u odnosu na P0 razdoblje je u rasponu od 6.1 do 10.3 dana (Tablica 2.3).

Tablica 2.3 Godišnji srednjak broja vrućih dana *HD* u skupu simulacija regionalnih klimatskih modela za razdoblja P0 i P1 (prema RCP4.5 scenariju) te razlika P1-P0. Mjerna jedinica: dani.

<i>HD</i> (dani)	P0	P1	P1-P0
RCM1	1.7	7.7	6.1
RCM2	5.2	12.6	7.4
RCM3	5.9	15.0	9.0
RCM4	15.0	25.3	10.3

Prema analiziranim Med-CORDEX simulacijama broj tropskih noći *TR20* (dan s minimalnom temperaturom iznad 20 °C) u P0 razdoblju je malen za tri analizirana modela (između 0.1 i 1.7 dana), dok za četvrti model iznosi 24.5 dana. U P1 razdoblju se može očekivati porast broja tropskih noći. Porast će biti u rasponu od 2.4 do 20.7 dana (Tablica 2.4).

Tablica 2.4 Godišnji srednjak broja tropskih noći *TR20* u skupu simulacija regionalnih klimatskih modela za razdoblja P0 i P1 (prema RCP4.5 scenariju) te razlika P1-P0. Mjerna jedinica: dani.

<i>TR20</i> (dani)	P0	P1	P1-P0
RCM1	1.6	8.7	7.2
RCM2	0.1	2.6	2.4
RCM3	1.7	6.4	4.7
RCM4	24.5	45.2	20.7

Očekivane promjene trajanja toplih razdoblja *WSDI* (broj dana u razdobljima od najmanje 6 uzastopnih dana s maksimalnom temperaturom zraka višom od 90. percentila maksimalne temperature zraka za kalendarski dan) prema analiziranim MedCORDEX simulacijama (Tablica 2.4) ukazuju na njihovo produljenje između sadašnje klime P0 i buduće klime P1 u rasponu od 18.1 i 40.6 dana.

Tablica 2.4 Godišnji srednjak trajanja toplih razdoblja *WSDI* u skupu simulacija regionalnih klimatskih modela za razdoblja P0 i P1 (prema RCP4.5 scenariju) te razlika P1-P0. Mjerna jedinica: dani.

<i>WSDI</i> (dani)	P0	P1	P1-P0
RCM1	5.6	23.8	18.1
RCM2	8.3	35.3	27.0
RCM3	8.5	34.0	25.5
RCM4	8.6	49.2	40.6

3.1. Očekivane promjene indeksa oborinskih ekstrema

Osim temperaturnih, u studiji su analizirani i oborinski ekstremi. Analizirana je maksimalna dnevna količina oborine tijekom godine, broj vrlo vlažnih dana i trajanje sušnih razdoblja. Definicija i kratice ovih indeksa (računaju se iz niza dnevne količine oborine) prikazane su u Tablici 3.1.

Tablica 3.1 Definicija indeksa oborinskih ekstrema.

<i>Indeks (kratica; jedinica)</i>	<i>Definicija indeksa</i>
Maksimalna dnevna količina oborine (R_{x1d} , mm)	Maksimalna dnevna količina oborine u godini
Vrlo vlažni dani (R_{20} ; dani)	Broj dana s dnevnom količinom oborine ≥ 20 mm
Sušna razdoblja (CDD; dani)	Uzastopni niz dana s dnevnom količinom oborine $R_d < 1$ mm

Očekivane promjene maksimalne dnevne količine oborine R_{x1d} prema analiziranim MedCORDEX simulacijama (Tablica 3.2) upućuju na mogućnost njezinog smanjenja između sadašnje klime P0 i buduće klime u razdoblju P1 u rasponu od -10.5 mm do -98.1 mm. Samo jedna simulacija ukazuje na mogući porast oborine u P1 razdoblju za 9.0 mm u odnosu na maksimalnu dnevnu količinu oborine u P0 razdoblju.

Tablica 3.2 Godišnja maksimalna dnevna količina oborine (R_{x1d}) u simulacijama regionalnih klimatskih modela za razdoblja P0 i P1 (prema RCP4.5 scenariju) te razlika P1-P0. Mjerna jedinica: mm.

R_{x1d} (mm)	P0	P1	P1-P0
RCM1	106.0	93.4	-12.6
RCM2	69.0	78.0	9.0
RCM3	283.9	185.8	-98.1
RCM4	107.9	97.4	-10.5

Očekivane promjene broja dana s vrlo velikom količinom oborine R_{20} prema analiziranim MedCORDEX simulacijama (Tablica 3.3) upućuju na mogućnost njihovog porasta između sadašnje klime P0 i buduće klime P1 u rasponu od 0.4 do 1.8 dana za tri promatrane simulacije, dok jedna ukazuje na moguće smanjenje od -1.2 dana.

Tablica 3.3. Godišnji broj dana s vrlo velikom količinom oborine (*R20*, srednjak kroz sve godine) u simulacijama regionalnih klimatskih modela za razdoblja P0 i P1 (prema RCP4.5 scenariju) te razlika P1-P0. Mjerna jedinica: mm.

<i>R20</i> (dani)	P0	P1	P1-P0
RCM1	21.0	21.8	0.9
RCM2	11.2	10.0	-1.2
RCM3	15.7	16.1	0.4
RCM4	7.9	9.7	1.8

Očekivane promjene trajanja sušnih razdoblja *CDD* prema analiziranim MedCORDEX simulacijama (Tablica 3.4) u većini slučajeva upućuju na mogućnost njihovog produljenja između sadašnje klime P0 i buduće klime P1 u rasponu od 2 do 22 dana, dok samo jedan model ukazuje moguće kraće trajanje *CDD* za 11.0 dana.

Tablica 3.4. Godišnje trajanje sušnih razdoblja (*CDD*, maksimum kroz godine) u simulacijama regionalnih klimatskih modela za razdoblja P0 i P1 (prema RCP4.5 scenariju) te razlika P1-P0. Mjerna jedinica: mm.

<i>CDD</i> (dani)	P0	P1	P1-P0
RCM1	37.0	39.0	2.0
RCM2	31.0	38.0	7.0
RCM3	44.0	66.0	22.0
RCM4	46.0	35.0	-11.0

4.1. Zaključak

Procjena budućih klimatskih promjena za Grad Rijeku analizirana je korištenjem Med-CORDEX simulacija dobivenih pomoću četiri regionalna klimatska modela koji su forsirani sa četiri globalna klimatska modela. Analizirana je promjena srednje dnevne i maksimalne temperature zraka i oborine te indeksa temperaturnih i oborinskih ekstrema u razdoblju buduće klime P1 (2011.-2040.) u odnosu na opaženu klimu P0 (1971.--2000.). Buduća klima je simulirana prema scenariju emisija i koncentracija stakleničkih plinova RCP4.5. Podaci za Grad Rijeku dobiveni su bilinearnom interpolacijom nizova srednje dnevne i maksimalne temperature zraka i oborine.

Prema analiziranim podacima očekivani porast srednje dnevne temperature zraka je u rasponu između 1.0 °C i 1.6 °C. Sličan porast dobiven je i za srednju maksimalnu dnevnu temperaturu zraka. Predznak i iznos promjene ukupne količine oborine u P1 razdoblju nije jednoznačno određen u promatranom ansamblu. Dok dva modela ukazuju na približno jednak porast (30.4 mm i 34.7 mm), druga dva daju moguće smanjenje oborine (-33.3 mm, -78.2 mm).

S porastom srednje dnevne i maksimalne dnevne temperature zraka, u P1 klimi se očekuje i veći broj toplih dana. Korišteni Med-CORDEX podaci ukazuju na mogući porast u rasponu od 15.2 do 20.2 dana. Vrući dani će porasti u rasponu od 6.1 do 10.3 dana. Također se može očekivati i porast broja tropskih noći u rasponu od 2.4 do 20.7 dana. Trajanje toplih razdoblja biti će produženo u P1 klimi. Topla razdoblja bi mogla biti dulja između 18.1 i 40.6 dana.

Maksimalne dnevne količine oborine u tri analizirane simulacije pokazuju moguće smanjenje oborine u rasponu -10.5 i -98.1 mm, dok jedna simulacija daje porast oborine za 9.0 mm. Godišnji broj dana s vrlo velikom količinom oborine za tri modela je veći u P1 klimi u odnosu na P0 i to u rasponu od 0.4 do 1.8 dana, dok jedna simulacija daje mogućnost smanjenja za 1.2 dana. Trajanje sušnih razdoblja za tri simulacije će biti produženo od 2 do 22 dana, dok jedna simulacija ukazuje na moguće kraće trajanje za 11 dana.