

# Utjecaj promjena obilježja snježnog pokrivača na protočni režim - primjer porječja Kupe

---

Knežević, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:611238>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**Iva Knežević**

**Utjecaj promjena obilježja snježnog pokrivača na protočni režim - primjer porječja Kupe**

**Diplomski rad**

**Zagreb  
2021.**



**Iva Knežević**

**Utjecaj promjena obilježja snježnog pokrivača na protočni režim - primjer porječja Kupe**

**Diplomski rad**

predan na ocjenu Geografskom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog zvanja  
magistre geografije

**Zagreb,  
2021.**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Geografija*; smjer: *Fizička geografija s geoekologijom* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Mladena Maradina

Sveučilište u Zagrebu  
 Prirodoslovno-matematički fakultet  
 Geografski odsjek

Diplomski rad

## Utjecaj promjena obilježja snježnog pokrivača na protočni režim - primjer porječja Kupe

Iva Knežević

**Izvadak:** Rad se bavi analizom promjena u snježnom pokrivaču i njihovog utjecaja na proljetni protok na odabranim tekućicama porječja Kupe u razdoblju 1989. – 2018. Primjenom Mann-Kendallovog testa analiziran je trend broja dana s snijegom  $\geq 1$  cm, visine snijega, padalina, temperature zraka i protoka. Broj dana sa snijegom, visina snijega i protok dodatno su analizirani putem RAPS metode. Za korelacijsku analizu između odabranih klimatskih i hidroloških elemenata korišten je Spearmanov koeficijent korelacije. Rezultati rada ukazuju na smanjenje broja dana sa snijegom i visine snijega u prosincu i travnju. Korelacijskom analizom utvrđena je statistički značajna povezanost između akumuliranog snijega i proljetnog protoka. Opažene promjene u protoku odnose se na porast protoka u veljači i ožujku i javljanje minimuma protoka ranije tijekom godine. Naposljetku je ispitana povezanost između utvrđenih promjena i Sjevernoatlantske oscilacije (NAO). Promjene u snježnom pokrivaču i protoku dijelom su povezane s promjenama u NAO indeksu tijekom istraživanog razdoblja.

50 stranica, 19 grafičkih priloga, 18 tablica, 39 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: snježni pokrivač, protok, padaline, NAO, porječje Kupe

Voditelj: doc. dr. sc. Mladen Maradin

Povjerenstvo: doc. dr. sc. Mladen Maradin  
 doc. dr. sc. Anita Filipčić  
 doc. dr. sc. Ivan Čanjevac

Tema prihvaćena: 11. 2. 2021.

Rad prihvaćen: 11. 11. 2021.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Thesis  
Faculty of Science  
Department of Geography

Master

**The impact of changes in snow cover parameters on discharge regime - example of Kupa river drainage basin**

Iva Knežević

**Abstract:** This paper deals with the changes in snow cover and their impact on spring discharge of rivers in Kupa river drainage basin for the 1989-2018 period. Trend analysis of number of snow days, snow depth, precipitation, air temperature and river discharge was performed using the Mann-Kendall trend test. The number of snow days, snow depth and discharge were further analysed using RAPS method. Correlation analysis was conducted with the nonparametric Spearman test for correlation. The significant downward trend was detected for number of snow days and snow depth in December and April. Accumulated snow and spring discharge are significantly correlated in the study area. There is significant increase in discharge in February and March. The change in the timing of minimum discharge toward earlier in the year was also detected. The changes in snow cover and discharge are related to changes in NAO indices.

50 pages, 19 figures, 18 tables, 39 references; original in Croatian

Keywords: snow cover, discharge, precipitation, NAO, Kupa drainage basin

Supervisor: Mladen Maradin, PhD, Assistant Professor

Reviewers: Mladen Maradin, PhD, Assistant Professor  
Anita Filipčič, PhD, Full Professor  
Ivan Čanjevac, PhD, Assistant Professor

Thesis title accepted: 11/02/2021

Thesis accepted: 11/11/2021

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA .....	3
2.1. Istraživanja u Hrvatskoj.....	4
3. KLIMATSKA I HIDROLOŠKA OBILJEŽJA .....	5
3.1. Klimatska obilježja.....	5
3.2. Hidrološka obilježja .....	8
4. PODACI I METODOLOGIJA.....	9
4.1. Podaci.....	9
4.2. Metodologija .....	11
5. REZULTATI I RASPRAVA .....	15
5.1. Broj dana sa visinom snijega $\geq 1$ cm.....	15
5.2. Kumulativna visina snijega .....	22
5.3. Veza između snježnog pokrivača i proljetnog protoka .....	28
5.4. Trendovi proljetnog protoka.....	32
5.5. Promjene u distribuciji protoka tijekom zime i proljeća .....	38
5.6. Veza između varijabilnosti snježnog pokrivača i protoka i NAO indeksa.....	42
6. ZAKLJUČAK .....	45
7. LITERATURA I IZVORI .....	46
8. PRILOZI.....	51





## 1. UVOD

Snježni pokrivač redovita je pojava u Gorskoj Hrvatskoj u zimskom dijelu godine (Šegota i Filipčić, 1996). Obilježavaju ga, između ostalog, visoki albedo, slaba toplinska vodljivost i velika prostorno-vremenska varijabilnost (Liston, 1999). Sa svim svojim obilježjima i dinamikom kao važan klimatološki, hidrološki i ekološki čimbenik utječe na temperaturu zraka pri tlu, temperaturu tla, vlagu u tlu, radijacijske procese, vegetaciju i otjecanje (Bonacci i dr., 2012). U fokusu ovog rada je zadnja navedena stavka - otjecanje. Snježni pokrivač, odnosno njegovo kopnjenje, utječe na riječni protok u porječjima sa snježnim i mješovitim snježno-kišnim ili kišno-snježnim režimom (Xiao i dr., 2020). Upravo zato je poznavanje dinamike snježnog pokrivača bitno za upravljanje vodnim gospodarstvom u tim područjima. Empirijska analiza uloge snijega u riječnom protoku je kompleksna zbog same varijabilnosti snježnog pokrivača, ali i zbog nedovoljno guste mreže meteoroloških i hidroloških postaja na kojima se bilježe traženi elementi (posebno gustoća snijega i prosječni sadržaj vode u snijegu) te vremenskog razdoblja u kojem se mjere. U mnogim planinskim krajevima takve su postaje smještene u blizini važnijih skijališta radi razvoja zimskog turizma, što u Hrvatskoj nije slučaj jer važnijih skijališta u Gorskom kotaru nema. Nadalje, vrijednosti koje se bilježe u velikim vremenskim razmacima ili kratkom vremenskom razdoblju otežavaju analizu dugoročnih trendova (Moreno i Garcia-Luiz, 2004). Hidrološka uloga snijega glavni je objekt proučavanja znanstvene discipline hidrologije koja se naziva snježna hidrologija (engl. snow hydrology).

Snježni pokrivač element je posebno osjetljiv na klimatsku varijabilnost i klimatske promjene (Zakharova i dr, 2011). Kako je zadnjih desetljeća interes za istraživanje klimatskih promjena u porastu, tako se sve više istražuje i utjecaj istih na riječni protok koji je potaknut kopnjenjem snijega. Istraživanja su potvrdila da recentne promjene u temperaturi i količini padalina utječu na trajanje snježnog pokrivača i količinu napadalog snijega (Yao i dr., 2012). U drugoj polovici 20. i početkom 21. stoljeća bilježi se porast temperature zraka kako na globalnoj, tako i na regionalnoj razini. Promjene u temperaturi na Mediteranu povezane su s globalnim zatopljenjem u 20. i 21. stoljeću, s tim da se od 80-ih godina prošlog stoljeća bilježi brži porast na Mediteranu u odnosu na ostatak svijeta (Lionello i Sarcasia, 2018).

Ovaj se rad bavi proučavanjem obilježja i promjena u snježnom pokrivaču na prostoru Gorskog kotara te utjecaja istih na riječni protok tekućica porječja Kupe. Ciljevi ovog rada su: utvrditi promjene u obilježjima snježnog pokrivača (promjene u broju snježnih dana i visini snijega), utvrditi povezanost snježnog pokrivača i protoka, utvrditi kakvi su trendovi u proljetnom protoku te jesu li navedene promjene povezane s oscilacijama u atmosferskom tlaku iznad Atlantskog oceana. Temeljem svega prethodno navedenog mogu se postaviti četiri hipoteze:

1. Zbog porasta temperature u istraživanom razdoblju trajanje snježnog pokrivača je kraće, odnosno broj dana s padanjem snijega se smanjuje.
2. U istraživanom razdoblju smanjuje se debljina snježnog pokrivača.
3. Zbog ranijeg kopnjenja snijega maksimumi proljetnih protoka javljaju se ranije tijekom godine.
4. Promjene u snježnom pokrivaču i proljetnom protoku u istraživanom razdoblju povezane su s promjenama u atmosferskom tlaku iznad Atlantskog oceana, poznatijima kao Sjevernoatlantska oscilacija.

## 2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Pregled istraživanja snježnog pokrivača može se podijeliti u četiri faze (Colbeck, 1987). Prva se faza odnosi na razdoblje prije 20. stoljeća kada se snijeg proučavao gotovo isključivo metodom opservacije te iz tog razdoblja ima jako malo pisanih izvora. Oni se uglavnom odnose na proučavanje snježnih kristala, kapilarnosti i toplinske vodljivosti. Glavnina takvih istraživanja odvijala se u Europi, gdje su se, primjenom instrumenata, i počela provoditi mjerenja visine, gustoće, temperature i površine snježnog pokrivača. Takav iskorak uvertira je u sljedeću fazu koja je započela početkom 20. stoljeća i trajala do 1936. godine. U toj fazi snježni se pokrivač sustavno istražuje kvantitativnim metodama, posebno na području Europe, Sjeverne Amerike i Japana. Najviše se proučavaju lavine, snježna hidrologija i utjecaj snijega na promet kao pojave ili aspekti vezani uz snijeg koji imaju potencijalno destruktivni utjecaj na ljudski život. Tridesetih godina počinju se osnivati laboratoriji za proučavanje snijega (Davos i Sapporo) i organizacije (The International Commission on Snow, Society of Snow and Ice i mnoge druge) koje su okupljale znanstvenike, čime započinje treća faza koja traje do 1970. godine. Djelovanje spomenutih organizacija i sveučilišta na kojima se počeo proučavati snijeg dovelo je do velikog iskoraka u tom znanstvenom polju. Nadalje, tijekom Drugog svjetskog rata fokus je bio na istraživanjima utjecaja snijega na zračni i cestovni promet. Nakon rata glavni interes znanstvenika ponovno postaje snježna hidrologija, stoga se dosta istraživanja fokusira na razvoj i implementaciju hidroloških modela pomoću kojih bi se prognozirao proljetni protok. Najviše takvih istraživanja provodilo se na zapadnom dijelu SAD-a zbog iskorištavanja vodnih resursa. Jedna od značajnijih tamošnjih institucija koje su dale svoj doprinos istraživanju snijega je Central Sierra Snow Laboratory, osnovan 1943. godine. Četvrta, posljednja faza, započinje 1970. godine i traje sve do danas. Obilježava ju široka upotreba računala čime je omogućen brži razvoj preciznih matematičkih modela i novih metoda kojima se mjere i analiziraju snježni parametri. Navedeno podrazumijeva i korištenje RADAR-a, satelitskih snimki (MODIS), gridova s podacima o visini snijega, temperaturi i količini padalina što je posebno važno u predjelima sa slabo razvijenom mrežom meteoroloških i hidroloških postaja (Colbeck, 1987).

Povezanost i uloga snježnog pokrivača u riječnom protoku mogu se istražiti putem više metoda. Kompleksnije metode uključuju primjenu modela poput Snowmelt Runoff Modela (SRM), koji je ujedno jedan od najkorištenijih, dok jednostavnije metode najčešće podrazumijevaju korelacijske i regresijske analize. SRM se obično koristi za istraživanja u kratkom vremenskom razdoblju, primjerice za jednu ili nekoliko hidroloških godina, s obzirom

da se sam model koristi za prognoziranje vrijednosti protoka potaknutog kopnjenjem snijega (Abudu i dr., 2012). U Europi su ga primijenili Siedel (1989) u švicarskim Alpama, u talijanskim Swamy i Brivio (1996), a u austrijskim Nagler i Rott (1999).

Fayad i dr. (2017) napravili su pregled provedenih istraživanja u snježnoj hidrologiji na prostorima sa sredozemnom klimom kako bi raspravili postojeće znanje o snježnom pokrivaču, ali i razmotrili metode koje bi se u takvim istraživanjima mogle provesti u budućnosti. Pregledom znanstvenih radova na temu snježne hidrologije objavljenih u razdoblju 1913. – 2016. došli su do zaključka da trajanje snježnog pokrivača najviše ovisi o nadmorskoj visini i količini padalina i da je vrlo promjenjivo u vremenu i prostoru.

Hidrološka uloga snijega na prostoru europskog dijela Mediterana najviše je istraživana u Alpama i Pirenejima. Bavay i dr. (2013) istraživali su utjecaj na snježni pokrivač u Alpama u istočnoj Švicarskoj i izradili projekcije kojima predviđaju njegovu dinamiku u budućnosti za razdoblja 2021. – 2050. i 2070. – 2095. Penna i dr. (2016) su u talijanskim Dolomitima istraživali mehanizme koji utječu na proljetni protok. Na prostoru Pireneja tim problemom su se bavili Masachs (1948), Rijckborst (1967), Alvera i Garcia-Ruiz (2000), Caballero i dr. (2003). Lopez-Moreno i Garcia-Luiz (2004) su putem modela multiple regresije ispitali ulogu padalina i snježnog pokrivača u protoku rijeka u Španjolskoj. Rezultati ovog rada upućuju na statistički značajno opadanje zimskog i proljetnog protoka na središnjim Pirenejima u drugoj polovici 20. stoljeća. Autori su jedan i drugi pad povezali s istovremenim padom u zimskim padalinama na istraživanom području jer smanjenje količine kiše zimi znači i smanjenje zimskog protoka, a smanjenje snježne akumulacije tijekom zime uvjetuje trend opadanja u proljetnom protoku.

## **2.1. Istraživanja u Hrvatskoj**

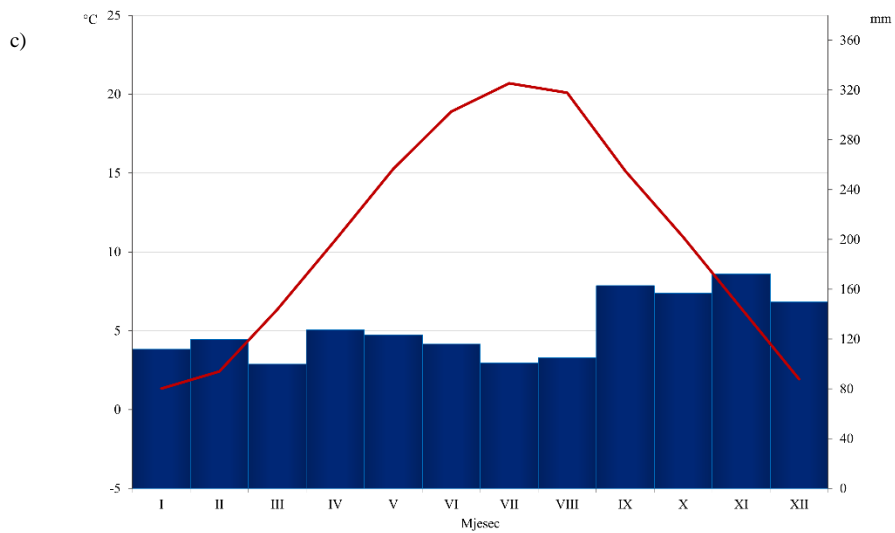
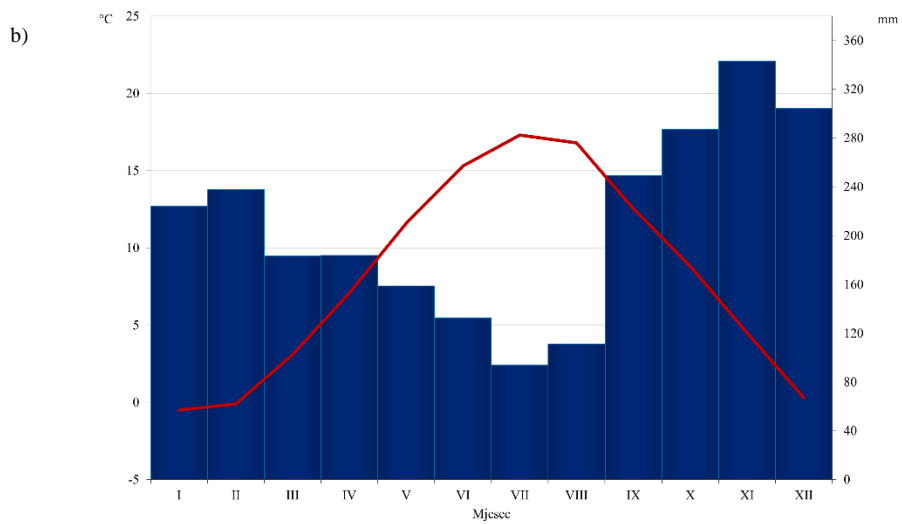
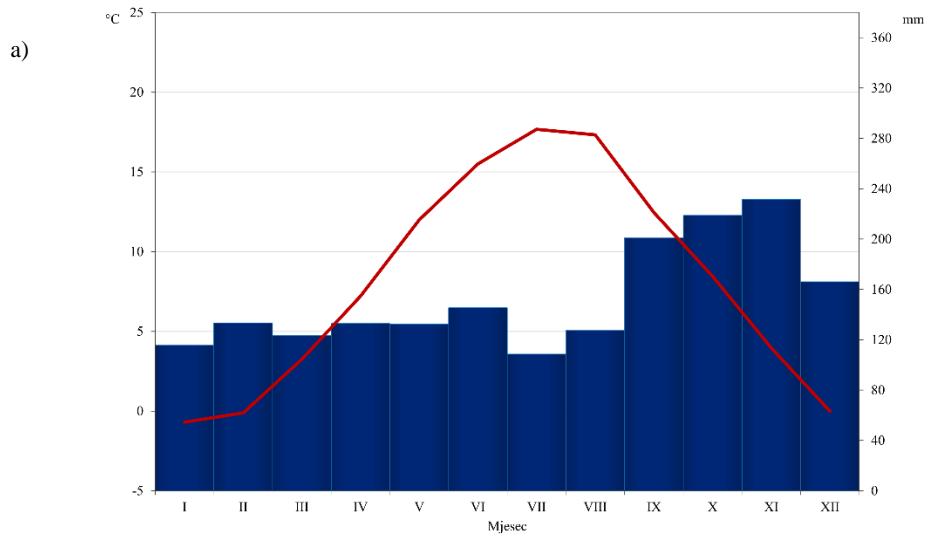
Snježni pokrivač u Hrvatskoj je slabo istraživana. Šegota (1956) je istraživao zaštitno djelovanje snijega od utjecaja hladnih zračnih masa. Zaninović i dr. (2001) su istraživali karakteristično opterećenje snijegom što je vrlo važno pri projektiranju konstrukcija. Poticaj za istraživanje hidrološke uloge snijega dali su Bonacci i dr. (2012) koji su istraživali promjene u maksimalnoj visini snijega, broju snježnih dana i trajanju snježnog pokrivača za prostor dijela Gorske i Nizinske Hrvatske. Naglasili su ulogu snijega u hidrologiji.

Od hidroloških istraživanja na prostoru porječja Kupe potrebno je izdvojiti Pavlič i dr. (2017) su se bavili trend analizom srednjih godišnjih i maksimalnih godišnjih protoka u razdoblju 1951. – 2013. na 6 hidroloških postaja na tekućicama porječja Kupe kako bi utvrdili promjene godišnjih protoka u odnosu na porast temperature. Čanjevac i Orešić (2015) su analizirali trend srednjih godišnjih protoka u razdoblju 1990. – 2009. na 53 hidrološke postaje. Autori su utvrdili porast u vrijednostima proljetnog protoka na Donjoj Dobri i Donjoj Mrežnici, s tim da je najveći porast među postajama uključenim u istraživanje zabilježen na postaji Turkovići (Gornja Dobra).

### **3. KLIMATSKA I HIDROLOŠKA OBILJEŽJA**

#### **3.1. Klimatska obilježja**

Prema Köppenovoj klimatskoj klasifikaciji istraživani dio porječja Kupe nalazi se u zoni umjereno tople vlažne klime s toplim ljetima (Cfb). Srednje godišnje amplitude temperature nigdje ne prelaze 25 °C. Srednja temperatura zraka najhladnijeg mjeseca (siječanj) nije niža od -3 °C, a srednja temperatura najtoplijeg mjeseca (srpanj) nije viša od 22 °C (Sl.1). Kako se porastom nadmorske visine temperatura zraka smanjuje, tako je na višim postajama (Parg, Vrelo i Lokve Brana) srednja siječanjska temperatura niža od 0 °C. Količina padalina raspodijeljena je kroz čitavu godinu s vidljivim jesenskim maksimumom na svim postajama (zbog učestalih jesenskih ciklona). Gorski je kotar kraj koji u Hrvatskoj prima najviše padalina zbog izloženosti prolasku ciklona i orografskog efekta. Količina padalina, kao i temperatura zraka, raste s porastom nadmorske visine. Od analiziranih postaja najviše padalina primaju Vrelo Ličanke i Lokve brana, s obzirom da su izloženije maritimnom utjecaju od ostalih postaja. Slijedi ih Parg koji prima nešto manje padalina jer je smješten u zavjetrini dalje u unutrašnjosti.



Sl.1. Godišnji hod temperature zraka i količine padalina za postaje: a) Parg, b) Vrelo Ličanke i c) Ogulin u razdoblju 1989. – 2018.

Gorski kotar i Lika izdvajaju se kao prostori s najduljim trajanjem snježnog pokrivača u Hrvatskoj. Snijeg zapravo pada pri relativno višim temperaturama, najčešće kada je temperatura nešto ispod 0 °C. Nastupanje hladnijeg vremena nakon padanja snijega uvjetuje njegovo zadržavanje (Šegota i Filipčić, 1996).

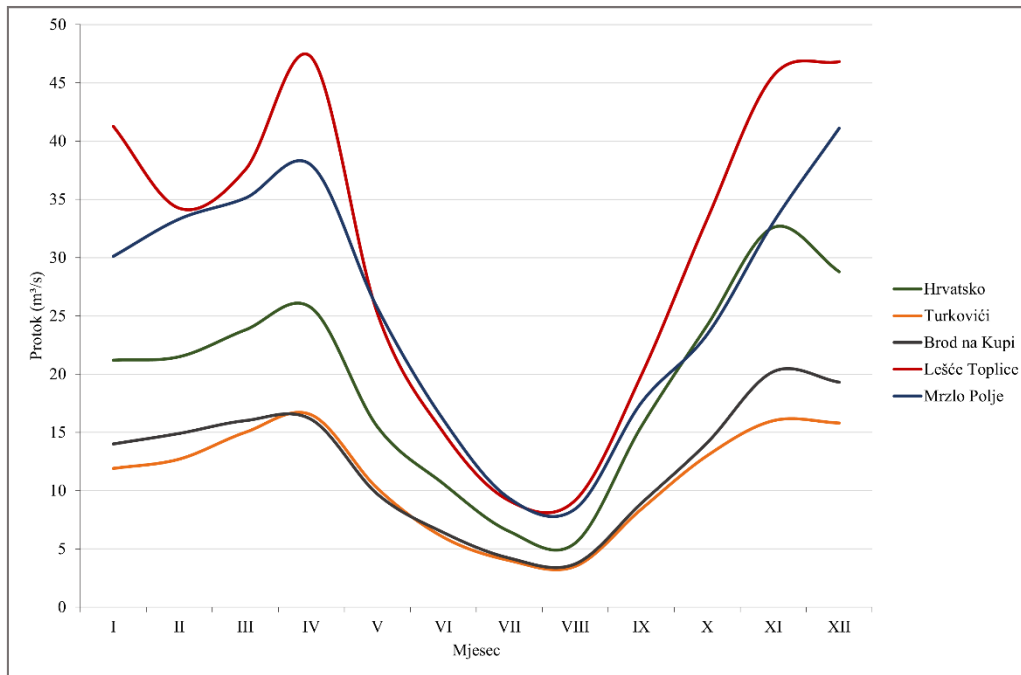
Vrijednosti koje kvantitativno opisuju snježni pokrivač i čije se promjene mogu pratiti u određenom vremenskom razdoblju su visina, gustoća i prosječni sadržaj vode (vodni ekvivalent). Sadržaj vode (u mm) jednak je umnošku gustoće i visine snijega. U stvarnosti je odnos između navedena tri elementa kompleksan i razlikuje se ovisno o fazama akumulacije i ablacije. Ukoliko snijeg pada, odnosno na postojeći snježni pokrivač naliježe novi snijeg tada se ukupnom volumenu snijega gustoća smanjuje. Ako snijeg ne pada, odnosno postojeći pokrivač kopni, tada mu se gustoća i sadržaj vode povećavaju jer voda od rastaljenog snijega na vrhu prodire dublje u pokrivač (McCreight i Small, 2014). U Hrvatskoj se mogu izdvojiti dva područja s tipičnim gustoćama snijega: nizinska Hrvatska sjeverno od Save i Kupe s prosječnom gustoćom snijega od 190 kg/m<sup>3</sup> i planinsko područje Like i Gorskog kotara s gustoćom snijega od 240 kg/m<sup>3</sup>. Snježni pokrivač je gušći, odnosno sadržaj vode je veći na postajama smještenim bliže moru zbog izloženosti vlažnim zračnim masama pa je i snijeg bogatiji vodom (Zaninović i dr., 2001). Za analizu hidrološke uloge snijega važan je sadržaj vode kako bi se pouzdano procijenila količina vode uskladištena u snježnom pokrivaču (Bonacci i dr., 2012). Problem u ovakvim istraživanjima javlja se kada su podaci o sadržaju vode nepotpuni, kao što je riječ u ovom slučaju, ili kada se uopće ne mjere.



### 3.2. Hidrološka obilježja

U ovu analizu uključene su rijeke Kupa, Kupica, Gornja Dobra, Donja Dobra i Donja Mrežnica. Najdulja tekućica je Kupa s duljinom od 297 km od izvora do ušća u Savu kod Siska, dok su Kupica i Dobra njezini pritoci. Od ostalih pritoka potrebno je spomenuti Čabranku koja se u Kupu ulijeva nešto uzvodnije. Rijeka Dobra je ponornica i dijeli se na Gornju i Donju Dobru. Gornja Dobra izvire kod Skrada i do izgradnje hidroelektrane Gojak 1957. godine ponirala je u Đulinom ponoru, a nakon izgradnje vodeni tok je skrenut (Pavličić i dr., 2017). Nizvodno od hidroelektrane Gojak naziva se Donja Dobra. Na Donjoj Dobri 2010. izgrađena je hidroelektrana Lešće. Osim HE Gojak i HE Lešće, unutar istraživanog područja nalaze se HE Zeleni Vir na potoku Curak koji se ulijeva u Kupicu (HE je puštena u promet 1921. godine) te HE Ozalj na Kupu koja se sastoji od dvije odvojene hidroelektrane Ozalj 1 i Ozalj 2 ([URL1](#)). Istraživani dio porječja Kupe nalazi se dobrim dijelom na krškom terenu, što znači da se dio otjecanja odvija podzemno. Površinska riječna mreža vezana je za stare nepropusne paleozojske stijene koje u sebi sadrže glinenu komponentu. Infiltraciju direktno u podzemlje omogućavaju propusne mezozojske karbonatne stijene (vapnenac) (Pavličić i dr., 2017).

Analizirane tekućice imaju složeni dinarski kišno-snježni režim (Čanjevć, 2013). U godišnjem hodu protoka u razdoblju 1989. – 2018. vidljiva su dva maksimuma i dva minimuma. Prvi maksimum (ako se gleda od početka hidrološke godine u 10. mjesecu) je jesenski kada je porast protoka posljedica velikih količina kiše uslijed učestalog prolaska ciklona. Jesenski maksimum u prosjeku se javlja u studenom na postajama Hrvatsko, Turkovići i Brod na Kupu, odnosno u prosincu na postajama Lešće Toplice i Mrzlo Polje, nakon čega vrijednosti protoka blago padaju i najniže vrijednosti poprime u veljači (slabo izraženi sekundarni minimum). U ožujku protok ponovno raste te se u prosjeku u travnju javlja sekundarni maksimum koji je posljedica kopnjenja snijega. Obično se javlja u prvoj polovici travnja nakon čega vrijednosti protoka naglo padaju. Proljetni maksimum, kao što se vidi na sl. 2, nešto je slabije izražen od jesenskog. Glavni minimum padalina javlja se u kolovozu zbog relativno niske količine padalina ljeti.



Sl.2. Srednje mjesečne vrijednosti protoka za postaje Hrvatsko, Turkovići, Brod na Kupu, Lešće Toplice i Mrzlo Polje za razdoblje 1989. – 2018.

## 4. PODACI I METODOLOGIJA

### 4.1. Podaci

Podaci o dnevnim vrijednostima temperature zraka, količine padalina, visine snijega, prosječnog sadržaja vode i broja dana sa snijegom  $\geq 1$  cm prikupljeni su od strane DHMZ-a te su isti i dobiveni slanjem zahtjeva. Za analizu su odabrane meteorološke postaje Parg i Ogulin, klimatološke postaje Vrelo Ličanke, Lokve Brana i Bosiljevo te hidrološke postaje Hrvatsko, Brod na Kupu, Turkovići, Lešće Toplice i Mrzlo Polje (Sl.3). Podaci su prikupljeni za tridesetogodišnje razdoblje 1989. – 2018. Na hidrološkim postajama Hrvatsko, Turkovići i Lešće Toplice postoje prekidi u kontinuitetu podataka. Na postaji Hrvatsko prekid je od 16.8.1996 do 31.5.1997. Na postaji Turkovići od 5.6.1995. do 29.1.1996., zatim od 10.6.1996. do 28.2.1997., a na postaji Lešće od 29.6. do 31.12.2009. Podaci o mjesečnom i godišnjem NAO indeksu preuzeti su sa stranica instituta Nacional Center for Atmospheric Research (NCAR).

Visina snijega mjeri se pomoću letve (snjegomjera) svaki dan u 7 sati po SEV-u i očitava se u centimetrima. Postupak mjerenja prosječnog sadržaja vode u snijegu (vodnog ekvivalenta snijega) nešto je teži. Prvo se određuje gustoća snježnog pokrivača koja se mjeri svakog 5. dana kada je visina snijega jednaka ili veća od 5 cm i posljednjeg dana u mjesecu. Mjeri se pomoću snjegomjerne vage i Hellmanove vadicice. Sadržaj vode dobije se množenjem gustoće (masa/volumen) i visine snijega (h). Mjerenja vodenog ekvivalenta obavljaju se na 13 postaja u RH, od čega su četiri smještene unutar istraživanog područja: Parg, Ogulin, Lokve i Vrelo Ličanke (Katušin i dr., 2008). Postaja Lokve prestala je s radom 2015. godine, pa su svi meteorološki podaci analizirani zaključno s tom godinom, a postaja Vrelo Ličanke bila je investitorska i vodeni ekvivalent snijega prestao se mjeriti još 90-ih godina. Kako su podaci o vodenom ekvivalentu nepotpuni i postupak interpolacije istih nije jednostavan, nisu se koristili pri ovom istraživanju.



Sl.3. Geografski smještaj analiziranih meteoroloških i hidroloških postaja

## 4.2. Metodologija

Metode korištene za izradu ovog rada obuhvaćaju proučavanje postojeće literature vezane uz snježnu hidrologiju, prikupljanje, analizu, vizualizaciju i interpretaciju podataka.

Od dnevnih vrijednosti visine snijega, količine padalina i protoka izračunate su kumulativne 10-dnevne i mjesečne vrijednosti, dok je od dnevnih vrijednosti temperature zraka izračunata srednja mjesečna temperatura zraka. Kumulativne vrijednosti visine snijega korištene su da se izbjegne dijeljenje sa danima bez snijega na tlu prilikom računanja srednjaka, ali i da bude „u skladu“ s kumulativnom mjesečnom padalinom koja se obično koristi u klimatskim istraživanjima. Kako bi se detektirao trend u nizovima podataka proveden je Mann-Kendallov test na mjesečnom broju dana sa snijegom  $\geq 1$  cm, kumulativnoj mjesečnoj visini snijega, kumulativnoj mjesečnoj padalini i srednjoj mjesečnoj temperaturi zraka za razdoblje studeni-travanj i za kumulativnu mjesečni protok u razdoblju siječanj-travanj. Nadalje, kako bi se bolje uvidjeli trendovi krajem zime i početkom proljeća, isti test proveden je i na 10-dnevnim vrijednostima kumulativne visine snijega u razdoblju siječanj – travanj, kumulativne padaline i kumulativnog protoka u razdoblju ožujak – travanj.

Kako bi se uvidjela podrazdoblja sa sličnim obilježjima nizovi mjesečnog broja snježnih dana, kumulativne mjesečne visine snijega, srednjeg kumulativne visine snijega, srednje kumulativne padaline i srednjeg kumulativnog protoka u razdoblju siječanj-svibanj dodatno su preoblikovani putem RAPS metode i grafički prikazani. RAPS metoda koristi se za analizu trenda i fluktuacija u vremenskim nizovima (Prskalo i Žužul, 2019). Provodi se tako što se niz prvo standardizira prema izrazu  $Z=(x_1-MEAN)/STD$ , gdje je  $x_1$  individualna vrijednost, MEAN aritmetička sredina podataka u nizu, a STD standardna devijacija. Nakon standardiziranja, vrijednosti se zbroje, pa je izraz za izračunavanje RAPS vrijednosti sljedeći (Prskalo i Žužul, 2019):

$$RAPS_k = \sum_{t=1}^k \frac{x_1 - MEAN}{STD}$$

Dobiveni  $RAPS_k$  niz prikazan je grafički, čime se vide trendovi i podrazdoblja sa sličnim obilježjima.

#### 4.2.1 Analiza trenda

Za analizu trenda primijenjen je Mann-Kendallov test za statističku procjenu monotonih trendova (Hirsch i dr., 1982; Hirsch i Slack, 1984; Prskalo i Žužul, 2019 ). Monotoni trend znači da neka varijabla tijekom vremena konstantno raste ili konstantno pada. Taj često korišten neparametrijski test uspoređuje prethodne (ranije izmjerene) vrijednosti u nizu podataka ( $n$ ) sa sljedećima (kasnije izmjerenim) polazeći od osnovne pretpostavke da svaka vrijednost može biti manja, veća ili jednaka nekoj drugoj vrijednosti. Ne zahtijeva da podaci budu normalno raspoređeni, „dozvoljene“ su nedostajuće vrijednosti u nizu i krajnji rezultat neće ovisiti o transformacijama podataka (npr. pretvaranju dnevnih vrijednosti u srednje mjesečne). Za provođenje testa potrebno je oduzeti svaku sljedeću vrijednosti u nizu ( $x_i$ ) od vrijednosti koja joj prethodi ( $x_j$ ) te se rezultat označava s 1 ukoliko je sljedeća vrijednost veća od prethodne, 0 ukoliko su vrijednosti jednake i -1 ako je sljedeća vrijednosti manja od prethodne (Meals i dr., 2011). Statistika testa S dobije se kada se svi rezultati u nizu zbroje (Meals i dr., 2011):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i)$$

gdje  $\text{sign}(x_j - x_i)$  ima vrijednosti -1, 1 ili 0.

Ako je S značajno različit od 0 upućuje na prisutnost monotonog trenda u nizu podataka. Ukoliko je S pozitivan broj upućuje na pozitivan trend, a ako je negativan broj upućuje na negativan trend. (Meals i dr., 2011).

Osim parametra S potrebno je izračunati statistiku Z ili ZMK kako bi se prema njoj odredila prisutnost statistički značajnog trenda u nizu podataka, odrediti razinu značajnosti i kritične granice (Prskalo i Žužul, 2019). ZMK (ili samo Z) se dobije prema sljedećoj formuli (Hirsch i dr., 1982; Wang i dr., 2020):

$$\begin{aligned}
ZMK &= \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, \text{ ako je } S>0, \\
&= \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}, \text{ ako je } S<0, \\
&= 0, \text{ ako je } S=0
\end{aligned}$$

Prilikom provođenja testa korištena je razina značajnosti  $\alpha=0,05$ . Razina značajnosti definira granice (interval pouzdanosti) prema kojima se početna ili nul-hipoteza prihvaća, odnosno odbacuje. Interval pouzdanosti u ovom slučaju iznosi  $-1.96 < ZMK < 1.96$ . Ukoliko je vrijednost testa veća od 1.96 ili manja od -1.96, početna hipoteza se prihvaća (Prskalo i Žužul, 2019). U kombinaciji s vrijednosti ZMK koristi se p vrijednost koja može biti veća ili manja od 0,05 te nam ona direktno pokazuje treba li hipotezu prihvatiti ili odbaciti. Ukoliko je vrijednost manja od 0,05 hipoteza se odbacuje (jer je vjerojatnost da je počinjena greška tipa I, odnosno odbacivanje nul-hipoteze kad je treba prihvatiti, manja od 5 %). Hipoteze, početna i alternativna glase ovako:

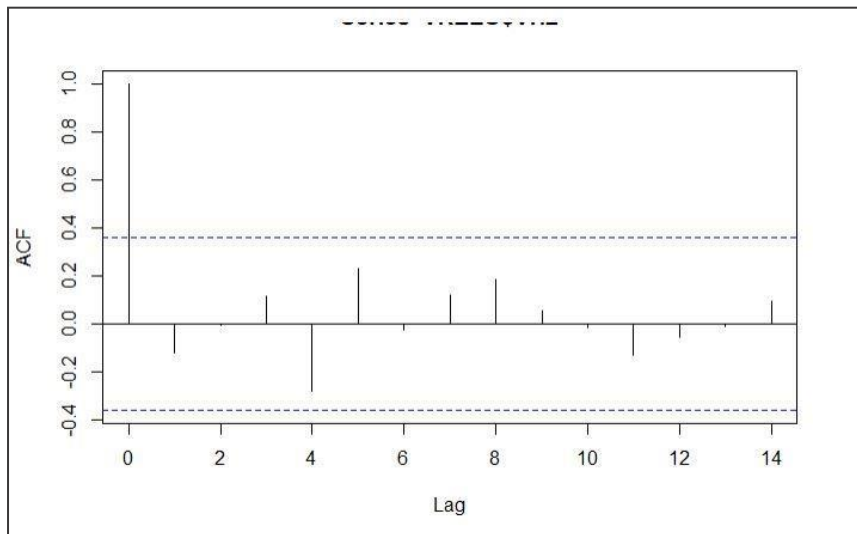
H0: Nema statistički značajnog trenda u nizu podataka.

HA: Postoji statistički značajan trend u nizu podataka.

Mann-Kendallov test ima jedan uvjet, a to je da u nizu podataka nema autokorelacije. Autokorelacija je povezanost podataka sa samima sobom, odnosno ona pokazuje da je vrijednost prethodnog podatka u nizu povezana sa vrijednosti sljedećeg. Kako bi rezultati bili precizniji, prije samog računanja, za svaku varijablu za koju se računao test napravljen je ACF dijagram kako bi se utvrdila prisutnost autokorelacije. S obzirom da su podaci podijeljeni u odgovarajuće razrede (mjesečne, desetodnevne vrijednosti), primjenom funkcije `acf()` u programu R Studio autokorelacija nije utvrđena ni na jednom skupu podataka.

Na ACF dijagramu Lag je vremenski odmak, a plave linije predstavljaju kritične vrijednosti (Sl. 4). Autokorelacija na Lag = 0 iznosi 1 jer se niz testira sa samim sobom bez vremenskog odmaka. Vremenski odmak koji je za potrebe ovog istraživanja značajan je Lag=1 koji predstavlja razmak od jedne godine između dvije vrijednosti. Ukoliko vertikalna linija prelazi plavu, autokorelacija je na tom vremenskom odmaku značajna. Dok je autokorelacija

testirana pomoću funkcije `acf()`, Mann Kendallov test proveden je putem funkcije `mk.test()` koja se nalazi unutar paketa *trend*, u programu R Studio.



Sl. 4. Primjer ACF dijagrama za kumulativnu visinu snijega u veljači za postaju Vrelo Ličanke u razdoblju 1989. – 2019.

#### 4.2.2 Korelacijska analiza

Spearmanov koeficijent korelacije korišten je kako bi se kvantitativno opisala monotona veza između dviju varijabli. Monotona veza između dviju varijabli  $x$  i  $y$  opisana je na sljedeći način: ako vrijednost  $x$  varijable raste, raste i vrijednost  $y$  varijable i obrnuto. Ukoliko vrijednost  $x$  varijable raste, a  $y$  varijable pada, onda veza između njih nije monotona. Sam test ne zahtijeva da podaci budu normalno raspoređeni, ali uvjet je da nema autokorelacije i da komponenta trenda nije prisutna (Artusi i dr., 2002).

Koeficijent  $R$  poprima vrijednosti između  $-1$  i  $1$  (Tab. 1). Korištena je razina značajnosti od  $5\%$ , a postavljene su hipoteze:

$H_0$ : Nema statistički značajne povezanosti između dviju varijabli

$H_A$ : Postoji statistički značajna povezanost između dviju varijabli

Tab. 1. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije i jačina povezanosti

r	Jakost povezanosti
0.00-0.19	Jako slaba
0.20-0.39	Slaba
0.40-0.59	Umjerena
0.60-0.79	Jaka
0.80-1.00	Vrlo jaka

Izvor: (Schober i dr., 2018)

Korelacija je testirana između kumulativne mjesečne visine snijega i srednje mjesečne temperature zraka, kumulativne mjesečne padaline i kumulativnog mjesečnog protoka, između kumulativne mjesečne visine snijega i kumulativnog mjesečnog protoka te između NAO indeksa i svih prethodno navedenih varijabli. Kako bi se izbjegla pseudokorelacija, prije provođenja korelacije pomoću modela linearne regresije uklonjena je komponenta trenda. Uklanjanje trenda provedeno je pomoću funkcije `lm()`, a Spearmanov koeficijent korelacije pomoću funkcije `cor.test()`, oboje u programu R Studio.

## 5. REZULTATI I RASPRAVA

### 5.1. Broj dana sa visinom snijega $\geq 1$ cm

Kada je riječ o broju dana i trajanju snježnog pokrivača potrebno je razlikovati nekoliko termina: godišnji broj dana sa snijegom  $\geq 1$  cm, trajanje snježnog pokrivača (broj dana u kojemu se snježni pokrivač održao na tlu, može biti prekinuto razdobljima bez snijega) i broj dana s neprekinutim snježnim pokrivačem (neprekidno trajanje snježnog pokrivača na tlu) (Šegota i Filipčić, 1996).

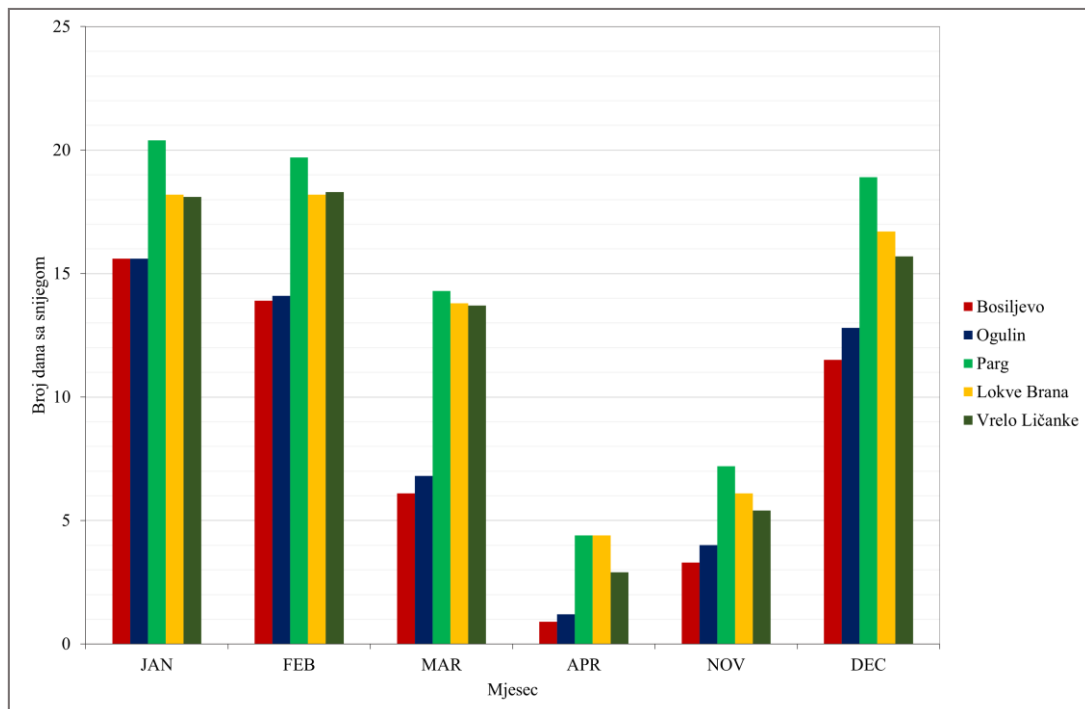
Prostorna varijabilnost prosječnog broja dana sa snijegom  $\geq 1$  cm je jednostavna i logična; veći broj dana sa snijegom imaju postaje smještene na većoj nadmorskoj visini, stoga je jasno vidljiva razlika između, primjerice, broja snježnih dana na postaji Ogulin i broja snježnih dana na postaji Parg (Tab. 2). Postaje Parg, Vrelo i Lokve imaju 25 do 30 snježnih



dana više nego postaje Ogulin i Bosiljevo. U prosjeku, mjesec s najvećim brojem snježnih dana je siječanj. Tako u siječnju na postajama Ogulin i Bosiljevo u prosjeku bude 15 snježnih dana, na postajama Lokve i Vrelo Ličanke 18, a na postaji Parg 20. Na postajama Lokve i Vrelo siječanj i veljača u prosjeku imaju jednak broj snježnih dana (Sl. 5).

Tab. 2. Srednji godišnji broj snježnih dana i nadmorska visina (Nmv) na odabranim meteorološkim postajama u razdoblju 1989. – 2018.

Postaja	Nmv (m)	Broj dana $\geq 1$ cm
Parg	863	86
Ogulin	328	55
Lokve	774	79
Vrelo	750	75
Bosiljevo	207	52



Sl. 5. Srednji mjesečni broj dana sa snijegom  $\geq 1$  cm za postaje Bosiljevo, Ogulin, Lokve Brana, Parg i Vrelo Ličanke u razdoblju 1989. – 2018.

Jesenski broj snježnih dana (studeni) pokazuje negativan trend na postajama Lokve, Parg i Bosiljevo, međutim nije statistički značajan (Tab. 3). Trend u prosincu postoji i on je opadajući za sve postaje, dok je samo na postaji Ogulin statistički značajan. Takve negativne vrijednosti upućuju na sve rjeđu pojavu snijega na početku snježne zime (snježna zima je razdoblje između prvog i posljednjeg snježnog pokrivača koji je jednoliko prekrivao tlo i može biti prekinuta razdobljima bez snijega (Šegota i Filipčić, 1996)). U siječnju su također zabilježeni negativni trendovi, no nisu statistički značajni. Na postaji Ogulin može se reći da trenda u siječnju nema. U veljači su zabilježeni pozitivni trendovi, no ni oni nisu statistički značajni. U travnju se bilježe se negativni trendovi koji su statistički značajni samo na postajama smještenim na većoj nadmorskoj visini (Parg, Lokve i Vrelo). Monotoni negativni trendovi ukazuju da je pojava snijega u travnju iz godine u godinu sve rjeđa na svim postajama. Značajna promjena u snježnom pokrivaču na većim visinama može ukazivati da je osjetljiviji na promjene od snijega na nižim nadmorskim visinama, odnosno da temperatura zraka na tim postajama u travnju više ne ostaje dovoljno niska da snijeg pada ili da se zadrži.

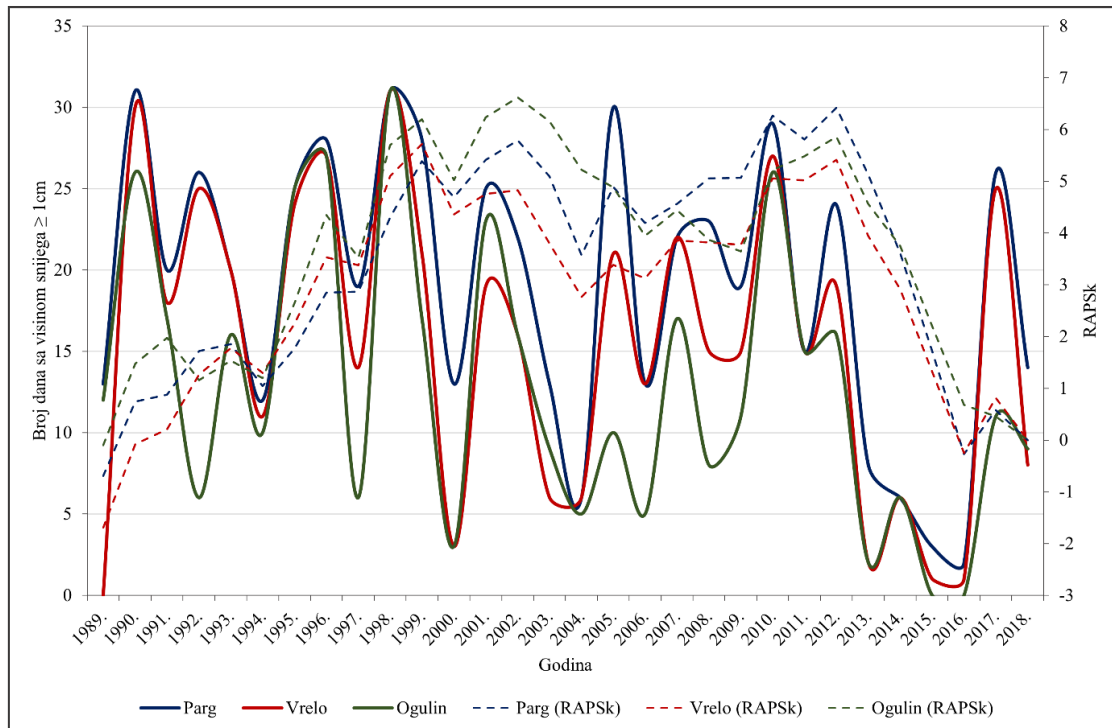
Tab. 3. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike za ukupni mjesečni broj dana sa snijegom  $\geq 1$  cm za odabrane postaje u razdoblju 1989. – 2018.

Postaja	ZMK_XI	ZMK_XII	ZMK_I	ZMK_II	ZMK_III	ZMK_IV
Parg	-0.99	-1.86	-0.39	1.5	0.29	-2.32
Ogulin	-0.09	-2.24	-0.02	1.48	0.76	-0.83
Lokve	-1.01	-1.76	0.23	1.53	1.13	-2.03
Bosiljevo	-0.37	-1.75	0.25	1.38	0.63	-0.94
Vrelo	-0.05	-1.64	0.14	1.3	0.84	-2.07

\*crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

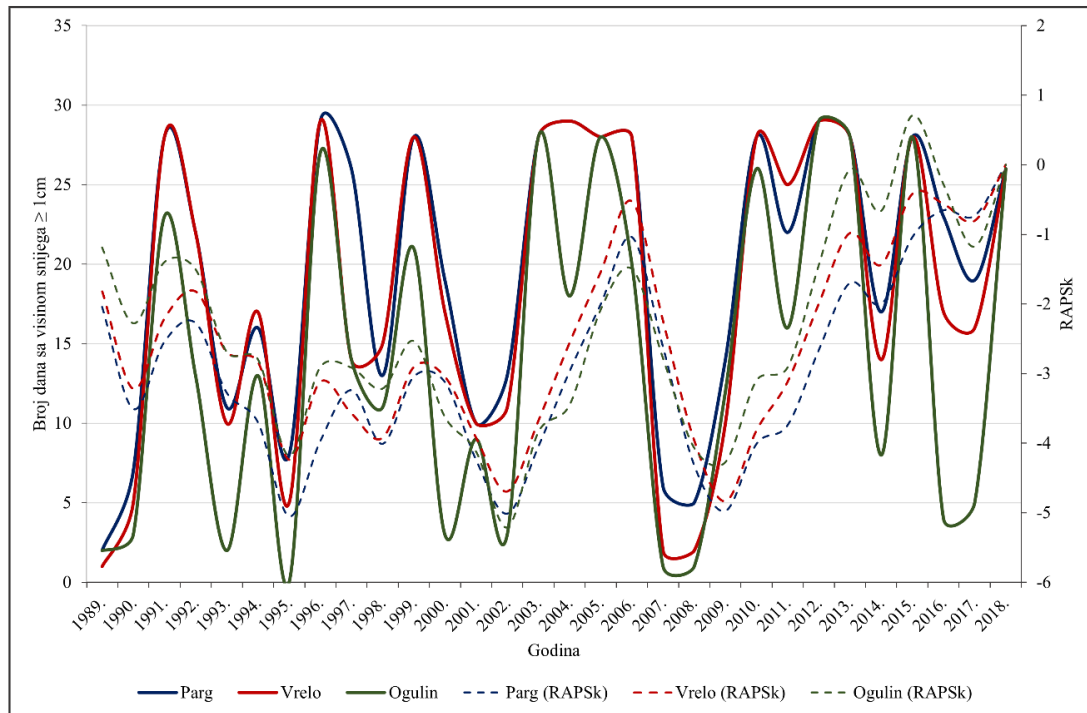
Broj dana sa snijegom ima veliku vremensku varijabilnost koja može zakamufirati dugoročne trendove (Meals i dr., 2011). Nizovi podataka preoblikovani putem RAPS metode pokazuju više podrazdoblja unutar kojih su godine sa sličnim trendom broja snježnih dana. RAPS metodom preoblikovani su nizovi podataka za prosinac kao mjesec u kojem se u prosjeku bilježi prvi značajniji snježni pokrivač (koji traje dulje od tjedan dana na svim postajama) i kao mjesec u kojem su zabilježeni negativni trendovi na svim postajama, za veljaču kao još jedan zimski mjesec u kojem su zabilježeni pozitivni trendovi na svim postajama te za travanj kao proljetni mjesec u kojem su zabilježeni negativni trendovi u broju dana sa snijegom na svim postajama.

U razdoblju 1989. – 2003. grafički prikaz RAPS vrijednosti ukazuje na trend rasta broja dana sa snijegom  $\geq 1$  cm u prosincu (Sl. 6). Međutim, kada se to uspoređi sa stvarnim vrijednostima, vidljivog rasta zapravo i nema, već se može reći da su godine kada se snijeg u prosincu zadržavao skoro cijeli mjesec (prosinač) u tom razdoblju bile češće, barem na višim postajama. Godišnja varijabilnost je u tom razdoblju također bila velika, pa su jednako česte bile i godine kada se snijeg zadržavao manje od 20 dana. U razdoblju 2003. – 2012./2013. godišnja varijabilnost bila je manja, ali je i broj dana sa snijegom bio nešto manji. Usporedbe radi, u razdoblju 1989. – 2002. prosječni broj snježnih dana u prosincu na postaji Parg bio je 22, na postaji Vrelo 18, a na postaji Ogulin 17. U razdoblju 2003. – 2013. na postaji Parg je u prosjeku bilo 18 snježnih dana, na postaji Vrelo 15, a na postaji Ogulin 11. Nagli pad nastupa u razdoblju 2010. – 2018. U godinama 2013. – 2016. snježni pokrivač u prosincu se na svim postajama zadržao manje od tjedan dana, dok na postaji Ogulin 2015. i 2016. uopće nije bilo snijega. Izuzetak u tom razdoblju predstavlja 2017. godina kada je na postajama Vrelo i Parg snijega bilo skoro cijeli mjesec, no na postaji Ogulin se iste godine pokrivač zadržao oko 10 dana. Ako se pak uspoređi srednji broj dana sa snijegom u desetljeću 1989. – 1998. sa srednjim brojem snježnih dana u desetljeću 2009. – 2018., na sve tri postaje je u prosjeku 8 prosinačkih snježnih dana manje u razdoblju 2009. – 2018.



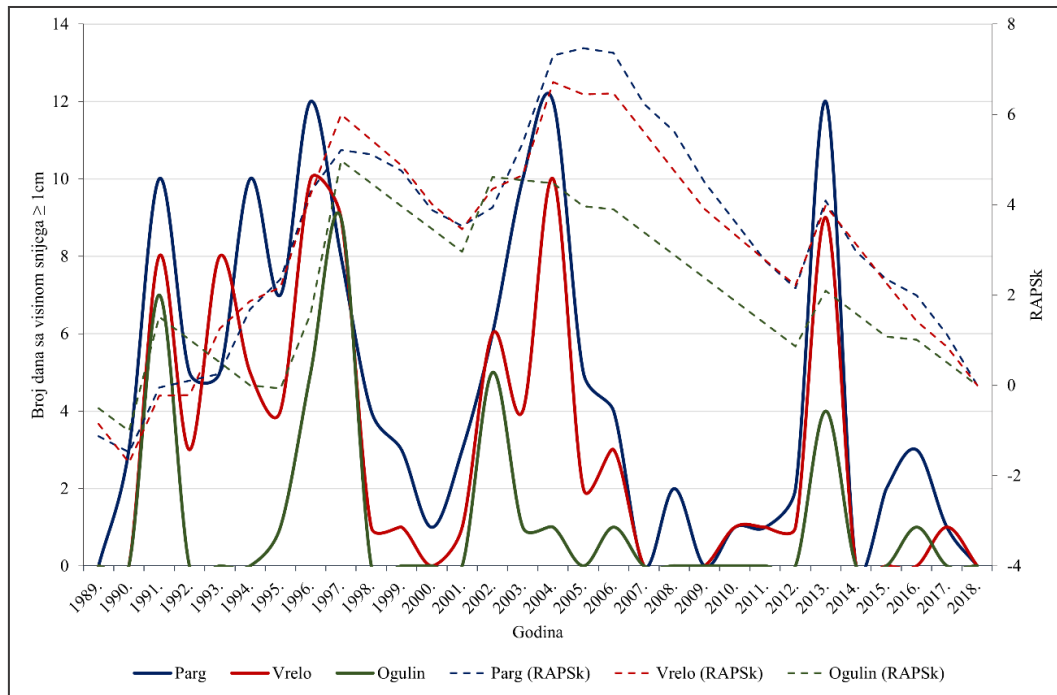
Sl. 6. Mjesečni broj dana sa visinom snijega  $\geq 1$  cm u prosincu za postaje Parg, Vrelo Ličanke i Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. Isprekidane linije predstavljaju RAPS vrijednosti nizova.

Broj dana sa snijegom u veljači također je promjenjiv, no ističu se znatniji padovi 1995., 2001. i 2008. kada je broj dana na sve tri postaje bio ispod 10 (Sl. 7). RAPS niz ukazuje da je broj snježnih dana u razdoblju 2008. – 2018. relativno veći od broja snježnih dana tijekom 90-ih godina. Prosječni broj snježnih dana u veljači u razdoblju 1989. – 1998. iznosio je 16 na postaji Parg, na postaji Vrelo 15, a na postaji Ogulin 11. U razdoblju 2009. – 2018. na postaji Parg u prosjeku je bilo 23 snježna dana u veljači, na postaji Vrelo 22, a na postaji Ogulin 18. Međutim u razdoblju 2013. – 2018. nazire se blago opadanje koje je nešto izraženije na postaji Ogulin.



Sl. 7. Mjesečni broj dana sa visinom snijega  $\geq 1$  cm u veljači za postaje Parg, Vrelo Ličanke i Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. Isprekidane linije predstavljaju RAPS vrijednosti nizova.

Travanjski broj dana sa snijegom  $\geq 1$  cm bio je relativno visok na svim postajama tijekom 90-ih s blagim rastom na postajama Parg i Vrelo (Sl. 8). Krajem 90-ih i početkom 2000-ih dolazi do naglog pada, da bi 2002. – 2005. broj dana opet bio razmjerno velik. Od 2005. do 2018. vidljivo je smanjenje broja dana sa snijegom, sve je više godina u kojima u travnju uopće nema snijega, a kad ga ima obično se zadrži do 3 ili 4 dana. Jedini izuzetak predstavlja 2013. godina kada je broj snježnih dana na postajama Parg i Vrelo bio sličniji vrijednostima iz 90-ih godina. Na postajama Parg i Vrelo u travnju u razdoblju 1989. – 1998. bilo je u prosjeku 6 snježnih dana, dok je u razdoblju 2009. – 2018. na postaji Parg 2, a na postaji Vrelo 1 snježni dan u prosjeku.



Sl. 8. Mjesečni broj dana sa visinom snijega  $\geq 1$  cm u travnju za postaje Parg, Vrelo Ličanke i Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. Isprekidane linije predstavljaju RAPS vrijednosti nizova.

Mjesečni broj snježnih dana kao pokazatelj nije relevantan u hidrološkoj analizi, osim što, ukoliko su zaista prisutni dugoročni trendovi, može ukazivati na skraćenje trajanja snježnog pokrivača. To u područjima gdje tekućice imaju snježni ili snježno-kišni režim ukazuje na raniju pojavu proljetnih maksimuma u godišnjim protocima. Na broj snježnih dana, a samim time i na visinu snijega, dosta utječu iznenadni i/ili ekstremni događaji koji su obično posljedica prolaska ciklone i kratkog prodora relativno hladnijeg zraka koji uvjetuje padanje snijega koji se zadrži samo nekoliko dana. Takva je pojava uobičajena za jesen i proljeće. Kako bi se bolje uvidjele promjene u snježnom pokrivaču, broj dana sa snijegom potrebno je analizirati zajedno s visinom snijega.

## 5.2. Kumulativna visina snijega

Visina snijega bolji je pokazatelj promjena u snježnom pokrivaču s obzirom da je to parametar koji izravno ukazuje na količinu napadalog snijega. U prosjeku, mjesec s najvećom kumulativnom visinom snijega na svim postajama je veljača. Kako je mjesec s najvećim brojem dana s visinom snijega  $\geq 1$  cm siječanj, takav odnos visine i broja dana sa snijegom ukazuje na akumulaciju snježnog pokrivača tijekom siječnja koji svoju maksimalnu debljinu doseže u veljači.

Slično kao kod broja dana sa snijegom, u prosincu je zabilježen negativan trend u kumulativnoj visini snijega, koji je statistički značajan samo na postaji Parg. U veljači je zabilježen trend porasta kumulativne visine snijega na svim postajama, sa statističkom značajnosti na postajama Parg, Lokve i Vrelo. Iako statistički značajan trend u broju snježnih dana u istom mjesecu nije zabilježen, može se reći da snijeg u veljači pada češće i padne ga više, posebno na postajama smještenim na većoj nadmorskoj visini jer je temperatura relativno niža, odnosno dovoljno niska da padaline padaju u obliku snijega. U travnju su zabilježeni slični trendovi kao i kod broja snježnih dana, dakle njegova je pojava sve rjeđa, pada ga sve manje i kraće se zadržava na tlu.

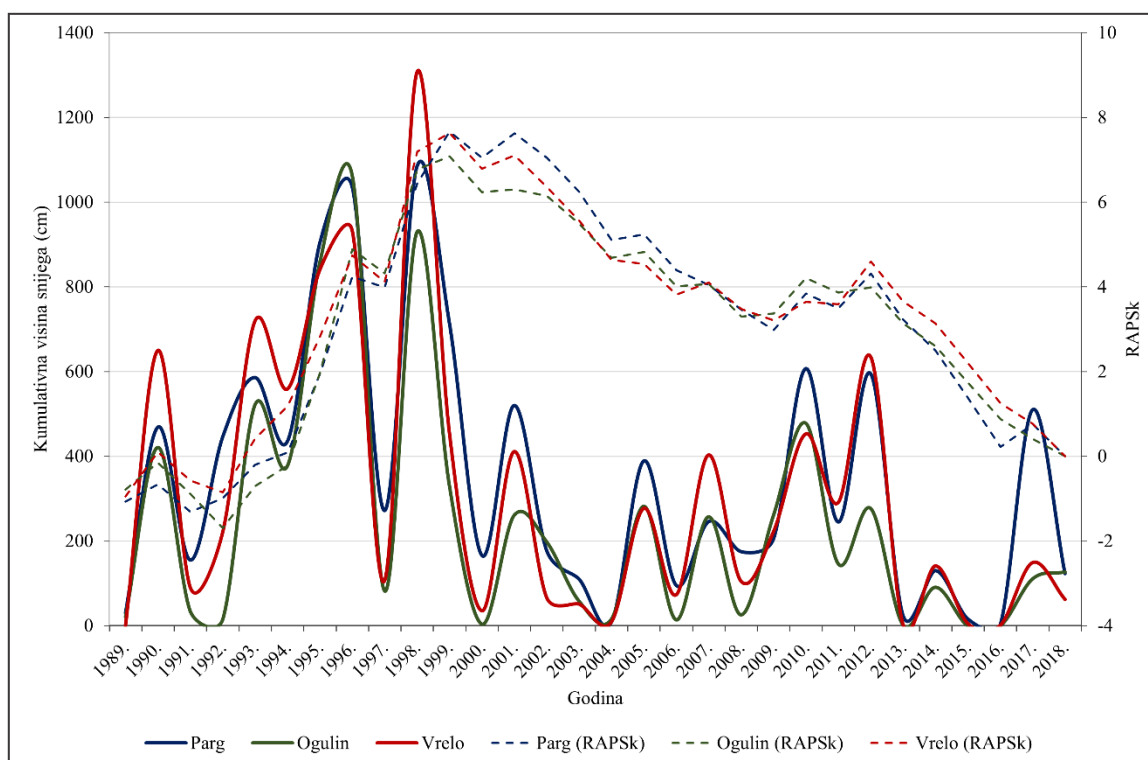
Tab. 4. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike za kumulativnu visinu snijega u razdoblju studeni – travanj na odabranim meteorološkim postajama u razdoblju 1989. – 2018.

Postaja	ZMK_XI	ZMK_XII	ZMK_I	ZMK_II	ZMK_III	ZMK_IV
Parg	-0.22	-1.96	0.49	2.05	0.29	-1.93
Ogulin	0.8	-1.43	1.37	1.73	0.9	-0.83
Lokve	-1.1	-1.27	1.48	2.38	1.12	-2.37
Bosiljevo	-0.15	-1.82	0.93	1.86	0.58	-1.09
Vrelo	0.27	-1.71	1.07	2.02	0.67	-2.19

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

Nizovi kumulativne mjesečne visine snijega preoblikovani su RAPS metodom. Ponovno su izdvojeni prosinac kao mjesec na početku snježne zime s negativnim trendovima na svim postajama, veljača kao mjesec s najvećom kumulativnom visinom snijega u prosjeku u kojem su zabilježeni pozitivni trendovi i travanj kao mjesec na kraju snježne zime u kojem su zabilježeni negativni trendovi.

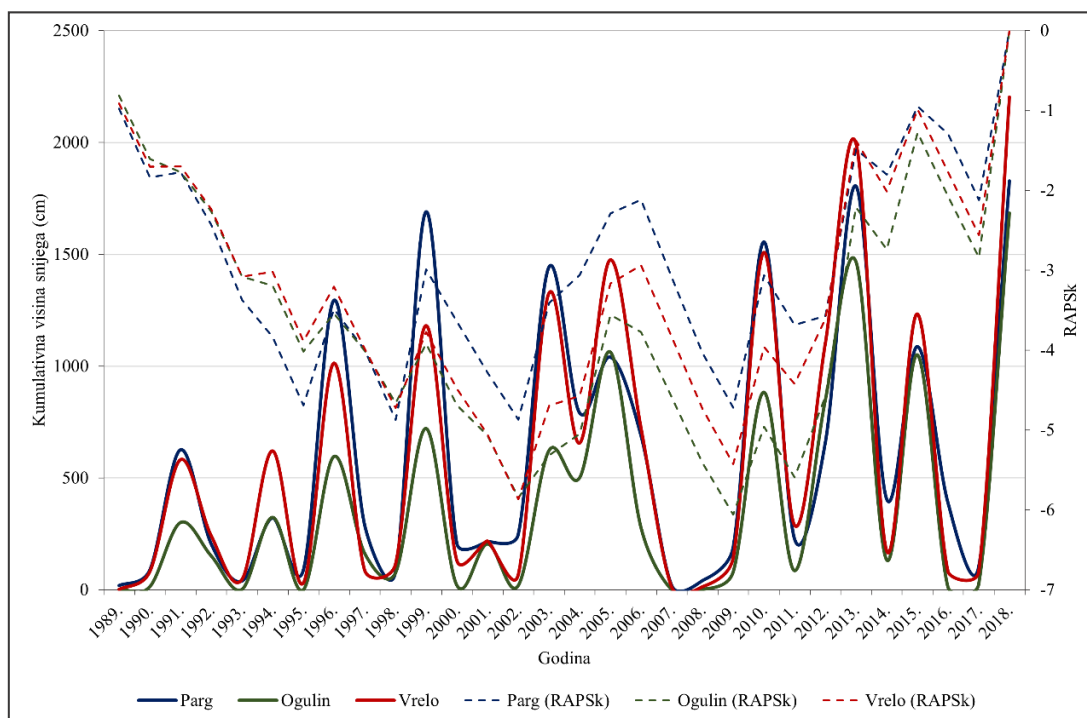
Niz podataka preoblikovan RAPS vrijednostima pokazuje dva značajna podrazdoblja u vrijednostima kumulativne visine snijega u prosincu (Sl. 9). Tijekom 90-ih godina varijabilnost je bila veća i kumulativna visina snijega je bila relativno veća u odnosu na razdoblje 2000. – 2018. Godine 1996. i 1998. ističu se kao godine s kumulativnom visinom snijega preko 1000 cm na postajama Parg i Vrelo. Od 2000. godine prevladavaju relativno niže visine snijega i sve je češći broj godina kada snijega na nižim nadmorskim visinama uopće i nema, odnosno ako padne, padne ga znatno manje u odnosu na razdoblje 90-ih godina.



Sl. 9. Kumulativna visina snijega u prosincu za postaje Parg, Vrelo Ličanke i Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. Isprekidane linije predstavljaju RAPS vrijednosti nizova.

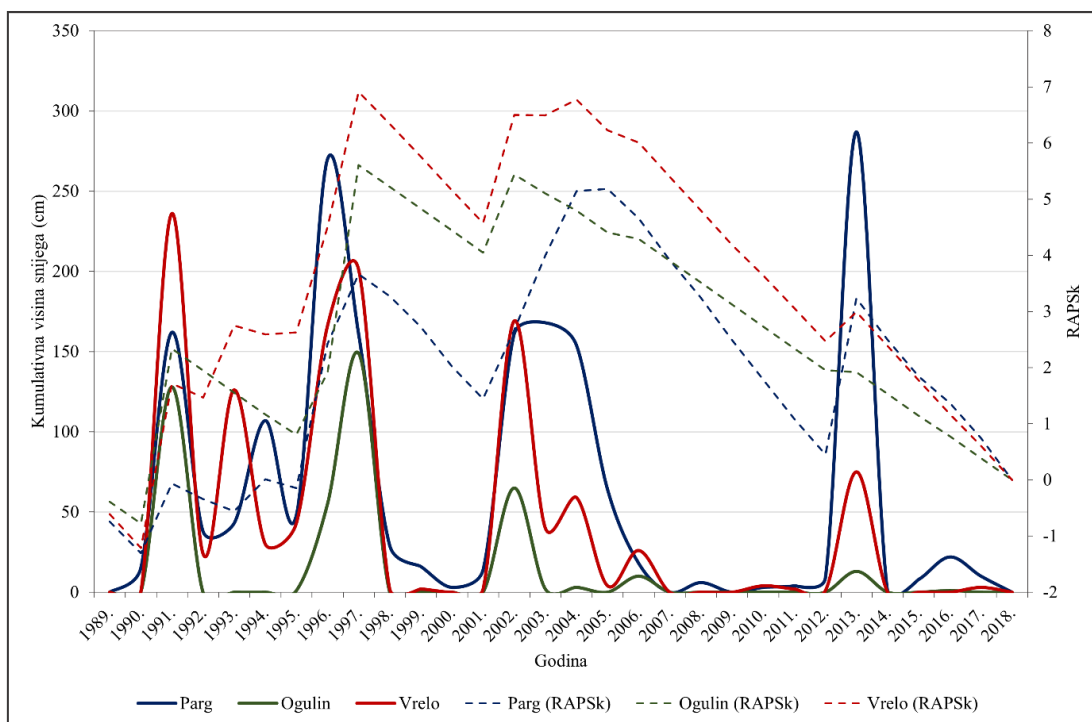


Kumulativna visina snijega u veljači pokazuje veliku varijabilnost tijekom čitavog razdoblja (Sl. 10). U razdoblju 1989. – 1998. kumulativna visina snijega postepeno je rasla, dok je prosječna kumulativna visina snijega u veljači u tom razdoblju na postaji Parg iznosila 431 cm, na postaji Vrelo 281 cm, a na postaji Ogulin 163 cm. U razdoblju 2009. – 2018. kumulativna visina snijega u veljači relativno je veća, pa je na postaji Parg u prosjeku bilo 825 cm ukupnog snijega, na postaji Vrelo 881 cm, a na postaji Ogulin 627 cm.



Sl. 10. Kumulativna visina snijega u veljači za postaje Parg, Vrelo Ličanke i Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. Isprekidane linije predstavljaju RAPS vrijednosti nizova.

U travnju se, baš kao i u prosincu, izdvajaju dva značajna podrazdoblja. Tijekom 90-ih godina snijeg je u travnju bio sve češća pojava i padalo ga je relativno više. Od početka 2000-ih snijega u travnju pada sve manje, odnosno prevladavaju niske kumulativne visine snijega (Sl. 11). Jedini izuzetak u razdoblju 2004. – 2018. predstavlja 2013. kada je ujedno i zabilježeno najdulje neprekidno trajanje snježnog pokrivača na postaji Parg od 89 dana.



Sl. 11. Kumulativna visina snijega u travnju za postaje Parg, Vrelo Ličanke i Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. Isprekidane linije predstavljaju RAPS vrijednosti nizova.

Dva glavna prediktora koji uvjetuju padanje snijega i njegovo zadržavanje na površini su temperatura zraka i količina padalina. Rezultati istraživanja provedenog 2013. na švicarskim Alpama ukazuju na kritičnu granicu od 1400 mnv ( $\pm 200$  m) koja dijeli područja ovisno o utjecaju temperature zraka i količine padalina na snježni pokrivač. Iznad te granice bolji prediktor visine snijega je količina padalina, dok je ispod te granice bolji prediktor temperatura zraka (Moran-Téjeda i dr., 2013). Kako su sve istraživane postaje u okviru ovog rada smještene na visinama ispod 1000 m, temeljem navedenog može se pretpostaviti da promjene u temperaturi najviše uvjetuju promjene u snježnom pokrivaču na istraživanom području. Odnos temperature zraka i visine snijega detaljnije je analiziran u sljedećem poglavlju.

### 5.2.1 Odnos između visine snijega, temperature zraka i padalina

Kumulativna visina snijega i srednja mjesečna temperatura zraka imaju statistički značajnu negativnu korelaciju gotovo u svim mjesecima (Tab. 5). U godinama kada je srednja mjesečna temperatura nekog mjeseca bila niža, kumulativna visina snijega u istom tom mjesecu bila je viša jer su: a) padaline padale u obliku snijega i b) snijeg se dulje zadržavao na površini.

Tab. 5. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije za srednju mjesečnu temperaturu zraka i kumulativnu mjesečnu visinu snijega u razdoblju 1989. – 2018.

Postaja	R_XI	R_XII	R_I	R_II	R_III	R_IV
Parg	-0.52	-0.49	-0.71	-0.71	-0.73	-0.65
Ogulin	-0.52	-0.14	-0.31	-0.63	-0.59	-0.55
Lokve	-0.51	-0.52	-0.62	-0.68	-0.71	-0.64
Bosiljevo	-0.39	-0.39	-0.48	-0.6	-0.54	-0.23
Vrelo	-0.5	-0.37	-0.61	-0.76	-0.72	-0.53

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

Srednja mjesečna temperatura zraka pokazuje trend rasta u studenom, prosincu i travnju (Tab. 6). U studenom trend je statistički značajan na postaji Lokve, a u prosincu na postaji Parg. U travnju trend je statistički značajan za sve postaje. Visoka korelacija između temperature zraka i visine snijega pokazuje da je temperatura zraka zaista važan prediktor promjena u snježnom pokrivaču. Porast srednje temperature zraka u prosincu i u travnju povezan je sa smanjenjem kumulativne visine snijega i broja snježnih dana u tim mjesecima. Relativno niža temperatura zraka u travnju tijekom 90-ih uvjetovala je i češću pojavu snijega na višim postajama jer je bila dovoljno niska da padaline padaju u obliku snijega i da se taj isti snijeg dulje zadrži. Na nižim postajama temperature su ionako relativno više, pa umjesto snijega pada kiša, odnosno snijega padne manje i kratko se zadrži. Temperatura zraka na višim postajama očito je sve češće iznad one granične vrijednosti koja razdvaja ili uvjetuje padanje kiše, odnosno snijega (ako je temperatura zraka iznad te granične vrijednosti pada kiša, ako je ispod pada snijeg) pa je zato promjena u snježnom pokrivaču na tim postajama i izraženija. Nadalje, kumulativna padalina u travnju također opada, no trend nije statistički značajan. U studenom i prosincu vrijednosti ZMK su negativne, no taj trend nije izražen. Snježni pokrivač na početku i na kraju snježne zime prvenstveno je uvjetovan promjenama u temperaturi zraka.

U siječnju su zabilježeni pozitivni, ali slabo izraženi trendovi u srednjoj mjesečnoj temperaturi zraka, dok su u veljači trendovi negativni no nisu statistički značajni. Potrebno se prisjetiti da je u tom mjesecu zabilježen statistički značajan porast u visini snijega na višim postajama. S druge strane, kumulativna padalina u siječnju i veljači raste i taj trend je statistički značajan na većini postaja (Tab. 7). Može se reći da je porast visine snijega u veljači povezan s porastom kumulativne padaline u istom mjesecu na postajama Parg, Lokve i Vrelo. Srednja mjesečna temperatura u veljači blago opada, odnosno ona i dalje ostaje dovoljno niska da padaline padaju u obliku snijega, pa porast u kumulativnoj padalini znači i porast u kumulativnoj visini snijega. Sukladno tome, takva je pojava izraženija na višim postajama. No, što se događa na postajama Ogulin i Bosiljevo? Trendovi rasta visine snijega i pada temperature zraka su zabilježeni, no nisu statistički značajni, dok je trend u kumulativnoj padalini pozitivan i statistički značajan. Temperatura na nižim postajama ostaje relativno visoka, stoga padaline padaju u obliku kiše. Sukladno tome, vjerojatno je zabilježen porast kiše u ukupnoj padalini.

Tab. 6. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike za srednju mjesečnu temperaturu zraka u razdoblju studeni-travanj na odabranim meteorološkim postajama u razdoblju 1989. – 2018.

Postaja	ZMK_XI	ZMK_XII	ZMK_I	ZMK_II	ZMK_III	ZMK_IV
Parg	1.7	2.0	0.21	-1.21	-0.36	3.9
Ogulin	1.47	1.63	0.88	-0.64	-0.36	2.63
Lokve	1.98	1.82	0.54	-1.02	-0.27	3.17
Bosiljevo	1.52	1.5	0.96	-1.19	-0.52	3.14
Vrelo	1.75	1.41	0.66	-0.52	0	3.41

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

Tab. 7. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike za kumulativnu mjesečnu padalinu u razdoblju studeni-travanj na odabranim meteorološkim postajama u razdoblju 1989. – 2018.

Postaja	ZMK_XI	ZMK_XII	ZMK_I	ZMK_II	ZMK_III	ZMK_IV
Parg	0	-0.64	1.34	2.25	0.66	-1.374
Lokve	-0.88	-0.16	1.69	1.29	1.06	-1.19
Ogulin	-0.5	-0.45	2.44	3.75	0.85	-1.11
Bosiljevo	-0.14	-1.09	2.11	3.55	-0.32	-1.18
Vrelo	-0.8	-0.5	1.96	2.42	1.07	-1.52

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

### 5.3. Veza između snježnog pokrivača i proljetnog protoka

Povezanost visine snijega i proljetnog protoka ispitana je na dva načina. Prvo je izračunata korelacija između kumulativne visine snijega i kumulativnog protoka u istom mjesecu, zatim je korelacija izračunata između kumulativne visine snijega prethodnog mjeseca i kumulativnog protoka sljedećeg mjeseca. Usporedbom ta dva rezultata jasnije se vidi odnos akumuliranog snijega i proljetnog protoka, odnosno u kojem razdoblju počinje protok potaknut kopnjenjem snijega.

Tijekom zimskih mjeseci, siječnja i veljače, nema statistički značajne povezanosti između kumulativne visine snijega i kumulativnog protoka (Tab. 8) što ima smisla jer je to razdoblje akumulacije snijega. Tijekom zime riječni protok na istraživanim tekućicama zadržava relativno visoke vrijednosti u odnosu na protok u ljetnom razdoblju. Zimske vrijednosti protoka u siječnju i veljači imaju statistički značajnu pozitivnu korelaciju sa kumulativnom padalinom (Tab. 10), pa se može reći da je u onim godinama kada je zabilježena veća vrijednost padalina zabilježena i veća vrijednost protoka na hidrološkim postajama koje se nalaze nizvodno od meteoroloških.

Statistički značajna pozitivna korelacija između kumulativne visine snijega i kumulativnog protoka javlja se u ožujku i travnju (Tab. 9). U godinama kada je bilo više akumuliranog snijega u veljači, zabilježena je i veća vrijednost kumulativnog protoka u ožujku. Ističe se razlika između postaja smještenih bliže izvoru i postaja smještenih relativno dalje od izvora. Na postajama koje se nalaze bliže izvorišnom dijelu statistički značajna veza između kumulativne visine snijega i protoka u ožujku ne postoji. Razlog tomu je što se te postaje prihranjuju snijegom akumuliranim u višim predjelima gdje temperatura zraka tijekom ožujka ostaje relativno niska pa se snijeg dulje zadrži, odnosno dulje akumulira ukoliko ima padalina. Kasniji početak kopnjenja snježnog pokrivača znači i kasniji početak rasta proljetnog protoka. S druge strane, postaje smještene nizvodno pod utjecajem su snijega koji se akumulirao na nižim područjima. Temperatura na nižim visinama u ožujku je dovoljno visoka da uzrokuje kopnjenje snijega.

Tab. 8. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije (r) za kumulativnu visinu snijega i kumulativni protok u istom mjesecu za odabrane parove postaja

Mjesec	Parg-Hrvatsko	Parg-Brod na Kupu	Lokve-Turkovići	Vrelo-Lešće Toplice	Ogulin-Mrzlo Polje
Siječanj	-0.17	-0.004	-0.11	0.12	0.15
Veljača	0.32	-0.3	-0.15	-0.3	0.04
Ožujak	0.42	0.62	0.65	0.56	0.76
Travanj	0.11	0.16	0.22	0.12	0.24

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

Tab. 9. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije (r) za kumulativnu visinu snijega prethodnog i kumulativni protok sljedećeg mjeseca

Mjesec	Parg-Hrvatsko	Parg-Brod na Kupu	Lokve-Turkovići	Vrelo-Lešće Toplice	Ogulin-Mrzlo Polje
Siječanj-veljača	0.14	0.21	-0.003	0.23	0.3
Veljača-ožujak	0.2	0.45	0.32	0.4	0.55
Ožujak-travanj	0.56	0.56	0.55	0.67	0.55

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

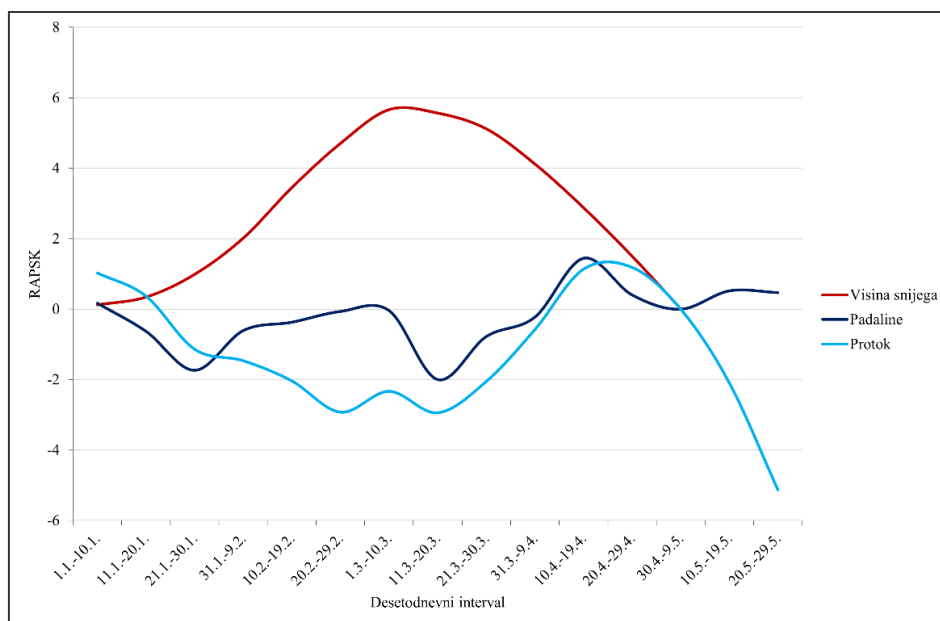
Tab. 10. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije (r) između kumulativne padaline i kumulativnog protoka

Mjesec	Parg-Hrvatsko	Parg-Brod na Kupu	Lokve-Turkovići	Vrelo-Lešće Toplice	Ogulin-Mrzlo Polje
Siječanj	0.76	0.57	0.58	0.67	0.61
Veljača	0.71	0.54	0.8	0.72	0.39
Ožujak	0.77	0.59	0.59	0.56	0.61
Travanj	0.68	0.62	0.56	0.5	0.55

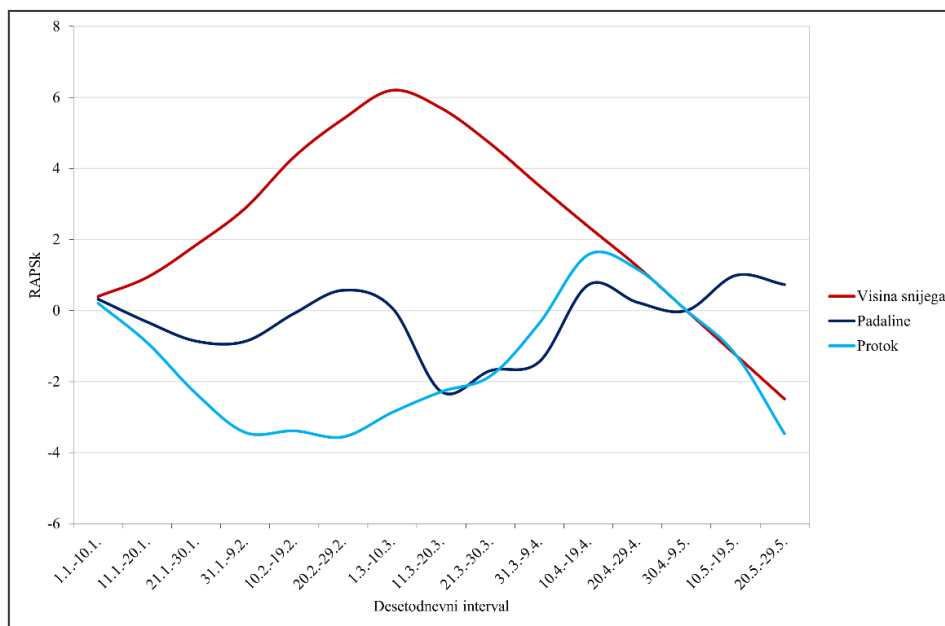
\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

Ranije spomenuta razlika u odnosu između kumulativne visine snijega i kumulativnog protoka jasno se vidi na Sl. 12 i Sl. 13. Kao što je spomenuto u prethodnim poglavljima, snijeg se akumulira tijekom siječnja te visina snijega svoj maksimum doseže sredinom veljače. Od druge polovice veljače i tijekom ožujka snježni pokrivač postepeno kopni. Kumulativne vrijednosti protoka tijekom veljače relativno su niske u odnosu na jesenski i proljetni maksimum, ali promjenjive zbog utjecaja padalina. Proljetni protok počinje rasti u drugoj polovici ožujka do maksimuma koji se obično javlja sredinom travnja na svim postajama (u razdoblju 10.4. – 19.4.). Vremenski otklon između maksimuma akumuliranog snijega i maksimuma proljetnog protoka u prosjeku iznosi oko 20 – 30 dana.

Kopnjenje snježnog pokrivača, odnosno pad u kumulativnoj visini neko vrijeme prati i blagi pad u kumulativnoj padalini. Krajem ožujka/početkom travnja visina snijega i dalje opada, no količina padalina počinje rasti i prati porast u proljetnom protoku. Akumulirani snijeg u ožujku pokazuje statistički značajnu pozitivnu korelaciju s kumulativnim protokom u travnju na svim postajama. Međutim, statistički značajna pozitivna korelacija u postoji i između kumulativne padaline u ožujku i travnju i kumulativnog protoka u istim mjesecima. To ukazuje da je riječni protok na navedenim postajama u proljeće posljedica kombiniranog djelovanja količine padalina i kumulativne visine snijega.



Sl. 12. Odnos kumulativne visine snijega, kumulativne padaline i kumulativnog protoka za par postaja Parg-Hrvatsko u razdoblju 1.1. – 29.5. Nizovi su preoblikovani RAPS metodom.



Sl. 13. Odnos kumulativne visine snijega, kumulativne padaline i kumulativnog protoka za par postaja Ogulin-Mrzlo Polje u razdoblju 1.1. – 29. 5. Nizovi su preoblikovani RAPS metodom.



#### 5.4. Trendovi proljetnog protoka

U veljači i ožujku utvrđen je statistički značajan trend porasta kumulativnog protoka na svim postajama (Tab. 11). Trend siječanjskih vrijednosti protoka također je pozitivan, no nije izražen. U travnju se na postajama Hrvatsko, Lešće i Brod na Kupi bilježe slabo izraženi negativni trendovi, na postaji Turkovići trenda nema, a na postaji Mrzlo Polje trend je pozitivan. U istraživanom razdoblju došlo je do promjena u protoku krajem zime/početcem proljeća. Kako bi se sa sigurnošću znalo o kakvim promjenama je riječ i što je utjecalo na njih potrebno je analizirati vrijednosti u kraćem vremenskom intervalu i utvrditi kako su se mijenjale količina padalina i visina snijega u tom razdoblju.

Tab. 11. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike Z za kumulativni mjesečni protok u razdoblju siječanj-travanj na odabranim postajama u razdoblju 1989. – 2018.

Postaja	ZMK_I	ZMK_II	ZMK_III	ZMK_IV
Hrvatsko	1	2.23	2.31	-0.8
Turkovići	1.18	2.6	3.03	-0.03
Brod na Kupi	0.69	2.42	2.68	-0.6
Mrzlo Polje	0.86	2.5	2.96	0.18
Lešće Toplice	0.61	2.57	3.32	-0.1

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

U prethodnom je poglavlju utvrđena statistički značajna povezanost između visine snijega i protoka u ožujku i travnju, stoga su vrijednosti protoka u ovim dvama mjesecima detaljnije analizirane. Kumulativni desetodnevni protok pokazuje trend rasta u razdoblju 1.3. – 20.3. (Tab. 12). Taj je trend statistički značajan na svim postajama, osim na postaji Hrvatsko. U razdoblju 21.3. – 30.3. i dalje se bilježi trend rasta, no nije statistički značajan ni na jednoj postaji. Početkom travnja na postaji Hrvatsko zabilježen je trend opadanja vrijednosti protoka, dok je u razdoblju 10.4. – 19.4. negativan trend zabilježen na svim postajama, osim na postaji Mrzlo Polje. Ni jedan trend u travnju nije statistički značajan.

Tab. 12. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike Z za kumulativni desetodnevni protok 1.3. – 29.4. na odabranim hidrološkim postajama u razdoblju 1989. – 2018.

Postaja	1.3. – 10.3.	11.3. – 20.3.	21.3. – 30.3.	31.3. – 9.4.	10.4. – 19.4.	20.4. – 29.4.
Hrvatsko	1.26	1.86	1.37	-0.39	-1.18	-0.13
Brod na Kupu	1.52	2.87	1.41	0.14	-1.1	-0.82
Lešće Toplice	2.1	3.39	1.71	0.68	-0.39	-0.21
Turkovići	1.96	3.18	1.14	0.46	-0.61	0
Mrzlo Polje	2.57	3.46	1.46	0.75	-0.07	-0.43

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

Trendovi u kumulativnoj visini snijega tijekom zime su uglavnom pozitivni. Iznimka je početak siječnja na postajama Parg i Vrelo gdje je zabilježen negativni trend. Statistički značajni pozitivni trendovi zabilježeni su krajem siječnja na postaji Lokve brana i početkom veljače na svim postajama (Tab. 13). Pozitivni trendovi nastavljaju se sve do druge polovice ožujka. Kumulativna visina snijega u razdoblju 31.3. – 19.4. se smanjuje na svim postajama. Statistički značajan trend pada u tom razdoblju zabilježen je na postaji Parg za razdoblje 31.3. – 9.4. i za postaje Ogulin i Lokve za razdoblje 10.4. – 19.4.

Tab. 13. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike Z za kumulativnu desetodnevnu visinu snijega 1.1. – 19.4. za razdoblje 1989. – 2018.

Postaja	1.1.- 10.1.	11.1. -20.1	21.1.- 30.1.	31.1.- 9.2.	10.2.- 19.2.	20.- 29.2.	1.3.- 10.3.	11.3.- 20.3.	21.3.- 30.3.	31.3.- 9.4.	10.4.- 19.4.
Parg	-0.69	0.95	1.25	2.38	1.64	1.46	0.98	0.72	-1.63	-2.29	-1.71
Ogulin	0.57	0.48	0.91	2.09	0.95	1.64	1.91	0.67	-0.91	-0.74	-1.99
Lokve	0.04	0.84	2.26	3.09	1.25	1.75	1.96	1.92	-1.41	-1.57	-2.26
Vrelo	-0.54	0.63	0.91	2.67	1.36	1.34	1.51	1.14	-1.01	-1.5	-1.81

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

U prvoj polovici ožujka na svim se postajama bilježe trendovi rasta količine padalina, no nisu statistički značajni. U razdoblju 21.3. – 30.3. trend je pozitivan samo na postaji Lokve, a u razdoblju 31.3. – 9.4. pozitivan trend zabilježen je samo na postaji Ogulin. U razdoblju 10.4. – 19.4. na svim postajama utvrđen je trend pada količine padalina koji je statistički značajan samo na postaji Vrelo.

Tab. 14. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike Z za kumulativnu desetodnevnu padalinu 1.3. – 29.4. za razdoblje 1989. – 2018.

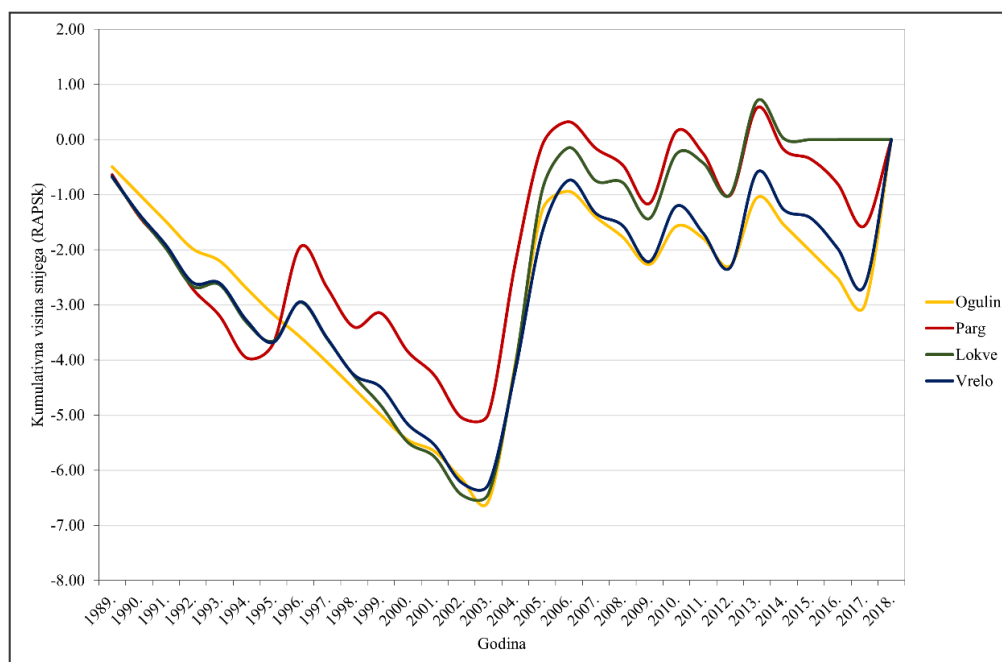
Postaja	1.3. – 10.3.	11.3. – 20.3.	21.3. – 30.3.	31.3. – 9.4.	10.4. – 19.4.	20.4. – 29.4.
Parg	1.16	1.04	-0.89	-0.61	-1.57	1.32
Ogulin	1.95	1.29	-1.77	0.36	-1.64	0.48
Lokve	0.9	0.81	1.68	-0.21	-1.75	0.77
Vrelo	1.66	1.13	-0.16	-0.64	<b>-2.09</b>	0.04

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

Krajem siječnja i početkom veljače zabilježen je statistički značajan porast u kumulativnoj visini snijega koji je vrlo vjerojatno povezan s porastom u ukupnim padalinama u tim mjesecima. Trend kumulativne padaline u veljači statistički je značajan na svim postajama, dok je trend kumulativne mjesečne visine snijega statistički značajan samo na višim postajama, pa se da zaključiti da je na postajama Parg, Vrelo i Lokve promjena izraženija i da je snježni pokrivač na većim visinama osjetljiviji na promjene u temperaturi zraka i padalinama. Porast u vrijednostima protoka u prvoj polovici ožujka može biti posljedica porasta u kumulativnoj visini snijega tijekom veljače, ali i porasta u ukupnoj padalini u razdoblju 1.3. – 20.3. Smanjenje vrijednosti protoka koje je zabilježeno u travnju može biti posljedica opadanja količine padalina u tom razdoblju ili posljedica smanjenog prihranjivanja snježnicom jer je sve manje akumuliranog snijega krajem ožujka i početkom travnja. Nadalje, takav trend opadanja može biti naznaka javljanja proljetnih maksimuma protoka ranije tijekom godine zbog skraćivanja trajanja snježnog pokrivača i smanjenja njegove debljine.

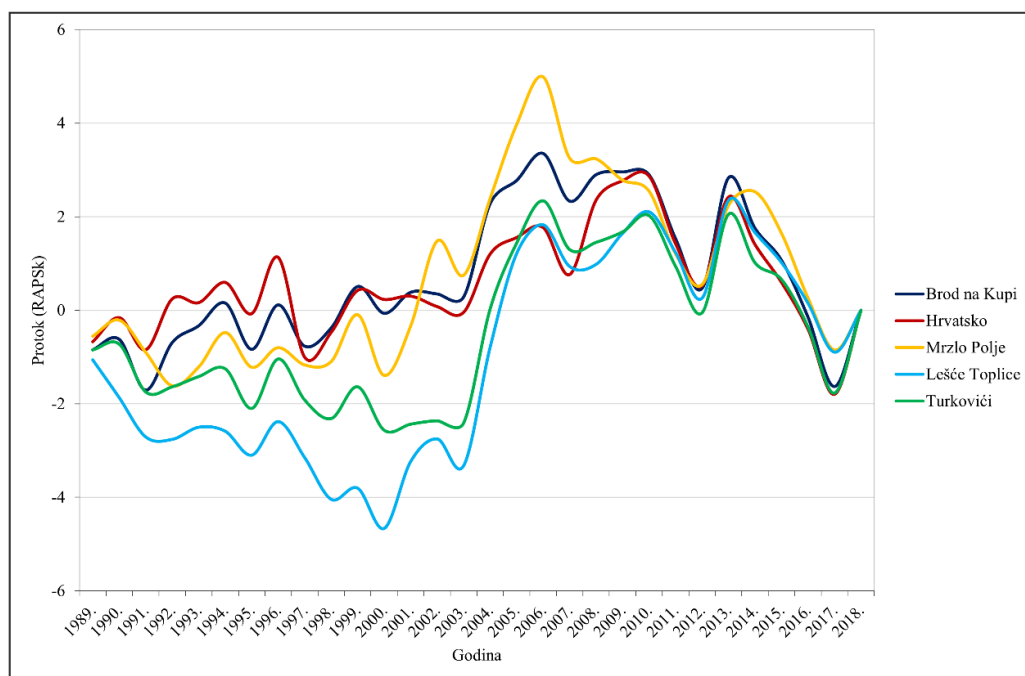
U prethodnim je poglavljima kod analize broja snježnih dana i kumulativne mjesečne visine snijega spomenuto kako su ta dva parametra jako varijabilni i da takva varijabilnost može prikriti dugoročne trendove. Kako protok proizlazi iz tih dviju vrijednosti, ponaša se isto. RAPS metodom ponovno su transformirani nizovi podataka, ovog puta za kumulativnu visinu snijega 1.3. – 19.3., za kumulativnu padalinu u razdoblju 31.3. – 19.4. i za kumulativni protok 31.3. – 19.4. To je učinjeno kako bi se bolje uvidjele promjene u visini snijega krajem zime i početkom proljeća i promjene u protoku u vrijeme kada se u prosjeku javlja njegov maksimum.

Tijekom 90-ih godina snijega je u prvoj polovici ožujka bilo relativno manje nego u razdoblju 2003. – 2018. Godine 2003. vidljiv je nagli skok u vrijednostima s relativno nižih na relativno više (Sl. 14). Porast kumulativne visine snijega u tom razdoblju može biti povezan i sa porastom u kumulativnoj padalini ne samo početkom ožujka, već i tijekom veljače. Ako se u obzir uzmu i negativni, ali slabo izraženi, trendovi u temperaturi zraka u veljači, moguće je da se snijeg koji je akumuliran u veljači zadrži i u ožujku, odnosno da u samom ožujku veći dio padalina padne u obliku snijega.



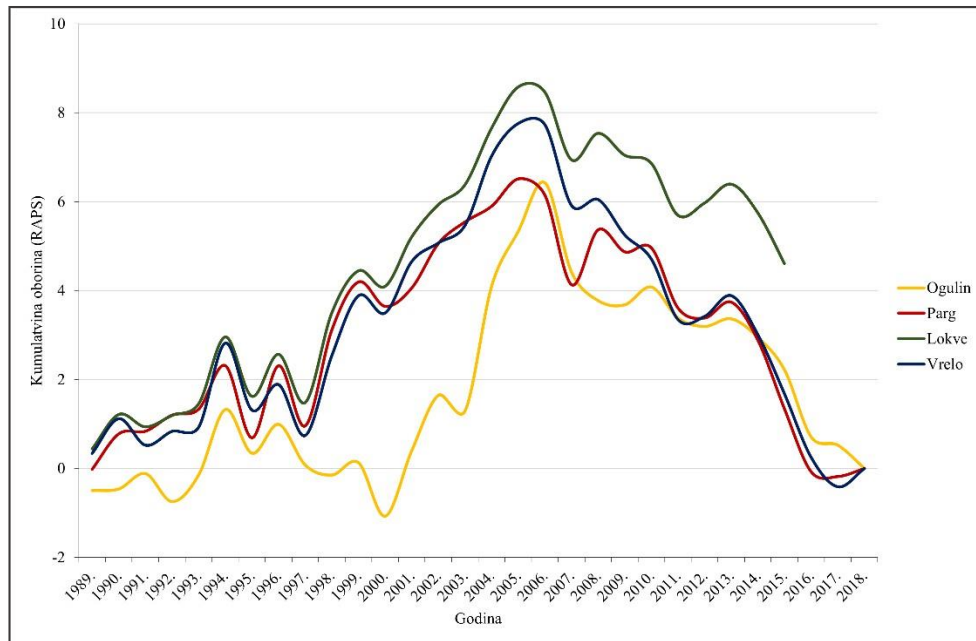
Sl. 14. Vrijednosti kumulativne visine snijega u razdoblju 1.3. – 19.3. za odabrane meteorološke postaje u razdoblju 1989. – 2018. Nizovi podataka preoblikovani su RAPS metodom.

Kumulativni protok pokazuje slična podrazdoblja (Sl. 15). Godina 2003. izdvaja se kao godina prijelaza s relativno niskih vrijednosti na relativno više. Od 2007. vidljiv je polagani pad u vrijednostima protoka, koje su se 2015. – 2018. vratile na vrijednosti iz 90-ih godina. Takav pad ne prati sasvim i promjene u snježnom pokrivaču.



Sl. 15. Vrijednosti kumulativnog protoka u razdoblju 31.3. – 19.4. na odabranim hidrološkim postajama u razdoblju 1989. – 2018. Nizovi podataka preoblikovani su RAPS metodom.

Spomenuti pad u vrijednosti protoka prati opadanje kumulativne padaline od 2007. godine (Sl. 16). Tijekom 90-ih godina vrijednosti kumulativne padaline u ožujku su bile relativno niske, a u razdoblju 1998. – 2006. vidljiv je postepeni porast u količini padalina. Kako je u istom tom razdoblju zabilježeno opadanje u kumulativnoj visini snijega, vjerojatno je da je u tim godinama tijekom proljeća padalo više kiše nego snijega.



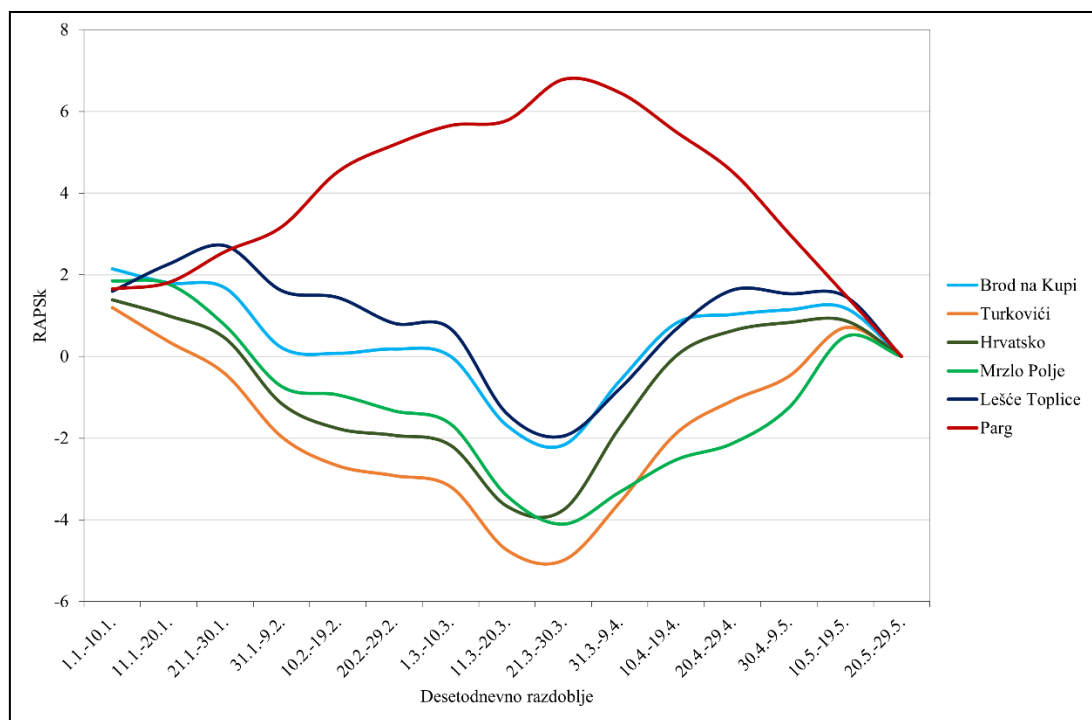
Sl. 16. Vrijednosti kumulativne padaline u razdoblju 31.3. – 19.4, za odabrane meteorološke postaje u razdoblju 1989. – 2018. Nizovi su preoblikovani RAPS metodom.

Prethodno izneseni rezultati analize trenda govore o dugoročnim promjenama i varijabilnosti visine snijega, padalina i protoka krajem zime i početkom proljeća. Promjene u količini padalina i visini snijega te prateći trendovi u kumulativnom protoku su vidljivi, no kako se tekućice u proljeće prihranjuju i kišnicom i snježnicom teško je putem provedene analize razgraničiti utjecaj kiše i snijega i sa sigurnošću zaključiti da su trendovi opadanja protoka u travnju posljedica skraćenog trajanja snježnog pokrivača, odnosno smanjenja njegove debljine. Međutim, zabilježeni negativni trendovi protoka u travnju ili pozitivni trendovi protoka u veljači mogu upućivati na promjenu u njegovoj distribuciji tijekom tih mjeseci.

## 5.5. Promjene u distribuciji protoka tijekom zime i proljeća

Rezultati istraživanja kojima se proučavao utjecaj promjena u snijegu na riječni protok u velikom broju ukazuju na smanjenje debljine snježnog pokrivača i njegovog trajanja što uzrokuje javljanje proljetnih maksimuma ranije tijekom godine (Clow, 2010.; López-Moreño i García-Ruiz, 2004). Smanjenje visine snijega i trajanja pokrivača u istraživanom razdoblju već je pokazano u prethodnim poglavljima, no provedena analiza trenda putem Mann-Kendallovog testa i RAPS metode ne pokazuje promjene u distribuciji protoka u razdoblju siječanj – travanj. Kako bi se do nekih zaključaka glede distribucije ipak došlo, RAPS metoda provedena je na desetodnevnoj kumulativnoj visini snijega, desetodnevnoj kumulativnoj padalini i desetodnevnom kumulativnom protoku u razdoblju siječanj – travanj, posebno za desetljeća 1989. – 1998., 1999. – 2008., i 2009. – 2018.

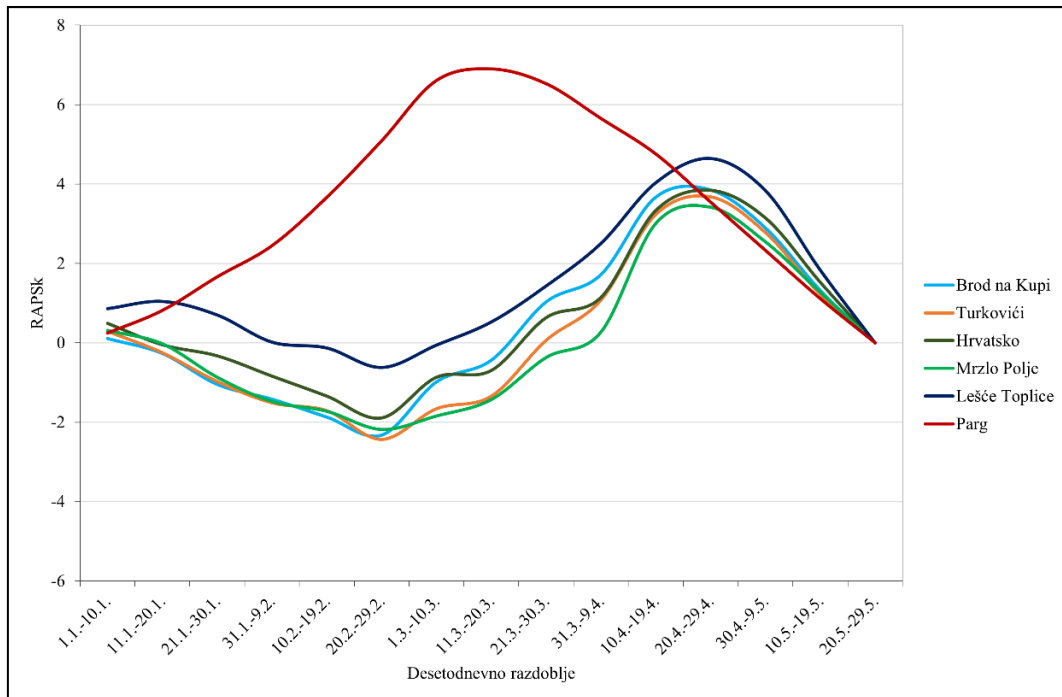
U razdoblju 1989. – 1998. kumulativni protok minimalne vrijednosti je u prosjeku bio sredinom ožujka (Sl. 17). Od sredine ožujka vrijednosti protoka rasle su do maksimuma koji se u prosjeku javljao 10.4. – 19.4. na postajama Mrzlo Polje, Turkovići i Lešće Toplice, dok se na postajama Brod na Kupi i Hrvatsko javljao u razdoblju 31.3. – 9.4. Proljetni maksimum protoka bio je relativno slabo izražen te su mu u prosjeku vrijednosti bile slične vrijednostima protoka početkom siječnja.



Sl. 17. Vrijednosti kumulativnog desetodnevnog protoka na odabranim hidrološkim postajama i kumulativne desetodnevne kumulativne visine snijega na postaji Parg 1.1. - 29.5. u razdoblju 1989. - 1998. Nizovi podataka preoblikovani su RAPS metodom.

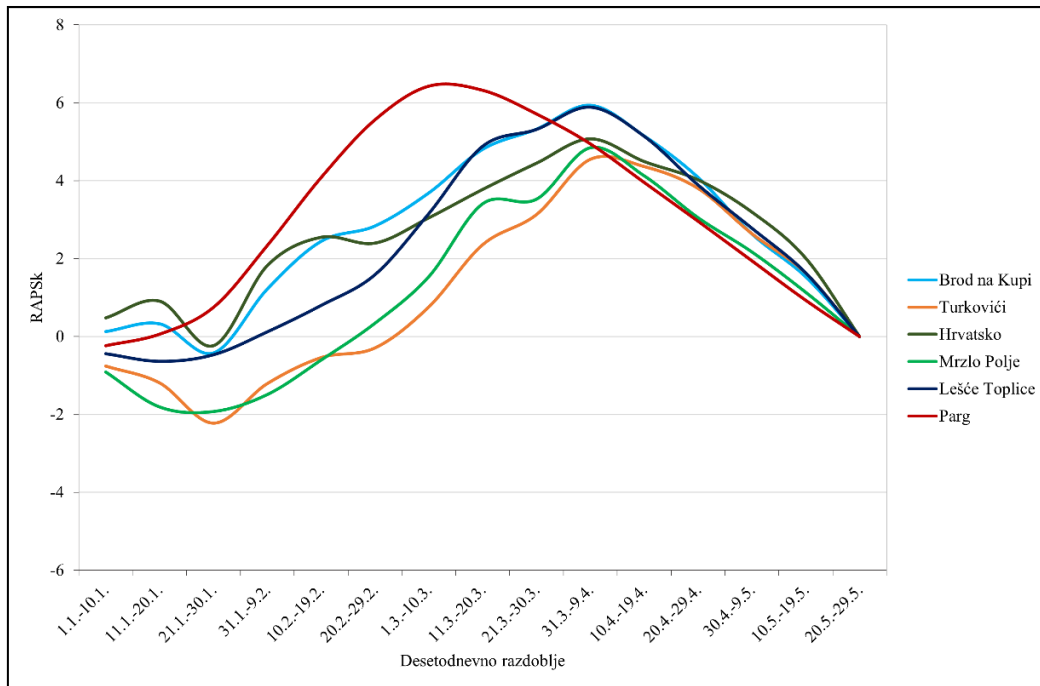
U sljedećem istraživanom desetljeću, 1999. – 2008., proljetni su maksimumi bili nešto izraženiji u odnosu na prethodno razdoblje i javljali su se u razdoblju 10.4. – 19.4. na svim postajama, stoga se može reći da do značajnijih vremenskih pomaka nije došlo (Sl. 18). Međutim, vidljivo je da se minimum kumulativnog protoka javlja ranije tijekom godine. Na svim postajama u prosjeku se javljao 20.2. – 29.2., što u odnosu na prethodno analizirano razdoblje predstavlja raniji pomak od oko 2 tjedna. Potrebno je napomenuti i da su vrijednosti kumulativnog desetodnevnog protoka bile relativno više u odnosu na prethodno razdoblje. Primjerice, minimum kumulativnog protoka na postaji Hrvatsko u razdoblju 1989. – 1998. iznosio je 101 m<sup>3</sup>/s, dok je minimum kumulativnog protoka u razdoblju 1999. – 2008. na istoj postaji iznosio 187 m<sup>3</sup>/s.





Sl. 18. Vrijednosti kumulativnog desetodnevnog protoka na odabranim hidrološkim postajama i kumulativne desetodnevne kumulativne visine snijega na postaji Parg 1.1. – 29.5. u razdoblju 1999. – 2008. Nizovi podataka preoblikovani su RAPS metodom.

U posljednjem istraživanom desetljeću vidljivi su i pomaci u maksimalnom kumulativnom protoku koji se u prosjeku javljao sredinom ožujka na svim postajama (Sl.19). Minimum protoka u ovom desetljeću se u prosjeku javljao krajem siječnja, s tim da je na nizvodnijim postajama, Lešće Toplice i Mrzlo Polje bio nešto slabije izražen. U posljednjem desetljeću se na nižim područjima snijeg očito slabo akumulira, odnosno padaline koje padaju u obliku kiše izravno odlaze u otjecanje (voda se ne skladišti). Na višim područjima siječanj je i dalje razdoblje u kojem dolazi do akumulacije snijega, pa uzvodnije postaje koje se prihranjuju snježnicom s tih područja imaju izraženiji minimum.



Sl.19. Vrijednosti kumulativnog desetodnevnog protoka na odabranim hidrološkim postajama i kumulativne desetodnevne kumulativne visine snijega na postaji Parg 1.1. – 29.5. u razdoblju 2009. – 2018. Nizovi podataka preoblikovani su RAPS metodom.

Pojava minimuma protoka ranije tijekom godine posljedica je promjena u distribuciji visine snijega tijekom siječnja i veljače. Statistički značajni pozitivni trendovi u visini snijega krajem siječnja i početkom veljače upućuju da debljina snježnog pokrivača svoj maksimum doseže u tom razdoblju, a ne više u drugoj polovici veljače. Na sl. 17, 18, i 19 vidljiv je taj pomak na primjeru postaje Parg. Kako je za vrijeme najdebljeg snježnog pokrivača protok zapravo najmanji, povećava se vremenski odmak između minimuma i maksimuma protoka. Pojava minimuma protoka ranije tijekom godine ne prati istovremeno i ranija pojava maksimuma protoka. Maksimumi protoka su posljedica kombiniranog utjecaja kiše i snijega te je njihov vremenski pomak zamaskiran ukupnim padalinama.

## 5.6. Veza između varijabilnosti snježnog pokrivača i protoka i NAO indeksa

Snijeg je element posebno osjetljiv na klimatsku varijabilnost. Polja stalnog tlaka zraka iznad euroazijskog kopna i Atlantika najviše utječu na vremenske prilike u Hrvatskoj. Tijekom zime, kopno je relativno hladnije od oceana, pa se iznad Euroazije formira stalno polje visokog tlaka zraka (sibirska anticiklona) čiji greben donosi Hrvatskoj stabilno i hladno vrijeme. Sjeverni Atlantik i Sredozemlje u jesen i zimi važna su ciklogenetska područja (Gelo, 2010). Snijeg u Hrvatskoj pada pri relativno visokoj temperaturi, tijekom prelaska ciklone, kada je temperatura relativno nešto viša nego u danima prije ili poslije ciklone. Nastupanje stabilnog i hladnog vremena nakon prolaska ciklone uvjetuje trajanje pokrivača (Šegota i Filipčić, 1996).

Razlika u vrijednostima stalnih polja tlaka zraka iznad Atlantika poznatija je pod nazivom Sjevernoatlantska oscilacija (North Atlantic Oscillation, NAO). U literaturi se još spominje i Istočnoatlantska oscilacija (East Atlantic Oscillation, EAO) kao regionalna manifestacija prethodne. Promjene u poljima tlaka zraka utječu na regionalnu cirkulaciju zraka, a time i na temperaturu zraka i količinu padalina. NAO i EAO pojavljuju se u pozitivnim i negativnim fazama. Za vrijeme pozitivne zimske faze EAO kompozitne anomalije tlaka zraka iznad Sjevernog Atlantika veće su za oko 6 hPa, te tu fazu obilježava smanjena ciklonska aktivnost na Mediteranu, odnosno manje padalina. Negativnu fazu EAO obilježava pomicanje azorskog maksimuma na sjeveroistok, što skreće putanje ciklona nastalih nad Atlantikom, a na Mediteranu je ciklogeneza jača te je u tim godinama zabilježena veća količina padalina. Zime za vrijeme negativne faze su hladnije od prosjeka (Mikhailova i Yurovsky, 2016).

Utjecaj oscilacija na snijeg u Hrvatskoj trebao bi biti sljedeći: za vrijeme negativne faze zimskog NAO kumulativna visina snijega je veća, jer je više padalina, a temperatura zraka je niža. Stoga bi i protok u tim godinama trebao imati veće vrijednosti. S druge strane, za vrijeme pozitivne faze, kumulativna visina snijega je manja, ukupna količina padalina je manja, pa bi i protok trebao biti manji.

NAO i EAO pokazuju veliku vremensku varijabilnost. Istočnoatlantska oscilacija je do 80-ih godina prošlog stoljeća imala pretežno negativne vrijednosti. Od kraja 80-ih godina sve više godina ima pozitivne vrijednosti, što pokazuje trend rasta. Korelacija između temperature zraka i EAO indeksa u Zapadnoj Europi iznosi 0.6, a veza opada prema istoku (Mikhailova i Yurovsky, 2016).

Statistički značajna negativna korelacija NAO indeksa i kumulativne visine snijega prisutna je u siječnju na postajama Parg, Lokve i Vrelo. Negativna korelacija u ožujku statistički je značajna u svim mjesecima (Tab. 15). U godinama s relativno nižim NAO indeksom zabilježene su veće kumulativne visine snijega i obrnuto. Vrlo vjerojatnije to posljedica negativne korelacije s kumulativnom padalinom (Tab. 16). Dakle, što je vrijednost NAO indeksa u siječnju niža, na istraživanom prostoru padne više padalina koje na postajama Parg, Lokve i Vrelo padaju u obliku snijega. Zimski NAO nad našim prostorima uvjetuje varijabilnost zimske količine padalina. Proljetna varijabilnost visine snijega (ožujak) posljedica je utjecaja NAO na promjene temperature zraka. U godinama s relativno nižom vrijednosti NAO u ožujku srednja mjesečna temperatura bila je niža (pozitivna korelacija) (Tab. 17). Između kumulativne visine snijega u travnju i travanjskog NAO nema statistički značajne povezanosti.

Tab. 15. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije između indeksa NAO i mjesečne kumulativne visine snijega u razdoblju 1989. – 2018.

Postaja	R_I	R_II	R_III	R_IV
Parg	-0.46	-0.24	-0.56	-0.04
Ogulin	-0.35	-0.31	-0.65	0.04
Lokve	-0.43	-0.26	-0.47	0.05
Bosiljevo	-0.35	-0.29	-0.53	0.002
Vrelo	-0.4	-0.34	-0.58	0.03

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

Tab. 16. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije između NAO indeksa i kumulativne mjesečne padaline u razdoblju 1989. – 2018.

Postaja	R_I	R_II	R_III	R_IV
Parg	-0.55	-0.12	-0.28	-0.11
Ogulin	-0.51	0.03	-0.36	0.3
Lokve	-0.54	-0.29	-0.34	0.16
Bosiljevo	-0.53	0.08	-0.24	0.37
Vrelo	-0.54	-0.16	-0.37	0.06

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

Tab. 17. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije između NAO indeksa i srednje mjesečne temperature zraka 1989. – 2018.

Postaja	R_I	R_II	R_III	R_IV
Parg	0.37	0.36	0.62	0.08
Ogulin	0.21	0.34	0.53	-0.11
Lokve	0.25	0.32	0.5	-0.07
Bosiljevo	0.17	0.39	0.55	-0.09
Vrelo	0.12	0.32	0.51	-0.04

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

U godinama s višim NAO indeksom u ožujku kumulativni protok u istom mjesecu bio je viši (Tab. 18). Slično vrijedi i za siječanj, samo veza nije statistički značajna na postajama Turkovići i Mrzlo Polje. Može se zaključiti da su promjene u NAO indeksu bile povezane s promjenama u kumulativnoj visini snijega početkom proljeća, u ožujku, prije svega jer su utjecale na promjene temperature zraka. Prema tome, kumulativni je protok u ožujku u godinama s nižim NAO indeksom bio veći zbog veće količine akumuliranog snijega tijekom zime.

Tab. 18. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije za kumulativni mjesečni protok i NAO indeks 1989. – 2018.

Postaja	R_I	R_II	R_III	R_IV
Hrvatsko	-0.47	-0.18	-0.5	-0.04
Brod na Kupu	-0.36	-0.08	-0.46	0.08
Turkovići	-0.16	-0.41	-0.55	0.14
Mrzlo Polje	-0.34	-0.19	-0.56	0.2
Lešće Toplice	-0.51	-0.14	-0.45	0.19

\* crvena boja označava statistički značajne vrijednosti uz razinu značajnosti od 5%

## 6. ZAKLJUČAK

Provedenim su se istraživanjem htjele pokazati promjene u snježnom pokrivaču na prostoru dijela Gorskog kotara te utjecaj istih tih promjena na riječni protok tekućica u porječju Kupe. Kako bi se navedene promjene opisale kvantitativno, ali i istražio njihov potencijalni uzrok, provedene su analiza trenda putem Mann-Kendallovog testa i RAPS metode i Spearmanov koeficijent korelacije. Dnevne vrijednosti visine snijega, količine padalina, temperature zraka i protoka okupljene su u mjesečne i desetodnevne vrijednosti na kojima su se provodile spomenute analize.

Analizom mjesečnog broja dana sa snijegom  $\geq 1$  cm i kumulativne mjesečne visine snijega utvrđeno je opadanje oba parametra u prosincu i travnju. Prema navedenom, prva i druga postavljena hipoteza da se broj dana sa snijegom i visina snijega smanjuju može se prihvatiti ukoliko se govori o broju snježnih dana i visini snijega u prosincu i travnju, jer promjene u navedenim parametrima nisu iste u svim mjesecima. Promjene u temperaturi zraka i količini padalina u analiziranim mjesecima su imale utjecaj na varijabilnost u snježnom pokrivaču. Na istraživanom je području utvrđena statistički značajna povezanost između akumuliranog snijega i vrijednosti proljetnog protoka, ali statistički značajna povezanost postoji i između količine padalina i proljetnog protoka, što ukazuje na kombiniran utjecaj kiše i snijega. Na nizvodnijim postajama porast proljetnog protoka počinje ranije u odnosu na postaje koje se nalaze uzvodno jer se uzvodnije postaje prihranjuju snijegom koji se na višim područjima dulje zadržava. Promjene u snježnom pokrivaču utjecale su na distribuciju protoka tijekom zime i proljeća, što je najviše vidljivo u javljanju minimuma protoka ranije tijekom godine. Pomaci maksimuma protoka ne mogu se jasno uočiti zbog kombiniranog utjecaja kiše

i snijega. Treća postavljena hipoteza o javljanju maksimuma ranije tijekom godine ne može se sa sigurnošću prihvatiti jer je promjena u njihovoj distribuciji slabo vidljiva. Promjene u snježnom pokrivaču i protoku povezane su s promjenama u NAO indeksu, no ta povezanost nije značajna u svim analiziranim mjesecima, stoga se posljednja hipoteza prihvaća djelomično.

## 7. LITERATURA I IZVORI

- Abudu, S., Cui, C., Saydi, M., King, J.P., 2012: Application of snowmelt runoff model (SRM) in mountainous watersheds: A review, *Water Science and Engineering* 5, 123-136
- Alvera, B. & García-Ruiz, J. M. (2000) Variability of sediment yield from a high mountain catchment, *Central Spanish Pyrenees. Artic, Antartic and Alpine Res.* 32(4), 478–484.
- Artusi, R., Verderio, P., Marubini, E., 2002: Bravais-Pearson and Spearman correlation coefficients: meaning, test of hypothesis and confidence interval, *The International Journal of Biological Markers* 17, 148-151
- Bavay, M., Grünewald, T., Lehning, M., 2013: Response of snow cover and runoff to climate change in high Alpine catchments of Eastern Switzerland, *Advances in Water Resources* 55 4-16
- Bonacci, O., Dadić, T., Tadić, L., 2012: Hidrološki aspekti pojave snijega u Hrvatskoj, *Hrvatske vode* 81, 117-130
- Caballero, Y., Habets, F., Lehenaf, A., Morel, S., Noilhan, J., 2003: Climate change impacts on the water resources of the Adour-Garone River basin. *Geophys. Res. Abstracts* 5, 10462.
- Clow, D.W., 2010: Changes in the Timing of Snowmelt and Streamflow in Colorado: A Response to Recent Warming, *Journal of Climate* 23, 2293-2306
- Colbeck, S.C., 1987: History of snow-cover research, *Journal of Glaciology* 33(S1), 60-65  
doi:10.3189/S0022143000215839

Čanjevac, I., i Orešić, D. (2015). 'Contemporary changes of mean annual and seasonal river discharges in Croatia', *Hrvatski geografski glasnik*, 77(1), 7-27,

<https://doi.org/10.21861/HGG.2015.77.01.01>

Fayad, A., Faour, G., Gascoïn, S., 2017: Snow hydrology in Mediterranean mountain regions: A review, *Journal of Hydrology* 551, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.05.063

Gelo, B., 2010: Opća i pomorska meteorologija, Sveučilište u Zadru, Odjel za promet i pomorstvo

Hammond, J.C., Saavedra, F.A., Kampf, S.K., 2018: How Does Snow Persistence Relate to Annual Streamflow in Mountain Watersheds of the Western U.S. With Wet Maritime and Dry Continental Climates?, *Water Resources Research*, 54, 2605-2623, DOI: 10.1002/2017WR021899

Hirsch, R.M., Slack, J.R., Smith, R.A., 1982: Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data, *Water Resources Research* 18 107-121

Hirsch, R.M, Slack, J.R., 1984: A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data With Serial Dependence, *Water Resources Research* 20(6) 727-732

Katušin, Z., Bratanić, A., Srnec, L., Kirigin, J., Kaučić, D., Likso, T., Milković, J., Mileta, M., Cividini, B., Žibrat, Z., Pandžić, K., Čačić, I., 2008: Naputak za opažanja i mjerenja na glavnim meteorološkim postajama, DHMZ, Zagreb

Lionello, P., Sarcasia, L., 2018: The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming, *Regional Environmental Change* 18, 1481-1493

Liston, G.E., 1999: Interrelationships among Snow Distribution, Snowmelt, and Snow Cover Depletion: Implications for Atmospheric, Hydrologic, and Ecologic Modeling, *Journal of Applied Meteorology* 38, 1474-1478

López-Moreño, J.I., García-Ruiz, J., 2004: Influence of snow accumulation and snowmelt on streamflow in the central Spanish Pyrenees / Influence de l'accumulation et de la fonte de la neige sur les écoulements dans les Pyrénées centrales espagnoles, *Hydrological Sciences Journal*, 49:5, 787-802, <https://doi.org/10.1623/hysj.49.5.787.55135>

Marty, C., 2008: Regime shift of snow days in Switzerland, *Geophysical research Letters* 35, DOI:10.1029/2008GL033998



Masachs, V., 1948: El régimen de los ríos peninsulares (The regime of peninsular rivers). Instituto Lucas Mallada, Zaragoza, Spain.

McCreight, J.L., Small, E.E., 2014: Modeling bulk density and snow water equivalent using daily snow depth observations, *The Cryosphere* 8, 521-536, doi:10.5194/tc-8-521-2014

Meals, D.W., Spooner, J., Dressing, S.A., Harcum, J.B., 2011: Statistical Analysis for Monotonic Trends, *Tech Notes* 6, Developed for U.S. Environmental Protection Agency by Tetra Tech, Inc., Fairfax, VA, 23p

Mikhailova, N., Yurovsky, A., 2016: The East Atlantic Oscillation: Mechanism and Impact on the European Climate in Winter, *Physical Oceanography* 4, 25-33, DOI:10.22449/1573-160X-2016-4-25-33

Nagler T, Rott H., Malcher P., Müller F., 2008: Assimilation of meteorological and remote sensing data for snowmelt runoff forecasting, *Remote Sensing of Environment* 112(4): 1408–1420.

Pavlič, K., Kovač, Z., Jurlina, T., 2017: Trend analysis of mean and high flows in response to climate warming – Evidence from karstic catchments in Croatia, *Geofizika* 34 (1), 157-174, <https://doi.org/10.15233/gfz.2017.34.11>

Penna, D., van Meerveld, H.J., Zuecco, G., Dalla Fontana, G., Borga, M., 2016: Hydrological response of an Alpine catchment to rainfall and snowmelt events, *Journal of Hydrology* 537, 382-397, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.03.040

Prskalo, G., Žužul, A., 2019: Analiza mjesečnih i godišnjih protoka rijeke Cetine na vodomjernoj postaji Tisne Stine 1, *e-Zbornik* 9(17), 98-108, <https://hrcak.srce.hr/22250>

Rijkborst, H., 1967: Hydrology of the Upper Garone basin (Valle de Arán, Spain), *Leidse Geologische Mededelingen* 40, 1-74

Schober, P., Boer, C., Schwarte, L.A., 2018 :Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation, *Anesthesia & Analgesia* 126(5):1, 1763-1768, DOI: 126. 1. 10.1213/ANE.0000000000002864

Seidel K., Burkart U., Baumann R., Martinec J., 1989 :Snow cover monitoring by satellites and real time runoff forecasts, *IGARSS' 89*, Vancouver, R. C., Canada. IEEE, 558–561.

Stilinović, T., Herceg-Bulić, I., Vučetić, V., 2014: Utjecaj Sjevernoatlantske oscilacije na proljetne temperature tla u Hrvatskoj, *Hrvatsko meteorološki časopis* 48/49, 37-45

Swamy, A.N., Brivio, P.A., 1996. Hydrological modelling of snowmelt in the Italian Alps using visible and infrared remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* 17(16): 3169–3188.

Šegota, T., 1956: Zaštitno djelovanje snijega od utjecaja hladnih zračnih masa početkom 1956. godine, *Hrvatski geografski glasnik* 18, 57-69,

Šegota, T., Filipčić, A., 1996: Klimatologija za geografe, Zagreb, Školska knjiga

Wang, F., Wei, S., Haijun, Y., Guangyuan, K., Xiaoyan, X., Dawei, Z., Minglei, R., Wang, G., 2020: Re-evaluation of the Power of the Mann-Kendall Test for Detecting Monotonic Trends in Hydrometeorological Time Series, *Frontiers in Earth Science* 8, DOI=10.3389/feart.2020.00014

Xiao, X., Zhang, T., Zhong, X., Li, X., 2020: Spatiotemporal Variation of Snow Depth in the Northern Hemisphere from 1992 to 2016, *Remote Sensing* 12, 2728, doi: <https://doi.org/10.3390/rs12172728>

Yao, H., Field, T., McConnell, C., Beaton, A., James, A.L., 2018: Comparison of five snow water equivalent estimation methods across categories, *Hydrological Processes* 32, 1894-1908, doi: 10.1002/hyp.13129

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Andrić, B., Džeba, I., Dujmović, D., 2001: Određivanje karakterističnog opterećenja snijegom, *Građevinar* 53, 6 363-378

Zaqkharova, E.A., Kouraev, A.V., Biancamaria, C., Kolmakova, M.V., Mognard, N.M., Zemtsov, V.A., Kirpotin, S.N., Decharme, B., 2011: Snow cover and spring flood flow in the northern part of Western Siberia (the Poluy, Nadym, Pur and Taz rivers), *Journal of Hydrometeorology* 2, 1498-1511, doi: 1175/JHM-D-11-017.1

Izvori:

Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), Dnevna visina ukupnog snijega, Pregled broja dana sa snijegom  $\geq 1$  cm, Srednja dnevna temperatura zraka i Dnevna oborina za postaje Parg, Ogulin, Bosiljevo, Lokve Brana i Vrelo Ličanke u razdoblju 1989. – 2018., Dnevni protok za postaje Hrvatsko, Brod na Kupi, Turkovići, Lešće Toplice i Mrzlo polje u razdoblju 1989. – 2018.

National Center for Atmospheric Research (NCAR), Hurrell North Atlantic Oscillation Indeks

URL 1: <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-ozalj-1-i-2/1544> (17.11.2021.)

## 8. PRILOZI

### POPIS TABLICA I SLIKA

#### Tablice

Tab. 1. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije i jačina povezanosti .....	15
Tab. 2. Srednji godišnji broj snježnih dana i nadmorska visina (Nmv) na odabranim meteorološkim postajama u razdoblju 1989. – 2018. ....	16
Tab. 3. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike za ukupni mjesečni broj dana sa snijegom $\geq 1$ cm za odabrane postaje u razdoblju 1989. – 2018. ....	17
Tab. 4. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike za kumulativnu visinu snijega u razdoblju studeni – travanj na odabranim meteorološkim postajama u razdoblju 1989. – 2018. ....	22
Tab. 5. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije za srednju mjesečnu temperaturu zraka i kumulativnu mjesečnu visinu snijega u razdoblju 1989. – 2018. ....	26
Tab. 6. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike za srednju mjesečnu temperaturu zraka u razdoblju studeni-travanj na odabranim meteorološkim postajama u razdoblju 1989. – 2018. ....	27
Tab. 7. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike za kumulativnu mjesečnu padalinu u razdoblju studeni-travanj na odabranim meteorološkim postajama u razdoblju 1989. – 2018. ....	27
Tab. 8. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije (r) za kumulativnu visinu snijega i kumulativni protok u istom mjesecu za odabrane parove postaja .....	29
Tab. 9. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije (r) za kumulativnu visinu snijega prethodnog i kumulativni protok sljedećeg mjeseca.....	29
Tab. 10. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije (r) između kumulativne padaline i kumulativnog protoka .....	29
Tab. 11. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike Z za kumulativni mjesečni protok u razdoblju siječanj-travanj na odabranim postajama u razdoblju 1989. – 2018. ....	32
Tab. 12. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike Z za kumulativni desetodnevni protok 1.3. – 29.4. na odabranim hidrološkim postajama u razdoblju 1989. – 2018.....	33
Tab. 13. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike Z za kumulativnu desetodnevnu	

visinu snijega 1.1. – 19.4. za razdoblje 1989. – 2018.....33

Tab. 14. Vrijednosti proračuna Mann-Kendall statistike Z za kumulativnu desetodnevnu padalinu 1.3. – 29.4. za razdoblje 1989. – 2018. ....	34
Tab. 15. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije između indeksa NAO i mjesečne kumulativne visine snijega u razdoblju 1989. – 2018.....	43
Tab. 16. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije između NAO indeksa i kumulativne mjesečne padaline u razdoblju 1989. – 2018.....	44
Tab. 17. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije između NAO indeksa i srednje mjesečne temperature zraka 1989. – 2018.....	44
Tab. 18. Vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije za kumulativni mjesečni protok i NAO indeks 1989. – 2018. ....	45

## Slike

Sl.1. Godišnji hod temperature zraka i količine padalina za postaje: a) Parg, b) Vrelo Ličanke i c) Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. ....	6
Sl.2. Srednje mjesečne vrijednosti protoka za postaje Hrvatsko, Turkovići, Brod na Kupi, Lešće Toplice i Mrzlo Polje za razdoblje 1989. – 2018.....	9
Sl.3. Geografski smještaj analiziranih meteoroloških i hidroloških postaja .....	10
Sl. 4. Primjer ACF dijagrama za kumulativnu visinu snijega u veljači za postaju Vrelo Ličanke u razdoblju 1989. – 2019.....	14
Sl. 5. Srednji mjesečni broj dana sa snijegom $\geq 1$ cm za postaje Bosiljevo, Ogulin, Lokve Brana, Parg i Vrelo Ličanke u razdoblju 1989. – 2018. ....	16
Sl. 6. Mjesečni broj dana sa visinom snijega $\geq 1$ cm u prosincu za postaje Parg, Vrelo Ličanke i Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. Isprekidane linije predstavljaju RAPS vrijednosti nizova.....	19
Sl. 7. Mjesečni broj dana sa visinom snijega $\geq 1$ cm u veljači za postaje Parg, Vrelo Ličanke i Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. Isprekidane linije predstavljaju RAPS vrijednosti nizova. ....	20
Sl. 8. Mjesečni broj dana sa visinom snijega $\geq 1$ cm u travnju za postaje Parg, Vrelo Ličanke i Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. Isprekidane linije predstavljaju RAPS vrijednosti nizova. ....	21
Sl. 9. Kumulativna visina snijega u prosincu za postaje Parg, Vrelo Ličanke i Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. Isprekidane linije predstavljaju RAPS vrijednosti nizova .....	23
Sl. 10. Kumulativna visina snijega u veljači za postaje Parg, Vrelo Ličanke i Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. Isprekidane linije predstavljaju RAPS vrijednosti nizova .....	24

Sl. 11. Kumulativna visina snijega u travnju za postaje Parg, Vrelo Ličanke i Ogulin u razdoblju 1989. – 2018. Isprekidane linije predstavljaju RAPS vrijednosti nizova .....	25
Sl. 12. Odnos kumulativne visine snijega, kumulativne padaline i kumulativnog protoka za par postaja Parg-Hrvatsko u razdoblju 1.1. – 29.5. Nizovi su preoblikovani RAPS metodom. ....	31
Sl. 13. Odnos kumulativne visine snijega, kumulativne padaline i kumulativnog protoka za par postaja Ogulin-Mrzlo Polje u razdoblju 1.1. – 29. 5. Nizovi su preoblikovani RAPS metodom. ....	31
Sl. 14. Vrijednosti kumulativne visine snijega u razdoblju 1.3. – 19.3. za odabrane meteorološke postaje u razdoblju 1989. – 2018. Nizovi podataka preoblikovani su RAPS metodom. ....	35
Sl. 15. Vrijednosti kumulativnog protoka u razdoblju 31.3. – 19.4. na odabranim hidrološkim postajama u razdoblju 1989. – 2018. Nizovi podataka preoblikovani su RAPS metodom. ....	36
Sl. 16. Vrijednosti kumulativne padaline u razdoblju 31.3. – 19.4, za odabrane meteorološke postaje u razdoblju 1989. – 2018. Nizovi su preoblikovani RAPS metodom. ....	37
Sl. 17. Vrijednosti kumulativnog desetodnevnog protoka na odabranim hidrološkim postajama i kumulativne desetodnevne kumulativne visine snijega na postaji Parg 1.1. - 29.5. u razdoblju 1989. - 1998. Nizovi podataka preoblikovani su RAPS metodom. ....	39
Sl. 18. Vrijednosti kumulativnog desetodnevnog protoka na odabranim hidrološkim postajama i kumulativne desetodnevne kumulativne visine snijega na postaji Parg 1.1. – 29.5. u razdoblju 1999. – 2008. Nizovi podataka preoblikovani su RAPS metodom .....	40
Sl. 19. Vrijednosti kumulativnog desetodnevnog protoka na odabranim hidrološkim postajama i kumulativne desetodnevne kumulativne visine snijega na postaji Parg 1.1. – 29.5. u razdoblju 2009. – 2018. Nizovi podataka preoblikovani su RAPS metodom .....	41