

Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja

Povzetek



UVOD

Segrevanje podnebne sistema in s tem povezane podnebne spremembe so fizikalno izmerjeno dejstvo. Človekov vpliv na podnebni sistem je jasen, mnogih opazovanih sprememb v zadnjem stoletju zgolj naravni dejavniki namreč ne morejo pojasniti.

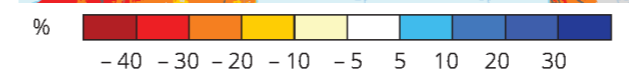
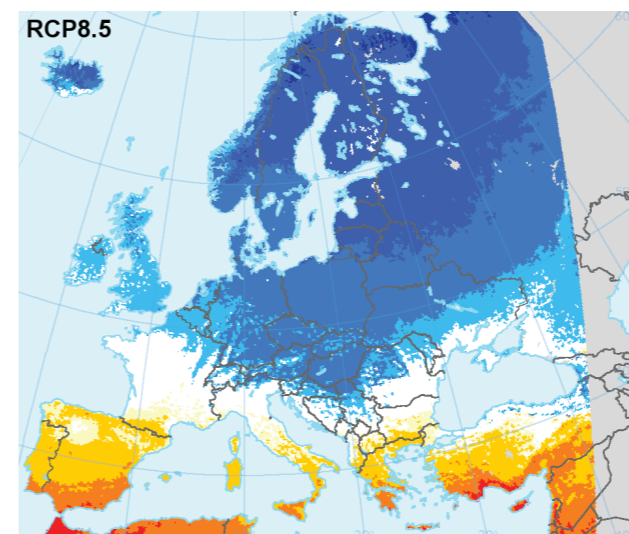
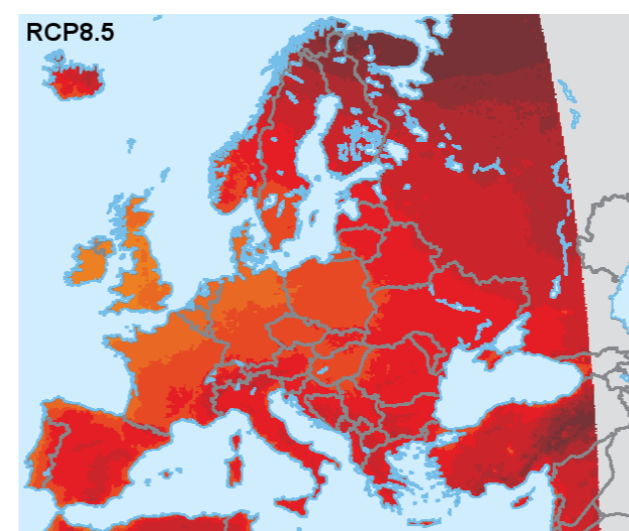
Medvladni odbor za podnebne spremembe (IPCC), ki deluje pod okriljem Svetovne meteorološke organizacije (SMO) in Okoljskega programa Združenih narodov (UNEP), navaja, da je vpliv človeka zelo verjetno prevladujoči vzrok za opazno segrevanje od sredine 20. stoletja. Razviden je predvsem iz naraščajočih koncentracij toplogrednih plinov v ozračju, ki s procesom toplogrednega učinka zadržujejo toploto in segrevajo Zemljino površje.

Nedavne spremembe podnebja obsežno vplivajo na človeške in naravne sisteme. Posledice se odražajo

na gospodarskih dejavnostih, ki so v večji meri odvisne od naravnega okolja, med njimi kmetijstvo, gozdarstvo, energetika, turizem, promet, gradbeništvo, finančni sektor in zavarovalništvo. Poleg gospodarstva so spremembam močno podvrženi naravni ekosistemi, vodni viri in človeško zdravje. Večina vplivov sprememb, ki se bodo nadaljevale še več desetletij, je negativnih. Njihove razsežnosti v drugi polovici 21. stoletja so odvisne od učinkovitosti globalnih ukrepov za blažitev podnebnih sprememb.

Podnebni scenariji imajo pomembno vlogo pri pripravi ocene tveganj, ki jih prinašajo podnebne spremembe in pri pripravi akcijskega načrta za prilagajanje nanje. Povzetek obravnava najbolj pomembne pričakovane spremembe na območju Slovenije do konca 21. stoletja.

OD EVROPE DO SLOVENIJE



Zemljevida prikazujeta simulirane spremembe letne povprečne temperature (zgoraj) in padavin (spodaj) v Evropi v obdobju 2071–2100 glede na primerjalno obdobje 1971–2000 za pesimistični scenarij izpustov toplogrednih plinov RCP8.5. Namenjena sta prikazu smeri signala spremembe na območju Evrope (EEA, 2017).

Vplivi podnebnih sprememb se odražajo po vsej Evropi, vendar se med geografskimi regijami razlikujejo, saj je ta podnebno zelo raznolika. Jugovzhodna in južna Evropa spadata med najranjivejše, saj hkratio naraščanje temperature in zmanjševanje padavin pripomore k zmanjšani razpoložljivosti vode ter k povečanemu tveganju za suše, za izgubo biotske raznovrstnosti in za gozdne požare. V gorskih predelih temperatura narašča strmeje od evropskega povprečja, kar vodi do zvišanja mej rastlinskih višinskih pasov in zmanjšane količine snega. V srednji Evropi glavno nevarnost predstavljajo vročinski valovi v poletnem času in poplavljanje rek pozimi in spomladi. Slovenija leži na stiku Panonske nižine, Alp in Sredozemlja, kar pomembno vpliva na podnebno raznolikost med njenimi pokrajinami, ter na spremembe, ki jih bo posamezna pokrajina deležna v različnih letnih časih.

Pokrajinska raznovrstnost Slovenije prispeva k lokalnim podnebnim razlikam. Manjše regije se na spremenjene podnebne vzorce na širšem prostoru različno odzivajo. Lokalni procesi lahko opazno vplivajo na splošne vremenske vzorce, posledica tega pa je, da se temperatura in padavine v posameznih regijah spreminjajo drugače kot povprečno na širšem prostoru. Lokalne spremembe v primerjavi s tistimi na regionalni ravni so lahko bolj ali manj izrazite, včasih pa so z njimi tudi v nasprotju. Vpliv podnebnih sprememb je torej lahko precej lokaliziran in specifičen za posamezno lokacijo, razlike pa se pojavljajo tudi med letnimi časi.

Rezultati simulacij za prihodnost napovedujejo znaten dvig letne povprečne temperature zraka do konca 21. stoletja na celotnem območju Slovenije v vseh letnih časih. Dvig temperature bo močno povečal toplotno obremenitev poleti, skladno z njim se bo daljšala rastna doba. Do konca 21. stoletja je v Sloveniji predvideno opazno povečanje padavin pozimi. Povečala se bosta tako jakost kot pogostost izjemnih padavin. Letno napažanje podzemne vode in veliki pretoki se bodo povečali, najbolj izrazito na vzhodu države.

Foto: Špela Guštin, SOkol

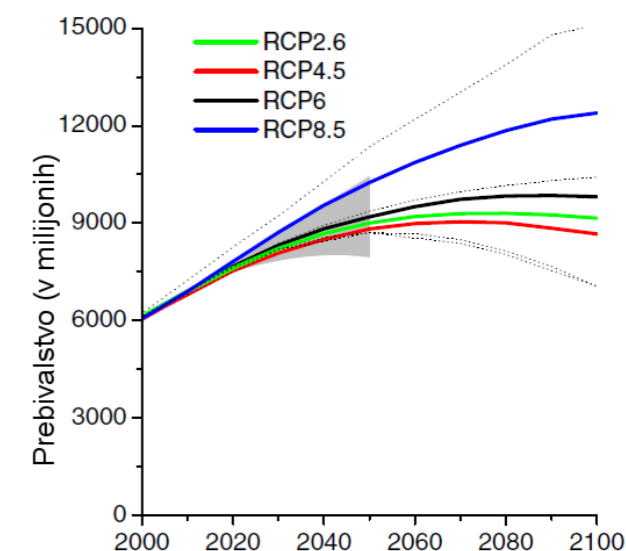
SCENARIJI IZPUSTOV TOPLOGREDNIH PLINOV

Potek podnebnih sprememb v prihodnosti je odvisen zlasti od izpustov toplogrednih plinov, ki jih skušamo zajeti z uporabo različnih scenarijev značilnih potekov vsebnosti toplogrednih plinov (Representative Concentration Pathways - RCP). Scenariji temeljijo na človekovi dejavnosti ter z njo povezanimi izpusti CO₂, CH₄, N₂O in drugih onesnaževal zraka. Vsak izmed scenarijev je v osnovi odvisen od globalnih družbeno-gospodarskih dejavnikov, kot so stopnja naraščanja prebivalstva in bruto domači proizvod ter tehnološki razvoj v 21. stoletju, ti pa neposredno vplivajo na porabo primarnih energijskih virov in nafte ter na spremembo rabe tal.

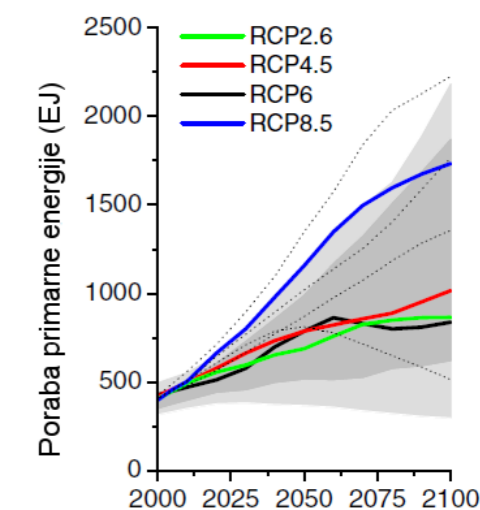
Scenarije lahko ločimo po številčni oznaki skupnega sevalnega prispevka ob koncu stoletja, ki je v posplošenem smislu merilo povišanega toplogrednega učinka glede na predindustrijsko dobo in je izražen v vatih na kvadratni meter (W m⁻²). Večji kot je sevalni prispevek, večje spremembe v podnebnem sistemu lahko pričakujemo.

Najbolj optimističen je scenarij RCP2.6, ki predvideva aktivno politiko blaženja podnebnih sprememb in posledično nizke izpuste toplogrednih plinov, katerih raven naj bi dosegla svoj višek v začetku 21. stoletja in potem postopoma začela upadati, sevalni prispevek pa naj bi ob koncu stoletja znašal 2,6 W m⁻². Stabilizacijski scenarij RCP4.5, ki na podlagi trenutnega stanja velja za zmerno optimističnega, predvideva postopno zmanjševanje izpustov in ustalitev sevalnega prispevka pri 4,5 W m⁻² do leta 2100. Podobno tudi stabilizacijski scenarij RCP6.0 do leta 2100 doseže vrednost 6,0 W m⁻² in se kmalu po tem ustali. Najbolj pesimističen scenarij brez predvidenega blaženja podnebnih sprememb je RCP8.5, ki predvideva visok izpust toplogrednih plinov in posledično naraščanje njihove vsebnosti tudi po letu 2100, na koncu stoletja pa naj bi sevalni prispevek znašal 8,5 W m⁻².

V povzetku so predstavljene simulacije temperature, padavin, rastnih razmer, podzemnih in površinskih voda do konca 21. stoletja za tri različne scenarije značilnih potekov vsebnosti RCP2.6, RCP4.5 in RCP8.5 (v nadaljevanju scenariji izpustov), s poudarkom na zmerno optimističnem RCP4.5, ki predvideva postopno zmanjševanje izpustov in stabilizacijo vsebnosti toplogrednih plinov kmalu po letu 2100.



Simulacija naraščanja prebivalstva (zgoraj) in porabe primarne energije (spodaj) za štiri scenarije izpustov RCP2.6, RCP4.5, RCP6 in RCP8.5 v 21. stoletju. Na podlagi poteka teh dejavnikov bodo naraščale tudi vsebnosti glavnih antropogenih toplogrednih plinov CO₂, CH₄ in N₂O v ozračju (van Vuuren idr., 2011).



MODELSKI REZULTATI

Modelske simulacije podnebja v prihodnosti so zasnovane na več-modelskih povprečnih simulacij različnih regionalnih podnebnih modelov, šestih za RCP4.5 in RCP8.5 ter dveh za RCP2.6. Podnebni modeli so zgolj približek resničnemu stanju podnebnega sistema in se nenehno izboljšujejo. Trenutna zmogljivost računalniških sistemov omejuje simulacije na nekaterih prostorskih in časovnih ravneh, hkrati pa vseh fizikalnih procesov znotraj podnebnega sistema ni mogoče simulirati. Poleg tega določeni pojavi v ozračju (npr. turbulenca, mikrofizikalni procesi v oblakih in konvekcijske padavine) še niso dobro raziskani. Navedene omejitve zahtevajo poenostavitve v modelih, te pa so vzrok sistematičnega odstopanja simuliranega od resničnega podnebja. V izogib napačni interpretaciji rezultatov modelov je potrebna njihova prilagoditev opazovanemu oz. izmerjenemu podnebjju.

Na območju Slovenije je bilo za primerjalno obdobje 1981–2010 ugotovljeno sistematično odstopanje modelskih podatkov temperature in padavin od meritev. Na

podlagi teh ugotovitev smo popravili modelske simulacije za prihodnost, ki imajo prostorsko ločljivost 12 km.

Nabor rezultatov različnih modelov omogoča vrednotenje negotovosti modelskih napovedi in opredelitev razsežnosti bodočih sprememb. Simulacije padavin so manj zanesljive od simulacij temperature in sicer zaradi omejitev modela pri simulaciji padavin ter zaradi večje naravne spremenljivosti, ki dodatno otežuje prepoznavanje podnebnega signala.

Scenariji prikazujejo odstopanje 30-letnih povprečnih razmer v prihodnosti v primerjavi s primerjalnim obdobjem v preteklosti (1981–2010). Uporaba 30-letnega obdobja preprečuje zamenjavo kratkoročne naravne spremenljivosti podnebja (npr. letno ali desetletno nihanje) za dolgoročni podnebni signal, zato povprečje v daljšem časovnem obdobju kaže dejanski podatek o podnebjju.

Za potrebe analize podnebja v prihodnosti smo 21. stoletje razdelili na tri obdobja:

- 1. obdobje med **2011–2040**, z osrednjim letom 2025,
- 2. obdobje med **2041–2070**, z osrednjim letom 2055,
- 3. obdobje med **2071–2100**, z osrednjim letom 2085.

Poleg izračunov letnih povprečij na celotnem območju Slovenije, so bila z namenom prikaza značilnosti sezonskega nihanja obravnavana krajša časovna obdobja znotraj leta in sicer štirje meteorološki letni časi:

- **zima** (december, januar, februar),
- **pomlad** (marec, april, maj),
- **poletje** (junij, julij, avgust),
- **jesen** (september, oktober, november).

Za prikaz prostorskih razlik smo Slovenijo razdelili na šest manjših prostorskih regij glede na podnebno razvrstitev:

- **Visokogorje**
- **Namočeni gorski svet,**
- **Severovzhodna regija,**
- **Jugozahodna regija,**
- **Osrednja regija,**
- **Hribovita prehodna regija.**

Podnebne simulacije ne veljajo za natančne napovedi stanja v prihodnosti, temveč opisujejo več možnih ter verjetnih stanj podnebnega sistema v Sloveniji na podlagi globalnega družbeno-gospodarskega razvoja in služijo kot ocena prihodnjih temperaturnih in padavinskih razmer.

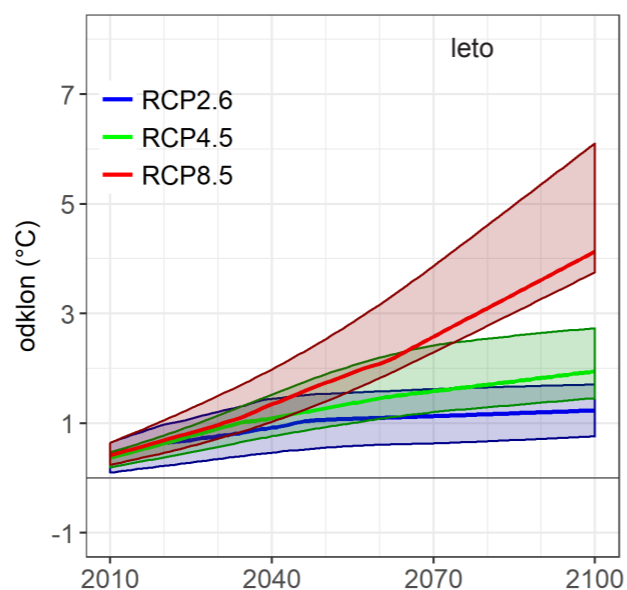


TEMPERATURA

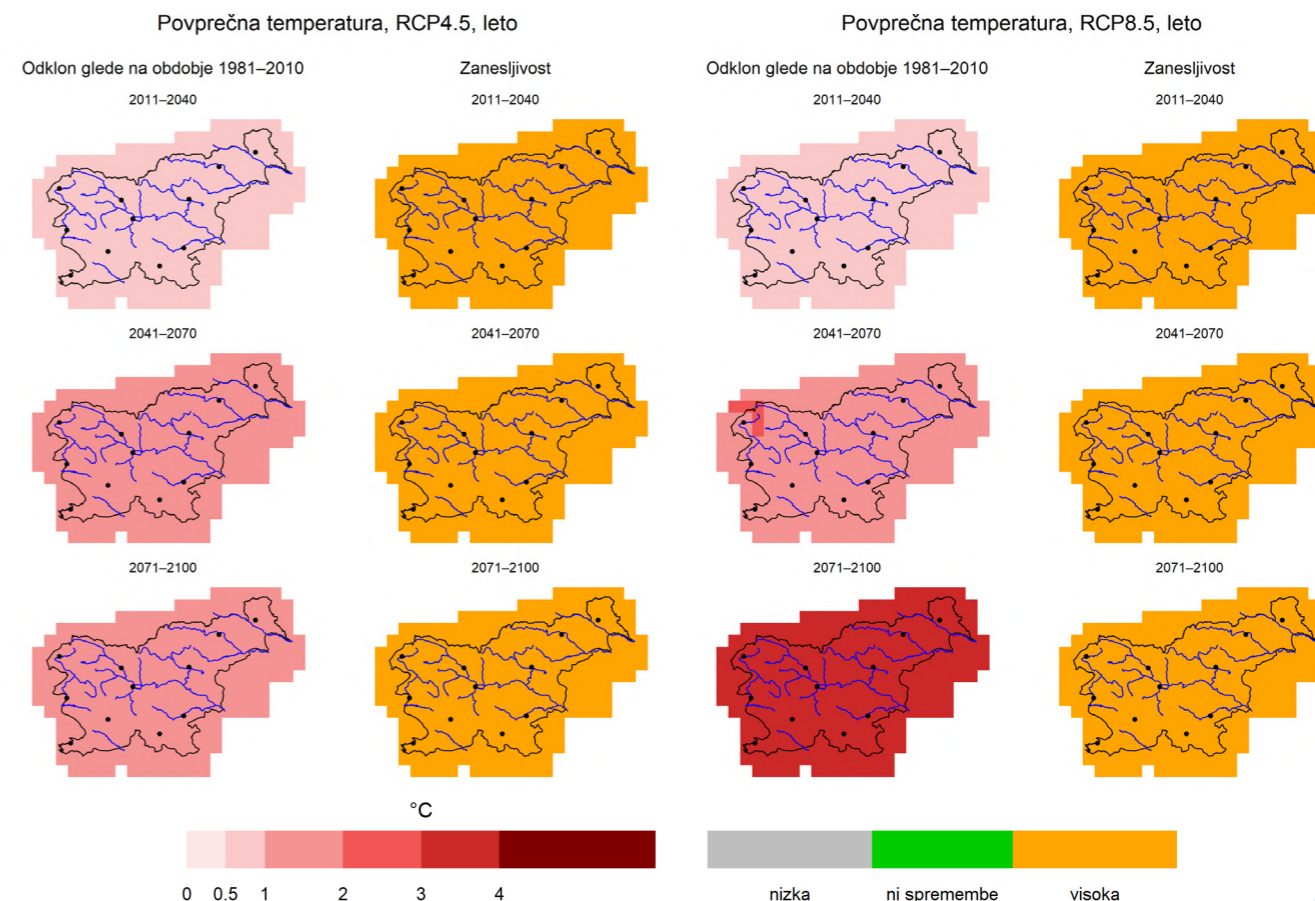
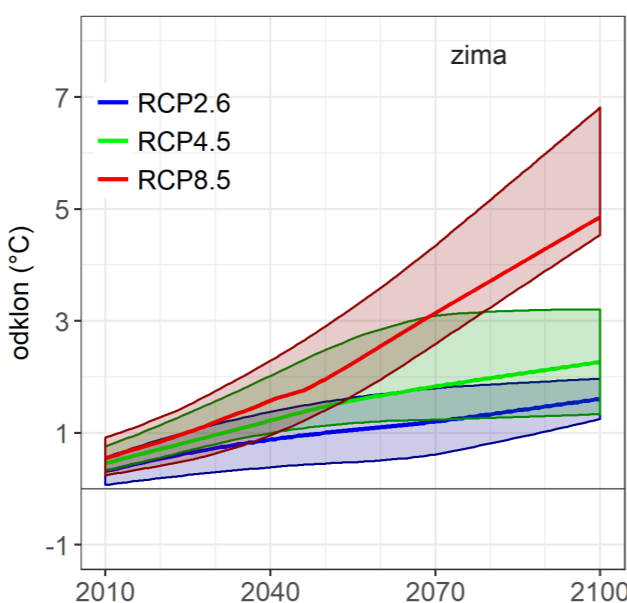
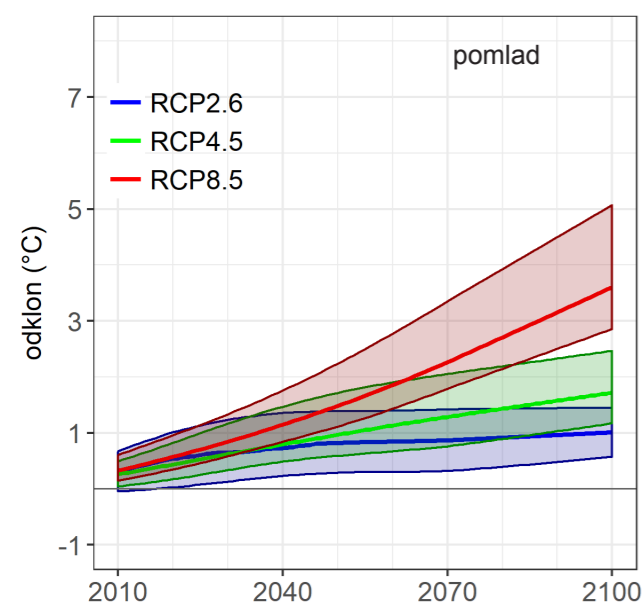
Povprečna temperatura zraka pri tleh

Skladno s predvidenim postopnim ogrevanjem zraka v Evropi v 21. stoletju bo tudi v Sloveniji povprečna temperatura zraka naraščala, s srednjim razponom od približno 1 do približno 4 °C, odvisno od scenarija izpustov toplogrednih plinov. Vsi trije scenariji izpustov v Sloveniji do leta 2100 predvidevajo naraščanje temperature zraka, in sicer RCP2.6 za približno 1,3 °C, RCP4.5 za približno 2,0 °C in RCP8.5 za približno 4,1 °C. Po prvih dveh scenarijih, ki predvidevata zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov, temperatura sprva narašča in se konec 21. stoletja skoraj ustali. Po RCP8.5 temperatura narašča strmeje v vsakem zaporednem obdobju.

Zmerno optimistični scenarij RCP4.5 v prvem obdobju predvideva dvig povprečne temperature zraka za od 0,4 do 1,0 °C, v drugem obdobju za od 1,1 do 2,3 °C, v zadnjem obdobju pa za od 1,5 do 2,6 °C. Izrazitejša sprememba se kaže pri scenariju izpustov RCP8.5, po katerem se nam obeta dvig temperature za od 1,6 do 2,8 °C v drugem in od 3,0 do 5,1 °C v zadnjem obdobju. Predvideno ogrevanje je prostorsko dokaj enakomerno, vendar se po letnih časih nekoliko razlikuje.



Časovni potek spremembe letne (zgoraj), spomladanske (levo spodaj) in zimske (desno spodaj) povprečne temperature zraka v Sloveniji do konca 21. stoletja glede na primerjalno obdobje 1981–2010 za tri scenarije izpustov RCP2.6, RCP4.5 in RCP8.5. Črte prikazujejo glajeno mediano (srednjo vrednost) modelskih projekcij, zgornji in spodnji rob ovojnic največjo in najmanjšo vrednost modelskih projekcij.



Sprememba letne povprečne temperature zraka v Sloveniji v treh projekcijskih obdobjih in zanesljivost spremembe za scenarija izpustov RCP4.5 (levo) in RCP8.5 (desno). Prikazano je odstopanje povprečne temperature od povprečja v primerjalnem obdobju 1981–2010. »Visoka stopnja zanesljivosti« pomeni, da gre z veliko verjetnostjo pričakovati spremembe v določeno smer. Pri stopnji zanesljivosti »ni spremembe« gre za majhne, statistično nepomembne spremembe, ki so primerljive ali celo manjše od naravne spremenljivosti. »Nizka stopnja zanesljivosti« pa namiguje na pomembne razlike v rezultatih podnebnih modelov in pomeni, da lahko pričakujemo znatne spremembe bodisi v pozitivno bodisi v negativno smer.

Znatno spremembo temperature bo Slovenija sicer občutila v vseh letnih časih, vendar bo predvsem v zimskem času segrevanje ob koncu stoletja predvidoma izrazitejše od povprečnega letnega segrevanja. Predvsem v severnem in vzhodnem delu Slovenije (visokogorje, severovzhodna regija, osrednja regija) bo temperatura pozimi naraščala hitreje od letnega povprečja. Naraščanje temperature bo najmanj izrazito spomladi. Predvidene spremembe po scenariju RCP4.5

so zanesljive in se v veliki meri ujemajo s predvidenimi spremembami v večjem delu Evrope, kjer je največje naraščanje temperature predvideno pozimi v severnem in poleti v južnem delu Evrope, medtem pa se bo gorski svet nadpovprečno segreval v obeh letnih časih. V primeru scenarija izpustov RCP8.5 bodo razlike med gorskimi svetom in preostalo Evropo manj izrazite, kar se odraža tudi na območju Slovenije.

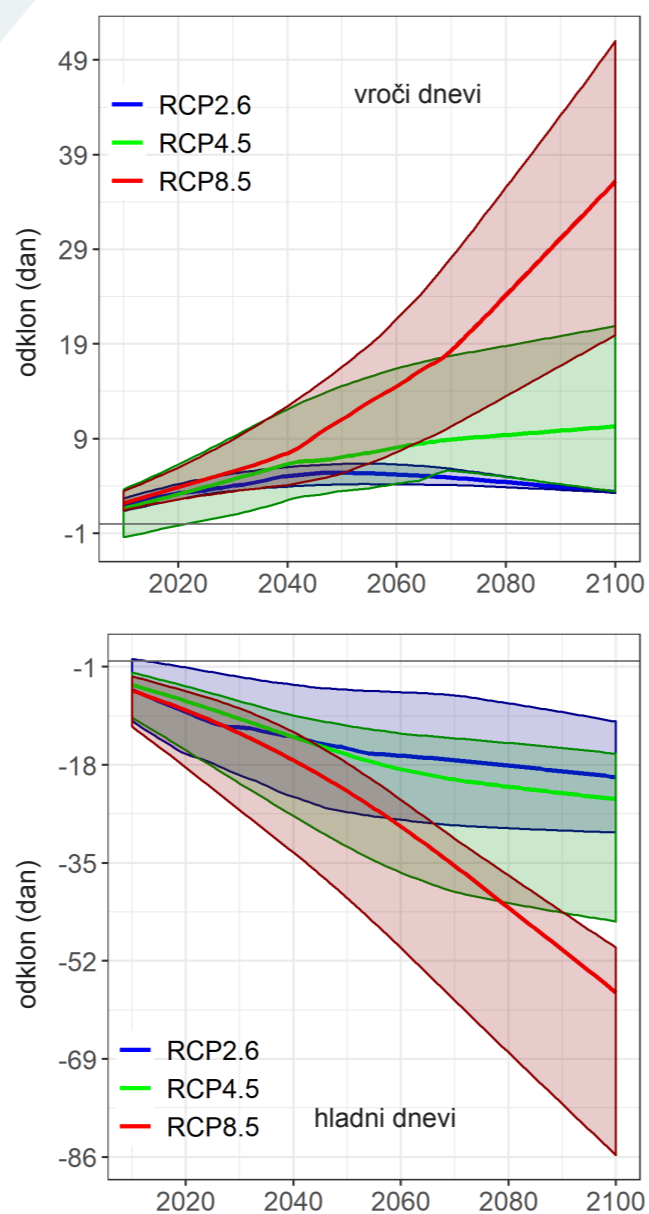
Izjemne temperaturne razmere

Izjemne temperaturne razmere spremljamo s temperaturnimi kazalniki, ki so oblikovani tako, da kažejo na razmere, ko temperatura zraka postane neugodna za živa bitja, prilagojena na lokalno podnebje. Najbolj enostavni taki kazalniki so različni »termalni« dnevi, ko temperatura zraka preseže ali sploh ne doseže določenih pragov.

Tropske noči, ko se temperatura tudi ponoči ne spusti pod 20 °C, kažejo na razmere, ko se niti ponoči ne ohladi dovolj, da bi si ljudje in druga živa bitja lahko oddahnili od vročinske obremenitve. Njihovo število je močno odvisno od orografije. Na območjih višjih nadmorskih višin tropskih noči ne beležimo in jih, kot kaže, tudi v prihodnosti v povprečju ne bomo. Število se bo drugod po državi (jugozahodna, severovzhodna in osrednja regija) v prvem obdobju predvidoma povečalo za približno 5 dni, v drugem obdobju pa tudi do 20 dni, odvisno od regije. V zadnjem obdobju se bo po scenariju izpustov RCP4.5 število tropskih noči ustalilo, po scenariju izpustov RCP8.5 pa bomo imeli v nekaterih območjih tudi do 60 tropskih noči več kot v današnjem podnebnju. Kadar si zaporedoma sledi več takšnih dni, lahko pri živih organizmih zaradi povečane toplotne obremenitve nastopijo velike težave.

Pri najboljčutiljivejših skupinah ljudi (kronični bolniki, dojenčki in starejša populacija) do toplotne obremenitve pride, ko temperatura zraka preseže 25 °C. Dneve, ko najvišja temperatura preseže 25 °C imenujemo topli dnevi. Toplih dni bo v bližnji prihodnosti približno 10 več kot v primerjalnem obdobju, ne glede na scenarij izpustov. Sprememba za drugo obdobje je že nekoliko odvisna od scenarija izpustov. Po zmerno optimističnem scenariju izpustov RCP4.5 lahko pričakujemo nekaj manj kot 20 toplih dni več, po pesimističnem scenariju izpustov RCP8.5 pa do 25 toplih dni več kot v današnjem podnebnju. Konec stoletja bo sprememba v številu toplih dni zelo odvisna od scenarija izpustov. Po scenariju izpustov RCP4.5 bo po večini regij do 25 več takšnih dni, medtem ko po scenariju izpustov RCP8.5 lahko pričakujemo od 55 do 60 več toplih dni v primerjavi z današnjim podnebnjem.

Ko temperatura zraka preseže 30 °C postanejo temperaturne razmere obremenjujoče za vso populacijo,



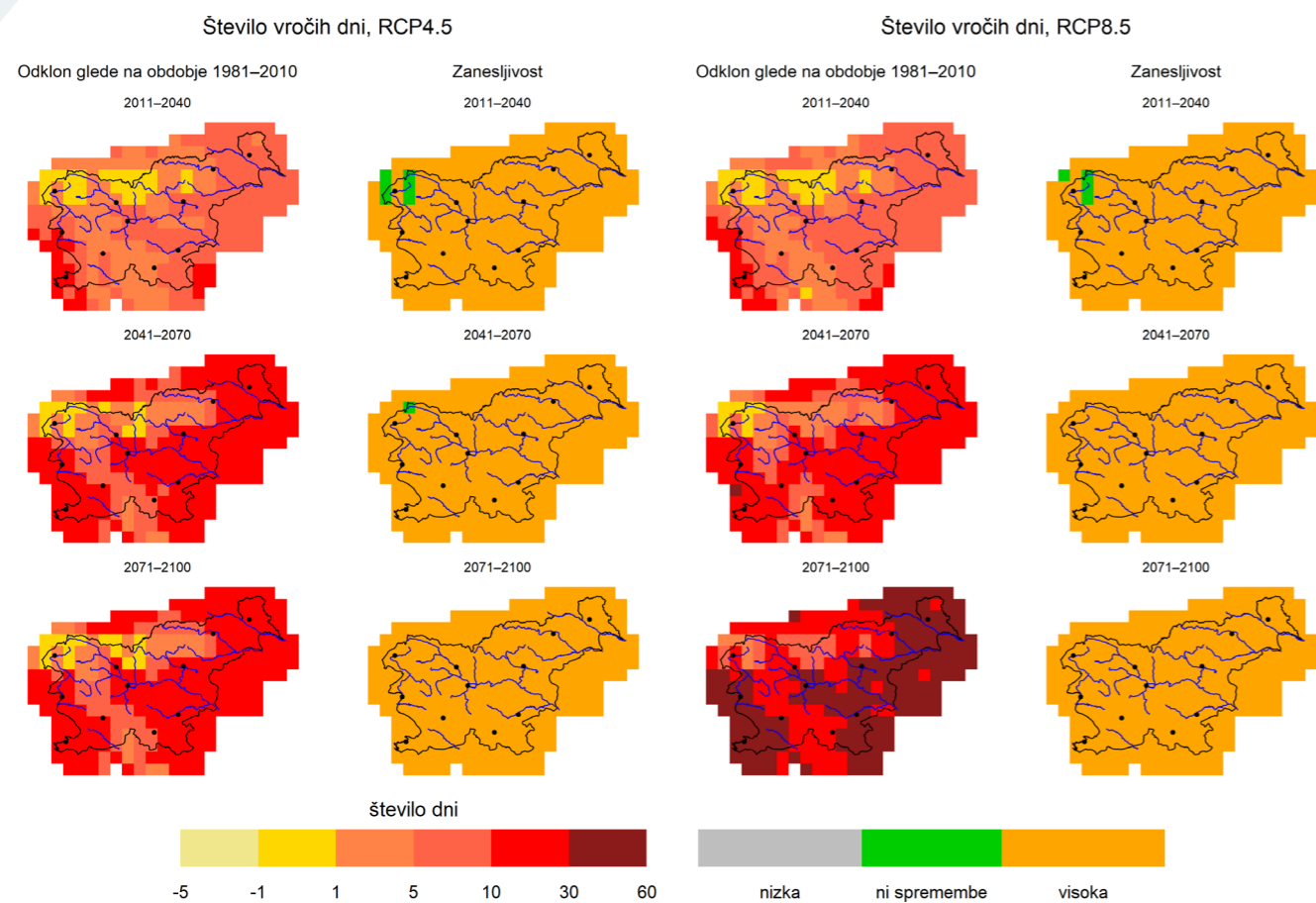
Časovni potek spremembe števila vročih dni (zgoraj) in števila hladnih dni (spodaj) na leto v Sloveniji do konca 21. stoletja glede na primerjalno obdobje 1981–2010 za tri scenarije izpustov RCP2.6, RCP4.5 in RCP8. Črte prikazujejo glajeno mediano (srednjo vrednost) modelskih projekcij, zgornji in spodnji rob ovojníc največjo in najmanjšo vrednost modelskih projekcij.

ne le za najboljčutiljivejše skupine. Tudi kazalnik števila vročih dni, ko najvišja temperatura preseže 30 °C, kaže na postopno povečevanje števila takih dni. V bližnji prihodnosti bo vročih dni v nižinskem delu države (osrednja, severovzhodna in jugozahodna regija) od 5 do 10 več kot v primerjalnem obdobju. Nekoliko višja ocena (do 30 dni več) velja za večji del države v drugem in po scenariju izpustov RCP4.5 tudi tretjem obdobju. Konec stoletja nas po najbolj pesimističnem scenariju v nižinskem delu čaka tudi do 60 vročih dni več kot v primerjalnem obdobju.

Pri spremljanju vročinskih valov je pomembna njihova jakost, trajanje posameznega vročinskega vala in njihova pogostost. Najmočnejši vročinski dogodki bodo v bližnji prihodnosti še primerljivi z današnjimi, v drugem in zadnjem obdobju pa močnejši od najmočnejših vročinskih valov iz primerjalnega obdobja. Koliko bodo močnejši, je odvisno od scenarija izpustov. Ne glede na izbrani kazalnik se bosta število in dolžina vročinskih valov v prihodnosti povečevala.



Foto: Nina Lozej, SOkol

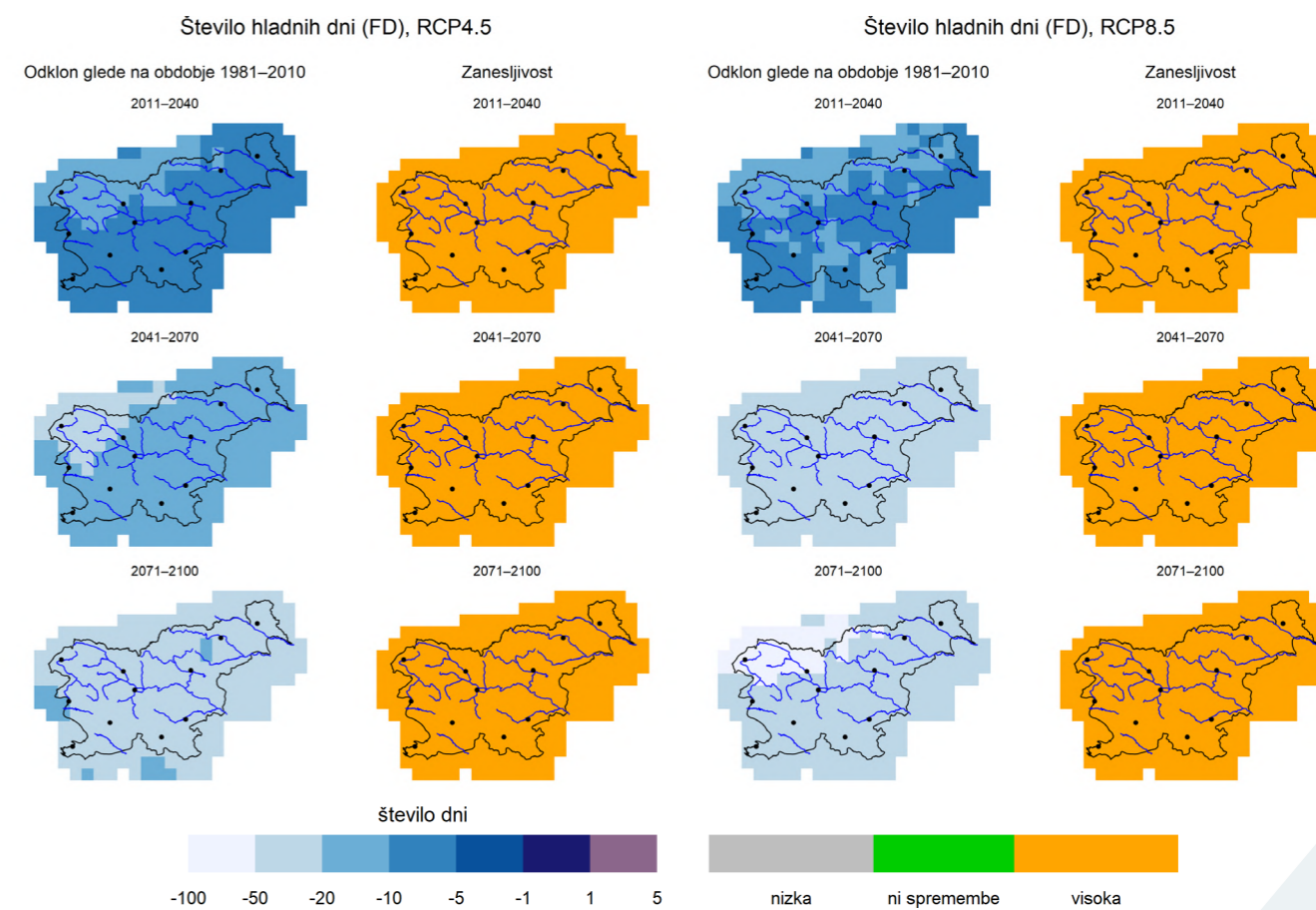


Sprememba števila vročih dni v Sloveniji v treh projekcijskih obdobjih in zanesljivost spremembe za scenarija izpustov **RCP4.5** (levo) in **RCP8.5** (desno). Prikazano je odstopanje povprečnega števila dni na leto od povprečja v primerjalnem obdobju 1981–2010. »Visoka stopnja zanesljivosti« pomeni, da gre z veliko verjetnostjo pričakovati spremembe v določeno smer. Pri stopnji zanesljivosti »ni spremembe« gre za majhne, statistično nepomembne spremembe, ki so primerljive ali celo manjše od naravne spremenljivosti. »Nizka stopnja zanesljivosti« pa namiguje na pomembne razlike v rezultatih podnebnih modelov in pomeni, da lahko pričakujemo znatne spremembe bodisi v pozitivno bodisi v negativno smer.

Tudi zelo nizke temperature predstavljajo obremenitev za živa bitja, ki pa se bo v prihodnosti zmanjšala. Število hladnih in ledenih dni je močno odvisno od reliefne oblikovanosti površja in nadmorske višine. Najmanjše spremembe pri teh kazalnikih so pričakovano v jugozahodni regiji, saj tu že v današnjem podnebnju zelo redko zaznamo kak leden dan. Največji upad števila hladnih dni, ko dnevna najnižja temperatura pade pod 0 °C, oziroma števila ledenih dni, ko najvišja temperatura ne

preseže 0 °C, v prihodnosti pričakujemo v visokogorju in v delu prehodne regije.

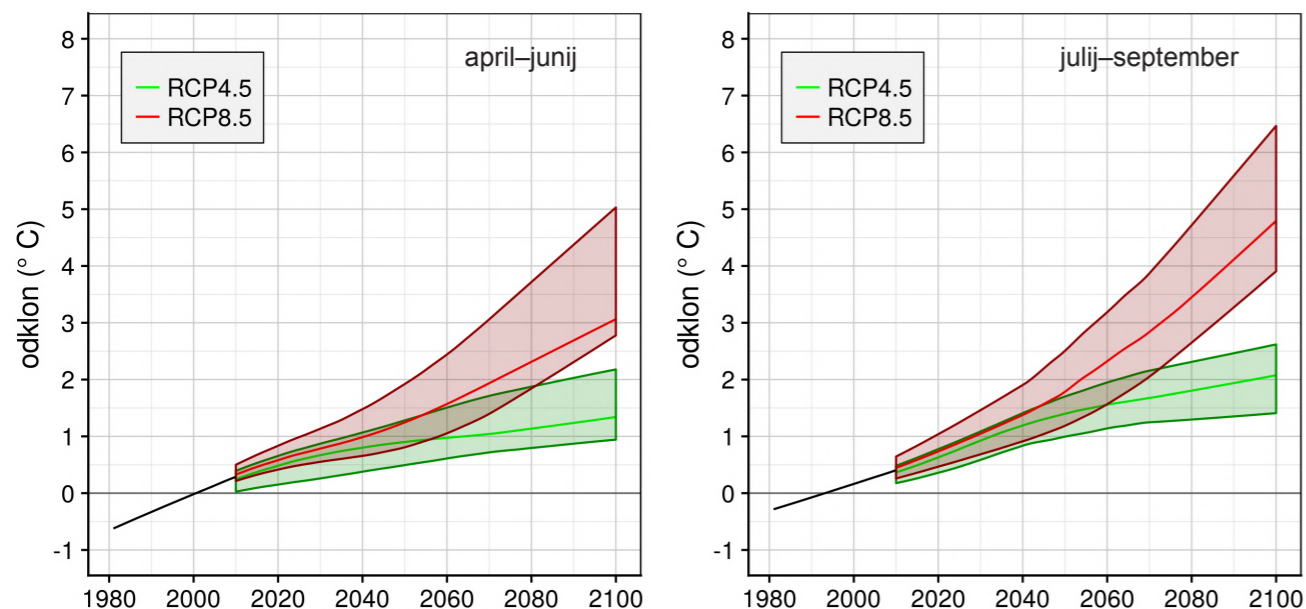
Število hladnih dni se bo v prihodnosti postopno manjšalo. V prvem obdobju se bo po scenariju RCP4.5 število hladnih dni predvidoma zmanjšalo za približno 10 dni, v drugem in zadnjem obdobju za približno 20 dni na leto. Tako spremembe, kot tudi razlike med spremembami glede na nadmorsko višino, so po scenariju



Sprememba števila hladnih dni v Sloveniji v treh projekcijskih obdobjih in zanesljivost spremembe za scenarija izpustov **RCP4.5** (levo) in **RCP8.5** (desno). Prikazano je odstopanje povprečnega števila dni na leto od povprečja v primerjalnem obdobju 1981–2010. »Visoka stopnja zanesljivosti« pomeni, da gre z veliko verjetnostjo pričakovati spremembe v določeno smer. Pri stopnji zanesljivosti »ni spremembe« gre za majhne, statistično nepomembne spremembe, ki so primerljive ali celo manjše od naravne spremenljivosti. »Nizka stopnja zanesljivosti« pa namiguje na pomembne razlike v rezultatih podnebnih modelov in pomeni, da lahko pričakujemo znatne spremembe bodisi v pozitivno bodisi v negativno smer.

RCP8.5 nekoliko izrazitejše. Po pesimističnem scenariju je tako ob koncu stoletja v večjem delu Slovenije predvidenih približno 40 hladnih dni manj, v visokogorju bo takšnih dni tudi do 60 manj kot v primerjalnem obdobju.

Temperaturne razmere za rast rastlin

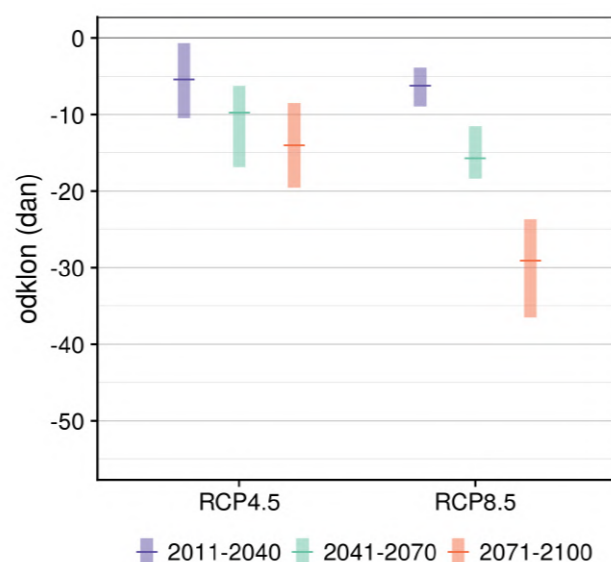


Časovni potek spremembe povprečne temperature tal na globini 5 centimetrov v prvem (levo) in drugem (desno) delu rastne dobe v Celju do konca 21. stoletja glede na primerjalno obdobje 1981–2010 za dva scenarija izpustov RCP4.5 in RCP8.5. Črte prikazujejo glajeno mediano (srednjo vrednost) modelskih projekcij, zgornji in spodnji rob ovojníc največjo in najmanjšo vrednost modelskih projekcij.

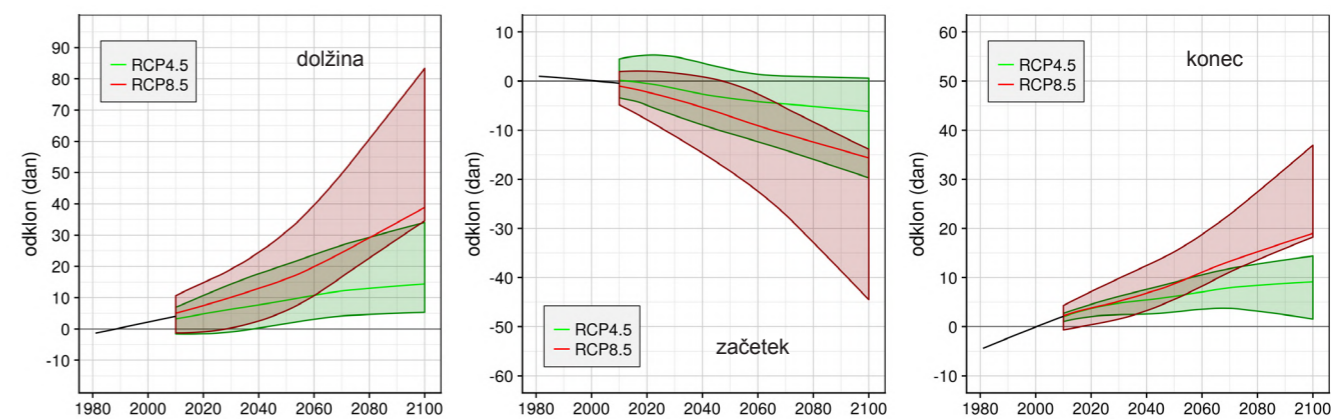
Skladno z dvigom temperature zraka se bo ogreval površinski sloj tal, oboje pa bo vplivalo na fenološki razvoj rastlin in dolžino rastne dobe.

Spomladanski fenološki razvoj rastlin bo zgodnejši. V primeru zmerno optimističnega scenarija izpustov RCP4.5 bo olistanje gozdnega drevja približno dva tedna, v primeru pesimističnega scenarija izpustov RCP8.5 pa celo do približno 40 dni zgodnejše kot v primerjalnem obdobju 1981–2010.

Dolžina rastne dobe se bo podaljševala skladno z dvigom temperature, zgodnejši bo njen začetek spomladi in kasnejši zaključek jeseni. Pogostost spomladanskih pozeb bo ostala na podobni ravni kot v primerjalnem obdobju.



Razpon spremembe dneva olistanja lipe v Celju v treh zaporednih obdobjih glede na primerjalno obdobje 1981–2010 za dva scenarija izpustov RCP4.5 in RCP8.5.



Časovni potek spremembe dolžine (levo), dneva začetka (sredina) in dneva konca (desno) rastne dobe v Celju do konca 21. stoletja glede na primerjalno obdobje 1981–2010 za dva scenarija izpustov RCP4.5 in RCP8.5 vključno z razponi modelskih odstopanj. Črte prikazujejo glajeno mediano (srednjo vrednost) modelskih projekcij, zgornji in spodnji rob ovojníc največjo in najmanjšo vrednost modelskih projekcij.



Foto: Alenka Mihorič, SOkol

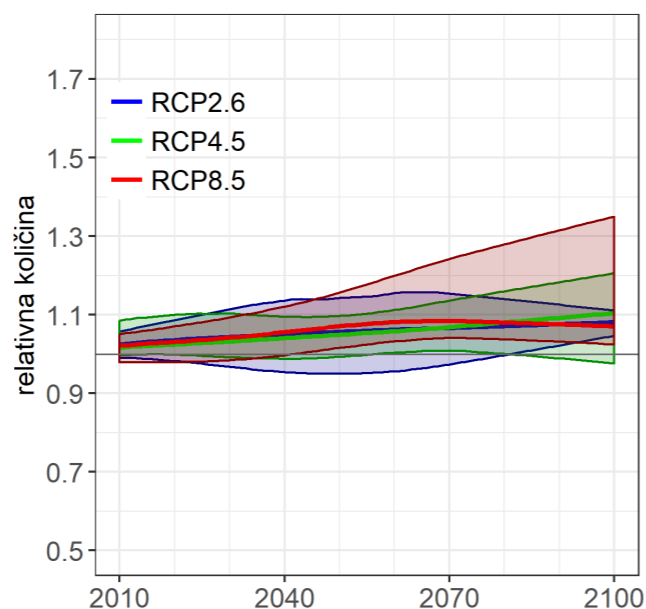
PADAVINE

Povprečna višina padavin

V nasprotju s temperaturo so projekcije za spremembe padavin manj zanesljive, saj so te časovno in prostorsko bolj raznolike. Predvidene spremembe padavin v Sloveniji niso prav izrazite, saj ta leži na območju Evrope, kjer signal spremembe padavin zamenja smer. V severni Evropi bodo padavine na letni ravni naraščale, v južni bodo upadale. Iz lege na navedenem prehodnem območju izvirajo tudi manjša zanesljivost projekcij spremembe padavin ter razlike med spremembami pri posameznih scenarijih izpustov.

Medtem ko optimistični scenarij RCP2.6 na letni in državni ravni v nobenem obdobju ne predvideva statistično značilnih sprememb, pesimistični scenarij RCP8.5 sprva predvideva rahlo naraščanje padavin po vsej državi, v drugi polovici 21. stoletja pa se negotovost trenda močno poveča. Po zmerno optimističnem scenariju RCP4.5 višina padavin postopno narašča, v prvem obdobju so na letni ravni spremembe zelo majhne, vendar se sprememba z odmikom v prihodnost stopnjuje. Z začetkom drugega obdobja se bo območje naraščanja padavin na letni ravni pričelo širiti z vzhoda na zahod, vendar je predznak spremembe zanesljiv le na skrajnem severovzhodu in ponekod v notranjosti. Do leta 2100 je na celotnem območju Slovenije z izjemo Julijskih Alp pričakovan porast povprečnih letnih padavin za približno 10 % glede na obdobje 1981–2010, pri čemer je sprememba bolj zanesljiva v vzhodni polovici Slovenije.

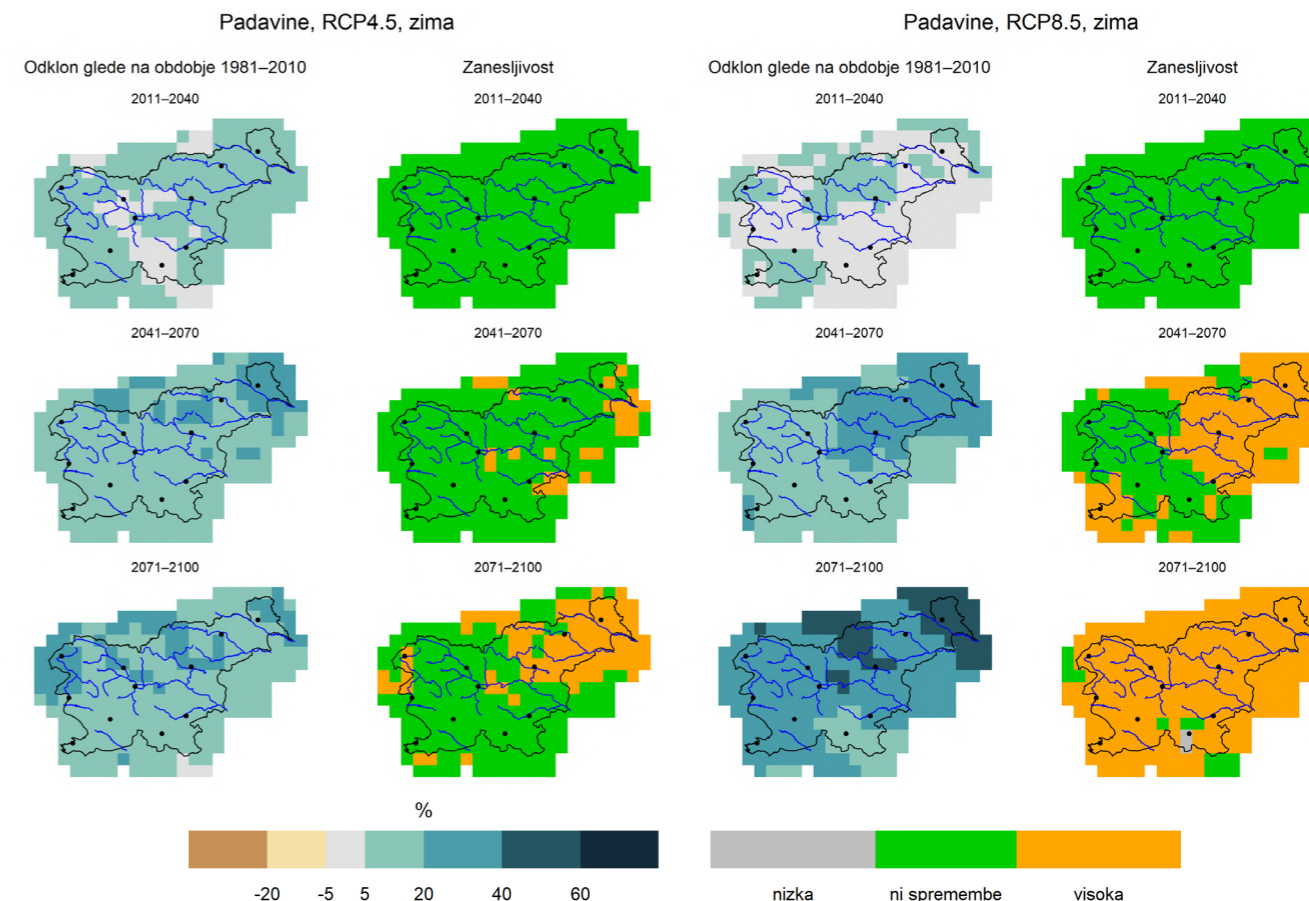
Na sezonski ravni je signal spremembe padavin nekoliko bolj izražen. V primeru scenarija izpustov RCP4.5 bo naraščanje padavin najbolj izrazito pozimi. Povečanje padavin se kaže tudi za pomlad in jesen, vendar je manj zanesljivo. Poleti različni modeli kažejo bodisi majhne spremembe bodisi spremembe v različni smeri, zato je smer spremembe negotova, pri čemer v prvih dveh obdobjih kaže sušenje, proti koncu stoletja pa se obrne in kaže povečanje padavin. Po scenariju izpustov RCP8.5 so signali sprememb za pomlad, jesen in zimo podobni kot po scenariju izpustov RCP4.5, pri čemer je signal za povečanje zimskih padavin še bolj izražen in zanesljiv. Že v sredini stoletja se bodo v vzhodni Sloveniji zimske padavine povečale do 40 %, do konca stoletja pa bo po scenariju izpustov RCP8.5 tudi do 60 % več zimskih padavin. Tudi za pesimistični scenarij



Časovni potek spremembe padavin v Sloveniji do konca 21. stoletja glede na primerjalno obdobje 1981–2010 za tri scenarije izpustov RCP2.6, RCP4.5 in RCP8.5 vključno z razponi modelskih odstopanj. Črte prikazujejo glajeno mediano (srednjo vrednost) modelskih projekcij, zgornji in spodnji rob ovojnici največjo in najmanjšo vrednost modelskih projekcij.

izpustov je podobno kot za zmerno optimistični scenarij signal spremembe padavin poleti v začetnih obdobjih zelo majhen, proti koncu stoletja pa zelo negotov. Je pa smer nakazanih sprememb v primerjavi s scenarijem izpustov RCP4.5 obrnjena, sredi stoletja kaže na povečanje, proti koncu pa na zmanjšanje padavin.

Sezonske razlike in visoka negotovost izvirajo iz premikanja prehodnega območja padavinskega signala (kjer se predznak spremembe obrne), pozimi se bo to namreč nahajalo v južni, poleti pa v severni Evropi. Z izjemo poletja je v drugih letnih časih ob koncu stoletja predvidena večja višina padavin, vendar z gotovostjo lahko potrdimo le signal za zimo. Predznak sprememb padavin v ostalih letnih časih je le delno odvisen od poteka izpustov toplogrednih plinov, bolj se razlikuje med posameznimi modeli.



Sprememba povprečne višine padavin pozimi v Sloveniji v treh projekcijskih obdobjih in zanesljivost spremembe za scenarija izpustov RCP4.5 (levo) in RCP8.5 (desno). Prikazano je relativno odstopanje višine padavin od povprečja v primerjalnem obdobju 1981–2010. »Visoka stopnja zanesljivosti« pomeni, da gre z veliko verjetnostjo pričakovati spremembe v določeno smer. Pri stopnji zanesljivosti »ni spremembe« gre za majhne, statistično nepomembne spremembe, ki so primerljive ali celo manjše od naravne spremenljivosti. »Nizka stopnja zanesljivosti« pa namiguje na pomembne razlike v rezultatih podnebnih modelov in pomeni, da lahko pričakujemo znatne spremembe bodisi v pozitivno bodisi v negativno smer.

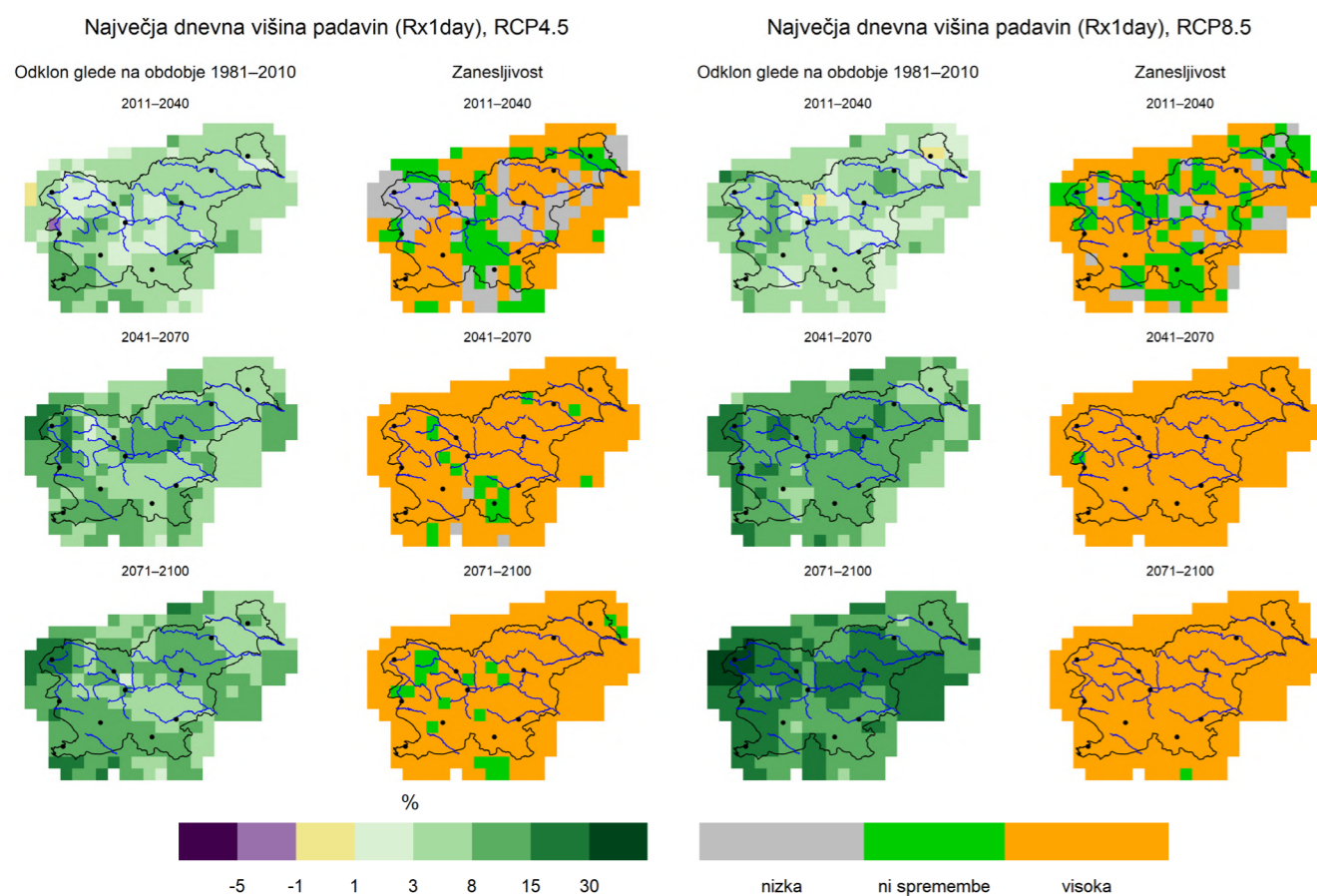
Zimsko naraščanje padavin ne pomeni povečane možnosti za sneg, saj bodo s hkrati naraščajočo temperaturo zraka snežne padavine najverjetneje postale čedalje manj pogoste.

Izjemne padavine

Kazalniki, s katerimi merimo izjemne padavine, kažejo, da se bosta povečali tako jakost kot pogostost izjemnih padavin, povečanje pa bo najbolj izrazito v primeru pesimističnega scenarija izpustov RCP8.5.

Oba kazalnika, ki opisujeta značilnosti izjemnih padavin (najvišje mesečne vrednosti dnevni in petdnevni padavin), kažeta, da se bodo izjemne padavine okrepile. Enodnevne izjemne padavine bodo v prihodnosti na celotnem obravnavanem območju Slovenije

spomladi in pozimi obilnejše kot v primerjalnem obdobju 1981–2010. Najbolj je signal spremembe negotov za poletje, kjer nekatere simulacije kažejo tudi zmanjšanje enodnevnih izjemnih padavin. Za višino petdnevni mesečnih najobilnejših padavin lahko na območju celotne države trdimo, da se bo glede na vse scenarije v zimskih mesecih zagotovo povečala. Signali spremembe so podobni tistim za dnevne izjemne padavine. Tudi v tem primeru so ocene za poletne mesece najbolj negotove.



Sprememba največje dnevne višine padavin v Sloveniji v treh projekcijskih obdobjih in zanesljivost spremembe za scenarija izpustov **RCP4.5** (levo) in **RCP8.5** (desno). Prikazano je relativno odstopanje višine padavin od povprečja v primerjalnem obdobju 1981–2010. »Visoka stopnja zanesljivosti« pomeni, da gre z veliko verjetnostjo pričakovati spremembe v določeno smer. Pri stopnji zanesljivosti »ni spremembe« gre za majhne, statistično nepomembne spremembe, ki so primerljive ali celo manjše od naravne spreminljivosti. »Nizka stopnja zanesljivosti« pa namiguje na pomembne razlike v rezultatih podnebnih modelov in pomeni, da lahko pričakujemo znatne spremembe bodisi v pozitivno bodisi v negativno smer.

Sprememba števila dni z dnevno višino padavin nad izbranim pragom je odvisna tako od praga kot tudi od scenarija.

Meja za srednje intenzivne dnevne padavine po WCRP (World Climate Research Project) je postavljena na 10 mm. V današnjem podnebnju so takšni padavinski dnevi precej pogosti na alpsko-dinarski pregradi, redko pa se pojavijo na vzhodu Slovenije. V prihodnosti lahko občutne spremembe pričakujemo prav na vzhodu države. Po scenariju izpustov RCP4.5 se bo število srednje intenzivnih padavinskih dogodkov občutno povečalo šele ob koncu stoletja, medtem ko se v primeru scenarija RCP8.5 občutno povečanje tako intenzivnih padavinskih dogodkov pojavi že v drugem obdobju, po obeh

scenarijih pa je zanesljivo le na severovzhodu.

20 mm padavin v enem dnevu za večino Slovenije pomeni veliko količino, ki se ne pojavlja pogosto. V primeru scenarija izpustov RCP4.5 se bo število dni z višino padavin nad 20 mm na letni ravni povečalo že v drugem obdobju, do konca stoletja pa se bo povečanje še stopnjevalo.

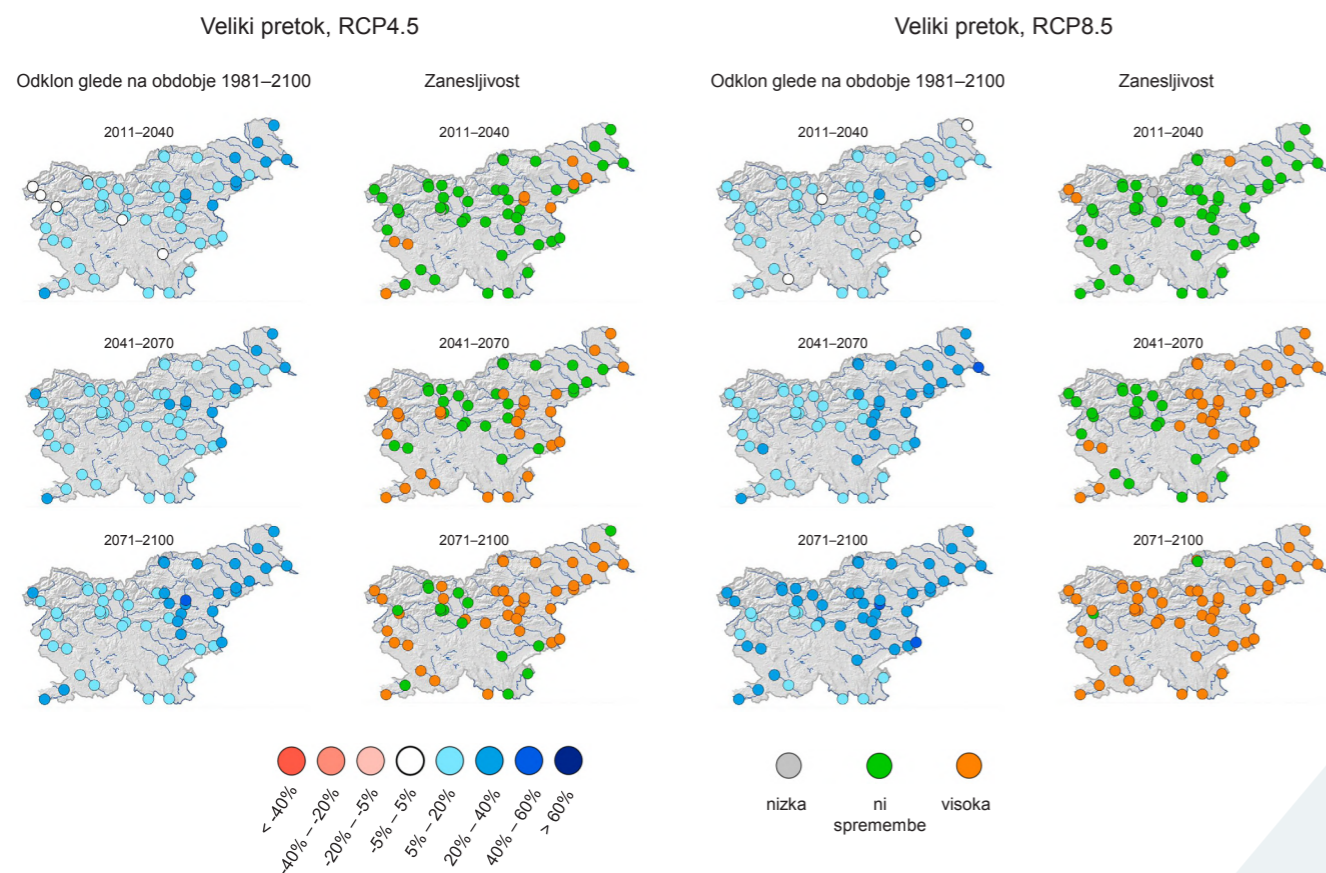
Še večje spremembe v številu dni z višino padavin nad 20 mm so predvidene za scenarij izpustov RCP8.5. Na letni ravni se bo število takšnih dni zanesljivo povečalo v zadnjih dveh obdobjih po celotni državi, z izjemo alpsko-dinarske pregrade.



Foto: Albert Kolar, SOkol

HIDROLOŠKE SPREMENLJIVKE

Veliki pretoki



Sprememba velikih pretokov (srednjih letnih konic) v Sloveniji in zanesljivost spremembe v treh zaporednih obdobjih za scenarija izpustov RCP4.5 (levo) in RCP8.5 (desno). Prikazano je relativno odstopanje velikih pretokov od povprečja v primerjalnem obdobju 1981–2010. »Visoka stopnja zanesljivosti« pomeni, da gre z veliko verjetnostjo pričakovati spremembe v določeno smer. Pri stopnji zanesljivosti »ni spremembe« gre za majhne, statistično nepomembne spremembe, ki so primerljive ali celo manjše od naravne spremenljivosti. »Nizka stopnja zanesljivosti« pa namiguje na pomembne razlike v podnebnih modelih in pomeni, da lahko pričakujemo znatne spremembe bodisi v pozitivno bodisi v negativno smer.

Veliki pretoki oziroma srednje letne konice se bodo po vseh scenarijih izpustov v primerjavi z obdobjem 1981–2010 povečale povsod po državi, v povprečju od 20 do 30 %. Povečanje se od bližnje prihodnosti proti koncu stoletja stopnjuje, hkrati z zanesljivostjo sprememb. V prvem obdobju bo povečanje v mejah naravne spremenljivosti. Največje povečanje konic bo na severovzhodu države, kjer bo v primeru scenarija izpustov RCP4.5 ob koncu stoletja znašalo do približno 30 %. V primeru scenarija izpustov RCP8.5 bo

povečanje proti koncu stoletja med 20 in 40 % na skoraj vseh vodomernih postajah.

Za pretoke letnih visokovodnih konic s 100-letno povratno dobo v primerjalnem obdobju se v vseh scenarijih izpustov pričakuje povečanje 100-letnih nivojev za vsa obdobja v prihodnosti glede na obdobje 1981–2010, večinoma po celi državi. Zanesljivost sprememb je podobna kot za letne konice.

Viri

Bertalanič, R. in sod. (2018). Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: Sintezno poročilo - prvi del.

EEA (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. EEA poročilo št. 1/2017, Evropska agencija za okolje.

SOkol - Slike o okolju (2018). Dostopno na: <http://nfp-si.eionet.europa.eu/sokol/index.php>

van Vuuren, D.P. in sod. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109, stran 5-31.

Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: Povzetek
Ljubljana, december 2019

Izdajatelj: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, Vojkova 1b

Odgovarja: mag. Lilijana Kozlovič, generalna direktorica

Tehnično uredila: Živa Vlahovič

Pri pripravi povzetka so sodelovali:

Renato Bertalanič, Mojca Dolinar, Andrej Draksler, Luka Honzak, Mira Kobold, Neža Lokošek, Anže Medved, Andreja Sušnik, Gregor Vertačnik, Živa Vlahovič

Deskriptorji: podnebne spremembe, Slovenija, 21. stoletje, temperatura, padavine, vodna bilanca, rečni pretok, scenariji, regionalni podnebni modeli

Descriptors: climate change, Slovenia, 21st century, temperature, precipitation, water balance, river flow, scenarios, regional climate models

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani
COBISS.SI-ID=303076096
ISBN 978-961-6024-87-7 (epub)
ISBN 978-961-6024-87-7 (pdf)
URL: <http://www.meteo.si/met/sl/climate/change/>

© 2019, Agencija Republike Slovenije za okolje

Razmnoževanje publikacije ali njenih delov ni dovoljeno. Objava besedila in podatkov v celoti ali deloma je dovoljena le z navedbo vira.



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE