

Prostorne razlike u varijabilnosti padalina Središnje Hrvatske

Mladen Maradin, Anita Filipčić

Rad se bavi prostornim razlikama varijabilnosti padalina u Središnjoj Hrvatskoj. Varijabilnost padalina analizirana je za osam postaja za koje postoje dostupni podaci za razdoblje od 1950. do 2007. Sve postaje imaju kontinentski pluviometrijski režim. Godišnje vrijednosti srednje relativne varijabilnosti padalina u istraživanom prostoru imaju relativno mali raspon. U većini je postaja maksimum varijabilnosti u jesen, a minimum u proljeće. U godišnjem hodu varijabilnosti padalina sve postaje imaju maksimum u listopadu. Sporedni maksimum varijabilnosti javlja se u siječnju ili veljači. Glavni minimum varijabilnosti u svim je postajama u lipnju, osim u Sisku, gdje se javlja u travnju. Sporedni minimum varijabilnosti padalina jest u ožujku ili travnju. Prostorne razlike u varijabilnosti padalina postoje, premda nisu toliko izražene, naročito od ožujka do srpnja.

Ključne riječi: padaline, varijabilnost padalina, kontinentski pluviometrijski režim, Središnja Hrvatska

Spatial Differences in Precipitation Variability of Central Croatia

The paper deals with spatial differences in precipitation variability in Central Croatia. Precipitation variability is analysed for 8 meteorological stations for which data for the 1950-2007 period are available. All the researched stations have a continental pluviometric regime. The annual values of mean relative variability in the studied area have relatively small range. The precipitation variability maximum occurs in Autumn at most of the stations, and the minimum in Spring. The annual course of precipitation variability is characterised, at all stations, by a maximum in October. The secondary maximum of precipitation variability occurs in January or February. The primary minimum of precipitation variability is in June at all stations apart from Sisak, where the minimum is in April. The secondary minimum is in March or April. There are spatial differences in precipitation variability, although not particularly pronounced, especially in the March till July period.

Key words: precipitation, precipitation variability, continental pluviometric regime, Central Croatia

UVOD

U radu se analizira varijabilnost padalina na prostoru Središnje Hrvatske. Prema broju stanovnika, prometnom značenju, gospodarskoj aktivnosti i drugim pokazateljima, to je jedna od najvažnijih regija Hrvatske, gdje se prije svega ističe značenje Zagreba (Sić, 2003). To upućuje na važnost poznavanja svih aspekata prirodne osnove tog dijela Hrvatske. Iako se danas prirodnoj osnovi ne pridaje toliki utjecaj na život ljudi kao u prošlosti, ona je i dalje neizostavni element pri organizaciji i prostornom planiranju svake regije. Posebno se to odnosi na vodu, koja je temelj opstojnosti čovjeka i osnova za brojne aktivnosti. Tome u prilog govori i sve veća komercijalizacija vode kao prirodnog resursa. Zbog toga su geografska raspodjela i obilježja padalina nezaobilazni elementi pri analizi svakog prostora.

Osnovno je svojstvo padalina njihova prostorna i vremenska varijabilnost. Premda je svaki klimatski element varijabilan, u većoj ili manjoj mjeri, kod padalina prostorna i vremenska promjenljivost posebno dolaze do izražaja (Jones, 1999). Pri utvrđivanju varijabilnosti padalina najčešće se promatraju srednja odstupanja količine padalina od neke konstante (Conrad and Pollak, 1950). Za vrijednost konstante najčešće se uzima aritmetička sredina padalina u nekom razdoblju. U svakoj godini padne više ili manje padalina od višegodišnjeg srednjaka.

U ovom radu daje se pregled prostornih razlika u varijabilnosti padalina Središnje Hrvatske. Prikazani rezultati dio su šireg istraživanja provedenog u sklopu doktorskog rada *Geografski aspekt razlika u varijabilnosti padalina kontinentskog i maritimnog pluviometrijskog režima u Republici Hrvatskoj* (Maradin, 2011).

PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Varijabilnost količina padalina na cijeloj Zemlji prvi je istraživao Biel (1929). On je zaključio da varijabilnost godišnjih količina padalina raste u prostorima s malim količinama padalina, i obratno, smanjuje se u krajevima s većim količinama padalina. Prema Bielu, Europa ima najmanji raspon varijabilnosti u odnosu na ostale kontinente. Prema sjeveru Europe (subpolarnim prostorima) i jugu (suptropskim prostorima) varijabilnost se padalina povećava. Istraživanjem varijabilnosti količina padalina na Zemlji bavio se i Conrad (1941).

Koristeći se podacima u radu Lebedeva i dr. (1979), koji se odnose na razdoblje od 1931. do 1960., Juras (1995) je izradio kartu varijabilnosti količina padalina u Europi. Analizirajući varijabilnost količina padalina na prostoru Europe, Juras (1995) navodi da su vrijednosti koeficijenta varijacije relativno male u odnosu na druge kontinente. Analiza raspodjele koeficijenata varijacije pokazuje da su vrijednosti koeficijenata varijacije velike na prostoru Iberskog poluotoka, južne Francuske i sjeverne Italije. Posebno su velike u srpnju, što vrijedi za cijelo Sredozemlje, a posljedica je činjenice da su ljetne padaline u tim prostorima rijetka pojava.

Morales (1977) razmatrajući utjecaj opće cirkulacije atmosfere na varijabilnost količine padalina tvrdi da je varijabilnost veća u tropskom i suptropskom pojasu nego u umjerenim geografskim širinama. Naime u prostoru što ga zahvaćaju zonalni zapadni vjetrovi glavni su izvor padalina putujuće ciklone, koje se smjenjuju s anticiklonama, a

koje donose stabilnije vrijeme. Ta je izmjena relativno brza i pravilna, što uzrokuje manju varijabilnost količina padalina. Dio radova o varijabilnosti padalina bavi se i prostorima s malim količinama padalina (Hereford et al., 2006; Houston, 2006; Shepherd, 2006). U tim se istraživanjima naglašava važnost varijabilnosti padalina u prostorima s malom količinom padalina. Također, u prostorima s malom količinom padalina, naročito velike količine padalina u samo jednoj godini mogu imati veliki utjecaj na sliku o varijabilnosti padalina u promatranom razdoblju.

Radovi o varijabilnosti padalina na prostoru Hrvatske relativno su rijetki. Najveći dio radova o obilježjima ili promjenljivosti padalina na prostoru Središnje Hrvatske odnosi se na postaju Zagreb-Grič (Škreb, 1929; Šegota, 1969; Šinik, 1979, 1985; Gajić-Čapka, 1982, 1990; Juras i Juras, 1992), za koju postoji dugi niz dostupnih podataka.

Škreb (1929) prvi analizira varijabilnost količine padalina u Zagrebu te ističe da je ona mala u svibnju i lipnju, a relativno velika u listopadu. Varijabilnost količine padalina u hladnom dijelu godine veća je nego u toplome. Kako je u istraživanom razdoblju količine padalina bila približno ista, autor smatra da na varijabilnost padalina ne utječu srednje mjesečne vrijednosti padalina.

Penzar (1959) određuje varijabilnost količine padalina za prostor FNRJ upotrebom Schultzeovih koeficijenata, koji se izračunavaju kao zbroj apsolutnih odstupanja mjesečnih vrijednosti od godišnjeg prosjeka. Analizirani su podaci od 1925. do 1940. Prostor s najmanjim vrijednostima Schultzeovih koeficijenata jest u kontinentalnom dijelu države, gdje se nalazi i Zagreb. Penzar naglašava da dobiveni rezultati pokazuju da kontinentalni pluviometrijski režim smanjuje, a maritimni povećava kontraste u godišnjem hodu padalina.

Šegota (1969) kao mjeru za varijabilnost količine padalina u Zagrebu (postaja Zagreb-Grič) upotrebljava standardne devijacije i koeficijente varijacije mjesečnih, sezonskih i godišnjih količina padalina od 1901. do 1960. Prema autoru, vrijedi pravilo da malim vrijednostima srednjih mjesečnih količina padalina odgovaraju veće vrijednosti varijabilnosti i obratno. Najveće su vrijednosti koeficijenata varijacije u listopadu, a najmanje u lipnju.

Gajić-Čapka (1982) bavi se varijabilnošću količine padalina šire zagrebačke regije, a kao mjeru uzima koeficijent varijacije. Koristeći se podacima za 48 postaja u okolici Zagreba za dvadesetogodišnje razdoblje od 1959. do 1978., autorica napominje da komparacija podataka o vremenskoj varijabilnosti količine padalina u urbanom području i široj regiji pokazuje da su varijacije padalina na području Zagreba tipične i za širi prostor.

Juras (1995) bavi se varijabilnošću količine padalina u Hrvatskoj te zaključuje da postoji veliki raspon koeficijenata varijacije, koji su najmanji na prostoru Gorske Hrvatske. U unutrašnjosti, pogotovo na prostoru Središnje Hrvatske, koeficijenti varijacije manji su u odnosu na obalni prostor. Analizom vremenskih nizova dobivena je čvrsta veza varijabilnosti količine padalina i broja dana s padalinama. Pokazalo se i da same vrijednosti pokazatelja varijabilnosti, u ovom slučaju koeficijenata varijacije, ne pružaju dovoljno informacija o biti pojave promjenljivosti padalina. Također, autor napominje da se iz podataka o mjesečnim količinama padalina za tridesetogodišnje razdoblje ne mogu dobiti dovoljno dobre procjene koje opisuju promjenljivost količina padalina, već je potrebno uzeti duže razdoblje.

PODACI I METODE RADA

U radu se analizira varijabilnost padalina na prostoru Središnje Hrvatske. Vrijednosti varijabilnosti padalina određene su na temelju podataka o padalinama za osam postaja (tab. 1). Kako je utjecaje klimatskih elemenata u prostoru teško jasno definirati, određene su okvirne granice istraživanog prostora, koje odstupaju od teritorijalno-administrativnog ustroja. Prema jugoistoku granica istraživanog prostora približno se podudara s crtom padalinske kontinentalnosti.

Tab. 1. Prostorne koordinate meteoroloških postaja upotrijebljenih u radu
 Tab. 1 *Spatial coordinates of the researched meteorological stations*

Postaja	Geografska širina	Geografska dužina	Nadmorska visina (m)
Bjelovar	45° 54'	16° 51'	141
Karlovac	45° 29'	15° 33'	111
Koprivnica	46° 11'	16° 49'	141
Križevci	46° 02'	16° 33'	155
Sisak	45° 30'	16° 22'	98
Varaždin	46° 18'	16° 21'	169
Zagreb-Grič	45° 49'	15° 59'	157
Zagreb-Maksimir	45° 49'	16° 02'	128

Izbor postaja ovisio je o duljini razdoblja provođenja istraživanja. Premda se u klimatologiji često analiziraju tridesetogodišnja razdoblja, za neke dijelove svijeta, kao i za neke klimatske elemente, ono nije dovoljno, već je potrebno uzeti duže razdoblje kako bi se dobili relevantni pokazatelji klime. U prostorima s relativno malom količinom padalina potrebno je za razmatranja uzeti duže razdoblje. Tako Penzar i dr. (2001) analizirajući godišnji hod padalina u Puli i Splitu navode da u klimatološkim razmatranjima padalina treba u pravilu raditi sa srednjacima iz dugog razdoblja. To je posljedica činjenice da je u predjelima semiaridne klime ili blizu njih promjenljivost padalina osobito velika. Zato Biel (1944) smatra da su na Sredozemlju za upoznavanje padalinskog režima potrebni nizovi od osamdeset godina mjerenja, za razliku od tridesetogodišnjih nizova, koji su dovoljno dugi u pojasu gdje zapadno strujanje prevladava cijele godine. To vrijedi uz pretpostavku da se klima s obzirom na padaline ne mijenja. Juras (1985) proučavajući klimu Zagreba preporučuje upotrebu pedesetogodišnjih ili šezdesetogodišnjih srednjih vrijednosti, dok Šegota (1969) također upotrebljava šezdesetogodišnje srednjake padalina zbog nepouzdanosti srednjaka kraćih razdoblja. I drugi autori koji se bave raznim aspektima istraživanja padalina, a posebno oni koji se bave kratkotrajnim padalinama, odnosno padalinama koje traju kraće od 24 sata, naglašavaju potrebu analiziranja obilježja padalina u razdoblju dužem od trideset godina (Gajić-Čapka, 1992, 1999; Rubinić i dr., 1995; Gajić-Čapka i Čapka, 1997; Srebrenović, 1970). Navedeni argumenti razlog su što je u radu upotrijebljeno razdoblje duže od trideset godina, odnosno varijabilnost padalina analizirana je u pedesetogodišnjem razdoblju, od 1950. do 2007.

Upotrijebljeni su podaci o mjesečnim količinama padalina za osam postaja na prostoru Središnje Hrvatske: Bjelovar, Karlovac, Koprivnica, Križevci, Sisak, Varaždin, Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir. Broj odabranih postaja i njihov prostorni raspored posljedica su dostupnosti podataka u istraživanom razdoblju. Podaci ne postoje za najveći dio Hrvatskog zagorja (npr. za postaje Krapina, Zabok i Stubičke Toplice), zbog nedovoljno dugog niza podataka ili učestalih prekida u motrenju. U rad nisu uključene ni postaje s prostora Banovine i Korduna zbog prekida u motrenju za vrijeme Domovinskog rata, što je predugo razdoblje da bi se mogle izračunati pouzdane interpolacije. Zbog prekida u razdoblju motrenja niz podataka za postaju Sisak bio je nepotpun, tj. nedostajali su podaci za siječanj 1989., travanj i svibanj 1990. te siječanj 1993. Niz podataka za navedenu postaju bio je interpoliran metodom linearne interpolacije.

U radovima koji se bave varijabilnošću količine padalina upotrebljavaju se različite metode za njezino određivanje, od različitih pokazatelja varijabilnosti količine padalina do stohastičkih modela. Svim metodama zajedničko je da varijabilnost količine padalina određuju odstupanjima padalina od neke vrijednosti, odnosno konstante (Conrad i Pollak, 1950). Riječ je o mjerama disperzije (Šošić i Serdar, 2002). Za vrijednost konstante najčešće se uzima aritmetička sredina padalina u nekom razdoblju.

Pokazatelj varijabilnosti količine padalina koji se upotrebljava u ovom radu jest srednja apsolutna varijabilnost padalina. Ona pokazuje prosječnu vrijednost svih odstupanja od srednje vrijednosti, zanemarujući njihove predznake. Izračunava se pomoću formule:

$$V_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - \bar{P}_g|$$

gdje je P_i vrijednost padalina u i -toj godini promatranog razdoblja, a \bar{P}_g srednja vrijednost padalina. Kako bi vrijednosti srednje apsolutne varijabilnosti bile usporedive, kao relativni pokazatelj upotrebljava se srednja relativna varijabilnost V_r , koja se računa pomoću izraza:

$$V_r = \frac{100\bar{V}_a}{\bar{P}_g} \%$$

Za analizu prostornih odnosa varijabilnosti količine padalina bilo je potrebno dobiti vrijednosti varijabilnosti prostorno interpolirati. Na taj način dobivena je prostorna raspodjela varijabilnosti padalina u pojedinim mjesecima, godišnjim dobima, odnosno godini. Za prostorne interpolacije upotrijebljen je program ArcGIS, verzija 9.3., koji nudi nekoliko metoda prostorne interpolacije – metoda inverzne udaljenosti (engl. *Inverse Distance Weighted* ili IDW), Spline, Kriging, PointInterp, Topo to Raster i druge. Testirana je većina spomenutih metoda, a najbolje je rezultate dala metoda Tension Spline. Njome se prostorna interpolacija određenog poligona izračunava na osnovi vrijednosti dvanaest susjednih postaja. Tu metodu pri klimatološkim istraživanjima upotrebljavaju i drugi autori: Hartkamp i dr. (1999), Hong i dr. (2005), Hutchinson (1998), Hofierka i dr. (2002) te Heijden i Haberlandt (2010). U stranoj literaturi metoda Tension Spline još se naziva i *basic minimum curvature tehnicque* ili *thin plate interpolation* (Naoum i Tsanis, 2004).

Pri izradi karata upotrebom metode Tension Spline zanemaren je utjecaj reljefa na varijabilnost padalina. To je učinjeno zbog malog broja upotrijebljenih postaja i zbog raspodjele postaja prema nadmorskoj visini. Osim toga raspon nadmorskih visina meteoroloških postaja relativno je malen (tab. 1), pa se ne bi dobila pouzdana statistička veza nadmorske visine i vrijednosti varijabilnosti padalina. Utjecaj reljefa na vrijednosti pokazatelja varijabilnosti manji je nego na vrijednosti srednjih godišnjih količina padalina, stoga Juras (1995) tvrdi da zanemarivanje utjecaja nadmorske visine neće bitno utjecati na prikaz prostorne raspodjele varijabilnosti količine padalina. Da anomalije padalina u odnosu na višegodišnji srednjak uvelike ne ovise reljefu, tvrdi i Pandžić (1988). Naravno, zanemarivanje reljefa mora se uzeti u obzir pri interpretaciji dobivenih podataka o prostornoj raspodjeli varijabilnosti.

OBILJEŽJA PADALINA SREDIŠNJE HRVATSKE

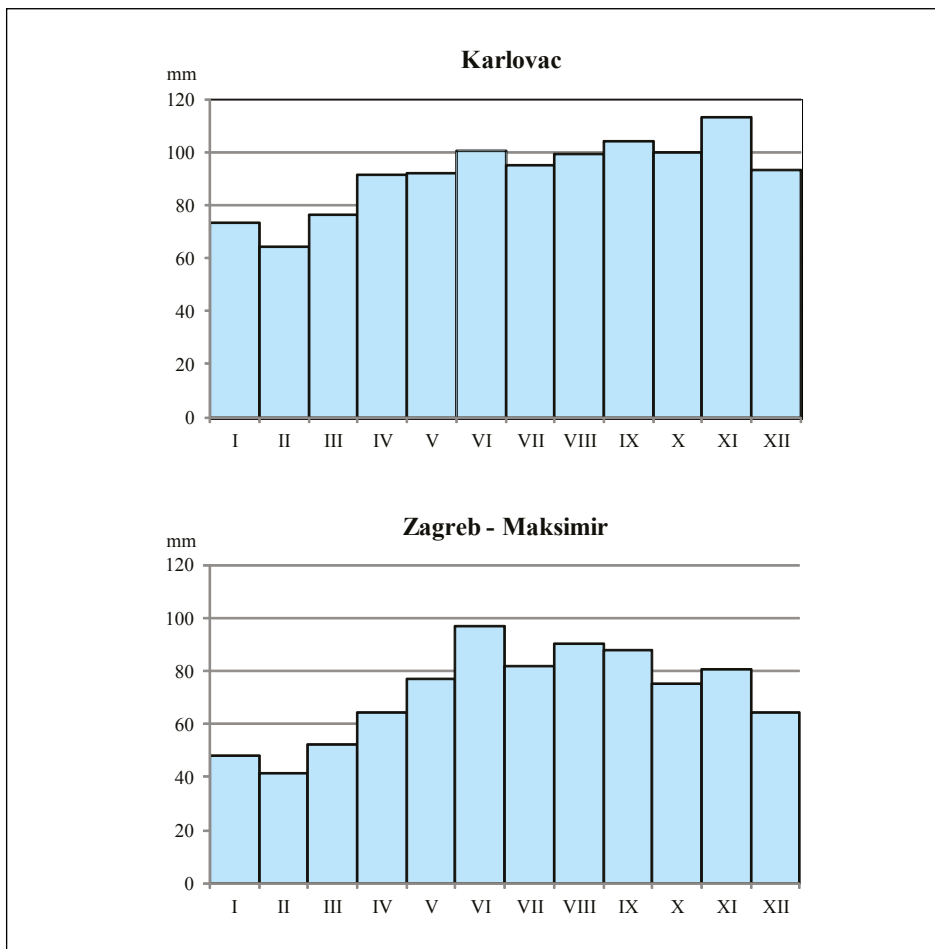
Kako je prostor na kojem se istražuje varijabilnost padalina relativno malen, ni razlike u obilježjima padalina nisu velike. Najveću količinu padalina ima postaja Karlovac (tab. 2), a količina padalina smanjuje se prema istoku. Sve postaje u istraživanom razdoblju imaju kontinentski tip godišnjega hoda padalina, odnosno više padalina ima u toplom dijelu godine, od travnja do rujna. Godišnje doba s najmanjom količinom padalina jest zima. Maksimum padalina u svim je postajama ljeti, osim u postaji Karlovac, gdje je maksimum u jesen.

Tab. 2. Srednja godišnja i sezonska količina padalina u istraživanim postajama od 1950. do 2007. (mm)

Tab. 2 Mean annual and seasonal amounts of precipitation for researched meteorological stations for the 1950-2007 period (mm)

	PROLJEĆE SPRING	LJETO SUMMER	JESEN AUTUMN	ZIMA WINTER	GODINA YEAR
Bjelovar	186,3	248,5	222,3	156,3	813,4
Karlovac	259,8	294,3	316,9	230,9	1101,9
Koprivnica	195,9	266,2	241,8	174,9	878,7
Križevci	182,5	246,8	223,7	146,1	799,1
Sisak	211,9	255,2	251,5	175,6	894,2
Varaždin	197,5	280,6	241,6	143,6	863,3
Zagreb-Grič	199,6	274,2	247,6	163,9	885,3
Zagreb-Maksimir	193,0	268,5	243,9	153,9	859,3

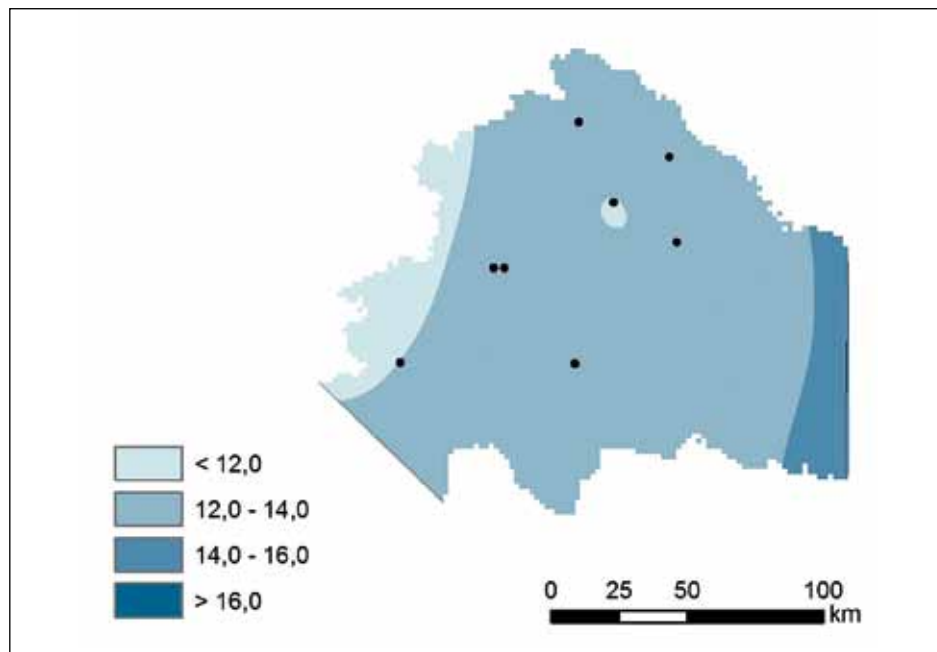
Prema tipologiji godišnjega hoda padalina izloženoj radu u Penzar i Penzar (1979-81), sve postaje (npr. postaja Zagreb-Maksimir) osim postaje Karlovac imaju tip godišnjega hoda padalina koji obilježava ljetni maksimum padalina u srpnju i sporedni maksimum u studenome (sl. 1). Minimum padalina jest na kraju zime (najčešće ožujak) i u prvom dijelu jeseni (u rujnu ili listopadu). Prema godišnjem hodu padalina izdvaja se postaja Karlovac, za koju su karakteristična dva podjednaka maksimuma padalina u jesen i ljeti, dok je glavni minimum krajem zime, a sporedni u listopadu.



Sl. 1. Godišnji hod padalina u postajama Karlovac i Zagreb-Maksimir
 Fig. 1 Annual course of precipitation for Karlovac and Zagreb – Maksimir stations

PROSTORNE RAZLIKE GODIŠNJIH I SEZONSKIH VRIJEDNOSTI VARIJABILNOSTI PADALINA SREDIŠNJE HRVATSKE

Godišnje vrijednosti varijabilnosti količine padalina u istraživanom prostoru imaju mali raspon. Najveću vrijednost varijabilnosti godišnje količine padalina imaju postaje Karlovac i Križevci (12,0%), a najveću postaja Sisak (13,3%). Godišnja varijabilnost količine padalina mala je na prostoru Središnje Hrvatske. Sl. 2 pokazuje da se varijabilnost padalina povećava prema istoku, što se može objasniti ciklonskom aktivnosti i činjenicom da se, zbog utjecaja kontinentalnosti, količina padalina smanjuje prema istoku. To pravilo dolazi do izražaja tek pri analizi varijabilnosti padalina na prostoru cijele Hrvatske jer se prema istoku količina padalina značajnije smanjuje (Maradin, 2011).

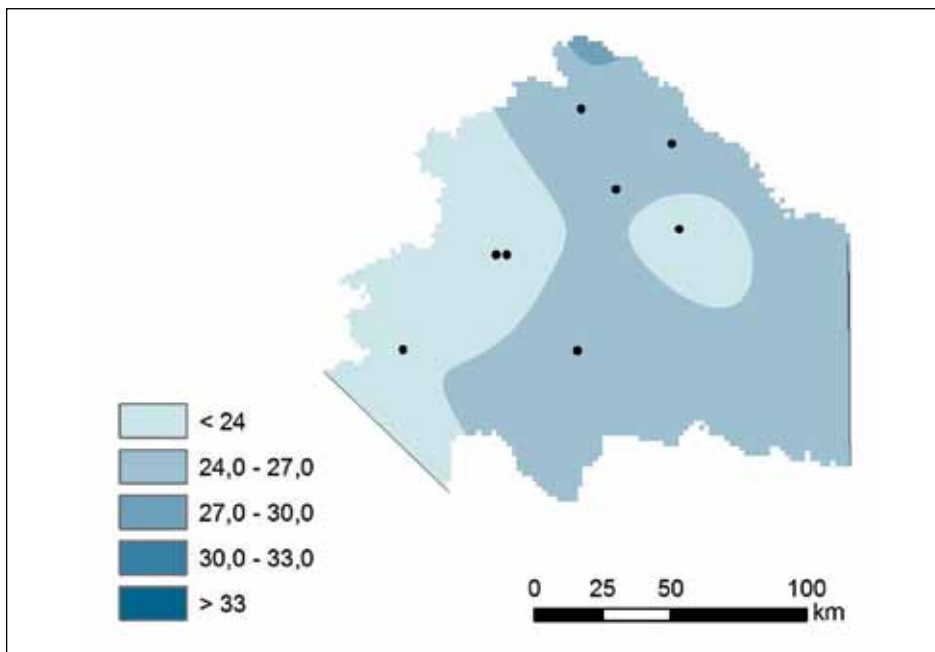


Sl. 2. Geografska raspodjela godišnjih vrijednosti varijabilnosti padalina u Središnjoj Hrvatskoj
 Fig. 2 Geographical distribution of annual values of precipitation variability in Central Croatia

U većini je postaja maksimum varijabilnosti u jesen, a minimum u proljeće (tab. 3). Od tog pravila odstupaju postaje Varaždin i Karlovac, gdje se minimum varijabilnosti javlja ljeti. U Varaždinu je maksimum varijabilnosti zimi, dok su u Karlovcu vrijednosti varijabilnosti za zimu i jesen izjednačene. Zanimljivo je da se minimum količine padalina i maksimum varijabilnosti padalina godišnjih doba u većini slučajeva ne može povezati. Premda je gotovo u svim postajama maksimum padalina ljeti, u većini je postaja

Tab. 3. Godišnje i sezonske vrijednosti varijabilnosti količine padalina od 1950. do 2007. (%)
 Tab. 3 Annual and seasonal mean relative precipitation variability for the 1950-2007 period (%)

	PROLJEĆE SPRING	LJETO SUMMER	JESEN AUTUMN	ZIMA WINTER	GODINA YEAR
Bjelovar	23,6	24,5	33,7	26,3	12,3
Karlovac	23,4	20,6	25,8	25,8	12,0
Koprivnica	25,0	26,3	29,8	29,1	12,9
Križevci	24,4	26,2	29,0	29,2	12,0
Sisak	25,6	27,6	30,6	26,6	13,3
Varaždin	26,4	25,2	26,7	29,8	12,7
Zagreb-Grič	21,9	24,2	27,2	26,3	12,6
Zagreb-Maksimir	22,5	25,2	27,2	27,9	12,7



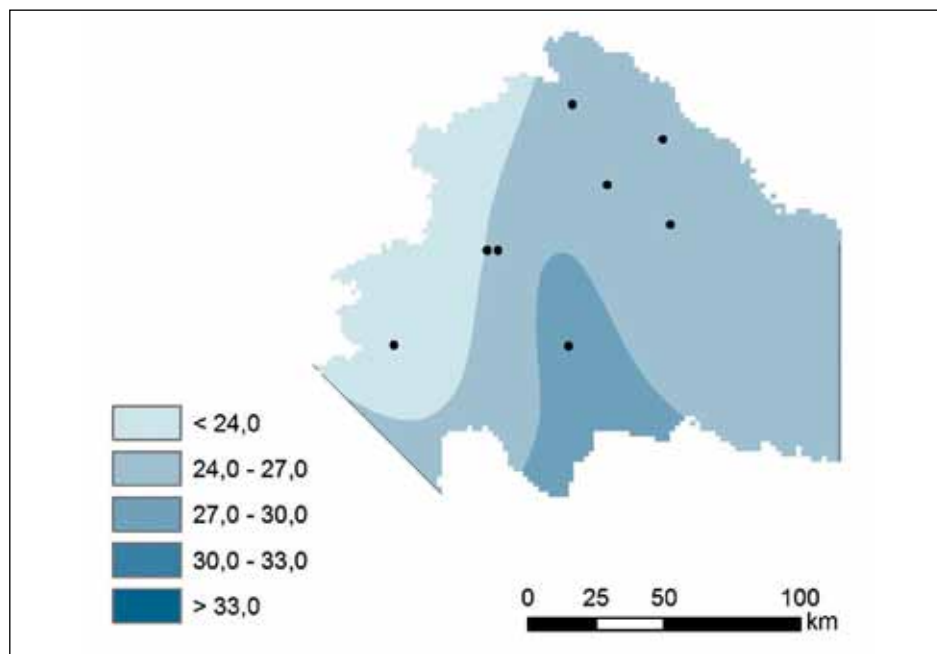
Sl. 3. Geografska raspodjela varijabilnosti padalina u Središnjoj Hrvatskoj u proljeće
 Fig. 3. Geographical distribution of precipitation variability in Central Croatia in Spring

minimum varijabilnosti padalina u proljeće. Također, unatoč tome što je u svim istraživanim postajama minimum padalina zimi, samo dvije postaje imaju maksimum varijabilnosti u tom godišnjem dobu, što pokazuje da je za objašnjenje varijabilnosti padalina potrebno uzeti u obzir i čimbenike koji utječu na međugodišnju promjenljivost padalina, a ne samo odnos količine padalina i varijabilnosti količine padalina.

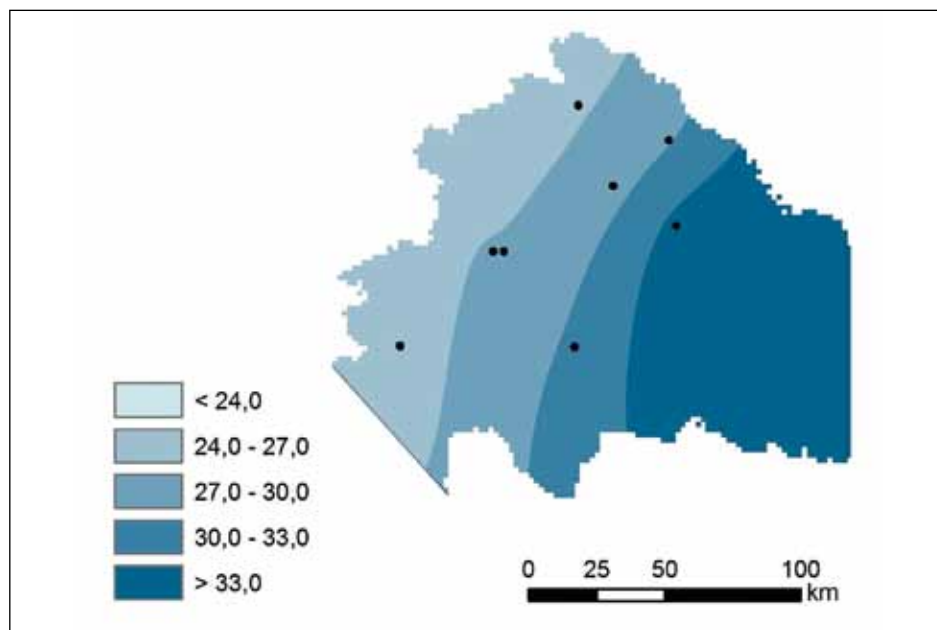
Prostorni odnosi varijabilnosti najbolje se mogu analizirati upotrebom karata prostorne raspodjele varijabilnosti padalina. Proljeće je godišnje doba s najmanjim vrijednostima varijabilnosti količine padalina (sl. 3). To se može objasniti činjenicom da je u proljetnim mjesecima veliki broj čimbenika koji utječu na postanak padalina (Penzar i Penzar, 1979-81), a u Središnjoj Hrvatskoj u travnju se javlja i sporedni maksimum padalina. U proljeće se varijabilnost količine padalina povećava prema istoku. Relativno velike količine padalina i mala varijabilnost u proljetnim mjesecima povoljno utječu na poljoprivrednu proizvodnju (Juras, 1995), koja je važna grana gospodarstva u Središnjoj Hrvatskoj.

Ljeti su vrijednosti varijabilnosti padalina tek nešto veće (sl. 4). Povlačenjem ciklonske aktivnosti prema sjeveru prostor južne Hrvatske ima velike vrijednosti varijabilnosti (Maradin, 2011). To povećanje varijabilnosti količine padalina vidljivo je ljeti na prostoru Središnje Hrvatske oko postaje Sisak.

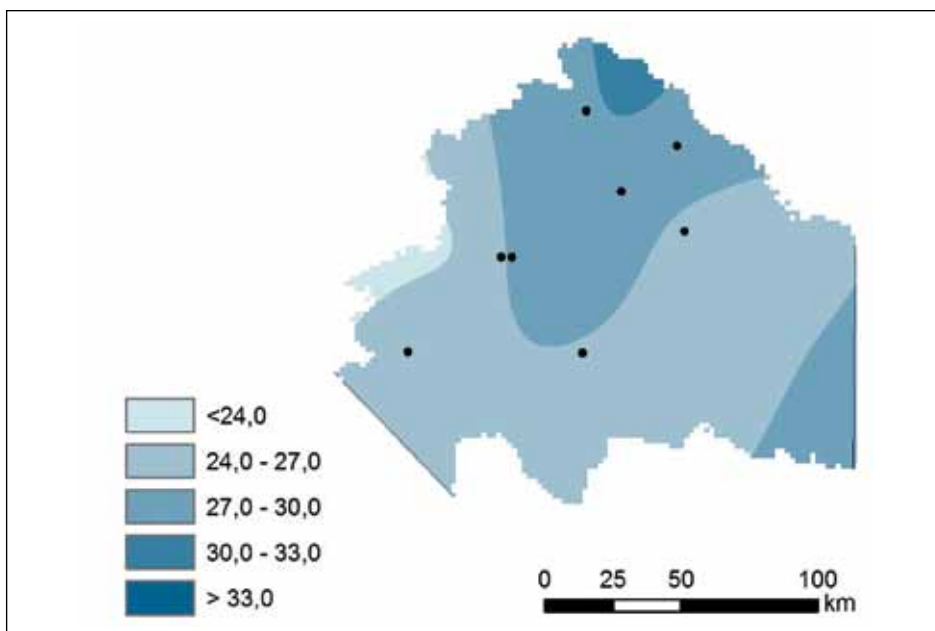
Jesen je godišnje doba koje ima najveću varijabilnost količine padalina u većini postaja Središnje Hrvatske, što potvrđuje prostorna raspodjela varijabilnosti količine padalina (sl. 5). Varijabilnost padalina pravilno se smanjuje od zapada prema istoku.



Sl. 4. Geografska raspodjela varijabilnosti padalina u Središnjoj Hrvatskoj ljeti
Fig. 4 Geographical distribution of precipitation variability in Central Croatia in Summer



Sl. 5. Geografska raspodjela varijabilnosti padalina u Središnjoj Hrvatskoj u jesen
Fig. 5 Geographical distribution of precipitation variability in Central Croatia in Autumn



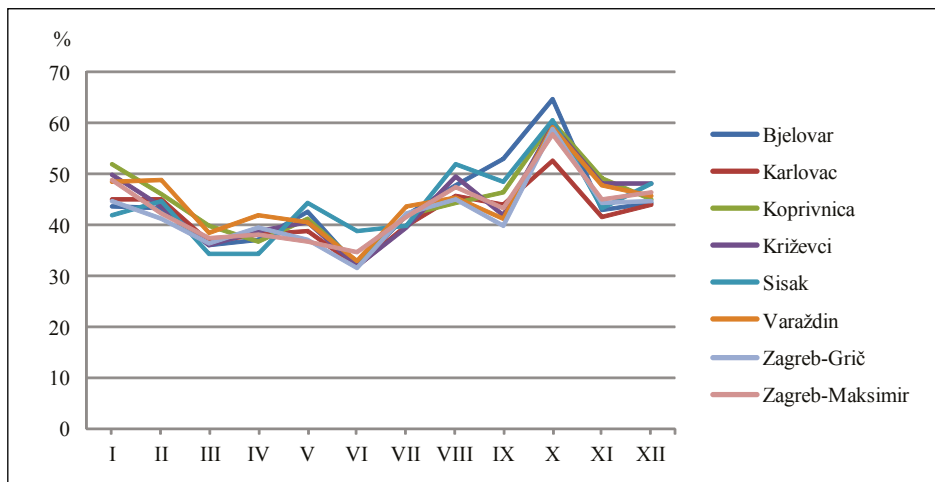
Sl. 6. Geografska raspodjela varijabilnosti padalina u Središnjoj Hrvatskoj zimi
Fig. 6 Geographical distribution of precipitation variability in Central Croatia in Winter

Najmanju varijabilnost padalina u jesen ima postaja Karlovac, 25,8%, a najveću Bjelovar, 33,7%, što upućuje na relativno veliki raspon varijabilnosti u tom godišnjem dobu. Velika varijabilnost padalina može se objasniti smanjenjem količine padalina u odnosu na ljeto te smanjenjem količine padalina u listopadu, koje se javlja u drugoj polovini 20. stoljeća (Penzar i Penzar, 1979-81; Juras, 1985).

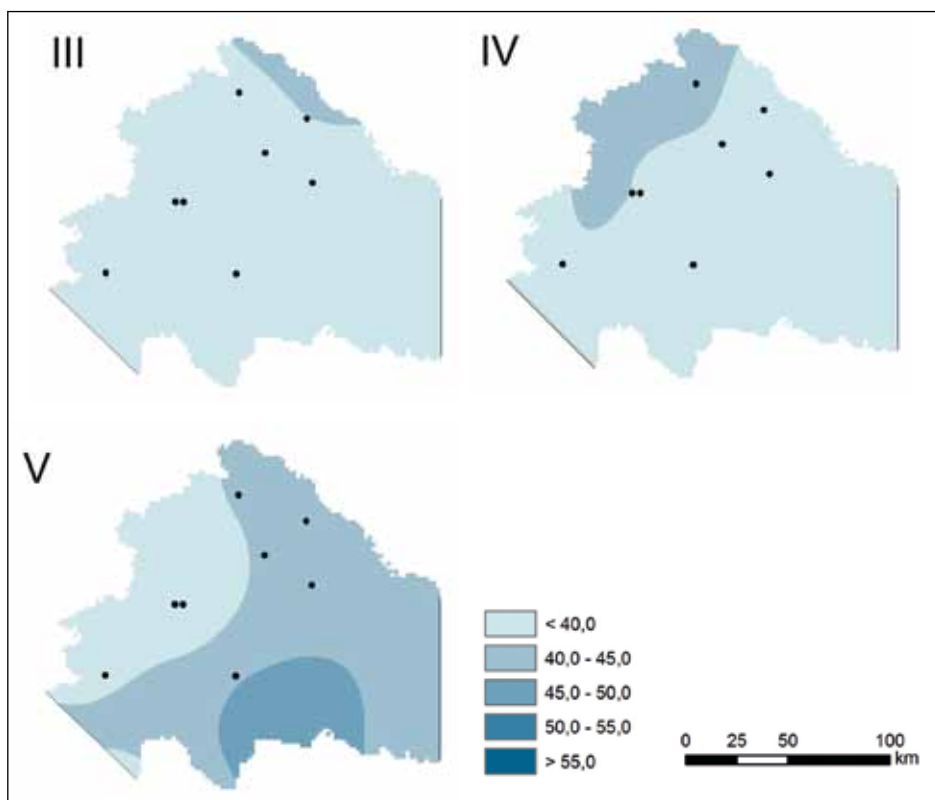
Zimi su vrijednosti varijabilnosti padalina manje nego u jesen, ali veće nego u proljeće i ljeto. Varijabilnost padalina povećava se prema sjeveru (sl. 6). Najveću varijabilnost zimi ima postaja Varaždin, 29,8%. Takva prostorna raspodjela varijabilnosti količine padalina može se objasniti utjecajem ciklonske cirkulacije na postanak padalina Južne Hrvatske, čiji se utjecaj osjeća i na prostoru Središnje Hrvatske. Također, zimi sve postaje imaju minimum količine padalina.

PROSTORNE RAZLIKE MJESEČNIH VRIJEDNOSTI VARIJABILNOSTI PADALINA SREDIŠNJE HRVATSKE

S obzirom na veličinu istraživanog prostora ne mogu se očekivati velike razlike u godišnjem hodu varijabilnosti padalina. Maksimum varijabilnosti količine padalina jest u listopadu (sl. 7). U tome mjesecu varijabilnost padalina ima maksimum i u ostalom dijelu Hrvatske. Sekundarni maksimum javlja se zimi, u siječnju ili veljači. Od opisanoga godišnjega hoda značajnije se razlikuje tek varijabilnost padalina postaje Sisak, gdje je minimum varijabilnosti



Sl. 7. Godišnji hod varijabilnosti količina padalina u istraživanim postajama
 Fig. 7 Annual course of precipitation variability at the researched stations

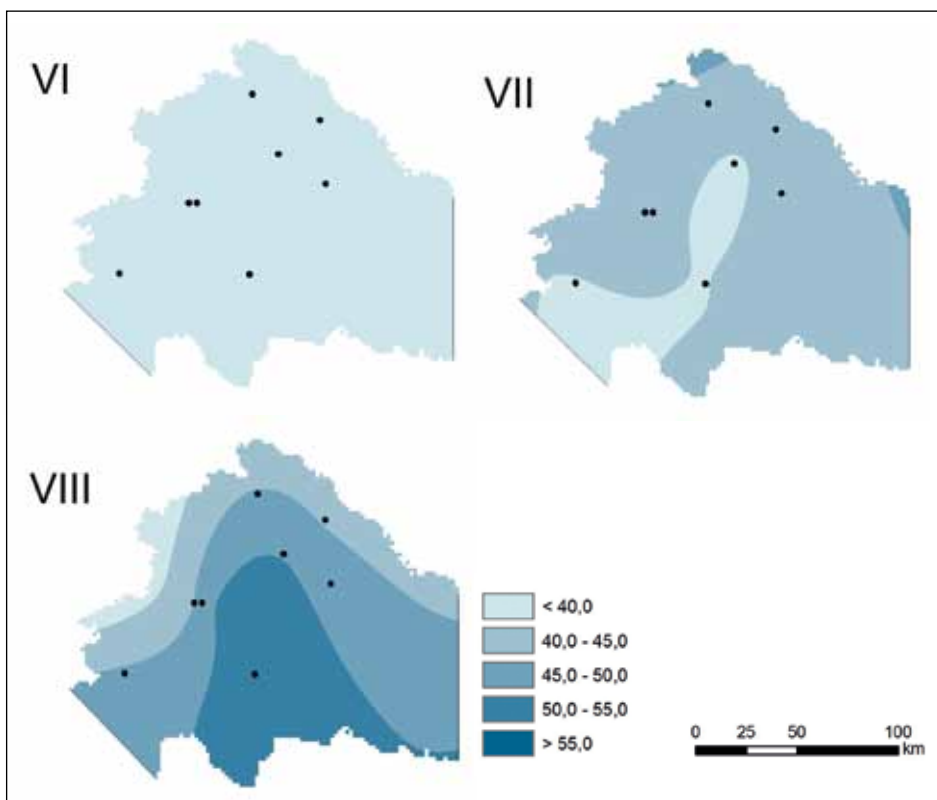


Sl. 8. Geografska raspodjela varijabilnosti padalina u Središnjoj Hrvatskoj u ožujku, travnju i svibnju
 Fig. 8 Geographical distribution of precipitation variability in Central Croatia in March, April and May

padalina u travnju, a ne u lipnju. Zanimljivo je spomenuti da je minimum varijabilnosti padalina u lipnju specifičnost Središnje Hrvatske jer najveći dio postaja u ostatku Hrvatske ima minimum varijabilnosti padalina u travnju, dok je u lipnju sporedni minimum varijabilnosti (Maradin, 2011). Time se može objasniti i travnjaški minimum varijabilnosti u postaji Sisak.

Prostorne razlike u godišnjem hodu varijabilnosti najbolje se mogu uočiti analizom mjesečnih vrijednosti varijabilnosti padalina. Varijabilnost padalina u proljetnim je mjesecima mala, gotovo u svim postajama manja je od 45% (sl. 8). To je posljedica utjecaja relativno velikog broja ciklona koje s mora dolaze na kopno, a najčešće su u travnju (i studenome) (Penzar i Penzar, 1979-81). Utjecaj tih ciklona smanjuje se prema jugu. Varijabilnost padalina na prostoru Središnje Hrvatske mala je u ožujku i travnju, a povećava se u svibnju.

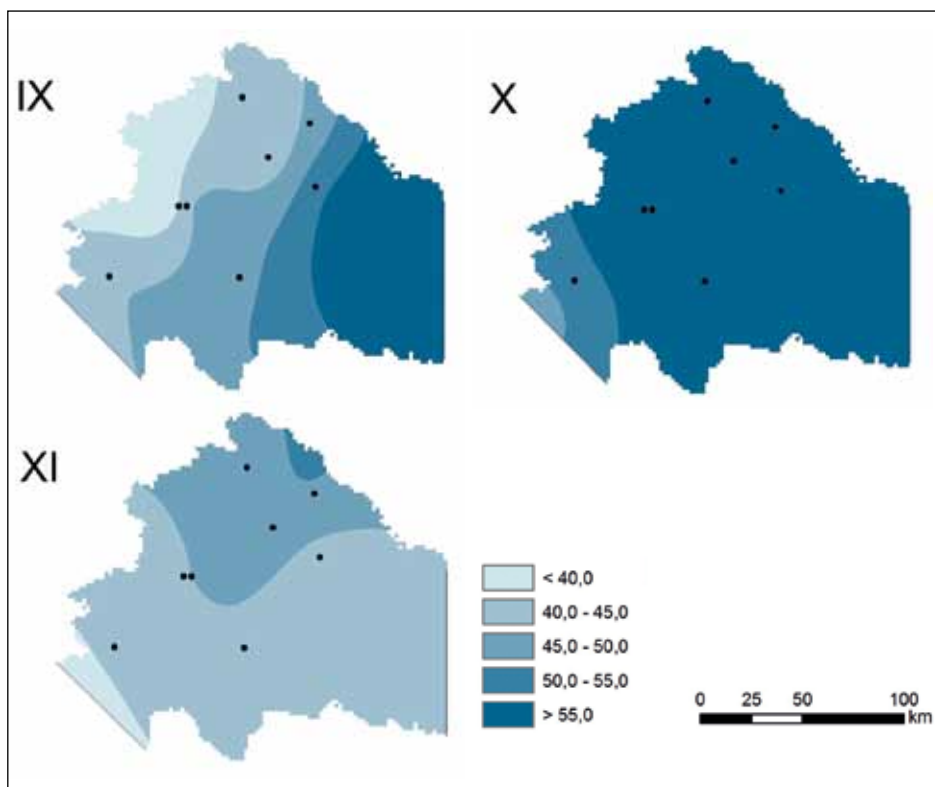
Sve postaje Središnje Hrvatske u lipnju imaju varijabilnost količine padalina manju od 40%. U tom se mjesecu javlja maksimum padalina u većini postaja Središnje Hrvatske, a veći je i broj čimbenika koji uzrokuje nastanak padalina u tom dijelu Hrvatske (Penzar i Penzar, 1979-81). U ostalim je ljetnim mjesecima varijabilnost padalina veća (sl. 9). Zanimljivo je spomenuti da je u srpnju na prostoru Središnje Hrvatske raspon varijabilnosti padalina u godišnjem hodu najmanji. Postaja s najmanjom varijabilnosti padalina



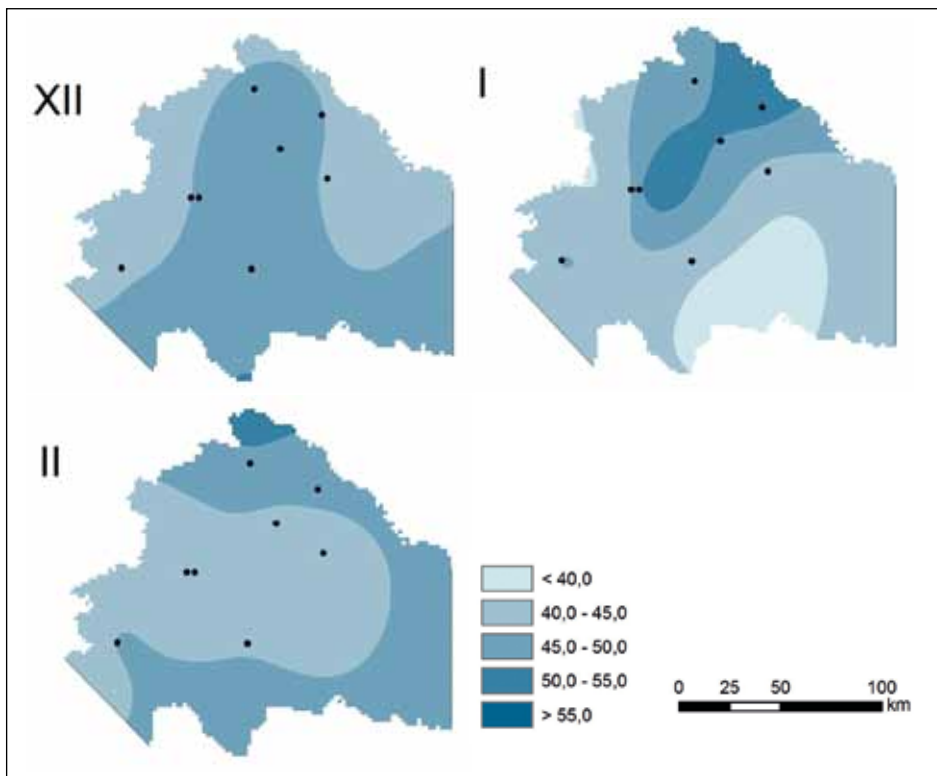
Sl. 9. Geografska raspodjela varijabilnosti padalina u Središnjoj Hrvatskoj u lipnju, srpnju i kolovozu
 Fig. 9. Geographical distribution of precipitation variability in Central Croatia in June, July and August

jesu Križevci (39,7%), a s najvećom je Varaždin (43,6%). U kolovozu dolazi do izražaja utjecaj subtropskih anticiklona, zbog čega se varijabilnost padalina povećava prema jugu.

Jesen je godišnje doba s najvećom varijabilnosti padalina, što posebno dolazi do izražaja u listopadu (sl. 10). To je mjesec koji ima najveće vrijednosti varijabilnosti padalina u cijeloj Hrvatskoj (Maradin, 2011), što se može objasniti činjenicom da se u listopadu u drugoj polovini dvadesetog stoljeća broj dana s tipovima vremena koji daju padaline značajno smanjio, a broj dana sa stanjima bez padalina značajno povećao (Penzar i Penzar, 1979-81). To ima za posljedicu smanjenje količine padalina u listopadu u drugoj polovini dvadesetog stoljeća (Penzar i Penzar, 1979-81; Juras, 1985), koje se može statistički povezati s povećanjem varijabilnosti padalina u tome mjesecu (Maradin, 2011). U rujnu se javlja najveći raspon u godišnjem hodu varijabilnosti padalina na prostoru Središnje Hrvatske, 13,0%. Najmanja je varijabilnost padalina u postaji Zagreb-Grič (39,9%), a najveća u postaji Bjelovar (53,0%). Tek je nešto manji raspon vrijednosti varijabilnosti padalina u listopadu. U studenome su vrijednosti varijabilnosti padalina manje (sl. 10), što je posljedica povećanja broja čimbenika koji uzrokuju nastanak padalina (Penzar i Penzar, 1979-81). U tom se mjesecu u unutrašnjosti Hrvatske u većini postaja javlja sporedni maksimum padalina.



Sl. 10. Geografska raspodjela varijabilnosti padalina u Središnjoj Hrvatskoj u rujnu, listopadu i studenome
 Fig. 10 Geographical distribution of precipitation variability in Central Croatia in September, October and November



Sl. 11. Geografska raspodjela varijabilnosti padalina u Središnjoj Hrvatskoj u prosincu, siječnju i veljači
 Fig. 11 Geographical distribution of precipitation variability in Central Croatia in December, January and February

Varijabilnost padalina zimi ne pokazuje prostornu pravilnost. U siječnju i veljači varijabilnost je veća na sjeveru Središnje Hrvatske. Relativno velike vrijednosti varijabilnosti padalina u veljači mogu se objasniti manjim brojem kalendarskih dana u tome mjesecu (Juras, 1995), kao i činjenicom da je za veliki broj postaja s kontinentskim pluviometrijskim režimom u veljači glavni minimum u godišnjem hodu padalina, ali i broju dana s padalinama.

Istraživanje je pokazalo da postoje prostorne razlike u varijabilnosti količine padalina Središnje Hrvatske. Godišnje vrijednosti varijabilnosti padalina povećavaju se prema istoku istraživanog prostora. Isto vrijedi gotovo u svim godišnjim dobima (osim zime) te u rujnu. U ljetnim mjesecima te u svibnju i kolovozu varijabilnost padalina povećava se prema jugu Središnje Hrvatske, što se može objasniti utjecajem subtropske cirkulacije. Pritom valja uzeti u obzir i druge čimbenike koji utječu na varijabilnost padalina, jer se navedena raspodjela varijabilnosti padalina ne javlja u lipnju i srpnju. Zimi se, a naročito u siječnju i studenome, varijabilnost padalina povećava prema sjeveru. Ipak, prostorne razlike varijabilnosti padalina na prostoru Središnje Hrvatske relativno su male. To posebno dolazi do izražaja u toplom dijelu godine, od ožujka do srpnja. Kako tada u Središnjoj Hrvatskoj ima najviše padalina, to ima povoljan utjecaj na poljoprivredu, a povoljno je i za ostale

aspekte iskorištavanja voda. Najveće prostorne razlike u varijabilnosti padalina na prostoru Središnje Hrvatske javljaju se u jesen, odnosno u jesenskim mjesecima rujnu i listopadu.

ZAKLJUČAK

Padaline su važno obilježje svakog prostora, stoga se u ovom radu upozorava na prostorne razlike u varijabilnosti padalina gospodarski najznačajnije i najnaseljenije regije Hrvatske. U radu se analizira srednja relativna varijabilnost padalina od 1950. do 2007. za osam meteoroloških postaja: Bjelovar, Karlovac, Koprivnica, Križevci, Sisak, Varaždin, Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir. Za prostorne interpolacije upotrijebljen je program ArcGIS, verzija 9.3., odnosno primijenjena je metoda Tension Spline. Pri prostornim interpolacijama zanemaren je utjecaj reljefa na varijabilnost padalina, zbog malog broja upotrijebljenih postaja te raspodjele postaja prema nadmorskoj visini.

Istraživani prostor ima kontinentski pluviometrijski režim, odnosno najveća je količina padalina u toplom dijelu godine. U godišnjem hodu padalina glavni se maksimum javlja u jesen (u studenome), a sporedni ljeti (u lipnju ili srpnju). Glavni je minimum krajem zime (u veljači), a sporedni u jesen (u listopadu).

U Središnjoj Hrvatskoj godišnje vrijednosti srednje relativne varijabilnosti padalina imaju mali raspon. Najmanju varijabilnost padalina imaju Karlovac i Križevci (u obje postaje 12,0%), a najveću Sisak (13,3%). U većini je postaja maksimum varijabilnosti u jesen, a minimum u proljeće. Od toga pravila odstupaju postaje Varaždin i Karlovac, gdje se minimum varijabilnosti javlja ljeti. U Varaždinu je maksimum varijabilnosti zimi, dok su u Karlovcu vrijednosti varijabilnosti za zimu i jesen izjednačene. Sve postaje imaju maksimum varijabilnosti padalina u listopadu. Sporedni maksimum javlja se u siječnju ili veljači. Glavni minimum varijabilnosti u svim je postajama u lipnju, osim u Sisku, gdje se javlja u travnju. Sporedni minimum varijabilnosti padalina jest u ožujku ili travnju.

Istraživanje je pokazalo da postoje prostorne razlike u varijabilnosti količine padalina Središnje Hrvatske, ali su one relativno male. Najveće prostorne razlike javljaju se u jesen, odnosno u jesenskim mjesecima rujnu i listopadu. U ostalom su dijelu godine prostorne razlike varijabilnosti padalina manje. To posebno dolazi do izražaja u toplom dijelu godine, od ožujka do srpnja. Neke vrijednosti varijabilnosti padalina pokazuju određenu prostornu pravilnost. Tako se od zapada prema istoku povećavaju godišnje vrijednosti varijabilnosti padalina, varijabilnosti svih godišnjih doba osim zime te varijabilnost padalina u rujnu. Varijabilnost padalina povećava se prema jugu u ljetnim mjesecima te u svibnju i kolovozu. Zimi, kao i u siječnju i studenome, varijabilnost padalina povećava se prema sjeveru.

Ovaj rad nastao je u okviru znanstvenih projekata „Utjecaj klimatskih promjena na socijalno-geografske elemente u Hrvatskoj” (voditeljica i glavna istraživačica prof. dr. sc. Anita Filipčić) i „Promjene okoliša i kulturni pejzaž kao razvojni resurs” (voditelj i glavni istraživač prof. dr. sc. Borna Fürst-Bjeliš) koji su provedeni uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

LITERATURA

- Biel, E., 1929: *Die Veränderlichkeit der Jahressumme des Niederschlages auf der Erde*, Geogr. Jb. Aus Österreich, XIV und XV, Wien, 151-180.
- Biel, E., 1944: *Climatology of the Mediterranean Area*, Institute of Meteorology, University of Chicago, Miscellaneous Reports 13, Chicago, III, 180.
- Conrad, V., 1941: The variability of precipitation, *Monthly Weather Review* 69, 5-11.
- Conrad, V., Pollak, L. W., 1950: *Methods in Climatology*, Harvard University Press, Cambridge, 459.
- Gajić-Čapka, M., 1982: Varijabilnost prosječnog oborinskog režima šire zagrebačke regije, *Rasprave* 17, 23-40.
- Gajić-Čapka, M., 1990: Precipitation variability in Zagreb, Yugoslavia, u: *Climatic change in the historical and the instrumental periods* (ur. Rudolf, B.), Brno: Masaryk University, 280-282.
- Gajić-Čapka, M., 1992: Stationarity, Trend and Periodicity of Precipitation at the Zagreb Grič Observatory from 1862 to 1990, *Hrvatski meteorološki časopis* 27, 1-10.
- Gajić-Čapka, M., 1999: Duljina normalnog niza za kratkotrajne jake oborine u Hrvatskoj, *Hrvatske vode* 7, 29, 367-380.
- Gajić-Čapka, M., Čapka, B., 1997: Procjene maksimalnih dnevnih količina oborine, *Hrvatske vode* 5, 20, 231-247.
- Hartkamp, A. D., de Beurs, K., Stein, A., White, J. W., 1999: *Interpolation Techniques for Climate Variables*, NRG-GIS Series 99-01, Mexico, D.F.: CIMMYT, http://tarwi.lamolina.edu.pe/~echavarr/tecnicas_interpolacion_var_clima.pdf (4. 4. 2011.).
- van der Heijden, S., Haberlandt, U., 2010: Influence of spatial interpolation methods for climate variables on the simulation of discharge and nitrate fate with SWAT, *Advances in Geosciences* 27, 91-98.
- Hereford, R., Webb, R. H., Longpré, C. I., 2006: Precipitation history and ecosystem response to multidecadal precipitation variability in the Mojave Desert region, 1893-2001, *Journal of Arid Environments* 67, 13-34.
- Hofierka, J., Parajka, J., Mitasova, H., Mitas, L., 2002: Multivariate Interpolation of Precipitation Using Regularized Spline with Tension, *Transactions in GIS* 6, 2, 135-150.
- Hong, Y., Nix, H. A., Hutchinson, M. A., Booth, T. H., 2005: Spatial interpolation of monthly mean climate data for China, *International Journal of Climatology* 25, 1369-1379.
- Houston, J., 2006: Variability of the precipitation in the Atacama desert: Its causes and hydrological impact, *International Journal of Climatology* 26, 2181-2198.
- Hutchinson, M. F., 1998: Interpolation of Rainfall Data with Thin Plate Smoothing Splines – Part II: Analysis of Topographic Dependence, *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* 2, 2, 152-167.
- Jones, P., 1999: The Instrumental Data Record: Its Accuracy and Use in Attempts to Identify the "CO₂ Signal", u: *Analysis of Climate Variability* (ur. Von Storch, H., Navarra, A.), Springer, Heidelberg, 53-76.
- Juras, J., 1985: Neke karakteristike promjene klime Zagreba u posljednjem tridesetljeću, *Geofizika* 2, 93-102.
- Juras, J., 1995: *Metode za procjenu vremenske promjenljivosti količina oborina*, doktorski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 160.
- Juras, J., Juras, V., 1992: Evaluation of 1961-1990 Standard Climatological Normals, *Hrvatski meteorološki časopis* 27, 11-20.
- Lebedev, A. N., Boruško, I. S., Egorovoj, A. J., 1979: *Klimatičeskij spravočnik Zapadnoj Evropi*, Gidrometeorizdat, Leningrad, 678.
- Maradin, M., 2011: *Geografski aspekt razlika u varijabilnosti padalina kontinentskog i maritimnog pluviometrijskog režima u Republici Hrvatskoj*, doktorski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 126.
- Morales, C., 1977: Rainfall Variability – A Natural Phenomenon, *Ambio* 6, 1, 30-33.

- Naoum, S., Tsanis, I. K., 2004: Ranking spatial interpolation techniques using a GIS-based DSS, *GLOBAL NEST: the International Journal* 6, 1, 1-20.
- Pandžić, K., 1988: Principal component analysis of the precipitation in the Adriatic-Pannonian area of Yugoslavia, *Journal of Climatology* 8, 357-370.
- Penzar, B., 1959: Razdioba Schulzeovih koeficijena godišnjeg hoda padavina u FNRJ, *Vesnik hidrometeorološke službe FNRJ* 8, Beograd, 1-2, 32-38.
- Penzar, B., Penzar, I., 1979-81: O položaju i uzrocima ekstrema u godišnjem hodu oborine u Hrvatskoj. Dio I. i II, *Geografski glasnik* 41-42, 27-48; 43, 27-49.
- Penzar, B., Penzar, I., Orlić, M., 2001: *Vrijeme i klima hrvatskog jadrana*, Nakladna kuća „Dr. Feletar“, Zagreb, 258.
- Rubinić, J., Gajić-Čapka, M., Milković, J., Ožanić, N., 1995: Intenziteti oborine – problemi obrade i interpretacije u praksi, u: *Uloga hidrologije u gospodarstvu Hrvatske, zbornik radova okruglog stola*, Zagreb, 53-69.
- Shepherd, J. M., 2006: Evidence of urban-induced precipitation variability in arid climate regimes, *Journal of Arid Environments* 67, 607-628.
- Šić, M., 2003: Regional Disparities in Croatia, *Geografski glasnik* 65, 2, 5-28.
- Srebrenović, D., 1970: *Problemi velikih voda.*, Tehnička knjiga, Zagreb, 277.
- Šegota, T., 1969: Sekularne fluktuacije padaline u Zagrebu, *Geografski glasnik* 31, 5-55.
- Šinik, N., 1979: *Varijacije zagrebačke klime*, Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 104.
- Šinik, N., 1985: Signifikantnost recentnih klimatskih fluktuacija u Zagrebu, *Geofizika* 2, 81-92.
- Škreb, S., 1929: *Dnevni i godišnji period kiše u Zagrebu*, Rad JAZU, 236, 1-44.
- Šošić, I., Serdar, V., 2002: *Uvod u statistiku*, Školska knjiga, Zagreb, 363.

SUMMARY

Spatial Differences in Precipitation Variability of Central Croatia

Mladen Maradin, Anita Filipčić

One of the most significant features of precipitation is its variability. Therefore, the paper analyses spatial differences in precipitation variability in Central Croatia, the economically most important and most populated region of Croatia. The paper analyses mean relative variability of precipitation in the 1950-2007 period for eight meteorological stations Bjelovar, Karlovac, Koprivnica, Križevci, Sisak, Varaždin, Zagreb-Grič and Zagreb-Maksimir. The Tension Spline Method (or *thin plate interpolation*) of the ArcGis 9.3. software package is used in order to analyse regional differences in the mean relative variability of annual, seasonal and monthly precipitation in Central Croatia. The impact of altitude on precipitation variability was ignored within the application of the Tension Spline method,

due to the number of stations used and the uneven distribution of the stations according to altitude.

The researched area has a continental pluviometric regime, i.e. there are precipitation maximums in the warm part of the year. The main precipitation maximum occurs in Autumn (in November), and the secondary precipitation maximum occurs in Summer (in June or July). The main minimum of precipitation is by the end of Winter (in February), and the secondary minimum is in Autumn (October).

There is a relatively small range of annual values of mean relative precipitation variability in Central Croatia. The values of annual precipitation variability are lowest in Karlovac and Križevci (12.0 % at both stations), and the highest are in Sisak (13.3%). The maximum of precipitation variability occurs in Autumn at most of the stations, and the minimum variability occurs in Spring. The minimum of precipitation variability at the Varaždin and Karlovac meteorological stations is in Summer. The variability precipitation maximum at the Varaždin station is in Summer and the values of precipitation variability for Winter and Autumn are equal for the Karlovac station. The maximum of precipitation variability occur in October at all the researched stations. The secondary maximum is in January or in February. The primary minimum of precipitation variability is in June, at all the stations, apart from Sisak, where the minimum is in April. The secondary minimum is in March or April.

The research has shown that there are spatial differences in precipitation variability in Central Croatia, but the differences are relatively small. The largest spatial differences occur in Autumn and in September and October. Spatial differences in precipitation variability are relatively small during the remainder of the year. In particular, it is evident in the warm part of the year, in the March to July period. There are some regularities in the spatial pattern of precipitation variability. Thus, there are increases in precipitation variability toward the east in almost all seasons (except Winter) and in September. Precipitation variability increases towards the south in the summer months and in May and August. Precipitation variability increases towards the north in Winter and also in January and November.

Primljeno (Received): 13 – 03 – 2012

Prihvaćeno (Accepted): 24 – 05 – 2012

Dr. sc. **Mladen Maradin**, znanstveni
novak - viši asistent
Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek
Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb
mmaradin@geog.pmf.hr

Dr. sc. **Anita Filipčić**, izvanredni profesor
Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek
Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb
filipcic@geog.pmf.hr

