



**ARSO VREME**

# **Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja**

**Povzetek temperaturnih in padavinskih povprečij**





## 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.



Foto: Špela Guštin, SOkol



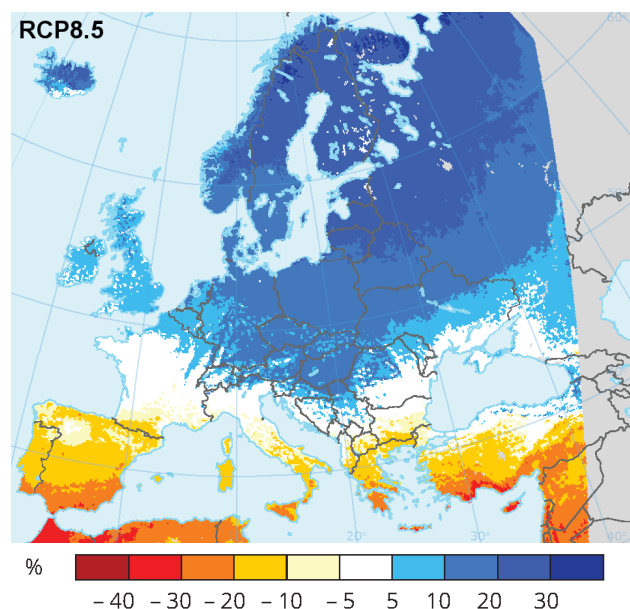
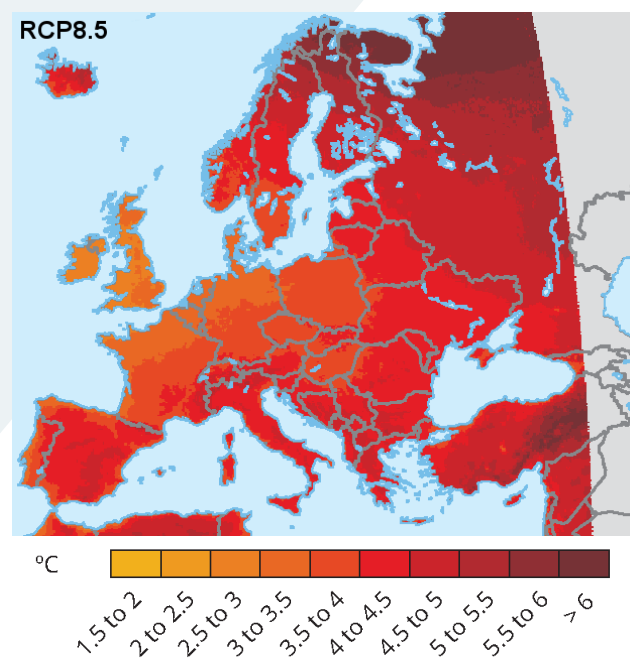
Foto: Špela Guštin, SOkol

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 pričakovane spremembe na območju Slovenije z osredotočanjem na letna in sezonska povprečja temperature zraka ter padavin tekom 21. stoletja.



## OD EVROPE DO SLOVENIJE



Zemljevida prikazujeta simulirane spremembe povprečne letne temperature zraka (zgoraj) in povprečnih letnih padavin (spodaj) v Evropi v obdobju 2071-2100 v primerjavi z referenčnim obdobjem 1971-2000 za ekstremen scenarij izpustov toplogrednih plinov RCP8.5. Namenjena sta prikazu smeri signala spremembe na območju Evrope (EEA, 2017).

Vplivi podnebnih sprememb se odražajo po celotni Evropi, vendar se med geografskimi regijami razlikujejo, saj je ta podnebno zelo raznolika. Jugovzhodna in južna Evropa trenutno spadata med najbolj ranljivi, saj hkratno 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 ter poplavljanje rek pozimi in spomladi. Slovenija leži na stiku srednje Evrope, Alp in Mediterana, 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 izrazitejše ali bolj subtilne, 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 povprečne letne temperature zraka do konca 21. stoletja na celotnem območju Slovenije v vseh letnih časih. Tekom 21. stoletja je v Sloveniji predvideno opazno zmanjšanje padavin poleti ter njihovo naraščanje pozimi. Medsebojna odvisnost temperature in padavin se bo znotraj leta spreminjala glede na letni čas.





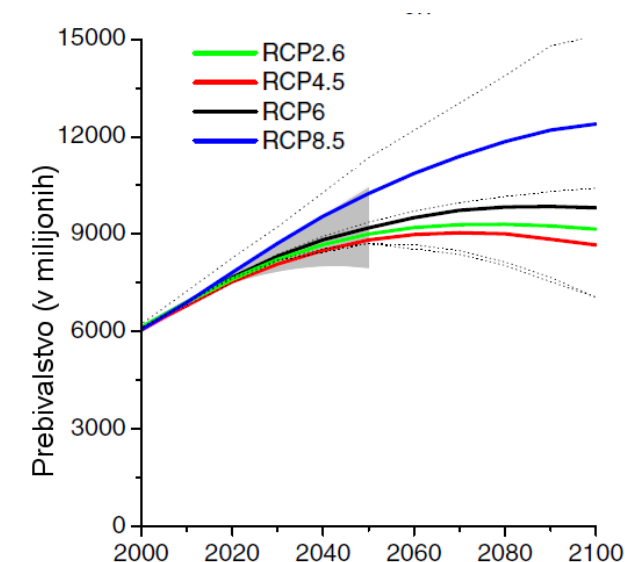
## SCENARIJI IZPUSTOV TOPLOGREDNIH PLINOV

Potek podnebnih sprememb v prihodnosti je odvisen od dejanskih 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 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O in drugih onesnaževalcev 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, ki je v posplošenem smislu merilo povišanega toplogrednega učinka glede na predindustrijsko dobo in je izražen v vatih na kvadratni meter (W m<sup>-2</sup>). Večji kot je sevalni prispevek, večje spremembe v podnebnem sistemu lahko pričakujemo.

Najmilejši scenarij, RCP2.6, 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 dosegel 2.6 W m<sup>-2</sup>. Stabilizacijski scenarij RCP4.5, ki na podlagi trenutnega stanja velja za zmerno optimističnega ter najbolj verjetnega v naslednjem stoletju, predvideva postopno zmanjševanje izpustov ter stabilizacijo sevalnega prispevka pri 4.5 W m<sup>-2</sup> do leta 2100. Podobno tudi stabilizacijski scenarij RCP6.0 do leta 2100 doseže vrednost 6.0 W m<sup>-2</sup> in se kmalu po tem ustali. Najskrajnejši scenarij brez predvidenega blaženja podnebnih sprememb je RCP8.5, ki predvideva visok izpust toplogrednih plinov in posledično naraščanje njihove vsebnosti tudi po letu 2100, ob koncu stoletja pa naj bi sevalni prispevek znašal 8.5 W m<sup>-2</sup>.

V povzetku so predstavljene simulacije povprečne letne in sezonske temperature ter padavin tekom 21. stoletja za tri različne scenarije značilnih potekov vsebnosti RCP2.6, RCP4.5 in RCP8.5, 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 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> in N<sub>2</sub>O (van Vuuren idr., 2011).

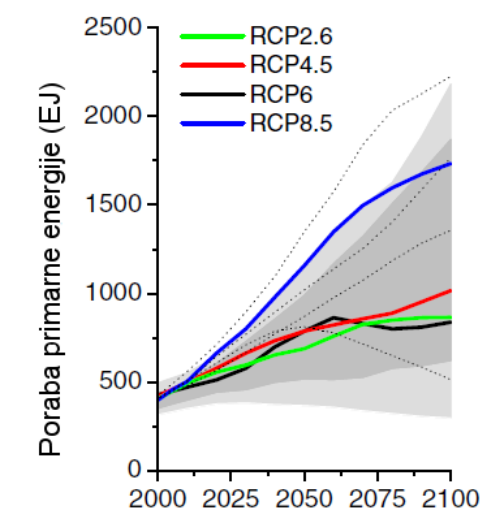


Foto: Štefka Krivec, SOkol



## 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 v nekaterih prostorskih in časovnih skalah, hkrati pa vseh fizikalnih procesov znotraj podnebnega sistema ni mogoče simulirati. Poleg tega določeni atmosferski procesi (npr. turbulenca, mikrofizika oblakov in konvekcijske padavine) še niso dodobra 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 referenčno 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 z referenčnim 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 je bilo obravnavanih šest manjših prostorskih regij znotraj Slovenije glede na podnebno razvrstitev:

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

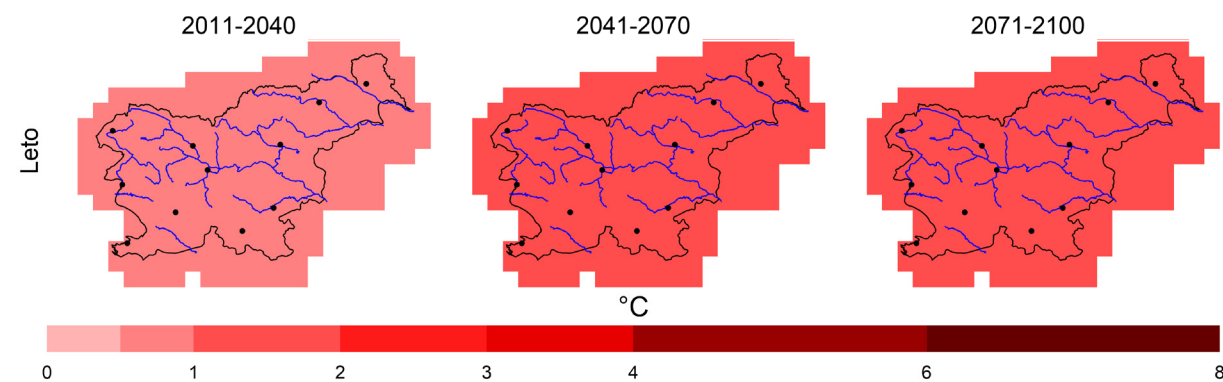
Podnebne simulacije ne veljajo za natančne napovedi stanja v prihodnosti, temveč opisujejo več možnih ter verjetnih stanj podnebnega sistema v Sloveniji na podlagi globalnega družbeno-gospodarskega razvoja in služijo kot ocena prihodnjih temperaturnih in padavinskih razmer.





# TEMPERATURA

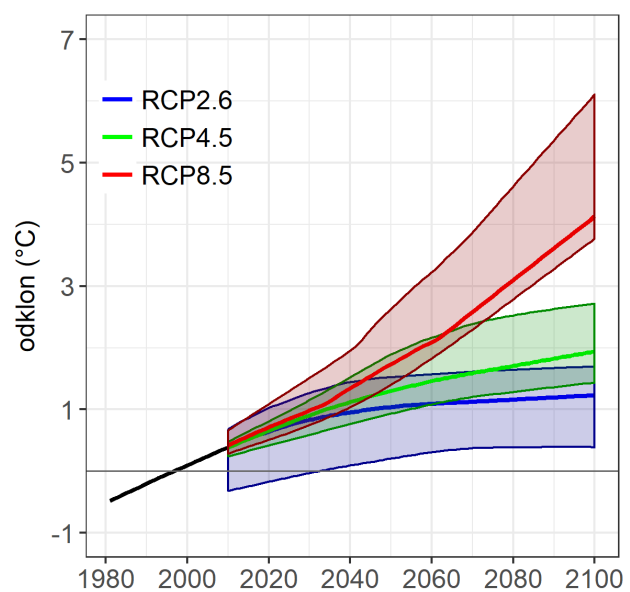
## Letna povprečja



Zemljevidi prikazujejo spremembo povprečne letne temperature zraka (zgoraj) in povprečne sezonske temperature zraka (naslednja stran) v Sloveniji v treh zaporednih 30-letnih obdobjih za RCP4.5. Prikazano je absolutno odstopanje temperature od povprečja v referenčnem obdobju 1981-2010.

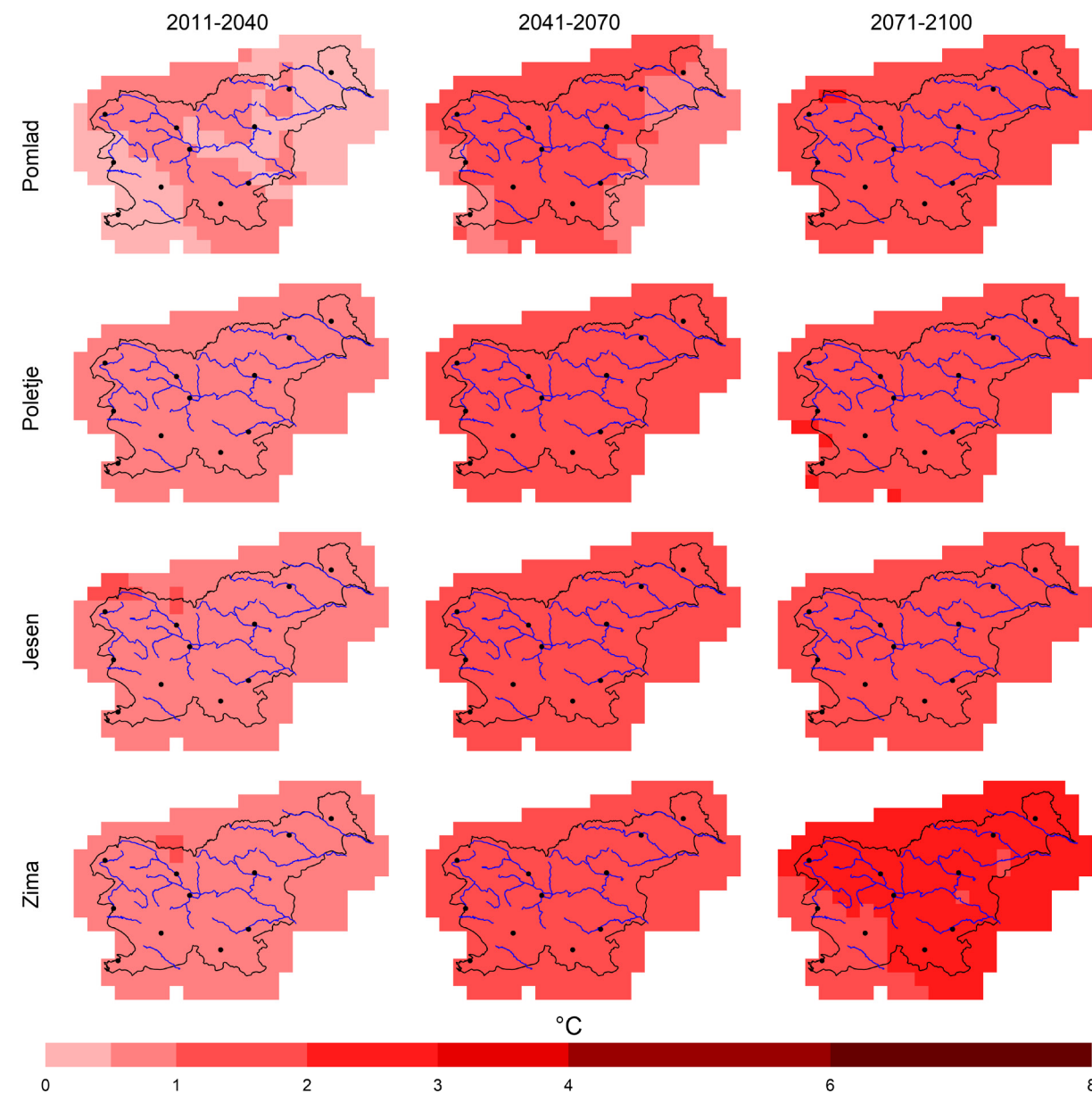
V skladu s predvidenim postopnim segrevanjem po celotni Evropi, bo tudi Slovenija v 21. stoletju podvržena znatnim naraščanjem temperatur, s srednjim razponom od 1 do 4 °C, odvisno od scenarija izpustov toplogrednih plinov. Vsi trije scenariji značilnega poteka vsebnosti toplogrednih plinov v Sloveniji do leta 2100 predvidevajo naraščanje temperature zraka in sicer RCP2.6 za 1 °C, RCP4.5 za približno 2 °C in RCP8.5 za 4 °C. V prvih dveh scenarijih, ki predvidevata zmanjšanje emisij, temperatura sprva narašča in se konec 21. stoletja ustali. Po RCP8.5 temperatura narašča strmeje v vsakem zaporednem obdobju.

Predvideno ogrevanje je prostorsko dokaj enakomerno, vendar se po letnih časih nekoliko razlikuje. Zmerno optimističen scenarij RCP4.5 v prvem obdobju predvideva dvig povprečne temperature zraka za 0.5 do 1.0 °C, v drugem obdobju za 1.0 do 2.0 °C, v zadnjem obdobju pa za 1.3 do 2.6 °C.



Prikaz poteka spremembe povprečne letne temperature zraka v Sloveniji tekom 21. stoletja v primerjavi z referenčnim obdobjem 1981-2010 za tri scenarije RCP2.6, RCP4.5 in RCP8.5 vključno z razponi možnih odstopanj.

## Sezonska povprečja

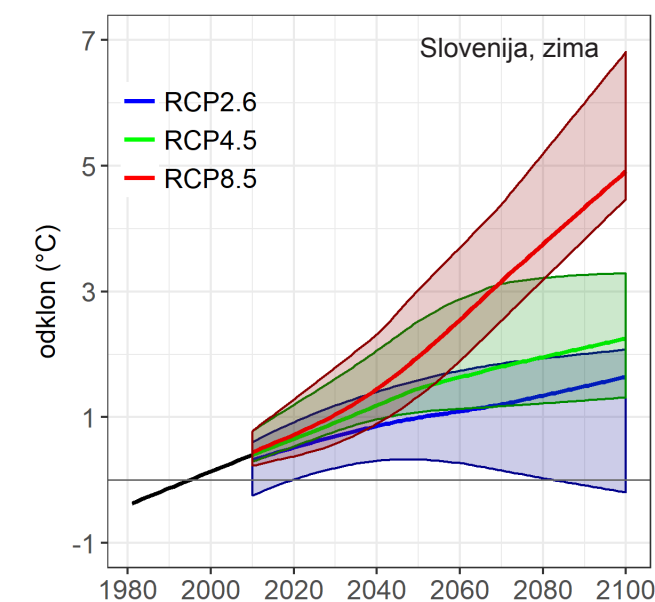
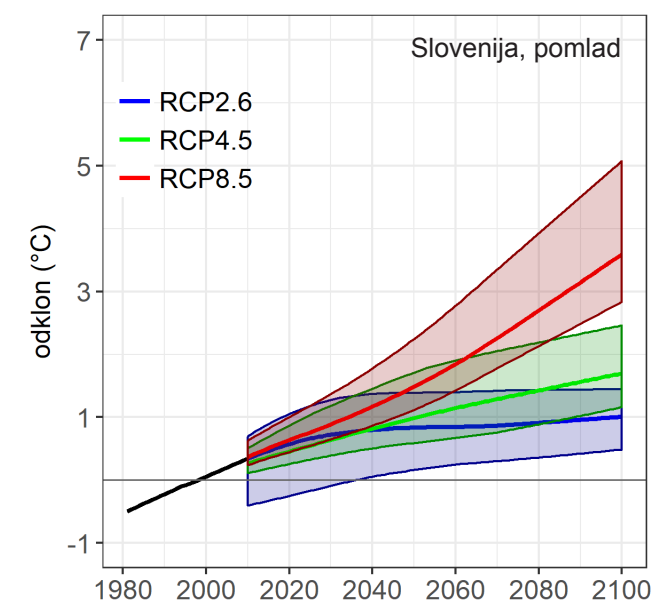


Znatne spremembe temperature bo Slovenija sicer občutila v vseh letnih časih, vendar bo predvsem v zimskem času segrevanje ob koncu stoletja predvidoma izrazitejše od povprečnega letnega segrevanja. V severnem in vzhodnem delu Slovenije (Visokogorje, Severovzhodna regija, Osrednja regija) bo temperatura pozimi naraščala še strmeje. Segrevanje bo najmanj izrazito spomladi. Predvidene spremembe po scenariju RCP4.5 so povsem zanesljive in se v veliki meri ujemajo s predvidenimi spremembami v večjem delu Evrope,

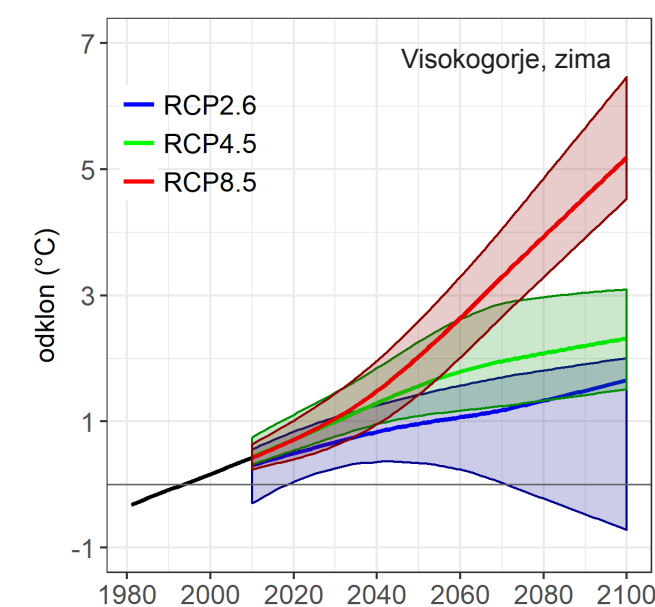
kjer je največje naraščanje temperature predvideno pozimi v severnem delu Evrope in poleti v južnem, medtem pa se bo gorski svet nadpovprečno segreval v obeh letnih časih. V primeru emisijskega scenarija RCP8.5 bodo razlike med gorskim svetom in preostalo Evropo manj izrazite, kar se odraža tudi na območju Slovenije.



Foto: Nina Lozej, SOkol



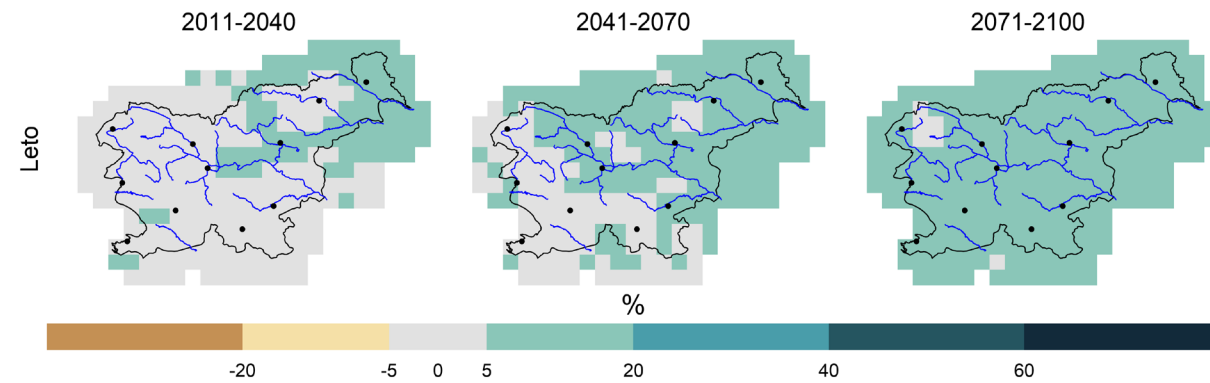
Prikaz poteka spremembe povprečne zimske (levo) in spomladanske (desno) temperature zraka v Sloveniji tekom 21. stoletja v primerjavi z referenčnim obdobjem 1981-2010 za tri scenarije RCP2.6, RCP4.5 in RCP8.5 vključno z razponi možnih odstopanj. Spodnji graf prikazuje potek spremembe povprečne zimske temperature v Visokogorju.





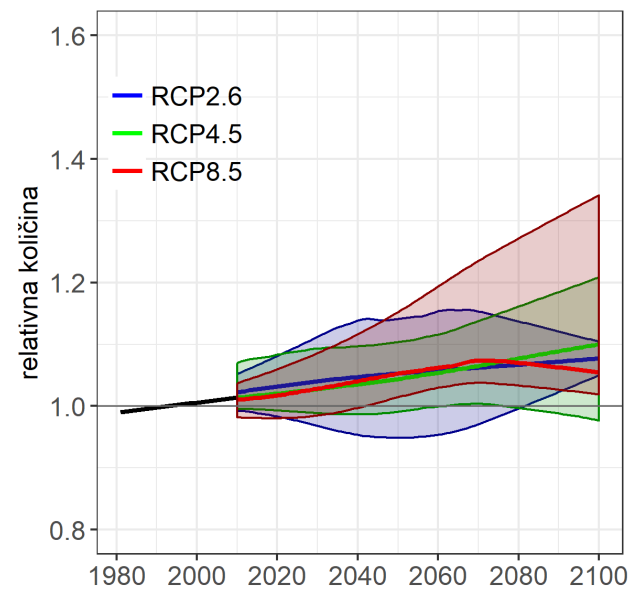
# PADAVINE

## Letna povprečja



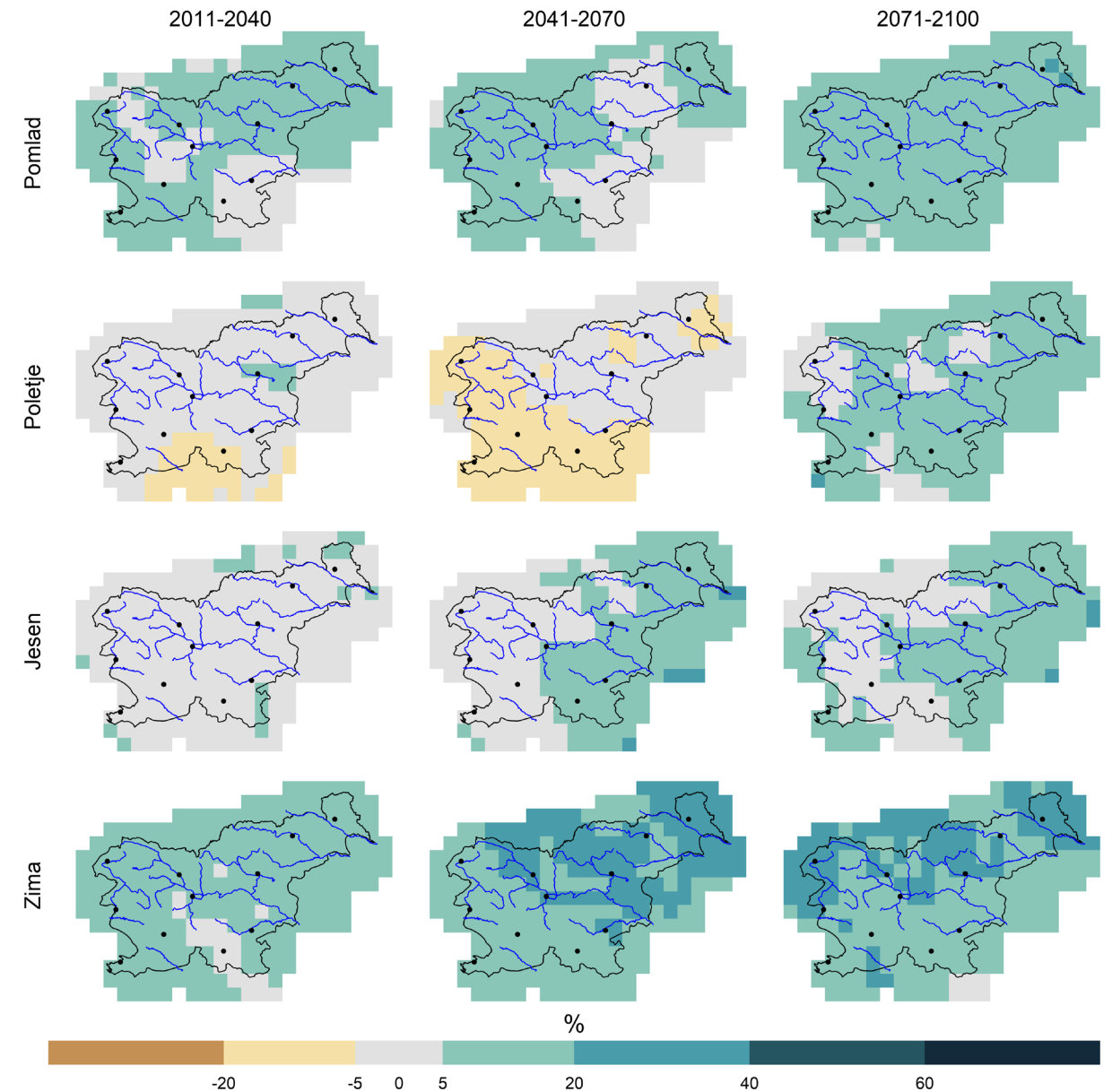
Zemljevidi prikazujejo spremembo povprečnih letnih padavin (zgoraj) in povprečnih sezonskih padavin (naslednja stran) v Sloveniji v treh zaporednih obdobjih za RCP4.5. Prikazano je relativno odstopanje padavin od povprečja v referenčnem obdobju 1981-2010.

V nasprotju s temperaturo so scenariji za spremembe padavin manj zanesljivi, saj so te časovno in prostorsko bolj raznolike. Velike razlike so med signali sprememb padavin za različne scenarije izpustov, predvsem za drugo polovico 21. stoletja. V primeru zmerno optimističnega scenarija RCP4.5 v začetnem obdobju na letni ravni ni pričakovati bistvenih sprememb, se pa signali z odmikom v prihodnost stopnjujejo. S pričetkom drugega obdobja se bo območje naraščanja padavin na letni ravni pričelo širiti z vzhoda na zahod. Do leta 2100 je na celotnem območju Slovenije z izjemo severozahoda pričakovan porast povprečnih letnih padavin za približno 10 % glede na obdobje 1981-2010. Napoved spremembe je najzanesljivejša v severnem in zahodnem delu Slovenije, na vzhodu pa je ta veliko manj zanesljiva. Predvidene spremembe padavin v Sloveniji niso prav izrazite, saj ta leži na območju Evrope, kjer signal odstopanja padavin zamenja smer; v severni Evropi bodo te na letni ravni naraščale, v južni pa bodo upadale. Iz lege na omenjenem prehodnem območju izvirajo tudi manjša zanesljivost napovedi padavin ter razlike med posameznimi scenariji izpustov toplogrednih plinov. Medtem ko najmilejši scenarij RCP2.6 za prvo obdobje ne predvideva večjih sprememb, potem pa povečanje padavin s težiščem na vzhodu do leta 2100, najskrajnejši scenarij RCP8.5 sprva napoveduje naraščanje padavin po vsej državi, v drugi polovici 21. stoletja pa se trend obrne.



Prikaz poteka spremembe padavin v Sloveniji tekom 21. stoletja v primerjavi z referenčnim obdobjem 1981-2010 za tri scenarije RCP2.6, RCP4.5 in RCP8.5 vključno z razponi možnih odstopanj.

## Sezonska povprečja





Na sezonski ravni je signal spremembe padavin nekoliko bolj izražen. V primeru zmerno optimističnega scenarija RCP4.5 bo naraščanje padavin najbolj izrazito pozimi. Poletja bodo tekom prvih dveh napovednih obdobj predvidoma bolj suha v primerjavi s povprečjem v obdobju 1981-2010, za konec stoletja pa kaže, da bodo bolj mokra. Sezonske razlike izvirajo iz premikanja prehodnega območja, pozimi se bo to namreč nahajalo v južni Evropi, poleti pa v severni.

Predznak sezonskih sprememb padavin je močno odvisen od poteka izpustov toplogrednih plinov. Tako

se v primeru scenarija RCP4.5 padavine poleti najprej zmanjšajo, konec stoletja pa povečajo, v primeru skrajnega scenarija RCP8.5 pa se zgodi ravno obratno. Najprej se padavine poleti malenkost povečajo, konec stoletja pa se močno zmanjšajo. Porast zimskih padavin bo v primeru skrajnega scenarija še večji. Zimsko naraščanje padavin ne pomeni povečane možnosti za sneg, saj bodo s hkrati naraščajočo temperaturo zraka snežne padavine najverjetneje postale vse manj pogoste.



Foto: Albert Kolar, SOkol

## Viri

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

FreePik (2017). Dostopno na: <https://www.freepik.com>

SOkol (2017). Dostopno na: <http://nfp-si.eionet.europa.eu/sokol/index.php>

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

### Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: Povzetek temperaturnih in padavinskih povprečij

Ljubljana, november 2017

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

**Odgovarja:** mag Joško Knez, generalni direktor  
**Tehnično uredila:** Živa Vlahovič

#### Pri pripravi povzetka so sodelovali:

Renato Bertalanč, mag. Mojca Dolinar, Neža Ključevšek, Anže Medved, Gregor Vertačnik, Živa Vlahovič

**Deskriptorji:** podnebne spremembe, Slovenija, 21. stoletje, temperatura, padavine, scenariji, statistični podatki, simulacijski modeli

**Descriptors:** climate change, Slovenia, 21<sup>st</sup> century, temperature, precipitation, scenarios, statistics, simulation models

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID=292768768

ISBN 978-961-6024-72-3 (epub)

ISBN 978-961-6024-73-0 (pdf)

URL: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/change/>

© 2017, Agencije 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