

Podnebne projekcije temperature zraka in padavin za porečja Ledave, Pesnice in Vipave do konca 21. stoletja

Zalika ČREPINŠEK^{1,2}, Zala ŽNIDARŠIČ¹, Luka HONZAK³, Tjaša POGAČAR¹

Received August 08, 2023; accepted April 05, 2024.
Delo je prispelo 8. avgusta 2023, sprejeto 5. aprila 2024.

Climate projections of air temperature and precipitation for the Ledava, Pesnica and Vipava basins in the 21st century

Abstract: As part of the project 'CeVoTak', Integrated Management of Small Water Retention and Soil Erosion Prevention Measures in Agricultural Catchments, we studied changing temperature and precipitation conditions up to the year 2100. The study was conducted on agricultural lands in the catchments of the Ledava and Pesnica rivers in the sub-Pannonian region and the Vipava river in the sub-Mediterranean region. A common climate database was used to create the climate projections - RCM (Regional Climate Model) simulations from the project EURO-CORDEX and scenarios RCP (Representative Concentration Pathway), RCP2.6, 4.5 and 8.5. The projections were prepared for three time periods 2011–2040; 2041–2070 and 2071–2100 for 6 different regional climate models for average, minimum and maximum air temperatures and precipitation. Analysis of the ensemble of model simulations for all scenarios shows similar results for the basin of all rivers, an increase in temperature (maximum in winter, minimum in spring), with high confidence for all scenarios and periods. Projections of precipitation are less reliable, but show an increase in annual precipitation due to the winter increase. The use of climate change projections with expert interpretation is essential for determining the vulnerability of individual areas and building resilience through the implementation of climate change adaptation.

Key words: project 'CeVoTak', climate projections, Ledava, Pesnica, Vipava, air temperature, precipitation

Podnebne projekcije temperature zraka in padavin za porečja Ledave, Pesnice in Vipave do konca 21. stoletja

Izvleček: V okviru raziskovalnega projekta 'CeVoTak', celovito upravljanje malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal v kmetijskih povodjih, smo naredili oceno spremenjenih temperaturnih in padavinskih razmer do leta 2100. Raziskava je potekala na kmetijskih površinah v povodjih rek Ledave in Pesnice v omiljenem celinskem in reke Vipave v omiljenem sredozemskem podnebj. Za pripravo podnebnih projekcij smo uporabili skupno klimatsko podatkovno bazo - simulacije RCM (Regional Climate Model) iz projekta EURO-CORDEX in scenarije RCP (Representative Concentration Pathway), RCP2.6, 4.5 in 8.5. Projekcije so bile pripravljene za tri obdobja: 1-bližnja prihodnost: 2011–2040; 2-sredina stoletja: 2041–2070 in 3-daljna prihodnost: 2071–2100 za 6 različnih regionalnih podnebnih modelov za povprečne, najnižje in najvišje temperature zraka ter količino padavin. Analiza ansambla modelskih simulacij za vse tri scenarije kaže podobne rezultate za porečje vseh treh rek, in sicer naraščanje temperature (največ pozimi, najmanj spomladi), zanesljivost spremembe je visoka za vse scenarije in obdobja. V primerjavi s temperatura-mi zraka so projekcije padavinskih razmer manj zanesljive, kažejo pa naraščanje letne količine padavin zaradi dviga pozimi. Uporaba projekcij podnebnih sprememb s strokovno razlago je nujna pri določanju ranljivosti posameznih območij in grajenju odpornosti z uvajanjem ukrepov prilagajanja na podnebne spremembe.

Ključne besede: projekt 'CeVoTak', podnebne projekcije, Ledava, Pesnica, Vipava, temperatura zraka, padavine

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana, Slovenija

² Korespondenčni avtor, e-mail: zalika.crepinsek@bf.uni-lj.si

³ ARSO, Agencija republike Slovenije za okolje, Ljubljana, Slovenija

1 UVOD

Podnebne spremembe, ki so posledica vpliva človeka predvsem zaradi spreminjanja rabe tal ter izpustov toplogrednih plinov (TGP), in presegajo naravno podnebno spremenljivost, se kažejo v povišanju temperature ozračja, oceanov in tal ter posledično v pogostejših in intenzivnejših ekstremnih vremenskih dogodkih. Hitre in obsežne spremembe v ozračju, oceanih, kriosferi in biosferi so povzročile številne škodljive vplive za naravo in ljudi, nekateri od teh so nepopravljivi, saj so naravni in človeški sistemi potisnjeni preko svojih zmožnosti prilagajanja (IPCC, 2022). Medvladni panel za podnebne spremembe (IPCC) je konec marca 2023 objavil zbirno poročilo *Podnebne spremembe 2023, Povzetek za odločevalce*, ki spada v zadnji del šestega poročevalskega cikla IPCC. To sintezno poročilo IPCC zagotavlja najobsežnejšo in najboljšo razpoložljivo znanstveno oceno podnebja, ki temelji na osemletnem projektu, v katerem je sodelovalo več sto znanstvenikov (IPCC, 2023). Povprečna globalna temperatura ozračja je v letih 2011–2020 dosegla zvišanje za 1,1 °C glede na obdobje 1850–1900. Že leta 2018 je IPCC v posebnem poročilu (IPCC, 2018) opozoril, da se bližamo mejniku zvišanja temperature za 1,5 °C, ki bi še omogočal obvladljivo soočanje s podnebno krizo. Že zdaj se s povišanjem globalne temperature za 1,1 °C v vseh regijah sveta dogajajo spremembe podnebnega sistema, dodatno segrevanje pa bo še povečalo njihov obseg. Projekcije kažejo, da se bo ob dvigu temperature za 1,5 °C skoraj milijarda ljudi po vsem svetu soočala s pomanjkanjem vode, vročinskimi stresom in dezertifikacijo, medtem ko se bo delež svetovnega prebivalstva, izpostavljenega poplavam, povečal za 24 % (IPCC, 2023). Vse več pozornosti v zadnjem času se namenja tudi t.i. sestavljenim ekstremnim dogodkom, kot so suše, poplave, požari, ki so lahko posledica sočasnega vpliva več različnih dejavnikov (Lawrence in sod., 2020; Hillier in sod., 2020). Sočasne visoke temperature zraka, suša in močan veter so lahko vzrok za obsežne požare, sočasne intenzivne padavine in taljenje snežne odeje pa za poplave. Predvideva se, da se bo pogostost in intenziteta sestavljenih ekstremov v prihodnosti povečala (Ribeiro in sod., 2020; Simpson in sod., 2021), zaradi biofizikalne soodvisnosti med temperaturo, vodo ter fiziološkimi procesi rastlin pa neto učinki takih prihodnjih dogodkov ostajajo negotovi (Lesk in sod., 2022). Pogostost in jakost dogodkov z izjemnimi padavinami sta se od 50. let prejšnjega stoletja povečali skoraj nad vsem kopnim, zaradi povečanega izhlapevanja pa so pogostejše tudi kmetijske suše površinskega sloja tal (ARSO, 2021). Zadnje poročilo IPCC (2023) navaja, da se bodo glede na projekcije tveganja suše v 21. stoletju povečala v številnih regijah,

prav tako tudi povečanje intenzivnosti padavin, kar bo povečalo lokalne poplave.

Analiza podnebne spremenljivosti za Slovenijo je pokazala, da je bila temperatura ozračja v prvih dveh desetletjih tega tisočletja (2001–2020) za 1,8 °C (razpon 1,5–2,0 °C) višja glede na obdobje 1850–1900, v zadnjem desetletju (2011–2020) pa za 2,1 °C (razpon 1,9–2,4 °C) (Dolinar in sod., 2018; Berkley Earth, 2023). Od začetka šestdesetih let prejšnjega stoletja se je višina padavin na letni ravni zmanjševala, po letu 2000 ponovno večala, razlike pa niso statistično značilne (ARSO, 2021). Izhlapevanje se je v obdobju 1971–2012 povečalo za okoli 20 %, najbolj zaradi povečanja spomladi in poleti, višina novo-zapadlega snega pa se je zmanjšala za približno 40 %. Srednji pretoki rek v Sloveniji se od šestdesetih let prejšnjega stoletja zmanjšujejo, največji upad je značilen za pomlad in jesen, se je pa pogostost velikih pretokov ponekod v osrednjem in v vzhodnem delu države povečala (Vertačnik in sod., 2018).

Segrevanje je bilo v obdobju 1961–2011 večinoma močnejše v vzhodnem kakor zahodnem delu Slovenije, količina padavin pa se je v istem obdobju na letni ravni zmanjšala bolj v zahodnem delu, za okoli 15 %, v vzhodnem delu pa za 10 %. Gledano v celoti so bile najizrazitejše spremembe podnebja v tem obdobju v poletnem času v delu južne in jugozahodne Slovenije, kjer so poletja v zadnjih desetletjih toplejša, bolj sončna in bolj sušna (Bertalanč in sod., 2018).

Podobne spremembe temperatur zraka in padavin so bile opažene tudi v sosednjih državah. Povprečna letna temperatura zraka se je v Italiji v zadnjih 100 letih povečala za 1 °C, pri čemer se je segrevanje v zadnjih 50 letih pospešilo, hkrati se je povprečna letna količina padavin nekoliko zmanjšala (IEA, 2022; Straffellini in Tarolli, 2023). Tudi povprečna letna temperatura zraka v Avstriji narašča hitreje od svetovnega povprečja in se je od leta 1880 zvišala za 2 °C. Ekstremne padavine so postale pogostejše, ni pa jasnega trenda glede povprečne količine padavin (IEA, 2022; Olefs in sod., 2021). Povprečna letna temperatura zraka na Madžarskem se je med letoma 1907 in 2017 dvignila za 1,2 °C, še posebej izrazito je segrevanje poleti. Trend letne količine padavin v istem obdobju ni bil zaznan, opazne pa so spremembe v sezonskosti tveganja poplav in suš ter v regionalnih vzorcih padavin (IEA, 2022; Pinke in Lövei, 2017).

Po vsej Evropi se hidrološki cikel spreminja kot posledica antropogeno povzročenega globalnega segrevanja. Narejene so bile številne ocene vpliva teh sprememb na rečne režime v prihodnosti, za glavna porečja Severne in Južne Evrope, vključno s porečjem Save (Sperna Weiland in sod., 2021; Miro in sod., 2021), za porečja Mure, Drave in Donave (Probst in Mauser, 2023; Zlatanović, 2022), reke Pad (Boyko in sod., 2022), reke Vipave

(Cvejić in sod., 2020; Filmon, 2022) in druge. Študije so pokazale, da se bodo podnebni vplivi razlikovali za južno in severno Evropo, kar bo zelo verjetno vodilo do večjih sezonskih omejitev vode v južni Evropi in obilne razpoložljivosti vode v severni Evropi (ICPDR, 2019). Velik del Evrope je v prehodnem območju med bolj vlažnim severnim in bolj suhim južnim podnebjem v prihodnosti, kjer se podnebni modeli pogosto ne ujemajo glede znaka spremembe (ICPDR, 2019; Probst in Mauser, 2023; Sperna Weiland in sod., 2021).

V okviru raziskovalnega projekta 'CeVoTak' (ARRS projekt L4-2625: celovito upravljanje malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal v kmetijskih povodjih, <https://cris.cobiss.net/ecris/si/sl/project/18388>), smo preučevali vpliv podnebnih sprememb na ekonomsko trajnostno gospodarjenje z vodo v kmetijskih tleh. Raziskava je potekala na kmetijskih površinah v treh topološko in pedo-klimatsko različnih povodjih rek Ledave in Pesnice v omiljenem celinskem in reke Vipave v omiljenem sredozemskem podnebjem. Vsa tri povodja so močno izpostavljena različnim vremenskim pojavom, tako sušam kot poplavam, glede na zadnje projekcije podnebnih sprememb za 21. stoletje (ARSO, 2021; Bertalaní in sod., 2018; IPCC, 2022) pa za vsa tri povodja pričakujemo veliko izpostavljenost podnebnim spremembam. V prispevku predstavljamo podnebne projekcije temperature zraka in padavin za porečja rek Ledave, Pesnice in Vipave do leta 2100, razpon pričakovanih sprememb in zanesljivost teh sprememb glede na upoštevane scenarije prihodnjih družbenih sprememb.

2 MATERIAL IN METODE DELA

Oceno spremenjenih temperaturnih in padavinskih razmer do leta 2100 smo naredili za porečja rek Ledave, Pesnice in Vipave. Ledava je reka v severovzhodni Sloveniji, nižinski vodotok, ki ima skoraj v celoti močno preoblikovano umetno strugo, večji del teče po severnem delu Murske ravnine. Na najvzhodnejši točki Slovenije, slovensko-hrvaško-madžarski tromeji, se izliva v Muro, površina porečja pa meri 1940 km². Tudi Pesnica je reka v severovzhodni Sloveniji, levi pritok Drave, izvira v Avstriji, površina porečja v Sloveniji pa znaša 539 km². Reka Vipava ima površino porečja 604 km², ki je na submediteranskem ozemlju v jugozahodni Sloveniji. Izvira iz več kraških izvirov v Vipavi, teče nato proti zahodu in se izliva v Sočo v Italiji (ARSO, 2023).

Za pripravo podnebnih projekcij smo uporabili skupno klimatsko podatkovno bazo podnebja - simulacije RCM (Regional Climate Model) iz projekta EURO-CORDEX (Jacob in sod., 2014) in scenarije RCP (Representative Concentration Pathway), RCP2.6, 4.5 in 8.5,

ki so označeni glede na sevalni prispevek ob koncu 21. stoletja. Scenarij RCP2.6, t.i. 'optimističen scenarij', predvideva izrazito blaženje podnebnih sprememb in posledično zelo majhne izpuste TGP, sevalni prispevek doseže vrh v prvi polovici 21. stoletja pri 3,0 W m⁻² in do leta 2100 upade na 2,6 W m⁻². Scenarij RCP4.5, t.i. 'zmerno optimističen' ali stabilizacijski, predpostavlja z začetkom druge polovice 21. stoletja postopno zmanjševanje izpustov, sevalni prispevek se ustali kmalu po letu 2100 in znaša ob koncu stoletja 4,5 W m⁻². Scenarij RCP8.5, t.i. 'pesimistični scenarij', ne predvideva blaženja podnebnih sprememb, ampak velike izpuste TGP in naraščanje njihove vsebnosti v ozračju tudi po letu 2100, ob koncu stoletja pa sevalni prispevek znaša 8,5 W m⁻² (van Vuuren in sod., 2011). Osnovni podatki baze EURO-CORDEX so za Slovenijo na voljo v prostorski resoluciji 12,5 km, na katerih potem izvedemo povečanje ločljivosti na mrežo v resoluciji 1 km.

Popravek napak (bias correction) je bil izveden z uporabo podatkov reanalize ERA5-Land z neparametričnim empiričnim kvantilnim kartiranjem, referenčno obdobje je bilo 30-letno obdobje 1981–2010. Splošni postopek popravka napak temelji na primerjavi porazdelitev modelskih podatkov in meritev v primerjalnem obdobju ter oceni razlik po kvantilih te porazdelitve. Ocenjene razlike nato služijo kot popravki modelskih podatkov za podnebne projekcije za prihodnost pri izbranem kvantilu (Bertalaní in sod., 2018). Projekcije so bile pripravljene za tri obdobja: 1-bližnja prihodnost: 2011–2040; 2-sredina stoletja: 2041–2070 in 3-daljna prihodnost: 2071–2100 za 6 različnih regionalnih podnebnih modelov za 4 spremenljivke (povprečna, najnižja in najvišja temperatura zraka na 2 m v °C, količina padavin v mm). V preglednici 1 je seznam uporabljenih prilagojenih simulacij za 6 modelov za scenarija RCP4.5 in RCP8.5 ter 2 modela za scenarij RCP2.6.

Nabor rezultatov 6 različnih modelov omogoča vrednotenje modelske negotovosti in opredelitev možnih razponov prihodnjih sprememb. Odkloni meteoroloških spremenljivk so podani za leto in meteorološke letne čase: pomlad (marec, april, maj), poletje (junij, julij, avgust), jesen (september, oktober, november) in zimo (december, januar, februar). Običajni pristop pri obravnavi negotovosti modelskih projekcij vključuje izračun mediane modelov, ki predstavlja oceno reprezentativne vrednosti ansambla, izračun minimalne ter maksimalne vrednosti modelskih rezultatov.

Za analizo niza podnebnih simulacij smo izračunali spremembe za tri 30-letna projekcijska obdobja glede na referenčno obdobje 1981–2010 (izmerjeni podatki) za vsako simulacijo modela RCM. Nato smo sestavili ansambel, kjer so bili člani ansambla simulacije modela RCM (6 članov), in izračunali razpone ansambla (maksi-

Preglednica 1: Seznam prilagojenih simulacij ter oznake modelov (1 do 6) za posamezne RCP scenarije**Table 1:** List of used simulations and models (1 to 6) for individual RCP scenarios

Globalni model	Regionalni model	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
CNRM-CM5	CCLM4		1	1
MPI-ESM-LR	CCLM4		2	2
EC-EARTH	HIRHAM5	1	3	3
IPSL-CM5A-MR	INERIS		4	4
HadGEM2-ES	RACMO22E	2	5	5
MPI-ESM-LR	RCA4		6	6

malna– minimalna vrednost, reprezentativna vrednost je ocenjena z mediano). Spremembe so bile ocenjene na letni ravni in na ravni meteoroloških sezon. Skladnost podnebne ansambla smo ocenili s kazalcem, imenovanim »zanesljivost spremembe«, ki nam pove, ali člani ansambla kažejo podobne spremembe. Kazalnik za zanesljivost podnebnih sprememb je izračunan na podlagi absolutne vrednosti vsote predznakov spremembe za vse modele ansambla, ki kažejo statistično značilno spremembo. Kazalnik je predstavljen v treh stopnjah – velika zanesljivost, nizka zanesljivost in brez sprememb, temelji pa na statistični zanesljivosti izračunanih sprememb. Za vsakega člana ansambla in vsako projekcijsko obdobje smo izračunali Mann-Whitney-Wilcoxonov test in ga združili s predznakom (smerjo) izračunane spremembe. Ničelna hipoteza neparametričnega Mann-Whitney-Wilcoxonovega testa je, da je pri naključni izbiri vrednosti iz prvega vzorca enako verjetno, da je ta vrednost manjša ali večja od naključno izbrane vrednosti drugega vzorca (Bertalančič in sod., 2018).

Podroben opis celotne metodologije, to je izbora klimatskih spremenljivk, izbire EURO-CORDEX RCM simulacij, postopka popravkov napak, interpolacije modelskih simulacij, evaluacije ter analize simulacij sta opisala Honzak in Pogačar (2022).

3 REZULTATI Z DISKUSIJO

3.1 PODNEBNE PROJEKCIJE ZA POREČJE REKE LEDAVE

Vsi trije podnebni scenariji do leta 2100 za porečje Ledave (Slika 1) predvidevajo naraščanje povprečnih letnih temperatur zraka (Tpov), in sicer RCP2.6 za 1,3 °C (razpon 0,7–1,9 °C), RCP4.5 za 1,7 °C (razpon 1,4–2,7 °C) in RCP8.5 za 3,3 °C (razpon 3,0–5,3 °C). V prvih dveh scenarijih Tpov sprva narašča, a se do konca 21. stoletja ustali, pri RCP8.5 pa izrazito narašča tudi v zadnjem obdobju. Če so v prvem in drugem obdobju temperaturna odstopanja od primerjalnega obdobja (1981–2010) med

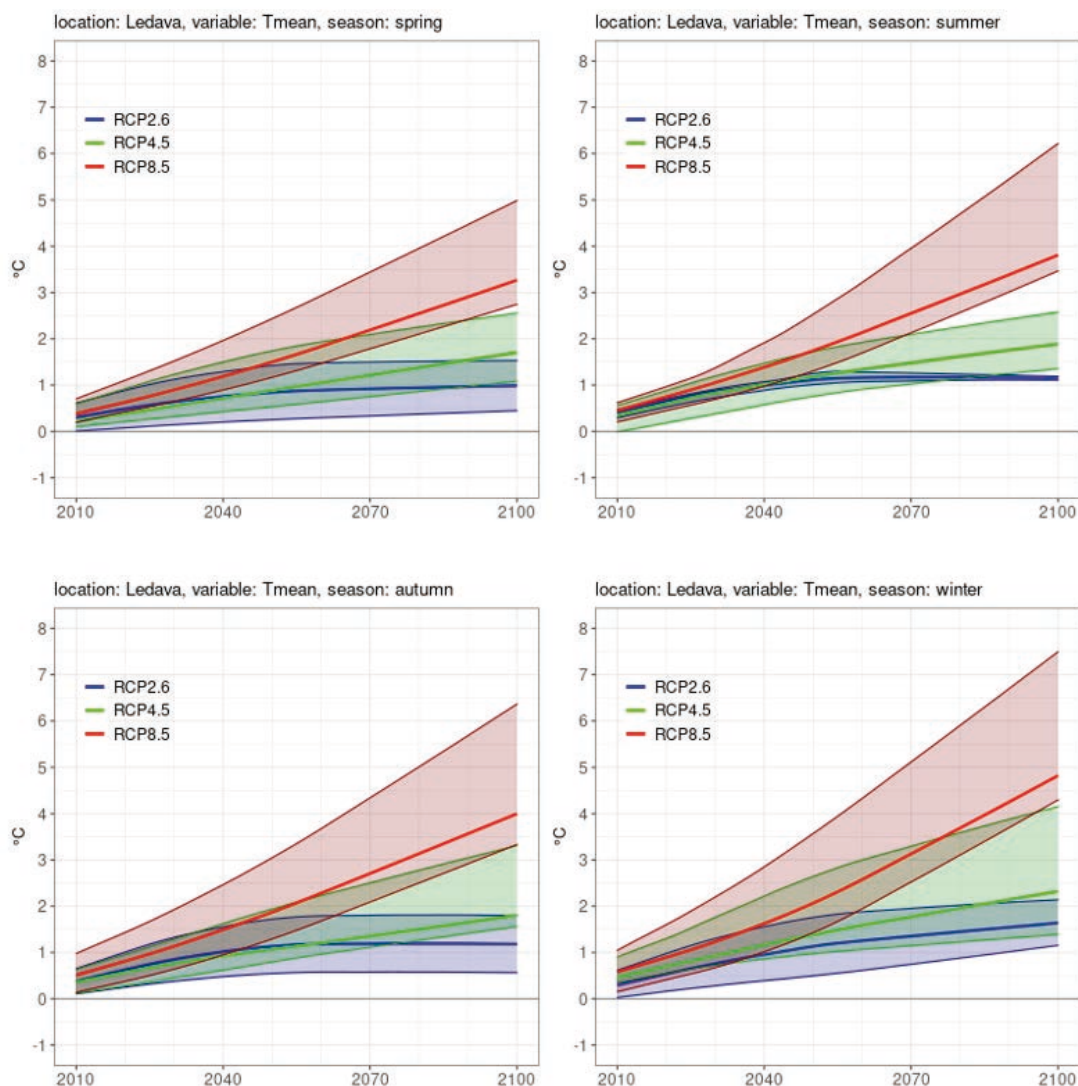
posameznimi scenariji še primerljiva, pa se v zadnjem obdobju (2071–2100) časovni poteki ločijo. Medtem ko projekcije po RCP2.6 in RCP4.5 za to obdobje kažejo dvig Tpov za 1,3 °C in 1,7 °C, pa se izrazitejša sprememba pričakuje po scenariju RCP8.5, ki kaže dvig Tpov za 3,3 °C, s širokim razponom od 3,0 °C do 5,3 °C. Predvideno segrevanje se po letnih časih nekoliko razlikuje (Slika 1). Do konca 21. stoletja naj bi se najbolj segrele zime, projekcija po RCP2.6 kaže povečanje za 1,5 °C, po RCP4.5 za 2,1 °C in po RCP8.5 kar za 4,0 °C. Odstopanje temperature pozimi bo ob koncu stoletja izrazito večje od letnega segrevanja, poletja pa naj bi se v povprečju segrela enako kot leto. Za pomlad kažejo projekcije nekoliko manjše segrevanje od letnega povprečja, od 1,0 °C po RCP2.6 do 2,7 °C po RCP8.5, jesenske temperature pa naj bi se zvišale od 1,1 °C po RCP2.6 do 3,5 °C po RCP8.5. V prvem obdobju (2011–2040) znašajo projekcije dviga temperature po letnih časih v večini primerov od 0,8 °C do 1,0 °C, še največje segrevanje kaže jesen. V drugem obdobju se po RCP2.6 najbolj segrevata poletje in jesen (za 1,3 °C), po RCP4.5 poletje in zima (za 1,4 °C), po RCP8.5 pa je povišanje največje za zimo (2,1 °C) in jesen (2,0 °C).

Tako kot za Tpov modeli tudi za maksimalne temperature (Tmax) kažejo z veliko zanesljivostjo, da se bodo do konca stoletja le-te višale, tako v letnem povprečju kot tudi po sezonah. Letne Tmax se bodo v prvem obdobju povišale za 0,8 °C, enako za vse tri scenarije, za drugo obdobje je pričakovano povišanje Tmax po RCP2.6 za 1,1 °C in po RCP8.5 za 1,6 °C. Večja razpršenost velja za tretje obdobje, ko je povišanje Tmax po RCP2.6 za 1,2 °C, največje odstopanje po RCP8.5 pa znaša 3,2 °C. Vse navedeno so mediane modelskih rezultatov. Pomembne za kmetijstvo so projekcije sprememb ekstremnih temperatur po sezonah. Najmanjše povišanje Tmax kažejo modeli za pomlad, v prvem obdobju ne predvidevajo večjega odklona od 0,8 °C, do konca stoletja pa bi lahko bile Tmax od 1,5 °C (RCP4.5) do 2,6 °C (RCP8.5) višje. Tudi za poletje in jesen se bodo Tmax povišale, vzorec za obe sezoni je precej podoben, poleti je npr. po RCP4.5 sprememba 1,7 °C, najbolj pesimističen scenarij pa kaže za 3,4 °C višje poletne Tmax. Povečanje števila ekstremno

toplih dni se kaže tudi za zimo, do konca stoletja lahko pričakujemo tudi do 4,1 °C višje Tmax, če bi se uresničil scenarij RCP8.5, srednji scenarij RCP4.5 pa kaže 2,2 °C višje Tmax. Zelo podobni kot za Tmax so tudi modelski rezultati za minimalne temperature (Tmin), stopnja zanesljivost je visoka. V letnem povprečju se bodo v prvem obdobju Tmin povišale nekaj manj kot za 1 °C po vseh treh scenarijih, do konca stoletja pa po RCP4.5 za 1,7 °C in po RCP8.5 za 3,4 °C. Pregled po sezonah pokaže, da bo sprememba Tmin najmanjša spomladi, od 1,1 °C po RCP2.6 do 2,7 °C po RCP8.5, izrazitejše povišanje pa ka-

žejo projekcije za zimo, od 1,5 °C po RCP2.6 do 3,9 °C po RCP8.5.

Oceno zanesljivosti spremembe meteoroloških spremenljivk smo podali v treh stopnjah. Visoka stopnja zanesljivosti pomeni, da lahko z veliko verjetnostjo pričakujemo modelirane spremembe. Nizka stopnja zanesljivosti pomeni, da se modelski rezultati med seboj zelo razlikujejo in je verjetnost sprememb v smer naraščanja ali upadanja spremenljivke velika, a ne vemo, v katero smer bo šla. Tretja stopnja zanesljivosti je označena kot 'ni spremembe', pomeni pa, da so spremembe majhne in



Slika 1: Časovni potek odklona T_{pv} po meteoroloških letnih časih z možnimi razponi do konca 21. stoletja za porečje Ledave glede na referenčno obdobje 1981–2010 za tri scenarije izpustov. Srednje črte za posamezen scenarij prikazujejo glajeno mediano modelskih projekcij, zgornji in spodnji rob pa največjo in najmanjšo vrednost

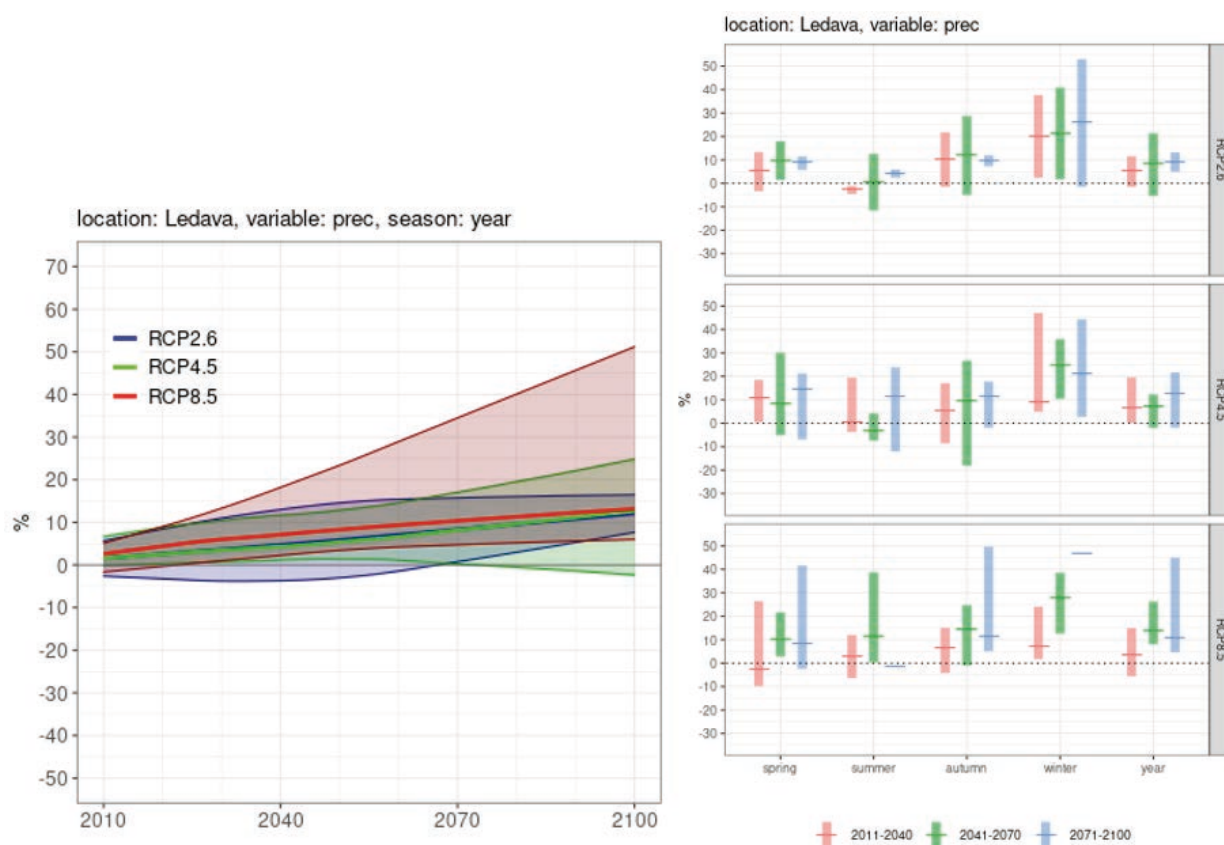
Figure 1: Mean air temperature change projections with possible ranges for the basin of Ledava until the end of the 21st century relative to 1981–2010 for three RCP scenarios by meteorological seasons. The middle lines for each scenario show the smoothed median of the model projections, and the upper and lower bounds show the maximum and minimum value

v okviru naravne spremenljivosti. Zanesljivost spremembe T_{pv} je visoka za vse scenarije in obdobja.

Na Sliki 1 je razvidna asimetričnost porazdelitve povprečne temperature, ki je najbolj izrazita pri scenariju RCP8.5. Številne raziskave so pokazale podobno asimetričnost tako za historične podatke, kot tudi v modelih bodočega podnebja. Povečanje dnevne oblačnosti tekom dneva v toplejšem podnebju je verjetno odgovorno za zmanjšanje dohodnega kratkovalovnega sevanja, kar vpliva na energijsko bilanco prizemne plasti zraka in s tem na večje razlike v spremembi minimalnih temperatur glede na maksimalne, asimetričnost sprememb pa pojasnjujejo tudi s spremenjenimi vzorci padavin ter vsebnostmi vode v tleh (Davy in sod., 2016; Doan in sod., 2022).

V primerjavi s temperaturami zraka so projekcije

padavinskih razmer manj zanesljive. V prvem obdobju je za vse tri scenarije tako na letni skali kot tudi po sezonah stopnja zanesljivosti označena kot 'ni spremembe', kar pomeni, da so projekcije sprememb količine padavin majhne in statistično neznačilne, v okviru naravne spremenljivosti. V 2. in 3. obdobju se kaže porast letnih padavin (Slika 2) z visoko zanesljivostjo po RCP4.5 (6,9 % in 12,6 %) ter RCP8.5 (13,9 % in 10,4 %). Sezonske spremembe v 2. obdobju so opazne le po scenariju RCP8.5, za pomlad je projekcija povečanja količine padavin za okrog 10 %, za jesen za 15 % in za zimo za 28 %; za poletje pa ni statistično značilnih sprememb. Do konca stoletja projekcije kažejo le zanesljive spremembe v zimski količini padavin, ki naj bi se povečala za 21 % po RCP4.5 in za kar 46 % po scenariju RCP8.5.



Slika 2: Levo: Letni časovni potek spremembe količine padavin (v %) z možnimi razponi do konca 21. stoletja za porečje Ledave glede na referenčno obdobje 1981–2010 za tri scenarije izpustov. Srednje črte za posamezen scenarij prikazujejo glajeno mediano modelskih projekcij, zgornji in spodnji rob pa največjo in najmanjšo vrednost; Desno: Povprečni razponi (minimalni, srednji, maksimalni) sprememb količine padavin po meteoroloških letnih časih in letno za tri scenarije. Vodoravna črta v stolpcu prikazuje mediano ansambla modelskih rezultatov, stolpec pa razpon vseh simulacij modelskega ansambla

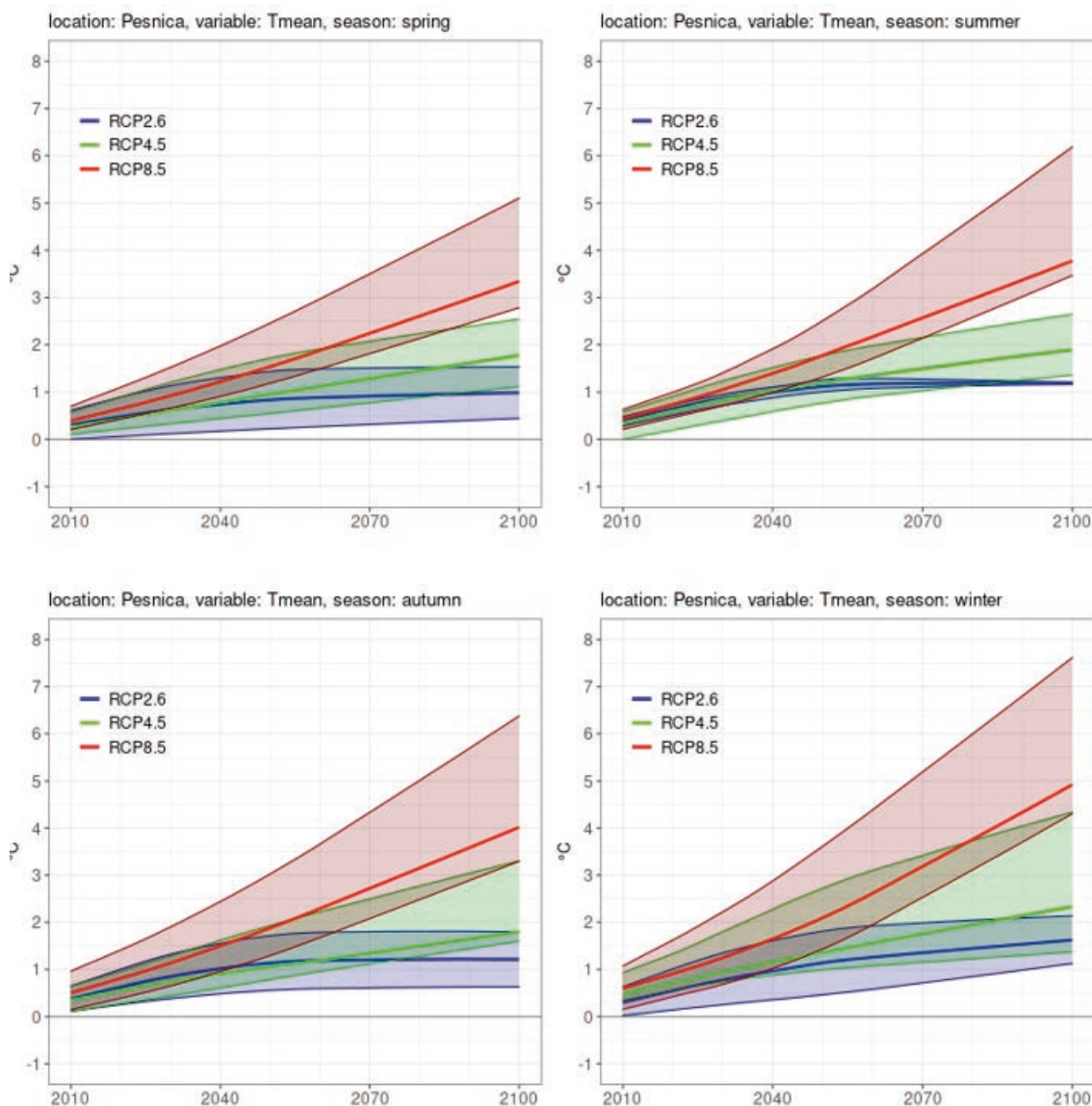
Figure 2: Left: Annual precipitation change (%) projections with possible ranges for the basin of Ledava until the end of the 21st century relative to 1981–2010 for three RCP scenarios. The middle lines for each scenario show the smoothed median of the model projections, and the upper and lower bounds show the maximum and minimum value; Right: Average ranges (minimum, medium, maximum) of precipitation changes by meteorological seasons and annually for three scenarios. The horizontal line in the column shows the ensemble median, and the column shows the range of all simulations of the ensemble models

3.2 PODNEBNE PROJEKCIJE ZA POREČJE REKE PESNICE

Vsi trije podnebni scenariji do leta 2100 za porečje Pesnice predvidevajo naraščanje T_{pov}, in sicer RCP2.6 za 1,3 °C (razpon 0,7–1,9 °C), RCP4.5 za 1,7 °C (razpon 1,4–2,7 °C) in RCP8.5 za 3,3 °C (razpon 3,0–5,4 °C). V prvem scenariju T_{pov} sprva narašča, a se do konca 21. stoletja ustali, pri RCP 4.5 narašča tudi v tretjem obdobju, pri RCP8.5 pa izrazito narašča tudi v zadnjem ob-

dobju. V prvem in drugem obdobju so temperaturna odstopanja od primerjalnega obdobja (1981–2010) med posameznimi scenariji še primerljiva, v zadnjem obdobju (2071–2100) pa se časovni poteki ločijo. Medtem ko projekcije po RCP2.6 in RCP4.5 za to obdobje kažejo dvig T_{pov} za 1,3 °C in 1,7 °C, se izrazitejša sprememba pričakuje po scenariju RCP8.5, ki kaže dvig T_{pov} za 3,3 °C, s širokim razponom od 3,0 °C do 5,4 °C.

Predvideno segrevanje se po letnih časih razlikuje (Slika 3). Do konca 21. stoletja naj bi se najbolj segrele

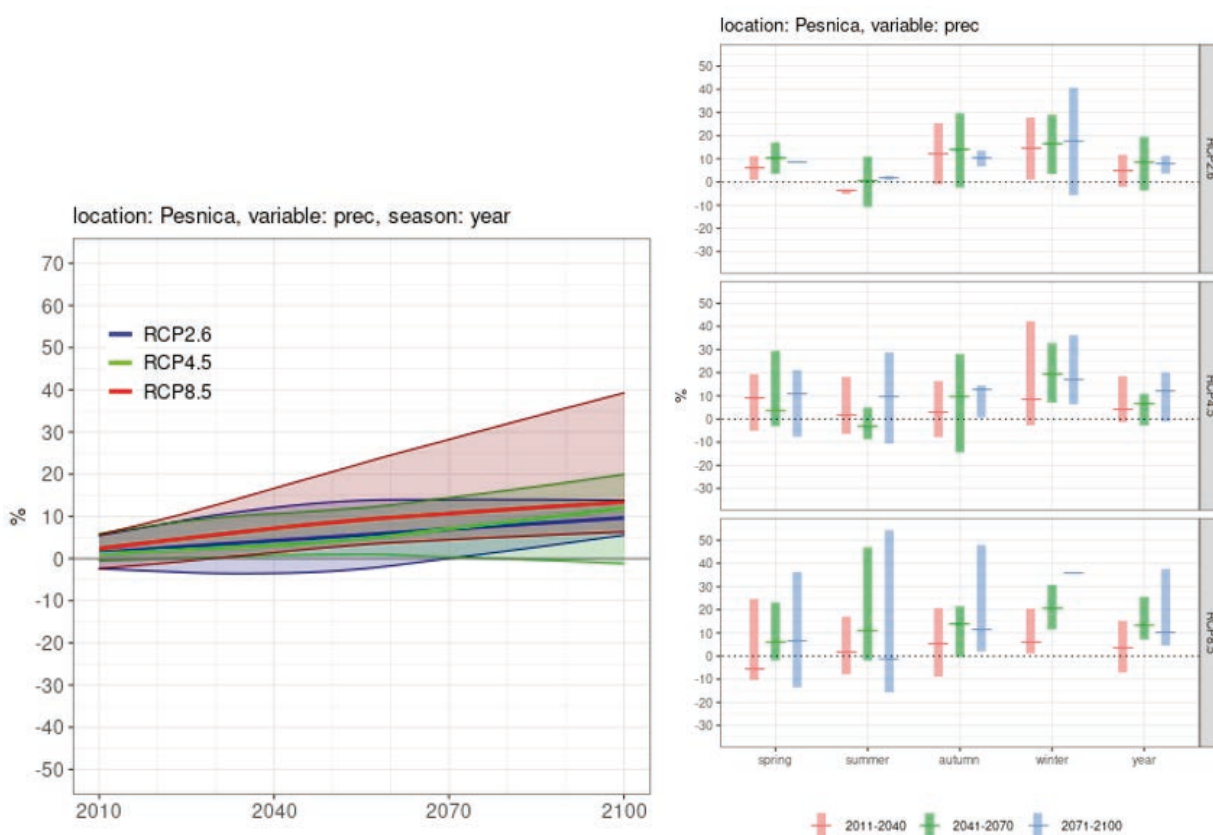


Slika 3: Časovni potek odklona T_{pov} po meteoroloških letnih časih z možnimi razponi do konca 21. stoletja za porečje Pesnice glede na referenčno obdobje 1981–2010 za tri scenarije izpustov. Srednje črte za posamezen scenarij prikazujejo glajeno mediano modelskih projekcij, zgornji in spodnji rob pa največjo in najmanjšo vrednost

Figure 3: Mean air temperature change projections with possible ranges for the basin of Pesnica until the end of the 21st century relative to 1981–2010 for three RCP scenarios by meteorological seasons. The middle lines for each scenario show the smoothed median of the model projections, and the upper and lower bounds show the maximum and minimum value

zime, projekcija po RCP2.6 kaže povečanje za 1,5 °C, po RCP 4.5 za 2,1 °C in po RCP8.5 kar za 4,1 °C. Odstopanje temperature pozimi bo ob koncu stoletja izrazito večje od letnega segrevanja, poletja pa naj bi se v povprečju segrela enako kot leto. Za pomlad kažejo projekcije nekoliko manjše segrevanje od letnega povprečja, od 1,0 °C po RCP2.6 do 2,8 °C po RCP8.5, jesenske temperature bi se naj zvišale od 1,1 °C po RCP2.6 do 3,5 °C po RCP 8.5. V prvem obdobju (2011–2040) znašajo projekcije dviga temperature po letnih časih v večini primerov od 0,8 °C do 1,0 °C, še največje segrevanje kaže jesen. V drugem obdobju se po RCP2.6 najbolj segrevata poletje in jesen (za 1,3 °C), po RCP4.5 poletje za 1,6 °C in zima za 1,4 °C, po RCP8.5 pa je povišanje največje za zimo in jesen (2,0 °C). Zanesljivost spremembe T_{pov} je visoka za vse scenarije in obdobja.

Projekcije tudi za T_{max} kažejo z veliko zanesljivostjo, da se bodo do konca stoletja le-te višale, tako v letnem povprečju kot tudi po sezonah. Letne T_{max} se bodo v prvem obdobju povišale za 0,8 °C, enako za vse tri scenarije, za drugo obdobje je pričakovano povišanje T_{max} po RCP2.6 1,1 °C in po RCP8.5 1,6 °C. Večja razpršenost velja za tretje obdobje, ko je povišanje T_{max} po RCP2.6 1,2 °C, največje odstopanje po RCP8.5 pa znaša 3,2 °C. Vse navedeno so mediane modelskih rezultatov. Najmanjše povišanje T_{max} kažejo projekcije za pomlad, v prvem obdobju ne predvidevajo večjega odklona od 0,8 °C, do konca stoletja pa bi lahko bile T_{max} od 1,5 °C (RCP4.5) do 2,7 °C (RCP8.5) višje. Tudi za poletje in jesen se bodo T_{max} povišale, vzorec za obe sezoni je precej podoben, poleti je npr. po RCP2.6 sprememba 1,2 °C, po RCP4.5 1,7 °C, najbolj pesimističen scenarij pa kaže za



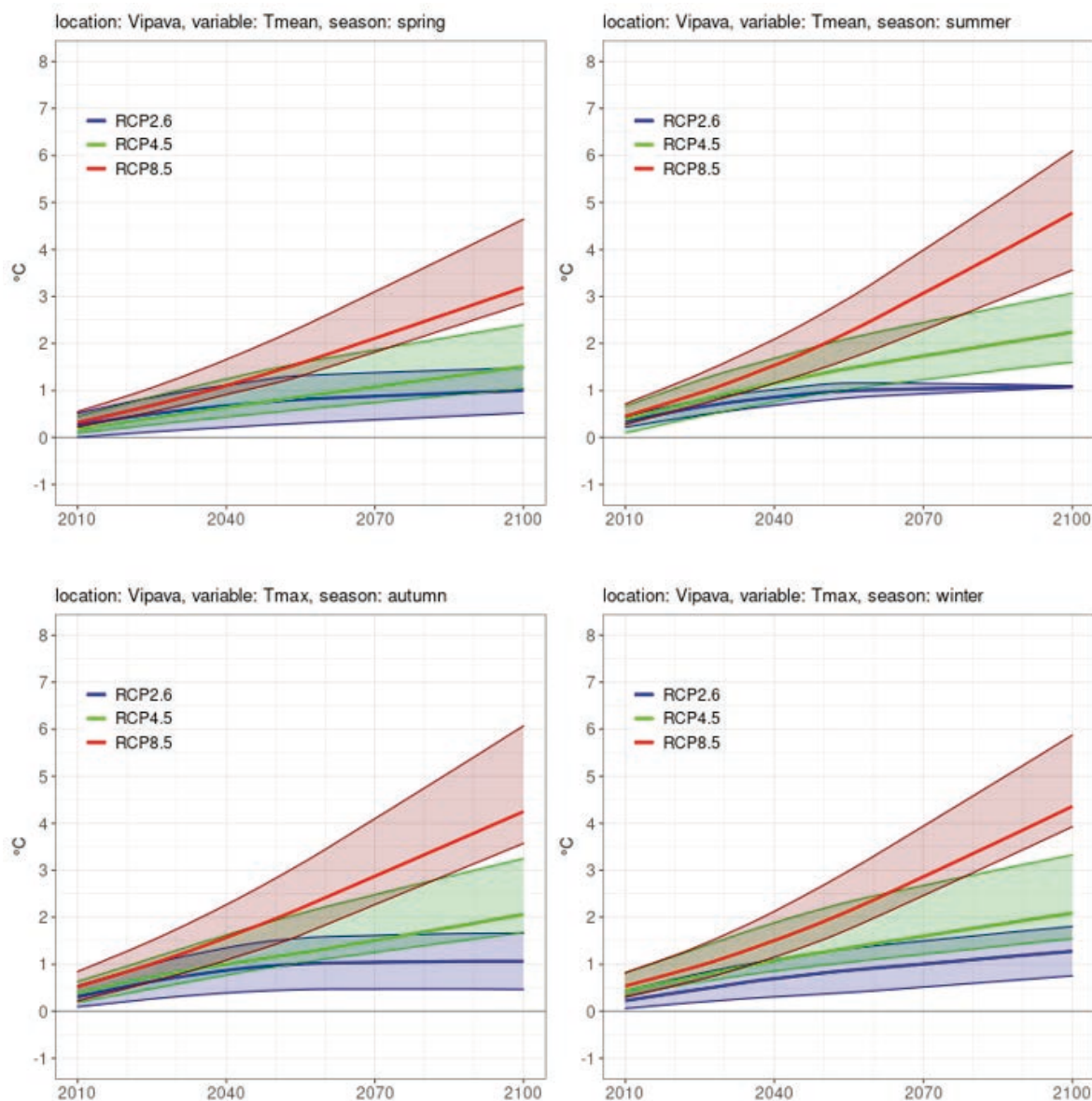
Slika 4: Levo: Letni časovni potek spremembe količine padavin (v %) z možnimi razponi do konca 21. stoletja za porečje Pesnice glede na referenčno obdobje 1981–2010 za tri scenarije izpustov. Srednje črte za posamezen scenarij prikazujejo glajeno mediano modelskih projekcij, zgornji in spodnji rob pa največjo in najmanjšo vrednost; Desno: Povprečni razponi (minimalni, srednji, maksimalni) sprememb količine padavin po meteoroloških letnih časih in letno za tri scenarije. Vodoravna črta v stolpcu prikazuje mediano ansambla modelskih rezultatov, stolpec pa razpon vseh simulacij modelskega ansambla

Figure 4: Left: Annual precipitation change (%) projections with possible ranges for the basin of Pesnica until the end of the 21st century relative to 1981–2010 for three RCP scenarios. The middle lines for each scenario show the smoothed median of the model projections, and the upper and lower bounds show the maximum and minimum value; Right: Average ranges (minimum, medium, maximum) of precipitation changes by meteorological seasons and annually for three scenarios. The horizontal line in the column shows the ensemble median, and the column shows the range of all simulations of the ensemble models

3,4 °C višje poletne Tmax. Povečanje števila ekstremno toplih dni se kaže tudi za zimo, do konca stoletja lahko pričakujemo tudi do 4,1 °C višje Tmax, če bi se uresničil scenarij RCP8.5, srednji scenarij RCP4.5 pa kaže 2,2 °C višje Tmax in najbolj optimističen scenarij povišanje za 1,5 °C. Zelo podobni kot za Tmax so tudi modelski rezultati za Tmin, stopnja zanesljivosti je visoka. V letnem povprečju se bodo v prvem obdobju Tmin povišale nekaj manj kot za 1 °C po vseh treh scenarijih (0,8 do 0,9 °C),

do konca stoletja pa po RCP4.5 za 1,7 °C in po RCP8.5 za 3,4 °C. Pregled po sezonah pokaže, da bo sprememba Tmin najmanjša pomladi, od 1,1 °C po RCP2.6 do 2,8 °C po RCP8.5, izrazitejše povišanje pa kažejo projekcije za zimo, od 1,6 °C po RCP2.6 do 4,0 °C po RCP8.5. Jeseni in poleti so projekcije povišanja Tmin zelo podobne, od 1,2 °C po RCP2.6 do 3,4 °C po RCP8.5.

V prvem obdobju je za vse tri scenarije tako na letni skali kot tudi po sezonah stopnja zanesljivosti označena



Slika 5: Časovni potek odklona T_{pv} po meteoroloških letnih časih z možnimi razponi do konca 21. stoletja za porečje Vipave glede na referenčno obdobje 1981–2010 za tri scenarije izpustov. Srednje črte za posamezen scenarij prikazujejo glajeno mediano modelskih projekcij, zgornji in spodnji rob pa največjo in najmanjšo vrednost

Figure 5: Mean air temperature change projections with possible ranges for the basin of Vipava until the end of the 21st century relative to 1981–2010 for three RCP scenarios by meteorological seasons. The middle lines for each scenario show the smoothed median of the model projections, and the upper and lower bounds show the maximum and minimum value

kot 'ni spremembe', kar pomeni, da so projekcije sprememb količine padavin majhne in statistično neznačilne, v okviru naravne spremenljivosti. V 2. obdobju se kaže porast letnih padavin z visoko zanesljivostjo po RCP8.5 (12,8 %), v 3. obdobju pa prav tako z visoko zanesljivostjo porast padavin po RCP4.5 (12,1 %) in RCP8.5 (10 %). Sezonske spremembe v 2. obdobju so opazne le po scenariju RCP8.5, za jesen je projekcija povečanja količine padavin za okrog 14 %, za zimo 20 %, za poletje in pomlad pa ni statistično značilnih sprememb (Slika 4). Do konca stoletja projekcije kažejo le zanesljive spremembe v zimski količini padavin, ki bi se naj povečala po RCP4.5 scenariju za okrog 17 % in po RCP8.5 za 35,5 %, scenarij RCP4.5 pa za to obdobje z veliko zanesljivostjo kaže tudi, da bi se naj za okrog 10 % povečale poletne padavine.

3.3 PODNEBNE PROJEKCIJE ZA POREČJE REKE VIPAVE

Vsi trije scenariji do leta 2100 za porečje Vipave predvidevajo naraščanje T_{pov} , in sicer RCP2.6 za 1,2 °C (razpon 0,6–1,7 °C), RCP4.5 za 1,7 °C (razpon 1,4–2,5 °C) in RCP8.5 za 3,5 °C (razpon 2,9–4,9 °C). V prvem scenariju T_{pov} sprva narašča, a se do konca 21. stoletja nekoliko ustali, pri RCP 4.5 narašča tudi v zadnjem obdobju, pri RCP8.5 pa izrazito narašča tudi v zadnjem obdobju. V prvem in drugem obdobju so temperaturna odstopanja od primerjalnega obdobja (1981–2010) med posameznimi scenariji primerljiva, v zadnjem obdobju (2071–2100) se časovni poteki ločijo, še posebej pri scenariju RCP8.5. Medtem ko projekcije po RCP2.6 in RCP4.5 za to obdobje kažejo dvig T_{pov} za 1,2 °C in 1,7 °C, se izrazitejša sprememba pričakuje po scenariju RCP8.5, ki kaže dvig T_{pov} za 3,5 °C, z razponom od 2,9 °C do 4,9 °C.

Do konca 21. stoletja naj bi se najbolj segrele zime, projekcija po RCP2.6 kaže povečanje za 1,3 °C, po RCP4.5 za 1,9 °C in po RCP8.5 za 3,7 °C (Slika 5). Odstopanje temperature pozimi bo ob koncu stoletja zelo podobno letnemu segrevanju, enako kažejo scenariji tudi za jesen. Poletja naj bi se v povprečju segrela podobno kot leto v povprečju po RCP2.6 scenariju, po RCP4.5 in RCP8.5 kažejo projekcije ob koncu stoletja 1,9 °C oziroma 3,8 °C višje poletne temperature. Za pomlad kažejo projekcije nekoliko manjše segrevanje od letnega povprečja, od 1,0 °C po RCP2.6 do 2,7 °C po RCP8.5. V prvem obdobju (2011–2040) znašajo projekcije dviga temperature za pomlad od 0,4 °C do 0,7 °C, za zimo od 0,6 °C do 0,8 °C, za poletje od 0,8 °C do 0,9 °C, še največje segrevanje, za 0,8 °C do 1,0 °C, kažejo projekcije za jesen. V drugem obdobju se po RCP2.6 najbolj segrevata poletje (za 1,2 °C) in zima (za 1,3 °C), po RCP4.5 poletje in zima enako, za

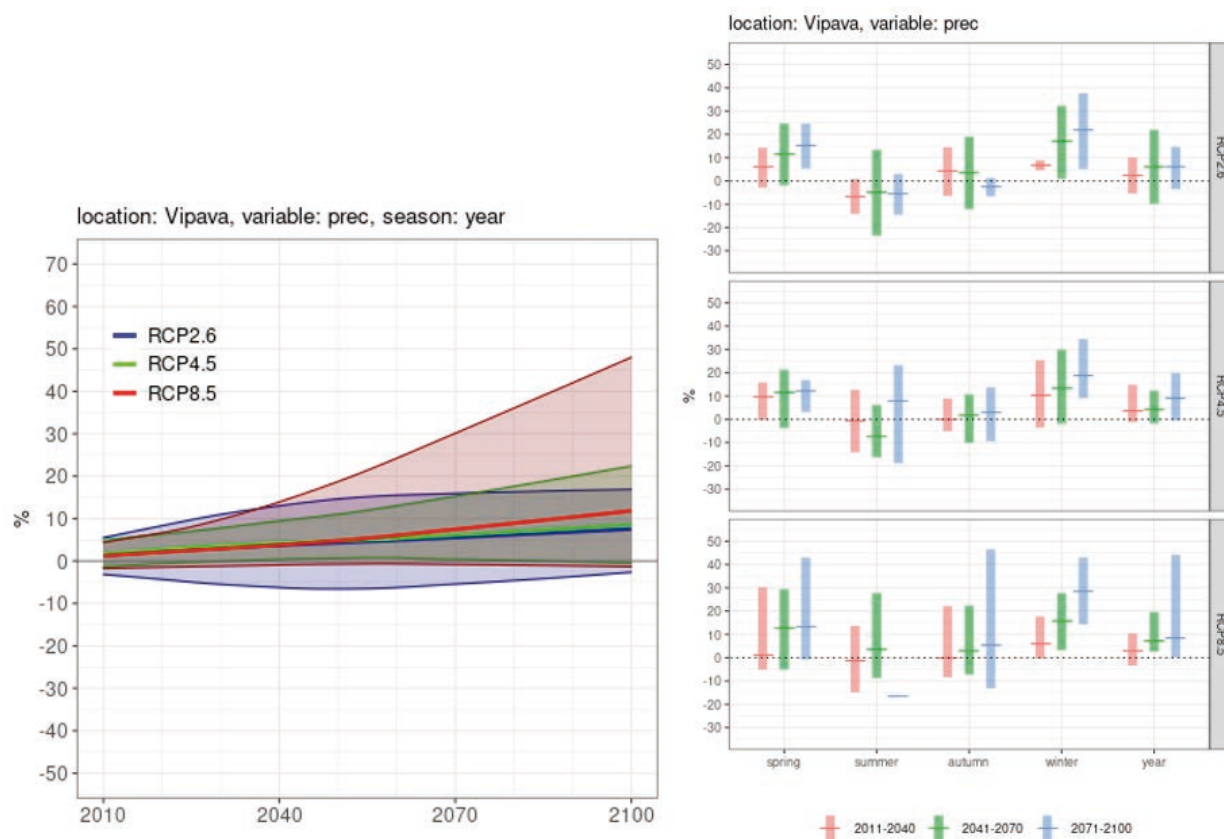
1,9 °C, prav tako po RCP8.5 projekcije kažejo največje spremembe za poletje (3,8 °C) in zimo (3,7 °C). Zanesljivost temperaturnih sprememb je visoka za vse scenarije in obdobja.

Projekcije tudi za T_{max} kažejo z veliko zanesljivostjo, da se bodo do konca stoletja le-te višale, tako v letnem povprečju kot tudi po sezonah. Letne T_{max} se bodo v prvem obdobju povišale za 0,7 °C po RCP2.6 scenariju in 0,8 °C po ostalih dveh scenarijih. Za drugo obdobje je pričakovano povišanje T_{max} po RCP2.6 0,9 °C in po RCP8.5 1,9 °C. Večja razpršenost velja za tretje obdobje, ko projekcije T_{max} po RCP2.6 kažejo povišanje za 1,1 °C, največje odstopanje po RCP8.5 pa znaša 3,6 °C. Vse navedeno so mediane modelskih rezultatov. Najmanjše povišanje T_{max} kažejo projekcije za pomlad, v prvem obdobju ne predvidevajo večjega odklona od 0,6 °C, do konca stoletja pa bi lahko bile T_{max} od 0,9 °C (RCP4.5) do 2,6 °C (RCP8.5) višje. Tudi za poletje in jesen se bodo T_{max} povišale, vzorec za obe sezoni je precej podoben, poleti je npr. do konca stoletja po RCP2.6 sprememba 1,0 °C (jesen 1,1 °C), po RCP4.5 1,8 °C (jesen enako), najbolj pesimističen scenarij pa kaže kar za 4,0 °C višje poletne T_{max} (za jesen 3,7 °C). Povečanje števila ekstremno toplih dni se kaže tudi za zimo, do konca stoletja lahko pričakujemo tudi do 3,7 °C višje T_{max} , če bi se uresničil scenarij RCP8.5, srednji scenarij RCP4.5 pa kaže 1,9 °C višje T_{max} in najbolj optimističen scenarij povišanje za 1,2 °C. V letnem povprečju projekcije v prvem obdobju kažejo povišanje T_{min} manj kot za 1 °C po vseh treh scenarijih (0,7 do 0,8 °C), do konca stoletja pa po RCP2.6 za 1,2 °C, po RCP4.5 za 1,7 °C in po RCP8.5 za 3,5 °C. Pregled po sezonah pokaže, da bo sprememba T_{min} najmanjša pomladi, od 1,0 °C po RCP2.6 do 2,7 °C po RCP8.5. Po scenariju RCP8.5 kažejo projekcije do konca stoletja zvišanje T_{min} za poletje za 3,8 °C, nekoliko manj za jesen (3,6 °C) in zimo (3,5 °C). Ostala dva scenarija kažeta večje spremembe za zimo, projekcije po RCP2.6 kažejo do konca stoletja 1,3 °C višje in po RCP4.5 1,9 °C višje zimske T_{min} .

Za padavine je v prvem obdobju za vse tri scenarije tako na letni skali kot tudi po sezonah stopnja zanesljivosti označena kot 'ni spremembe', kar pomeni, da so projekcije sprememb količine padavin majhne in statistično neznačilne, v okviru naravne spremenljivosti. Do konca stoletja projekcije kažejo z visoko zanesljivostjo porast letnih količin padavin po RCP8.5 (8,5 %) in po RCP4.5 (9,1 %).

Sezonske spremembe so opazne le po scenariju RCP8.5, za pomlad je v 2. obdobju projekcija povečanja količine padavin za okrog 13 %, za zimo v 3. obdobju 29 %, za poletje in jesen pa projekcije ne pokažejo statistično značilnih sprememb (Slika 6).

Med porečjema Ledave in Pesnice pri projekci-



Slika 6: Levo: Letni časovni potek spremembe količine padavin (v %) z možnimi razponi do konca 21. stoletja za porečje Vipave glede na referenčno obdobje 1981–2010 za tri scenarije izpustov. Srednje črte za posamezen scenarij prikazujejo glajeno mediano modelskih projekcij, zgornji in spodnji rob pa največjo in najmanjšo vrednost; Desno: Povprečni razponi (minimalni, srednji, maksimalni) sprememb količine padavin po meteoroloških letnih časih in letno za tri scenarije. Vodoravna črta v stolpcu prikazuje mediano ansambla modelskih rezultatov, stolpec pa razpon vseh simulacij modelskega ansambla

Figure 6: Left: Annual precipitation change (%) projections with possible ranges for the basin of Vipava until the end of the 21st century relative to 1981–2010 for three RCP scenarios. The middle lines for each scenario show the smoothed median of the model projections, and the upper and lower bounds show the maximum and minimum value; Right: Average ranges (minimum, medium, maximum) of precipitation changes by meteorological seasons and annually for three scenarios. The horizontal line in the column shows the ensemble median, and the column shows the range of all simulations of the ensemble models

jah sprememb povprečnih letnih temperatur ob koncu stoletja ni opaznih razlik, minimalne so le pri scenariju RCP8.5. Projekcije spremembe padavin na letni ravni kažejo nekoliko manjše spremembe v količini padavin za porečje Pesnice glede na porečje Ledave. Razlike niso statistično značilne, za scenarij RCP2.6 pa so spremembe majhne in v okviru naravne spremenljivosti. Slovenija je tako kot velik del Evrope v prihodnosti v prehodnem območju med bolj vlažnim severnim in bolj suhim južnim podnebjem, zato se podnebni modeli pogosto ne ujemajo glede znaka spremembe, zanesljivost projekcij pa je majhna (Sperna Weiland in sod., 2021). Nekoliko opaznejše so razlike projekcij sprememb temperature za porečje reke Vipave glede na ostali dve obravnavani porečji. Pri scenariju RCP8.5 so spremembe tako za T_{pov} kot tudi T_{min} in T_{max} v porečju Vipave nekoliko večje,

po tem scenariju je sprememba T_{max} ob koncu stoletja za $0,4^{\circ}\text{C}$ večja kot v porečjih Ledave in Pesnice. Tudi dosedanje raziskave so že pokazale, da so bile najizrazitejše spremembe podnebja v zadnjih desetletjih v poletnem času v delu južne in jugozahodne Slovenije (Bertalanč in sod., 2018). Količina padavin se bo po vseh treh scenarijih povečala na letni ravni v porečju Vipave nekoliko manj kot v porečjih Ledave in Pesnice, razlike so zelo majhne, spet pa velja, da so projekcije sprememb količine padavin glede na temperature manj zanesljive. Primerjava za vsa tri porečja kaže, da bi nekoliko višje spremembe temperature in manjše povečanje količine padavin v porečju Vipave lahko imele večji negativni vpliv na kmetijstvo v primerjavi z ostalima dvema porečjema.

Po usklajenosti podnebnih modelov in s tem zanesljivosti se izrazito ločijo projekcije temperature zraka in

Preglednica 2: Primerjava odklonov (mediana, v oklepajih razponi) letnih povprečnih (Tpov), najnižjih (Tmin), najvišjih (Tmax) temperatur zraka ter letnih količin padavin za obdobje 2071–2100 po porečjih

Table 2: Comparison of deviations (median, ranges in parentheses) of annual average (Tpov), minimum (Tmin), maximum (Tmax) air temperatures and annual precipitation amounts for the period 2071–2100 by the river basins

Spremenljivka/scenarij	porečje Ledave	porečje Pesnice	porečje Vipave
Tpov			
RCP2.6	1,3 °C (0,7–1,9)	1,3 °C (0,7–1,9)	1,2 °C (0,6–1,7)
RCP4.5	1,7 °C (1,4–2,7)	1,7 °C (1,4–2,7)	1,7 °C (1,4–2,5)
RCP8.5	3,3 °C (3,0–5,3)	3,3 °C (3,0–5,4)	3,5 °C (2,9–4,9)
Tmin			
RCP2.6	1,3 °C (0,7–1,9)	1,3 °C (0,7–1,9)	1,2 °C (0,6–1,7)
RCP4.5	1,7 °C (1,4–2,8)	1,7 °C (1,4–2,8)	1,7 °C (1,4–2,5)
RCP8.5	3,4 °C (3,1–5,4)	3,4 °C (3,1–5,5)	3,5 °C (2,9–4,9)
Tmax			
RCP2.6	1,2 °C (0,6–1,7)	1,2 °C (0,6–1,7)	1,1 °C (0,6–1,5)
RCP4.5	1,7 °C (1,4–2,6)	1,7 °C (1,3–2,6)	1,8 °C (1,4–2,4)
RCP8.5	3,2 °C (2,9–5,2)	3,2 °C (3,0–5,3)	3,6 °C (2,9–4,8)
Padavine			
RCP2.6	9,0 % (4,9–13,1) ¹	7,4 % (3,6–11,3) ¹	5,6 % (-3,5–14,6) ¹
RCP4.5	12,6 % (-1,9–21,6)	12,1 % (-1,1–20,1)	9,1 % (-0,4–19,9)
RCP8.5	10,4 % (4,6–45,0)	10,0 % (4,6–37,7)	8,5 % (0,2–44,2)

¹ stopnja zanesljivosti 'ni spremembe': spremembe so majhne in v okviru naravne spremenljivosti, za vse ostale projekcije je stopnja zanesljivosti visoka

padavin. Projekcije temperatur zraka so zelo zanesljive, modeli med seboj kažejo dobro ujemanje. Kot pri dosedanjih trendih temperature zraka v Sloveniji (Dolinar in sod., 2018; Berkely Earth, 2023), ki močno presegajo globalni trend (IPCC, 2023), velja enako tudi za projekcije za prihodnost. Pri padavinah dosednji trendi v Sloveniji niso statistično značilni (ARSO, 2021), skladno z lego Slovenije na prehodnem območju med severnim in južnim delom Evrope (ICPDR, 2019). Tako je tudi veliko projekcij padavin nezanesljivih ali ne kažejo spremembe, prav tako v skladu s projekcijami za Evropo (Probst in Mauser, 2023; Sperna Weiland in sod., 2021).

4 SKLEPI

Analiza ansambla modelskih simulacij za RCP4.5 in RCP8.5 kaže zelo podobne rezultate za porečje rek Ledave, Pesnice in Vipave, in sicer naraščanje temperature (največ pozimi, najmanj spomladi) in naraščanje letne količine padavin zaradi dviga pozimi. Podobno lahko vidimo pri projekcijah za celotno Slovenijo ali posamezne regije, vendar pa za uporabo v različnih modelih potrebujemo specifične projekcije na manjši prostorski skali,

kot so predstavljene za povodja. Pri projekcijah podnebnih sprememb je vedno prisotna negotovost, ki jo moramo upoštevati pri razlagi rezultatov. Nikoli ne govorimo o posamezni vrednosti spremembe, temveč o razponu, ki ga nakazuje nabor različnih podnebnih modelov, poleg tega uporabljamo oznake zanesljivosti. Previdni smo, da absolutne vrednosti za prihodnost uporabljamo le, ko imajo projekcije narejene popravke napak, v nasprotnem primeru pa govorimo o relativnih spremembah. Pomembno je, da se strokovna in splošna javnost zaveda, da je uporaba projekcij podnebnih sprememb s strokovno razlago nujna pri določanju ranljivosti nekega območja in grajenju odpornosti z uvajanjem ukrepov prilagajanja na podnebne spremembe ter da so projekcije v veliki meri na voljo na ARSO, mogoče pa je pripraviti tudi bolj specifične rezultate. Zaenkrat se za akcijske načrte prilagajanja na podnebne spremembe odločajo posamezne občine, slediti pa jim bodo morale vse ostale in Slovenija s celostno usmerjenostjo v odpornejšo družbo.

5 ZAHVALA

Raziskava je bila finančno podprta s strani ARRS,

javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije s pogodbo L4-2625. Zahvaljujemo se doc. dr. Matjažu Glavanu in prof. dr. Marini Pintar za vodenje projekta.

6 VIRI

- ARSO. (2021). Podnebne spremembe 2021, fizikalne osnove in stanje v Sloveniji. *Poročilo IPCC 2021, povzetek za odločevalce z dodanim opisom stanja v Sloveniji*. Urad za meteorologijo, hidrologijo in oceanografijo. Pridobljeno s https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/2021_11-Poro%C4%8Dilo%20IPPC%20Podnebje%202021.pdf
- ARSO. (2023). *Arhiv hidroloških podatkov*. Pridobljeno s <https://vode.arso.gov.si/hidarhiv/index.php>
- Berkley Earth. (2023). *Global warming*. Pridobljeno s <https://berkeleyearth.org>
- Bertalančič, R., Dolinar, M., Draksler, A., Honzak, L., Kobold, M., Kozjek, K., ... Žust, A. (2018). *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja, Sintezno poročilo – 1. del*. ARSO. Pridobljeno s https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/OPS21_Porocilo.pdf
- Boyko, O., Reggiani, P., Todini, E. (2022). Post-processing climate projections of precipitation for the Po river basin: will Italy's North become water-constrained? *Hydrology Research*, 53(11), 1414. <https://doi.org/10.2166/nh.2022.063>
- Cvejič, R., Černič-Istenič, M., Honzak, L., Pečan, U., Železnikar, Š., Pintar, M. (2020). Farmers try to improve their irrigation practices by using daily irrigation recommendations—The Vipava Valley Case, Slovenia. *Agronomy*, 10, 1238. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091238>
- Davy, R., Esau, I., Chernokulsky, A., Outten, S., Zilitinkevich, S. (2016). Diurnal asymmetry to the observed global warming. *International Journal of Climatology*, 37(1), 79–93. <https://doi.org/10.1002/joc.4688>
- Doan, Q., Chen, F., Asano, Y., Gu, Y., Nishi, A., Kusaka, H., Niyogi, D. (2022). Causes for asymmetric warming of sub-diurnal temperature responding to global warming. *Geophysical Research Letters*, 49, 20. e2022GL100029, <https://doi.org/10.1029/2022GL100029>
- Dolinar, M., Gregorič, G., Honzak, L., Sušnik, A., Vlahović, Ž., Žust, A. (2018). *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: Povzetek dejavnikov okolja z vplivom na kmetijstvo in gozdarstvo*. ARSO. Pridobljeno s <https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/povzetek-podnebnih-sprememb-agro.pdf>
- Filmon, G.G. (2022). *The impact of climate induced change in flood characteristics on flood damage*. Magistrsko delo. Ljubljana, FGG-Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 56 str. Pridobljeno s <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=140360>
- Hillier, J.K., Matthews, T., Wilby, R.L., Murphy, C. (2020). Multi-hazard dependencies can increase or decrease risk. *Nature Climate Change*, 10, 595–598. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0832-y>
- Honzak, L., in Pogačar, T. (2022). *Climate scenarios for integrated modelling*. Deliverable D3.1 EU Horizon 2020 OPTAIN Project, Grant agreement No. 862756. Pridobljeno s <https://www.optain.eu/deliverables#scientific>
- IEA. (2022). *Climate Resilience Policy Indicator*, IEA, Paris. Dostopno na <https://www.iea.org/reports/climate-resilience-policy-indicator>, Licence: CC BY 4.0
- ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River. (2019). *Climate Change Adaptation Strategy*. ICPDR River basin Management Expert Group and Ludwig-Maximilians-University Munich, Department of Geography. Mauser, W., Stolz, R., Weber, M. (Eds.). Pridobljeno s www.icpdr.org
- IPCC. (2023). Summary for Policymakers. V: *Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, Lee, H., Romero J. (Eds.). IPCC, Geneva, Switzerland. Pridobljeno s https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegria, ... Rama, B. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK in New York, NY, USA, 3056 pp. doi:10.1017/9781009325844
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, D. et al. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, pp. 3–24. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Bössing Christensen, O., Bouwer, L.M., ... Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14, 2. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Lawrence, J., Blackett, P., Cradock-Henry, N.A. (2020). Cascading climate change impacts and implications. *Climate Risk Management*, 29, 100234. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2020.100234>
- Lesk, C., Anderson, W., Rigden, A., Coast, O., Jägermeyr, J., McDermid, S., ... Konar, M. (2022). Compound heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3, 872–889. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00368-8>
- Miró, J.J., Estrela, M.J., Olcina-Cantos, J., Martín-Vide, J. (2021). Future projection of precipitation changes in the Júcar and Segura river basins (Iberian Peninsula) by CMIP5 GCMs local downscaling. *Atmosphere*, 12, 879. <https://doi.org/10.3390/atmos12070879>
- Olefs, M., Formayer, H., Gobiet, A., Marke, T., Schöner, W., Revesz, M. (2021). Past and future changes of the Austrian climate – Importance for tourism. *Journal of Outdoor Rec-*

- reation and Tourism, 34, 100395. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100395>
- Pinke, Z., in Lövei, G.L. (2017). Increasing temperature cuts back crop yields in Hungary over the last 90 years. *Global Change Biology*, 23, 5426–5435. <https://doi.org/10.1111/gcb.13808>
- Probst, E., in Mauser, W. (2023). Climate change impacts on water resources in the Danube river basin: A hydrological modelling study using EURO-CORDEX climate scenarios. *Water*, 15, 8. <https://doi.org/10.3390/w15010008>
- Ribeiro, A.F.S., Rusco, A., Gouveia, C.M., Pascoa, P., Zscheischler, J. (2020). Risk of crop failure due to compound dry and hot extremes estimated with nested copulas. *Biogeosciences*, 17, 4815–4830. <https://doi.org/10.5194/bg-17-4815-2020>
- Simpson, N.P., Mach, K.J., Constable, A., Hess, J., Hogarth, R., Howden, M., ... Trisos, C.H. (2021). A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth*, 4(4), 489–501. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.03.005>
- Spurna Weiland, F.C., Visser, R.D., Greve, P., Bisselink, B., Brunner, L., Weerts, A.H. (2021). Estimating Regionalized Hydrological Impacts of Climate Change Over Europe by Performance-Based Weighting of CORDEX Projections. *Frontiers in Water*, 3, 713537. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.713537>
- Straffelini, E., in Tarolli, P. (2023). Climate change-induced aridity is affecting agriculture in Northeast Italy. *Agricultural Systems*, 208, 103647. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103647>
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... Rose, S.K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climate Change*, 109, 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Vertačnik, G., Bertalančič, R., Draksler, A., Dolinar, M., Vlahović, Ž., Frantar, P. (2018). *Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011: Povzetek*. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 22 str. Pridobljeno s <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/change/>
- Zlatanović, N. 2022. Climate Change Study Hydrological Assessment Report. *Interreg, Danube Transnational Programme DTP3-308-2.3- lifelineMDD*. Pridobljeno s https://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/52/2d546e7ce0e9b25bd98398b180843ebfbb0e8ace.pdf