

# PROSTORSKA VARIABILNOST SEZONSKE KOLIČINE PADAVIN V SLOVENIJI V OBDOBJU 2010–2019

## SPATIAL VARIABILITY OF SEASONAL PRECIPITATION IN SLOVENIA IN THE PERIOD 2010–2019

Milan KOBAL<sup>1</sup>

(1) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, milan.kobal@bf.uni-lj.si

### IZVLEČEK

Prostorsko variabilnost količine padavin v Sloveniji smo ovrednotili z analizo razdalje razgradnje korelacije CDD (angl. Correlation Decay Distance), ki prikazuje spremembo korelacije v količini padavin med meteorološkimi postajami glede na njihovo medsebojno oddaljenost. Uporabili smo podatke tistih meteoroloških postaj ( $n = 160$ ), ki so na isti lokaciji neprekinjeno beležile količino padavin vseh 120 mesecev (december 2009–november 2019). Za vsako meteorološko postajo smo po posameznih letnih časih izračunali mejno razdaljo, pri kateri je korelacija med količino padavin višja od 0,707 ( $r^2 = 0,5$ ). Rezultati kažejo, da se prostorska variabilnost količine padavin med letnimi časi razlikuje, in sicer je najvišja poleti (CDD = 50 km), sledi pomlad (CDD = 76 km) in jesen (CDD = 120 km) ter zima (CDD = 141 km), ko je prostorska variabilnost količine padavin najnižja. Prostorsko gledano je variabilnost količine padavin podobna spomladi in jeseni (najmanjša prostorska variabilnost padavin v V in JV Sloveniji), medtem ko je poleti najnižja v J Sloveniji, pozimi pa v SZ Sloveniji. Karta variogramov prikazuje anizotropijo v razdalji razgradnje korelacije za spomladanske padavine. Višje vrednosti semivariance so očitne v smeri SV-JZ, medtem ko so vrednosti semivariance v smeri JV-SZ precej nižje.

**Ključne besede:** padavine, razdalja razgradnje korelacije, prostorska variabilnost, Slovenija

### ABSTRACT

The spatial variability of precipitation in Slovenia was evaluated using correlation decay distance analysis (CDD). CDD analysis essentially explores how the correlation between neighbouring stations varies according to distance. We analysed CDD for the period December 2009–November 2019 using only those meteorological stations ( $n = 160$ ) with no missing values and operating at same location for the whole analysed period. For each meteorological station, we calculated the threshold distance at which the correlation between series is higher than 0.707 ( $r^2 = 0.5$ ). The results indicate that the highest spatial variability in precipitation is during summer (CDD = 50 km), followed by spring (CDD = 76 km), autumn (CDD = 120 km) and winter (CDD = 141 km), when the spatial variability is the lowest. The spatial variability of precipitation is similar in spring and autumn (with the lowest variability of precipitation in E and SE Slovenia), and it is lowest in S Slovenia in summer and in NW Slovenia in winter. The variogram map indicates anisotropy in the correlation decay distance for spring precipitation. Higher values of semivariance are evident in the NE-SW direction, while semivariance values in the SE-NW direction are much lower.

**Key words:** precipitation, correlation decay distance, spatial variability, Slovenia

GDK 111.772(497.4)"2010-2019"(045)=163.6

DOI 10.20315/ASetL.127.3

Prispelo / Received: 18. 02. 2022

Sprejeto / Accepted: 01. 04. 2022



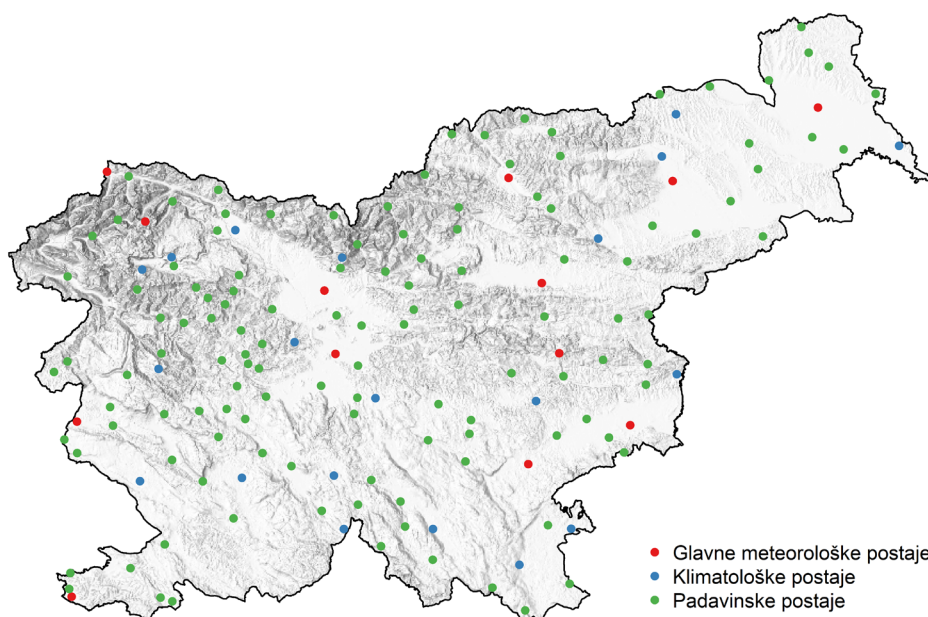
### 1 UVOD

#### 1 INTRODUCTION

Količina padavin v Sloveniji je prostorsko in časovno zelo variabilna, stopnja spremenljivosti pa se prek leta spreminja, saj je vezana na različne procese nastanka padavin v posameznem letnem času (Vertačnik in Bertalanič, 2017). Najbolj količino padavin v Sloveniji določajo njena lega, razgibani relief, usmerjenost gorskih grebenov in bližina morja (Podnebne razmere ..., 2006). Na splošno letna količina padavin narašča od morja proti Alpsko – Dinarski gorski pregradi, nato pa vzhodno od te pregrade postopno upada (Cegnar, 2003). Izrazita viška sta le še na območju Kamniško-

Savinjskih Alp in Pohorja (Vertačnik in Bertalanič, 2017).

V Sloveniji nimamo izrazito suhega ali mokrega dela leta, kljub temu pa so med letnimi časi večje razlike v količini padavin (Dolinar in sod., 2008). Za submediteransko podnebje sta značilna dva padavinska maksimuma (konec pomladi in jeseni), za alpsko podnebje je značilen maksimum padavin jeseni (nekoliko manj izrazit maksimum pozno pomladi in/ali v začetku poletja). Za celinsko podnebje na vzhodu države je značilno, da največ padavin pade med poletnimi plohami in nevihtami, najbolj suhi pa so zimski meseci (Podnebne razmere ..., 2006).



**Slika 1:** Mreža meteoroloških postaj z mesečnimi podatki o količini padavin za vseh 120 mesecev (2009/12–2019/11)

**Fig. 1:** Network of meteorological stations with monthly data on the amount of precipitation for all 120 months (2009/12–2019/11)

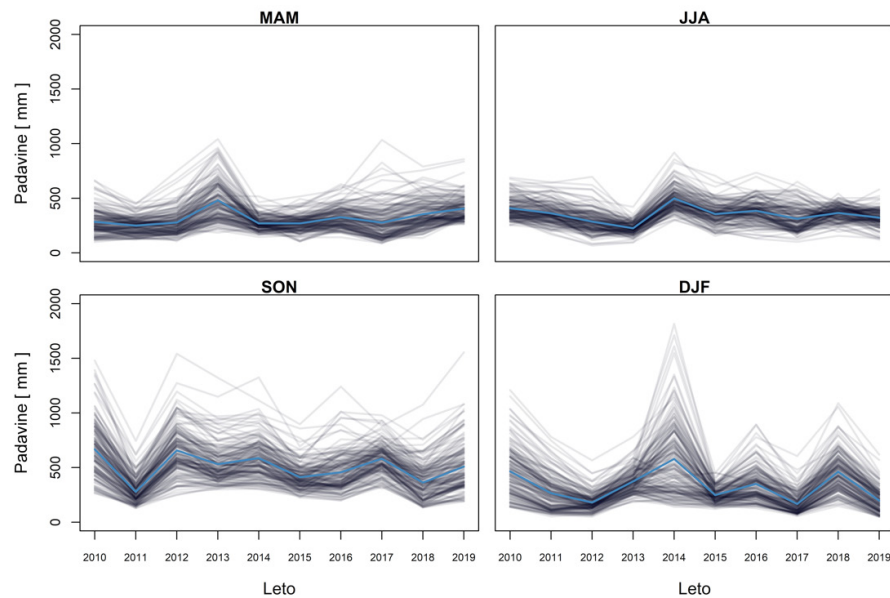
Poleg vpliva, ki ga ima prostorska variabilnost količine padavin na analize podnebja, zlasti na prostorsko interpolacijo padavin, validacijo modelov in nadzor kakovosti meritev (Osborn in Hulme, 1997; Caesar in sod., 2006; Hofstra in New, 2009), pa so padavine glavni vhodni podatek v hidroloških modelih pri napovedovanju poplav (Kobold in Sušelj, 2005; Kobold in sod., 2007; Petan in sod., 2015). Zanesljivost napovedanega pretoka  $Q$  je namreč odvisna tako od natančnosti ocen parametrov modela kot tudi zanesljivosti podatkov o količini padavin ter drugih napak (Krzysztofowicz in Herr, 2001). Za simulacijo odtokov je tako zato pomembno, da imamo na voljo natančne podatke o količini padavin (Kobold in Sušelj, 2005; Kobold in sod., 2007).

Kobold (2005) navaja, da je pri napovedovanju poplav pomembno razumeti mehanizme, zaradi katerih prihaja do poplav, in poznati različne tipe padavin, ki lahko povzročijo poplave. Prostorska porazdelitev padavin je v Sloveniji posledica pogostega dotoka vlažne in sorazmerno tople zračne mase od jugozahoda, ko ob narivanju na gorske pregrade pride do prisilnega dviga zračne mase, kar običajno povzroča izločanja vodne pare v obliki oblačnih kapljic in zato tudi padavin (Vertačnik in Bertalanič, 2017; Vilhar in sod., 2017). Značilni so izredno pestri hidrološki pojavi, ki jih tudi z gosto hidrološko mrežo postaj ne moremo zajeti (Kobold, 2005). Tudi gostota padavinske mreže z zveznim beleženjem intenzitete padavin v Sloveniji nikakor ne zadošča za pravilno oceno ploskovnih padavin (Kobold

in sod., 2007; Petan in sod., 2012). To še toliko bolj velja za gozdno krajino, kjer je meritev količine padavin razmeroma malo (Sinjur in sod., 2010) in se količino interpolira pretežno iz postaj, ki ležijo na drugih rubah tal. Ne preseneča, da Vilhar in sod. (2017) za gozdna in reliefno razgibana območja, kjer ni merjenih podatkov o padavinah, opozarjajo na previdnost pri neposredni uporabi podatkov o padavinah iz najbližjih postaj Agencije RS za okolje.

Prostorsko natančen podatek o količini padavin je pomemben tudi pri opozarjanju na nevarnost proženja zemeljskih plazov, saj se večina zemeljskih plazov v Sloveniji pojavi ob močnejših padavinah in so posledica padavinskih pojavov (Jemec Auflič in sod., 2021). Sistem napovedovanja nevarnosti proženja zemeljskih plazov temelji na karti verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov, sprožilnih količinah padavin za posamezne inženirsko geološke enote ter modelskih napovedi padavin (Jemec Auflič in sod., 2016, Šinigoj in sod., 2018). Pri tem so predvsem pomembne iz arhivskih podatkov izračunane sprožilne količine padavin, ki ponazarjajo kritične mejne vrednosti (Jemec Auflič in sod., 2016, Šinigoj in sod., 2018; Jemec Auflič in sod., 2021).

Omeniti velja tudi vlogo lokalne variabilnosti padavin pri nastanku in proženju snežnih plazov. Takšen primer so bili snežni plazovi, ki so se sprožili v Zgornji Soški dolini januarja 2021 in so bili posledica velike količine novozapadlega snega in hkrati lokalno zelo obilnih padavin (Kobal in sod., 2021).



**Slika 2:** Prikaz variabilnosti sezonskih padavin za obdobje december 2009–november 2019 po letnih časih za 160 analiziranih meteoroloških postaj. S črnimi črtami so prikazane posamezne postaje, z debelejšo modro črto pa povprečna vrednost

**Fig. 2:** Example of the seasonal precipitation variability for the period December 2009–November 2019 for 160 analysed meteorological stations. The black lines show the individual stations, and the thicker blue line shows the mean value

Prav tako je treba upoštevati padavinske in hidrološke razmere pri načrtovanju varovalnih ukrepov in objektov varstva pred erozijo in hudourniki. Zlasti za majhna vodozbirna območja je znana natančna prostorska in časovna razporeditev padavin bistvenega pomena za modeliranje procesov padavine-odtok (Faurès in sod., 1995; Kobold in sod., 2007) in posledično za projektiranje varovalnih ukrepov in objektov varstva pred hudourniki, erozijo in plazovi (Stopar, 2019), zlasti ob vse intenzivnejših vremenskih ekstremih (Horvat in sod., 2008).

Namen prispevka je za območje Slovenije analizirati prostorsko variabilnost padavin po metodi analize razdalje razgradnje korelacije, variabilnost padavin primerjati med posameznimi letnimi časi ter z metodo objektivne prostorske interpolacije izdelati karte variabilnosti padavin po posameznih letnih časih za obdobje 2010–2019.

## 2 PODATKI IN METODE

### 2 DATA AND METHODS

#### 2.1 Podatki o padavinah

##### 2.1 Precipitation data

Osnovni vir podatkov o padavinah so mesečni podatki o količini padavin, ki so prosto dostopni v arhivu opazovanih in merjenih meteoroloških podatkov po Sloveniji na spletni strani Agencije republike Slovenije za okolje ARSO (<https://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/>). Za analizirano obdobje od vključno de-

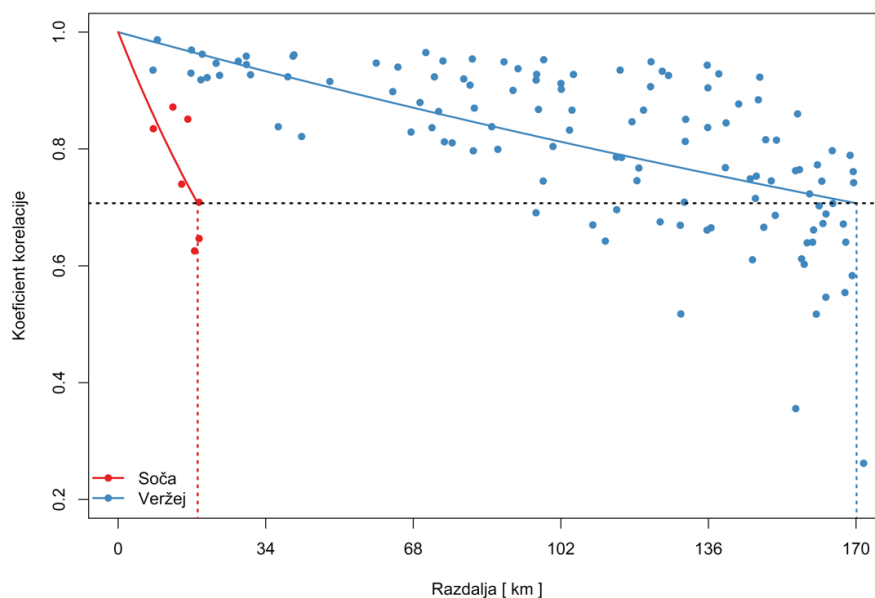
cembra 2009 do vključno novembra 2019 so na voljo mesečni podatki za 245 meteoroloških postaj, vendar so bile nekatere postaje v tem obdobju ukinjene, nekatere prestavljene, nekatere pa vzpostavljene na novo. Popolnih podatkov, ki vključujejo podatke o mesečni količini padavin za vseh 120 mesecev, je na voljo za 160 meteoroloških postaj, od tega za 13 glavnih meteoroloških postaj, za 20 klimatoloških postaj in za 127 padavinskih postaj (slika 1).

Analizo variabilnosti padavin v Sloveniji v obdobju 2010–2019 smo napravili na ravni letnih časov, podobno kot v drugih raziskavah, npr. Osborn in Hulme (1997), Hofstra in New (2009), Cortesi in sod. (2014), torej ločeno za pomlad (marec–april–maj), poletje (junij–julij–avgust), jesen (september–oktober–november) ter zimo (december–januar–februar). Za zimo 2010 smo upoštevali padavine v decembru 2009, nasprotno pa padavin iz decembra 2019 nismo upoštevali. Skupno smo tako v analizo zajeli 640 nizov podatkov o sezonski količini padavin, ki so prikazani na sliki 2.

#### 2.2 Obdelava podatkov

##### 2.2 Data processing

Metodologijo izračuna prostorske variabilnosti padavin v Sloveniji v analiziranem obdobju smo povzeli po Huff in Shipp (1969), Osborn in Hulme (1997), Auer in sod. (2005), Brunetti in sod. (2006) ter Cortesi in sod. (2014).



**Slika 3:** Regresijske krivulje za dve meteorološki postaji. Sosednje serije, uporabljene v regresiji, so prikazane z rdečimi (postaja Soča) in modrimi točkami (postaja Veržej). Vodoravna črtkana črta označuje Pearsonov koefficient korelacije  $r$  pri vrednosti 0,707. Razdalja razgradnje korelacije (navpične črtkane črte) v primeru postaje Soča znaša 18 km, v primeru postaje Veržej pa 170 km

**Fig. 3:** Regression curves for two meteorological stations. Neighbour series used in the regression are shown in red (Soča station) and blue dots (Veržej station). The horizontal dotted line indicates a Pearson correlation coefficient of 0.707. The correlation decay distance (vertical dashed lines) is 18 km in the case of the Soča station and 170 km in the case of the Veržej station

2.2.1 Pearsonov koefficient korelacije za nize sezonskih padavin in izračun razdalje razgradnje korelacije

2.2.1 Pearson correlation coefficient for seasonal precipitation series and calculation of correlation decay distance

V prvem koraku smo za analizirano obdobje med nizi sezonskih padavin po posameznih postajah izračunali Pearsonov koefficient korelacije  $r$  (metoda prilagajanja je metoda največjega verjetja). V drugem koraku smo izračunali oddaljenost med postajami in poiskali regresijsko funkcijo med  $r$  (odvisna spremenljivka) in oddaljenostjo med postajama  $dist$  (neodvisna spremenljivka), za kar se uporablja negativna eksponentna funkcija (npr. Osborn in Hulme, 1997; Auer in sod., 2005; Brunetti in sod., 2006; Cortesi in sod., 2014), ki ima naslednjo obliko:

$$r = e^{-dist/a}$$

kjer je  $r$  Pearsonov koefficient korelacije,  $dist$  medsebojna oddaljenost dveh postaj,  $a$  pa koefficient regresije.

Razdaljo razgradnje korelacije  $CDD$  smo izračunali v tretjem koraku po enačbi:

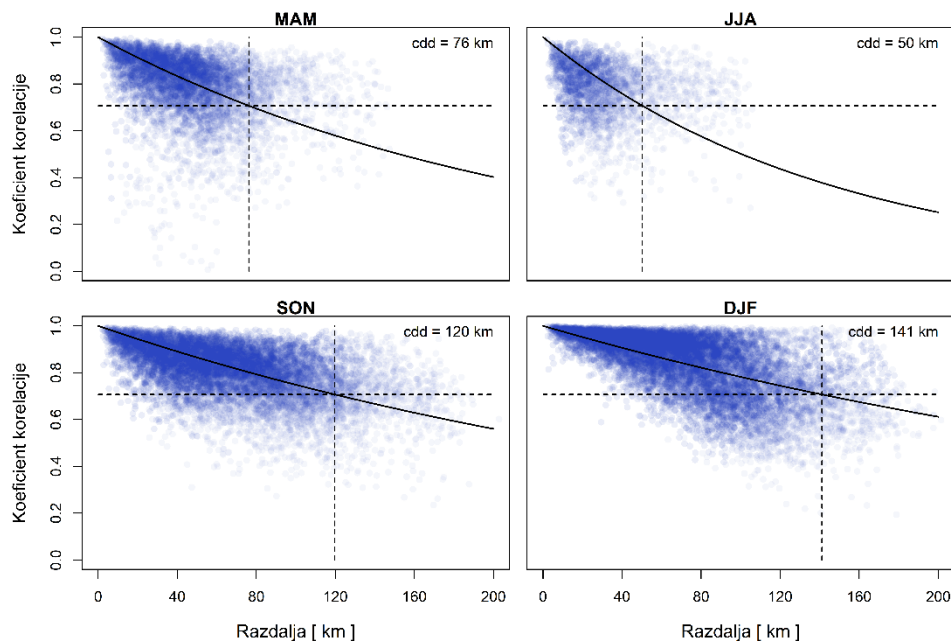
$$CDD = -\ln(r_{CDD}) \times a$$

kjer je  $CDD$  razdalja razgradnje korelacije,  $a$  koefficient regresije,  $r_{CDD}$  pa mejna korelacija, za katero predpostavimo, da postaji pod vrednostjo te korelacije ni-

sta več povezani. Različni avtorji (npr. Alexandersson, 1986; Peterson in Easterling, 1994; Mitchell in Jones 2005) navajajo različno vrednost mejne korelacije  $r_{CDD}$  (vrednosti od  $1/e$  do 0,8), mi pa smo po vzoru nekaterih raziskav (npr. Auer in sod., 2005; Brunetti in sod., 2006; Cortesi in sod., 2014) izbrali  $r_{CDD} \approx 0,707$  oz  $r^2 = 0,5$ , kar pomeni 50 % pojasnjene variabilnosti. Cortesi in sod. (2014) priporočajo višjo vrednost  $r_{CDD}$  na območjih z večjo variabilnostjo padavin.

Razdaljo razgradnje korelacije smo izračunali za vsako postajo posebej in pri tem upoštevali kriterij, da mora biti v izračun razdalje razgradnje korelacije vključenih najmanj pet sosednjih postaj (Cortesi in sod., 2014). V primeru, da je bila izračunana razdalja razgradnje korelacije večja, kot pa je bila oddaljenost najbolj oddaljene postaje, smo v izračun vključili dodatne postaje do takšne oddaljenosti, da je bil oddaljenost najbolj oddaljene postaje večja, kot pa je bila izračunana razdalja razgradnje korelacije (Cortesi in sod., 2014).

Primer izračuna za postaji Soča in Veržej je prikazan na sliki 3, kjer je bilo v izračun za postajo Soča vključenih sedem sosednjih postaj, najbolj oddaljena pa je bila postaja Kneške Ravne na oddaljenosti 19 km. V primeru postaje Veržej je bilo v izračun vključenih 120 sosednjih postaj, najbolj oddaljena pa je bila postaja Zgornja Radovna na oddaljenosti 172 km. V primeru postaje Soča znaša razdalja razgradnje korelacije



**Slika 4:** Korelacija med količino padavin in oddaljenostjo med postajami za posamezne letne čase

**Fig. 4:** Correlation between precipitation and distance between stations for individual seasons

18 km, v primeru postaje Veržej pa 170 km. Nižje vrednosti CDD pomenijo večjo variabilnost padavin, višje vrednosti CDD pa manjšo variabilnost padavin (slika 3).

### 2.2.3 Prostorska interpolacija razdalje razgradnje korelacije

#### 2.2.3 Spatial interpolation of correlation decay distance

Za prostorsko interpolacijo razdalje razgradnje korelacije smo uporabili univerzalni kriging (upoštevali smo trend v podatkih). Uporabili smo sferično obliko variograma, pri izračunu pa upoštevali pare meteoroloških postaj, ki so bile med seboj oddaljene do 85 km (cca. 1/3 največje oddaljenosti med meteorološkimi postajami). Pri prostorski interpolaciji smo upoštevali 15 sosednjih meteoroloških postaj (Cortesi in sod., 2014). Preverili smo tudi anizotropnost razdalje razgradnje korelacije za vse sezonske padavine, in sicer s smereh S-J (azimut  $0^\circ \pm 22,5^\circ$  oz.  $180^\circ \pm 22,5^\circ$ ), SV-JZ (azimut  $45^\circ \pm 22,5^\circ$  oz.  $225^\circ \pm 22,5^\circ$ ), V-Z (azimut  $90^\circ \pm 22,5^\circ$  oz.  $270^\circ \pm 22,5^\circ$ ) ter JV-SZ (azimut  $135^\circ \pm 22,5^\circ$  oz.  $315^\circ \pm 22,5^\circ$ ).

## 3 REZULTATI

## 3 RESULTS

### 3.1 Variabilnost količine padavin v obdobju 2010–2019

#### 3.1 Variability of precipitation in the period 2010–2019

Vrednost CDD se med letnimi časi razlikujejo, kar kaže na različno variabilnost padavin med sezonami

(preglednica 1; slika 4). Največja variabilnost padavin je poleti (CDD = 50 km), sledi pomlad (CDD = 76 km) in jesen (CDD = 120 km). Variabilnost padavin je najnižja pozimi (CDD = 141 km). Najnižja izračunana vrednost CDD je spomladi, in sicer znaša 3,01 km (postaja Črni Vrh nad Polhovim Gradcem), najvišja vrednost CDD pa znaša 238 km (postaja Grčarice), in sicer pozimi. Največja variabilnost CDD je jeseni, ko je koeficient variacije 20,0 %, najmanjša pa pozimi, ko znaša koeficient variacije 13,3 % (preglednica 1). Standardni odklon CDD se giblje med 18 km in 38 km. V izračun CDD je bilo vključenih med 5 in 159 meteoroloških postaj, in sicer najmanj poleti ter največ pozimi.

Spomladi je največje ujemanje med postajama Poljane nad Škofjo Loko in Zgornja Sorica ( $r = 0,995$ ; dist = 17 km,  $\Delta_{\text{prec}} = 114,1$  mm), poleti med postajama Letališče Portorož in Seča ( $r = 0,989$ ; dist = 2 km,  $\Delta_{\text{prec}} = 3,1$  mm), jeseni med postajama Grosuplje in Želimlje ( $r = 0,992$ ; dist = 7 km,  $\Delta_{\text{prec}} = 19,3$  mm) ter pozimi med postajama Šentjošt nad Horjulom in Žiri ( $r = 0,999$ ; dist = 7 km,  $\Delta_{\text{prec}} = 50,2$  mm).

### 3.2 Prostorska variabilnost količine padavin v obdobju 2010–2019

#### 3.2 Spatial variability of precipitation in the period 2010–2019

Spomladi se interpolirana vrednost CDD na območju Slovenije giblje med 9 km in 155 km, in sicer so vrednosti najvišje v V Sloveniji (Prekmurje, Goričko, Haloze), najnižje pa na območju Pohorja in Koroške ter Zahodnih Julijskih Alp. Poleti je variabilnost količine

**Preglednica 1:** Osnovne značilnosti CDD po posameznih letnih časih

Sezona	MAM	JJA	SON	DJF
Minimalna vrednost CDD [ km ]	3	6	18	53
Povprečna vrednost CDD [ km ]	76	50	120	141
Maksimalna vrednost CDD [ km ]	147	105	190	238
Standardni odklon CDD [ km ]	28	18	38	32
Koeficient variacije CDD [ % ]	19	17	20	13
Minimalno število sosednjih postaj	5	5	6	59
Maksimalno število sosednjih postaj	126	97	159	159

**Table 1:** Basic characteristics of CDD according to seasons

padavin najvišja, razvidno pa je upadanje variabilnosti (naraščanje CDD) s S proti J; najvišja variabilnost poletnih padavin je v Osrednji Sloveniji in na celotnem območju Alp (CDD = 13 km), medtem ko je variabilnost padavin najmanjša (CDD = 76 km) v JV Sloveniji (Koprsko Primorje) in JZ Sloveniji (Kočevska, Bela Krajina). Rezultati prostorske variabilnosti količine padavin so prikazani na sliki 5.

Jeseni je opazno upadanje variabilnost padavin (naraščanje CDD) s SZ proti SV, deloma pa tudi z J proti S. Najnižje vrednosti so zabeležene na območju Julijskih Alp (28 km), najvišje pa na območju Panonske Slovenije (CDD = 188 km). Zimske padavine so najbolj variabilne na območju JV Slovenije (Kočevsko, Bela Krajina) (CDD = 78 km), najmanjša variabilnost padavin pa je zabeležena na območju Notranjske, Pohorja in Prekmurja (CDD = 228 km). Pozimi je variabilnost padavin sicer najmanjša.

#### 4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

#### 4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Količina padavin sodi med osnovne podnebne spremenljivke in je pomembna zlasti v panogah, ki so neposredno vezane na vodo (Vertačnik in Bertalanič, 2017). Z vidika varstva pred hudourniki, erozijo in plazovi so natančni podatki o količini padavin pomembni zlasti pri hidrološkem modeliranju (npr. Kobold in Sušelj, 2005; Kobold in sod., 2007; Petan in sod., 2015) in posledično pri projektiranju hudourniških objektov (npr. Horvat in sod., 2008) ter pri napovedovanju nevarnosti proženja zemeljskih plazov (npr. Jemec Auflič in sod., 2021). Prav tako variabilnost padavin igra pomembno vlogo pri nastanku in proženju snežnih plazov, čemur smo bili priča v začetku leta 2021 v Zgornji Soški dolini (Kobal in sod., 2021; Kobal, 2022).

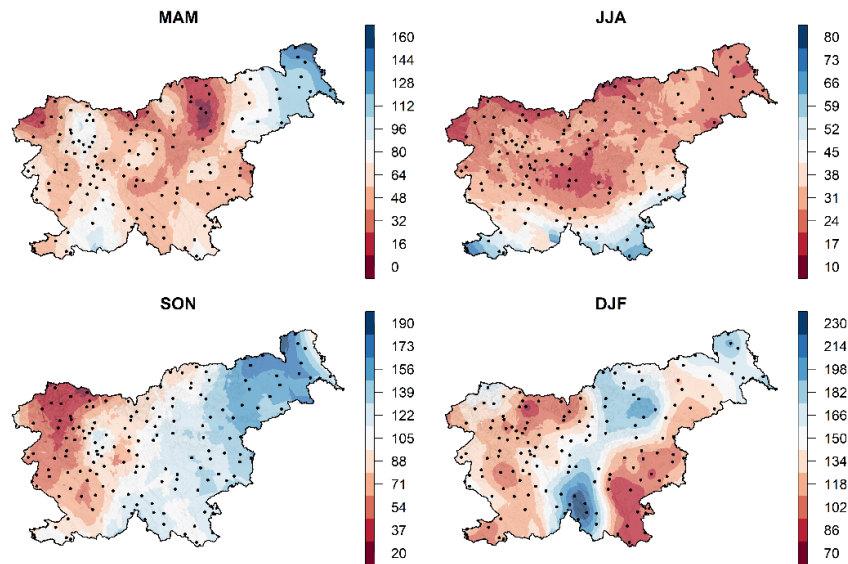
Slovenija je sicer s štirimi postajami (Celje, Kočevje, Ljubljana, Maribor) bila vključena v raziskave variabilnosti padavin po metodi razgradnje razdalje korelacije v sklopu poenotenja podatkov 192 mesečnih serij pa-

davin, ki pokrivajo širše alpsko regijo (glej Auer in sod., 2005), podrobnejše analize na večjem številu postaj pa po tej metodi še niso bile narejene.

Podobno kot v primerljivih raziskavah v tujini se vrednost CDD med letnimi časi razlikujejo, kar nakazuje na različno variabilnost padavin med letnimi časi (Osborn in Hulme, 1997; New in sod., 2000; Cortesi in sod., 2014). V Sloveniji je najnižja vrednost CDD poleti (50 km), najvišja pa pozimi (141 km). Cortesi in sod. (2014) navajajo, da se na 95 % površine Iberskega polotoka pozimi vrednosti CDD gibljejo med 21 km in 424 km, poleti pa med 7 km in 98 km, medtem ko se v Sloveniji (na 95 % površine) pozimi vrednosti gibljejo med 94 km in 200 km, poleti pa med 20 km in 59 km. Jeseni so vrednost CDD giblje med 44 km in 164 km, spomladi pa med 19 km in 123 km. O podobnih vrednostih za širše območje Alp poročajo Auer in sod. (2005), za Italijo pa Brunetti in sod. (2006).

Večjo variabilnost padavin v poletnih mesecih lahko pojasnimo s tem, da se takrat pojavljajo lokalne konvektivne padavine (Cegnar, 2005; Vertačnik in Bertalanič, 2017), izrazitejši vpliv na padavine pa imajo lokalni dejavniki (npr. vpliv reliefa na konvekcijo in proženje neviht) (Sušelj in Bergant, 2006). Ob nevihtah, predvsem v topli polovici leta, so padavine razporejene zelo neenakomerno, količina padavin pa se spreminja zelo lokalno (Cegnar, 2003). Tako je npr. na vzhodu Slovenije značilen velik delež konvektivnih padavin v toplem delu leta, saj je teren precej raven, ozračje pa segreto, kar je idealno za dviganje toplega zraka in nastanek konveksijskih padavin (Srebrnič in Mikoš, 2006). Podobno velja tudi za reliefno razgibano zahodno Slovenijo, kjer maja ali junija zaradi konvektivnih padavin nastopi sekundarni padavinski višek (Sušelj in Bergant, 2006; Vertačnik in Bertalanič, 2017).

Pozimi in jeseni je variabilnost padavin najnižja, saj takrat prevladujejo obsežne frontalne in orografske padavine (Srebrnič in Mikoš, 2006), na kar vpliva predvsem sinoptična situacija (sredozemska oscilacija



**Slika 5:** Interpolirana vrednost CDD na območju Slovenije po posameznih letnih časih

**Fig. 5:** Interpolated value of CDD in Slovenia by individual seasons

MO), ki jo zajamemo s sredozemskim oscilacijskim indeksom MOI (Sušelj in Bergant, 2006) in kaže na aktivnost sredozemske ciklogeneze, kot poglavitnim virom padavin v Sloveniji (Vrhovec in sod., 2004). Največ padavin takrat pade iz vlažnih zračnih mas z Jadrana in širšega Sredozemlja (Bergant in Kajfež-Bogataj, 2005). Absolutne vrednosti korelacijskih koeficientov med padavinami in MOI (ter deloma tudi s severno-atlantskim oscilacijskim indeksom NAOI) so pozimi in jeseni največje, kar kaže na najtesnejšo povezavo med MO in količino padavin v Sloveniji v teh letnih časih (Sušelj in Bergant, 2006).

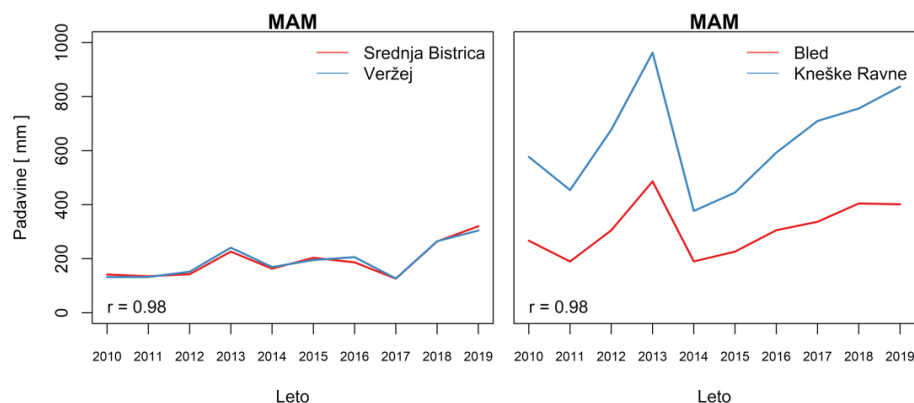
Višjo variabilnost padavin v hladnejši polovici leta v SZ Sloveniji lahko pojasnimo predvsem s prevladujočimi orografskimi padavinami (Srebrnič in Mikoš, 2006). Vlažne zračne mase, ki se v hladni polovici leta horizontalno gibljejo z Jadrana in širšega Sredozemlja (Bergant in Kajfež-Bogataj, 2005), na svoji poti naletijo na Alpsko-Dinarsko pregrado (slemenitev je pravokotna na smer njihovega gibanja), se morajo prisilno dvigovati, zato se zrak ohladi in začne se izločati vodna para - nastaja pobočna megla ali oblačnost, pozneje pa tudi plohe in nevihte na območju gorskih pregrad (Sinjur in sod., 2011). Kot navajajo Sinjur in sod. (2011), so v Sloveniji po lokalno izdatnih orografskih padavinah najbolj znana območja od Zahodnih Julijskih Alp do grebena južnih Bohinjskih gora, nato pa proti jugovzhodu celoten greben Dinarskega gorstva (npr. Frei in Schar, 1998). Lokalno izdatne padavine nastajajo še drugod v hribovitem svetu. Tako npr. Sinjur in sod. (2011) opisujejo orografsko proženje na območju Travlanske gore.

Pozimi se večja variabilnost padavin pojavi tudi na območju JV Slovenije, za katero lahko v poročilih o stanju podnebja v Sloveniji pogosto preberemo, da je bila količina padavin v tem delu Slovenije bodisi višja bodisi nižja od dolgoletnega povprečja (npr. Cegnar, 2005; Cegnar, 2013; Cegnar, 2017; Cegnar, 2019).

Nadalje Vrhovec in sod. (2001) navajajo, da so lahko gorske pregrade ob toku vlažnega zraka še pred vremenskimi frontami območja z velikim padavinskim gradientom. Za območje jugovzhodnih Alp navajajo gradient tudi 150 mm/dan na 25 km razdalje v smeri sever-jug (Vrhovec in sod., 2004). Pri tem Willmott (1984) v primeru analize meteoroloških podatkov na podlagi korelacije opozarja na neobčutljivost korelacije za aditivne oz. proporcionalne razlike (npr. razlika v količini padavin). Primer iste vrednosti koeficienta korelacije  $r$  med nizi sezonskih padavin na posameznih postajah je prikazan na sliki 6. V prvem primeru (postaji Srednja Bistrica in Veržej) je razlika v povprečni količini sezonskih padavin  $\Delta_{prec} = 1,43$  mm, v drugem primeru (postaji Bled in Kneške Ravne) pa je razlika v povprečni količini sezonskih padavin  $\Delta_{prec} = 327,64$  mm. Pearsonov koeficient korelacije  $r$  je v obeh primerih enak ( $r = 0,98$ ).

Nizko variabilnost padavin za nepoletne mesece v SV Sloveniji lahko pojasnimo z izrazitim vplivom celineskega podnebja, za katero je značilno, da so najbolj suhi prav zimski meseci (januar in februar) (Podnebne razmere ..., 2006; Vertačnik in Bertalanč, 2017).

Za vse sezonske padavine smo preverili tudi anizotropnost razdalje razgradnje korelacije, in sicer s smereh S-J, SV-JZ, V-Z ter JV-SZ. Najbolj izrazita anizotropnost je



**Slika 6:** Primer neobčutljivosti  $r$  za aditivne oz. proporcionalne razlike med nizi sezonske količine padavin za obdobje december 2009–november 2019. V prvem primeru (postaji Srednja Bistrica in Veržej) je razlika v povprečni količini sezonskih padavin  $\Delta_{\text{prec}} = 1,43$  mm, v drugem primeru (postaji Bled in Kneške Ravne) pa je razlika v povprečni količini sezonskih padavin  $\Delta_{\text{prec}} = 327,64$  mm. Pearsonov koeficient korelacije  $r$  je v obeh primerih enak ( $r = 0,98$ )

**Fig. 6:** Example of the insensitivity of  $r$  to additive and proportional differences between two series of seasonal precipitation for the period December 2009–November 2019. In the first case (Srednja Bistrica and Veržej stations) the difference in the average amount of seasonal precipitation is  $\Delta_{\text{prec}} = 1.43$  mm, and in the second case (Bled and Kneške Ravne stations) the difference in the average seasonal precipitation is  $\Delta_{\text{prec}} = 327.64$  mm. Pearson's correlation coefficient  $r$  is the same in both cases ( $r = 0.98$ )

v primeru pomladanskih padavin (slika 7). Razvidne so višje vrednosti semivariance v smeri SV-JZ (azimut  $45^\circ \pm 22,5^\circ$  oz.  $225^\circ \pm 22,5^\circ$ ), vrednosti semivariance v smeri JV-SZ (azimut  $135^\circ \pm 22,5^\circ$  oz.  $315^\circ \pm 22,5^\circ$ ) pa so precej nižje. Nižje vrednosti semivariance v smeri JV-SZ oz. višje vrednosti v smeri SV-JZ so zlasti posledica orografskih padavin na Alpsko – Dinarski gorski pregradi (glej npr. Frei in Schar, 1998; Sinjur in sod., 2011).

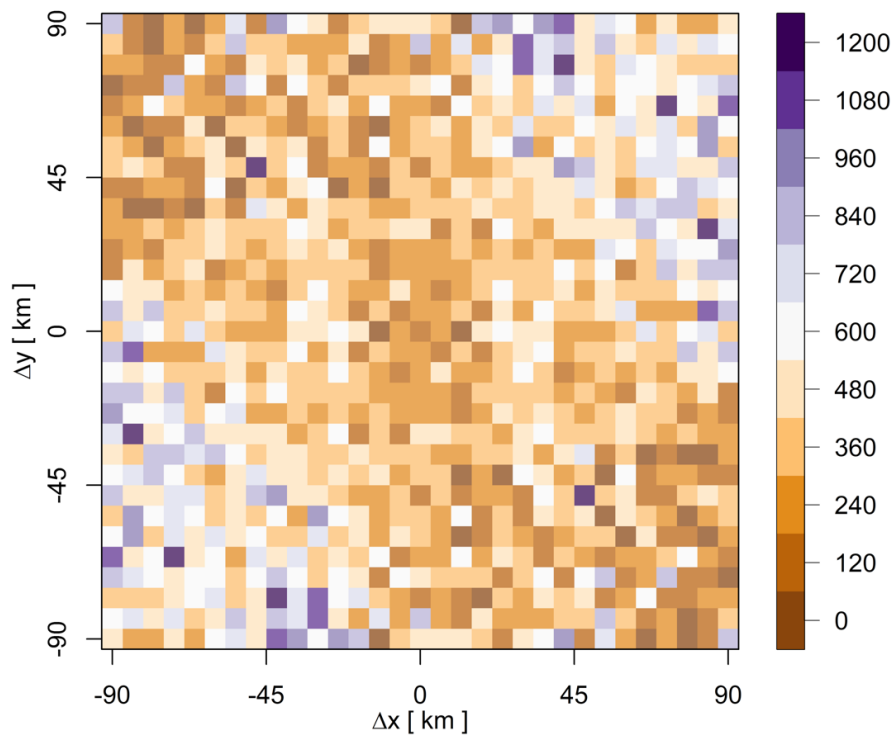
Glavni namen raziskave ni analizirati spremembe prostorske variabilnosti količine padavin v Sloveniji v celotnem času trajanja meteoroloških meritev, ampak na podlagi razdalje razgradnje korelacije predvsem opozoriti na kritično oz. previdno uporabo interpoliranih ali kar prevzetih podatkov o količini padavin na območjih, kjer količine padavin ne merimo. Takšne situacije, ki so dogajajo skozi celotno leto, v vseh letnih časih, so pogoste, tako pri napovedovanju poplav (Kobold in Sušelj, 2005; Kobold in sod., 2007; Petan in sod., 2015), za simulacijo odtokov (Kobold in Sušelj, 2005; Kobold in sod., 2007), pri opozarjanju na nevarnost proženja zemeljskih plazov (Jemec Auflič in sod., 2021), pri nastanku in proženje snežnih plazov (Kobal in sod., 2021) in predvsem pri urejanju hudourniških območij, kjer je za majhna vodozbirna območja natančna prostorska in časovna razporeditev padavin bistvenega pomena za modeliranje procesov padavine-odtok (Faurès in sod., 1995; Kobold in sod., 2007) in posledično za projektiranje varovalnih ukrepov in objektov varstva pred hudourniki, erozijo in plazovi (Stopar, 2019), zlasti ob vse intenzivnejših vremenskih ekstremih (Horvat in sod., 2008).

Pri tem je treba upoštevati tudi znatne prerazporeditve padavin med letnimi časi in pričakovanim dogodkom. V obdobju 1981–2011 je glede na dolgoletno povprečje najbolj spremenljiva zima, spomladi in jeseni pa je spremenljivost padavin manjša (Vertačnik in Bertalanič, 2017). Glede na dolgoletno povprečje je najmanj spremenljiva količina padavin poleti, saj odklon od povprečja ne preseže 42 % (Vertačnik in Bertalanič, 2017). Razlog je lahko tudi v tem, da je sicer prostorska variabilnost količine padavin najvišja poleti. Sicer je trend letne količine skoraj povsod po Sloveniji negativen (nekaj odstotkov na desetletje), a je le na zahodu statistično značilen, predvsem zaradi zmanjševanja padavin spomladi in poleti (Vertačnik in Bertalanič, 2017).

Pri interpretaciji rezultatov se je treba zavedati negotovosti izračuna razdalje razgradnje korelacije, določene za minimalno pet sosednjih meteoroloških postaj, kar je sicer praksa v primerljivih raziskavah (npr. Cortesi in sod., 2014). K delu negotovosti rezultatov prispeva tudi izračun koeficienta korelacije  $r$  na 10-letnem nizu podatkov – gre za s statističnega vidika sorazmerno majhne vzorec, vendar so izračuni razdalje razgradnje korelacije pogosti na podatkih 10 let (npr. Huff, 1979; Cortesi in sod., 2014).

Pri zaznavanju prostorske in časovne razporeditve količine padavin na širšem območju so v pomoč tudi vremenski radarji. Slovenska državna meteorološka služba meri padavine nad Slovenijo z dvema vremenskima radarjema (Lisca in Pasja ravan), slika pa prikazuje razporeditev in jakost padavin, izmerjenih vsakih





**Slika 7:** Karta variograma za razdaljo razgradnje korelacije za pomladansko količino padavine. Razvidne so višje vrednosti semivariance v smeri SV-JZ (azimut  $45^\circ \pm 22,5^\circ$  oz.  $225^\circ \pm 22,5^\circ$ ), vrednosti semivariance v smeri JV-SZ (azimut  $135^\circ \pm 22,5^\circ$  oz.  $315^\circ \pm 22,5^\circ$ ) pa so precej nižje

**Fig. 7:** Variogram map for correlation decay distance for spring precipitation. Higher values of semivariance are evident in the NE-SW direction (azimuth  $45^\circ \pm 22,5^\circ$  oz.  $225^\circ \pm 22,5^\circ$ ), while semivariance values in the SE-NW direction (azimuth  $135^\circ \pm 22,5^\circ$  and  $315^\circ \pm 22,5^\circ$ , respectively) are much lower

pet minut. Žal so radarske meritve v primerjavi z meritvami meteoroloških postaj običajno obremenjene z napako (podcenjene ali precenjene) (Sinjur in sod., 2011), zlasti izrazita pa je napaka daleč od radarja, posebno v hladnejši polovici leta ob plitvih oziroma stratiformnih padavinah (Demšar, 2005).

## 5 POVZETEK

### 5 SUMMARY

The amount of precipitation in Slovenia is spatially and temporally very variable due to the position of Slovenia, the diverse topography, the orientation of mountain ridges and the proximity of the sea. In general, annual rainfall increases from the sea towards the Alpine-Dinaric mountain barrier, and then gradually decreases east of this barrier. There are large differences between the seasons. The sub-Mediterranean climate is characterized by two precipitation maxima, while the Alpine climate is characterized by a maximum of autumn precipitation. The continental climate in the east of the country is characterized by the highest rainfall during summer showers and storms, with the driest months being in winter.

Precipitation is the main input data in hydrological models for flood forecasting, as the reliability of

the predicted flow  $Q$  depends on the accuracy of the model parameter estimates as well as the reliability of precipitation data. Spatially accurate data on the amount of precipitation are also important for landslides, which in Slovenia are mostly the result of precipitation. The importance of precipitation variability for the formation and triggering of avalanches is also worth mentioning. It is also necessary to take into account precipitation and hydrological conditions when planning protection measures and facilities for protection against erosion and torrents, especially for small catchment areas.

The basic source of data is monthly data on the amount of precipitation available in the archive of observed and measured meteorological data in Slovenia on the website of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia ARSO (<https://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/>). Complete data including monthly rainfall data for all 120 months are available for 160 weather stations. The analysis of precipitation variability in Slovenia in the period 2010–2019 was performed at the level of seasons, similar to other studies.

In the first step, we calculated the Pearson correlation coefficient  $r$  for the analysed period between sets of seasonal precipitation at individual stations. In

the second step, we calculated the distance between the stations and fit the regression function between  $r$  (dependent variable) and the distance between the stations (independent variable), for which a negative exponential function is used. The correlation decay distance CDD was calculated in the third step for the limit correlation of 0.707 ( $r^2 = 0.5$ ). The correlation decay distance was calculated for each station separately, considering the criterion that at least 5 adjacent stations must be included in the calculation. Universal kriging and the spherical variogram model were used for spatial interpolation of the correlation decay distance. Fifteen adjacent meteorological stations were considered in the spatial interpolation.

In Slovenia, the lowest value of CDD is in summer (50 km) and the highest in winter (141 km). The greater variability of precipitation in the summer months can be explained by the fact that local convective precipitation occurs, while local factors have a more pronounced influence on precipitation (e.g. the influence of relief on convection and triggering storms). In winter and autumn, the variability of precipitation is the lowest, as extensive frontal and orographic precipitation prevails, which is mainly influenced by the synoptic situation (Mediterranean oscillation of the MO) as the main source of precipitation in Slovenia. Most of the precipitation then falls from humid air masses from the Adriatic and the wider Mediterranean. The higher variability of precipitation in the colder half of the year in NW Slovenia can be explained mainly by the predominant orographic precipitation. In winter, greater variability of precipitation also occurs in the area of SE Slovenia. The low variability of precipitation for the spring months in NE Slovenia can be explained by the pronounced influence of the continental climate, in which the winter months are the driest. The variogram map indicates anisotropy in the correlation decay distance for spring precipitation. Higher values of semivariance are evident in the NE-SW direction, while semivariance values in the SE-NW direction are much lower.

#### ZAHVALA

#### ACKNOWLEDGEMENTS

Delo je nastalo v okviru programske skupine P4-0059 Gozd, gozdarstvo in obnovljivi gozdni viri.

#### VIRI

#### REFERENCES

- Alexandersson H. 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6: 661–675. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607> (6. 5. 2022)
- Auer I., Böhm R., Jurković A., Orlik A., Potzmann R., Schöner W., Ungersböck M., Brunetti M., Nanni T., Maugeri M., Briffa K., Jones P., Efthymiadis D., Mestre O., Moisselin J. M., Begert M., Brazdil R., Bocjnicek O., Cegnar T., Galic-Čapka M., Zaninović K., Majstorović Ž., Szalai S., Szentimrey T., Mercalli L. 2005. A new instrumental precipitation dataset for greater Alpine region for the period 1800–2002. *International Journal of Climatology*, 25: 139–166. <https://doi.org/10.1002/joc.1135> (6. 5. 2022)
- Bergant K., Kajfež-Bogataj L. 2005. N-PLS regression as empirical downscaling tool in climate change studies. *Theoretical and Applied Climatology*, 81:11–23. <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0083-2> (6. 5. 2022)
- Brunetti M., Maugeri M., Monti F., Nanni T. 2006. Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 26: 345–381. <https://doi.org/10.1002/joc.1251> (6. 5. 2022)
- Caesar J., Alexander L., Vose R. 2006. Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperature: creation and analysis of a new gridded data set. *Journal of Geophysical Research*, 111: D05101. <https://doi.org/10.1029/2005JD006280> (6. 5. 2022)
- Cegnar T. 2003. Padavine. V: *Vodno bogastvo Slovenije*. Uhan J., Bat M. (ur.). Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 13–26.
- Cegnar T. 2005. Podnebne razmere v Sloveniji leta 2004. *Ujma*, 19: 12 – 24.
- Cegnar T. 2013. Podnebne razmere v Sloveniji leta 2012. *Ujma*, 27: 21 – 32.
- Cegnar T. 2017. Podnebne razmere v Sloveniji leta 2016. *Ujma*, 31: 16 – 28.
- Cegnar T. 2019. Podnebne razmere v Sloveniji leta 2018. *Ujma*, 33: 24 – 39.
- Cortesi N., Gonzalez-Hidalgo J. C., Brunetti M., de Luis M. 2014. Spatial variability of precipitation in Spain. *Regional environmental change*, 14, 5: 1743–1749. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0402-6> (6. 5. 2022)
- Demšar M. 2005. Analiza radarskih meritev v letu 2004 in njihovo izboljšanje s pluviometrijskim popravkom. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko. Ljubljana. 84 str.
- Dolinar M., Frantar P., Hrvatin M. 2008. Vpliv podnebne spremeljivosti na pretočne in padavinske režime Slovenije. V: *Mišičev vodarski dan. Vodnogospodarski biro (Maribor), Drava vodnogospodarsko podjetje (Ptuj)* (ur.). Maribor: 1–8.
- Faurès J. M., Goodrich D. C., A. Woolhiser D., Sorooshian S. 1995. Impact of small-scale spatial rainfall variability on runoff modeling. *Journal of Hydrology*, 173, 1–4: 309–326. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02704-S](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02704-S) (6. 5. 2022)
- Frei C., Schar C. 1998. A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain gauge observations. *International journal of climatology*, 18: 873–900 [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19980630\)18:8<873::AID-JOC255>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19980630)18:8<873::AID-JOC255>3.0.CO;2-9) (6. 5. 2022)

- Hofstra N., New M. 2009. Spatial variability in correlation decay distance and influence on angular-distance weighting interpolation of daily precipitation over Europe. *International Journal of Climatology*, 29: 1872–1880. <https://doi.org/10.1002/joc.1819> (6. 5. 2022)
- Horvat A., Jeršič T., Papež J. 2008. Varstvo pred hudourniki in erozijo ob vse intenzivnejših vremenskih ekstremih. *Ujma*, 22: 200–208.
- Huff F. A., Shipp W. L. 1969. Spatial correlations of storms, monthly and seasonal precipitation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 8: 542–550. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1969\)008<0542:SCOSMA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1969)008<0542:SCOSMA>2.0.CO;2) (6. 5. 2022)
- Huff F. A. 1979. Spatial and temporal correlation of precipitation in Illinois. Illinois State Water Survey, Illinois Institute of Natural Resources Circular 141.
- 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: 159–171. <https://doi.org/10.5474/geologija.2021.009> (6. 5. 2022)
- 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: 259–271. <https://doi.org/10.5474/geologija.2016.016> (6. 5. 2022)
- Kobal M. 2022. Primerjava različnih rešitev naknadne obdelave trajektorije pri laserskem skeniranju z daljinsko vodenim letalnikom – primer meritve snežnih plazov v Zgornji soški dolini. V: Raziskave s področja geodezije in geofizike 2021: zbornik predavanj. Ljubljana, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko: 153–162.
- Kobal M., Kostevc M., Papež J. 2021. Nevarnost snežnih plazov v Zgornji soški dolini: vzorci in procesi ob spremembah podnebja. V: Mišičev vodarski dan: zbornik. Maribor, Ptuj, Vodnogospodarski biro, Drava vodnogospodarsko podjetje Maribor: 310–316.
- Kobold M. 2005. Poplave in Evropski sistem napovedovanja. *Ujma*, 19: 257–264.
- Kobold M., Sušelj K. 2005. Padavinske napovedi in njihova nezanesljivost v hidrološkem prognoziranju. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2004. V: Zbornik predavanj. Ljubljana, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko: 61–75.
- Kobold M., Zgonc A., Sušnik M. 2007. Nezanjsljivost padavinskih meritev in napovedi pri modeliranju hudourniških poplav. *Acta hydrotechnica*, 23/39: 79–98.
- Krzysztofowicz R., Herr H. D. 2001. Hydrologic uncertainty processor for probabilistic river stage forecasting: precipitation-dependent model. *Journal of Hydrology*, 249: 46–68. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00412-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00412-7) (6. 5. 2022)
- Mitchell T. D., Jones P. D. 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high resolution grids. *International Journal of Climatology*, 25: 693–712. <https://doi.org/10.1002/joc.1181> (6. 5. 2022)
- New M., Hulme M., Jones P. 2000. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: development of 1901–1996 monthly grids of terrestrial surface climate. *Journal of Climate*, 13: 2217–2238. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2217:RTCSTC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2217:RTCSTC>2.0.CO;2) (6. 5. 2022)
- Osborn T., Hulme M. 1997. Development of a relationship between stations and grid-box rainday frequencies for climate model evaluation. *Journal of Climate*, 10: 1885–1908. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)010<1885:DOARBS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1997)010<1885:DOARBS>2.0.CO;2) (6. 5. 2022)
- Petan S., Golob A., Moderc M. 2015. Hidrološki prognostični sistem Agencije republike Slovenije za okolje. *Acta hydrotechnica*, 28/49: 119–132.
- Petan S., Pogačnik N., Sušnik M., Polajnar J., Jørgensen G. 2012. Razvoj sistema za napovedovanje hidroloških razmer na porečjih Save in Soče. V: Raziskave s področja geodezije in geofizike 2011: zbornik predavanj. Ljubljana, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko: 103–110.
- Peterson T., Easterling D. 1994. Creation of homogeneous composite climatological reference series. *International Journal of Climatology*, 14, 6: 671–679. <https://doi.org/10.1002/joc.3370140606> (6. 5. 2022)
- Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971–2000). 2006. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 28 str.
- Šinigoj J., Jemec Auflič M., Kumelj Š., Peternel T., Krivic M., Vegan J., Zakrajšek M., Prkič Požar N., Podboj M., Šinigoj M., Jordanova G. 2018. Nadgradnja sistema za obveščanje in opozarjanje v primeru proženja zemeljskih plazov v RS - MASPREM 3: končno poročilo. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: 175 str.
- Sinjur I., Ferlan M., Demšar M., Vertačnik G., Simončič P. 2011. Meritve padavin med orografskim proženjem na območju Travljan-ske gore 8. septembra 2010. *Gozdarski vestnik*, 69, 5-6: 301–311.
- Sinjur I., Ferlan M., Simončič P., Vilhar U. 2010. Mreža meteoroloških postaj Gozdarskega inštituta Slovenije. *Gozdarski vestnik*, 68, 1: 41–46.
- Srebrnič T., Mikoš M. 2006. Analiza sezonskosti padavin in pretokov v Sloveniji. V: Raziskave s področja geodezije in geofizike 2005: zbornik predavanj. Ljubljana, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko: 53–73.
- Stopar L. 2019. Variabilnost količine padavin na treh lokacijah v Sloveniji: diplomsko delo - univerzitetni študij - 1. stopnja. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 41 str. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=111026> (6. 5. 2022)
- Sušelj K., Bergant K., 2006. Sredozemski oscilacijski indeks in vpliv na podnebje Slovenije. V: Raziskave s področja geodezije in geofizike 2005: zbornik predavanj. Kozmus Trajkovski K., (ur.), Kuhar M.(ur.). Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 101–110.
- Vertačnik G., Bertalanci R. (ur.). 2017. Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011. (Značilnosti podnebja v Sloveniji). Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje: 197 str.
- Vilhar U., Zupin R., Diaci J. 2017. Primerjava padavin na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdov v Sloveniji. *Gozdarski vestnik*, 75, 2: 59–74.
- Vrhovec T., Gregoričič G., Rakovec J., Žagar M. 2001. Observed versus forecasted precipitation in the south-east Alps. *Meteorologische Zeitschrift*, 10, 1: 17–27. <https://10.1127/0941-2948/2001/0010-0017> (6. 5. 2022)
- Vrhovec T., Rakovec J., Gregorič G. 2004. Mesoscale diagnostics of prefrontal and frontal precipitation in the Southeast Alps during MAP IOP 5. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 86: 15–29. <https://doi.org/10.1007/s00703-003-0023-1> (6. 5. 2022)
- Willmott C. J. 1984. On the evaluation of model performance in physical geography. V: *Spatial Statistics and Models*. Gaile G. L., Willmott C. J., Reidel D. (ur.). Berlin, Springer: 443–460.