

## SEZONSKI VPLIV PADAVIN NA POJAV PLAZENJA DO SREDINE 21. STOLETJA

**dr. Mateja Jemec Auflič, Gašper Bokal, Špela Kumelj**

Geološki zavod Slovenije; [mateja.jemec-auflic@geo-zs.si](mailto:mateja.jemec-auflic@geo-zs.si), [gasper.bokal@geo-zs.si](mailto:gasper.bokal@geo-zs.si), [spela.kumelj@geo-zs.si](mailto:spela.kumelj@geo-zs.si)

**Anže Medved, mag. Mojca Dolinar**

Agencija Republike Slovenije za okolje; [anze.medved@gov.si](mailto:anze.medved@gov.si), [m.dolinar@gov.si](mailto:m.dolinar@gov.si)

**dr. Jernej Jež**

Geološki zavod Slovenije; [jernej.jez@geo-zs.si](mailto:jernej.jez@geo-zs.si)

DOI: [https://doi.org/10.3986/9789610506683\\_06](https://doi.org/10.3986/9789610506683_06)

UDK: 551.577:551.435.62(497.4)

### IZVLEČEK

#### **Sezonski vpliv padavin na pojav plazanja do sredine 21. stoletja**

V prispevku prikazujemo sezonski vpliv sprememb padavinskih režimov na pojav plazanja v 29 izbranih občinah v Sloveniji do sredine 21. stoletja. V ta namen smo uporabili scenarij značilnih potekov vsebnosti toplogrednih plinov (RCP4.5) in simulacije šestih podnebnih modelov, ki so se med seboj čim bolj razlikovali, hkrati pa kar najbolj enotno predstavljali izmerjene vrednosti podnebnih spremenljivk v obdobju meritev. Na podlagi referenčnega obdobja (1981–2010) prikazujemo število dni, ko padavine presežejo sprožilne količine padavin in območja, kjer se lahko plazovi v projekcijskem obdobju (2041–2070) pogosteje pojavljajo. Rezultati kažejo, da so vplivi podnebnih sprememb na sezonski ravni (toplo-hladna obdobja) v sredini stoletja bolj izraziti med posameznimi regijami kot na ravni celotne države. V 10-letnih projekcijskih obdobjih se v zahodni Sloveniji kažejo bolj izrazite spremembe v hladnem obdobju, medtem ko se v vzhodnem delu Slovenije pričakujejo večje spremembe v toplen obdobju.

### KLJUČNE BESEDE

podnebne spremembe, zemeljski plazovi, sezonski vpliv padavin, Slovenija

### ABSTRACT

#### **Seasonal influence of rainfall on landslides until the middle of the 21st century**

In the paper, we present the seasonal impact of rainfall on landslides in selected 29 municipalities in the mid-21st century. To do this, we used the Representative Concentration Pathway (RCP) 4.5 climate scenario and simulated future climatology by six climate models that differed from each other as much as possible while reflecting measured values of past climate variables as closely as possible. Based on the baseline period (1981–2010), we plotted the number of days with exceedance of rainfall thresholds in the area where landslides may occur more frequently during the projection period (2041–2070). The results show that climate change impacts are more pronounced at the seasonal level (warm-cold periods) at mid-century between individual regions than at the level of the whole country. In the 10-year projection periods, changes in the cold period are more pronounced in western Slovenia, while greater changes are expected in the warm period in the eastern part of Slovenia.

### KEY WORDS

climate change, landslides, seasonal impact of rainfall, Slovenia

## 1 Uvod

Na pojav zemeljskih plazov vplivajo različni dejavniki, povezani s stabilnostjo pobočij. Med glavnimi sprožitvenimi dejavniki so padavine, ki sodijo med osnovne podnebne spremenljivke. Prvi začetki raziskav vpliva podnebnih sprememb na nestabilnost pobočij in pojav zemeljskih plazov ter modelskih študij scenarijev segajo v konec 20. stoletja, ko je Medvladni forum za podnebne spremembe (IPCC) izdal prvo poročilo o oceni podnebnih sprememb (Houghton in sod. 1990).

Vpliv podnebja in njegovih sprememb na zemeljske plazove je mogoče na splošno opredeliti kot: (a) lokalni ali regionalni (ali globalni), (b) kratkoročni ali dolgoročni ter (c) neposredni ali posredni vplivi. Te vplive je mogoče določiti s pomočjo štirih podnebnih spremenljivk, za katere je znano, da vplivajo na zemeljske plazove: skupne/kumulativne padavine, intenzivnost padavin, temperatura zraka in vremenski sistem. Avtorji so preučevali tako lokalni (Buma in Dehn 1998; Malet in sod. 2005; Coe 2012; Rianna in sod. 2014), kot tudi regionalni (za območja od nekaj 100 km<sup>2</sup> do nekaj 1000 km<sup>2</sup>) (Rebetez, Lugon in Baeriswyl 1997; Malet in sod. 2007; Gariano in Guzzetti 2016) in nacionalni vpliv (Sidle in Dhakal 2002; Schmidt in Glade 2003; Winter in sod. 2010; Stoffel, Tiranti in Huggel 2014; Paranunzio in sod. 2016).

Povezava med padavinami in pojavljanjem zemeljskih plazov je opazna tudi v Sloveniji. Komac (2005) je preučil vplive padavin na kamninsko podlago in ugotovil, da so padavine pomemben sprožitveni dejavnik pri prostorskem in časovnem pojavljanju zemeljskih plazov. Jemec Aufličeva in Komac (2013) sta na podlagi padavinskih dogodkov, ob katerih so se prožili zemeljski plazovi v obdobju od 1990 do 2010 ter analiz predhodnih in dnevnih padavin, dokazala pojavljanje plazov v treh različno dolgih padavinskih obdobjih. Raziskave o padavinah in njihovi intenziteti so s statističnim pristopom objavili tudi Rosi in sod. (2016), Jordanova in sod. (2020), medtem ko so empirični pristop vpeljali Bezak in sod. (2018) ter Bezak, Jemec Aufličeva in Mikoš (2019). Jemec Aufličeva in sod. (2021) so objavili prvo oceno vpliva podnebnih sprememb na pojavljanje zemeljskih plazov v sredini 21. stoletja za območje celotne Slovenije. Avtorji ugotavljajo, da se bodo ekstremni padavinski dogodki v prihodnosti pojavljali pogosteje kot danes, kar lahko na nekaterih območjih povzroči pogostejše pojavljanje zemeljskih plazov.

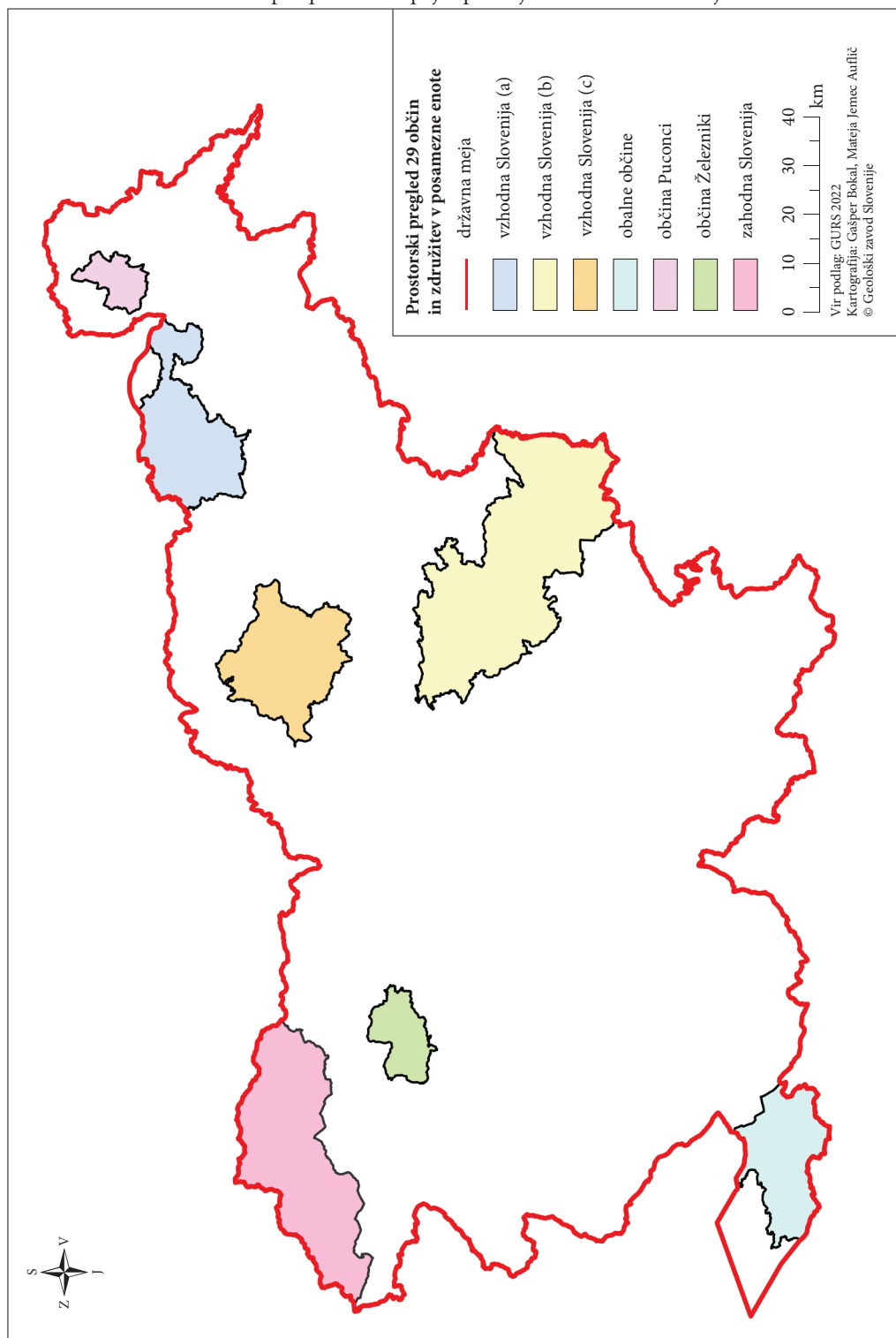
Glavni namen prispevka je prikazati, kakšen je sezonski vpliv padavin na pojavljanje plazov do sredine 21. stoletja v 29 občinah v Sloveniji, kjer je pojavljanje zemeljskih plazov zelo pogosto. Občine smo združili v naslednje enote (slika 1): zahodna Slovenija (Bovec, Gorje, Kranjska Gora, Jesenice, Železniki), vzhodna Slovenija (a) (Gornja Radgona, Kungota, Maribor, Pesnica, Šentilj, Sveta Ana, Sveti Jurij v Slovenskih goricah), vzhodna Slovenija (b) (Brežice, Hrastnik, Krško, Laško, Radeče, Sevnica, Trbovlje), vzhodna Slovenija (c) (Dobrna, Mislinja, Slovenj Gradec, Šoštanj, Velenje), Puconci, obalne občine (Izola, Piran, Koper).

## 2 Metode

Osnovni vhodni podatki, uporabljeni v raziskavi, so bili pridobljeni v okviru projekta Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja (Bertalanč in sod. 2019). Za oceno podnebnih sprememb uporablja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) rezultate regionalnih podnebnih modelov projekta EURO-CORDEX. Vodoravna ločljivost regionalnih modelov, ki so bili uporabljeni, je okrog 14 km. Obdobje modeliranja je 1961–2100, za nekatere modele 1971–2100. Časovni korak modelskih rezultatov je en dan. Od 14 kombinacij globalnih in regionalnih podnebnih modelov je bilo izbranih šest takšnih, ki so si med seboj čim bolj različni in se obenem čim bolje skladajo z izmerjenimi vrednostmi podnebnih spremenljivk v preteklosti. V nadaljevanju so modeli označeni z oznakami CCLM1, CCLM2, DMI, IPSL, KNMI, SMHI. Globalni podnebni model (GCM) je dal robne pogoje, regionalni podnebni model (RCP) pa je preračunal podatke v manjšo prostorsko ločljivost (okoli 12 km).

*Slika 1: Prostorski pregled 29 občin in združitve v posamezne enote. ► (str. 87)*

## Sezonski vpliv padavin na pojav plazenja do sredine 21. stoletja



Dnevni podatki padavin so bili preračunani iz 12 km ločljivosti v 1 km ločljivost. Podatki so pripravljene za zmerno optimistični scenarij RCP4.5, ki predpostavlja znatne blažilne ukrepe glede izpustov toplogrednih plinov, in sicer za dve obdobji, primerjalno (1981–2010) in projekcijsko obdobje (2041–2070).

Priprava zemljevidov podnebnih scenarijev je v prvi fazi obsegala določitev maksimalne količine padavin za posamezno celico v obdobju enega leta. Nato je bilo na podlagi vseh letnih maksimalnih padavin izračunano povprečje za 10-letne intervale znotraj projekcijskega obdobja, ločeno za hladno (oktober–marec) in toplo obdobje (april–september). Toplo in hladno obdobje sta opredeljena glede na meteorološke letne čase ter na pretekle padavinske dogodke, ob katerih so se prožili zemeljski plazovi. Glede na dolgoletni vzorec pojavljanja zemeljskih plazov je njihova sprožitve tesno povezana z jesensko-zimskim daljšim deževjem in pomladno-poletnimi intenzivnimi padavinami (Jemec Auflič in Komac 2013). Za potrebe ocene vpliva podnebnih sprememb na procese plazenja znotraj 29 občin so bile uporabljene povprečne maksimalne padavine za 10-letna obdobja. Z 10-letnimi obdobji želimo prikazati trend spreminjanja verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov od začetka primerjalnega obdobja do zaključka projekcijskega obdobja.

V prvem koraku smo določili število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin kot ključen vhodni podatek pri določitvi ocene vpliva podnebnih sprememb. Uporabili smo analitično operacijo prekrivanja. V prvi fazi smo posamične padavinske dogodke prekrili s slojem sprožilnih količin padavin (Jemec Auflič in sod. 2021). Rezultat so novi rastrski sloji, ki predstavljajo območja s preseženimi sprožilnimi količinami padavin. Celice, ki predstavljajo območja s preseženimi sprožilnimi količinami padavin, imajo vrednost 1, vsem ostalim območjem pa je bila določena vrednost 0. Nato smo v drugem koraku rastrske sloje med seboj sešteli, glede na časovno uvrstitev v primerjalno ali projekcijsko obdobje. Za vsak posamezen padavinski model sta nastala dva rastrska sloja, prvi za primerjalno obdobje (1981–2010) in drugi sloj za projekcijsko obdobje (2041–2070). V drugi fazi smo s pomočjo aritmetičnega prekrivanja izračunali spremembo števila dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin med primerjalnim in projekcijskim obdobjem.

Glavni namen analize je bil ugotoviti, ali se kažejo pomembne razlike v številu dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin med obema obdobjema.

V tretjem koraku smo za izračun sezonskih vplivov padavin na pojavljanje plazov uporabili model MASPREM, ki izračunava prostorsko časovno pojavljanje zemeljskih plazov za 24 ur vnaprej. Model MASPREM izračunava prostorsko časovno napoved plazov na podlagi treh vhodnih podatkov: karte verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov, sprožilnih količin padavin in napovedanih padavin za naslednjih 24 ur (modela ALADIN in INCA). Metodologija za izračun MASPREM napovedi je opisana v Jemec Aufličeva in sod. (2016; 2021). Izračunani 10-letni padavinski trendi (povprečni maksimumi) so predstavljali vhodni podatek za napovedane padavine.

Pri izdelavi projekcij sezonskega vpliva padavin na pojavljanje zemeljskih plazov, pripravi vhodnih podatkov in pripadajoče statistike smo uporabili ESRI programsko okolje (*ArcGIS Pro 2.5.0*, *ArcGIS Server 10.8*). Za vsak posamičen vsebinski sklop so se s programskim jezikom *Python* oblikovale skripte, ki so avtomatizirale in optimizirale celoten proces izdelave verjetnostnih projekcij. Skripte so bile izdelane v okolju *Arcpy*, ki je omogočilo uporabo ESRI programskih orodij izven samega programa.

## 3 Rezultati

### 3.1 Število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin v primerjalnem in projekcijskem obdobju

Za oceno razlike med številom dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin med primerjalnim (1981–2010) in projekcijskim (2041–2070) obdobjem smo primerjali število dni, kjer je bila presežena vrednost padavin 70 mm (mejna vrednost količine padavin, nad katero se zemeljski plazovi začnejo

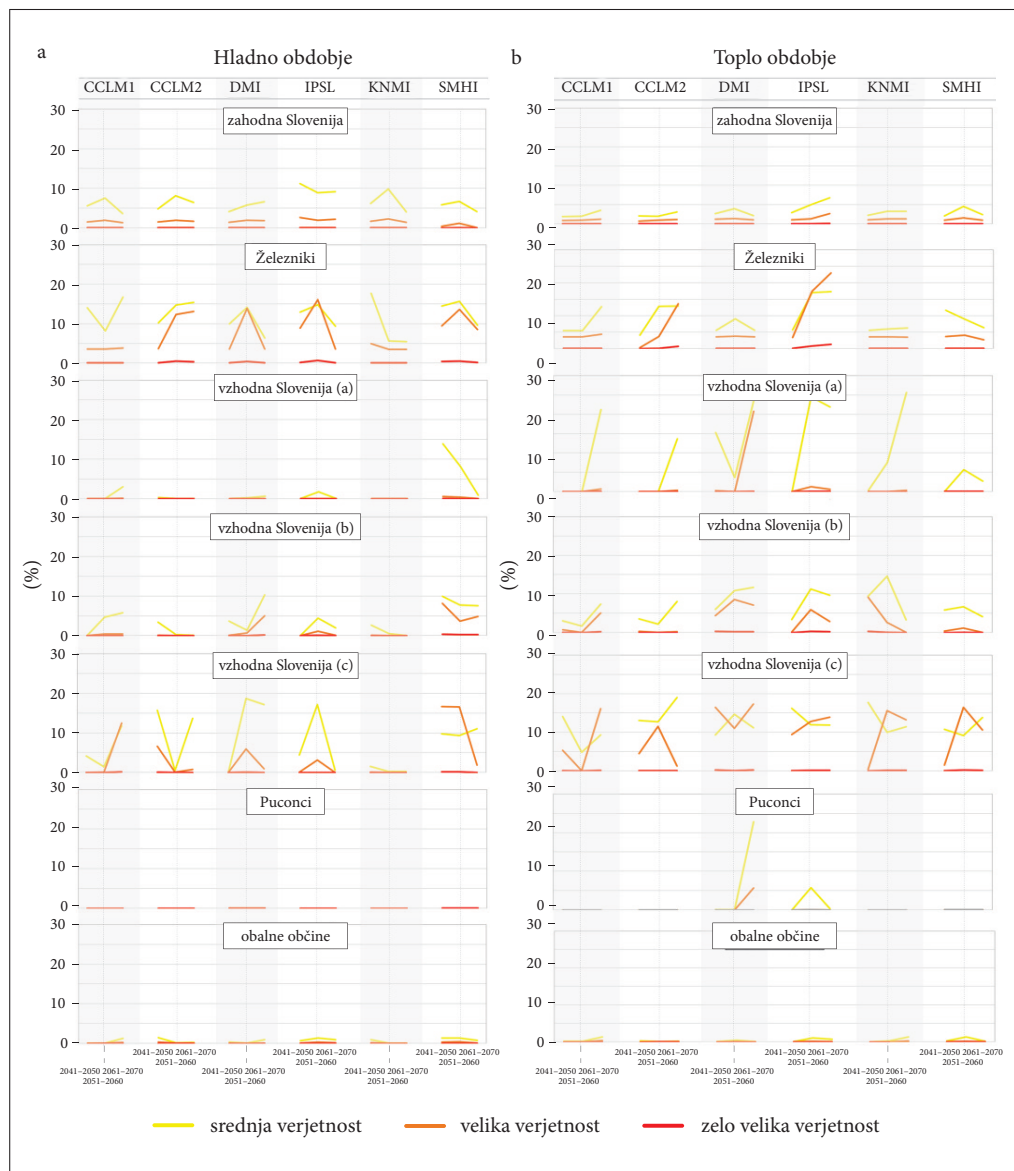
statistično pojavljati). Rezultati so prikazani tabelarično glede na število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin v primerjalnem in projekcijskem obdobju za vseh šest modelov (preglednica 1). Pri tem poudarjamo, da so vsi modeli enako zanesljivi ali nezanesljivi. To pomeni, da rezultati ne odražajo, kateri model je izračunal boljšo ali slabšo napoved.

*Preglednica 1: Število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin v primerjalnem in projekcijskem obdobju za 29 občin – primerjava med šestimi podnebnimi modeli. Seznam podnebnih modelov (okrajšave je pripravil ARSO), ki so kratice meteoroloških centrov, kjer so podatke pripravili (na primer DMI – Meteorološki inštitut Danske, KNMI – Meteorološki inštitut Nizozemske, SMHI – Meteorološki in hidrološki inštitut Švedske, IPSL – Istitut Pierre-Simon Laplace, Francija). Z \* sta označena modela, ki ju je pripravilo združenje več numeričnih centrov. Od slednjih smo vzeli dva modela, ki smo jih poimenovali CCLM1 in CCLM2.*

model	CCLM1*		CCLM2*		DMI		IPSL		KNMI		SMHI	
	obdobje 1981–2010	2041–2070	1981–2010	2041–2070	1981–2010	2041–2070	1981–2010	2041–2070	1981–2010	2041–2070	1981–2010	2041–2070
občina (število dni)												
Bovec	16	18	18	22	16	21	18	33	18	24	16	23
Brežice	2	3	2	3	2	10	2	7	2	6	2	10
Dobje	6	12	7	4	6	18	7	14	5	17	6	25
Dobrna	3	8	4	6	3	12	2	7	3	7	3	11
Gorje	4	4	5	6	4	7	4	10	5	7	4	7
Gornja Radgona	2	4	2	3	0	5	0	3	1	6	1	4
Hrastnik	4	6	3	2	3	7	2	6	2	5	2	8
Izola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jesenice	10	10	11	12	10	18	10	16	10	18	11	18
Koper	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	2
Kranjska Gora	6	5	6	7	6	10	6	11	6	10	6	9
Krško	2	3	2	2	2	8	2	3	2	7	2	5
Kungota	1	7	2	3	1	10	2	4	1	5	2	11
Laško	4	7	4	2	3	10	3	8	3	9	3	13
Maribor	3	8	3	6	2	8	3	7	3	6	2	12
Mislinja	3	6	4	7	3	11	2	5	4	5	3	11
Pesnica	2	9	3	5	3	8	2	6	2	5	2	10
Piran	2	5	2	3	1	5	2	7	2	5	2	6
Radeče	0	1	0	0	0	2	0	1	0	2	0	2
Šentilj	1	5	1	2	0	7	1	3	0	3	1	7
Sevnica	1	1	0	1	0	2	0	1	0	3	0	2
Slovenj Gradec	5	7	4	6	5	12	3	7	5	8	4	12
Šoštanj	2	4	3	3	2	9	2	4	3	3	2	8
Sveta Ana	0	2	0	2	0	4	0	2	0	2	0	4
Sv. Jurij v Slo. goricah	0	5	0	2	0	5	0	2	0	5	0	6
Trbovlje	3	5	2	2	2	4	1	4	1	3	2	5
Velenje	5	9	6	8	5	15	3	8	6	7	4	13
Puconci	1	7	2	2	1	5	1	6	2	4	2	5
Železniki	6	7	6	11	6	9	5	12	6	8	6	12

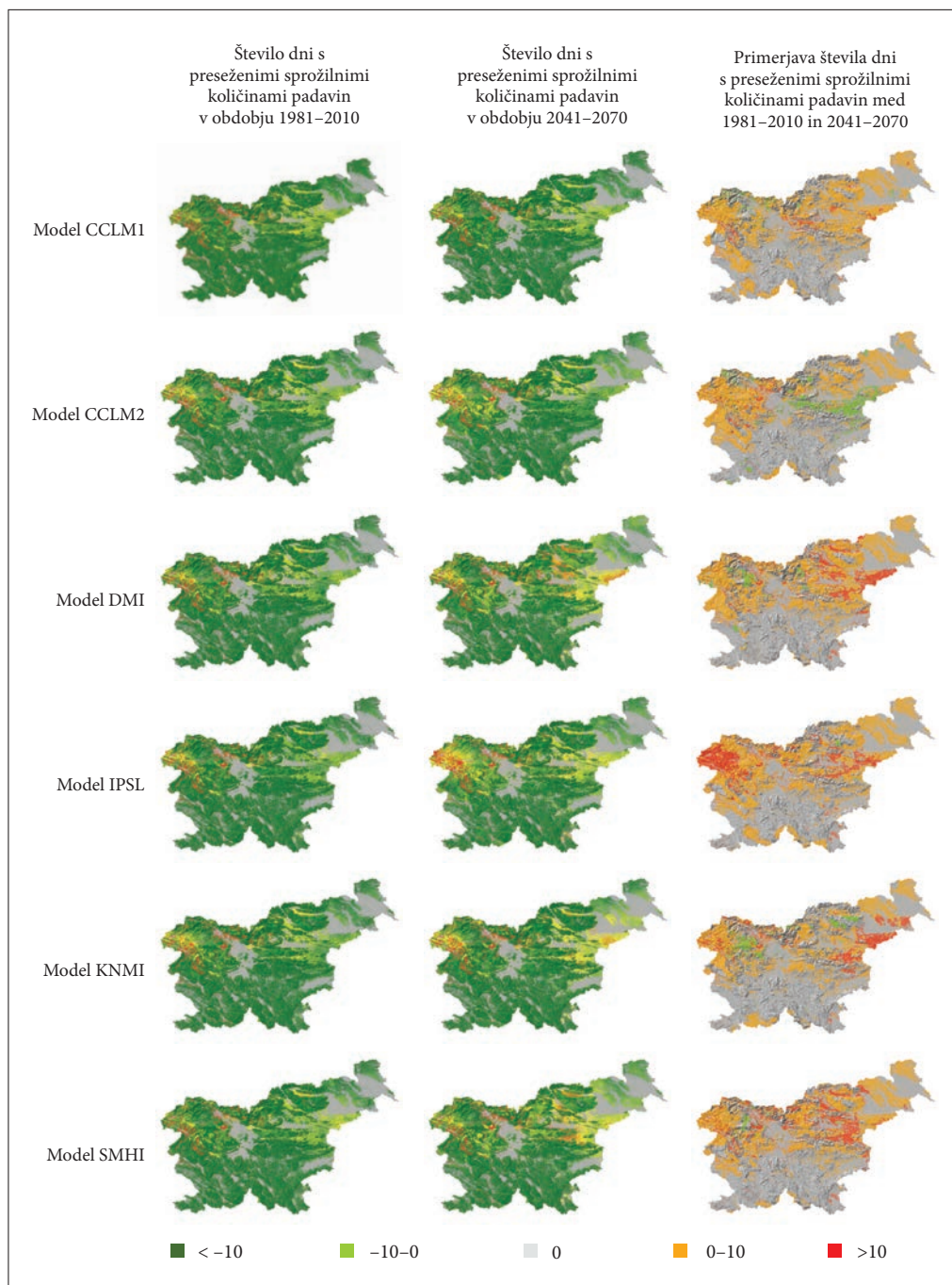
### 3.2 Ocena sezonskega vpliva padavin na pojav plazjenja v 29 občinah

Rezultati ocene sezonskega vpliva padavin za zmerno optimistični scenarij izpustov toplogrednih plinov za pojav plazjenja v 29 občinah so prikazani na sliki 2. Izračuni so bili narejeni na podlagi povprečnih maksimalnih padavin znotraj teh obdobj. Na 10-letne časovne intervale je bilo razdeljeno tako



Slika 2: Primerjava sezonskega vpliva padavin med 10-letnimi obdobji v sredini stoletja za topla in hladna obdobja po razredih verjetnosti pojavljanja plazov, kjer je verjetnost pojavljanja zemeljskih plazov srednja do zelo velika.





Slika 3: Število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin v obdobjih 1981–2010 in 2041–2070 ter primerjava (razlika) med njimi.

primerjalno (1981–1990, 1991–2000, 2001–2010) kot projekcijsko (2041–2050, 2051–2060, 2061–2070) obdobje. Znotraj teh so spremembe prikazane po šestmesečnih toplih in hladnih obdobjih. Sprememba sezonskih trendov se opisuje za območja, kjer je verjetnost pojavljanja zemeljskih plazov zmerna do zelo velika.

V 10-letnih projekcijskih obdobjih se v zahodni Sloveniji kažejo bolj izrazite spremembe v hladnem obdobju, medtem ko se v vzhodnem delu Slovenije pričakujejo večje spremembe v toplem obdobju (slika 2). V zahodni Sloveniji se večja verjetnost pojavljanja plazov v hladnih obdobjih (2041–2050, 2051–2060, 2061–2070) kaže v vseh šestih modelskih napovedih. Verjetnost pojavljanja plazov v teh občinah v hladnem obdobju bo večja na okoli 5 % površin. V občini Železniki se na primer kaže trend večje verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov v hladnem obdobju, ki bo večji na vsaj 10 % površin glede na toplo obdobje. Odstopa model IPSL, ki kaže večjo verjetnost pojavljanja plazov v toplem obdobju.

V občinah v vzhodnem delu Slovenije (slika 1, enote vzhodne Slovenije a, b in c) je sezonski trend povečanja verjetnosti pojavljanja plazov bolj značilen za topla obdobja. Izjema je le model SMHI, ki kaže nekoliko večjo verjetnost pojavov plazov v hladnem obdobju. Na primer v občini Puconci v hladnem obdobju ni zaznani spremembe v povečanju verjetnosti pojavljanja plazov, medtem ko v toplem obdobju na povečanje verjetnosti pojavljanja plazov kažeta modela DMI in IPSL. Pri obeh modelih gre za povečanje verjetnosti pojavljanja plazov na približno od 5 do 20 % površin v obdobjih 2051–2060 in 2061–2070. Vpliv podnebnih sprememb na sezonski ravni (hladna-topla obdobja) po izračunih ni značilno izražen v primeru obalnih občin, kjer so sezonske spremembe verjetnosti pojavljanja plazov znotraj 10-letnih obdobj minimalne.

Pri zmerno optimističnem scenariju izpustov toplogrednih plinov se vplivi sprememb padavin v sredini stoletja po 10-letnih obdobjih (2041–2050, 2051–2060, 2061–2070) med seboj razlikujejo tako po obdobjih kot tudi med posameznimi regijami. V hladnem in toplem obdobju je glede na izračune pričakovati, da se bo verjetnost plazov povečevala do 2061–2070. Pri modelih DMI, IPSL in SMHI se nakazuje izjema, saj je pričakovati trend naraščanja verjetnosti pojavljanja plazov do obdobja 2051–2060, medtem ko je v obdobju 2061–2070 pričakovati manjši upad (slika 2). Ta trend je značilen predvsem za občine v zahodni Sloveniji (Bovec, Gorje, Jesenice, Kranjska Gora), kjer bo za okoli 5 % več ozemlja podvrženega pojavom plazenja. Podoben trend velja tudi za občino Železniki, le da je tu pričakovati še večje povečanje površin plazljivih območij (do 15 %). Za občine v vzhodni Sloveniji so trendi naraščanja verjetnosti pojavljanja plazov v hladnem obdobju bolj jasno izraženi, medtem ko je po 10-letnih obdobjih v toplem obdobju pričakovati manjše spremembe. Kaže se trend naraščanja verjetnosti pojavljanja plazov do zadnjega obdobja 2060–2071. Izjema so rezultati modelov IPSL, KNMI in SMHI, po katerih se pričakuje, da bo verjetnost nastanka zemeljskih plazov naraščala do obdobja 2051–2060, nato pa bo sledil manjši upad v obdobju 2061–2070. Neznačilen trend spreminjanja verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov po 10-letnih obdobjih je opaziti pri občinah Dobje, Mislinja, Slovenj Gradec, Šoštanj in Velenje. Posebej je treba omeniti tudi občino Puconci, kjer trend sprememb vpliva podnebnih sprememb ni bistveno zaznan, z izjemo pri modelskih napovedih DMI in IPSL. To velja tudi za obalne občine Izola, Koper in Piran, kjer izračuni pokažejo minimalen trend naraščanja nevarnosti do konca sredine stoletja.

## 4 Sklep

Nastanek zemeljskih plazov je tesno povezan s porazdelitvijo padavin, intenziteto in dolžino trajanja padavinskega dogodka, zato so rezultati ocene sezonskega vpliva padavin na pojav plazenja močno odvisni od pričakovanih trendov sprememb padavin. Pri občinah v zahodni Sloveniji se bo število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin od obdobja 1981–2010 do 2041–2070 povečalo v povprečju od 1 do 8 dni, pri večini modelov od 4 do 8 dni. Pri občinah v vzhodni Sloveniji se bo število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin od obdobja 1981–2010 do 2041–2070 povečalo v povprečju



od 1 do 7 dni, pri večini modelov od 3 do 6 dni. Pri obalnih občinah se bo število dni s preseženimi sprožilnimi količinami padavin od obdobja 1981–2010 do 2041–2070 v povprečju povečalo za 1 do 2 dni. Vplivi podnebnih sprememb na sezonski ravni (toplo-hladna obdobja) so v sredini stoletja bolj izraziti med posameznimi regijami kot na ravni celotne države, kot ugotavlja raziskava Jemec Aufličeve in sod. (2021). V 10-letnih projekcijskih obdobjih se v zahodni Sloveniji kažejo bolj izrazite spremembe v hladnem obdobju, medtem ko se v vzhodnem delu Slovenije pričakujejo večje spremembe v toplen obdobju. V občinah zahodne Slovenije bo večja verjetnost pojavljanja plazov v hladnih obdobjih (2041–2050, 2051–2060, 2061–2070) na okoli 5 % površin, v občini Železniki celo na 10 % večji površini kot v toplen obdobju. V občinah vzhodne Slovenije se trend pojavljanja zemeljskih plazov med modeli nekoliko bolj razlikuje, vendar prevladuje trend povečanja verjetnosti plazov v toplen obdobju. Sezonski vpliv po izračunih ni značilno izražen v primeru obalnih občin.

*ZAHVALA: Študija je nastala v okviru projekta »Izdelava opozorilnih kart nevarnosti zaradi procesov pobočnega masnega premikanja in erozije za 15 izbranih občin«, ki jo je v letu 2020 financiralo Ministrstvo za okolje in prostor. Zahvala gre tudi ARRS raziskovalnima programoma Dinamična Zemlja (P1-049) in Regionalna geologija (P1-0011).*

## 5 Viri in literatura

- Bertalančič, R., Dolinar, M., Honzak, L., Lokošek, N., Medved, A., Vertačnik, G., Vlahović, Ž. 2019: Climate Change Projections for Slovenia Over the 21st Century: Temperature in Precipitation Summary. Ljubljana.
- Bezak, N., Brilly, M., Šraj, M., Mikoš, M. 2018: TXT-tool 2.386-1.1: Intensity-duration-frequency curves for rainfall-induced shallow landslides in debris flows using copula functions. *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*, vol. 2: Testing, Risk Management in Country Practices. Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57774-6\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57774-6_32)
- Bezak, N., Jemec Auflič, M., Mikoš, M. 2019: Application of hydrological modelling for temporal prediction of rainfall-induced shallow landslides. *Landslides* 16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01169-9>
- Buma, J., Dehn, M. 1998: A method for predicting the impact of climate change on slope stability. *Environmental Geology* 35. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002540050305>
- Coe, J. A. 2012: Regional moisture balance control of landslide motion: implications for landslide forecasting in a changing climate. *Geology* 40-4. DOI: <https://doi.org/10.1130/G32897.1>
- Gariano, S. L., Guzzetti, F. 2016: Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews* 162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>
- Houghton, J. T., Jenkins, G. J., Ephraums, J. J. 1990: *Climate Change - The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge.
- Jemec Auflič, M., Komac, M. 2013: Rainfall patterns for shallow landsliding in perialpine Slovenia. *Natural Hazards* 67-3. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9882-9>
- Jemec Auflič, M., Šinigoj, J., Krivic, M., Podboj, M., Peternel, T., Komac, M. 2016: Landslide prediction system for rainfall induced landslides in Slovenia (Masprem). *Geologija* 59-2. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2016.016>
- Jemec Auflič, M., Bokal, G., Kumelj, Š., Medved, A., Dolinar, M., Jež, J. 2021: Impact of climate change on landslides in Slovenia in the mid-21st century. *Geologija* 64-2. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2021.009>
- Jordanova, G., Gariano, S. L., Melillo, M., Peruccacci, S., Brunetti, M. T., Jemec Auflič, M. 2020: Determination of empirical rainfall thresholds for shallow landslides in Slovenia using an automatic tool. *Water* 12-5. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12051449>

- Komac, M. 2005: Rainstorms as a landslide-triggering factor in Slovenia. *Geologija* 48-2. DOI: <https://doi.org/10.5474/geologija.2005.022>
- Malet, J. P., van Asch, T. H. W. J., van Beek, R., Maquaire, O. 2005: Forecasting the behaviours of complex landslides with a spatially distributed hydrological model. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5-1. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-5-71-2005>
- Malet, J. P., Remaitre, A., Maquaire, O., Durin, Y., Etchevers, P., Guyomarch, G., Déqué, M., van Beek, L. P. H. 2007: Assessing the influence of climate change on the activity of landslides in the Ubaye Valley. *Landslides in Climate Change: Challenges in Solutions*. London. DOI: <https://doi.org/10.1201/noe0415443180.ch24>
- Paranunzio, R., Laio, F., Chiarle, M., Nigrelli, G., Guzzetti, F. 2016: Climate anomalies associated to the occurrence of rockfalls at high-elevation in the Italian Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2085-2016>
- Rebetez, M., Lugon, R., Baeriswyl, P. A. 1997: Climatic change in debris flows in high mountain regions: The case study of the Ritigraben torrent (Swiss Alps). *Climatic Change* 36. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1005356130392>
- Rianna, G., Zollo, A. L., Tommasi, P., Paciucci, M., Comegna, L., Mercogliano, P. 2014: Evaluation of the effects of climate changes on landslide activity of Orvieto clayey slope. *Procedia Earth and Planetary Science* 9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2014.06.017>
- Rosi, A., Peternel, T., Jemec Auflič, M., Komac, M., Casagli, N. 2016: Rainfall thresholds for rainfall-induced landslides in Slovenia. *Landslides* 13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0733-3>
- Schmidt, J., Glade, T. 2003: Linking global circulation model outputs to regional geomorphic models: A case study of landslide activity in New Zealand. *Climate Research* 25. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr025135>
- Sidle, R. C., Dhakal, A. S. 2002: Potential effects of environmental change on landslide hazards in forest environments. *Environmental Change in Geomorphic Hazards in Forests*. IUFRO Research Series 9. Wallingford. DOI: <https://doi.org/10.1079/9780851995984.0123>
- Stoffel, M., Tiranti, D., Huggel, C. 2014: Climate change impacts on mass movements – Case studies from the European Alps. *Science of The Total Environment* 493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.102>
- Winter, M. G., Dent, J., Macgregor, F., Dempsey, P., Motion, A., Shackman, L. 2010: Debris flow, rainfall in climate change in Scotlin. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 43-4. DOI: <https://doi.org/10.1144/1470-9236/08-108>