



SREDNJA RELATIVNA VARIABILNOST PADAVIN V SLOVENIJI V OBDOBJU 1991–2020

COBISS 1.01

DOI: 10.4312/dela.61.75-98

Izvleček

Zaradi velikih razlik v višini padavin med slovenskimi pokrajinami je kot pokazatelj njihove spremenljivosti v obdobju 1991–2020 uporabljena srednja relativna variabilnost. Letna variabilnost je analizirana za 174 padavinskih postaj, giblje se v razponu med 8 in 18 %. Letne padavine so najbolj variabilne v zahodni in severozahodni Sloveniji. Sezonsko variabilnost smo prikazali za 37 reprezentativnih postaj. Najbolj spremenljive so zimske padavine s srednjo relativno variabilnostjo okoli 40 %, kar je posledica sprememb sredozemske ciklogeneze. V ostalih letnih časih je variabilnost med 20 in 25 %.

Ključne besede: klimatogeografija, variabilnost padavin, srednja relativna variabilnost padavin, spreminjanje podnebja

MEAN RELATIVE PRECIPITATION VARIABILITY IN SLOVENIA FOR THE PERIOD 1991–2020

Abstract

Given the considerable disparities in precipitation amounts in the various regions of Slovenia, the mean relative variability was used as an indicator of precipitation variability in the period 1991–2020. The annual variability analyzed for 174 precipitation stations ranges from 8 % to 18 %. The highest annual precipitation variability was observed in western and northwestern Slovenia. Seasonal variability was assessed for 37 representative stations. Winter precipitation exhibits the greatest variability,

*Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani, Aškerčeva 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija
e-pošta: cotar.alen@gmail.com, darko.ogrin@ff.uni-lj.si
ORCID: 0000-0002-2458-6435 (D. Ogrin)

characterized by a mean relative variability of approximately 40 %, which is primarily due to fluctuations of the Mediterranean cyclogenesis. In the other seasons, the variability ranges from 20 % to 25 %.

Keywords: climatogeography, precipitation variability, mean relative precipitation variability, climate change

1 UVOD

Slovenija je kljub skromnim geografskim dimenzijam podnebno raznolika država (Ogrin in sod., 2023), kar velja tudi za padavine. V povprečju pade letno v Sloveniji okoli 1400 mm padavin, največ v območju alpsko-dinarske pregrade (od 1600 do več kot 3000 mm), najmanj pa na jugozahodu (900–1000 mm) in severovzhodu države (800–1000 mm). Padavine v kombinaciji s temperaturami opredeljujejo večino slovenskega podnebja za vlažno ali zelo vlažno, le Slovenska Istra na jugozahodu ter nižine in gričevja na severovzhodu in vzhodu imajo polvlažno podnebje (Ogrin in sod., 2013). Severovzhodni del države ima zmerno celinski padavinski režim z viškom padavin poleti in nižkom pozimi, ki proti jugozahodu prehaja v zmerno sredozemskega z viškom padavin v jeseni in primarnim nižkom na prehodu zime v pomlad ter sekundarnim nižkom julija in avgusta. Pomembna značilnost padavin v zmernih geografskih širinah je njihova velika variabilnost, bistveno večja kakor je variabilnost temperaturnega režima. Pri tem Slovenija ni izjema, kvečjemu nasprotno; dolgoletna povprečja so lahko močno presežena, ali pa je višina padavin v posameznih letih, sezonah ali mesecih globoko pod povprečjem. Preobilje ali pomanjkanje padavin ima negativne učinke tako za naravo kakor za družbo. Prevladujoče mnenje je, da so padavine v zadnjih letih vse bolj variabilne oziroma da nihajo od enega ekstrema do drugega. Zaradi tega je poznavanje njihove spremenljivosti zelo pomembno za prilagajanje na vse bolj ekstremno vreme in podnebje v sedanjosti, pa tudi za pripravo strategij prilagajanja za prihodnje podnebne razmere.

Glavni namen prispevka je analizirati spremenljivost višine padavin v Sloveniji v pravkar zaključenem standardnem klimatološkem obdobju 1991–2020. Več pozornosti smo namenili variabilnosti letne višine padavin in njenim regionalnim razlikam, ki smo jo analizirali za vse razpoložljive padavinske postaje. Zanimala nas je tudi primerjava s predhodnim standardnim klimatološkim obdobjem 1961–1990 in razlike v variabilnosti med njima. Vpogled v sezonsko variabilnost, ki je še večja od variabilnosti letnih padavin, smo dobili z analizo reprezentativnih postaj za posamezne pokrajinske enote, podnebne tipe in padavinska območja Slovenije. Glede na velike regionalne razlike v namočenosti smo za mero spremenljivosti uporabili srednjo relativno variabilnost.

Študij, ki analizirajo padavine v Sloveniji, je precej, nabor literature, ki govori o variabilnosti padavin, pa je precej skromen. Prvo temeljito delo o variabilnosti je v okviru analize padavin v Sloveniji naredil Furlan (1955; 1961). V doktorski disertaciji

(Furlan, 1955) opozarja, da je izražanje variabilnosti s srednjo absolutno vrednostjo na Slovenskem nepraktično, ker primerjava med posameznimi območji zaradi velikih razlik v višini padavin ni mogoča. Letno in mesečno variabilnost je analiziral za 36 postaj v 16-letnem obdobju 1925–1940, kar je za tovrstne analize neobičajno kratek niz. Prostorsko sliko variabilnosti je prikazal z izolinijami, ki jih je imenoval »izanomale relativne variabilnosti«. Ugotavlja, da je letna variabilnost najvišja vzdolž alpsko-dinarske pregrade in znaša med 14 in 16 % (največ 18 %), drugod po Sloveniji je večinoma med 13 in 14 %. Pri mesečni variabilnosti je prišel do sklepa, da se s povečevanjem celinskega značaja padavin variabilnost zmanjšuje. Najmanjša, pod 50 %, je na severovzhodu Slovenije, kjer so padavine najmanj izdatne, največja pa v Alpских pokrajinah (70–80 %) in v zaledju Obsredozemskih pokrajin (okrog 60 %).

Variabilnost padavin sta v poročilu o podnebni spremenljivosti Slovenije v obdobju 1961–2011 prikazala tudi Vertačnik in Bertalanič (2017). Uporabila sta različne statistične kazalce variabilnosti (primerjava absolutnih vrednosti, standardnih odklonov, kvartilnih razponov in linearnih trendov), za raven Slovenije tudi odklon povprečne višine padavin v posameznih letnih časih od povprečja za obdobje 1961–2011. Kot najbolj variabilne izpostavljata padavine pozimi, saj je zima povsod v Sloveniji najmanj namočen letni čas. Sledijo spomladanske in jesenske padavine, najmanjša je spremenljivost poleti.

Študija Kobala (2022) se ukvarja s prostorsko variabilnostjo padavin v Sloveniji po letnih časih. To je, kako se višina padavin spreminja med padavinskimi postajami glede na njihovo medsebojno oddaljenost. S pomočjo analize razdalje razgradnje korelacije za 160 padavinskih postaj v obdobju december 2009–november 2019 ugotavlja, da je prostorska variabilnost največja poleti, ko prevladujejo konvektivne padavine, na katere imajo velik vpliv lokalni dejavniki (npr. relief), zaradi česar so padavine prostorsko razporejene zelo neenakomerno. Najmanjša je prostorska variabilnost pozimi in jeseni, saj takrat prevladujejo obsežne frontalne in orografske padavine.

Spremenljivost padavin v Sloveniji je bila tudi tema nekaterih študentskih zaključnih del na Oddelku za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ozebek (2015) je na osnovi manjšega števila reprezentativnih padavinskih postaj za posamezne podnebne tipe primerjala srednjo letno in sezonsko relativno variabilnost med obdobji 1961–1990 in 1991–2010. Ugotavlja, da se letna variabilnost med obdobjema ni bistveno spremenila, sezonska pa se je pri vseh letnih časih, razen spomladi, v drugem obdobju povečala, najbolj pozimi in poleti. Po podobni metodologiji, vendar za 62 reprezentativnih padavinskih postaj in s poudarkom na prostorski interpolaciji točkovnih podatkov, je primerjavo letne variabilnosti padavin med standardnima klimatološkima obdobjema 1961–1990 in 1991–2020 naredil tudi Čotar (2024). Čotarjeva analiza za obdobje 1991–2020, dopolnjena z izračunom letne variabilnosti za vse padavinske postaje v Sloveniji in sezone za 37 reprezentantov posameznih naravnih enot, podnebnih tipov (Ogrin in sod., 2023) in padavinskih območij, je bila tudi osnova za pripravo tega prispevka.

Za presojo spremenljivosti padavin v Sloveniji so pomembne tudi študije, ki obravnavajo to problematiko v bližnjih državah. Za Hrvaško in Bosno in Hercegovino so srednjo relativno variabilnost raziskovali Maradin (2011) in Maradin in sod. (2014), v južni Srbiji Miletić in Vuletić (2023) in v območju Alp Formeta in sod. (2021). Za celotno Evropo je variabilnost padavin proučeval Zveryaev (2004).

2 METODE DELA

Podatke za 174 padavinskih postaj v Sloveniji za obdobje 1991–2020 (ARSO, 2021) smo pridobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO). Na ARSO so podatke najprej kontrolirali in jih s pomočjo sodobnih programskih orodij homogenizirali ter odstranili spremembe, ki niso posledica podnebnega dogajanja (Vertačnik in sod., 2016). V prvem koraku smo s pomočjo homogeniziranih podatkov v programskem okolju Excel izračunali srednjo absolutno letno variabilnost padavin:

$$V_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |p_i - \bar{p}|$$

V_a – Absolutna variabilnost padavin

p_i – Višina padavin v letu i

$\bar{p}$ – Povprečna višina padavin proučevanega obdobja

Že predhodni avtorji, ki so se ukvarjali z variabilnostjo padavin (npr. Furlan, 1955; 1961; Maradin, 2011; Maradin in sod., 2014) so poudarjali, da je z absolutno variabilnostjo mogoče primerjati nekaj padavinskih postaj z območja, kjer pade približno enaka višina padavin, in da ta kazalec ni primeren za večja območja, kjer so razlike v padavinah velike. Ker Slovenija spada med tovrstna območja, smo absolutne vrednosti variabilnosti preračunali v relativne:

$$V_r = \frac{100 \overline{V_a}}{\bar{p}_l}$$

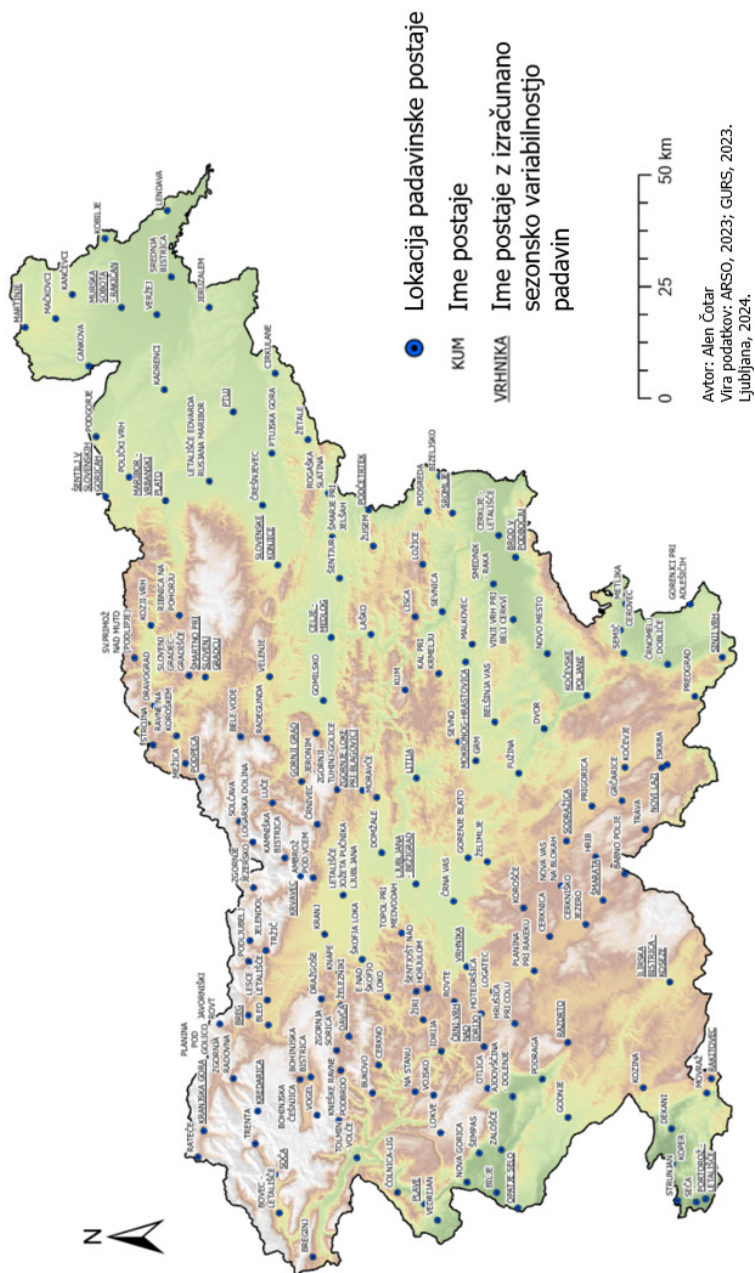
V_r – Relativna variabilnost padavin

$\overline{V_a}$ – Povprečna absolutna variabilnost padavin proučevanega obdobja

$\bar{p}_l$ – Povprečna višina padavin proučevanega obdobja

Letno variabilnost smo izračunali za vse razpoložljive padavinske postaje za obdobje 1991–2020 (slika 1), sezonsko pa za 37 reprezentativnih postaj. Uporabili smo klimatološke letne čase, izračun sezone variabilnosti je potekal na enak način kot za izračun letne variabilnosti. Prostorsko je Slovenija zadovoljivo pokrita s padavinskimi postajami (povprečno ena postaja na 116,5 km²), mreža je nekoliko redkejša predvsem na severovzhodu in v južni Sloveniji, z vidika padavinskih gradientov tudi v gorskem svetu.

Slika 1: Prostorska razporeditev padavinskih postaj v Sloveniji 1991–2020.



Za prostorsko interpolacijo točkovnih vrednosti relativne variabilnosti smo uporabili program ArcGIS Pro 10.8.1, v katerem smo izdelali tudi kartografsko gradivo. Interpolirane vrednosti lahko dobimo s pomočjo različnih modelov. Vsak model vsebuje določene predpostavke o podatkih in na podlagi teh z različnimi izračuni ustvari različne napovedi. Posledično so nekateri modeli bolj primerni za obdelavo določenih podatkov kot pa drugi (ESRI, 2024a; 2024b). Zaradi upoštevanja prostorske avtokorelacije med vhodnimi podatki in zmožnostjo prikaza ocenjenih napak za interpolirane vrednosti, je bilo v raziskavi uporabljeno orodje *Kriging*. Za izvedbo *Kriginga* je pomembno, da imamo dovolj veliko število vzorčnih točk, ki so ustrezno razporejene. Premajhno število točk ne daje optimalnih rezultatov, preveliko z neustrezno prostorsko razporeditvijo prav tako ne. Pri povprečni letni relativni variabilnosti padavin smo pri interpolaciji upoštevali 174 točk, kar ocenjujemo kot zadostno število za raven Slovenije, prostorska razporeditev pa ni optimalna. Sezonskih vrednosti relativne variabilnosti padavin zaradi premajhnega števila točk (37) nismo interpolirali. *Kriging* temelji na teoriji regionalnih spremenljivk, ki predpostavlja, da je prostorska variacija pojava statistično homogena po vsej površini oziroma da je na vseh lokacijah moč opaziti isti vzorec variacije. Sama prostorska avtokorelacija pa sledi načelu, da so si bližnji pojavi med sabo bolj podobni kot oddaljeni.

Po analizi podatkov in preizkusu različnih modelov smo med več vrstami *Kriginga* izbrali *Universal Kriging*, ki je pogosto uporabljena metoda pri delu z okoljskimi pojavi (Columbia ..., 2024; ESRI, 2024c). *Universal Kriging* se je v našem primeru izkazal kot primerna metoda, saj upošteva prostorske trende v podatkih, ki so pogosto povezani z drugimi okoljskimi pojavi, kot so npr. nadmorska višina in druge topografske značilnosti površja. Če obstaja velika soodvisnost med dvema okoljskima pojavoma, je smiselno uporabiti *CoKriging*. Vendar pa lahko prekomerno vključevanje informacij povzroči pretirano prilagajanje modela podatkom, kar zmanjša točnost napovedi (Mooney in sod., 2018). V našem primeru vključevanje dodatnih pojavov v analizo ni bilo potrebno, saj je korelacija med nadmorsko višino, ki je v Sloveniji pomemben modifikator padavin, in njihovo variabilnostjo zelo šibka ($r = -0,11$).

Velika prednost *Universal Kriginga* je prilagodljivost variogramskega modela podatkom, saj poleg prostorske variabilnosti upošteva tudi prostorske trende, kar je v našem primeru omogočilo kakovostnejšo interpolacijo prostorskih vzorcev variabilnosti padavin v primerjavi z enostavnejšimi metodami, kot je npr. *Ordinary Kriging*. Slednja prav tako vključuje prilagajanje variogramskega modela podatkom, vendar se osredotoča zgolj na prostorsko variabilnost. Odločitev za izbor metode *Universal Kriging* pred *Ordinary Krigingom* je lahko tudi subjektivna, saj v literaturi ni specifično določeno, kako izraziti mora biti prostorski trend v podatkih, da ga lahko uporabimo. V primeru, da je naša presoja napačna, lahko da izbrana metoda manj kakovostne rezultate. Zato je pri interpolaciji priporočljivo pred dokončnim izborom preizkusiti različne metode in se za najbolj primerno odločiti na osnovi primerjave njihovih rezultatov (Kriging, 2024).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 Srednja letna relativna variabilnost padavin

Srednja letna variabilnost padavin za slovenske padavinske postaje v obdobju 1991–2020 se giblje v razponu med 8 in 18 %, kar je podobno, kot so Maradin in sod. (2014) izračunali za Hrvaško ter Bosno in Hercegovino za obdobje 1961–1990. Povprečna vrednost za raven Slovenije je 12,2 %, mediana 11,9 %, variacijski razmik pa 9,5 %. To pomeni, če v določenem letu pade na ravni Slovenije do okoli 12 % več ali manj padavin, kot znaša dolgoletno povprečje, lahko to vsoto jemljemo v okviru običajne spremenljivosti. Najmanjšo letno variabilnost so v obravnavanem obdobju imele padavinske postaje Gomilsko in Gornji Grad (8,4 %) ter Ložice na Kozjanskem (8,5 %), največjo pa Gorenjci pri Adlešičih (17,9 %), Kranjska Gora (17,8 %) in Strunjan (17,7 %).

Preglednica 1: Nekateri kazalci variabilnosti padavin v Sloveniji za izbrane postaje v obdobju 1991–2020.

Padavinska postaja	Povpr. letna višina pad. (mm)	Najvišja višina v mm (leto)	Najnižja višina v mm (leto)	Srednja letna relativna variabilnost (%)
Krvavec	1696	2243 (2013)	1334 (2003)	10,2
Železniki	1783	2489 (2014)	1285 (2015)	13,5
Zgornje Jezersko	1797	2413 (2014)	1354 (2006)	11,7
Breg (Žirovnica)	1598	2267 (2014)	1089 (2011)	13,4
Javorniški Rovt	2008	2999 (2014)	1497 (2006)	14,6
Bohinjska Bistrica	2028	2947 (2014)	1432 (2011)	14,6
Kredarica	2062	2573 (2000)	1497 (2011)	12,0
Kranjska Gora	1774	2721 (2006)	1165 (2006)	17,8
Soča	2501	3534 (2014)	1508 (2005)	16,3
Bukovo	2102	3051 (2014)	1453 (2015)	14,1
Črni Vrh nad Idrijo	2468	3826 (2010)	1709 (2015)	13,0
Otlica	2285	3459 (2010)	1619 (2011)	14,2
Lokve	2382	3448 (2010)	1602 (2015)	15,9
Plave	1851	2854 (2010)	1156 (2006)	15,8
Opatje selo	1389	2124 (2014)	857 (2007)	16,8
Kozina	1313	1923 (2010)	898 (2003)	14,2
Rakitovec	1452	1984 (2010)	1031 (2011)	14,6
Portorož – letališče	958	1462 (2014)	595 (2015)	17,0

Padavinska postaja	Povpr. letna višina pad. (mm)	Najvišja višina v mm (leto)	Najnižja višina v mm (leto)	Srednja letna relativna variabilnost (%)
Ilirska Bistrica – Koseze	1409	2285 (2014)	979 (2011)	14,2
Razdrto	1561	2201 (2010)	1134 (2007)	12,3
Nova vas na Blokah	1545	2224 (2014)	1055 (2011)	10,4
Šmarata	1449	2220 (2014)	933 (2011)	12,2
Grčarice	1559	2117 (2014)	1120 (2011)	11,1
Ljubljana – Bežigrad	1322	1875 (2010)	918 (2011)	15,7
Vrhnika	1581	2146 (2010)	1175 (2011)	11,3
Želimlje	1397	1838 (2004)	1057 (2011)	10,9
Litija	1176	1523 (2014)	754 (2003)	11,5
Zg. Loke, Blagovica	1289	1647 (2014)	926 (2011)	11,1
Žusem	1125	1428 (2014)	734 (2003)	10,7
Bizeljsko	998	1278 (2014)	602 (2003)	10,7
Sromlje	1007	1286 (2014)	524 (2003)	11,0
Brod v Podbočju	1093	1384 (2019)	731 (2011)	11,3
Mokronog – Hrastovica	1173	1447 (2014)	784 (2011)	10,8
Dvor	1218	1615 (2014)	878 (2003)	10,0
Kočevske Poljane	1376	1841 (2014)	956 (2011)	9,4
Sinji Vrh	1461	2125 (2010)	965 (2003)	12,0
Žetale	1128	1422 (2014)	729 (2011)	12,2
Celje – Medlog	1117	1436 (2014)	705 (2003)	9,5
Gornji Grad	1509	1996 (2014)	1164 (2011)	8,4
Podpeca	1440	1956 (2014)	1030 (2011)	12,8
Letališče E. R. Maribor	938	1238 (2014)	689 (2003)	8,6
Šmartno pri Slov. Gradcu	1183	1498 (2014)	883 (2018)	9,5
Ribnica na Pohorju	1329	1725 (2014)	1044 (2011)	10,7
Šentilj v Slov. goricah	993	1272 (2014)	681 (2003)	11,3
Kadrenci	902	1144 (2014)	624 (2003)	12,3
Ptuj	898	1250 (2014)	571 (2011)	13,2
Murska Sobota – Rakičan	812	1093 (2014)	515 (2003)	12,4
Martinje	811	1061 (2014)	526 (2003)	11,9

Čotar (2024) je po enaki metodologiji analiziral povprečno letno relativno variabilnost padavin za 62 reprezentativnih postaj za posamezne podnebne tipe in padavinska območja Slovenije za obdobje 1961–1990. Povprečna variabilnost na ravni Slovenije je bila v tem obdobju nekoliko nižja kot v obdobju 1991–2020: povprečje 10,9 %, mediana 10,8 %, variacijski razmik 7. Najmanjšo variabilnost so izkazovale postaje Davča (7,9 %), Kočevje (8,1 %) in Javorniški Rovt (8,4 %), največjo pa Mačkovi na Goričkem (14,9 %), Ilirska Bistrica (13,7 %) in Cerovec v Beli krajini (14,3 %).

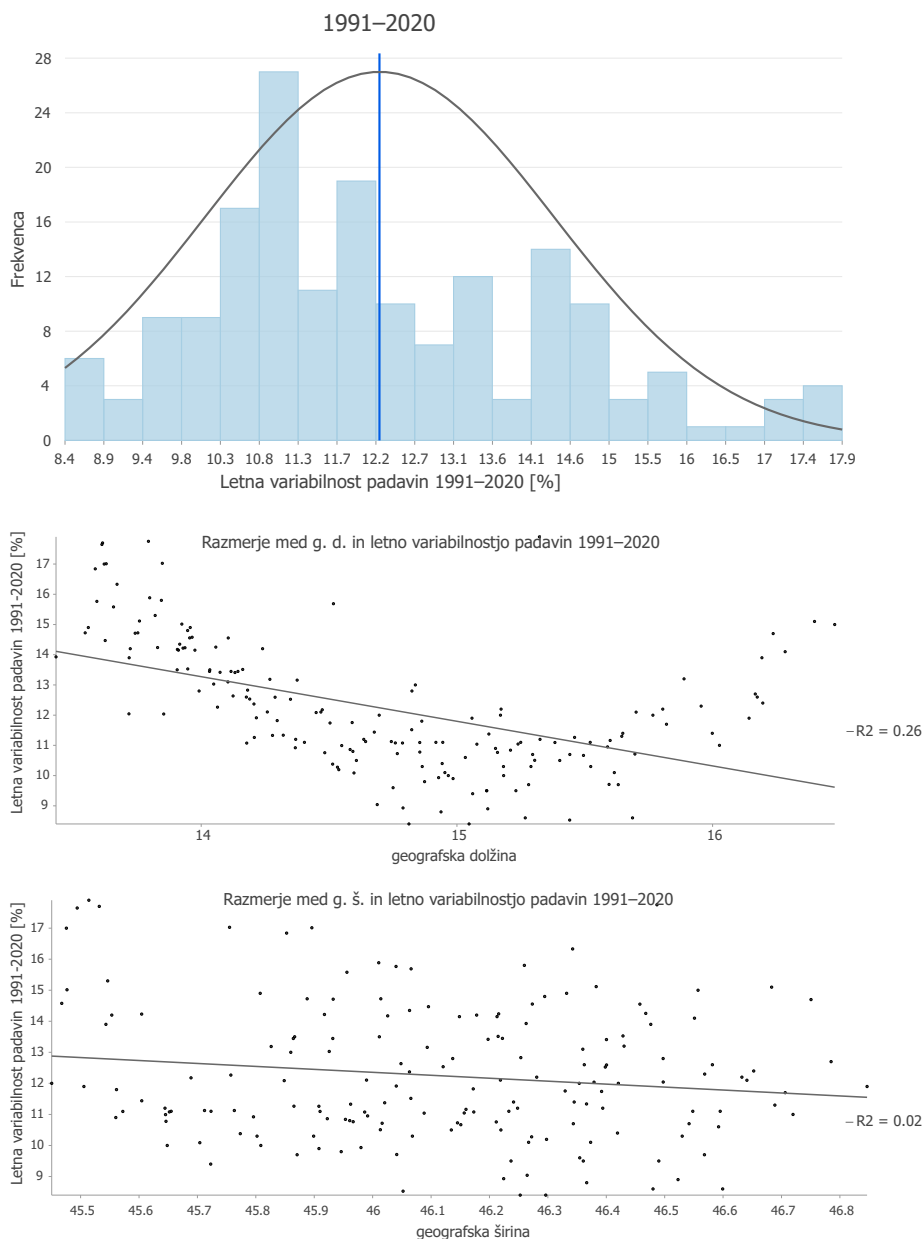
Vrednosti, ki smo jih izračunali za obdobje 1991–2020 in Čotar (2024) za obdobje 1961–1990, so nižje, kakor jih je izračunal Furlan (1955; 1961) za 36 padavinskih postaj za obdobje 1925–1940. Po Furlanovih izračunih za 16-letno obdobje pred 2. svetovno vojno je znašala srednja letna variabilnost okoli 15 %. Največjo variabilnost je ugotovil v severozahodnem in jugovzhodnem delu alpsko-dinarske pregrade ter na skrajnem severovzhodu Slovenije, nad 16 % (npr. Savica 18,2 %; Predel 18,1 %; Sodražica 16,4 %; Sv. Barbara v Halozah, sedanje Cirkulane, 18,2 %; Murska Sobota 16,7 %). Najnižjo pa v pasu, ki poteka pravokotno na alpsko-dinarsko pregrado od Tržaškega zaliva čez osrednjo Slovenijo do Pohorskega Podravja, pod 14 % (npr. Strunjan 13,1 %; Ljubljana 13,6 %; Trebnje 12,4 %; Slovenj Gradec 12,4 %) (Furlan, 1961, str. 83). Furlanovi izračuni so omejeno primerljivi z izračuni za obdobji 1961–1990 in 1991–2020, saj upošteva le polovico 30-letnega standardnega obdobja, za padavine pa je značilno, da so zelo spremenljive in je pogosto tudi 30-letno obdobje prekratko za ugotavljanje njihovih splošnih značilnosti.

Prostorska slika srednje letne relativne variabilnosti padavin

Prvi korak pred izvedbo prostorske interpolacije točkovnih podatkov je bila analiza podobnosti normalni porazdelitvi. Frekvenčna porazdelitev podatkov letne relativne variabilnosti padavin za obdobje 1991–2020 je podobna normalni (slika 2). To odražajo vrednosti koeficienta asimetrije (0,6) in koeficienta sploščenosti (2,8) ter prikaz na histogramu, ki kaže podobo zvonaste krivulje.

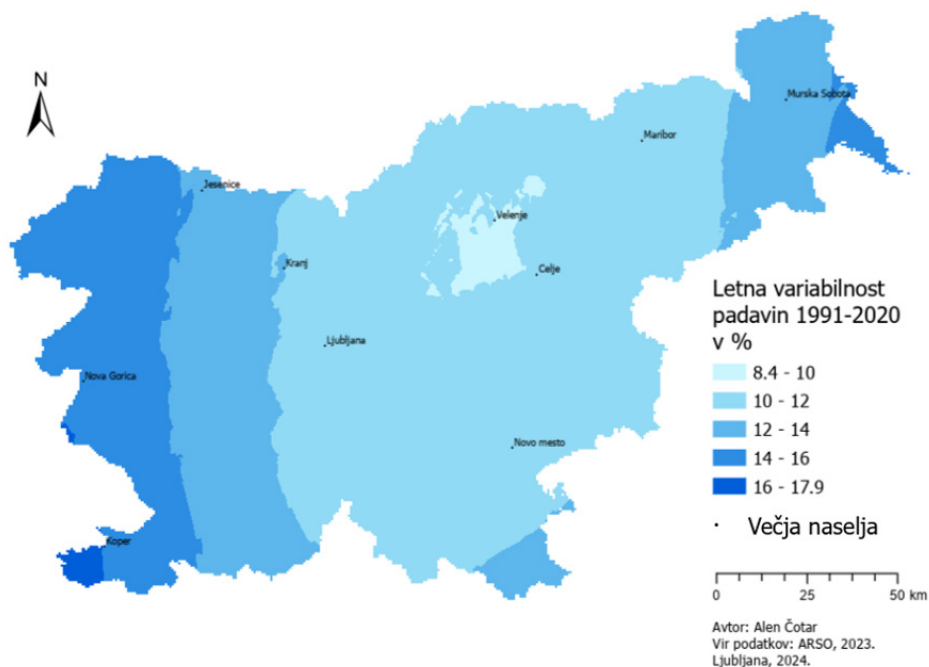
Primerjava med geografsko dolžino in letno variabilnostjo padavin je pokazala izrazit trend zmanjševanja variabilnosti proti vzhodu z nagibom korelacijske premice $-1,48 \times$ in korelacijskim koeficientom 0,26, ki nakazuje na šibko negativno korelacijo. Razmerje med geografsko širino in letno variabilnostjo je pokazalo neznatno korelacijo med spremenljivkama z neizrazitim trendom ($R = -0,02$). Ker je v podatkih prisoten prostorski trend, smo za interpolacijo izbrali metodo *Universal Kriging*. Po preizkusih z različnimi modeli in primerjavi napak ocene posameznih modelov smo ugotovili, da se podatki najbolje prilagajajo J-Besselovi funkciji, s katero smo pridobili končen rezultat interpolacije.

Slika 2: Frekvenčna porazdelitev srednje letne relativne variabilnosti padavin v obdobju 1991–2020 (zgoraj) in prikaz prostorskih trendov v podatkih (spodaj).



Prostorska upodobitev relativne variabilnosti letne višine padavin za obdobje 1991–2020 (slika 3) kaže zanimivo podobo. Padavine so najbolj variabilne v zahodni Sloveniji in na skrajnem vzhodu Prekmurja (nad 14 %). Po obsegu izstopa zahodna Slovenija vzdolž meje z Italijo. Za slovenske razmere podpovprečno variabilnost ima vzhodni del osrednje Slovenije z najnižjimi vrednostmi (pod 10 %) med Celjsko in Velenjsko kotlino. Slika ne sovпада ne z letno razporeditvijo padavin, ne z razporeditvijo padavinskih režimov, ne s podnebnimi tipi Slovenije in je le šibko povezana z višinsko strukturo, ki je pomemben modifikator padavinske slike Slovenije. Pearsonov korelacijski koeficient med letno relativno variabilnostjo padavin in nadmorsko višino je le $-0,11$, kar pomeni, da se z naraščanjem nadmorske višine variabilnost padavin le malenkost zmanjšuje. Ugotovimo lahko, da imajo območja znotraj istega podnebnega tipa ali padavinskega režima ter s podobno nadmorsko višino in letno višino padavin zelo različno povprečno letno relativno variabilnost padavin. Prav tako ne moremo popolnoma pritrditi trendu, ki nakazuje zmanjševanje variabilnosti od zahoda proti vzhodu, saj so območja z največjo variabilnostjo na zahodu in severovzhodu ter delno jugovzhodu Slovenije. Primerjava s sosednjo Hrvaško (Maradin in sod. 2014, str. 14) nakazuje nadaljevanje območja z večjo variabilnostjo na severovzhodu in jugovzhodu Slovenije na hrvaško stran. Podobno je tudi zahodna Slovenija, še posebej

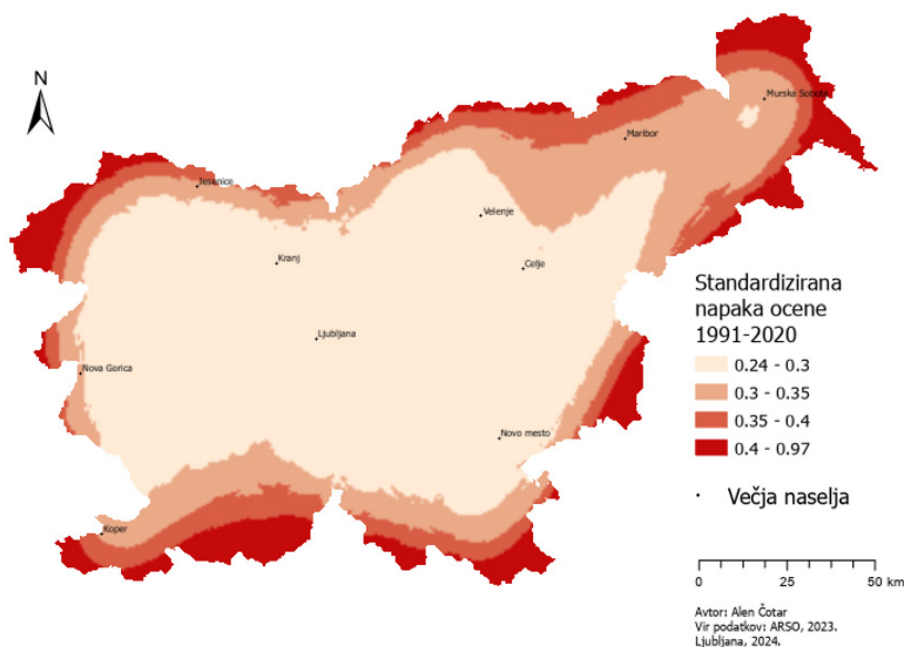
Slika 3: Srednja letna relativna variabilnost padavin v Sloveniji v obdobju 1991–2020.



njen severozahodni del, v tem kontekstu del južnih Alp z na splošno veliko količino padavin, ki so posledica, zlasti v hladni polovici leta, ciklonske aktivnosti v severnem Sredozemlju in medletnih sprememb te aktivnosti, kar pogojuje tudi večjo variabilnost padavin (Brugnara, Maugeri, 2019).

Zanesljivost interpoliranih vrednosti je na splošno največja v bližini merilnih postaj in se z oddaljevanjem od njih povečuje. Zemljevid standardiziranih napak ocene (slika 4) kaže na verodostojnost izvedene interpolacije z J-Besselovo funkcijo, saj napake ocene niso nikjer višje od enega standardnega odklona. Slika je najbolj zanesljiva v osrednjih delih Slovenije, nekoliko manj v obmejnih območjih, kar bi lahko izboljšali z vključitvijo obmejnih padavinskih postaj v sosednjih državah.

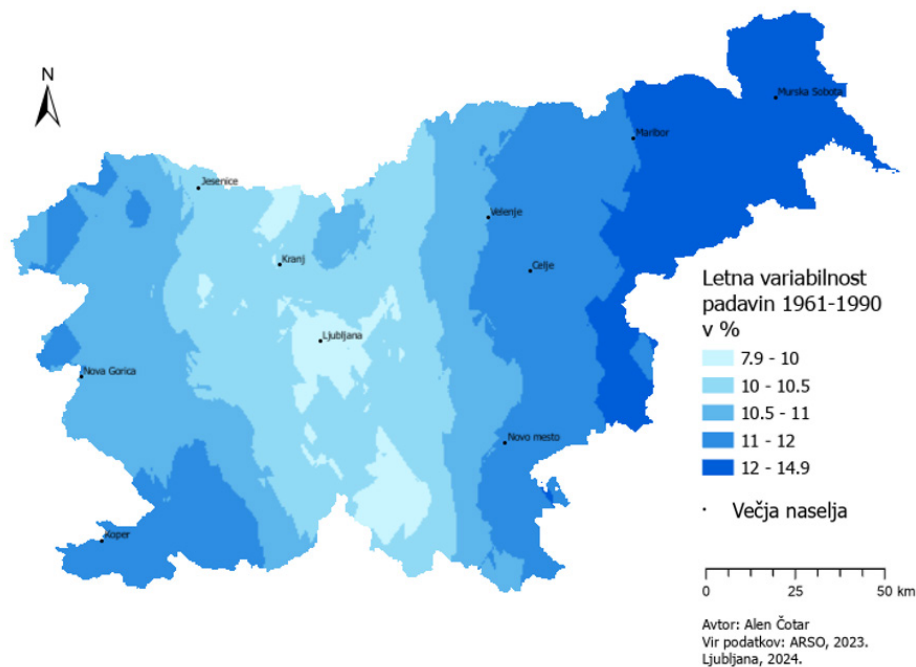
Slika 4: Standardizirane napake ocen srednje letne relativne variabilnosti padavin v Sloveniji za obdobje 1991–2020.



Prostorska razporeditev srednje letne relativne variabilnosti padavin v Sloveniji v obdobju 1991–2020 se glede najvišjih vrednosti razlikuje od slike za obdobje 1961–1990 (Čotar, 2024). V predzadnjem standardnem klimatološkem obdobju so bile padavine najbolj spremenljive na vzhodu in severovzhodu države, okoli slovenskega povprečja se je variabilnost gibala v večjem delu zahodne Slovenije, v osrednji Sloveniji je od severa proti jugu potekal pas z najbolj stabilnimi padavinami (slika 5). Iz

primerjave slik za obe obdobji razberemo trend krepitve variabilnosti letnih padavin v zadnjih desetletjih v zahodnem delu, slabitve na vzhodu in severovzhodu države ter razširitev in pomik območja z najbolj stabilnimi padavinami iz osrednje Slovenije proti vzhodu.

Slika 5: Srednja letna relativna variabilnost padavin v Sloveniji v obdobju 1961–1990 (Čotar, 2024, str. 25).



Pojasnjevanje prostorske slike srednje letne variabilnosti padavin je za obe obdobji težavna naloga. V obdobju 1961–1990 je bila variabilnost največja na vzhodu in severovzhodu Slovenije, to je v gričevnato-ravninskem delu države, kjer pade v povprečju najmanj padavin in ima zmerno celinski padavinski režim z viškom poleti. Okoli slovenskega povprečja je bila v zahodni Sloveniji, ki je reliefno bolj razgibana in ima zmerno sredozemski padavinski režim z viškom v jeseni. Severozahodni deli zahodne Slovenije spadajo med najbolj namočene pri nas, jugozahodni pa med bolj skope s padavinami. Območje z najmanjšo variabilnostjo v osrednjih delih večinoma sovпада z lego na celinski strani alpsko-dinarske pregrade in z območjem prehoda zmerno sredozemskega v zmerno celinski padavinski režim. Izjema so le južni deli države.

Še težje pojasnimo prostorsko sliko za obdobje 1991–2020. Variabilnost padavin je največja v območjih, ki so bodisi najmanj namočena (gričevnati jugozahod in

ravninski severovzhod Slovenije), bodisi najbolj namočena (hriboviti do gorati zahod) in imajo najbolj izrazite poteze zmerno sredozemskega (zahodni deli) ali zmerno celinskega padavinskega režima (severovzhod Slovenije). Najmanjša pa je ponovno v območju prehoda med obema padavinskima režimoma, le da se je to območje v zadnjem klimatološkem obdobju razširilo proti vzhodu in severovzhodu države in sovпада z razširitvijo zmerno sredozemskega na račun zmerno celinskega padavinskega režima (Ogrin in sod., 2023).

Ce združimo slike za obe obdobji, lahko postavimo domnevo, da so letne padavine v Sloveniji najbolj stabilne v osrednjih delih države, kjer sta oba viška padavin približno izenačena in prihaja do izrazitejšega prepletanja vzrokov za viške padavin pri obeh režimih: (sredozemske) ciklogeneze, ki je z orografskim dodatkom glavni vir padavin v zahodni in južni Sloveniji v hladni polovici leta, in različnih meteoroloških razmer, ki privedejo do močnejše konvekcije v topli polovici leta, kar ima večji vpliv na padavine na vzhodu in severovzhodu Slovenije. Iz primerjave prostorske razporeditve variabilnosti za obdobji 1961–1990 in 1991–2020 se nakazuje tudi sklep, da so padavine najbolj variabilne na zahodu oziroma vzhodu in severovzhodu Slovenije, kjer ima na nastanek padavin večji vpliv le en dejavnik.

3.2 Vpogled v sezonsko variabilnost padavin

Variabilnost padavin po letnih časih je večja od spremenljivosti letnih padavin in ima tudi izrazitejše posledice za naravo in družbo, bodisi pretirana namočenost ali izostanek običajnih padavin. Sezonsko variabilnost smo analizirali za 37 padavinskih postaj (preglednica 2). Izbrali smo jih kot reprezentante različnih naravnih enot, podnebnih tipov, območij z različno višino padavin in padavinskih režimov v Sloveniji.

Preglednica 2: Srednja sezonska relativna variabilnost padavin v Sloveniji v obdobju 1991–2020.

Padavinska postaja	Pomlad (%)	Poletje (%)	Jesen (%)	Zima (%)
Portorož – letališče	27,2	33,7	26,3	40,0
Rakitovec	23,3	28,6	24,7	38,0
Razdrto	25,0	25,6	23,4	44,0
Opatje selo	24,1	30,3	27,8	44,6
Plave	23,1	24,8	26,0	46,0
Ilirska Bistrica – Koseze	21,2	21,5	27,9	41,1
Črni Vrh nad Idrijo	23,2	20,4	26,6	35,0
Vrhnika	20,8	17,5	25,0	37,5
Ljubljana – Bežigrad	21,6	19,3	27,2	37,9

Padavinska postaja	Pomlad (%)	Poletje (%)	Jesen (%)	Zima (%)
Krvavec	19,7	22,4	21,8	37,3
Breg pri Žirovnici	23,3	21,4	25,6	46,5
Davča	21,5	21,8	25,4	42,0
Kranjska Gora	20,8	19,0	24,2	45,6
Kredarica	24,3	14,6	21,7	38,6
Soča	24,1	20,6	26,3	50,6
Gornji Grad	21,7	20,0	24,5	39,9
Podpeca	19,9	20,4	24,4	44,2
Šmartno pri Sl. Gradcu	20,6	19,9	22,0	40,8
Zg. Loke pri Blagovici	20,3	21,5	26,4	38,4
Litija	22,7	21,5	28,3	39,4
Šmarata	23,0	22,5	27,8	39,6
Sodražica	19,9	24,9	26,5	36,9
Kočevske Poljane	22,4	22,5	25,4	31,7
Novi Lazi	19,4	20,6	26,1	32,2
Sinji vrh (Bela krajina)	19,3	24,3	26,5	31,4
Mokronog – Hrastovica	22,4	20,5	24,3	36,4
Brod v Podbočju	21,1	23,1	24,9	23,9
Sromlje	23,8	24,6	25,3	32,9
Celje – Medlog	23,8	23,2	24,8	38,4
Podčetrtek	23,1	25,1	26,0	36,2
Slovenske Konjice	25,7	24,6	24,4	37,8
Ptuj	26,8	24,2	24,5	42,1
Maribor – Vrbanski plato	24,7	24,0	24,5	39,5
Šentilj v Slov. goricah	28,0	25,2	23,4	42,6
Murska Sobota – Rakičan	27,0	22,6	28,6	39,5
Martinje	27,4	23,6	26,0	42,1
<i>Povprečje</i>	22,9	22,8	25,4	39,1
<i>Najvišja variabilnost (padavinska postaja)</i>	28,0 (Šentilj)	33,7 (Portorož)	28,6 (M. Sobota)	50,6 (Soča)
<i>Najnižja variabilnost (padavinska postaja)</i>	19,3 (Sinji vrh)	14,6 (Kredarica)	21,7 (Kredarica)	23,9 (Brod v Podbočju)

Iz podatkov v preglednici 2 je razvidno, da po variabilnosti izrazito izstopajo zimске padavine (povprečna variabilnost vseh analiziranih postaj je 39 %). Zanje velja, da so v okviru običajne spremenljivosti, če pade določeno zimo na kateri od padavinskih postaj od tretjine do polovice več ali manj padavin, kakor znaša dolgoletno povprečje. Zimski meseci, še posebej januar in februar, pogosto tudi marec, so običajno najbolj skopi s padavinami. To velja za vse podnebne tipe in podtipe v Sloveniji, enako tudi za oba padavinska režima. Da so zimske padavine pri nas najbolj variabilne, ugotavljata tudi Vertačnik in Bertalanič (2017).

Zimske padavine so večinoma ciklonalnega porekla, v Sloveniji tudi z izrazitim orografskim dodatkom. Eden od vzrokov za večjo variabilnost padavin pozimi (deloma tudi jeseni) v primerjavi z ostalimi letnimi časi je spremenljivost ciklogeneze v Sredozemlju, ki je poglavitni vir padavin v Sloveniji v hladni polovici leta. V letih (obdobjih), ko je ciklonalna aktivnost v Sredozemlju (predvsem nad Genovskim zalivom) pogostejša in izrazitejša, pade v zimski polovici leta v Sloveniji, še posebej v zahodni in južni ter na alpsko-dinarski pregradi več padavin in obratno. Periodičnost ciklogeneze v Sredozemlju opisujeta mediteranska oscilacija (*Mediterranean Oscillation*, MO) – nihanje zračnega tlaka med zahodnim in vzhodnim Sredozemljem ter zahodnomediteranska oscilacija (*West Mediterranean Oscillation*, WeMO) – nihanje zračnega tlaka med zahodnim in osrednjim Sredozemljem (med azorskim anticiklonom in genovskim ciklonom). Obe sta pozimi tesno povezani s t. i. severnoatlantsko oscilacijo (*North Atlantic Oscillation*, NOA), to je z intenzivnostjo azorskega anticiklona in islandskega ciklona (Criado-Aldeanueva, Soto-Navarro, 2020; Formeta in sod., 2021; Milošević in sod., 2016; Sen, Ogrin, 2015; Sušelj, Bergant, 2006 idr.). Za južno Evropo in Sredozemlje so z vidika zimskih padavin pomembne negativne faze oscilacij, ko ni prevlade azorskega anticiklona nad zahodnim Sredozemljem oziroma je pogosta ciklogeneza nad osrednjim Sredozemljem (MO), ko je v prevladi nizek zračni tlak nad Ligurskim morjem (WeMO) in ko sta pri NAO obe barični tvorbi šibkejši in cikloni potujejo proti vzhodu južneje, kar sovpada s pogostejšimi prodori hladnih front nad območje Alp in pogostejšo ciklogenezo v Sredozemlju.

Po raziskavi Sušlja in Berganta (2006) kažeta indeksa MO (iMO) in NAO (iNAO) v obdobju 1952–2002 naraščajoč trend, kar kaže na vse pogostejša sušna obdobja v Sredozemlju oziroma manjšo pojavnost sredozemskih ciklonov. Dobršen delež variabilnosti iOM in iNAO pripada periodam, daljšim od 10 let, kar se odraža tudi v variabilnosti padavin in pretokov rek v Sloveniji, ki so z obema indeksoma tesno povezani. Manjši delež variabilnosti pripada periodam med 2,2 in 2,7 let ter 3,5-letni periodi. Iz raziskave za omenjeno obdobje izhaja, da sta bili nadpovprečno sušni prva polovica sedemdesetih in prva polovica devetdesetih let prejšnjega stoletja, nadpovprečno mokra pa šestdeseta leta in začetek osemdesetih let.

Od ostalih letnih časov je variabilnost padavin nekoliko večja jeseni (okoli 25 %), ko ima večina Slovenije, razen severovzhodnega dela, primarni višek padavin. Kljub temu pa so tudi v tem delu države jesenske padavine večinoma bolj spremenljive

kakor poletne, ko je običajno višek padavin. Relativna variabilnost spomladanskih in poletnih padavin je približno enaka, v povprečju se giblje nekaj pod 23 %. Padavine v topli polovici leta ne kažejo tesnejših povezav z atmosferskimi cirkulacijami (Milošević in sod., 2016; Sušelj, Bergant, 2006), imajo pa nanje izrazitejši vpliv lokalni dejavniki, npr. vpliv reliefa na konvekcijo in proženje neviht, ter meteorološke situacije, ki vplivajo na močnejšo konvekcijo, npr. višinska jedra, mimohod vremenske fronte in polje enakomernega tlaka.

Manjša variabilnost spomladanskih in poletnih padavin je z vidika rastlinstva in kmetijstva dober podatek, saj večja zanesljivost (in zadostnost) padavin v tem času pomeni manjšo sušno ogroženost. Poletna suša pa postaja kljub temu v zadnjih desetletjih vse večja grožnja zaradi vse višjih temperatur in večje evapotranspiracije, najbolj v jugozahodnih ter vzhodnih in severovzhodnih delih države, kjer so padavine količinsko manj izdatne. V obdobju 1991–2020 so se povprečne letne temperature v Sloveniji v primerjavi z obdobjem 1961–1990 povečale v povprečju za 1–1,5 °C ne glede na podnebni tip, sezonske podobno, le jeseni so se manj segrele (Ogrin, 2024, str. 99–106). Dodatno k večji sušni ogroženosti prispeva tudi trend zniževanja višine padavin. V zadnjem standardnem klimatološkem obdobju so se padavine spomladi in poleti v primerjavi z obdobjem 1961–1990 zmanjšale do 15 %, zimske ne kažejo večjih sprememb, jesenske pa so se povečale do 20 % (Ogrin, 2024, str. 99–106).

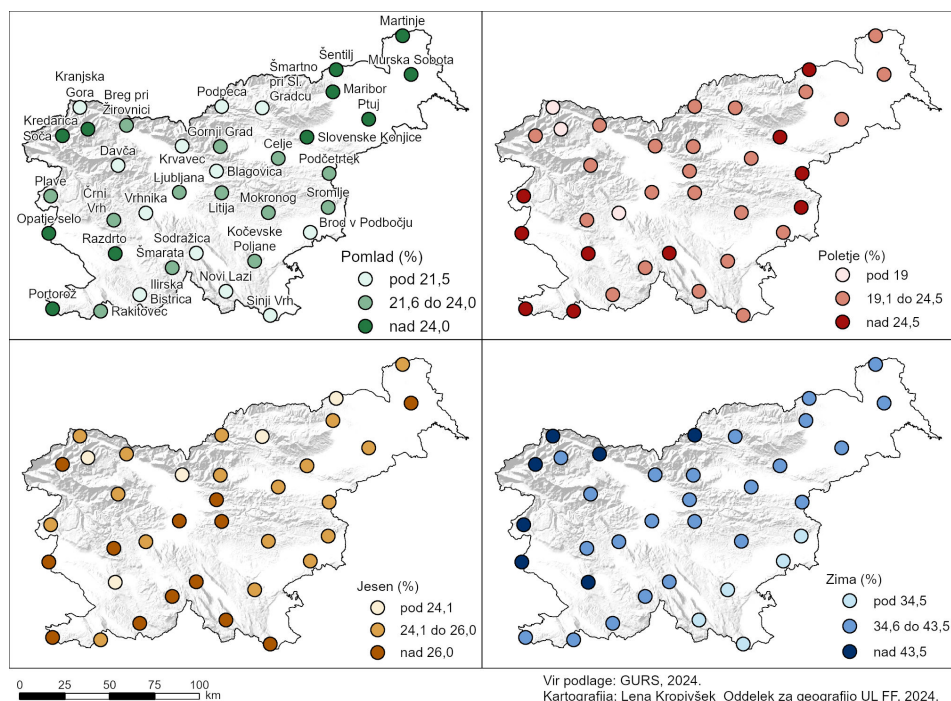
Prostorska interpolacija sezonske variabilnosti padavin zaradi premajhnega števila analiziranih postaj ni bila narejena. Iz prikazov za posamezne letne čase (slika 6) tudi ni možno zanesljivo sklepati o prostorskem vzorcu razporejanja variabilnosti. Spomladanske padavine imajo za jesenskimi najmanjše razlike v variabilnosti med posameznimi deli Slovenije. Variacijski razmik je glede na analizirane padavinske postaje 8,7 %, z najnižjo vrednostjo na Sinjem Vrhu v Beli krajini (19,3 %) in najvišjo v Šentilju v Slovenskih goricah (28,0 %). Postaje z najvišjimi vrednostmi variabilnosti so večinoma skoncentrirane na zahodu in vzhodu Slovenije, to je v območjih, kjer spomladi pade bodisi največ (severozahod: nad 400 mm), oziroma najmanj padavin (jugozahod in vzhod Slovenije: pod 300 mm) (Pomladna povprečna višina ..., 2024).

Povezava med poletnimi padavinami in variabilnostjo je nekoliko drugačna. Gorati severozahodni del Slovenije, ki je poleti najbolj namočen (600–1000 mm), ima majhno do srednjo variabilnost, kar kaže na večjo stabilnost pogojev za nastanek konvektivnih padavin. Najbolj so poletne padavine variabilne v jugozahodni in deloma vzhodni Sloveniji, kjer poleti pade 200–400 mm padavin, kar spada med slabšo namočenost v tem letnem času pri nas. Ni pa v tej skupini Prekmurja, kjer poleti prav tako pade malo padavin (250–300 mm; Poletna povprečna višina ..., 2024). Razpon variabilnosti poletnih padavin (19,1 %) je večji od razpona spomladanskih, z najvišjo vrednostjo v Portorožu (33,7 %) in najnižjo na Kredarici (14,6 %).

Variabilnost jesenskih padavin se giblje v razponu med 21,7 (Kredarica) in 28,6 % (Murska Sobota), kar je najmanjši razpon med letnimi časi in govori v prid večji zanesljivosti jesenskih padavin v Sloveniji. Postaje z najvišjo variabilnostjo prevladujejo

v zahodni in južni Sloveniji, v Prekmurju in deloma v Posavskem hribovju. Vzporednic med prostorsko razporeditvijo višine jesenskih padavin in njihovo variabilnostjo ni možno potegniti. Drugače je z zimskimi padavinami, ki izstopajo po najvišji sezonski variabilnosti (povprečje skoraj 40 %), kar povezujemo, kot smo že omenili, s spremembami sredozemske ciklogeneze. Vpliv slednje je v Sloveniji najbolj očiten v zahodnih delih, še posebej v območju alpsko-dinarske pregrade, kjer so v njenih zahodnih in severnih delih skoncentrirane tudi padavinske postaje z najbolj variabilnimi zimskimi padavinami. Alpsko-dinarska pregrada je pozimi najbolj namočen predel Slovenije z višino padavin med 300 in 800 mm; za primerjavo: severovzhodna Slovenija jih prejme tudi pod 150 mm (Zimska povprečna višina ..., 2024). Najmanjšo zimsko variabilnost ima jugovzhodni del Slovenije, tudi nekatera območja, ki ležijo neposredno v zavetrju dinarske pregrade (Novi Lazi, Kočevske Poljane, Sinji Vrh). Zimske padavine variirajo v razponu med 50,6 % (Soča) in 23,9 % (Brod v Podbočju) v dolini spodnje Krke; variacijski razmik 26,7 %).

Slika 6: Povprečna sezonska relativna variabilnost padavin v Sloveniji v obdobju 1991–2020.



4 SKLEP

Mreža padavinskih postaj v Sloveniji je gosta, ena postaja na dobrih 100 km² ozemlja, in v zadostni meri pokriva vse njegove geografske, tudi podnebne značilnosti. Določen manko postaj je v severovzhodni, južni Sloveniji in z vidika padavinskih gradientov tudi v gorskem svetu. Zaradi velikih razlik v višini padavin med posameznimi območji Slovenije, na skrajnem severovzhodu jih je v obdobju 1991–2020 letno padlo pod 900 mm, na skrajnem jugozahodu pod 1000 mm in v območju alpsko-dinarske pregrade med 1500 in več kot 3000 mm (ARSO, 2021), smo kot mero variabilnosti izbrali srednjo relativno variabilnost, ki omogoča primerjavo med območji z velikimi razlikami v višini padavin. Največjo pozornost smo posvetili srednji letni relativni variabilnosti, ki smo jo izračunali za vseh 174 padavinskih postaj. Za 37 reprezentativnih postaj za posamezne naravne enote, podnebne tipe in padavinska območja Slovenije smo analizirali tudi srednjo sezonsko relativno variabilnost. Za prostorsko interpolacijo srednje letne relativne variabilnosti je bil uporabljen J-Besselov model metode *Universal Kriging*. Podatkov sezonske variabilnosti zaradi premajhnega števila analiziranih padavinskih postaj in s tem povezane prevelike napake ocene nismo interpolirali. Metoda *Universal Kriging* spada med osnovne in najpogostejše uporabljene interpolacijske metode pri prikazovanju okoljskih podatkov, ki daje dobre rezultate pri gosti in enakomerno razporejeni točkovni mreži. Zlasti slednje za mrežo padavinskih postaj in podatkov zanje za Slovenijo v celoti ne drži. Z uporabo novejših, npr. Bayesovih metod empiričnega Bayesovega *Kriginga*, ki nadgrajujejo obstoječe metode *Kriginga* z uporabo modela intrinzične naključne funkcije, bi bil prostorski prikaz variabilnosti padavin v Sloveniji kakovostnejši. Mnenja pa smo, da je tudi obstoječi prikaz dovolj zanesljiv za ugotavljanje regionalnih razlik v variabilnosti letnih padavin pri nas.

Relativna variabilnost povprečne letne višine padavin se v Sloveniji po podatkih za obdobje 1991–2020 giblje med 8,4 in 17,9 %, s srednjo vrednostjo nekaj nad 12 %. Variabilnost se je v primerjavi z obdobjem 1961–1990 (Čotar, 2024) povečala za 1,3 %. Povečanje ni veliko in ga lahko imamo glede na raziskave Furlana (1961) za čas pred 2. svetovno vojno, ko je bila variabilnost še nekoliko višja, za običajno nihanje tega pojava. Nimamo pravih argumentov za trditev, da je povečanje variabilnosti v zadnjem obdobju posledica povečevanja ekstremnih padavinskih dogodkov, čeprav nekatere raziskave kažejo, da se npr. število dni s padavinami nad 30 oziroma 50 mm v Sloveniji na splošno povečuje (Mužina, 2024).

Prostorska slika letne relativne variabilnosti za obdobje 1991–2020 kaže, da je variabilnost največja v zahodnem in skrajnem severovzhodnem delu Slovenije, podpovprečna za slovenske razmere pa v vzhodnem delu osrednje Slovenije. V primerjavi z obdobjem 1961–1990 se je variabilnost padavin povečala v zahodnem delu države, zmanjšala v vzhodnem in severovzhodnem, območje z manjšo variabilnostjo pa se je razširilo in pomaknilo iz osrednje Slovenije proti vzhodu. Sledilo je razširitvi zmerno

sredozemskega padavinskega režima, natančneje, v tem delu Slovenije so padavine med letom enakomerneje razporejene in je razlika med jesenskim in poletnim viškom padavin manjša. Kljub temu pa se prostorske razporeditve variabilnosti ne da zanesljivo povezati z razporeditvijo podnebnih tipov, z razporeditvijo letne višine padavin in z razporeditvijo padavinskih režimov. Postaje znotraj posameznih podnebnih tipov, s približno enako letno vsoto padavin ali podobnim padavinskim režimom, imajo lahko različno variabilnost. Do podobne ugotovitve glede povezave variabilnosti in prostorske razporeditve letnih padavin je za Hrvaško prišel tudi Maradin (2011), medtem ko je glede padavinskega režima ugotovil, da je variabilnost večja v južnih delih Hrvaške, ki ima manj padavinskih dni in izrazitejše poteze maritimnega padavinskega režima z viškom padavin pozimi.

Če upoštevamo prostorsko razporeditev srednje letne relativne variabilnosti padavin za obe obravnavani obdobji, lahko postavimo domnevo, da so letne padavine v Sloveniji najbolj stabilne v osrednjih delih države, kjer sta oba viška padavin približno izenačena in prihaja do izrazitejšega prepletanja vzrokov za viške padavin pri obeh režimih: (sredozemske) ciklogeneze, ki je z orografskim dodatkom glavni vir padavin v hladni polovici leta v zahodni in južni Sloveniji, ki ima zmerno sredozemski padavinski režim, ter različnih meteoroloških razmer, ki privedejo do močnejše konvekcije v topli polovici leta, ki ima večji vpliv na padavine na vzhodu in severovzhodu Slovenije z zmerno celinskim padavinskim režimom. Nakazuje se tudi sklep, da so padavine najbolj variabilne na zahodu oziroma vzhodu in severovzhodu Slovenije, kjer ima na nastanek padavin večji vpliv le en dejavnik.

Pri sezonski variabilnosti izrazito izstopa zima s povprečno variabilnostjo nekaj manj kot 40 %, kar je skoraj dvakratnik spomladanske ali poletne variabilnosti. Nekoliko večja, 25 %, je variabilnost jesenskih padavin. Zima je letni čas, ko v Sloveniji, ne glede na podnebni tip ali padavinski režim, količinsko pade najmanj padavin. Večjo variabilnost zimskih padavin (delno tudi jesenskih) pojasnjujejo v literaturi (npr. Milošević in sod., 2016; Sušelj, Bergant, 2006 idr.) s spremembami sredozemske ciklogeneze, predvsem nad Genovskim zalivom, ki je poglobitvi vir padavin za Slovenijo v hladni polovici leta. V topli polovici leta na padavine v večji meri ne vplivajo atmosferske cirkulacije, ampak lokalni dejavniki za njihov nastanek, npr. vpliv reliefa na konvekcijo ipd.

Prostorski vzorec razporejanja sezonske variabilnosti padavin zaradi manjšega števila analiziranih padavinskih postaj, kljub njihovi reprezentativnosti za različne podnebne tipe, prostorsko razporeditev padavin in padavinske režime, ni povsem zanesljiv in ne kaže enotne podobe. Iz analiziranih podatkov izhajajo, da so spomladanske padavine najbolj variabilne na zahodu in vzhodu države, poletne v jugozahodni in deloma vzhodni Sloveniji, jesenske v zahodnem, južnem in severovzhodnem delu ter na območju Posavskega hribovja, pozimi pa izrazito na zahodu Slovenije, kjer je vpliv sredozemske ciklogeneze najbolj izrazit.

Raziskava ponuja dober vpogled v variabilnost padavin v Sloveniji v zadnjem standardnem klimatološkem obdobju, še posebej letne višine padavin. Bolj verodostojno

sliko v obmejnih območjih bi dobili z vključitvijo padavinskih postaj v sosednjih državah, pri sezonski variabilnosti tudi z vključitvijo vseh padavinskih postaj, za katere so na razpolago podatki. Dodatna pojasnila o spremenljivosti padavin bi tudi dobili, če bi ob višini padavin upoštevali še število dni s padavinami, kar je pomembno predvsem v območjih z manj padavinami, na kar opozarjajo tudi nekatere študije (npr. Juras, 1995, cit. po Maradin, 2014).

Viri in literatura

- ARSO [Agencija Republike Slovenije za okolje], 2021. Podatki o mesečni in letni višini padavin za Slovenijo v obdobju 1991–2020; zemljevid povprečne letne višine padavin za obdobje 1991–2020. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Brugnara, Y., Maugeri, M., 2019. Daily precipitation variability in the southern Alps since the late 19th century. *International Journal of Climatology*, 39, 8, str. 3492–3504. DOI: 10.1002/joc.6034.
- Columbia University Mailman School of Public Health, 2024. Kriging interpolation. URL: <https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/kriging-interpolation> (citirano 23. 1. 2024).
- Criado-Aldeanueva, F., Soto-Navarro, J., 2020. Climatic indices over the Mediterranean Sea: A review. *Applied Sciences*, 10. DOI: 10.3390/app10175790.
- Čotar, A., 2024. Primerjava variabilnosti padavin v Sloveniji med obdobjema 1961–1990 in 1991–2020. Diplomsko delo. Ljubljana: Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani.
- ESRI, 2024a. An overview of the Interpolation toolset. ArcGIS Pro. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/an-overview-of-the-interpolation-tools.htm> (citirano 10. 1. 2024).
- ESRI, 2024b. Comparing interpolation methods. ArcGIS Pro. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/comparing-interpolation-methods.htm> (citirano 11. 1. 2024).
- ESRI, 2024c. How Kriging works. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm> (citirano 30. 1. 2024).
- Formeta G., Sadegni, S., Kam, J., Tootle G., 2021. Atlantic Ocean variability and European Alps winter precipitation. *Water*, 13, 3377. DOI: 10.3390/w13233377.
- Furlan, D., 1955. Padavine v Sloveniji. Doktorska disertacija. Ljubljana: Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani. URL: <http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-FSG7GP7R> (citirano 8. 11. 2023).
- Furlan, D., 1961. Padavine v Sloveniji. *Geografski zbornik*, 6, str. 5–160. URL: (citirano 9. 11. 2023).
- Juras, J., 1995. Metode za procjenu vremenske promjenljivosti količina oborina. Doktorska disertacija. Zagreb: Prirodoslovno-matematična fakulteta, Univerza v Zagrebu.
- Kobal, M., 2022. Prostorska variabilnost sezonske količine padavin v Sloveniji v obdobju 2010–2019. *Acta Silvae et Ligni*, 127, str. 39–49. DOI: 10.20315/ASetL.127.3.

- Kriging, 2024. ScienceDirect. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/kriging> (citirano 10. 11. 2024).
- Maradin, M., 2011. Geografski aspekt razlika u varijabilnosti padalina kontinentskog i maritimnog pluviometrijskog režima u Republici Hrvatskoj. Doktorska disertacija. Zagreb: Oddelek za geografijo, Prirodoslovno-matematična fakulteta, Univerza v Zagrebu.
- Maradin, M., Madžar, I., Perutina, I., 2014. Geografska raspodjela varijabilnosti padalina u Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini. Hrvatski geografski glasnik, 76, 2, str. 5–26.
- Miletić, M., Vuletić, J., 2023. Statistical analysis of the mean relative variability of monthly, seasonal and annual precipitation at the main synoptic stations in the south Morava sub-basin to the Korvingrad hydrological station. Collection of Papers – Faculty of Geography at the University of Belgrade, 71, str. 79–90.
- Milošević, D., Savić, S., Pantelić, M., Stankov, U., Žibera, I., Dolinaj, D., Leščešen, I., 2016. Variability of seasonal and annual precipitation in Slovenia and its correlation with large-scale atmospheric circulation. Open Geosciences, 8, 1, str. 593–605. DOI: 10.1515/geo-2016-0041.
- Mooney, S., J., Bader, M., D., Lovasi, G., S., Neckerman, K., M., Rundle, A., G., Teitler, J., O., 2018. Using universal kriging to improve neighborhood physical disorder measurement. Sociological Methods & Research. 49, 4, str. 1163–1185. DOI: 10.1177/0049124118769103.
- Mužina, G., 2024. Trendi intenzivnih padavin v Sloveniji v obdobju 1961–2020. Diplomsko delo. Ljubljana: Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani.
- Ogrin, D., 2024. Nekateri vidiki spreminjanja podnebja na Slovenskem v instrumentalnem obdobju. V: Lampič, B., Ogrin, D. (ur.). Ljudje in okoljske spremembe skozi čas. Ljubljana: Založba Univerze v Ljubljani, str. 81–110.
- Ogrin, D., Repe, B., Štaut, L., Svetlin, D., Ogrin, M., 2023. Podnebna tipizacija Slovenije po podatkih za obdobje 1991–2020. Dela, 59, str. 5–89. DOI: 10.4312/dela.59.5-89.
- Poletna povprečna višina padavin 1981–2010. URL: <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/maps/seasonal-mean-precipitation-maps/> (citirano 14. 9. 2024).
- Pomladna povprečna višina padavin 1981–2010. URL: <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/maps/seasonal-mean-precipitation-maps/> (citirano 14. 9. 2024).
- Sen, A., K., Ogrin, D., 2015. Analysis of monthly, winter, and annual temperatures in Zagreb, Croatia, from 1964 to 2010: the 7.7-year cycle and the North Atlantic Oscillation. Theoretical and Applied Climatology. DOI: 10.1007/s00704-015-1388-z.
- Sušelj, K., Bergant, K., 2006. Sredozemski oscilacijski indeks in vpliv na podnebje Slovenije. Raziskave s področja geodezije in geofizike: zbornik predavanj, str. 101–110.
- Vertačnik, G., Vičar, Z., Bertalanič, R., 2016. Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011, 2 Kontrola in homogenizacija podatkov. Ljubljana: Agencija RS za okolje.
- Vertačnik, G., Bertalanič, R., 2017. Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011, 3 Značilnosti podnebja Slovenije. Ljubljana: Agencija RS za okolje.

Zimska povprečna višina padavin 1981–2010. URL: <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/maps/seasonal-mean-precipitation-maps/> (citirano 26. 9. 2024).

Zveryaev, I., I., 2004. Seasonality in precipitation variability over Europe. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, 109. DOI: 10.1029/2003JD003668.

MEAN RELATIVE PRECIPITATION VARIABILITY IN SLOVENIA FOR THE PERIOD 1991–2020

Summary

Precipitation levels vary significantly across Slovenian regions. In the extreme northeast, annual precipitation during the period 1991–2020 was less than 900 mm, while in the extreme southwest it was below 1000 mm. In the alpine-dinaric barrier, annual totals ranged between 1500 mm and over 3000 mm. To account for these considerable regional disparities, mean relative precipitation variability was chosen as a measure, facilitating comparison between areas with large differences in precipitation amounts. The primary focus was placed on the mean annual relative variability, calculated for all 174 precipitation stations. Additionally, mean seasonal relative variability was analyzed for 37 representative stations. For spatial interpolation of mean annual relative variability, the J-Bessel model of the Universal Kriging method was employed. Due to the limited number of precipitation stations analyzed and the resulting high estimation error, no interpolation was conducted for seasonal variability.

For the period 1991–2020, the relative variability of average annual precipitation in Slovenia ranged between 8,4 % and 17,9 %, with a mean value slightly above 12 %. This represents a 1,3 % increase compared to the 1961–1990 period. When comparing the periods 1961–1990 and 1991–2020 with the 16-year period 1925–1940, analyzed by Furlan (1961) for 36 precipitation stations, it becomes evident that pre-World War II variability was slightly higher, around 15 %.

The highest annual relative variability during 1991–2020 was observed in the western and far northeastern parts of Slovenia, while in the eastern part of central Slovenia, it was below the national average. Compared to the period 1961–1990, precipitation variability increased in the western part of the country and decreased in the eastern and northeastern regions. The area of lower variability shifted from central Slovenia towards the east. The spatial distribution of variability does not reliably correlate with climate types, total annual precipitation amounts, or precipitation regimes. Sites within the same climate type, with similar annual precipitation amounts or precipitation regimes, may exhibit varying degrees of variability.

Winter stands out significantly in terms of seasonal variability, with an average just below 40 %. This is nearly twice as high as the variability observed in spring and summer. Autumn precipitation variability is slightly higher, at 25 %. Winter is the season with the least precipitation in Slovenia, regardless of climate type or precipitation regime. The increased variability in winter precipitation can be attributed to changes in Mediterranean cyclogenesis, which is the primary source of precipitation for Slovenia during the cold half of the year. In the warm half of the year, precipitation is less influenced by atmospheric circulations and more by local factors, such as orographic effects on convection.

The spatial distribution of seasonal precipitation variability is less reliable due to the small number of analyzed precipitation stations and does not provide a consistent pattern. The data indicate that spring precipitation variability is highest in the western and eastern parts of the country, summer precipitation in southwestern and parts of eastern Slovenia, and autumn precipitation in the west, south, and northeast. Winter precipitation is most variable in western Slovenia, where the influence of Mediterranean cyclogenesis is strongest.