ARSO VREME

Ocena sprememb nalivov na območju ceste Vukovski Dol – Polički Vrh v občini Pesnica

Vsebina

Uvod 3
Padavinske razmere 5
Ekstremne padavine 5
Največja dnevna količina padavin na območju ceste LC 310151 v občini Pesnica 6
Nalivi na območju ceste LC 310151 v občini Pesnica 6
Viri 8

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 izmenjavo 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 jemljejo 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 časovni korak 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 nedoločenosti.

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. 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 km skalo.

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

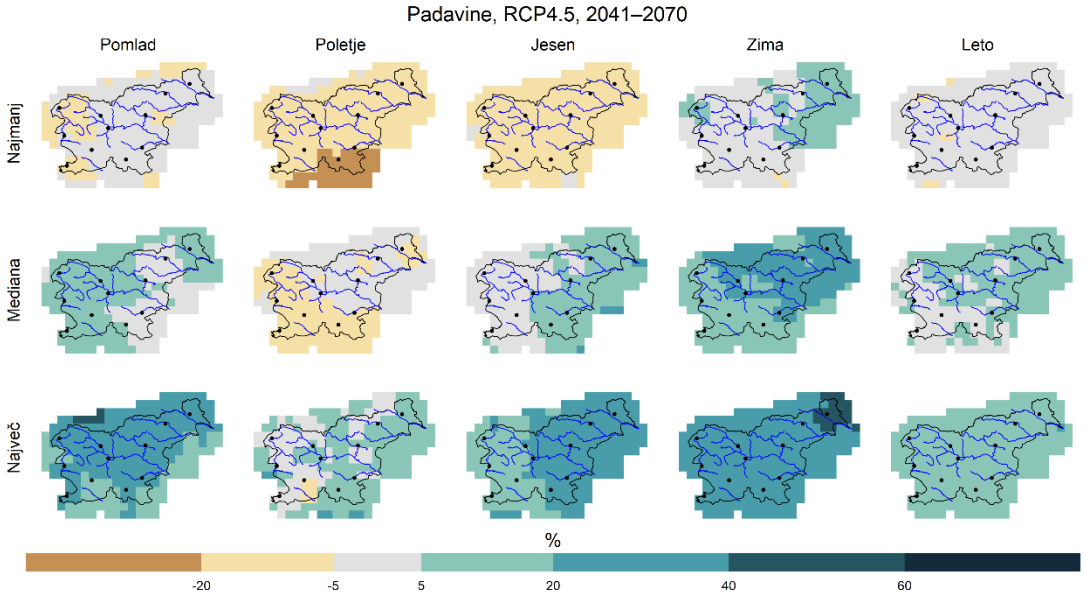
gcm	**rcm**
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-CCLM4
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4
ICHEC-EC-EARTH	DMI-HIRHAM5
IPSL-IPSL-CM5A-MR	IPSL-INERIS
MOHC-HadGEM2-ES	KNMI-RACMO22E
MPI-M-MPI-ESM-LR	SMHI-RCA4

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 riziko, 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. Ekstremne vrednosti pa so ocenjene za obdobje okrog leta 2050.

Padavinske razmere

Za padavine podnebni scenariji kažejo veliko negotovost, se pa signali z odmikom v prihodnost stopnjujejo. Na letni ravni se premembe kažejo šele v drugem tridesetletnem obdobju (2041–2070), ko se bo količina padavin 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 (slika 1).



Slika 1. Ocenjene spremembe povprečnih 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 regionalni podnebnih modelov projekta EURO–CORDEX, katere smo uporabili znotraj projekta 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. Na nalive s krajšim trajanjem iz teh podatkov ne moremo neposredno sklepati. Spremembo kratkih (15-minutnih) nalivov ocenjujemo iz študij, ki jih najdemo v literaturi.

Iz fizikalnega zakona (*Clausius-Clapeyronova* enačba) (Wikipedija: Clausius-Clapeyronova enačba) sledi, da kapaciteta ozračja za zadrževanje vlage narašča približno s stopnjo 7 % za vsako stopinjo v temperaturi ozračja. 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 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).

Največja dnevna količina padavin na območju ceste LC 310151 v občini Pesnica

Modelski rezultati izbranih šestih regionalnih podnebnih modelov nad Slovenijo v modelski točki, znotraj katere se nahaja cesta LC 310151 v občini Pesnica, kažejo, da povprečen trend šestih modelov znaša **0,63 mm/desetletje** (z 95-odstotnim intervalom zaupanja med –0,23 in 1,71 mm/desetletje). Za krajše, 12-urne padavine, predvidevamo podobno spremembo, kot za enodnevne. V preglednici 2 so podane ocene za ekstremne 24-urne padavine s 100-letno povratno dobo v današnjem in prihodnjem podnebju. Vrednost s povratno dobo 100 let označuje tisto intenziteto padavin, ki je v povprečju dosežena ali presežena enkrat na 100 let.

Preglednica 2. Ocene za ekstremne 24-urne padavine s povratno dobo 100 let za območje ceste LC 310151 v občini Pesnica. Ocene so podane za današnje podnebje (P_{danes}) in za podnebje v sredini 21. stoletja (P_{2050}) po scenariju RCP4.5. Za prihodnje podnebje je podan 95-odstotni interval zaupanja za oceno, ki temelji na izračunu šestih različnih podnebnih modelov (preglednica 1) in srednja vrednost ocene.

Območje	**Trajanje padavin (ure)**	**P_{danes} (mm)**	**Ocena P_{2050} (mm)**	**Srednja vrednost ocene P_{2050} (mm)**
LC 310151	24	141	140–150	144

Nalivi na območju ceste LC 310151 v občini Pesnica

Posledice ogrevanja ozračja na intenzivnost padavin z različno dolžino trajanja je tema, ki še vedno ni popolnoma rešena. Sprememba ekstremih enodnevnih višin padavin in nalivov s krajšim trajanjem (ena ura ali manj) zaradi ogrevanja ozračja ni enaka. Torej na podlagi scenarijev za spremembe dnevnih ekstremnih padavin ne moremo sklepati na spremembe krajših nalivov. Analiza odvisnosti dnevnih in urnih ekstremnih padavin od dnevne povprečne temperature (kot posredne spremenljivke, ki označuje temperaturo zračne mase) na podlagi

meritve na Nizozemskem in Švici kažejo, da so spremembe dnevnih padavinskih ekstremov konsistentne s 7-odstotnim naraščanjem na 1 °C spremembe v temperaturi ozračja, da pa so spremembe dvakrat večje (14 % na stopinjo spremembe temperature ozračja) za enourne ekstremne nalive, ko povprečna dnevna temperatura zraka preseže 12 °C. Na podlagi rezultatov regionalnega podnebnega modela velja to tudi za večji del Evrope. Za severni del Slovenije simulacije kažejo na 5–10 % povečanje nalivov pri temperaturnem dvigu za 1 °C (Lenderink in van Meijgaard, 2008).

Poznejše študije so pokazale 14-odstotno stopnjo naraščanja enournih ekstremnih padavin v odvisnosti od temperature rosišča za podatke nizozemskih meteoroloških postaj in tudi za podatke območja, ki ima vlažno subtropsko podnebje (Hongkong). Stopnja je bila enaka za obe vrsti podatkov in je veljala za temperaturo rosišča do 23 oz. 24 °C (Lenderink, 2011).

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 Lenderink, 2008. 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.

Stopnja naraščanja povprečne temperature zraka iz modelskih rezultatov izbranih regionalnih podnebnih modelov na območju ceste LC 310151 v občini Pesnica znaša okrog **0,19 °C/desetletje,** s 95-odstotnim intervalom zaupanja med 0,13 in 0,34 °C/desetletje. Od tod lahko pričakujemo naraščanje v ekstremnih padavinah od **0,91 %/desetletje** (po stopnji 7 %/°C) oz. **4,76 %/desetletje** (po stopnji 14 %/°C) oz. za **4,55 %** in **23,80 %** v prihodnjih 50 letih. Ocene sedanjih in prihodnjih vrednosti največje višine 5, 10 in 15-minutnih nalivov s povratno dobo 100 let prikazuje preglednica 3. Vrednost s povratno dobo 100 let označuje tisto intenziteto padavin, ki je v povprečju dosežena ali presežena enkrat na 100 let.

Preglednica 3. Ocene za ekstremne 5-, 10- in 15-minutne nalive (v mm) s povratno dobo 100 let na območju ceste LC 310151 v občini Pesnica. 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 teoretičnih ocen po stopnjah 7%/°C in 14 %/°C.

Območje	**Dolžina naliva (minute)**	**Obdobje**	**Povratni nivo (mm)**
LC 310151	5	danes	19
		2050	20–24
	10	danes	31
		2050	32–38
	15	danes	37
		2050	39–46

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).
- 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.
- 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 splettne strani: https://sl.wikipedia.org/wiki/Clausius-Clapeyronova_ena%C4%8Dba
- 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.
- 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.

Pripravil: Urad za meteorologijo, hidrologijo in oceanografijo
Datum: 18. april 2024

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