REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

Ocena sprememb nalivov na območju občine Oplotnica, dodatni plazovi

Vsebina

Uvod 3
Padavinske razmere 5
Ekstremne padavine 5
Nalivi na območju dodatnih plazov znotraj občine Oplotnica 7
Viri 9

Uvod

Podnebni modeli kvantitativno simulirajo interakcijo pomembnih dejavnikov podnebja, kot so ozračje, oceani, zemeljska površina in led. Upoštevajo prejeto energijo s Sonca kot kratkovalovno (predvsem vidno in kratkovalovno infrardeče) sevanje in oddano dolgovalovno infrardeče sevanje. Vsako neravnovesje v prejeti in oddani energiji se pokaže kot sprememba v temperaturi. Upoštevati poskušajo čim več podatkov o podnebnem sistemu, kot so gibanje zračnih mas, nastajanje oblakov, tvorjenje padavin, večanje in manjšanje ledu na polih, spreminjanje vegetacije itn. Pogosto zato sklapljajo ozračje, oceane in led z reševanjem enačb za prenos energije, snovi in izmenjave sevanja.

Ena od omejitev globalnih podnebnih modelov je sorazmerno groba prostorska ločljivost. Za izračun lokalnih značilnosti podnebja potrebujemo podatke v večji ločljivosti, kot jo lahko ponudijo globalni modeli. Regionalni podnebni modeli so ena od treh možnosti, ki so na voljo za to (drugi dve sta zagon globalnih modelov v večji ločljivosti, kar je računalniško zelo zahtevno, ali uporaba statističnih tehnik za preračun v večjo ločljivost). Regionalni modeli računajo na manjšem območju in kot vhodni robni podatek uporabijo podatke iz globalnih modelov. Globalni modeli definirajo pojave na večji skali, kot so sprememba podnebja zaradi toplogrednih plinov ali izbruhov vulkanov ipd., regionalni modeli pa poskrbijo za vpliv lokalnih dejavnikov kot so relief, raba zemljišč ipd. na podnebje oz. vreme. Dajejo nam vremenske in podnebne informacije v prostorski ločljivosti od 50 km pa vse do 10 km. Regionalni modeli dajejo med seboj različne realizacije vremena, zanašamo pa se na to, da so osnovne značilnosti podnebja (npr. letni hodi in sezone, trendi itn.) pravilno realizirane.

Za oceno podnebnih sprememb na ARSO (Bertalanič, 2018) uporabljamo rezultate regionalnih podnebnih modelov projekta EURO-CORDEX (Jacob, 2014). Prostorska ločljivost regionalnih modelov, ki smo jih uporabili, je okrog 12 km, obdobje modeliranja je za vse modele 1961–2100, za nekatere pa 1971–2100. Uporabili smo modelske rezultate s časovnim korakom en dan. Od približno 15 kombinacij globalnih in regionalnih podnebnih modelov, ki so imeli na voljo vse želene spremenljivke, smo izbrali šest takih, ki so si med seboj čimbolj različni in se obenem čim bolje skladajo z izmerjenimi vrednostmi podnebnih spremenljivk v preteklosti. Te smo obravnavali kot ansambel in iz šestih rezultatov za vsako spremenljivko izračunali mediano sprememb in razpon negotovosti zanje.

Podnebni modeli vsebujejo sistematične napake. Te nastanejo med drugim zaradi omejene prostorske ločljivosti, poenostavljenih enačb za nekatere fizikalne procese, numeričnih shem, nepopolnega razumevanja vseh podnebnih procesov itn. V splošnem je potrebno sistematične napake modelov pred uporabo njihovih rezultatov popraviti. Rezultati modelov naj bi čim bolje predstavili preteklost. Za to primerjamo modelske rezultate z meritvami in jih ustrezno popravimo. To se da storiti na več načinov, na ARSO smo uporabili metodo preslikav kvantilov (ang. *quantile mapping*). Popravke smo naredili za obdobje 1981–2100 (Bertalanič, 2018).

Seznam modelov prikazuje preglednica 1. Globalni podnebni model je dal robne pogoje (gcm), regionalni podnebni model (rcm) pa preračun na 12-kilometrsko ločljivost.

Preglednica 1. Seznam modelov, katerih podatke smo uporabili v analizi. Podani so: globalni model (gcm) in regionalni model (rcm).

gcm	**rcm**
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-CCLM4
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4
ICHEC-EC-EARTH	DMI-HIRHAM5
IPSL-IPSL-CM5A-MR	IPSL-INERIS
MOHC-HadGEM2-ES	KNMI-RACMO22E
MPI-M-MPI-ESM-LR	SMHI-RCA4

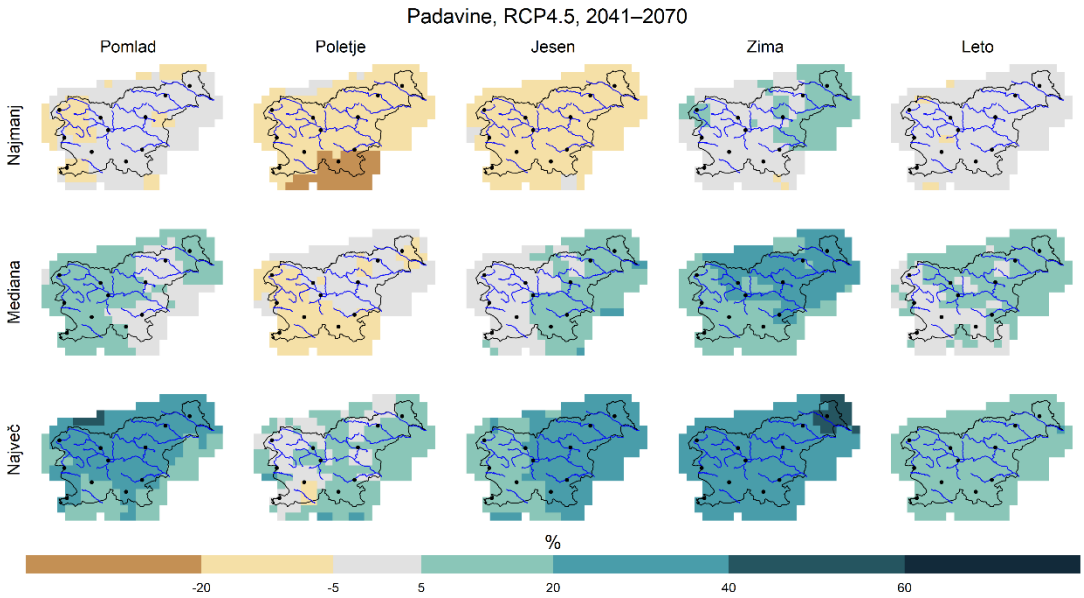
Kaj se bo v prihodnosti dogajalo s podnebjem, je zelo odvisno od socialno-ekonomskega razvoja sveta. Od tega je namreč odvisen potek izpustov toplogrednih plinov v prihodnosti. Za Peto poročilo (ang. *Fifth Assesment Report*, AR5) IPCC (Medvladni odbor za podnebne spremembe) (Kirtman, 2013) je znanstvena skupnost določila nabor štirih novih scenarijev, ki se imenujejo značilni poteki vsebnosti (ang. Representative Concentration Pathways – RCP) (van Vuuren, 2011). Razlikujejo se po skupnem sevalnem prispevku leta 2100 glede na leto 1750. Podatke smo pripravili **za zmerno optimističen scenarij RCP4.5**, ki predpostavlja znatne blažilne ukrepe glede izpustov toplogrednih plinov. Na ta način upoštevamo tudi tveganje, da države sveta ne bodo zmogle v celoti izpolniti zavez, ki so jih dale glede izpustov toplogrednih plinov (Pariški dogovor). V primeru vseh izpolnjenih zavez bi namreč potek izpustov toplogrednih plinov sledil optimističnemu scenariju RCP2.6.

Vsi podatki so pripravljeni za sredino 21. stoletja. Povprečne vrednosti se v klimatologiji običajno podajajo za tridesetletno obdobje. Tako so za sredino stoletja povprečne vrednosti podane za obdobje 2041–2070 s sredino obdobja okoli leta 2055. Tudi ekstremne vrednosti so ocenjene za obdobje okrog leta 2050.

Naročnik je naročil oceno sprememb nalivov na dodatnih 12 lokacijah znotraj občine Oplotnica. Ker so razlike v povratnih nivojih nalivov med temi lokacijami minimalne, podajamo enotne ocene sprememb nalivov. Smo pa od vseh 12. lokacij izbrali najvišje povratne nivoje.

Padavinske razmere

Za padavine podnebni scenariji kažejo veliko negotovost, se pa signali z odmikom v prihodnost stopnjujejo. Na letni ravni (skupna letna višina padavin) se premembe kažejo šele v drugem tridesetletnem obdobju (2041–2070), ko se bo količina padavin predvidoma povečala v vzhodni polovici Slovenije. Večje spremembe je zaznati na sezonski ravni. V zimskem času kaže, da se bo količina padavin povečala, poleti pa zmanjšala, čeprav je ta sprememba zelo negotova zaradi neskladnosti med modeli (slika 1).



Slika 1. Ocenjene spremembe povprečne višine padavin (v %) v obdobju 2041–2070 v primerjavi z obdobjem 1981–2010. Podani so mediana vseh modelskih ocen ter najnižja in najvišja modelska ocena.

Ekstremne padavine

Modelski rezultati regionalnih podnebnih modelov projekta EURO–CORDEX, ki smo jih uporabili v projektu OPS21, nam zaradi časovnega koraka, dolžine enega dneva, dajejo samo dnevne vrednosti vremenskih spremenljivk. Zato lahko analiziramo samo vrednosti za dnevno ali večdnevno višino padavin. Poleg tega veljajo modelske ocene za točke, ki pokrivajo okrog 150 m^2 površine (v 12-kilometrski ločljivosti), kar je še posebej neugodno za močne nalive, ki so lahko prostorsko zelo heterogeni in lahko znašajo v izbrani točki tudi nekajkratnik povprečne vrednosti površine modelske celice. Za lokalno najmočnejše nalive si s podatki modelov o

višini padavin zato ne moremo pomagati. Spremembo nalivov ocenjujemo iz študij, ki jih najdemo v literaturi in je večinoma povezana z ogrevanjem ozračja.

Iz fizikalnega zakona (*Clausius-Clapeyronova* enačba) (Wikipedija: Clausius-Clapeyronova enačba) sledi, da kapaciteta ozračja za zadrževanje zračne vlage narašča približno s stopnjo 7 % za vsako stopinjo v temperaturi ozračja (stopnja C-C). Trendi opazovane relativne vlažnosti kažejo, da bo relativna vlažnost v prihodnje ostala približno enaka v celotni troposferi, zato bo ozračje ob povečani temperaturi vsebovalo več absolutne vlage. Za 20. stoletje je na osnovi spremenjene temperature zraka pri tleh ocenjeno, da se je absolutna vlažnost nad oceani povečala za 5 %. Ker padavine prihajajo večinoma iz vremenskih sistemov, ki jih poganja vsebnost vlage v ozračju, je v splošnem intenzivnost padavin narasla. S tem se je povečala verjetnost močnejših padavinskih in s tem tudi snežnih dogodkov. Teorija, simulacije s podnebnimi modeli in empirični dokazi potrjujejo, da toplejše podnebje zaradi povečane vsebnosti vlage v ozračju vodi k intenzivnejšim padavinskim dogodkom, tudi če se letna količina padavin nekoliko zmanjša. Pri povečani letni količini padavin pa je verjetnost za močnejše padavinske dogodke še večja. Toplejše ozračje povečuje verjetnost za sušo, ko ne dežuje, in poplave, ko dežuje. Seveda ne ob istem času in kraju (Trenberth, 2007).

V literaturi navajajo po svetu različno stopnjo sprememb pri izjemnih nalivih, od 7 % do 14 % na °C ogrevanja ozračja. Pregleden opis današnjih sprememb in vpliva podnebnih sprememb na obilne padavine je v 6. poročilu Medvladnega odbora za podnebne spremembe (IPCC, 2021). Tam je glavni poudarek na enodnevnih izjemnih padavinah, ker so sorazmerno najbolj raziskane, omenjene pa so tudi izjemne padavine v obdobju več dni in tudi obdobjih, krajših od dneva. Glavni poudarki tega poročila so:

1. Spremembe v vremenskih in podnebnih ekstremih so določene s termodinamičnimi spremembami (torej z lokalno izmenjavo toplote, vlage in ostalih povezanih količin) in dinamičnimi spremembami (povezanimi z gibanjem zraka in oceanov).
2. V splošnem ogrevanje ozračja povečuje vsebnost vlage v njem zaradi večjega izhlapevanja in večje kapacitete zraka pri višjih temperaturah. V svetovnem merilu se ta vsebnost povečuje v grobem po stopnji C-C glede na °C svetovnega ogrevanja. Na regionalni skali se ta stopnja razlikuje zaradi več vzrokov, med drugim zaradi spremembe vremenskih vzorcev in omejitve prenosa vlage od oceanov, ki se ogrevajo počasneje od kopnega.
3. Opazovanja kažejo, da se na svetovni skali jakost izjemnih padavin povečuje s podobno stopnjo C-C.
4. Projekcije podnebnih modelov kažejo, da se jakost izjemnih padavin povečuje med 4 in 8 % na °C ogrevanja (termodinamični prispevek). Na regionalni skali pa modeli kažejo, da se zaradi dinamičnega prispevka lahko ta močno spremeni. Dinamični prispevek je veliko bolj negotov in kaže veliko večje razlike med modeli, kot termodinamični.
5. Na svetovni skali obstaja pomanjkanje analiz dolgoročnih trendov za izjemne padavine, krajše od enega dneva. Podatki so nepopolni, prostorsko razpršeni in časovno prekratki. Kljub temu analize kažejo na njihovo povečanje v skoraj vseh regijah, čeprav z nizkim zaupanjem v svetovnem merilu. Obstajajo pa analize odvisnosti kratkotrajnih padavin glede na spremembo v meddnevni temperaturi rosišča, ki kažejo stopnjo spremembe med stopnjo C-C in dvakratnikom te stopnje (Lenderink in van Meijgaard, 2008, Lenderink,

2011). Ta sprememba pa ni odvisna samo od odziva na podnebne spremembe, ker ne ločuje med termodinamičnimi in dinamičnimi faktorji.

6. Podatki podnebnih modelov predstavljajo povprečne vrednosti na površini modelske celice. Faktor razlike med točkovnimi meritvami in temi vrednostmi znaša po analizah tudi do 130 %. Analize kažejo, da je srednja vrednost spremembe izjemnih enodnevnih padavin s 50-letno povratno dobo po vseh regijah sveta, vseh scenarijih družbeno-ekonomskega razvoja (SSP) in podnebnih modelih okrog 7 % na °C svetovnega ogrevanja. Za padavine z 10-letno povratno dobo in petdnevne izjemne padavine pa je ta stopnja nekoliko manjša.
7. Za urne izjemne padavine je nabor modelskih analiz še bolj omejen in tudi zmožnost globalnih podnebnih modelov pri njihovem opisu je omejena. Vendar večina obstoječih analiz predvideva njihovo naraščanje, podobno stopnji C-C ali večji.

Nalivi na območju dodatnih plazov znotraj občine Oplotnica

Analize odvisnosti 15-minutnih nalivov s povratno dobo 50 let od povprečne dnevne temperature zraka so za naše postaje z dolgimi nizi (Ljubljana, Maribor in Kočevje) konsistentne z literaturo (Lenderink, 2008). V temperaturnem območju od 0 do 18 °C narašča višina ekstremnih padavin s stopnjo od 12 do 15 % za vsako stopinjo toplejšega ozračja.

Iz literature in podatkov naših merilnih postaj torej pričakujemo rast 15-minutnih do nekajurnih ekstremnih padavin s stopnjo **do 7 %**, obstaja pa **velika verjetnost**, da je ta stopnja dvakrat večja, torej **14 %** na vsako stopinjo ogrevanja ozračja. Ekstremni nalivi z dolžino do 1 ure so pri nas navadno posledica neviht. Najbolj izdatni padavinski dogodki z dolžino nekaj ur so posledica pojava atmosferskih rek, to je močnega in zelo vlažnega zračnega toka. Najmočnejši zabeleženi enodnevni padavinski dogodki večinoma sovpadajo z nekajurnimi ekstremi in imajo bolj ali manj isti izvor. Večdnevni dogodki pa so posledica ciklonalne dejavnosti in se pojavijo zaradi različnih vzrokov, običajno pa zaradi več prehodov vremenskih front ali mirujoče vremenske fronte. Kot oceno spremembe ekstremnih nalivov do vključno ene ure smo zato upoštevali stopnjo naraščanja enako polovični vrednosti med zgoraj omenjenima, torej **10,5 %/°C**, za nalive do vključno enega dne pa manjšo, **7 %/°C**.

Stopnja naraščanja povprečne temperature zraka iz modelskih rezultatov izbranih regionalnih podnebnih modelov na območju plazov znotraj občine Oplotnica znaša okrog **0,20 °C/desetletje,** 95-odstotni interval zaupanj zanjo pa je med 0,14 in 0,32 **°C/desetletje**. Do leta 2050 pričakujemo dvig temperature za (0,47–1,12 °C). Ocene sedanjih in prihodnjih vrednosti največje višine 5-, 10- in 15-minutnih in 24- urnih nalivov s povratno dobo 100 let prikazuje preglednica 2. Vrednost s povratno dobo 100 let označuje tisto intenziteto padavin, ki je v povprečju dosežena ali presežena enkrat na 100 let oz. je verjetnost, da bo dosežena ali presežena v enem letu 1 %.

Preglednica 2. Ocene za ekstremne 5-, 10- in 15-minutne in 24-urne nalive (v mm) s povratno dobo 100 let na območju plazov znotraj občine Oplotnica. Ocene so podane za današnje podnebje (danes) in za podnebje v sredini 21. stoletja (2050) po scenariju RCP4.5. Za prihodnje podnebje je podan interval verjetnih vrednosti, dobljen iz 95-odstotnega intervala zaupanja ansambla modelov.

Dolžina naliva (minute)	**Obdobje**	**Povratni nivo (mm)**
5	danes	21
	2050	22–23
10	danes	33
	2050	35–37
15	danes	40
	2050	42–45
1440	danes	135
	2050	139–146

Viri

- Bertalanič, R., et all, 2018, Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja, Sintezno poročilo – prvi del. ISBN 978-961-6024-80-8 (zv. 1).
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896, str. 1557–1567.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O., Bouwer, L., . . . Gobiet, A. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. RegionalEnvironmental Challenges, 14 (2), 563-578.
- Kirtman, B., Power, S. B., Adedoyin, J. A., Boer, G. J., Bojariu, R., Camilloni, I., . ..Wang, H. J. (2013). Nearterm Climate Change: Projections and Predictability. V T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, . . . (ur.), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge in New York: Cambridge University Press.
- Lenderink, G., van Meijgaard, E., 2008. Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes, Nat. Geosci 1, 511-514, doi:10.1038/ngeo262.
- Lenderink, G. et. al, 2011. Scaling and trends of hourly precipitation extremes in two different climate zones – Hong Kong and the Netherlands, Hydrol. Earth Syst. Sci., doi:10.5194/hess-15-3033-2011.
- Trenberth, K.E. et al, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S. et al (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- van Vuuren, D., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., . . . Rose, S. (2011). The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change, 109, 5-31
- Wikipedija: Clausius–Clapeyronova enačba. Pridobljeno 15. septembra 2023 s spletne strani: https://sl.wikipedia.org/wiki/Clausius-Clapeyronova_ena%C4%8Dba

Pripravil: Urad za meteorologijo, hidrologijo in oceanografijo
Datum: 4. december 2024

REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE, PODNEBJE IN ENERGIJO
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE