

**DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD
REPUBLIKE HRVATSKE**

**ODABRANA POGLAVLJA
OSMOG NACIONALNOG IZVJEŠĆA REPUBLIKE HRVATSKE
PREMA OKVIRNOJ KONVENCIJI UJEDINJENIH NARODA O
PROMJENI KLIME (UNFCCC)**



Zagreb, siječanj 2023.

Ovo izvješće odnosi se na doprinos Državnog hidrometeorološkog zavoda odabranim poglavljima za Osmo nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji UN-a o promjeni klime temeljem zahtjeva Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja zaprimljenog 9. studenoga 2022. Navedeno izvješće se dostavlja elektroničkom poštom.

Izvješće je izrađeno u suradnji sljedećih ustrojstvenih jedinica DHMZ-a:

- Sektor za meteorološka istraživanja i razvoj
- Sektor za meteorološka motrenja i klimatološke podatke
- Sektor za kvalitetu zraka
- Sektor za hidrologiju
- Kabinet glavne ravnateljice

KLASA: 920-01/23-23/08

URBROJ: 554-06/01-23-2

Koordinator izrade izvješća
Sektor za meteorološka istraživanja
i razvoj



dr.sc. Kristian Horvath

Sektor meteorološka motrenja i
klimatološke podatke



Dubravka Rasol, dipl. ing.

Sektor za hidrologiju



Dario Kompar, dipl. ing.

Sektor za kvalitetu zraka



Jadranka Škevin-Sović, dipl. ing.

Služba za klimatologiju, Sektor za
meteorološka istraživanja i razvoj



mr.sc. Melita Perčec Tadić

Služba za agrometeorologiju, Sektor za
meteorološka istraživanja i razvoj



dr.sc. Mislav Anić

GLAVNA RAVNATELJICA



dr. sc. Branka Ivančan-Picek

Popis autora

Koordinator izrade izvješća: dr. sc. Kristian Horvath

Autori po poglavljima:

6.1.1 Metode analize trenda i klimatsko modeliranje

dr. sc. Ksenija Cindrić Kalin

Sarah Ivušić, mag.phys-geophys.

Vjeran Magjarević, dipl. ing.

mr. sc. Lidija Srnec

6.1.2 Globalne klimatske promjene

dr. sc. Ivan Güttler

6.1.3 Opaženi trendovi i projekcije buduće klime

dr. sc. Ksenija Cindrić Kalin (opaženi trendovi)

Sarah Ivušić, mag.phys-geophys. (projekcije buduće klime)

Vjeran Magjarević, dipl. ing. (projekcije buduće klime)

Leonardo Patalen, dipl. ing. (opaženi trendovi)

mr. sc. Melita Perčec Tadić (opaženi trendovi)

mr. sc. Lidija Srnec (projekcije buduće klime)

6.3.1 Utjecaj klimatskih promjena na poljoprivredu i opasnost od požara raslinja

dr. sc. Mislav Anić

6.3.2 Utjecaj klimatskih promjena na turizam

mr. sc. Lidija Srnec

8.2 Istraživanje i razvoj

dr. sc. Kristian Horvath

Vjeran Magjarević, dipl. ing. (projekt RESPONSE)

mr. sc. Melita Perčec Tadić (projekt UKV)

mr. sc. Lidija Srnec (projekt Adriadapt)

8.3 Sustavna mjerenja

Dubravka Rasol, dipl. ing. (meteorologija)

Jadranka Škevin-Sović, dipl. ing. (kvaliteta zraka)

Dario Kompar, dipl. ing. (hidrologija)

Sadržaj*

6. Procjena osjetljivosti, utjecaj klimatskih promjena i mjere	5
6.1 Opažene i očekivane klimatske promjene.....	5
6.1.1 Metode analize trenda i klimatsko modeliranje	5
6.1.2 Globalne klimatske promjene	6
6.1.3 Opaženi trendovi i projekcije buduće klime	7
6.3 Utjecaj klimatskih promjena na prirodu, društvo i gospodarstvo	24
6.3.1 Utjecaj klimatskih promjena na poljoprivredu i opasnost od požara raslinja	24
6.3.2 Utjecaj klimatskih promjena na turizam	32
8. Istraživanje i sustavno motrenje.....	33
8.2 Istraživanje i razvoj	33
8.3 Sustavna motrenja	35
Literatura	41

*Poglavlja su numerirana prema poglavljima u Sedmom nacionalnom izvješću Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji UN-a o promjeni klime.

6. Procjena osjetljivosti, utjecaj klimatskih promjena i mjere

6.1 Opažene i očekivane klimatske promjene

6.1.1 Metode analize trenda i klimatsko modeliranje

Opažene klimatske promjene u Hrvatskoj analizirane su pomoću trendova godišnjih i sezonskih nizova klimatoloških parametara temperature zraka i količine oborine te pripadnih indeksa ekstrema (WMO, 2009). Razdoblje analize u odnosu na prethodno Izvješće prošireno je podacima za 10 godina te sada obuhvaća razdoblje 1961.–2020. Analiza je temeljena na dnevnim podacima srednjih dnevnih i ekstremnih temperatura zraka na 35 meteoroloških postaja te dnevnih količina oborine na 143 postaje Državnog hidrometeorološkog zavoda. Iznosi trenda procijenjeni su pomoću Senovog nagiba (Sen, 1968) i izraženi su na 10 godina, a statistička značajnost na razini 95% ocijenjena je pomoću Mann-Kendallovog rang testa (Gilbert, 1987). Dodatno su prikazani rezultati trendova na mjesečnoj razini iz objavljenih znanstvenih radova za područje Hrvatske.

Pregled korištenih modela, scenarija i razdoblja u odnosu na prethodno izvješće

Osnovna podloga za izradu projekcija buduće klime u prethodnom, Sedmom nacionalnom izvješću i trećem dvogodišnjem izvješću Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC), bio je „Nacrt Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu“¹. Projekcije buduće klime tada su izračunate iz simulacija dobivenih regionalnim klimatskim modelom RegCM (Giorgi i sur., 2012, Guttler i sur. 2020). Za „povijesnu“ klimu je promatrano razdoblje 1971. – 2000. dok su promjene buduće klime (projekcije) razmatrane za dva 30 godišnja razdoblja: 2011. – 2040. i 2041. – 2070. Za potrebe Izvješća korišten je „umjereni“ scenarij razvoja koncentracija stakleničkih plinova (RCP4.5). Kao rubni i početni uvjeti za RegCM numeričke integracije upotrijebljeni su rezultati četiriju različitih globalnih klimatskih modela (GCM): model francuske meteorološke službe CNRM-CM5, model nizozemskog konzorcija EC-Earth, model njemačkog Max-Planck instituta za meteorologiju MPI-ESM i model britanske meteorološke službe HadGEM2. Analizirane su simulacije provedene na horizontalnoj prostornoj rezoluciji RegCM modela od 50 km.

Za potrebe izrade ovog, Osmog nacionalnog izvješća Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC), broj individualnih članova ansambla korištenih modela u procjeni promjene klime u budućnosti povećan je s 4 na 12. Korištena je kombinacija tri regionalna klimatska modela (RCM): RegCM², RCA³ i CCLM⁴. Za rubne i početne uvjete svakog od navedena tri regionalna modela upotrijebljeni su podaci istih četiriju globalnih klimatskih modela (GCM) koji su korišteni i u prethodnom, sedmom, izvješću. Korišteni ansambl od 12 simulacija, u odnosu na ansambl od 4 člana u prethodnom izvješću, bolje uvažava izvore nepouzdanosti klimatskih projekcija. Simulacije su provedene na horizontalnoj prostornoj rezoluciji od 12.5 km, čime su, u odnosu na prethodni izvještaj, detaljnije simulirani prostorno varijabilni elementi, osobito oborine i oborinski ekstremi. „Povijesna“ klima je definirana za 1981. – 2010. (tzv. razdoblje P0), što uključuje više „toplih godina“, za koje se pokazalo da su češće na kraju 20. i u 21. stoljeću. Projekcije buduće klime analizirane su za jedno buduće razdoblje 2041. – 2070. (tzv. razdoblje P1), uz pretpostavku umjerenog (RCP4.5) razvoja koncentracija stakleničkih plinova. Budući da je protokol izvođenja klimatskih projekcija definirao da simulacije buduće klime započnu s prosincem 2005. godine (Giorgi

¹ <https://prilagodba-klimi.hr/wp-content/uploads/docs/Nacrt%20Strategije%20prilagodbe.pdf>

² <https://www.ictp.it/research/esp/models/regcm4.aspx>

³ <https://www.smhi.se/en/research/research-departments/climate-research-at-the-rossby-centre/rossby-centre-regional-atmospheric-model-rca4-1.16562>

⁴ <https://clmcom.scrollhelp.site/clm-community/>

i Gutowski, 2015), posljednjih pet godina u izračunu povijesne klime preuzeto je iz simulacija dobivenih za RCP4.5 scenarij. Pretpostavka je da se koncentracije stakleničkih plinova u prvih nekoliko godina nisu značajnije mijenjale od stvarnih tijekom istih godina, te da se iste simulacije mogu ovako koristiti.

Promjena analiziranih varijabli u budućoj klimi (P1) u odnosu na povijesnu (P0) dobivena je kao razlika (apsolutna za temperaturu i broj dana s fiksnom granicom, te relativna za oborinu i neke indekse) srednjih vrijednosti u ova dva razdoblja. Razlika srednjaka ansambla predstavlja promjenu varijable u odnosu na povijesnu klimu. Promjene su promatrane za cijelu godinu (GOD) i pojedine klimatološke sezone: zima (prosinac, siječanj, veljača; DJF), proljeće (ožujak, travanj, svibanj; MAM), ljeto (lipanj, srpanj, kolovoz; JJA), jesen (rujan, listopad, studeni; SON). U izvještaju su prikazani najznačajniji rezultati.

6.1.2 Globalne klimatske promjene

Detaljni pregled aktualnih klimatskih promjena na globalnoj skali dan je u izvješću Radne skupine 1. Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC, 2021).

Globalne klimatske promjene su posljedica porasta koncentracija stakleničkih plinova, kao što su ugljični dioksid, metan i didušikov oksid. Atmosferska koncentracija ovih plinova je u 2019. godini iznosila 410 ppm za ugljični dioksid (najviša koncentracija u zadnjih 2 milijuna godina), 1866 ppb za metan i 332 ppb za didušikov oksid (najviše koncentracije u zadnjih 800 tisuća godina).

Porast globalne temperatura zraka je u razdoblju 2011.-2020. procijenjen na 1.09 °C u odnosu na razdoblje 1850.-1900., usporedivo s anomalijama temperature zraka prije 125 tisuća godina. Globalna količina oborine je povećana od 1950., s intenzivnijim porastom od 1980. Za područja srednjih geografskih širina u kojima se nalazi Hrvatska detektiran je pomak putanja ciklonalnih sustava prema polovima te promjene u količini oborine različitog predznaka ovisno o sezoni.

Osim porasta temperature svjetskih oceana, zabilježen je i nastavak porasta razine mora. Srednja razina svjetskih oceana je u razdoblju od 1901. do 2018. porasla za 20 cm. Smanjenje površine ledom prekrivenog Arktika iznosi 40% u rujnu i 10% u ožujku pri usporedbi razdoblja 2010.-2019. s razdobljem 1979.-1988.

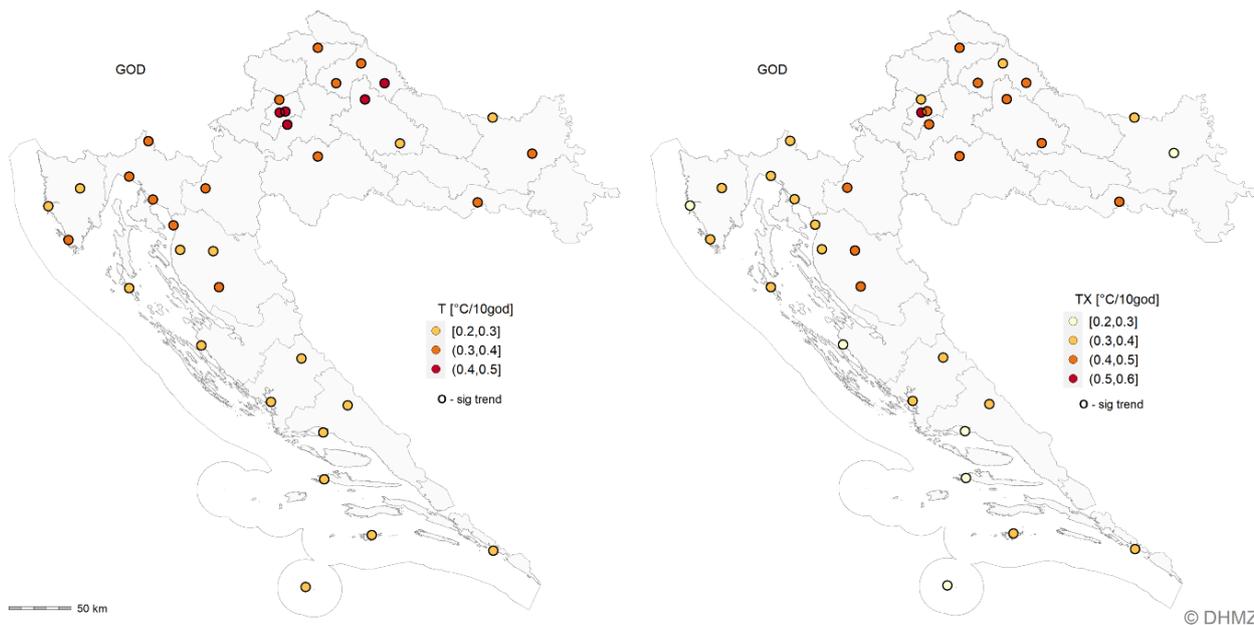
Promjene u pojavi ekstremnih vremenskih događaja na širem području Sredozemlja ukazuju na (1) porast toplih ekstrema i visoku pouzdanost u pripisivanju (eng. attribution) ljudskog utjecaja tim promjenama, (2) nepouzdanost u procjenama promjena u ekstremnim količinama oborine no (3) češće pojave agronomske i ekološke suše. Vezano za sušu na području Sredozemlja, pripisivanje ljudskog utjecaja je umjereno pouzdano no značajno.

Prema projekcijama globalnih klimatskih modela, očekuje se porast temperature zraka na širem području Sredozemlja i Hrvatske u svim analiziranim scenarijima. Smanjenje godišnje količine oborine od 10 % odnosno 20 % na području Jadrana se očekuje u scenarijima koji odgovaraju porastu globalne temperature od 2 °C odnosno 4 °C do kraja 21. stoljeća.

6.1.3 Opaženi trendovi i projekcije buduće klime

Opaženi trendovi temperature zraka

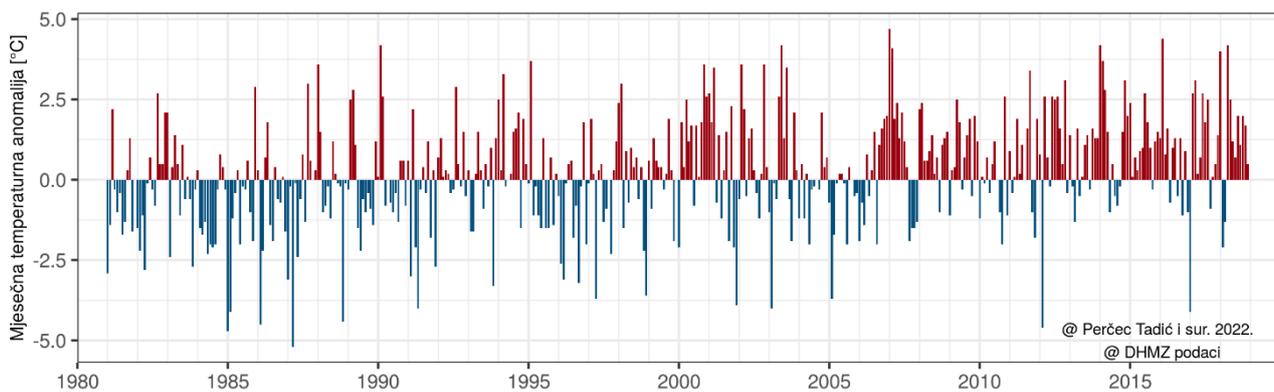
Na području Hrvatske je od druge polovine 20. stoljeća uočeno konzistentno zatopljenje. Vrijednosti trenda srednje godišnje temperature zraka iznose od 0.2 do 0.3 °C / 10 god duž Jadrana, a u središnjoj Hrvatskoj do 0.5 °C / 10 god (Slika 6.1.3.1). Uočeno zatopljenje na godišnjoj razini posljedica je značajnog porasta temperature zraka u svim sezonama, osobito ljeti (od 0.3 do 0.6 °C / 10 god). Značajan porast uočen je i u vrijednostima srednje minimalne i maksimalne temperature zraka u svim sezonama i na godišnjoj razini.



Slika 6.1.3.1. Dekadni trendovi srednje (T, lijevo) i srednje maksimalne (Tx, desno) godišnje temperature zraka (u °C / 10 god) u Hrvatskoj prema razdoblju mjerenja 1961. – 2020. Statistički značajan trend na pojedinoj meteorološkoj postaji označen je podebljanim krugom.

Trendovi temperature zraka na mjesečnoj razini dobiveni iz mjesečnih gridova visoke prostorne rezolucije (1 km) za razdoblje 1981.–2018. ukazuju na značajno zagrijavanje (0,3–1,0 °C/dekadi) u travnju, lipnju, srpnju, kolovozu i studenom (Perčec Tadić i sur. 2022). Godišnji trendovi od 0,3–0,7 °C/dekadi bili su značajni u cijeloj zemlji i jači u unutrašnjosti nego na obali .

Od početka dvadeset i prvog stoljeća, mjesečne anomalije usrednjene za čitav teritorij Hrvatske bile su često pozitivne i do 4,7 °C toplije (siječanj 2007.) od prosjeka za 1981.–2010. i samo povremeno negativne (Slika 6.1.3.2). I na godišnjoj razini prevladavaju pozitivne anomalije u dvadeset i prvom stoljeću (Perčec Tadić i sur. 2022).



Slika 6.1.3.2. Vremenski niz mjesečnih temperaturnih anomalija [$^{\circ}\text{C}$] u razdoblju 1981.–2018., usrednjeno za Hrvatsku. Anomalije su izračunate iz mjesečnih gridova oduzimanjem gridova mjesečnih normala za 1981.–2010. (Slika 14 iz Perčec Tadić i sur. 2022, podaci DHMZ).

Promjene sezonske i godišnje temperature zraka u budućnosti

Promjene u temperaturi zraka na 2 m (razlike razdoblja P1 i P0) ukazuju na jasan signal porasta srednjih godišnjih i sezonskih vrijednosti na čitavom području Republike Hrvatske. Najveći dio područja Republike Hrvatske očekuje porast srednje godišnje temperature zraka u iznosu od 1.5 do 1.6 $^{\circ}\text{C}$, dok se nešto veći porast, između 1.6 i 1.7 $^{\circ}\text{C}$, očekuje na području gorske Hrvatske (Slika 6.1.3.3).

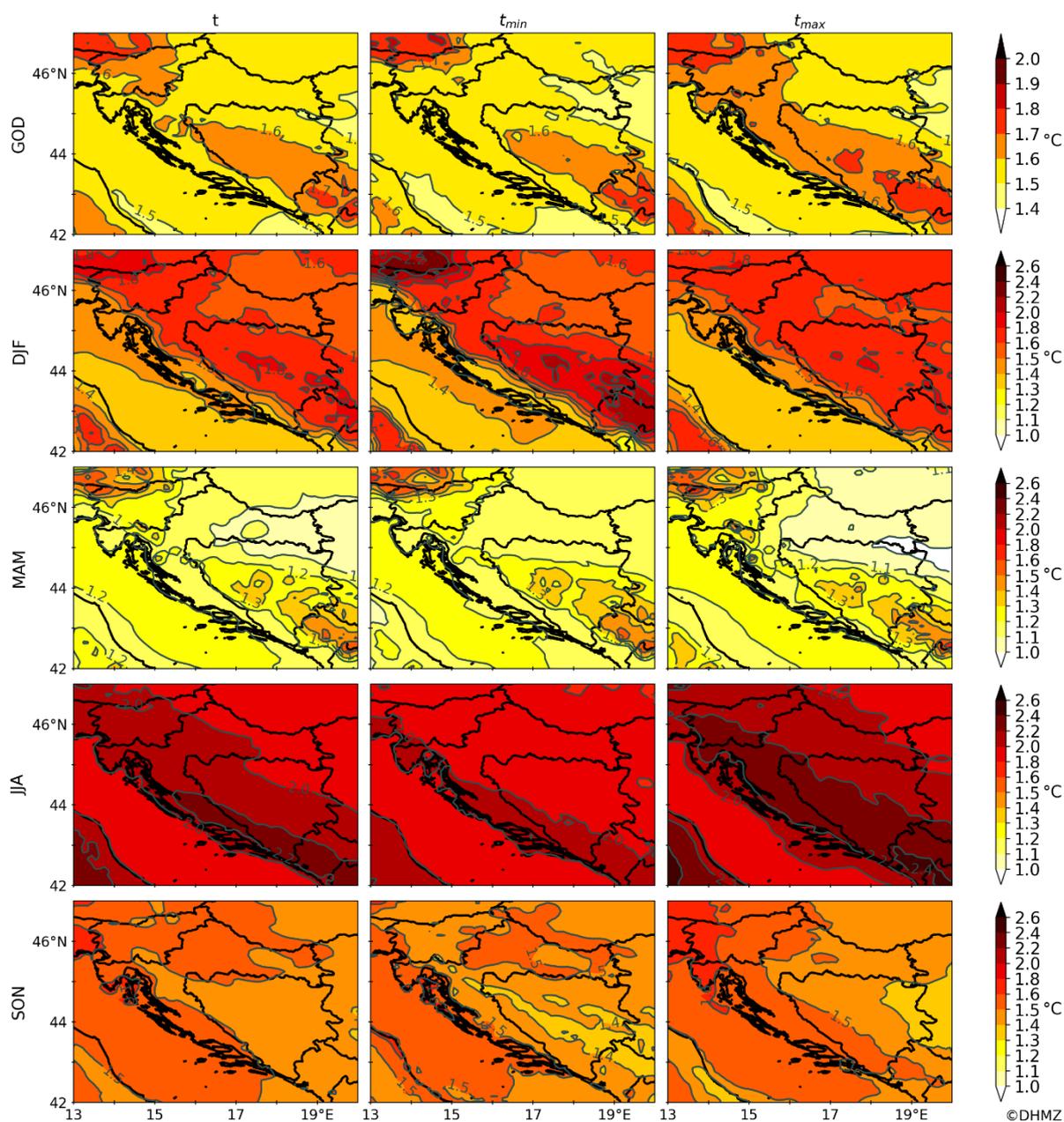
Jasan signal porasta na čitavom području Republike Hrvatske vidljiv je za minimalne i maksimalne godišnje temperature zraka. Izuzev najistočnijih predjela zemlje gdje je projicirani porast između 1.4 i 1.5 $^{\circ}\text{C}$, porast minimalnih temperatura zraka u ostatku zemlje je između 1.5 i 1.6 $^{\circ}\text{C}$. Očekivani porast maksimalnih temperatura zraka u iznosu od 1.5 do 1.6 $^{\circ}\text{C}$ zahvaća područja Jadrana te središnje i istočne Hrvatske, dok je projicirani porast maksimalnih temperatura u gorskim predjelima i unutrašnjosti Istre između 1.6 i 1.7 $^{\circ}\text{C}$, tek ponegdje 1.8 $^{\circ}\text{C}$.

Gledajući sezone, najveći porast srednje temperature zraka na 2 m očekuje se ljeti - očekivani porast sredinom stoljeća iznositi će najmanje 1.8 $^{\circ}\text{C}$. Na najvećem području Republike Hrvatske porast će biti u rasponu između 2.0 i 2.2 $^{\circ}\text{C}$, dok u unutrašnjosti Dalmacije temperature mogu biti i do 2.4 $^{\circ}\text{C}$ više nego u P0 razdoblju. Očekivani porast srednje temperature zimi je najveći u gorskoj Hrvatskoj i sjeverozapadnim dijelovima zemlje, u rasponu od 1.6 do 1.8 $^{\circ}\text{C}$. U istočnim dijelovima zemlje prevladava porast od 1.5 do 1.6 $^{\circ}\text{C}$, a manji porast temperature zraka javlja se na cijelom priobalnom području (između 1.4 i 1.5 $^{\circ}\text{C}$). Jesenski porast srednjih temperatura u rasponu od 1.5 do 1.6 $^{\circ}\text{C}$ zahvaća područje cijele zemlje, izuzev gorskog područja i krajnjeg istoka na kojima projicirani porast srednje temperature iznosi između 1.4 i 1.5 $^{\circ}\text{C}$ te dijela Kvarnerskog zaljeva gdje porast srednje temperature iznosi između 1.6 i 1.8 $^{\circ}\text{C}$. Najmanji porast temperature zraka na 2 m predviđa se za proljetnu sezonu u kojoj se za najveći dio zemlje predviđa porast između 1.1 i 1.2 $^{\circ}\text{C}$. Nešto viši porast očekuje se na obalnom području i kreće se unutar granica 1.2 i 1.3 $^{\circ}\text{C}$, dok je na području istočne Hrvatske nešto niži - u granicama od 1.0 do 1.1 $^{\circ}\text{C}$.

Najveći porast minimalnih i maksimalnih temperatura također se predviđa za ljetnu sezonu. Prostorno je ljetna promjena maksimalne temperature vrlo slična promjeni srednje temperature zraka, dok se po apsolutnom iznosu promjene ponešto razlikuju. Područje Jadrana, središnje i istočne Hrvatske očekuje porast ljetnih maksimalnih temperatura u iznosu od 2.0 do 2.2 $^{\circ}\text{C}$, dok je projicirani porast u gorskoj Hrvatskoj i unutrašnjosti Istre između 2.2 i 2.4 $^{\circ}\text{C}$. Promjene ljetnih minimalnih temperatura u priobalnom području, uključujući i unutrašnjost Istre i Dalmacije, karakterizira porast minimalne

temperature u iznosu od 2.0 do 2.2 °C. U ostatku Republike Hrvatske porast minimalnih ljetnih temperatura bit će u granicama 1.8 i 2.0 °C.

Porast zimskih maksimalnih temperatura u gorskom području i unutrašnjosti kreće se u rasponu od 1.5 do 1.8 °C, dok na području Istre i u priobalju porast iznosi između 1.4 i 1.5 °C, te između 1.3 i 1.4 °C na području Jadrana. Zimske minimalne temperature karakterizira nešto veća prostorna promjenjivost, no promjena temperature je pozitivna na području cijele zemlje u rasponu od 1.3 °C do 1.8°C.



Slika 6.1.3.3. Promjena srednje temperature zraka na 2 m (t ; prvi stupac), minimalne temperature zraka na 2 m (t_{min} ; drugi stupac) i maksimalne temperature zraka na 2 m (t_{max} ; treći stupac) u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP4.5. Godišnja promjena (GOD; prvi redak), promjena zimi (DJF; drugi redak), u proljeće (MAM; treći redak), ljeti (JJA; četvrti redak) i u jesen (SON; peti redak).

Jesenske maksimalne temperature u razdoblju P1 na priobalnom i obalnom području Jadrana, u Gorskom kotaru i Lici, najzapadnijim dijelovima kontinentalne te dijelu središnje Hrvatske porast će između 1.5 i 1.6 °C u odnosu na maksimalne jesenske temperature tijekom razdoblja P0. Na području Istre maksimalne jesenske temperature bit će više za 1.6 do 1.8 °C, a u većem dijelu kontinentalne Hrvatske za 1.4 do 1.5 °C. Porast projiciranih minimalnih jesenskih temperatura zraka najizraženiji je na području Kvarnerskog zaljeva (do 1.8 °C) te na području Jadrana i središnje Hrvatske gdje iznosi između 1.5 i 1.6 °C. Očekivane promjene minimalne temperature na najvećem dijelu gorskog područja i u središnjem dijelu istočne Hrvatske iznose između 1.4 i 1.5 °C.

Proljetne maksimalne temperature zraka također će najmanje porasti na istoku i dijelu središnje Hrvatske (od 1.0 do 1.1 °C), a nešto veći porast (od 1.1 do 1.2 °C) bilježit će zapadni dijelovi unutrašnjosti i dijelovi Dalmacije. Za većinu obalnog područja, uključujući i Istru i njezinu unutrašnjost, porast maksimalnih proljetnih temperatura bit će u rasponu od 1.2 do 1.3 °C. Veći porast maksimalnih proljetnih temperatura zraka moguće je očekivati u izdvojenim gorskim područjima. Promjene proljetnih minimalnih temperatura na najvećem području kontinentalne Hrvatske iznose između 1.1 i 1.2 °C, tek na dijelu gorske Hrvatske i većem dijelu Jadranskog mora od 1.2 do 1.3 °C.

Opaženi trendovi količine oborine

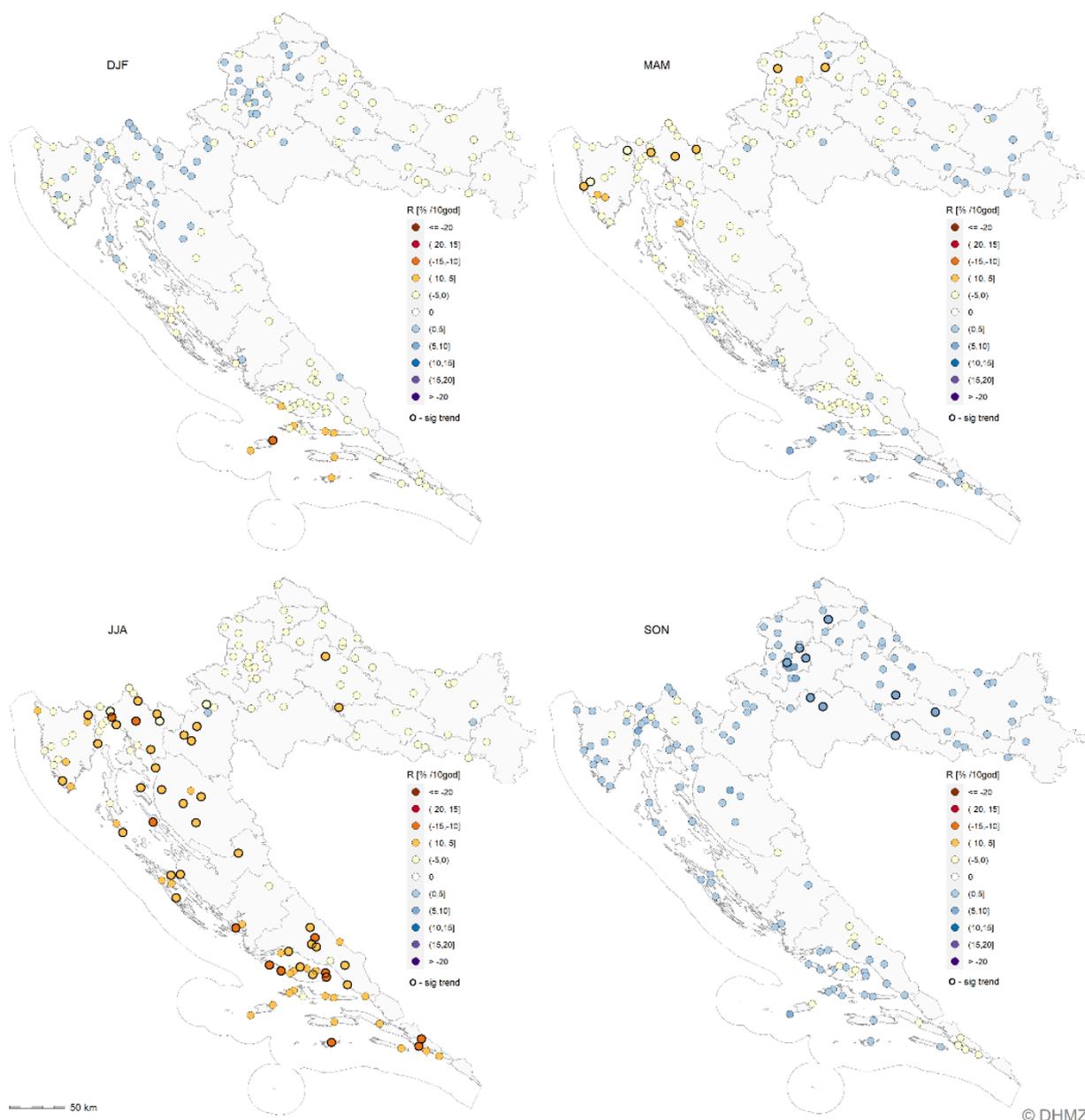
Rezultati trenda oborine pokazuju izrazitu sezonalnost promjena (Slika 6.1.3.4). Posebno se ističe osušenje tijekom ljetnih mjeseci duž Jadrana i njegovog zaleđa (od 5% do 15% / 10 god u odnosu na referentni srednjak iz 1981.–2010.). S druge strane, konzistentan porast jesenske količine oborine opažen je u cijeloj Hrvatskoj, a značajan je u središnjoj unutrašnjosti (do 15 % / 10 god). Tijekom zime prevladava negativan trend količine oborine na srednjem i južnom Jadranu te u istočnim predjelima, a pozitivan u ostatku Hrvatske. Suprotan predznak trenda opažen je u proljeće. Takva sezonska raspodjela trenda rezultira slabo izraženim trendom količine oborine na godišnjoj razini, kako po predznaku tako i po iznosu.

Promjene sezonske i godišnje količine oborine u budućnosti

Promjena količine oborine u razdoblju 2041. – 2070. u odnosu na razdoblje 1981. – 2010. je promatrana u relativnom iznosu $((P1-P0)/P0)$ i iskazana je u postocima.

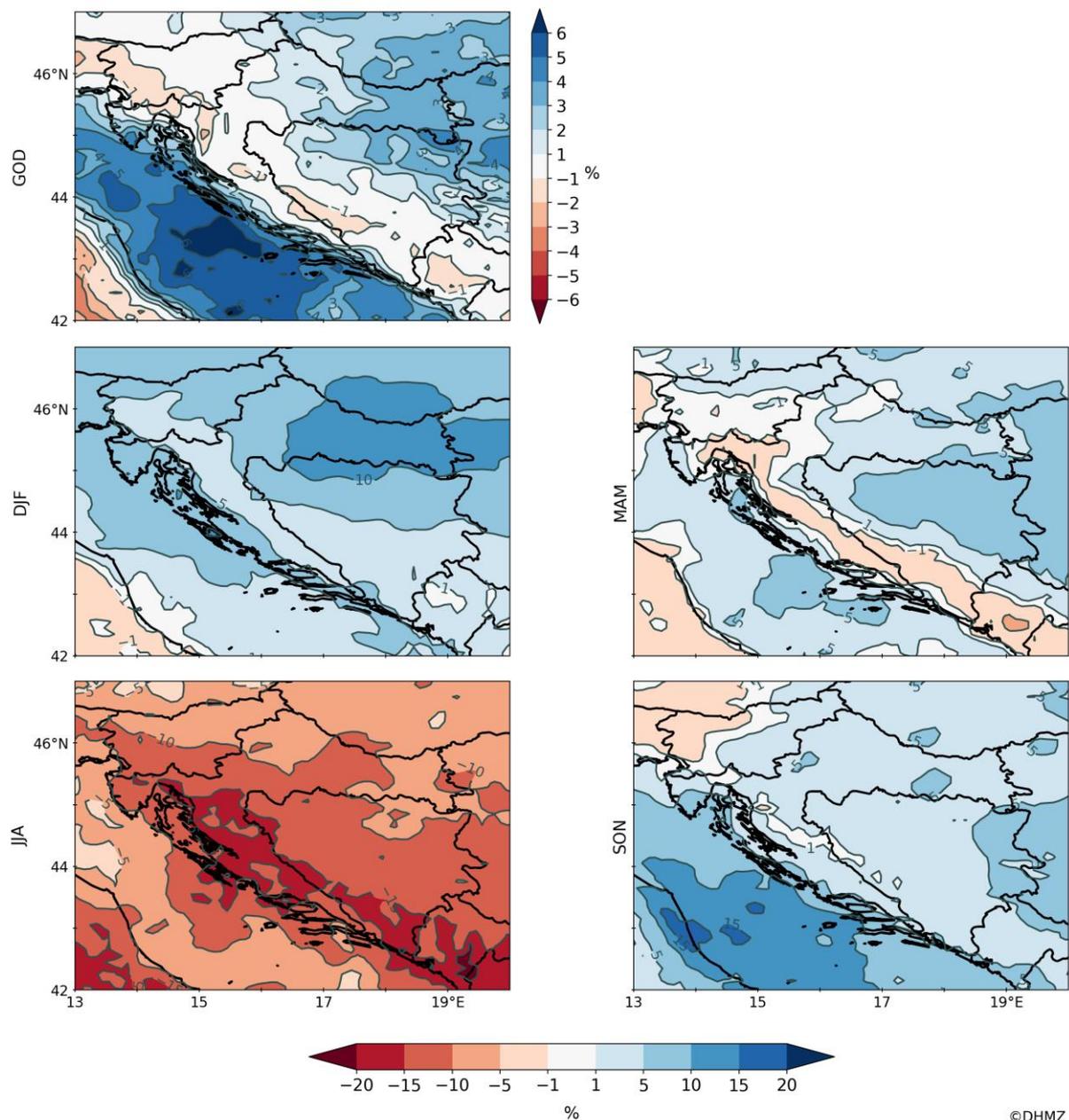
Ukupna godišnja količina oborine u ansamblu za P1 razdoblje pokazuje razmjerno male, prostorno varijabilne, promjene u odnosu na P0 razdoblje (Slika 6.1.3.5). Na područjima uz Jadran očekivan je porast količine oborine od 3 do 4%. Manji dio područja Like, Gorskog kotara i unutrašnjosti Dalmacije imat će od 1 do 2% manje oborine, dok će na većem dijelu istog područja promjena oborine biti zanemariva (u rasponu od -1 do 1%). Projicirane promjene količine oborine u unutrašnjosti zemlje povećavaju se od zapada prema istoku te se u najistočnijim krajevima očekuje porast količine oborine od 3 do 5%.

Promjene ukupne količine oborine u sezonama u razdoblju 2041. – 2070. godine različitog su predznaka, uz smanjenje oborine ljeti na cijelom području Hrvatske, te prevladavajući slabije izražen porast oborine u drugim sezonama. Zimi se u čitavoj Hrvatskoj, a u jesen u najvećem dijelu Hrvatske, očekuje porast ukupne količine oborine. U zimskoj sezoni (Slika 6.1.3.5) porast je najveći u istočnim krajevima i iznosi između 10 i 15%, dok je u gorskom području i unutrašnjosti Dalmacije najmanji (između 1 i 5%). Jesenski porast u najvećem dijelu zemlje (Slika 6.1.3.5) je od 1 do 5%, na priobalnom području i izdvojenim područjima unutrašnjosti od 5 do 10%. Za uski pojas primorskog zaleđa (Velebit) projicirane su negativne promjene jesenskih količina oborine. Promjene proljetnih količina oborine (Slika 6.1.3.5) predznakom i prostornom raspodjelom najviše se slažu s promjenama



Slika 6.1.3.4. Dekadni trendovi sezonskih (DJF – zima, MAM – proljeće, JJA – ljeto, SON – jesen) količina oborine (%/10god u odnosu na referentni srednjak iz 1981.–2010.) u Hrvatskoj prema razdoblju mjerenja 1961.–2020. Statistički značajan trend na pojedinoj meteorološkoj postaji označen je podebljanim krugom.

na godišnjoj razini. Područje istočnih dijelova središnje Hrvatske te same istočne Hrvatske kao i priobalna i obalna područja pokazuju povećanje količine oborine, do najviše 10% (Istočna Slavonija). Područja Like, Gorskog kotara i unutrašnjosti Dalmacije karakterizira negativna promjena srednje količine oborine na razini od 1 do 5%. Jedina sezona u kojoj se očekuje smanjenje količine oborine na području cijele zemlje je ljeto (Slika 6.1.3.5). Najveće smanjenje (između 15 i 20%) moguće je u Primorju, središnjoj Dalmaciji i gorskom području, a najmanje u najsjevernijim i najistočnijim krajevima (između 5 i 10%). U ostatku zemlje projicirano ljetno smanjenje ukupne količine oborine iznosi između 10 i 15%.



©DHMZ

Slika 6.1.3.5. Relativna promjena ukupne količine oborine u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP4.5. Godišnja promjena (GOD; gore lijevo), promjena zimi (DJF; sredina lijevo), u proljeće (MAM; sredina desno), ljeti (JJA; dolje lijevo) i u jesen (SON; dolje desno).

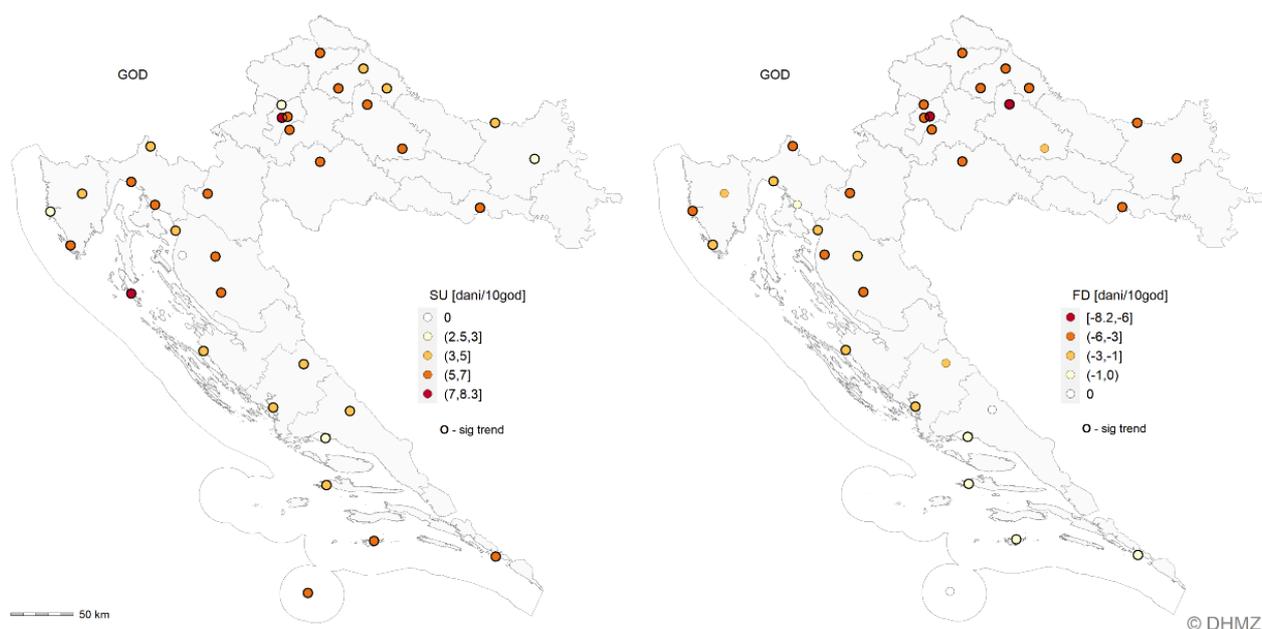
Tablica 6.1.3.1. Temperaturni i oborinski indeksi i njihove definicije, korišteni za analizu klimatskih promjena u ovom izvještaju.

Kratica	Naziv	Definicija
Indeksi hladnih temperaturnih ekstrema		
FD	Hladni dani (apsolutni prag)	Broj dana s minimalnom temperaturom zraka $<0^{\circ}\text{C}$
Tn10	Hladne noći (prag prema percentilu)	Broj dana s minimalnom temperaturom zraka nižom od praga, određenog kao 10. percentil minimalne temperature zraka za kalendarski dan u razdoblju 1981. - 2010.
Tx10	Hladni dani (prag prema percentilu)	Broj dana s maksimalnom temperaturom zraka nižom od praga, određenog kao 10. percentil maksimalne temperature zraka za kalendarski dan u razdoblju 1981. - 2010.
CSDI	Trajanje hladnih razdoblja	Broj dana u razdobljima od najmanje 6 uzastopnih dana s minimalnom temperaturom zraka nižom od Tn10
Indeksi toplih temperaturnih ekstrema		
Tn90	Tople noći (prag prema percentilu)	Broj dana s minimalnom temperaturom zraka višom od praga, određenog kao 90. percentil minimalne temperature zraka za kalendarski dan u razdoblju 1981. - 2010.
Tx90	Topli dani (prag prema percentilu)	Broj dana s maksimalnom temperaturom zraka višom od praga, određenog kao 90. percentil maksimalne temperature zraka za kalendarski dan u razdoblju 1981. - 2010.
WSDI	Trajanje toplih razdoblja	Broj dana u razdobljima od najmanje 6 uzastopnih dana s maksimalnom temperaturom zraka višom od Tx90
SU	Topli dani (apsolutni prag)	Broj dana s maksimalnom temperaturom zraka $\geq 25^{\circ}\text{C}$
Suhi i vlažni indeksi		
DD	Suhi dani	Broj dana s dnevnom količinom oborine $R_d < 1.0$ mm
SDII	Standardni dnevni intenzitet oborine	Omjer godišnje količine oborine i godišnjeg broja oborinskih dana ($R_d \geq 1.0$ mm)
R75	Umjereno vlažni dani	Broj dana s količinom oborine $R_d > R_{75\%}$, gdje je $R_{75\%}$ 75. percentil razdiobe dnevnih količina oborine koji je određen iz svih dana u referentnom razdoblju 1981. - 2010.
R95	Vrlo vlažni dani	Broj dana s količinom oborine $R_d > R_{95\%}$, gdje je $R_{95\%}$ 95. percentil razdiobe dnevnih količina oborine koji je određen iz svih dana u referentnom razdoblju 1981. - 2010.
R95T	Udio oborine u vrlo vlažne dane	Udio godišnje/sezonske količine oborine SR_d/R_t , gdje je SR_d suma dnevnih oborina većih od 95. percentila oborine u vrlo vlažne dane ($R_{95\%}$) u referentnom razdoblju 1981. - 2010.), a R_t je ukupna godišnja količina oborine
Rx1d	Najveća 1-dnevna količina oborine	Najveća količina oborine u jednom danu
Rx5d	Najveća 5-dnevna količina oborine	Najveća količina oborine u 5-dnevnim intervalima
CDD	Uzastopni niz sušnih dana	Najdulji niz uzastopnih sušnih dana. Sušni dan definiran kao dan s dnevnom količinom oborine < 1 mm (CDD1) i < 10 mm (CDD10)
CWD	Uzastopni niz kišnih dana	Najdulji niz uzastopnih kišnih dana. Kišni dan definiran kao dan s dnevnom količinom oborine ≥ 1 mm (CWD1) i ≥ 10 mm (CWD10)

Opaženi trendovi temperaturnih ekstrema

Zatopljenje u Hrvatskoj se očituje u svim indeksima temperaturnih ekstrema. Značajan je porast broja toplih dana do 8.3 dana / 10 god (Slika 6.1.3.6). Značajan je i porast broja toplih dana u proljeće, do 3 dana / 10 god i ljeti do 5 dana / 10 god te ljetnih toplih noći na Jadranu (do 6 dana / 10 god) gdje je uočeno i produljenje toplih razdoblja. Prevladavajući trend smanjenja godišnjeg broja hladnih dana posebno je izražen u unutrašnjosti te na sjevernom Jadranu (do 8 dana / 10 god), a broj hladnih noći smanjuje se u cijeloj Hrvatskoj (do 10 dana / 10 god). Na jadranskoj obali je uočen i trend skraćivanja hladnih razdoblja (do 2 dana / 10 god).

Snažno zagrijavanje u unutrašnjosti Hrvatske posebno je vidljivo na području glavnog grada Zagreba koje upućuje na jaki urbani efekt zagrijavanja. Detaljna lokalna analiza promjena ekstremnih temperatura zraka na području Zagreba potvrdila je jače zagrijavanje u centru grada nego u okolici i gorju (Nimac i sur. 2021). Osobito je izraženo smanjenje broja hladnih dana ($T_{min} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) i porast broja toplih noći uslijed povećanog zagrijavanja s izgrađenih betonskih površina. Uz povećanje (smanjenje) broja stupanj dan hlađenja (grijanja) u Zagrebu, dobiveni rezultati upućuju na potencijalno povećanje rizika povezanih s toplim, a smanjenje rizika povezanih s hladnim vremenom, osobito u gradovima (Cvitan i Sokol Jurković, 2016).



Slika 6.1.3.6. Dekadni trendovi broja toplih (SU) i hladnih (FD) dana (dani /10 god) u Hrvatskoj prema razdoblju mjerenja 1961.–2020. Statistički značajan trend na pojedinoj meteorološkoj postaji označen je podebljanim krugom. SU – broj dana s maksimalnom temperaturom zraka $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, FD – broj dana s minimalnom temperaturom zraka $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Buduće promjene toplih i hladnih temperaturnih indeksa ekstrema

Promjene ekstremnih temperaturnih prilika analizirane su na osnovi promjene godišnjeg broja dana u kojima je zadovoljen uvjet kojim je definiran određeni događaj odnosno klimatski indeks (Tablica 6.1.3.1). Pojava temperaturnih ekstrema uvelike ovisi o dijelu godine koji se promatra (topli indeksi

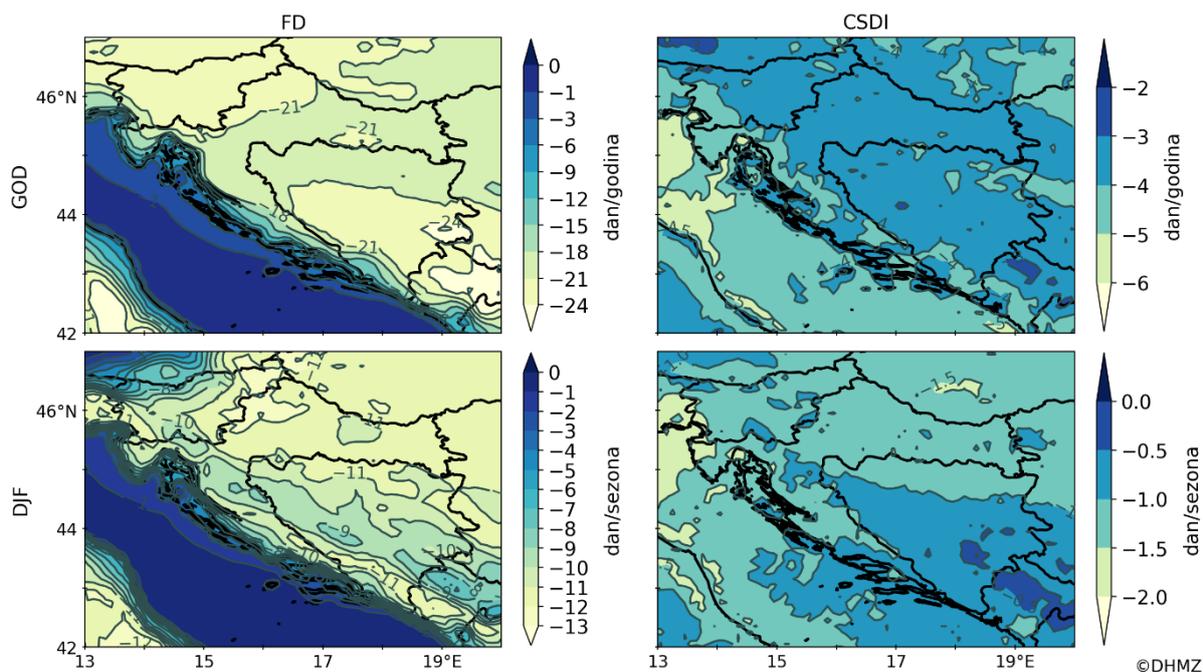
rijetko se javljaju u hladnom dijelu godine i obrnuto), ali i o promatranom području (npr. hladni indeksi rjeđi su u priobalnom području).

Hladni temperaturni indeksi analizirani su promjenom ukupnog godišnjeg broja hladnih dana (FD) i sezonskog broja hladnih dana u jesen, zimu i proljeće (grafički prikazana samo promjena zimi), promjenom trajanja hladnih razdoblja (CSDI), promjenom broja hladnih noći (Tn10) i hladnih dana (Tx10) zimi i na godišnjoj razini. U P1 razdoblju očekuje se smanjenje broja dana s hladnim temperaturnim indeksima u odnosu na P0 razdoblje.

U zimskoj sezoni najveće promjene u broju hladnih dana (FD, Slika 6.1.3.7) očekuju se na području središnje i istočne Hrvatske (11 do 12 dana manje) dok je na području gorske Hrvatske promjena uglavnom do 10, samo ponegdje 8 do 9, dana manje. Smanjenje broja hladnih dana u jesenskoj i proljetnoj sezoni iznosi između 3 i 7 dana na cijelom promatranom području, pri čemu je smanjenje manje na priobalnom području a veće u unutrašnjosti zemlje. Smanjenje broja hladnih dana na godišnjoj razini zbroj je sezonskih smanjenja i za najveći dio zemlje iznosi između 18 i 21 dan. Samo u sjeverozapadnim predjelima (uz granicu sa Slovenijom) i na uskom području zapadne Slavonije moguće je smanjenje veće od 21 dan. U priobalnom području apsolutni iznos smanjenja ubrzano pada kako se približavamo moru. Razlog tome je mali broj hladnih dana na tom području i u razdoblju P0.

Trajanje hladnih razdoblja (CSDI, Slika 6.1.3.7) u zimskoj sezoni smanjuje se za najmanje 0.5 dana (područje južnog Jadrana i dijela Gorskog kotara i Like), a najviše za 1.5 dana (ostatak zemlje). Na godišnjoj razini u većem dijelu zemlje očekuje se smanjenje trajanja hladnih razdoblja za 3 do 4 dana. Veće smanjenje (4 do 5 dana) očekuje se samo na području Istre i gorskog priobalnog područja.

Smanjenje broja hladnih noći (Tn10, Slika 6.1.3.8) zimi kreće se od 4.5 do 5.0% u većem dijelu unutrašnjosti, na području Istre i dijela sjevernog Jadrana. Nešto manje smanjenje projicirano je za gorsko područje te područje većeg dijela srednjeg i južnog Jadrana (od 4.0 do 4.5%). Najmanje promjene očekuju se na dijelu srednjeg Jadrana (smanjenje od 3.5 do 4.0%). Na godišnjoj razini očekuje se smanjenje broja hladnih noći od 5.0 do 5.5% u većem dijelu zemlje, a u sjeverozapadnim predjelima (uz granicu sa Slovenijom) i u obalnom području smanjenje će biti između 5.5 i 6.0%.

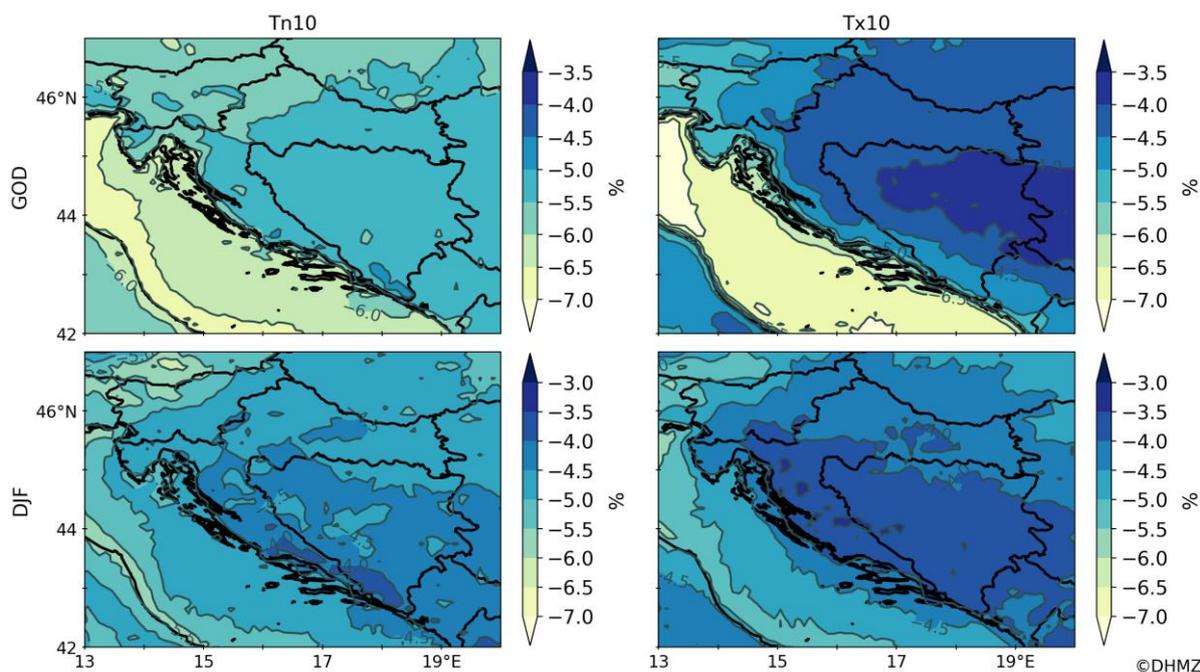


Slika 6.1.3.7. Promjena broja hladnih dana (FD; prvi stupac) i trajanja hladnih razdoblja (CSDI; drugi stupac) u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP4.5. Godišnja promjena (GOD; prvi redak) i promjena zimi (DJF; drugi redak).

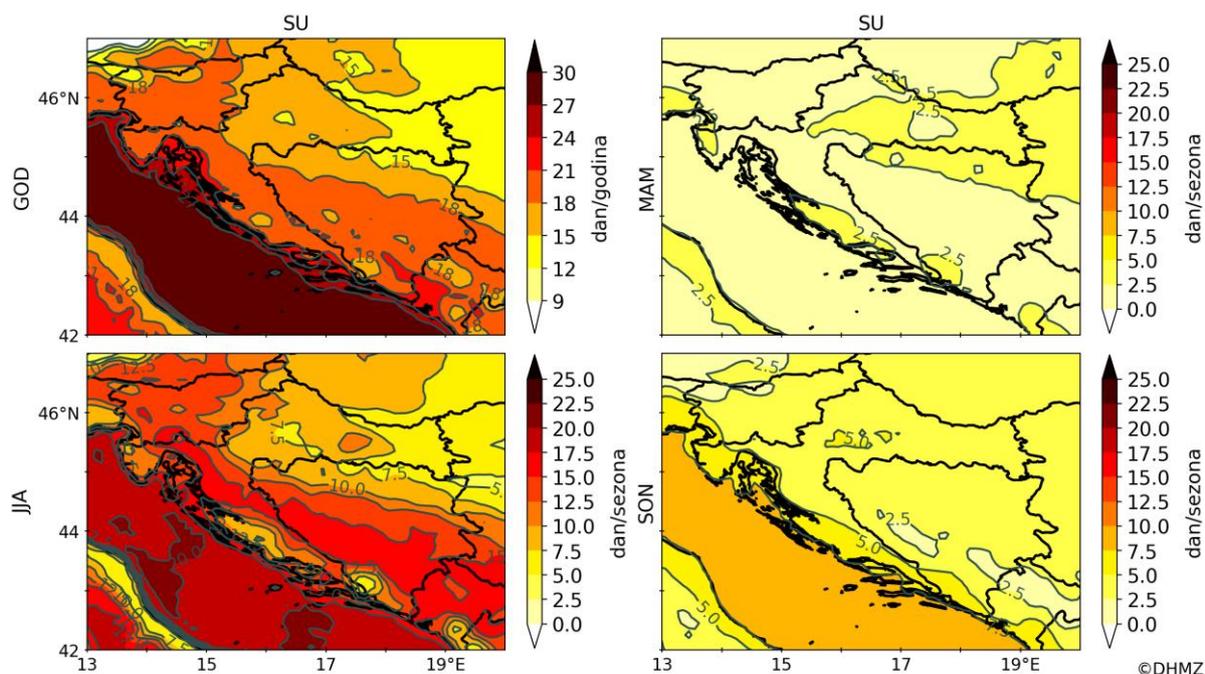
Promjene u broju hladnih dana (Tx10, Slika 6.1.3.8) zimi ukazuju na smanjenje od 4.0 do 4.5% na uskom priobalnom području i većem dijelu unutrašnjosti (središnja i istočna Hrvatska), te nešto manje (od 3.5 do 4.0%) u ostatku zemlje (gorska Hrvatska, primorje i kopneni dio Dalmacije). Smanjenje broja hladnih dana na godišnjoj razini najveće je na području Jadrana i priobalnom području (6.5%), te se postepeno smanjuje prema unutrašnjosti - veći dio unutrašnjosti očekuje smanjenje od 4.0 do 4.5%.

Promjene indeksa toplih temperaturnih ekstrema (Tablica 6.1.3.1) analizirane su na temelju promjena na godišnjoj razini i na razini promjena u ljetnoj, proljetnoj i jesenskoj sezoni, iznimno za indeks trajanja toplih razdoblja (WSDI) koji je analizirani i za zimsku sezonu. Indeksi definirani apsolutnim pragovima se najčešće javljaju u toplijem dijelu godine za razliku od indeksa i toplih razdoblja, definiranih prema percentilima na pojedine dane, koji mogu biti zabilježeni bilo kad u godini. U budućem P1 razdoblju, za sve razmotrene tople temperaturne indekse možemo očekivati porast broja dana koji zadovoljavaju kriterij za pojedini indeks.

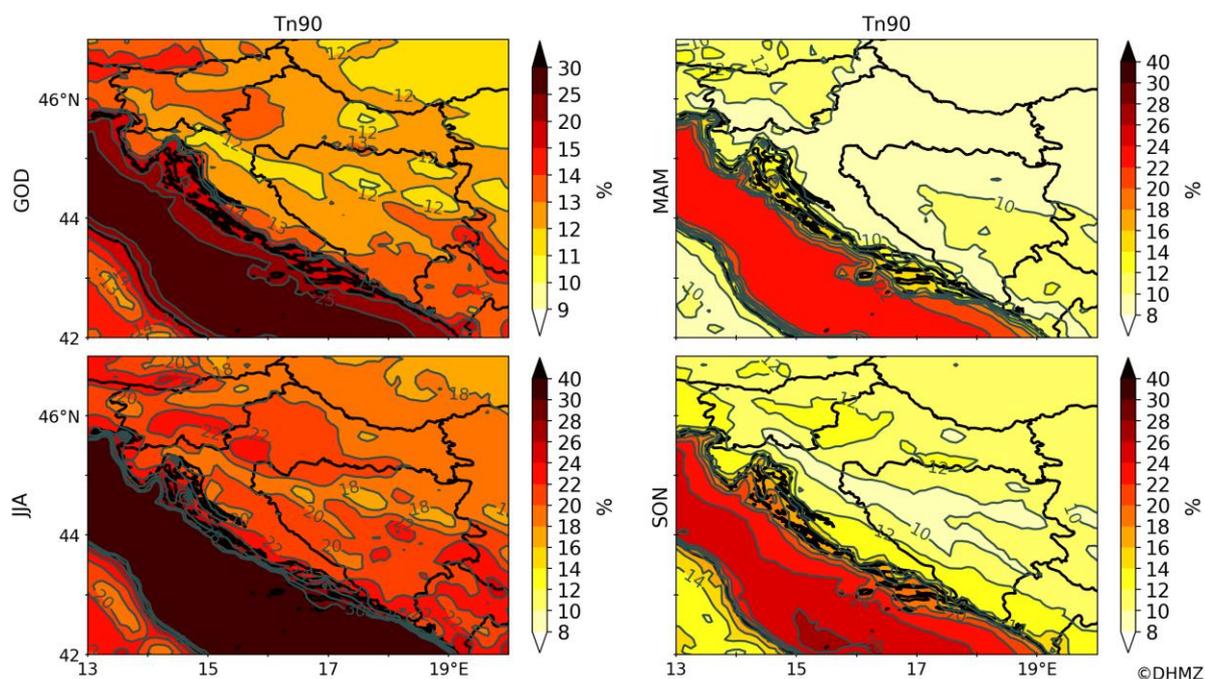
Na godišnjoj razini na području cijele Republike Hrvatske u razdoblju P1 biti će najmanje 12 toplih dana (SU, Slika 6.1.3.9) više nego u razdoblju P0. Krajnji istok zemlje očekuje porast od 12 do 15, a područje središnje Hrvatske od 15 i 18 toplih dana. Područje gorske Hrvatske te unutrašnjosti Dalmacije i Istre imat će do 21 topli dan više, dok će usko obalno područje u razdoblju P1 imati i do 24 topla dana više u odnosu na razdoblje P0. Ljetna sezona najviše pridonosi godišnjem povećanju broja toplih dana. Očekivano ljetno povećanje kreće se između 5.0 i 7.5 dana za istočnu Hrvatsku, 7.5 i 10.0 dana za veći dio središnje Hrvatske, te između 10.0 i 17.5 dana za šire gorsko i priobalno područje. U priobalnom području, s porastom broja toplih dana manjim od 10.0, ali većim od 5.0, izdvajaju se pojedina Dalmatinska područja. Tijekom proljetne sezone broj toplih dana može porasti najviše do 5.0 dana. Zanimljivo je da se najveći proljetni porast, od 2.0 do 5.0 dana, može očekivati na područjima gdje je ljeti porast toplih dana u odnosu na P0 najmanji (dijelovi središnje i istočne Hrvatske i područja Dalmacije). Povećanje broja toplih dana u jesenskoj sezoni najveće je (između 5.0 i 7.5. dana) na obalnom području Jadrana, a smanjuje se prema unutrašnjosti čiji najveći dio (gorska, veliki dio središnje i istočna Hrvatska) karakterizira povećanje između 2.5 i 5.0 toplih dana.



Slika 6.1.3.8. Promjena broja hladnih noći (Tn10; prvi stupac) i hladnih dana (Tx10; drugi stupac) u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP4.5. Godišnja promjena (GOD; prvi redak) i promjena zimi (DJF; drugi redak).



Slika 6.1.3.9. Promjena broja toplih dana (SU) u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP4.5. Godišnja promjena (GOD; gore lijevo), promjena u proljeće (MAM; gore desno), ljeti (JJA; dolje lijevo) i u jesen (SON; dolje desno).

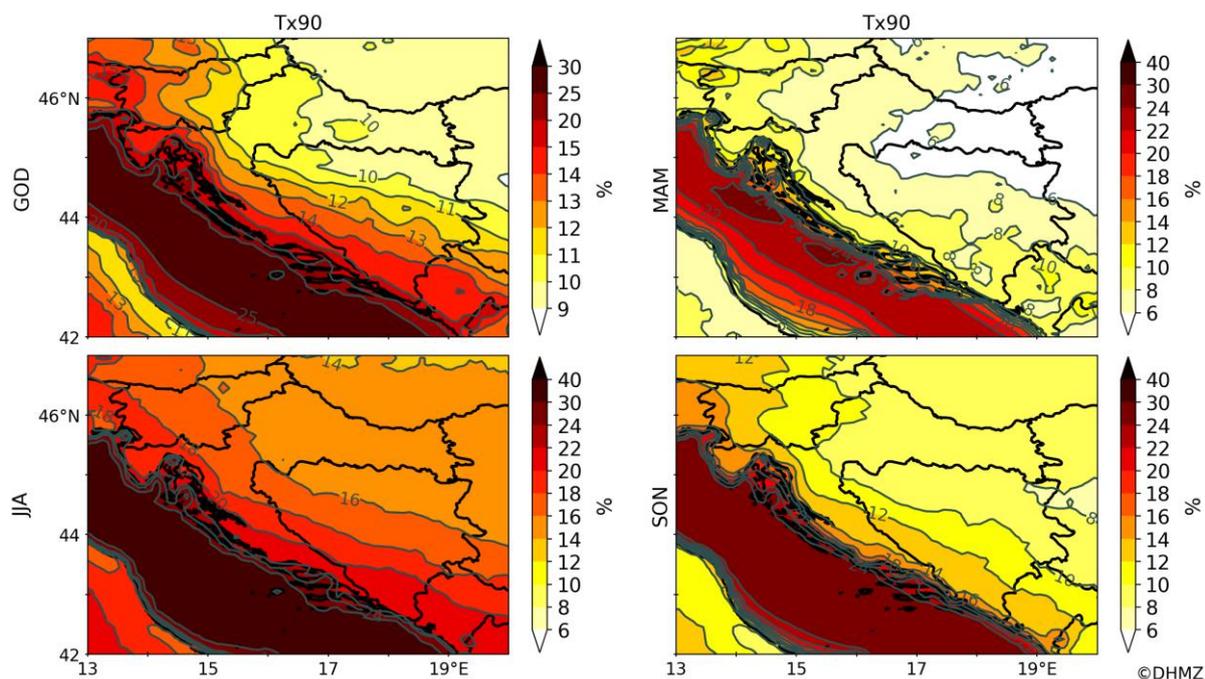


Slika 6.1.3.10. Promjena broja toplih noći (Tn90) u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP4.5. Godišnja promjena (GOD; gore lijevo), promjena u proljeće (MAM; gore desno), ljeti (JJA; dolje lijevo) i u jesen (SON; dolje desno).

Promjena broja toplih noći (Tn90, Slika 6.1.3.10) na godišnjoj razini najveća je na području uz more (veća od 13%), dok su očekivane promjene u unutrašnjosti između 10 i 14%. Promjene broja toplih noći u ljetnoj sezoni također su najveće (veće od 22%) u priobalnom području, između 20 i 22% u najvećem dijelu središnje Hrvatske i rijeko manje od 18% u preostalom dijelu zemlje. Promjene broja toplih noći u proljetnoj i u jesenskoj sezoni također su najveće u predjelima uz more - u proljeće od

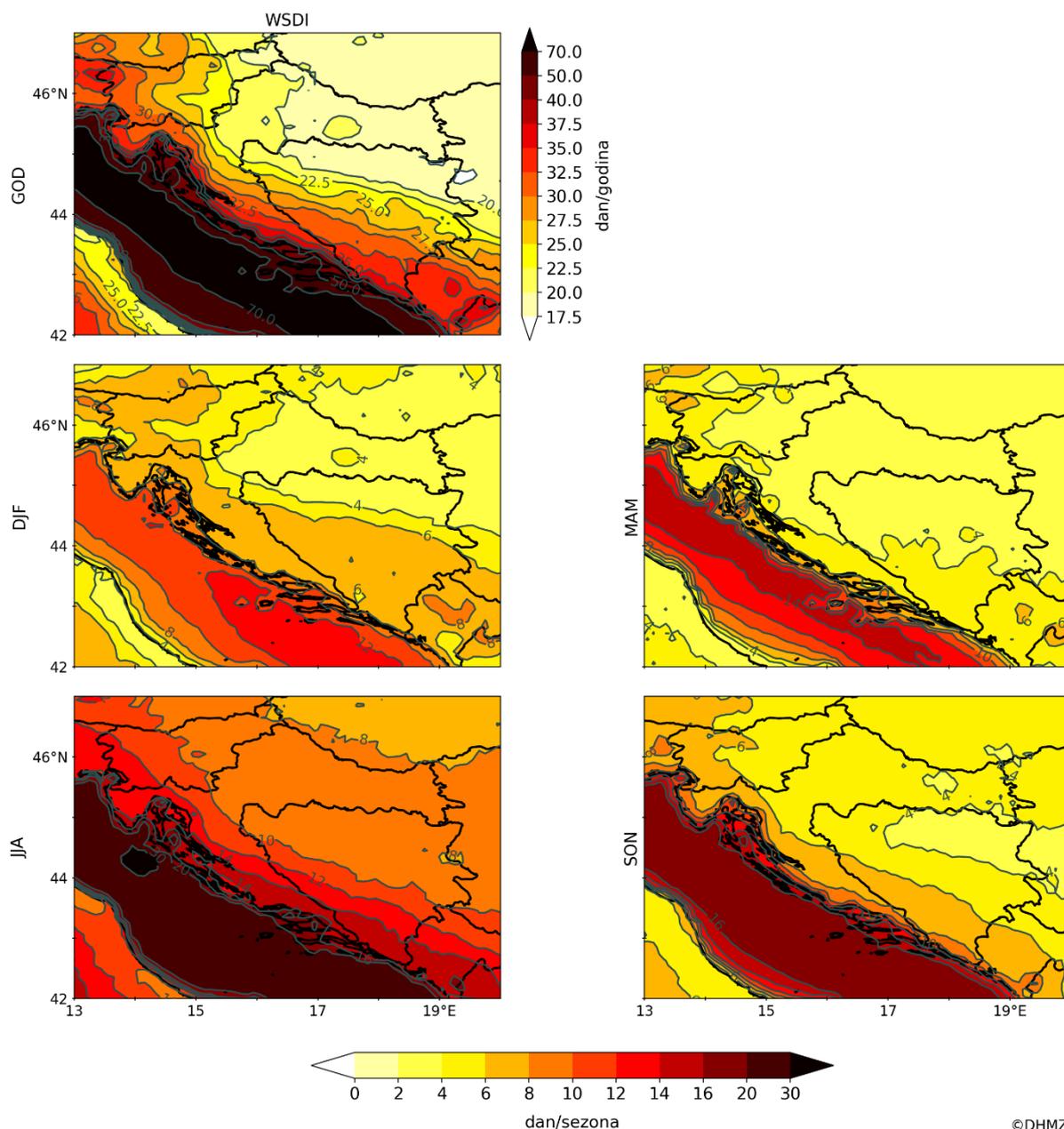
10%, u jesen od 14% na više. Proljetne promjene su na svom ostalom području Republike Hrvatske između 8 i 10%, a jesenske između 8 i 10% u dijelu gorskog područja, između 12 i 14% u većini zapadnih dijelova središnje Hrvatske te između 10 i 12% u ostatku zemlje.

Promjena broja toplih dana (Tx90, Slika 6.1.3.11) pokazuje kontinuirani rast od krajnjeg istoka zemlje (između 9 i 10%), preko središnjih dijelova (između 10 i 11%) i relativno brze prostorne promjene u području gorske Hrvatske (između 11 i 15%) do priobalnog i obalnog područja koje karakteriziraju promjene veće od 15%. Promjene broja toplih dana tijekom proljeća manje su od 8% u unutrašnjosti zemlje, a u priobalnom i obalnom području prostorno brzo gradiraju ka promjeni većoj od 16%. Jesenske promjene broja toplih dana u unutrašnjosti su između 8 i 10%, u gorskim predjelima između 10 i 14%, a u priobalnom i obalnom dijelu zemlje dosežu vrijednosti od 22%. Promjene broja toplih dana i ljeti imaju sličnu prostornu raspodjelu - porast broja toplih dana najmanji je u istočnoj i središnjoj Hrvatskoj (od 14 do 16%), raste kroz područje gorske Hrvatske (od 16 do 20%) i maksimum poprima u obalnom području (od 20 do 24%).



Slika 6.1.3.11. Promjena broja toplih dana (Tx90) u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP4.5. Godišnja promjena (GOD; gore lijevo), promjena u proljeće (MAM; gore desno), ljeti (JJA; dolje lijevo) i u jesen (SON; dolje desno).

Godišnje promjene trajanja toplih razdoblja (WSDI, Slika 6.1.3.12), u skladu s promjenama broja toplih dana, postepeno se povećavaju od istoka zemlje (povećanje od 17.5 do 20.0 dana) preko središnjih i gorskih predjela (20.0 do 32.5 dana) te poprimaju maksimum uz obalu (50.0 dana). Navedeni prostorni porast, od istoka preko središnjih i gorskih područja prema obali, karakterističan je za sve četiri sezone. Najizraženiji je ljeti (od 8 do 10 dana u istočnim i središnjim krajevima do više od 16 dana na obali), a najmanje izražen zimi (2 do 4 dana u istočnim predjelima, 4 do 8 dana na području gorske Hrvatske, 8 do 10 dana na obalnom području sjevernog Jadrana te 10 do 12 dana na obalnom području južnog Jadrana). Promjene trajanja toplih razdoblja u jesen i proljeće ne pokazuju nagle promjene na gorskom području, odnosno podjednake su za gorsko područje i područje središnje i istočne Hrvatske (u proljeće između 2 i 6 dana, u jesen između 4 i 8 dana), no u priobalju brzo gradiraju ka promjeni od 10 i više dana u obje sezone.

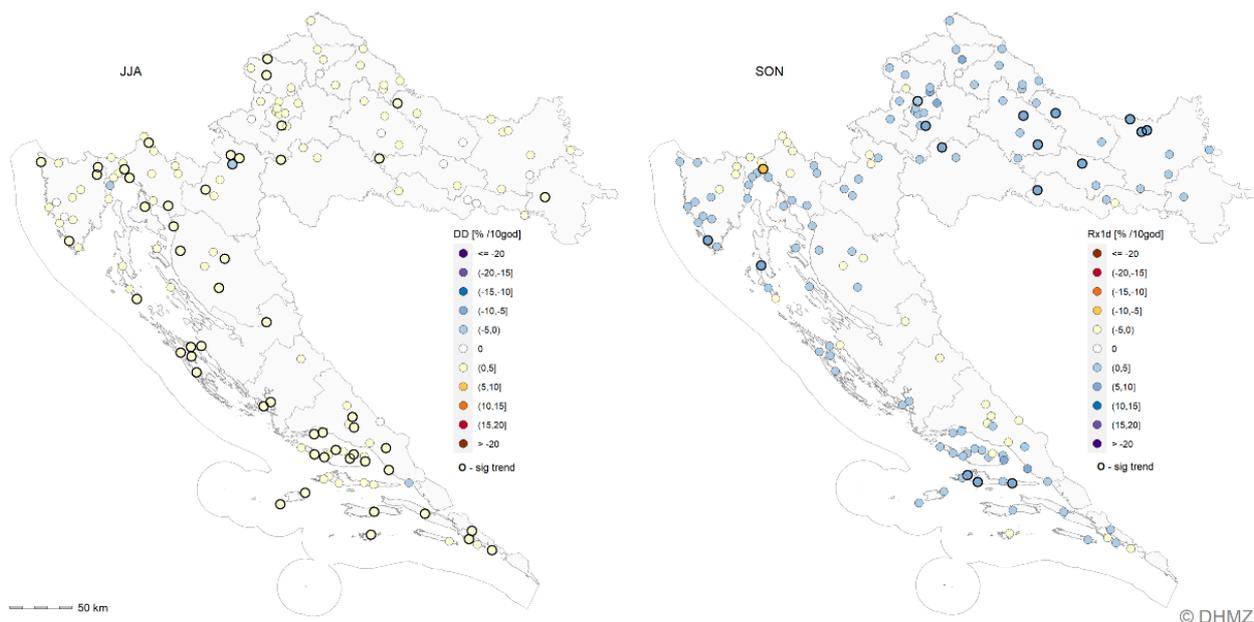


©DHMZ

Slika 6.1.3.12. Promjena trajanja toplih razdoblja (WSDI) u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP4.5. Godišnja promjena (GOD; gore lijevo), promjena zimi (DJF; sredina lijevo), u proljeće (MAM; sredina desno), ljeti (JJA; dolje lijevo) i u jesen (SON; dolje desno).

Opaženi trendovi oborinskih ekstrema

Promjene u sezonskim količinama oborine rezultat su promjena u učestalosti i iznosu pojedinih indeksa oborinskih ekstrema. Ljetnom osušenju na Jadranu značajno doprinosi povećana učestalost suhih dana (do 5% / 10god, Slika 6.1.3.4) te smanjenje učestalosti pojavljivanja umjereno vlažnih dana (na pojedinim postajama i do 20% / 10god u odnosu na referentno razdoblje 1981.–2020.) Ujedno je smanjen i iznos maksimalne dnevne i višednevne količine oborine (do 10 % / 10 god). Jesenski porast količine oborine u proteklih 60 godina posljedica je povećanja broja vrlo vlažnih dana te iznosa maksimalne dnevne količine oborine osobito u unutrašnjosti Hrvatske (Slika 6.1.3.13), kao i smanjenjem duljine trajanja sušnih razdoblja duž Jadrana (do 15 % / 10 god).

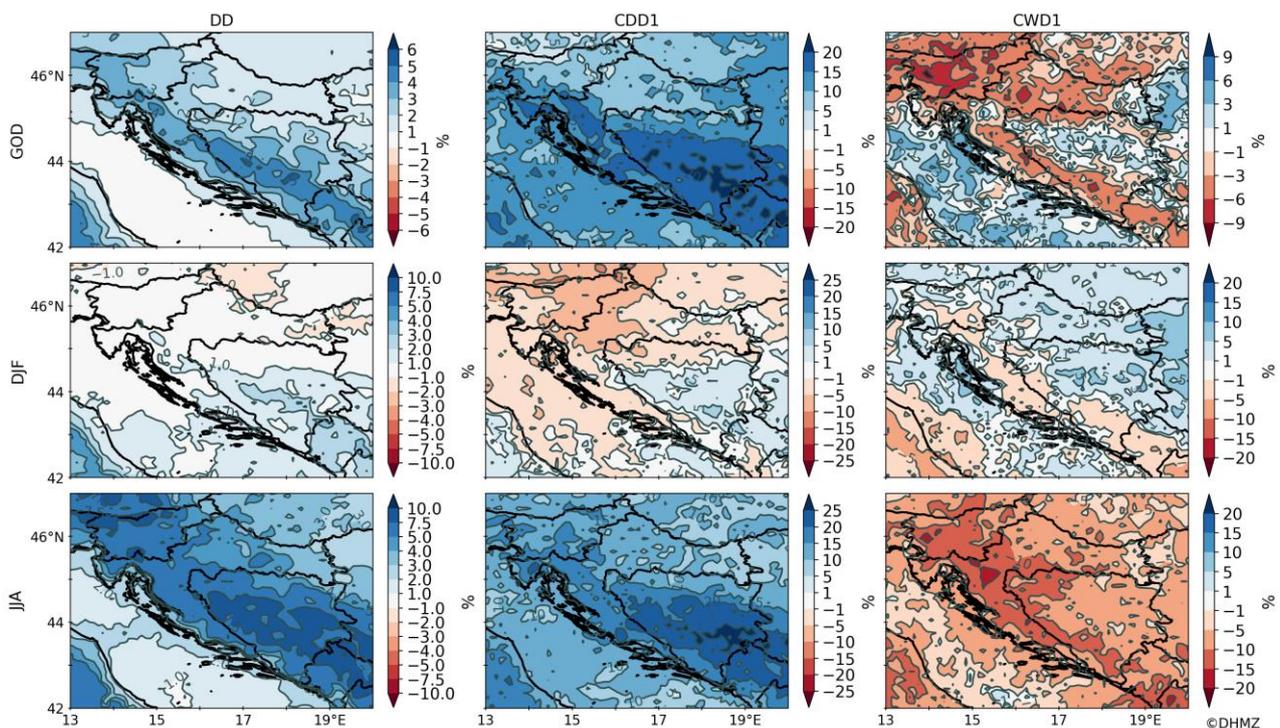


Slika 6.1.3.13. Dekadni trendovi broja suhих dana (DD) tijekom ljeta (JJA) i maksimalne dnevne količine oborine (Rx1d) (%/10 god u jesen (SON) u odnosu na referentno razdoblje 1981.–2010.) u Hrvatskoj prema razdoblju mjerenja 1961.–2020. Statistički značajan trend na pojedinoj meteorološkoj postaji označen je podebljanim krugom.

Buduće promjene suhих i vlažnih indeksa

Promjena oborinskih indeksa u budućnosti (Tablica 6.1.3.1) je analizirana na godišnjoj razini i po svim sezonama, a na slikama je prikazana promjena za godinu i glavne sezone (zimu i ljeto). Broj suhих dana (DD, Slika 6.1.3.14) na godišnjoj razini u razdoblju P1 na području cijele zemlje povećat će se u odnosu na broj suhих dana u razdoblju P0. Projekcije ukazuju da će najveće povećanje biti u gorskim predjelima i unutrašnjosti Dalmacije (do 5%), dok je za ostatak zemlje povećanje u rasponu od 1 do 3%. Porast broja suhих dana očekuje se u svim sezonama na području cijele zemlje, osim zimi. Zimi se očekuje porast broja suhих dana na južnom Jadranu, dok je promjena u ostalim predjelima zemlje uglavnom zanemariva - u uskom području sjevernih predjela uz granicu s Mađarskom i krajnjeg istoka zemlje moguće je smanjenje broja suhих dana od 1 do 2%, drugdje između -1 i 1%. Porast broja suhих dana najveći je ljeti u gorskoj Hrvatskoj i na području Dalmatinskog zaleđa (od 5 do 7.5%).

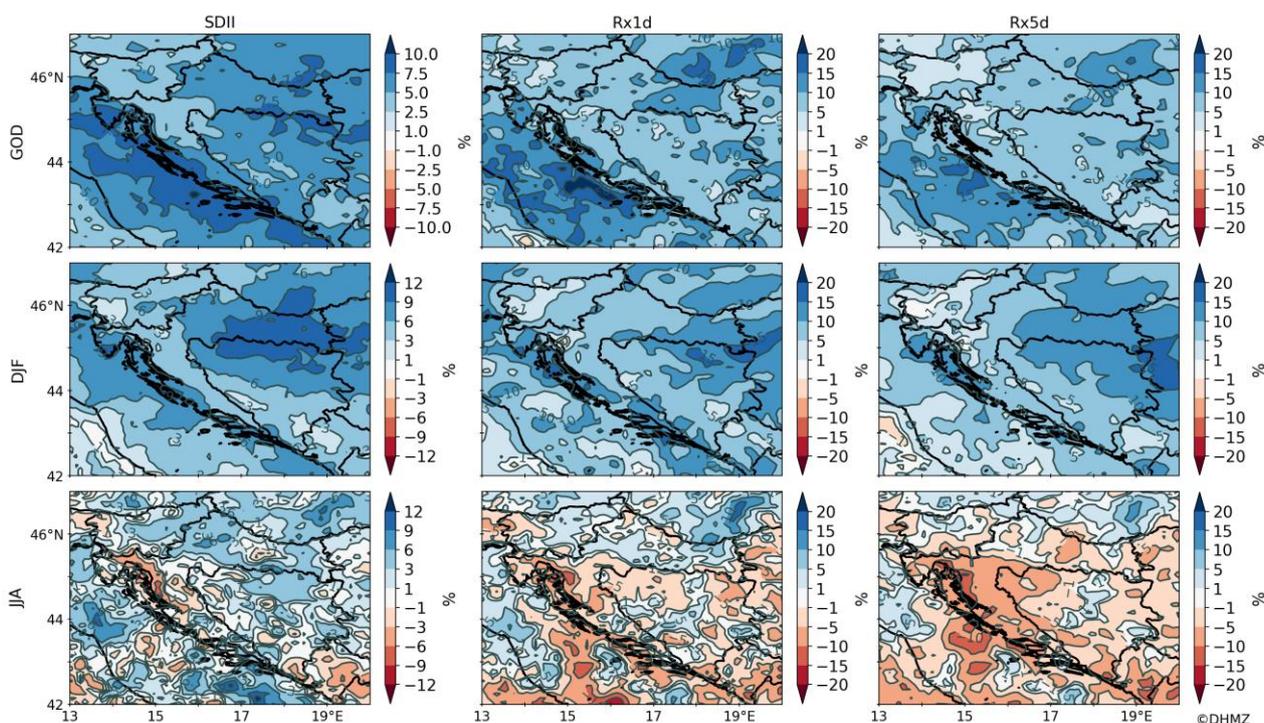
Promjene oba indeksa niza uzastopnih sušnih dana (CDD1, Slika 6.1.3.14 i CDD10, nije prikazano) za najveći dio područja Republike Hrvatske pokazuju da se u budućem razdoblju na godišnjoj razini može očekivati dulji niz uzastopnih sušnih dana, do najviše 20% (gorska Hrvatska). Izuzetak je niz uzastopnih sušnih dana kada je oborina manja od 10 mm (CDD10) gdje projekcije pokazuju moguće skraćivanje niza, do 5%, za istočnu Hrvatsku. Projekcije za oba indeksa u ljetnoj sezoni ukazuju na produljenje niza, dok projekcije za zimsku sezonu uglavnom ukazuju na skraćivanje tih nizova. Iako projekcije predviđaju pretežno dulje nizove oba indeksa u proljetnoj i jesenskoj sezoni, moguće je i skraćivanje nizova, jače izraženo za indeks CDD10 u istočnim i središnjim dijelovima Republike Hrvatske. Sva skraćivanja su na razini do 10%, a produljenja do 15%.



Slika 6.1.3.14. Relativna promjena broja suhih dana (DD; prvi stupac), uzastopnog niza sušnih dana (CDD1; drugi stupac) i uzastopnog niza kišnih dana (CWD1; treći stupac) u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP4.5. Godišnja promjena (GOD; prvi redak), promjena zimi (DJF; drugi redak) i ljeti (JJA; treći redak).

Projekcije oba indeksa niza uzastopnih kišnih dana (CWD1, Slika 6.1.3.14 i CWD10, nije prikazano) uglavnom su, očekivano, u suprotnosti s promjenama indeksa niza uzastopnih sušnih dana (CDD1 i CDD10). Na području većeg dijela zemlje projekcije ukazuju na skraćivanje niza uzastopnih kišnih dana s oborinom većom ili jednakom 1 mm (CWD1) na godišnjoj razini uz izdvojena područja krajnjeg istoka zemlje, te priobalnog područja. Najzastupljenije su promjene u granicama od -6 do 3%. Projekcije broja uzastopnih kišnih dana s oborinom većom ili jednakom 10 mm (CWD10) ukazuju na skraćivanje niza u gorju, unutrašnjosti Istre i Dalmacije te produljenje niza za ostatak zemlje. Analiza promjene indeksa CWD1 ukazuje na skraćivanje niza uzastopnih kišnih dana tijekom ljeta na čitavom području Republike Hrvatske, a u proljeće i jesen u gotovo cijeloj zemlji. Zimi se produljenje niza predviđa za gorsko područje i područje unutrašnjosti Dalmacije (do 5%), dok je u ostalim područjima projicirano produljenje niza uzastopnih kišnih dana, do najviše 10% u odnosu na razdoblje P0. Najveće smanjenje za CWD10 indeks očekuje se u ljetnoj sezoni, na području cijele zemlje. Prostorno podjednako raspodijeljene kao i na godišnjoj razini bit će promjene u proljetnoj i jesenskoj sezoni, dok je za zimsku uglavnom projiciran porast indeksa CWD10.

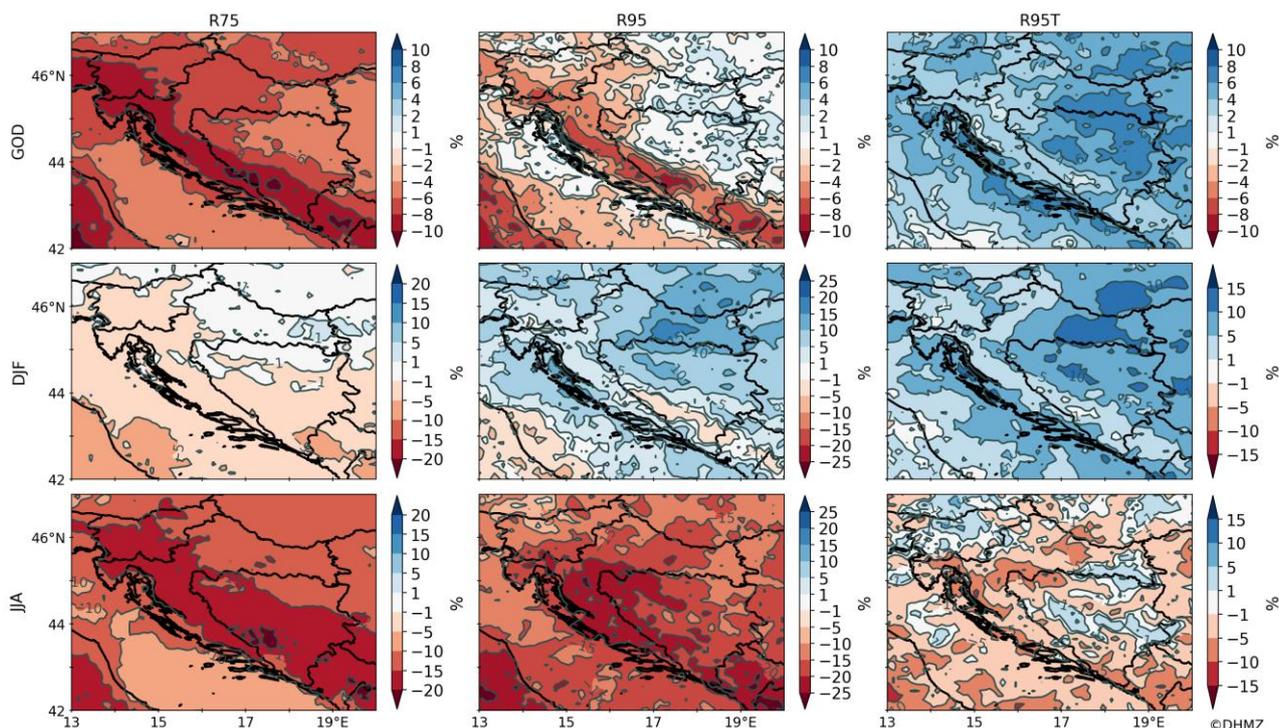
Godišnja promjena indeksa standardnog dnevnog intenziteta oborine (SDII, Slika 6.1.3.15) u razdoblju P1 ukazuje na najveće povećanje u obalnom području, između 7.5 i 10.0%. Projekcije za uska područja istočne Hrvatske uz granicu s Mađarskom, odnosno Bosnom i Hercegovinom ukazuju na moguće promjene istog iznosa. Promjene na području Gorskog kotara i Like su najmanje, ali također pozitivne, između 2.5 i 5.0%. U ostatku zemlje očekuje se također porast standardnog dnevnog intenziteta oborine, u iznosu od 5.0 do 7.5%. Smanjenje standardnog dnevnog intenziteta oborine projicirano je samo u ljetnoj sezoni, a najjače je izraženo u primorsko goranskim predjelima (od 3 do 9%). U ostatku zemlje i u ostalim sezonama promjene standardnog dnevnog intenziteta oborine u razdoblju P1 u odnosu na razdoblje P0, su pozitivne - najjače su izražene zimi u istočnim krajevima te u jesen na obalama Jadrana (između 9 i 12%).



Slika 6.1.3.15. Relativna promjena standardnog dnevnog intenziteta oborine (SDII; prvi stupac), najveće 1-dnevne količine oborine (Rx1d; drugi stupac) i najveće 5-dnevne količine oborine (Rx5d; treći stupac) u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP4.5. Godišnja promjena (GOD; prvi redak), promjena zimi (DJF; drugi redak) i ljeti (JJA; treći redak).

U razdoblju P1 očekuje se povećanje najveće 1-dnevne količine oborine (Rx1d, Slika 6.1.3.15) u odnosu na razdoblje P0 na području cijele Republike Hrvatske. Povećanje u većem dijelu zemlje bit će između 5 i 10%, dok će u istočnom dijelu središnje Hrvatske i zapadnom dijelu istočne Hrvatske, te unutrašnjosti Istre i dijelovima Dalmacije biti između 10 i 15%. Najveći doprinos opisanom godišnjem povećanju imaju jesenske promjene koje su i iznosom i prostornom raspodjelom vrlo slične godišnjoj promjeni. Prostorno nešto drugačiji i iznosom nešto manji, ali i dalje na prostoru cijele države pozitivan doprinos ima i proljetna sezona. Zimska sezona uglavnom ukazuje na povećanje najveće 1-dnevne količine oborine - tek mali dio primorja ukazuje na moguće smanjenje (do 5%). Smanjenje najveće 1-dnevne količine oborine u ljetnoj sezoni očekuje se nad znatno većim područjem nego zimi. Zahvaćeno je cijelo obalno područje, gorski predjeli i najsjeverniji dijelovi unutrašnjosti, a najjače je izraženo na području primorja gdje doseže vrijednost od 10 do 15%. Međutim, središnju i istočnu Hrvatsku karakterizira povećanje najveće 1-dnevne količine oborine, uglavnom do 5%.

Najveća 5-dnevna količina oborine (Rx5d, Slika 6.1.3.15) na godišnjoj razini slična je promjenama najveće 1-dnevne količine oborine i na području cijele Republike Hrvatske pokazuje pozitivnu promjenu - na većini područja u iznosu od 1 do 5%, manje na području gorske Hrvatske, a više na nekim obalnim područjima. Također slično sezonskim promjenama najveće 1-dnevne količine oborine, promjena najveće 5-dnevne količine oborine u zimskoj, proljetnoj i jesenskoj sezoni uglavnom je pozitivna, a u ljetnoj uglavnom negativna. Porast 5-dnevne oborine u proljeće i jesen je, u usporedbi s promjenama 1-dnevne oborine, manje izražen. Zimske promjene najveće 5-dnevne oborine pozitivne su na čitavom području Republike Hrvatske. Projekcije pokazuju da će prostorno najzastupljenije biti promjene od 5 do 10% na području Dalmacije, Like i zapadnog dijela središnje Hrvatske te 10 do 15% nad istočnim dijelom zemlje, a samo na dijelu primorja i obližnjeg gorja manje



Slika 6.1.3.16. Relativna promjena broja umjereno vlažnih dana (R75; prvi stupac), vrlo vlažnih dana (R95; drugi stupac) i udjela oborine u vrlo vlažne dane (R95T; treći stupac) u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP4.5. Godišnja promjena (GOD; prvi redak), promjena zimi (DJF; drugi redak) i ljeti (JJA; treći redak).

od 5%. Ljetno smanjenje najveće 5-dnevne oborine obuhvaća veći dio Hrvatske i na području primorja iznosi 10 do 15%.

Broj umjereno vlažnih dana (R75, Slika 6.1.3.16) u razdoblju P1 bit će manji nego u razdoblju P0 na području cijele zemlje. Najveće promjene, smanjenje u iznosu od 8 do 10%, projicirano je za područje unutrašnjosti Istre, primorja i gorske Hrvatske, te unutrašnjosti Dalmacije. Za priobalno područje i središnju Hrvatsku smanjenje iznosi 6 do 8%, a u istočnoj Hrvatskoj smanjenje je 4 do 6%. Gledajući po sezonama, najmanje promjene se očekuju zimi kada broj umjereno vlažnih dana u središnjim i istočnim područjima Hrvatske može porasti (do najviše 5% na krajnjem istoku), a smanjiti se u ostatku zemlje (od 1 do 5%). U svim ostalim sezonama na području cijele Republike Hrvatske broj umjereno vlažnih dana u P1 periodu se smanjuje. Projekcije ukazuju na moguće smanjenje od 1 do 5% za istočnu i dio središnje Hrvatske te obalno područje srednje Dalmacije u proljeće. Smanjenje od 5 do 10% projicirano je za veći dio obale i gorsko područje u proljeće te područje čitave zemlje u jesen. Smanjenje veće od 10% projicirano je samo za ljetnu sezonu - za priobalno područje, središnju i istočnu Hrvatsku između 10 i 15%, a za gorsko područje, unutrašnjost Istre i Dalmacije između 15 i 20%.

Promjena godišnjeg broja vrlo vlažnih dana (R95, Slika 6.1.3.16) prostorno je slično raspoređena kao i promjena broja umjereno vlažnih dana. Najveća je razlika u tome što promjena vrlo vlažnih dana na istoku zemlje mijenja predznak iz negativnog u pozitivan i iznosi do 2%. Najveće promjene (smanjenje u iznosu od 6 do 8%) očekuju se za područje Primorja i unutrašnjosti Dalmacije. Nešto manje smanjenje (4 do 6%) očekivano je u gorskoj Hrvatskoj. Za središnju Hrvatsku smanjenje iznosi 1 do 4%. Projekcije za ljetnu sezonu na cijelom području Republike Hrvatske ukazuju na smanjenje broja vrlo vlažnih dana, najmanje na krajnjem istoku i sjeveru zemlje (10 do 15%), a najviše u gorskoj Hrvatskoj i unutrašnjosti Dalmacije, uglavnom između 20 i 25%. Projekcije za proljetnu sezonu daju

istu prostornu raspodjelu promjene kao i godišnja promjena. Pozitivna promjena (do 10%) u proljeće projicirana je za područje istočne Hrvatske i zapadni dio Istre, dok je u ostatku zemlje promjena negativna - najveća u gorskim predjelima i u unutrašnjosti Dalmacije (do 10%). Jesenske promjene također ukazuju i na moguće smanjenje i na moguće povećanje, a promjene su u rasponu od -5% do 5%. Zimi očekujemo povećanje broja vrlo vlažnih dana i ono je najveće za područje zapadne Slavonije u iznosu od 15 do 20%.

Za razliku od godišnje promjene broja umjereno vlažnih i vrlo vlažnih dana koje uglavnom ukazuju na smanjenje u razdoblju P1 u odnosu na razdoblje P0, projekcije udjela oborine u vrlo vlažne dane (R95T, Slika 6.1.3.16) na području cijele Republike Hrvatske ukazuju na godišnji porast količine oborine u vrlo vlažne dane, odnosno sve intenzivnije ekstreme u oborinskom režimu. Najveće povećanje (od 6 do 8%) očekuje se za područje Slavonije i dijelove priobalja. Između 4 i 6% porasta udjela oborine u vrlo vlažne dane zahvaća širi prostor istočne i dijelove središnje Hrvatske te ostatak priobalja. Promjene manje od 2% projicirane su za ostatak zemlje (gorska Hrvatska, Dalmatinsko zaleđe). Zimska i jesenska sezona također ukazuju na porast udjela oborine u vrlo vlažne dane na području cijele zemlje (najveće zimi na području Slavonije, između 10 i 15%). Iako i u proljetnoj sezoni projekcije za veći dio zemlje ukazuju na povećanje udjela oborine u vrlo vlažne dane (najviše do 10% u istočnim područjima, Istri i mjestimice uz obalu), za dio gorskog područja, središnje Hrvatske i zaleđa Dalmacije očekuje se moguće smanjenje udjela, do najviše 5%. Ljetna sezona uglavnom pokazuje smanjenje udjela oborine u vrlo vlažne dane, najviše između 5 i 10%, dok je za uže područje Slavonije i u ljetnoj sezoni projiciran porast od 1 do 5%.

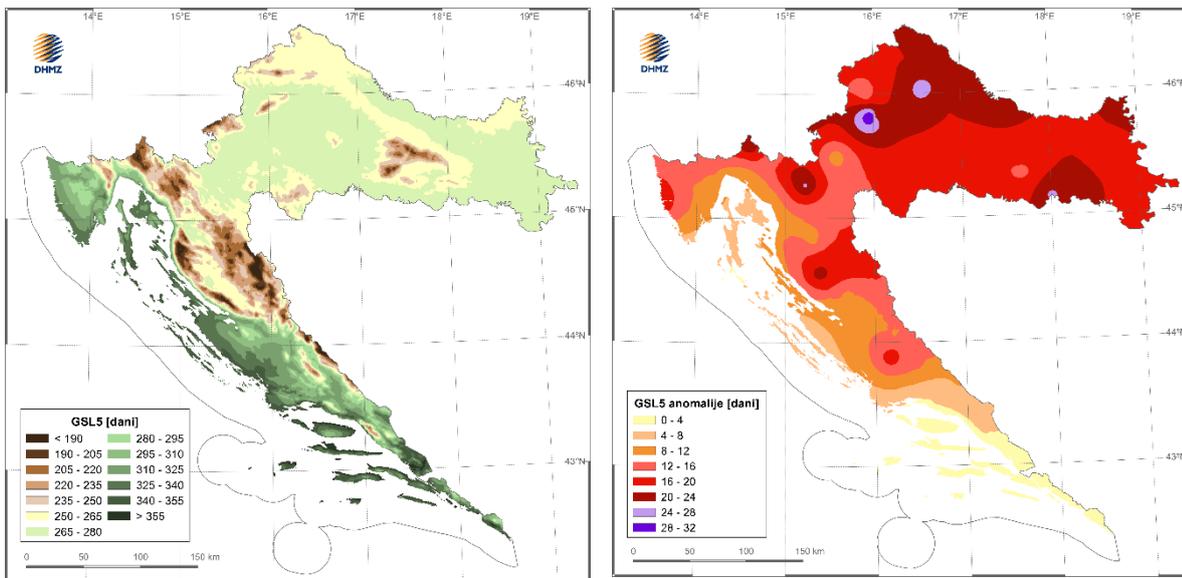
6.3 Utjecaj klimatskih promjena na prirodu, društvo i gospodarstvo

6.3.1 Utjecaj klimatskih promjena na poljoprivredu i opasnost od požara raslinja

Negativan utjecaj klimatskih promjena zabilježen je u gotovo svim sektorima ljudske djelatnosti, a posebno se ističe u jednom vrlo ranjivom sektoru - poljoprivredi. Sama proizvodnja hrane je izuzetno kompleksan proces koji ovisi o brojnim čimbenicima, te kao takav predstavlja veliki izazov koji je u posljednje vrijeme dodatno otežan klimatskim promjenama. Brojna istraživanja provedena u zemljama diljem svijeta ukazuju na redukciju uroda pšenice, kukuruza i drugih usjeva zbog sve učestalijih i duljih toplinskih valova i sušnih perioda (npr. Wang i sur. 2018, Kumar i sur. 2021), a takvi ekstremni uvjeti dodatno stvaraju povoljan teren za nastanak i širenje požara raslinja.

Trajanje vegetacijskog razdoblja

Trajanje vegetacijskog razdoblja izrazito je važan agroklimatski element. Zapravo se radi o ograničavajućem čimbeniku koji regulira uspješnost uzgoja pojedinih biljnih vrsta u određenom području. Određena biljna vrsta ne može završiti svoj vegetacijski ciklus ukoliko je vegetacijsko razdoblje prekratko. Kriterij za procjenu trajanja vegetacijskog razdoblja (eng. *Growing Season Length*, GSL) baziran je na temperaturi zraka, a kao temperaturni prag za potrebe izvješća odabrana je dnevna vrijednost temperature zraka od 5 °C. Prema kriteriju, za početak vegetacijskog razdoblja uzima se prvi dan nakon 6 uzastopnih dana s srednjom dnevnom temperaturom zraka iznad 5°C, a za kraj vegetacijskog razdoblja uzima se zadnji dan nakon kojeg slijedi razdoblje od 6 uzastopnih dana s srednjom dnevnom temperaturom zraka manjom od 5 °C (Mueller i sur. 2015). Iz prostorne razdiobe prosječnog trajanja GSL5 u razdoblju 1991.–2020. vidljivo je da GSL5 u gorju traje najkraće, dok najduže traje u obalnom dijelu Dalmacije. U nizinskom dijelu kontinenta GSL5 u prosjeku traje od 265 do 280 dana (Slika 6.3.1.1, lijevo).

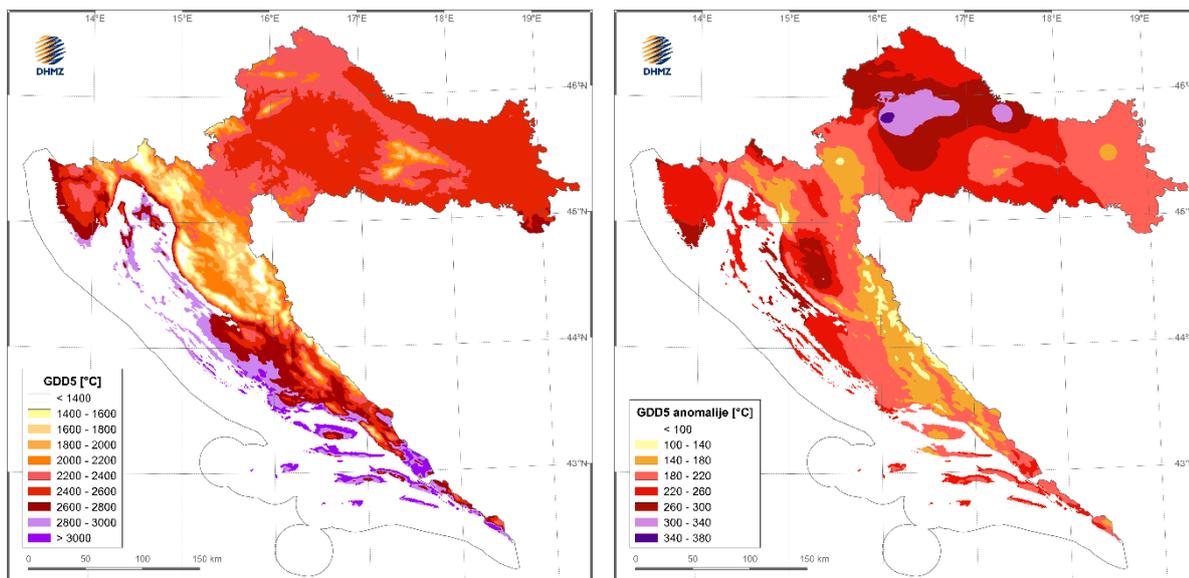


Slika 6.3.1.1. Prostorna razdioba prosječnog trajanja GSL5 u novijem klimatološkom razdoblju 1991.–2020. (lijevo); GSL5 anomalije izračunate kao razlika prosječnog trajanja GSL5 u novijem (1991.–2020.) i starijem (1961.–1990.) klimatološkom razdoblju (desno).

Karta anomalija GSL5 (Slika 6.3.1.1, desno), koja je dobivena razlikom prosječnog trajanja GSL5 u novijem (1991.–2020.) i starijem (1961.–1990.) klimatološkom razdoblju, ukazuje na znatno produljenje vegetacijskog razdoblja u kontinentalnom dijelu zemlju tijekom novijeg klimatološkog razdoblja 1991.–2020. Produljenje vegetacijskog razdoblja izravna je posljedica rasta temperature zraka (vidi poglavlje 6.1.3) i može potencijalno dovesti do većih uroda. Ipak, taj potencijal ograničen je količinom raspoložive vode.

Temperaturne sume

Temperaturne sume ili stupanj dani (eng. *Growing Degree Days*, GDD) također su vrlo važan ograničavajući čimbenik uspješnosti neke biljne vrste u određenom području. Biljci je za prijelaz iz jedne razvojne (fenološke) faze u drugu, kao i za završetak vegetacijskog ciklusa potrebna određena količina akumulirane topline koja se očituje kroz temperaturne sume. Računaju se oduzimanjem temperaturnog praga od srednje dnevne temperature zraka, a pozitivne dnevne vrijednosti nakon toga se sumiraju preko željenog vremenskog perioda (npr. Vučetić i Anić, 2021). Za potrebe izrade ovog izvješća korišten je temperaturni prag od 5 °C, a sumiranje je rađeno u toplom dijelu godine (1. travnja – 30. rujna). Najveće vrijednosti GDD5 5 °C u prosjeku se postižu u obalnom Dalmaciji, a najniže u gorju (Slika 6.3.1.2, lijevo). Karta anomalija GDD5 ukazuje na znatan porast GDD5 tijekom novijeg klimatološkog razdoblja 1991.–2020. (Slika 6.3.1.2, desno). Taj porast predstavlja znatno veću količinu akumulirane topline tijekom novijeg klimatološkog razdoblja i posljedica je rasta temperature zraka, a najizraženiji je u središnjem dijelu kontinenta. Kao zaključak nudi se činjenica da klima na području Republike Hrvatske postaje sve toplija, te ukoliko se takav trend nastavi može postati nepogodna za uzgoj nekih vrsta koje se tradicionalno uzgajaju na tlu Republike Hrvatske. S druge strane, javlja se potencijal za uzgoj vrsta koje se tradicionalno uzgajaju u južnijim krajevima.

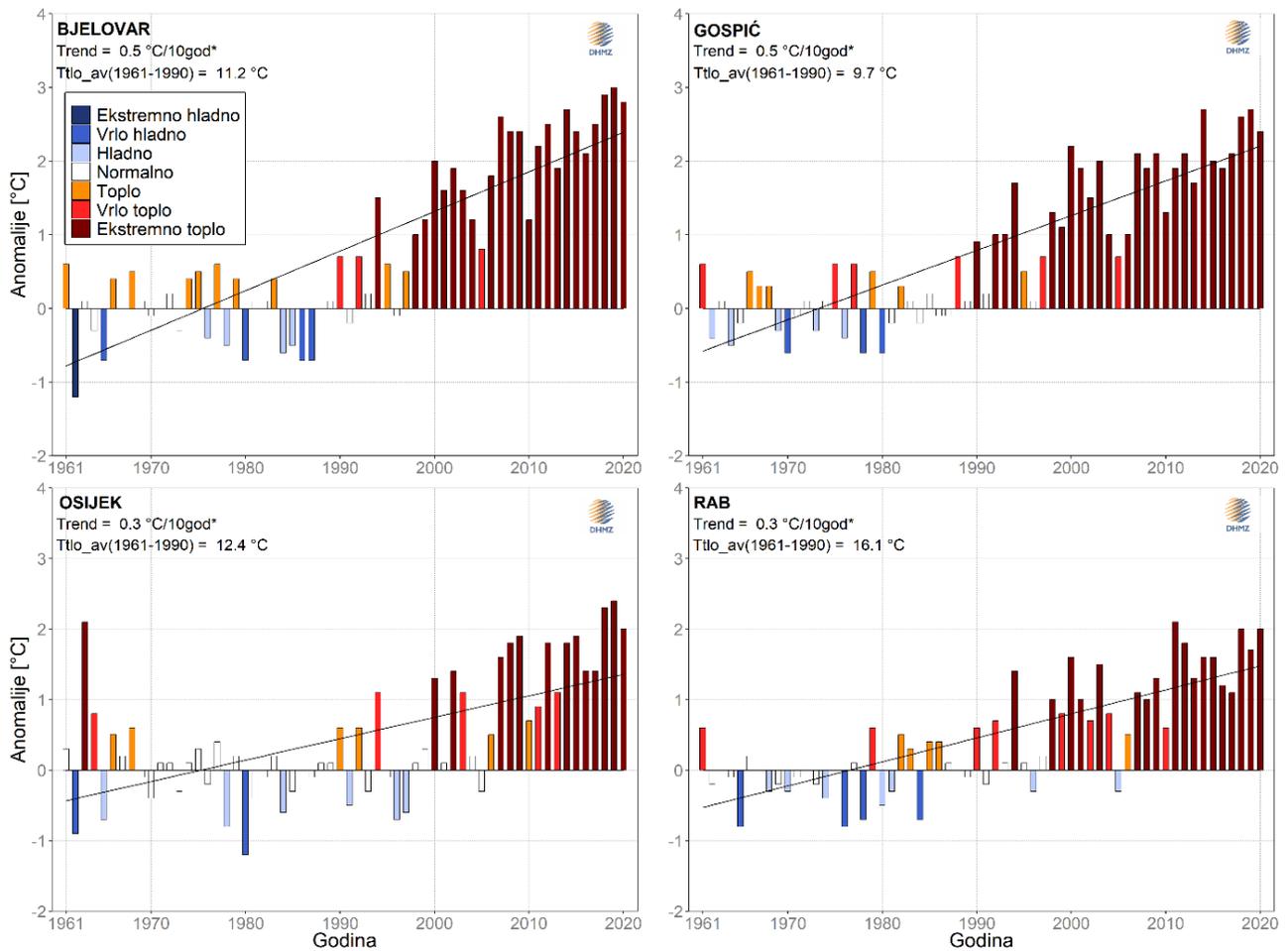


Slika 6.3.1.2. Prostorna razdioba prosječnog GDD5 u novijem klimatološkom razdoblju 1991.–2020. (lijevo); GDD5 anomalije izračunate kao razlika prosječnog GDD5 u novijem (1991.–2020.) i starijem (1961.–1990.) klimatološkom razdoblju (desno).

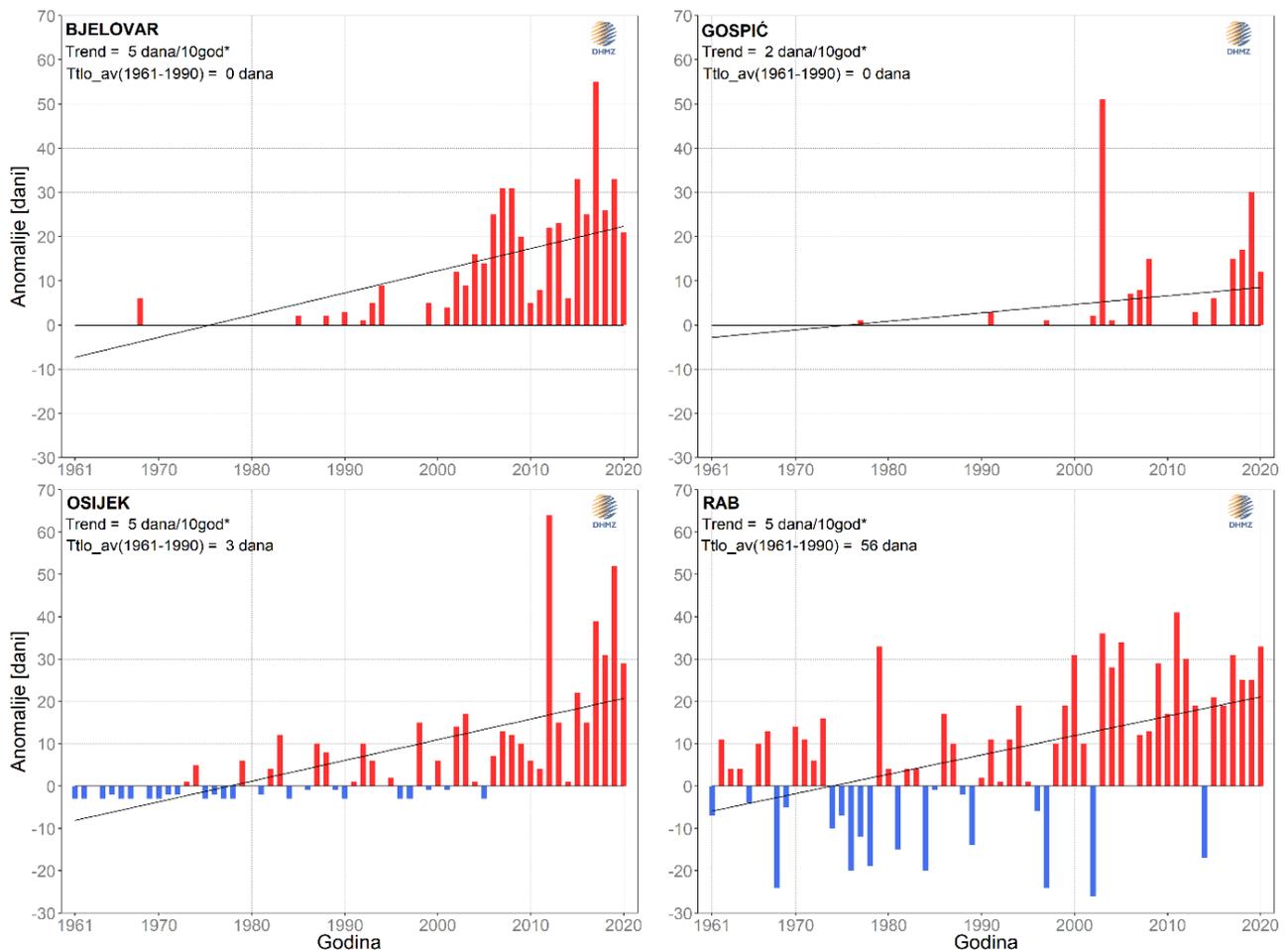
Temperatura tla

Temperatura tla je vrlo važan agroklimatski čimbenik koji utječe na klijanje i nicanje usjeva, rast korijena te preuzimanje vode i nutrijenata iz tla. Zajedno s vlažnošću pokreće i određuje pupanje drveća kao i nastanak lišća (Lalić i sur. 2018). Za potrebe izrade izvješća analizirani su trendovi srednje dnevne temperature tla na 10 cm dubine. Kartografski prikaz ovdje nije bio moguć zbog premalog broja postaja s dugim vremenskim nizom mjerenja temperature tla, tako da su u obzir uzete četiri postaje koje pripadaju različitim regijama Republike Hrvatske. Analiza trendova ukazala je na izrazit porast srednje dnevne temperature tla na 10 cm nakon 1991. godine na svim analiziranim postajama (Slika 6.3.1.3). U središnjoj Hrvatskoj (postaja Bjelovar) i gorju (postaja Gospić) taj porast iznosi $0.5\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ god}$, dok je u istočnoj Hrvatskoj (postaja Osijek) i u sjevernom dijelu Jadrana nešto manji i iznosi $0.3\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ god}$.

Osim trenda srednje godišnje temperature tla na 10 cm dubine analiziran je i trend godišnjeg broja dana s maksimalnom temperaturom tla iznad $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ na istoj dubini, a analiza je ukazala na izrazit rast broja takvih dana u posljednje dvije dekade (Slika 6.3.1.4). U središnjem i istočnom dijelu Hrvatske (postaje Bjelovar i Osijek) te u sjevernom dijelu Jadrana (postaja Rab) taj porast iznosi 5 dana / 10 god, dok je u gorju (postaja Gospić) nešto niži i iznosi 2 dana / 10 godina. Iz provedene analize može se zaključiti da se tlo u Republici Hrvatskoj sve više zagrijava, a dulja trajanja visoke zagrijanosti tla mogla bi ugroziti poljoprivrednu proizvodnju. Također, uslijed visokih temperatura tla pojačano je i isparavanje kojim se gubi voda iz tla.



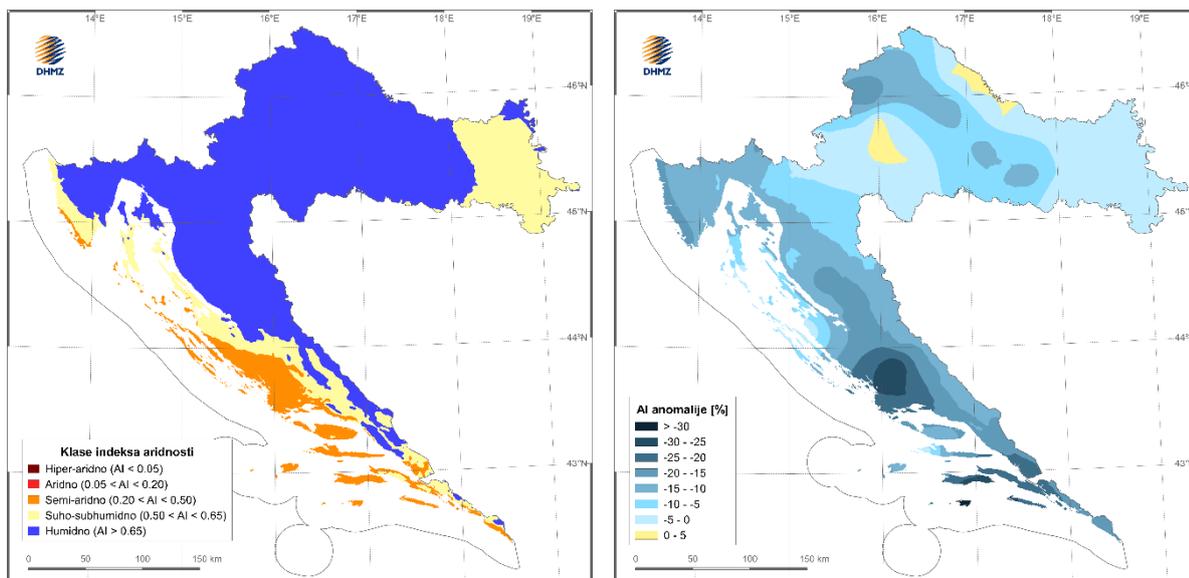
Slika 6.3.1.3. Vremenski nizovi odstupanja srednjih godišnjih temperatura tla na dubini od 10 cm od višegodišnjeg srednjaka (1961.–1990.) te pravci linearne regresije za razdoblje 1961.–2020. za četiri meteorološke postaje DHMZ-a (Bjelovar, Gospić, Osijek i Rab). Zvijezdicom su označeni statistički značajni trendovi.



Slika 6.3.1.4. Vremenski nizovi odstupanja godišnjeg broja dana s maksimalnom dnevnom temperaturom tla na dubini od 10 cm višom ili jednakom 30 °C od višegodišnjeg srednjaka (1961.–1990.) te pravci linearne regresije za razdoblje 1961.–2020. za četiri meteorološke postaje DHMZ-a (Bjelovar, Gospić, Osijek i Rab). Zvezdicom su označeni statistički značajni trendovi.

Voda u tlu

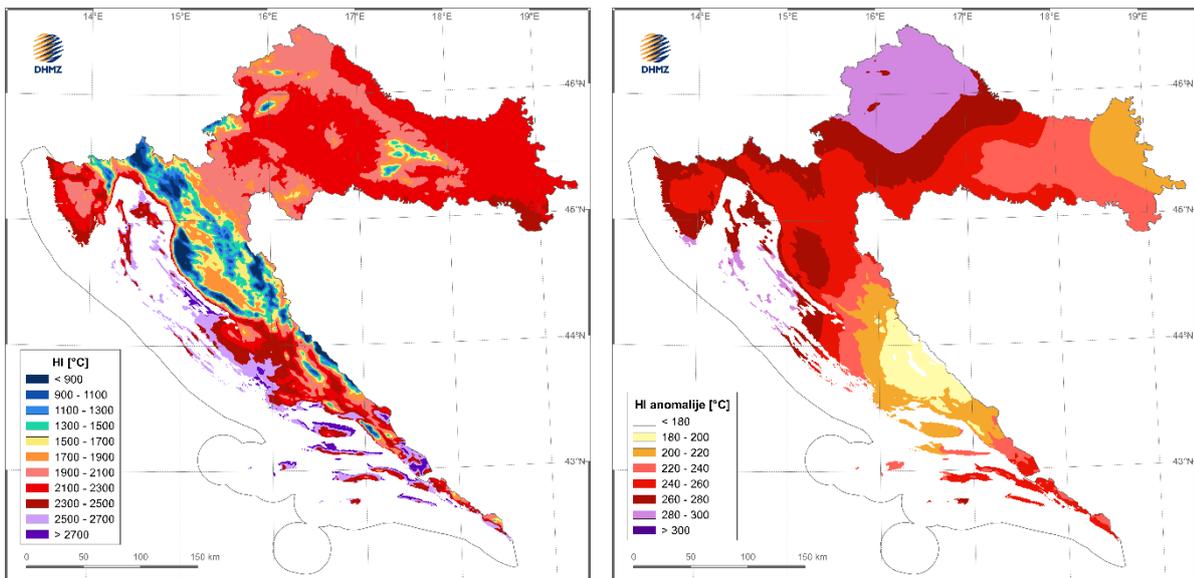
Voda je glavni limitirajući abiotički čimbenik rasta i produktivnosti biljaka (McElrone i sur. 2013). Kao jedan od indikatora sušnosti/aridnosti klime koristi se indeks aridnosti (AI, eng. *Aridity Index*, UNEP, 1992). AI se računa kao omjer oborine i potencijalne evapotranspiracije (PET, maksimalno moguće isparavanje koje bi se dogodilo u slučaju da je na raspolaganju neograničena količina vode), gdje oborina predstavlja količinu raspoložive vode dok PET u principu govori kolika je potreba za vodom. Iz prostorne razdiobe prosječnog AI tijekom toplog dijela godine (1. travnja – 30. rujna) u razdoblju 1991.–2020. vidimo da najveći dio Hrvatske spada u zonu humidno (Slika 6.3.1.5, lijevo). Dio Slavonije, sjevernog dijela Jadrana i kontinentalnog zaleđa Dalmacije pripada suhoj-subhumidnoj zoni, a obalni dio Dalmacije uglavnom semi-aridnoj zoni. Karta anomalija AI (Slika 6.3.1.5, desno) ukazuje na smanjenje indeksa aridnosti u toplom dijelu godine tijekom novijeg klimatološkog razdoblja 1991.–2020. što znači da klima na području Republike Hrvatske u toplom dijelu godine kada je vegetacija razvijena postaje sve sušnija.



Slika 6.3.1.5. Prostorna razdioba srednjeg AI tijekom toplog dijela godine u novijem klimatološkom razdoblju 1991.–2020. (lijevo); AI anomalije izračunate kao omjer prosječnog AI tijekom toplog dijela godine u novijem (1991.–2020.) i starijem (1961.–1990.) klimatološkom razdoblju (desno).

Vinogradarstvo

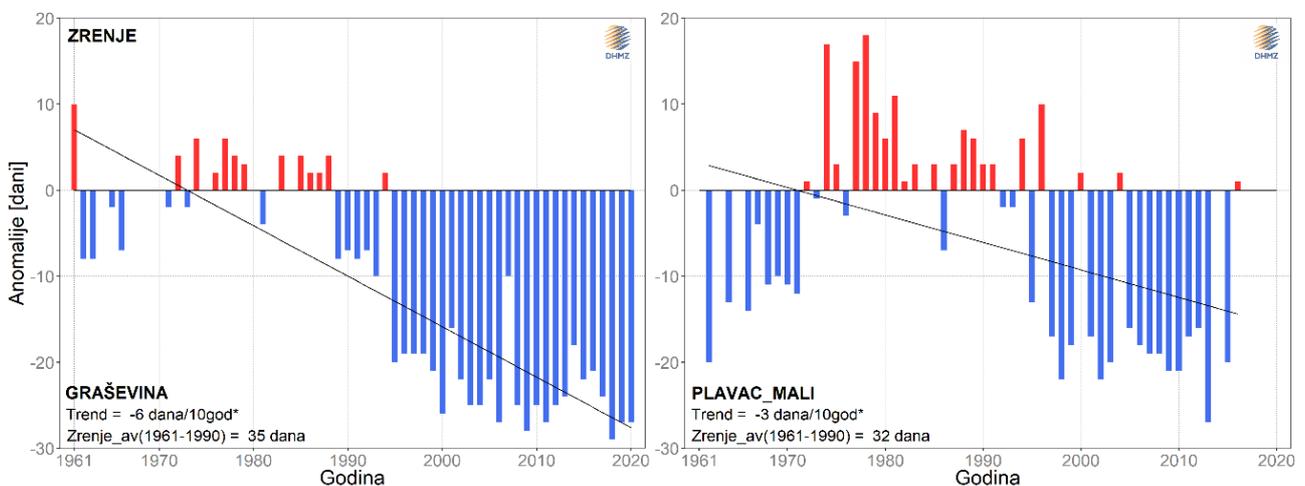
Uzgoj vinove loze predstavlja ključnu gospodarsku aktivnost u mnogim regijama diljem svijeta. U Republici Hrvatskoj vinogradarstvo ima bogatu i dugu tradiciju, a vinova loza predstavlja značajnu kulturu za poljoprivredu i gospodarstvo. Obzirom da klimatski uvjeti u nekom području uvelike određuju uspješnost uzgoja određene sorte, klimatske promjene mogle bi imati značajan utjecaj na urod i kvalitetu grožđa u budućnosti (Fraga i sur. 2012). Brojna istraživanja ukazala su na velik utjecaj porasta temperature zraka na razvojne (fenološke) faze vinove loze kao i na sam urod, te kvalitetu grožđa (Webb i sur. 2012, Fraga i sur. 2016, van Leeuwen i Darriet 2016). Huglinov heliotermalni indeks (HI) jedan je u nizu indeksa koji se koriste prilikom zoniranja vinorodnih područja. Prema Huglinu (1978) uzgoj vinove loze nije moguć u područjima gdje HI ne prelazi 1500 °C, a u područjima gdje HI premašuje 2400 °C heliotermalni uvjeti ispunjeni su za uzgoj gotovo svih sorti vinove loze. Iz prostorne razdiobe HI u razdoblju 1991.–2020. vidljivo je da su heliotermalni uvjeti u većem dijelu Republike Hrvatske povoljni za uzgoj vinove loze (Slika 6.3.1.6, lijevo). Karta anomalija HI ukazuje na znatan porast HI tijekom novijeg klimatološkog razdoblja 1991.–2020. (Slika 6.3.1.6, desno) što znači da heliotermalni uvjeti u nekim područjima polako postaju povoljni za uzgoj vinove loze, a u nekim područjima gdje se vinova loza već tradicionalno uzgaja javlja se potencijal za uzgoj sorti vinove loze koje prije tamo nisu uspjevale jer nije bilo dovoljno topline. Naravno, prilikom ocjenjivanja uspješnosti vinove loze u nekom području osim heliotermalnih valja uvažiti i druge uvjete. Očekuje se da će klimatske promjene unjeti nove izazove u vinogradarstvu, a kako bi se osigurao uspješan uzgoj vinove loze u regijama u kojima pogodnost za uzgoj vinove loze uslijed klimatskih promjena opada (Hall i Jones 2009), uzgoj vinove loze bit će nužno prilagoditi klimatskim promjenama kako bi se ublažio njihov utjecaj (Metzger i sur. 2008).



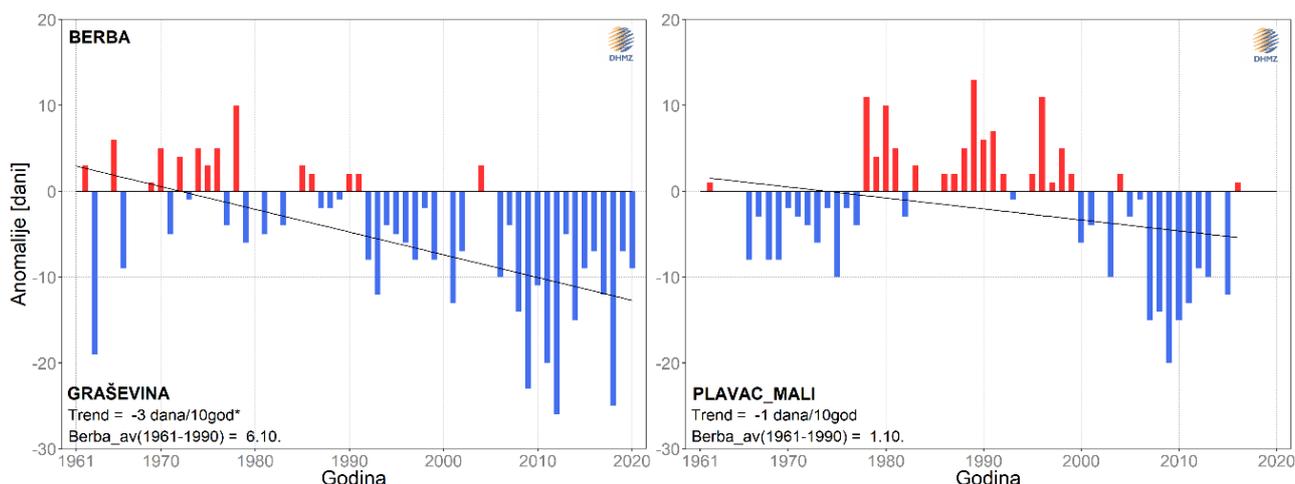
Slika 6.3.1.6. Prostorna razdioba srednjeg HI u novijem klimatološkom razdoblju 1991.–2020. (lijevo); HI anomalije izračunate kao razlika prosječnog HI u novijem (1991.–2020.) i starijem (1961.–1990.) klimatološkom razdoblju (desno).

U svrhu praćenja promjene početka nastupa pojedine razvojne faze korišteni su fenološki podaci poznatih sorti vinove loze, graševine (Daruvar) i plavca malog (Hvar), u razdoblju 1961.–2020. za graševinu i 1962.–2016. za plavac mali. Za potrebe izvješća analizirana je duljina trajanja zrenja grožđa, izračunata kao razlika između dvije razvojne faze – punog zrenja i početka zrenja, te datum berbe. Analiza je pokazala da se duljina trajanja zrenja obje promatrane sorte znatno smanjila u novijem klimatološkom razdoblju 1991.–2020. (Slika 6.3.1.7). Trend u slučaju graševine iznosi -6 dana / 10 god, dok je trend smanjenja trajanja zrenja plavca malog nešto manji i iznosi -3 dana / 10 god. Oba trenda su statistički značajna.

Nadalje, analiza je pokazala da berba u slučaju obje analizirane sorte nastupa sve ranije (Slika 6.3.1.8). Statistički značajan trend pomaka datuma berbe graševine iznosi -3 dana / 10 god, dok trend pomaka plavca malog, koji iznosi -1 dan / 10 god nije statistički značajan.



Slika 6.3.1.7. Vremenski nizovi odstupanja trajanja zrenja od višegodišnjeg srednjaka 1961.–1990. te pravci linearne regresije za dvije sorte, graševina (lijevo) i plavac mali (desno)

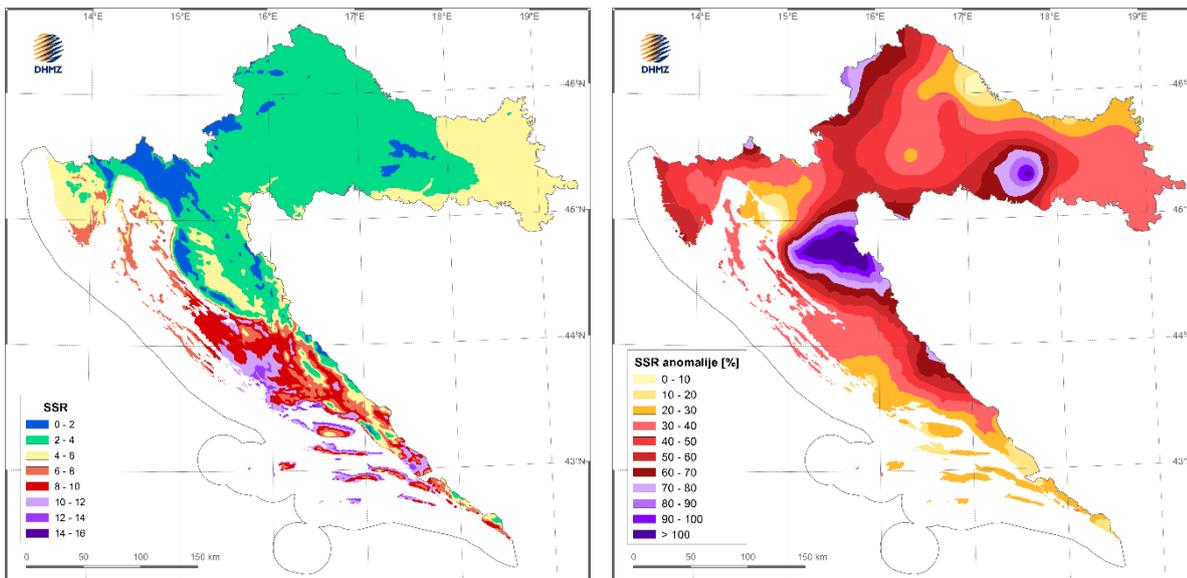


Slika 6.3.1.8. Vremenski nizovi odstupanja datuma berbe od višegodišnjeg srednjaka 1961.–1990. te pravci linearne regresije za dvije sorte, graševina (lijevo) i plavac mali (desno)

Sve raniji nastup razvojnih faza vinove loze izravna je posljedica povećanja temperature zraka, a izraženije promjene u ranijem nastupu razvojnih faza vinove loze događaju se u unutrašnjosti zemlje.

Opasnost od požara raslinja

Požar raslinja je jedan od glavnih poremećaja u šumskim ekosustavima diljem planete. Šumski požari u obalnom dijelu Hrvatske tijekom ljetnih mjeseci često poprimaju katastrofalne razmjere te uništavaju šume i poljoprivredna zemljišta, a nerijetko ugrožavaju naseljena mjesta i ljudske živote. Za procjenu meteorološke opasnosti od požara raslinja globalno se koristi kanadski model *Canadian Forest Fire Weather Index* (FWI, van Wagner 1974, 1987). Sezonska žestina (SSR) posljednja je komponenta kanadskog modela, a koristi se kao pokazatelj potencijalne sezonske meteorološke opasnosti od požara raslinja. Iz prostorne razdiobe srednje sezonske žestine tijekom požarne sezone (1. lipnja – 30. rujna) u razdoblju 1991-2020 vidi se da je u Republici Hrvatskoj najugroženije područje od požara raslinja Dalmacija (Slika 6.3.1.9, lijevo), a razlog tome su dugotrajna sušna razdoblja tijekom ljetnih mjeseci praćena visokim temperaturama zraka te lako zapaljiv mediteranski biljni pokrov. Uvjeti za nastanak i širenje požara raslinja uslijed klimatskih promjena postaju sve povoljniji. Karta anomalije SSR-a (Slika 6.3.1.9, desno) ukazuje nam na znatan porast SSR-a u novijem klimatološkom razdoblju 1991-2020 u odnosu na starije klimatološko razdoblje 1961-1990. Porast je intenzivniji u sjevernom dijelu Jadrana i u kontinentalnom dijelu zemlje, a u kontinentalnom dijelu zemlje mjestimice je u prosjeku došlo do dvostrukog povećanja SSR-a tijekom novijeg klimatološkog razdoblja u odnosu na starije. Iz navedenog možemo zaključiti da uvjeti za nastanak i širenje požara raslinja postaju sve povoljniji u područjima koja nekada nisu bila toliko ugrožena od požara raslinja, a ovakav trend rasta SSR-a posljedica je porasta temperature zraka te produljenja sušnih razdoblja tijekom ljetnih mjeseci (vidi poglavlje 6.1.3.).



Slika 6.3.1.9. Prostorna razdioba srednjih sezonskih žestina (SSR) tijekom požarne sezone u novijem klimatološkom razdoblju 1991-2020 (lijevo); Omjer srednjih vrijednosti SSR tijekom požarne sezone u razdoblju 1991-2020 s srednjim vrijednostima SSR tijekom požarne sezone u razdoblju 1961-1990.

6.3.2 Utjecaj klimatskih promjena na turizam

Vrijeme i klima imaju ključnu ulogu u odabiru turističke lokacije, a klimatske promjene mogu značajno mijenjati uobičajene turističke aktivnosti. Strateško planiranje razvoja turizma, kao jedne od značajnijih gospodarskih grana u Hrvatskoj, svakako treba uzeti u obzir poznate činjenice o mogućim promjenama klimatskih elemenata važnih u turizmu na području Hrvatske.

Očekivane promjene temperaturnih i oborinskih prilika prikazane u ranijem poglavlju 6.1.3 pokazuju da će se turizam u budućnosti morati prilagoditi predstojećim promjenama. To se najviše odnosi na obalni turizam ljeti. Visoke temperature zraka uz produljena topla razdoblja i češće toplinske valove, manje oborine i, posljedično, manjak pitke vode, povećana opasnost od požara zasigurno neće biti prikladni za turizam u obliku kakav imamo danas. S druge strane, porast temperatura u proljeće i jesen, uz manje promjene u oborinskom režimu nego ljeti, prilika je da se danas ljetne turističke aktivnosti rasterete i počnu koristiti u ove dvije sezone. Gorski turizam, planinarenje i zeleni kontinentalni turizam bit će mogući u svim sezonama (u manjem obimu ljeti u odnosu na preostale sezone). Skijaški turizam će slabiti zbog manjka snijega, no uz adekvatnu prilagodbu na druge sadržaje zimski turizam će biti ostvariv.

Od 2022. godine Državni hidrometeorološki zavod daje potporu Ministarstvu turizma i sporta u održavanju radionica „Jačanje otpornosti turizma na klimatske promjene“ diljem Republike Hrvatske u vidu predavanja na temu budućih promjena klimatskih elemenata važnih za turizam pojedine regije.

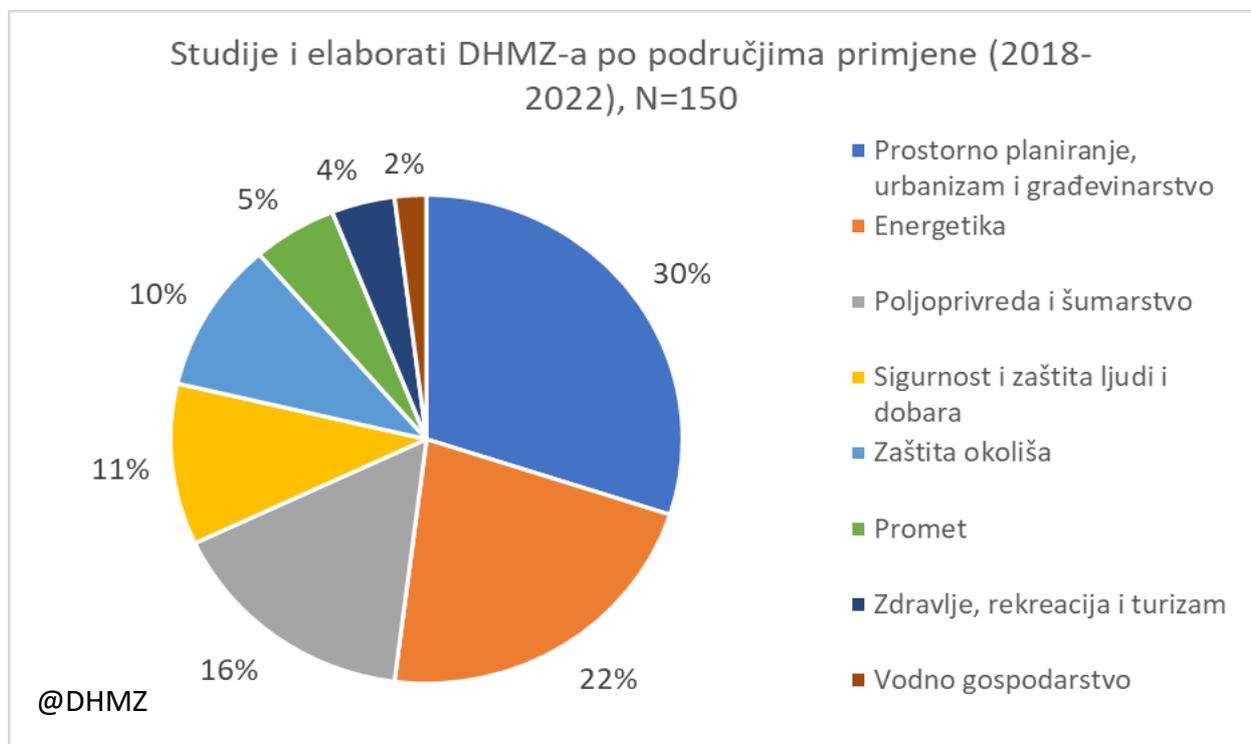
8. Istraživanje i sustavno motrenje

8.2 Istraživanje i razvoj

Istraživanja vremena, klime i klimatskih promjena prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) i klimatskim modelima redovno se provode, a rezultati istraživanja objavljuju se u međunarodno priznatim znanstvenim časopisima. Podaci o broju objavljenih znanstvenih radova s međunarodnom recenzijom te projektima u provedbi objavljuju se u izvješću Hrvatskog povjerenstva za geodeziju i geofiziku (HPGG) Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti pod nazivom „Meteorologija u Hrvatskoj“ koje se izrađuje za Međunarodnu uniju za geodeziju i geofiziku (Bencetić Klaić i sur., 2019). Prema podacima HPGG-a iz zadnjeg obrađenog četverogodišnjeg razdoblja u Hrvatskoj (2015-2018), meteorološka struka u Hrvatskoj je u tom razdoblju provela 46 projekata te u prosjeku godišnje objavljuje u prosjeku 27 znanstvenih radova časopisima s međunarodnom recenzijom. Također valja istaći da su radovi hrvatskih meteorologa i klimatologa bili citirani i u izradi Šestog izvješća Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (engl. The Sixth Assessment Report (AR6) of the Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC).

Jedan od glavnih ciljeva primijenjenih istraživačkih aktivnosti jest i primjena rezultata istraživanja koja se obavlja kroz pripremu informacija za kreiranje politika i provedbu mjera prilagodbe klimatskim promjenama u budućnosti te upravljanja rizicima. Državni hidrometeorološki zavod, osim Nacionalnom izvješću prema Okvirnoj konvenciji UN-a o promjeni klime, daje doprinos u vidu klimatskih podloga i informacija, među ostalim, i sljedećim temeljnim dokumentima:

- Izvješće o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj
- Nacionalno izvješće o mjerama prilagodbe klimatskim promjenama
- Procjena rizika od katastrofa u RH



Slika 8.2.1. Studije i elaborati DHMZ-a po područjima primjene u razdoblju 2018-2022 (% , ukupno izrađeno 150). Izvor DHMZ.

Osim u potpori politikama i akcijskim planovima, primijenjena istraživanja i upotreba rezultata istraživanja vidljive su i u studijama i elaboratima koje se izrađuju za razne društvene dionike i razne namjene. Na primjer, stručnjaci DHMZ-a su u razdoblju 2018-2022 izradili 150 studija i elaborata u području meteorologije za razne sektorske potrebe (Slika 8.2.1). Prijenos rezultata primijenjenih istraživanja u društvo putem studija direktno jača otpornost i prilagodbu zemlje na klimatske uvjete i klimatske promjene.

Za potrebe pojedinih investitora, Državni hidrometeorološki zavod je posljednjih godina pripremao podloge za SECAP-e (Akcijski plan energetske i klimatske održivosti razvitka). Tako su pripremljene podloge za gradove Rijeka, Zadar, Korčulu, Osijek, općine Mrkopalj i Ravnu Goru, otok Brač, Splitsko-dalmatinsku i Primorsko-goransku županiju. Klimatske projekcije su također pripremane za izradu SECAP-a u okviru Interreg projekata.

U nastavku se daje opis nekih relevantnih projekata:

- (1) Adriadapt - informacijska platforma o otpornosti na klimatske promjene za jadranske lokalne zajednice

Adriadapt projekt (<https://adriadapt.eu/>) je tijekom dvije i pol godine radio na usklađivanju i širenju postojećeg poznavanja klimatskih promjena. DHMZ je najveći doprinos imao u pripremi i obradi meteoroloških podataka te formiranju dokumenata o očekivanim klimatskim promjenama kako na području Adriadapt domene, tako i specifično za talijanske i hrvatske testne lokacije.

Dva su glavna ishoda projekta. Lokalne vlasti uključene u projekt pripremile su i ažurirale planove prilagodbe na klimatske promjene (zajednica općina doline Savio, gradovi Udine i Cervia s talijanske strane obale, te Šibensko-kninska županija i grad Vodice na istočnoj, hrvatskoj strani Jadrana). Drugi ishod je višezjezična platforma (na engleskom, talijanskom i hrvatskom jeziku) koja može poslužiti kao podrška općinama Adriadapt regije, ali i šire, za usklađivanje s ciljevima Europske strategije prilagodbe klimatskim promjenama (https://climate.ec.europa.eu/eu-action/adaptation-climate-change/eu-adaptation-strategy_en).

DHMZ je pripremio dva edukativna videa koji su dio video-plaforme, zajedno s ostalim video materijalima koji prikazuju rezultate ostvarene tijekom trajanja projekta. Jedan od rezultata je i Priručnik za jačanje otpornosti obala Jadrana (PAP/RAC, 2021).

- (2) RESPONSE - Strategije prilagodbe na klimatske promjene u jadranskim regijama

Projekt RESPONSE (<https://www.italy-croatia.eu/web/response>) pokrenut je početkom 2019. godine s ciljem jačanja otpornosti lokalnih zajednica na klimatske promjene i usklađenosti pristupa i razmjene podataka za provedbu mjera prilagodbe u narednim desetljećima. U sklopu projekta analizirani su povijesni klimatski podaci u jadranskim regijama iz kojih je zaključeno da većina varijabli i indeksa povezanih s temperaturom, uključujući površinsku temperaturu mora, pokazuje rastuće i statistički značajne promjene, dok su promjene oborinskih varijabli i indeksa više lokalno specifične.

Strategije i metode prilagodbe i ublažavanja objedinjene su u alatu „Climate Menu“ (www.climatemenu.eu), koji sadrži 160 mjera ublažavanja i prilagodbe klimatskim promjenama. Pilot područja za izradu Akcijskog plana energetske i klimatske održivosti razvitka (tzv. SECAP-a) uključila su 6 obalnih općina, po 3 sa svake strane Jadrana. Standardizirana je metodologija za analizu rizika i ranjivosti koja je uključila i lokalne donositelje odluka i lokalno stanovništvo. Uključivanje lokalnih dionika omogućilo je bolje identificiranje glavnih rizika i ranjivosti promatranih područja i analizu mjera ublažavanja i prilagodbe. Stalni dijalog i participativni pristup s lokalnim dionicima omogućili su dostizanje cilja projekta ostavljajući lokalnim zajednicama konkretne akcijske planove i klimatski održive pristupe upravljanju, a koji bi mogli ohrabriti i druge

lokalne zajednice da planiraju i donose politike koje su otporne na klimatske promjene. Projekt RESPONSE poboljšao je i sustav praćenja klimatskih promjena kroz nabavu novih meteoroloških i oceanografskih uređaja nabavljenih za potrebe projektnih partnera i s talijanske i s Hrvatske strane. Novi podaci se prikupljaju, dijele te integriraju s podacima koji dolaze iz drugih projekata, poput projekta METMONIC u Hrvatskoj. Integrirani podaci pomažu u predviđanju scenarija i identifikaciji budućih projekcija i cjelokupnog znanja o metodama prilagodbe i ublažavanja klimatskih promjena.

(3) “UKV - Upravljanje krškim priobalnim vodonosnicima ugroženima klimatskim promjenama“

Istraživanje utjecaja klimatskih promjena na priobalne krške vodonosnike te predlaganje mjera prilagodbe klimatskim promjenama bili su ciljevi UKV projekta (<https://www.ukv-projekt.eu/>). Uloga DHMZ-a u projektu UKV bila je analiza sadašnje klime i opaženih promjena temperature zraka i količine oborine na tri pilot područja, usporedba rezultata klimatskih regionalnih modela visoke razlučivosti s mjerenim podacima za sadašnju klimu i priprema projekcija buduće klime. Sve navedeno je analizirano u izvješću DHMZ-a. Jedna od mogućih posljedica utjecaja klimatskih promjena je zaslanjivanje priobalnih vodonosnika uslijed narušavanja labilne dinamičke ravnoteže slatke i slane vode u njima. Ovi mehanizmi zaslanjenja istraženi su naprednim metodama, a uspostavljen je i monitoring površinskih i podzemnih voda. U sklopu projekta izrađene su zasebne studije utjecaja promjene stanja vodnih resursa na sektore upravljanja vodnim i morskim resursima, poljoprivredu, turizam i zdravstvo i prijedlozi mjera prilagodbe.

(4) SEE-MHEWS-A – Savjetodavni sustav ranog upozoravanja na složene nepogode u jugoistočnoj Europi

Projekt SEE-MHEWS-A (<https://public.wmo.int/en/projects/see-mhews-a>) provodi Svjetska meteorološka organizacija u suradnji za 17 zemalja članica na projektu – nacionalnih hidrometeoroloških službi zemalja jugoistočne Europe. SEE-MHEWS-A podupire nacionalne hidrometeorološke službe u ispunjavanju njihove osnovne misije: pružanju pravovremenih i točnih upozorenja na opasne vremenske i hidrološke pojave u klimi koja se mijenja s ciljem očuvanja ljudskih života i dobara, infrastrukture i industrije. Uloga DHMZ-a na projektu je bila ocjena uspješnosti sustava prognoziranja za svih 17 zemalja članica na projektu, te razvoj i testiranje zajedničke informacijske platforme za pristup informacijama o opasnim vremenskim i hidrološkim prilikama. Projektom su uspostavljeni kapaciteti za prognoziranje i upozoravanje temeljeni na rizicima i učinku za potporu donošenju odluka u nacionalnim vladama, tijelima za upravljanje katastrofama, humanitarnim agencijama i nevladinim organizacijama.

8.3 Sustavna motrenja

Globalni klimatski motriteljski sustav

Globalni klimatski motriteljski sustav (engl. Global Climate Observation System, GCOS) ustanovljen je 1992. godine i Republika Hrvatska, koju predstavlja Državni hidrometeorološki zavod, je njegova članica od osnutka. Taj sustav uključuje motrenja u svim komponentama klimatskog sustava: atmosferi, moru i kopnu. Nakana GCOS-a je definirati i pokriti motrenjima sve potrebne zahtjeve monitoringa klimatskog sustava uključujući satelitska motrenja na globalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini i stvoriti uvjete za unaprjeđenje sustava motrenja. Globalni sustav svih sustava motrenja Zemlje (engl. Global Earth Observation System of Systems, GEOSS) je inicijativa za koordinaciju i poboljšanje postojećih sustava motrenja na globalnoj razini s ciljem zadovoljenja zahtjeva korisnika na temama: prirodne katastrofe, zdravstvo, energija, klima, voda, vrijeme, ekosustavi, poljoprivreda i bioraznolikost. Republika Hrvatska se pridružila GEOSS-u 2004. godine.

Modernizacija motriteljskih mreža DHMZ-a

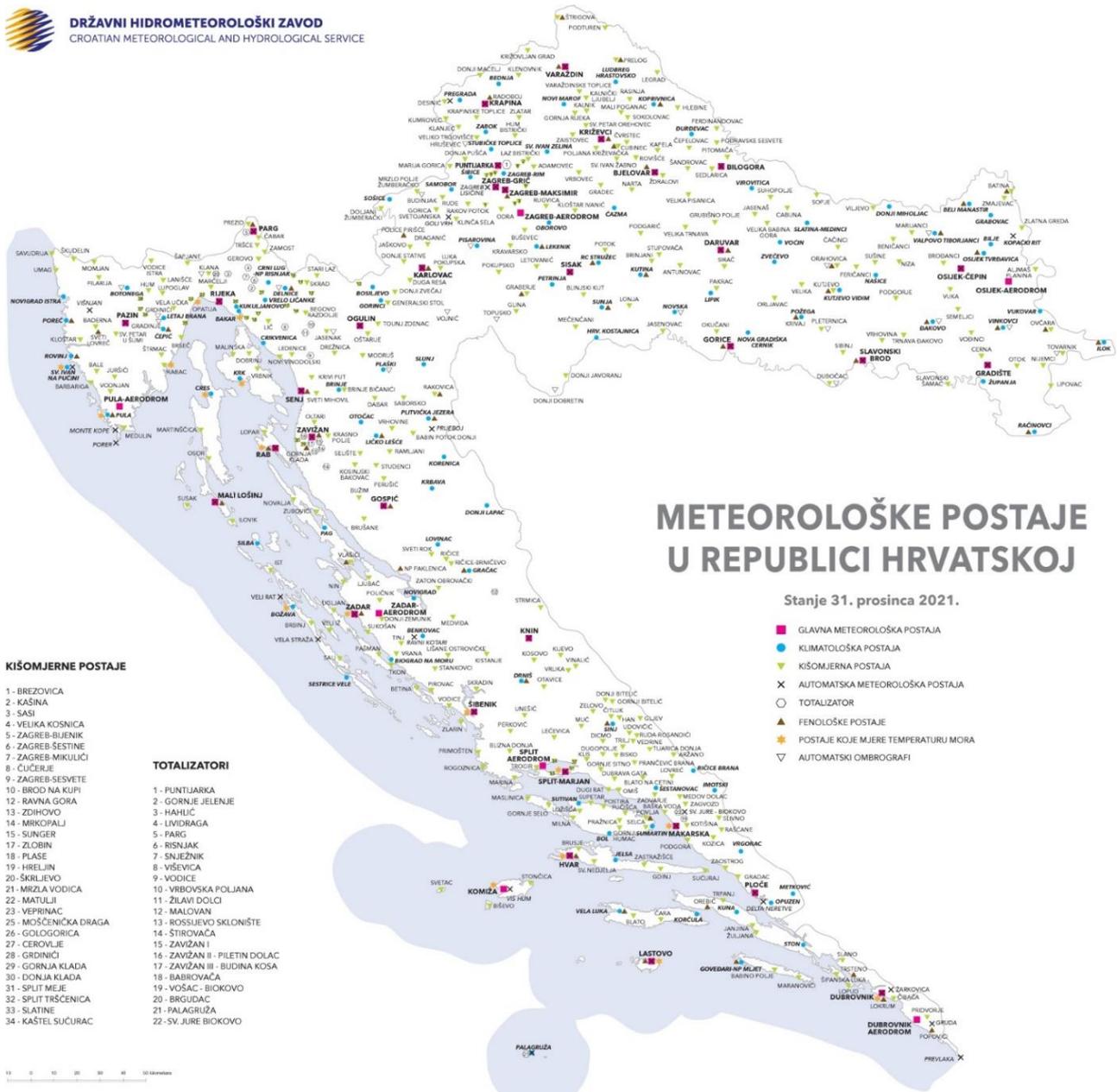
Republika Hrvatska ima dugu tradiciju u praćenju segmenata klimatskog sustava. Državni hidrometeorološki zavod je nacionalna ustanova za meteorologiju i hidrologiju koja provodi meteorološka motrenja za operativne potrebe od 1851. godine. Danas, DHMZ se modernizira kroz tri projekta METMONIC, AirQ i VEPAR financirana iz omotnice EU kroz Operativni program Konkurentnost i kohezija 2014.-2020..

Meteorološka motriteljska mreža

Meteorološka motrenja obuhvaćaju dvije vrste podataka: vizualna opažanja vremenskih pojava i instrumentalna mjerenja. Sporadična motrenja u Republici Hrvatskoj započela su sredinom 18. stoljeća, a sredinom 19. stoljeća počinje sustavno i kontinuirano meteorološko motrenje na cijelom teritoriju RH. U DHMZ-u se još uvijek provode uglavnom manualna motrenja koja obavljaju motritelji na: 40 glavnih (34 DHMZ + 6 lokacija Hrvatske kontrole zračnog prometa), 98 klimatoloških, 325 kišomjernih postaja i 22 totalizatora. Postojeće automatizirane meteorološke postaje (AMP) kolociraju s 34 glavne meteorološke postaje dok je na drugim lokacijama samostalnih 30 AMP. Standardna vremenska rezolucija podataka s AMP-a je 10 minuta. Nadalje, na pojedinim meteorološkim postajama obavljaju se motrenja stanja tla i mjerenja temperature i vlažnosti tla, Sunčevo dozračenje i isparavanje s vodene površine. U svrhu dobivanja vertikalnog stanja atmosfere obavljaju se radiosondažna mjerenja u Zagrebu i Zadru u dva termina dnevno (00 i 12 h UTC). Daljinska mjerenja atmosfere obuhvaćaju 6 C-band meteoroloških radara (početkom 2023. u funkciji 5 meteoroloških radara), 2 vjetrovna presječnika (Dubrovnik i Monte Kope u Istri), jedan LIDAR u Slavonskom Brodu i jedan mikrovalni radiometar (Monte Kope). Za određivanje fizikalnih karakteristika mora usidreno je 5 meteorološko-oceanografskih plutača u sklopu kojih se nalaze i AMP za mjerenje atmosferskih parametara. Karta meteoroloških postaja u Hrvatskoj dana je na Slici 8.3.1. Analize troškova i koristi pokazuju da je razvoj kao i održavanje meteorološke motriteljske mreže ekonomski opravdan, tj. investiranje 1 USD rezultira sa 7 USD dobiti za društvo.

Realizacija modernizacije na više od 400 meteoroloških postaja u RH započela je 1. listopada 2017. godine implementacijom Projekta modernizacije meteorološke motriteljske mreže u RH - METMONIC koji je jedan od prioritetnih projekata DHMZ-a i MINGOR-a u tematskom cilju adaptacije na klimatske promjene EU-a u financijskom razdoblju 2014.-2020. godine iz kojeg se projekt sufinancira s iznosom 85% dok je doprinos Republike Hrvatske 15%. Provedba projekta METMONIC završava u 2023. godini.

Podaci dobiveni moderniziranom mrežom meteoroloških postaja služiti će za mnoge svrhe; za praćenje klime i kalibraciju modela za klimatske promjene i adekvatno planiranje i upravljanje okolišem i za održive aktivnosti sektora gospodarstva; pribavljajući detaljnija mjerenja s ciljem boljeg razumijevanja utjecaja zagađivača na okoliš; razvoj odgovarajuće politike za prilagodbu i ublažavanje klimatskih promjena uključujući smanjenje rizika od elementarnih nepogoda (na primjer poplava ili suša) kao i civilizacijskih katastrofa; za svrhu proizvodnje obnovljive energije. Uz navedeno koristiti će se i za kvalitetniji monitoring i procjenu daljinskog prekograničnog zagađenja, analizu i primjenu tehnika modeliranja geografske distribucije koncentracija (emisije) zagađivača osiguravajući tako potrebne informacije za suzbijanje rizika od opasnosti za zdravlje ljudi zbog izloženosti zagađenju, posebno za osjetljive skupine.



Slika 8.3.1. Meteorološka motriteljska mreža - karta meteoroloških postaja u Hrvatskoj

Motriteljska mreža za trajno praćenje kvalitete zraka

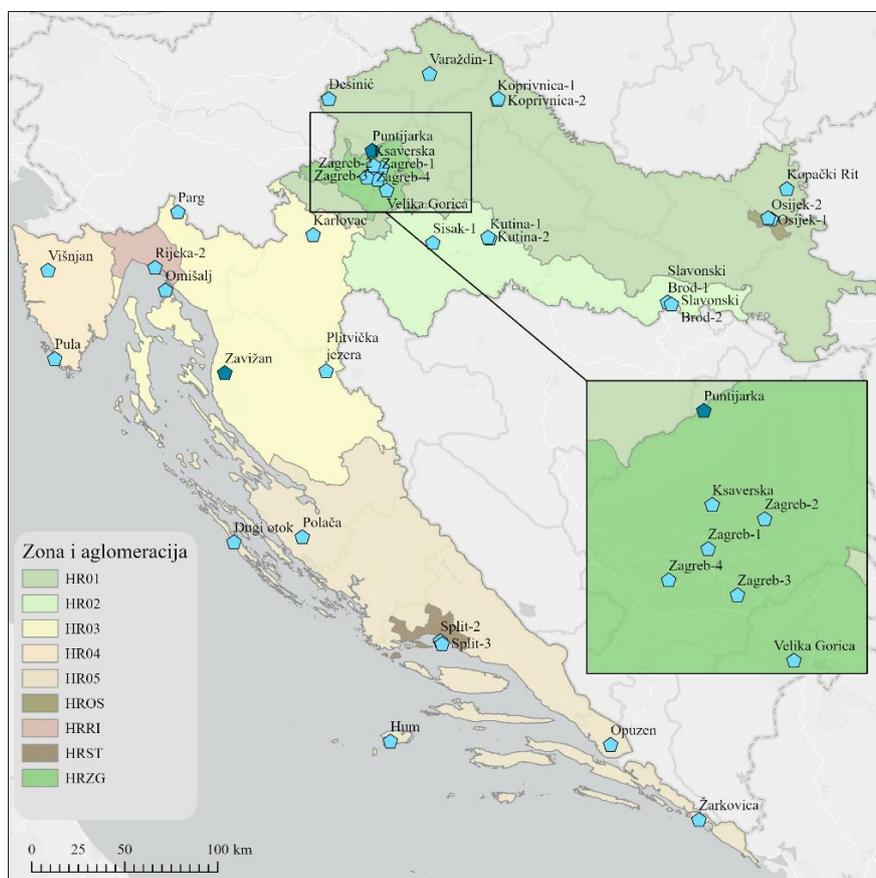
Kvaliteta zraka i razine njegovog onečišćenja u Republici Hrvatskoj prate se na državnoj i lokalnoj razini. Praćenje se odvija kroz državnu mrežu za trajno praćenje kvalitete zraka (prva postaja krenula s radom 2003. godine) od strane referentnih laboratorija dok praćenje na lokalnoj razini provode ispitni laboratoriji koji ujedno provode praćenja i za mjerne postaje posebne namjene. Državnom mrežom upravlja DHMZ, dok su na lokalnoj razini nadležne županije, gradovi i općine. Mjerne postaje posebne namjene nalaze se u blizini izvora onečišćenja zraka te za njih mjerenja moraju osigurati sami onečišćivači, sukladno rješenju o prihvatljivosti zahvata na okoliš ili rješenju o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša.

Kako bi ispunila obveze postavljene EU pravnim propisima iz područja zaštite kvalitete zraka, Republika Hrvatska dužna je unapređivati praćenje kvalitete zraka u urbanim sredinama, zonama i aglomeracijama, u skladu sa najnovijim spoznajama i najboljom praksom, kroz razvoj održivih

integriranih strategija i projekata koji stvaraju preduvjete za adekvatnu ocjenu, planiranje i provođenje odgovarajućih mjera na svom području.

Slijedom toga krenulo se u realizaciju modernizacije i proširenja državne mreže za praćenje kvalitete zraka implementacijom EU projekta „Proširenje i modernizacija državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka – AirQ” (kroz Operativni program „Konkurentnost i kohezija“ (OPKK), investicijski prioritet 6e Zaštita okoliša i održivost resursa i Specifični cilj 6e1 Poboljšanje sustava upravljanja i praćenja kvalitete zraka sukladno Uredbi 2008/50/EZ). Projekt je počeo 01.05.2017., a završetak je planiran za 30.09.2023. EU sufinancira projektne aktivnosti sa 85 % sredstava, dok je doprinos Republike Hrvatske 15 %.

U tu svrhu, Državni hidrometeorološki zavod, kao nadležno tijelo odgovorno za upravljanje radom državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka i provedbu Programa mjerenja kvalitete zraka, u suradnji sa Institutom za medicinska istraživanja i medicinu rada kao partnerom te Ministarstvom gospodarstva i održivog razvoja i Fondom za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, uspostavlja adekvatan sustav za mjerenje i modeliranje kvalitete zraka, kao i sustav za analizu rezultata mjerenja i modeliranja te sustav obavješćivanja javnosti i državnih institucija. Da bi se postigli ovi ciljevi, bilo je potrebno osigurati funkcionalnost dovoljnog broja mjernih postaja modernizacijom i proširenjem državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka jer broj mjernih postaja nije bio dostatan, a mjerna oprema je bila dotrajala ili neadekvatna. Planirana je izgradnja 5 novih postaja i modernizacija njih 19. Postaje državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka, raspoređene po zonama i aglomeracijama dane su na Slici 8.3.2. Dodatno, od strateškog je značaja bilo nadograditi postojeći sustav modeliranja kvalitete zraka kako bi se dugoročno omogućio razvoj aktivnosti i mjera koje će osigurati pozitivne rezultate u smislu poboljšanja kvalitete zraka.



Slika 8.3.2. Postaje državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka, raspoređene po zonama (5) i aglomeracijama (4).

Planirani rezultat ovih napora je uspostava odgovarajućeg sustava za praćenje i upravljanje onečišćenjem zraka u skladu s Direktivom 2008/50 EZ. Postojeći mjerni program se nadograđuje kako bi uzimao u obzir kvalitetu zraka i relevantne klimatske parametre radi sinergije kvalitete zraka i klimatske politike te kako bi se poboljšao program za nadzor klimatskih zagađivača kratkog vijeka (SLCF) i uvele klimatski osjetljive mjere protiv onečišćenja zraka. Sustav podataka o kvaliteti zraka nadograđuje se kako bi se omogućio prostorni prikaz svih podataka o kvaliteti zraka, emisijama i rezultatima modeliranja. Proširenje i modernizacija državne mreže omogućit će dobivanje relevantnih podataka o razinama i atmosferskim kretanjima pojedinih onečišćenja, što će nadalje, u urbanim sredinama u kojima dolazi do prekoračenja graničnih i ciljnih vrijednosti koncentracija onečišćujućih tvari, omogućiti donošenje učinkovitih mjera za poboljšanje kvalitete zraka.

Koristi projekta koje će se manifestirati u povećanju kvalitete zraka, a čime će se utjecati na smanjenje broja smrtnosti, oboljenja, liječenja te svih popratnih troškova (primjerice bolovanja) značajno nadilaze troškove ulaganja.

Hidrološka motriteljska mreža

Motriteljska mreža površinskih voda

Prva hidrološka postaja na području Republike Hrvatske započela je sa radom 1817. godine, a sustavno prikupljanje i objavljivanje hidroloških podataka se provodi od početka 20. stoljeća. Osnovna mreža hidroloških postaja ima funkciju određivanja bilance voda i statističke analize podataka kontinuiranih i dugotrajnih motrenja, pod stručnim nadzorom DHMZ-a.

Pored standardnog oblika terenskog prikupljanja hidroloških podataka, u formi neposrednih terenskih mjerenja protoka, snimanja profila, terenskih opažanja i kontrola, postoji i sustav automatskog prikupljanja podataka s automatskih hidroloških postaja.

Mjerenje protoka površinskih tokova u 2021. provodi se na 292 hidrološke postaje. DHMZ sudjeluje u raznim programima razmjene podataka uključujući slanje podataka o protocima u međunarodne centre za podatke: GRDC 1 postaja, WISE-SoE 19 postaja i EFAS: 48 postaja. Mreža postaja za mjerenje površinskih voda prikazana je na Slici 8.3.3. (lijevo).

Unatoč značajnom broju hidroloških postaja i podataka koji se prikupljaju postoji potreba za temeljitom modernizacijom postojeće motriteljske mreže što uključuje obnovu postojećih i instalaciju novih postaja. Modernizacija je započela 2021. godine početkom provedbe EU Projekta unaprjeđenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj – VEPAR, odobrenog u sklopu Prioritetne osi 5, Operativnog programa Konkurentnost i kohezija 2014.-2020. Kroz navedene aktivnosti provest će se modernizacija 136 postojećih hidroloških postaja te obnova 4 postaje državne mreže.

Glavni cilj projekta je uspostavljanje funkcionalnog sustava za provedbu negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava te povećanje preciznosti i stabilnosti hidroloških motrenja i dojava podataka. Planirano trajanje projekta je četiri godine, odnosno do kraja prosinca 2023. godine.

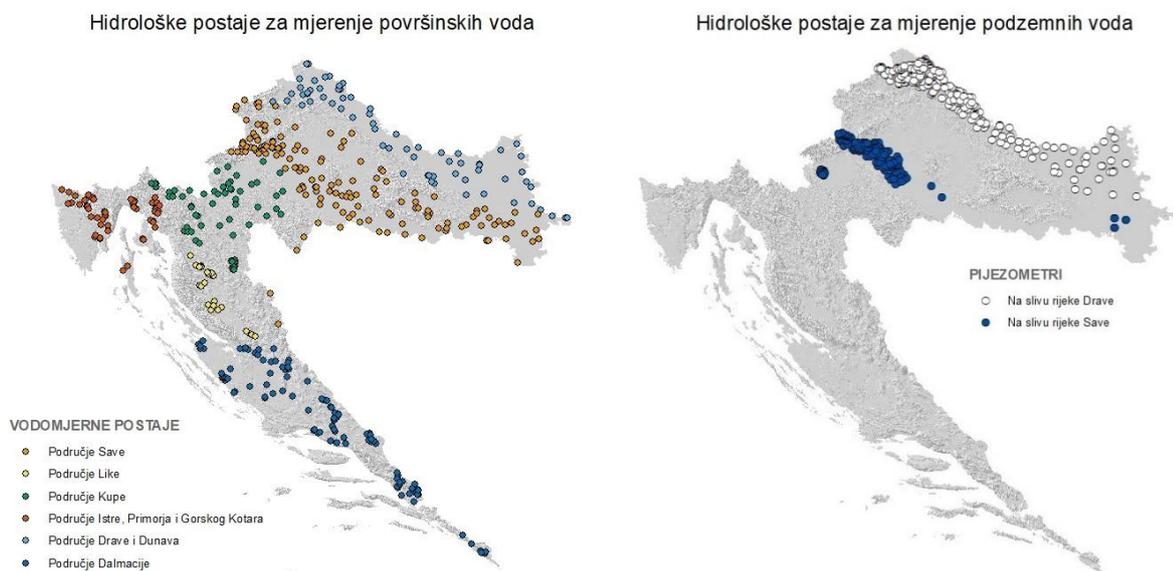
Motriteljska mreža podzemnih voda

Sustavna mjerenja razine podzemne vode u dovoljno dugom razdoblju omogućuju upoznavanje režima i stanja podzemnih voda kao i nekih parametara vodonosnika. Temeljem analize prikupljenih podataka mjerenja definira se stanje podzemne vode i njezin odnos prema površinskim tokovima, što

čini jednu od korisnih podloga za projektiranje budućih hidrotehničkih objekata, kao i za predviđanja promjena količinskog i ekološkog stanja podzemnih voda kao posljedica izgradnje hidrotehničkih objekata.

Motrenje razina podzemnih voda u panonskom dijelu Hrvatske provodi se u okviru nacionalne mreže motrenja od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda. Motrenje je uspostavljeno na više stotina piezometara u zapadnom dijelu dravskog i savskog bazena. Cjelokupnu mrežu postaja na kojima se prati razina podzemnih voda čini blizu 700 postaja od kojih na području slivova Drave i Dunava 44 limnigrafske postaje i 306 piezometara te na području slivova Save 52 limnigrafske postaje i 294 piezometara. Mreža postaja za mjerenje podzemnih voda prikazana je na Slici 8.3.3. (desno).

Limnigrafske postaje daju podatke razine podzemne vode svaki sat, a na piezometarskim postajama obavlja se motrenje dva puta tjedno. Slanje podataka o razinama podzemnih voda odvija se za 15 postaja te se oni šalju u bazu podataka WISE-SoE Europske agencije za okoliš.



Slika 8.3.3. Mreža hidroloških postaja za mjerenja površinskih (lijevo) i podzemnih (desno) voda.

Literatura

Bencetić Klaić, Z., Grbec B. i K. Horvath (2019) Meteorology in Croatia, 2015–2018, u M. Orlić i sur., Report submitted to the International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences of the International Union of Geodesy and Geophysics, *Geofizika*, 36, 2, 2019, 171–224.

Cvitan L, Sokol Jurković R (2016) Secular trends in monthly heating and cooling demands in Croatia. *Theor Appl Climatol* 125:565–581. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1534-7>.

DHMZ (2022) Klimatološka i agrometeorološka podloga za Izvješće o stanju okoliša u RH, 2017. - 2020. Državni hidrometeorološki zavod.

Fraga H, Malheiro A C, Moutinho-Pereira J, Santos A (2013) An overview of climate change impacts on European viticulture. *Food Energy Secur.* DOI: 10.1002/fes3.14.

Fraga H, Santos J A, Moutinho-Pereira J, Carlos C, Silvestre J, Eiras-Dias J, Mota T, Malheiro A C (2016) Statistical modelling of grapevine phenology in Portuguese wine regions: Observed trends and climate change projections. *J. Agric. Sci.*, 154, 795–811. <https://doi.org/10.1017/S0021859615000933>.

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

Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M., Bi, X., Elguindi, N., Diro, G., Nair, V., Giuliani, G., Turuncoglu, U., Cozzini, S., Güttler, I., O'Brien, T., Tawfik, A., Shalaby, A., Zakey, A., Steiner, A., Stordal, F., Sloan, L. and Brankovic, C. (2012) RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Climate Research*, 52, 7–29.

Giorgi F, Gutowski WJ (2015) Regional dynamical downscaling and the CORDEX Initiative. *Annu Rev Environ Res* 40:467–490. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021217>.

Güttler I, T Stilinović, L Srnec, Č Branković, E Coppola, F Giorgi, 2020: Performance of RegCM4 simulations over Croatia and adjacent climate regions. *Int. J. Climatol.*, DOI: 10.1002/joc.6552.

Hall A, Jones G V (2009) Effect of potential atmospheric warming on temperature-based indices describing Australian winegrape growing conditions. *Aust. J. Grape Wine R* 15:97–119. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2008.00035.x>.

Huglin P (1978) Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. In: *Proc Symp Int sur l'ecologie de la Vigne*. Constanța, Romania: Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire, pp. 89–98.

IPCC (2021) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.

Kumar P, Chandra Sahu N, Kumar S, Arshad Ansari M (2021) Impact of climate change on cereal production: evidence from lower-middle-income countries. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28:51597–51611. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14373-9>.

Lalić B, Eitzinger J, Dalla Marta A, Orlandini S, Firanj Spremac A, Pacher B (2018) *Agricultural Meteorology and Climatology*. Firenze University Press, Firenze, 353 p.

McElrone A J, Choat B, Gambetta G A, Brodersen C R (2013) Water Uptake and Transport in Vascular Plants. *Nature Education Knowledge* 4(5):6.

Metzger M J, Schroter D, Leemans R, Cramer W (2008) A spatially explicit and quantitative vulnerability assessment of ecosystem service change in Europe. *Regional Environ. Change* 8:91–107. DOI:10.1007/s10113-008-0044-x.

Mueller B, Hauser M, Iles C, Haque Rimi R, Zwiers F W, Wan H (2015) Lengthening of the growing season in wheat and maize producing regions. *Weather Clim. Extrem.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2015.04.001>.

MUP (2022) Procjena rizika od katastrofa za Republiku Hrvatsku. Glavna radna skupina Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa.

Nimac I, Herceg-Bulić I, Cindrić Kalin K, Perčec Tadić M (2021) Changes in extreme air temperatures in the mid-sized European city situated on southern base of a mountain (Zagreb, Croatia). *Theor Appl Climatol* 13. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03689-8>.

PAP/RAC (2021) „Priručnik za jačanje otpornosti obala Jadrana“, INTERREG AdriAdapt projekt, Split.

Perčec Tadić M, Pasarić Z, Guijarro JA (2022) Croatian high-resolution monthly gridded dataset of homogenised surface air temperature. *Theor Appl Climatol*, doi:10.1007/s00704-022-04241-y.

Tonietto J, Carbonneau A (2004) A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agric. For. Meteorol*, 124, 81–97. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>.

United Nations Environment Programme (UNEP), 1992. *World Atlas of Desertification*.

Van Leeuwen C, Darriet P (2016) The impact of climate change on viticulture and wine quality. *J. Wine Economics*, 11, 150–167. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>.

Van Wagner C E, (1974) *Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index*. Environment Canada, Canadian Forestry Service, Petawawa Forest Experiment Station, Chalk River, Ontario. Departmental Publication 1333. 49 p.

Van Wagner C E (1987) *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*, Forestry Technical Report, Canadian Forestry Service Headquarters, Ottawa, 1987.

Vučetić V, Anić M (2021) *Agroklimatski atlas Hrvatske u razdobljima 1981.–2010. i 1991.–2020. – povodom 70 godina osnutka agrometeorološke službe u DHMZ-u, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 447 p.* https://klima.hr/razno/publikacije/agroklimatski_atlas_RH_1981_2020.pdf.

Wang J, Kranthi Vanga S, Saxena R, Orsat V, Raghavan V (2018) Effect of Climate Change on the Yield of Cereal Crops: A Review. *Climate*, 6, 41. doi:10.3390/cli6020041.

Webb L B, Whetton P H, Bhend J, Darbyshire R, Briggs P R, Barlow E W R (2012) Earlier wine-grape ripening driven by climatic warming and drying and management practices. *Nat. Clim. Change*, 2, 259–264.

WMO (2009) Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *Climate Data and Monitoring, WCDMP-No. 72*, World Meteorological Organisation.