

PODATKI O PODNEBJU SLOVENIJE II

Climate data of Slovenia II

Mateja Nadbath

Na oddelku za podnebne analize Agencije RS za okolje (ARSO) spremljamo podnebje Slovenije. Poleg analiz podnebja na podlagi izmerjenih podatkov državne mreže meteoroloških postaj pripravljamo tudi projekcije podnebja v 21. stoletju. O podnebnih podatkih in analizah smo v biltenu že pisali leta 2019, v novembrski številki. V tokratnem prispevku je poudarek na podatkih o podnebnih projekcijah, to je o pričakovanih spremembah podnebja Slovenije do konca 21. stoletja.

Za družbo in njeno delovanje je poznavanje podnebja pomembno, saj ima le-to velik vpliv na dejavnosti družbe. Res je pa tudi obratno, družba s svojim delovanjem vpliva na podnebje. Za prihodnji razvoj družbe, za pripravo ocene tveganj, ki jih prinašajo podnebne spremembe in za pripravo akcijskega načrta za prilagajanje nanje želimo čim več vedeti o podnebj u v bodoče. O ocenah podnebja prihodnosti govorijo podnebne projekcije.

Leta 2016 smo na ARSO začeli s projektom *Ocena podnebnih sprememb do konca 21. stoletja*. Glavni vzrok podnebnih sprememb od industrijske revolucije naprej in tudi v prihodnjih desetletjih in stoletjih je naraščanja vsebnosti toplogrednih plinov v ozračju. Ta je odvisna od svetovnih družbenogospodarskih dejavnikov, kot so rast prebivalstva, tehnološki razvoj, raba primarnih energijskih virov in tal ... Ker ne vemo, kako se bo človeštvo razvijalo v prihodnje, tudi vsebnosti ne moremo napovedati. Zato preučujemo prihodnje scenarije potekov vsebnosti toplogrednih plinov, ki predstavljajo mogoče bodoče poteke ob določenih predpostavkah. Medvladni forum za podnebne spremembe (IPCC) je leta 2014 v svojem četrtem poročilu definiral štiri scenarije značilnih potekov vsebnosti toplogrednih plinov (Representative Concentration Pathways - RCP). Pri naših analizah smo upoštevali tri:

- optimističnega, ki predvideva aktivno in učinkovito politiko zmanjševanja izpustov toplogrednih plinov, vrh naj bi izpusti dosegli med letoma 2010 in 2020, potem bi se zmanjševali (oznaka RCP2.6),
- stabilizacijskega ali zmerno optimističnega, po katerem naj bi izpusti toplogrednih plinov dosegli vrh okrog leta 2040, nato pa bi se zmanjševali (RCP4.5) in
- pesimističnega, ko družba ne bi omejevala izpustov toplogrednih plinov in bi njihova vsebnost stalno naraščala (RCP8.5).

Številke pri oznakah scenarijev toplogrednih plinov pomenijo neto sevalni prispevek zemeljskega ozračja ob koncu 21. stoletja.

Simulacije bodočega podnebja so narejene na osnovi različnih regionalnih modelov podnebja za omenjene tri scenarije vsebnosti toplogrednih plinov. Modeli zaradi različnih vzrokov stanja podnebja ne morejo opisovati popolnoma natančno. Vsak od modelskih rezultatov predstavlja fizikalno mogoče stanje prihodnjega podnebja. Prostorska ločljivost modelskih simulacij je okrog 12 km. Razpršenost rezultatov več modelov pa služi kot osnova za oceno negotovosti projekcij.

Ravno zaradi negotovosti, podnebne projekcije niso napovedi, so le verjetne spremembe podnebja v prihodnosti. Viri negotovosti pri simulacijah podnebnih projekcij so omejenost orodja s katerim raziskujemo in simuliramo bodoče podnebje, naravna spremenljivost podnebja, bodoči izpusti toplogrednih plinov, rast prebivalstva, tehnološki razvoj družbe ... Poleg rezultatov projekcij podnebja so zato prikazane tudi stopnje zanesljivosti ocenjenih sprememb.

Ocene podnebja so narejene na podlagi odstopanj 30-letnih povprečnih razmer v prihodnosti v primerjavi s primerjalnim obdobjem 1981–2010. Odstopanja so izračunana za projekcijska obdobja 2011–2040, 2041–2070 in 2071–2100, tako na nivoju leta kot tudi letnih časov. Zaradi raznolikosti države smo le-to razdelili na šest podnebnih regij in še za vsako prikazali bodoče spremembe podnebja.

Za oceno podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja so pripravljene projekcije za naslednje spremenljivke:

- povprečna temperatura,
- dnevna najvišja temperatura,
- dnevna najnižja temperatura,
- temperaturni kazalniki (kazalnik vročine, število vročinskih valov, dolžina vročinskega vala, magnituda vročinskega vala, število vročinskih valov, dolžina vročinskega vala, skupna dolžina toplih obdobj, število toplih dni, število vročih dni, število tropskih noči, kazalnik najtoplejših dni, kazalnik mraza, število obdobj hudega mraza, dolžina obdobja hudega mraza, skupna dolžina hladnih obdobj, število hladnih dni, število ledenih dni, kazalnik najhladnejših dni),
- temperaturne razmere za rast rastlin,
- višina padavin,
- padavinski kazalniki,
- izjemne padavine,
- povprečna hitrost vetra,
- količina vode v novozapadlem snegu,
- število dni s snežno odejo,
- delež snežnih padavin,
- referenčna evapotranspiracija,
- vodni primanjkljaj,
- vodni primanjkljaj nad 0 mm,
- napajanje podzemnih voda,
- kazalniki suše,
- srednji pretoki rek,
- veliki pretoki rek (srednje letne konice),
- mali pretoki rek,
- povratne dobe za velike pretoke rek (letne visokovodne konice),
- temperaturni primanjkljaj,
- temperaturni presežek,
- kurilna sezona,
- hidroenergetski potencial: pretok pri 0,5, 5, 10, 25, 50, 75, 90 in 95 odstotkov časa in trajanje pretoka pri 0,5, 5, 10, 25, 50, 75, 90 in 95 odstotkov časa,
- energija globalnega sončnega obseva in
- trajanje sončnega obsevanja.



Projekcije za našteje spremenljivke so objavljene v publikaciji z naslovom *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja – Sintezno poročilo – prvi del*, izdali smo jo novembra 2018. V publikaciji so objavljene razlage o podnebnih projekcijah, o podnebnju in vodah v dobi meritev, o vhodnih podatkih projekta in o metodologiji. Takoj za uvodnimi besedami so objavljena ključna

sporočila (slika 1). Publikacija je v celoti objavljena na spletnih straneh Agencije RS za okolje, na naslovu <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/change/>. Tu so objavljene tudi vse priloge, ki so pri tiskani izdaji na priloženem CD-ju.

SPREMEMBE TEMPERATURE

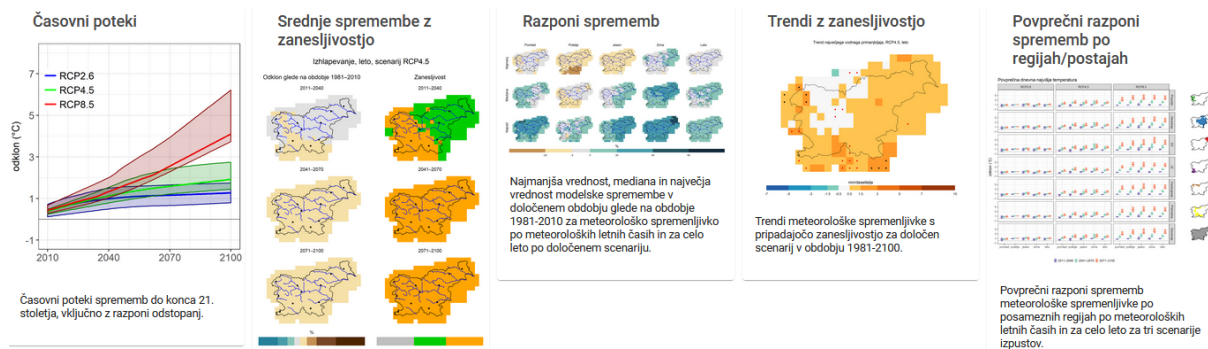
- Povprečna temperatura zraka se je v obdobju 1961–2011 dvignila za 1,7 °C. Trend naraščanja temperature zraka je nekoliko večji v vzhodni kot v zahodni polovici države. Najbolj so se ogreela poletja in pomladi, nekoliko manj zime. Jeseni se niso ogrele.
- Temperatura površinskih voda se je v obdobju 1953–2015 zviševala s trendom 0,2 °C na desetletje, temperatura podzemnih voda v obdobju 1969–2015 pa s trendom 0,3 °C na desetletje.
- Naraščanje temperature zraka se bo v Sloveniji v 21. stoletju nadaljevalo, velikost dviga pa je zelo odvisna od scenarija izpustov toplogrednih plinov. V primeru optimističnega scenarija izpustov RCP2.6 bo temperatura do konca stoletja v primerjavi z obdobjem 1981–2010 zrasla za približno 1,3 °C, v primeru zmerno optimističnega scenarija izpustov RCP4.5 za približno 2 °C, v primeru pesimističnega scenarija izpustov RCP8.5 pa za približno 4,1 °C. Verjetno bo najbolj zrasla temperatura pozimi, le nekoliko manj poleti in jeseni, najmanj pa spomladi.
- Dvig temperature bo močno povečal toplotno obremenitev. V primeru optimističnega scenarija izpustov se bo število vročih dni v Sloveniji do konca stoletja povečalo za približno 6 dni, v primeru zmerno optimističnega scenarija izpustov za približno 11 dni, v primeru pesimističnega scenarija izpustov pa za približno 27 dni. V vseh scenarijih izpustov se bo povečalo število in trajanje vročinskih valov. V primeru zmerno optimističnega scenarija izpustov bomo imeli konec stoletja povprečno vsaj en vročinski val letno, ki bo po jakosti primerljiv ali hujši od vročinskega vala, ki smo ga imeli poleti 2003.
- 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 srednje optimističnega scenarija izpustov bo olistanje gozdnega drevja približno dva tedna, v primeru pesimističnega scenarija izpustov 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 1981–2010.

Slika 1. Ključno sporočilo o spremembi temperature iz publikacije *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja* - Sintezno poročilo – prvi del. Poleg temperature, ključno sporočilo podaja ugotovitve še o spremembah padavin, vodne bilance in pretokov rek.

Figure 1. Main messages of the publication *Estimation of climate change in Slovenia until the end of 21st century*

Poleg obširne publikacije *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja*, smo izdali še *Povzetek*, ki smo ga leta 2019 dopolnili. Pripravili smo tudi *Povzetek dejavnikov okolja z vplivom na kmetijstvo in gozdarstvo* in *Spremembe hidroloških razmer do sredine 21. stoletja*. Vsi povzetki so dostopni v tiskani obliki in na spletnem področju *Vremenski portal / Podnebne spremembe* (<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/change/>).

Vsi grafični produkti projekta so za lažje pregledovanje in raziskovanje uporabnika objavljeni tudi v *Atlasu podnebnih projekcij* na spletnih straneh Agencije RS za okolje, na področju *Vremenski portal / Podnebne spremembe*. Grafike in preglednice so pripravljene za celo Slovenijo ali različne podnebne regije, za različne letne čase ali na letni ravni, za tri prihodnja tridesetletna obdobja in tri različne scenarije izpustov toplogrednih plinov. Pet različnih grafičnih prikazov osvetljuje različne vidike sprememb podnebja, na primer časovni ali prostorski vidik (slika 2); razlaga vsakega od petih prikazov je objavljena v publikaciji in v *Atlasu podnebnih projekcij*. Spremembe so prikazane z odkloni od povprečja v obdobju 1981–2010. Ker gre za projekcije, je zelo pomembna tudi zanesljivost rezultatov. Ta je predstavljena na dva načina, s prikazom celotnega intervala rezultatov modelskih simulacij in s stopnjo zanesljivosti, ki je rezultat statističnih testov in skladnosti modelskih simulacij.



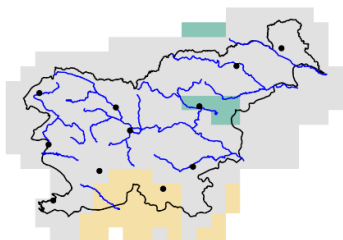
Slika 2. Atlas podnebnih projekcij (spletna stran <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/change/>)
 Figure 2. Atlas of climate projections (from <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/change/>)

Na primer, na shematskih zemljevidih je prikazana sredina (mediana) sprememb in njihova zanesljivost. Za izbrano spremenljivko in scenarij izpustov toplogrednih plinov je prikazana sprememba, na desni strani pa njena statistična zanesljivost, podana v treh stopnjah. Visoka stopnja zanesljivosti pomeni, da je navedena sprememba zelo verjetna. Stopnja zanesljivosti imenovana »ni spremembe« pomeni, da so izračunane spremembe majhne, statistično nepomembne in so primerljive z naravno spremenljivostjo. Nizka stopnja zanesljivosti pa nakazuje na veliko verjetnost sprememb, vendar ni gotovo v katero smer, povečanja ali zmanjšanja (slika 3).

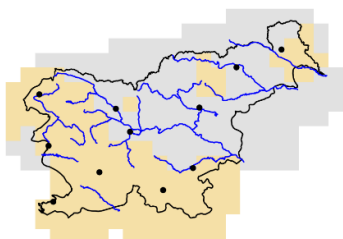
Padavine, RCP4.5, poletje

Odklon glede na obdobje 1981–2010

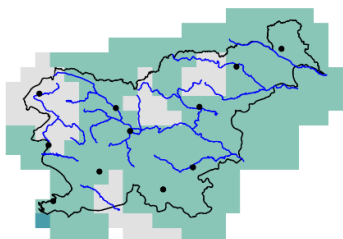
2011–2040



2041–2070

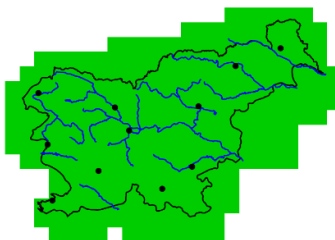


2071–2100

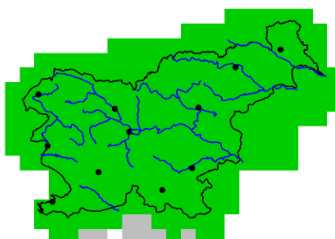


Zanesljivost

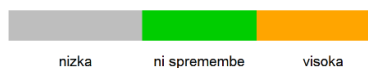
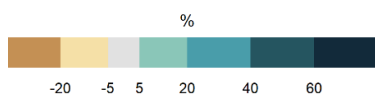
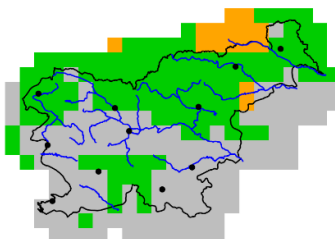
2011–2040



2041–2070



2071–2100



Slika 3. Povprečen odklon višine padavin poleti od tridesetletja 1981–2010, po scenariju RCP4.5, in njegova zanesljivost za tri tridesetletja 21. stoletja

Figure 3. Mean precipitation deviation from reference period 1981–2010 in summer for three 30-year periods in 21st century (left) and corresponding reliability of the change, RCP4.5 (right, green colour denotes no change, orange high and grey low reliability)

VROČINSKI VALOVI

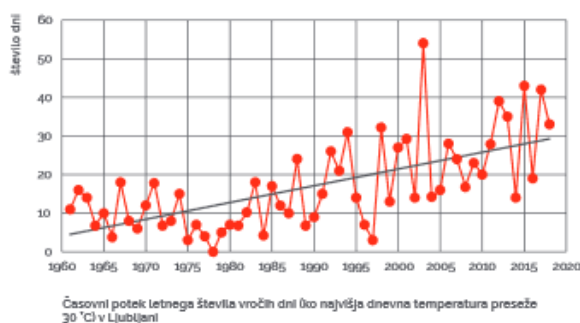
Upokojenec Milan in njegova psička Tara se v Ljubljani že nekaj dni slabo počutita. Zaradi velike toplotne obremenitve, ki je posledica vročinskega vala, Milan ponoči ne more spati, psička pa je izgubila tek. Po večernih sprehodih Milana muči glavobol, vrednosti ozona so namreč zelo visoke.



Kaj nas čaka?



Vročinski stres se bo stopnjeval in bo imel velik vpliv na vsa živa bitja. Vročinski valovi bodo daljši, močnejši in pogostejši. Zaradi velike koncentracije pozidanih površin bodo vročinski valovi v mestih še močnejši kot na podeželju.



Tipične spremembe za nižinski del
osrednje Slovenije

	SPREMEMBA POVPREČNE NAJVIŠJE DNEVNE TEMPERATURE POLETI	SPREMEMBA LETNEGA ŠTEVILA VROČINSKIH VALOV	SPREMEMBA LETNEGA ŠTEVILA VROČIH DNI
2041–2070	+1,0 DO +2,6 °C	+1,5 DO +3,9	+8 DO +22 DNI
2071–2100	+2,6 DO +5,0 °C	+3,5 DO +6,4	+20 DO +45 DNI

Spremembe so podane glede na povprečje obdobja 1981–2010

Ocena sprememb v Sloveniji do 2100

DO
45
VEČ VROČIH
DNI / LETO

DO
5°C
TOPLEJŠI
POPOLDNEVI

DO
6,4
VEČ VROČINSKIH
VALOV POLETI

Slika 4. Ena od strani zgibanke Čas je, da ukrepamo!
Figure 4. From brochure Čas je, da ukrepamo! (It's time to act!)

Na omenjenem spletnem področju je objavljena tudi zgibanika *Čas je, da ukrepamo!*, ki smo jo natisnili in izdali leta 2019. V njej je na poljuden način predstavljena ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja (slika 4).

O podnebnih projekcijah teče beseda tudi v prispevku *Kaj pomeni 1,5 °C namesto 2 °C toplejše Zemljino površje za Slovenijo?* Razlaga je objavljena na spletnih straneh ARSO, na področju *Vremenski portal / Podnebne spremembe*.