

# Korelacijska analiza protoka i oborina u slivu rijeke Bednje i Plitvice

---

Dubovečak, Mihael

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:262726>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

MIHAEL DUBOVEČAK

KORELACIJSKA ANALIZA PROTOKA I OBORINA  
U SLIVU RIJEKE BEDNJE I PLITVICE

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2021.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva  
za 20.09.2021. u 9 sa

Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred  
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu

Varaždin, 06.09.2021.

Predsjednik  
ispitnog povjerenstva:

izr. prof. dr. sc. Saša Koveč

#### Članovi povjerenstva

- 1) izr. prof. dr. sc. Hrvoje Meaški
- 2) dr. sc. Dajana Oskorin
- 3) doc. dr. sc. Jelena Lohorec
- 4) prof. dr. sc. Ranko Brendić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

KORELACIJSKA ANALIZA PROTOKA I OBORINA  
U SLIVU RIJEKE BEDNJE I PLITVICE

KANDIDAT:

Mihael Dubovečak



MENTOR:

izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški

NEPOSREDNI VODITELJ:

Dr.sc. Dijana Oskoruš

VARAŽDIN, 2021



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet



## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: MIHAEL DUBOVEČAK  
Matični broj: 265 - 2019./2020.  
Smjer: UPRAVLJANJE VODAMA

### NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

KORELACIJSKA ANALIZA PROTOKA I OBORINA U SLIVU  
RIJEKE BEDNJE I PLITVICE

Rad treba sadržati:

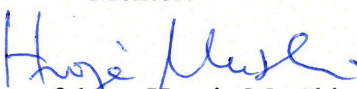
1. Uvod
2. Značajke slivnog područja rijeke Bednje i Plitvice
3. Najvažniji hidrološki pojmovi
4. Statistička obrada nizova podataka
5. Korelacijska analiza
6. Rezultati
7. Zaključak

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

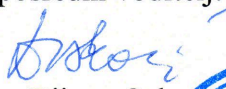
Zadatak zadan: 08.03.2021.

Rok predaje: 06.09.2021.

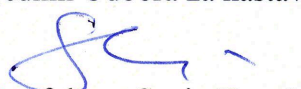
Mentor:

  
Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški

Neposredni voditelj:

  
Dr.sc. Dijana Oskorus

Predsjednik Odbora za nastavu:

  
Izv.prof.dr.sc. Sanja Kovač



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom **Korelacijska analiza protoka i oborina u slivu rijeke Bednje i Plitvice**, rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **izv.prof.dr.sc Hrvoja Meaškog** i neposrednim vodstvom **dr.sc. Dijane Oskoruš**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 6.9.2021.

MIHAEL DUBOVEČAK



---

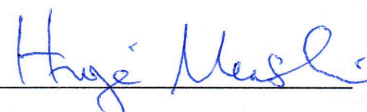
(Vlastoručni potpis)

**IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ  
OBJAVLJENIM RADOVIMA**

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom **Korelacijska analiza protoka i oborina u slivu rijeke Bednje i Plitvice**, pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 3. rujna 2021.

Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški, mentor



(Vlastoručni potpis)

## ZAHVALA

*Želio bih se zahvaliti svojem mentoru, poštovanom izv. prof. dr. sc. Hrvoju Meaški i neposrednoj voditeljici dr. sc. Dijani Oskoruš na stručnoj i nesebičnoj pomoći, odvojenom vremenu, ispravicima i sugestijama koji su pridonijeli realizaciji ovog rada. Zahvaljujem se mag. ing. geoling. Karlu Leskovar na pomoći kod realizacije ideje za moj diplomski rad kao i stručnoj pomoći kroz izradu istog. Ovom prilikom zahvaljujem se svim predavačima i djelatnicima fakulteta koji su mi prenijeli svoja znanja tijekom studiranja, kao i kolegama koji su mi isto učinili lakšim.*

*Posebno zahvaljujem svojoj obitelji te djevojci Antoniji na strpljenju, podršci i razumijevanju tijekom studiranja. Hvala što ste mi oduvijek ukazivali na vrijednost obrazovanja, vjerovali i ulagali u mene te me bodrili u svim trenucima studiranja. Bez njih moj cilj nebi bio realiziran.*



## **SAŽETAK**

**Ime i prezime: Mihael Dubovečak**

**Naslov rada:**

**Korelacijska analiza protoka i oborina u slivu rijeke Bednje i Plitvice**

U ovom radu opisane su karakteristike sliva rijeka Bednje i Plitvice. Ukratko su objašnjeni teorijski temelji hidroloških i statističkih pojmova i korelacijske veze između oborine (P) i otjecanja (Q). Podaci o oborinama i protoci s hidroloških postaja dobiveni su od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda. Izvršena je osnovna statistička obrada skupova podataka za razdoblje od 1990. do 2019. godine. Protoci s hidroloških postaja i oborine s meteoroloških postaja nizvodno od hidroloških postaja korelirani su u razdoblju od 2000. do 2019. godine. Korelacijska veza između oborina i protoka prikazana je u dijagramu disperzije i izračunata je vrijednost Pearsonovog koeficijenta i vrijednosti koeficijenta determinacije  $R^2$ . Izračunate su vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE), srednje kvadratne pogreške (MSE) i korijenske srednje kvadratne pogreške (RMSE). Na temelju izračunanih vrijednosti i rangiranja koeficijenata korelacije prema Roemer-Orapskoj skali, kategorizirani su korelacijski odnosi između oborina i protoka po jačini veze. Izdvojeni su odnosi kod kojih je prisutna jača korelacijska veza između oborina i protoka. Konačni rezultat ovog rada je izdvajanje meteoroloških postaja čiji su podaci oborina prihvatljivi u svrhu predviđanja protoka na hidrološkim postajama u slivu rijeke Bednje i Plitvice.

**KLJUČNE RIJEČI:**

Protok, oborine, sliv rijeke Bednje, sliv rijeke Plitvice, korelacijska analiza

## **ABSTRACT**

**Name and surname: Mihael Dubovečak**

**Title:**

**Correlation analysis of flow and precipitation in the Bednja and Plitvice basin**

The characteristics of the Bednja and Plitvica River basins are described in this paper. The theoretical foundations of hydrological and statistical concepts and correlation analyses between precipitation (P) and runoff (Q) are briefly explained. Runoff and precipitation data from meteorological stations were obtained by the Croatian Meteorological and Hydrological Service. A basic statistical analysis of data for period from 1990 to 2019 has been done. Runoff from hydrological stations and precipitation from meteorological stations downstream of hydrological stations were correlated between 2000 and 2019. The correlation between precipitation and runoff is shown in the dispersion diagrams and Pearson coefficient and coefficient of determination  $R^2$  values were calculated. The mean absolute errors (MAE), mean square errors (MSE) and the root mean square errors (RMSE) were calculated. Based on the values and ranking of correlation coefficients according to Roemer-Orapska scale, correlation between precipitation and runoff per connection strength are categorised. Relations with a stronger correlation link between precipitation and runoff are singled out. The result of this paper is the separation of meteorological stations where precipitation measurements are acceptable for the purposes of predicting runoff at hydrological stations in the basin of the Bednja and Plitvica Rivers.

### **KEYWORDS:**

Precipitation, runoff, Bednja River basin, Plitvice River basin, correlation analysis

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ZNAČAJKE SLIVNOG PODRUČJA RIJEKE BEDNJE I PLITVICE.....	3
2.1. Slivno područje rijeke Bednje.....	3
2.2. Slivno područje rijeke Plitvice.....	4
2.3. Geološke i hidrogeološke karakteristike slivova.....	4
2.3.1. Geološke karakteristike.....	4
2.3.2. Hidrogeološke karakteristike.....	5
2.4. Hidrološke karakteristike sliva rijeke Bednje i Plitvice.....	6
2.5. Meteorološki podaci i značajke.....	9
3. NAJVAŽNIJI HIDROLOŠKI POJMOVI.....	11
3.1. Slivno područje vodotoka.....	11
3.2. Protok i vodostaj.....	12
3.3. Hidrogram protoka.....	14
3.4. Hidrološki ciklus.....	15
3.5. Oborine.....	17
3.6. Određivanje srednje količine oborina na slivnom području.....	18
4. STATISTIČKA OBRADA NIZOVA PODATAKA.....	22
5. KORELACIJSKA ANALIZA.....	25
5.1. Općenito o korelacijskoj analizi.....	25
5.2. Srednja apsolutna pogreška (MAE).....	27
5.3. Prosječna kvadratna pogreška (MSE).....	28
5.4. Korijen prosječne kvadratne pogreške (RMSE).....	29
5.5. Koeficijent determinacije ( $R^2$ ).....	29
6. REZULTATI.....	31
6.1. Korelacijska analiza količine oborina između kišne postaje Varaždinske Toplice i vlastitih mjerenja u mjestu Tuhovec.....	31
6.2. Korelacijska analiza protoka i oborina u slivu rijeke Bednje.....	33
6.2.1. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Lepoglava.....	34
6.2.2. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Željeznica.....	36

6.2.3. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Ključ .....	37
6.2.4. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Tuhovec .....	38
6.2.5. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Ludbreg.....	40
6.3. Korelacijska analiza protoka i oborina u slivu rijeke Plitvice.....	42
6.3.1. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Krkanec.....	42
6.3.2. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Vidovičev Mlin.....	44
7. ZAKLJUČAK.....	46
LITERATURA .....	48
POPIS SLIKA.....	50
POPIS TABLICA .....	52

## 1. UVOD

Rijeka Bednja slovi kao najduža hrvatska rijeka budući da se izvor i ušće rijeke Bednje nalazi isključivo na teritoriju Republike Hrvatske. Dužina vodotoka rijeke Bednje iznosi 94 km te zbog toga postoji potreba provedbe raznih hidroloških analiza u svrhu obrane od poplava. Sliv rijeke Bednje je u gornjem toku lepezast, što uzrokuje brzo formiranje vodnog vala, dok je u srednjem i donjem toku izdužen. Reljef sliva rijeke Bednje karakteriziraju mnogobrojni brežuljci i gorja (Kalničko gorje, Maceljsko gorje, Ravna gora) te planina Ivanščica koja s visinom od 1060 m n.m. ima status najviše planine u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Topografija sliva ima za posljedicu prisutnost čak 46 bujičnih vodotoka čiji je značaj za vodni režim rijeke Bednje vrlo velik.

Dužina vodotoka rijeke Plitvice iznosi 65 km. Gornji tok rijeke karakterizira brdski reljef s mnogobrojnim manjim pritocima. Većina desnih pritoka rijeke Plitvice je brdskog karaktera, dok su lijevi pritoci nizinski. Zbog malog pada terena u srednjem i donjem toku, rijeku Plitvicu karakterizira krivudavi tok te sporo otjecanje vode iz zaobalja. Iako su veći dio godine protoci na rijeci Plitvice mali, za vrijeme velike količine oborina nerijetko je dolazilo do razlijevanja vode iz korita i plavljenja okolnih područja. Stoga su se u zadnjih desetak godina intenzivnije provodili regulacijski zahvati na vodotoku, kako bi se štetne posljedice smanjile. Sve većim utjecajem klimatskih promjena, odnosno sve češćom pojavom oborina ekstremnih intenziteta, zahtjevi za izvođenjem regulacijskih zahvata i provedba hidroloških analiza dobiva još više na značaju.

Hidrološko prognoziranje podrazumijeva spoznaje o budućim hidrološkim pojavama dobivene znanstvenim metodama. Efikasnost prognoze ovisi o kvaliteti sustava za prikupljanje i hidroloških i meteoroloških podataka. U svrhu stvaranja hidrološke prognoze koriste se hidrološki modeli. Postoje empirijski, konceptualni i fizički modeli. Izrada hidroloških modela izrazito je dug i kompleksan zadatak koji uključuje analizu nekoliko odabranih parametara. Zbog kompleksnosti izrade hidroloških modela primjena istih još nije zaživjela na većini vodotoka.

Danas se hidrologija ne može zamisliti bez primjene matematičkih metoda, posebice statistike i računa vjerojatnosti. Razlog za veliku potrebu takvih računa je taj da se iz skupa hidroloških mjerenja i opažanja ne mogu sagledati značajke vodnog režima. Veličine koje se mjere, npr. otjecanje, oborine, temperatura ovise o brojnim

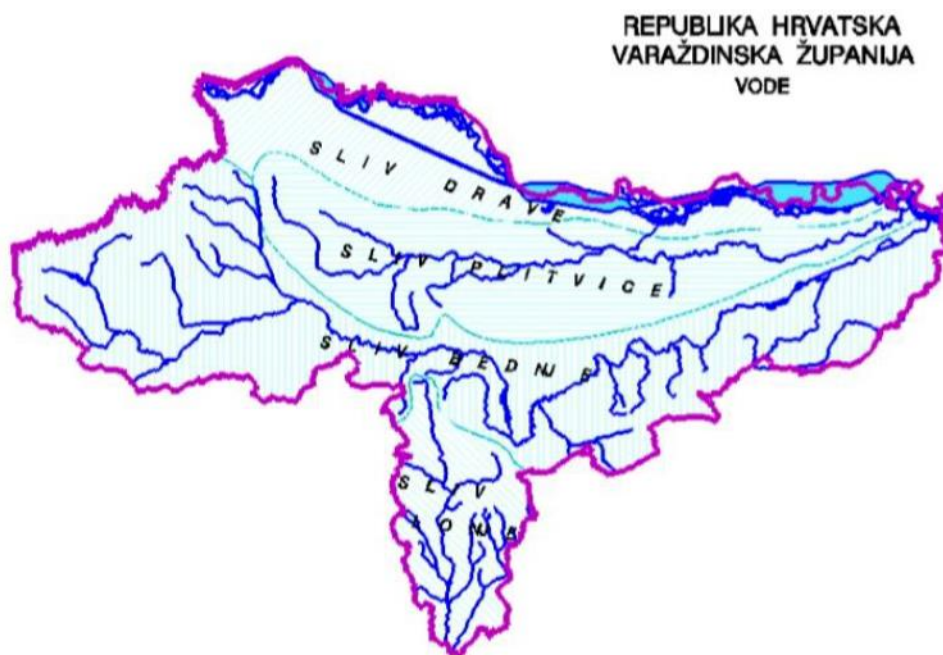
čimbenicima te ih je nemoguće opisati pa se tretiraju kao slučajne (stohastičke) pojave. Također, iako su te veličine kontinuirane pojave, one se razmatraju kao diskretne vrijednosti (dnevne, mjesečne, godišnje). Stohastičke procese nije moguće opisati s konačnim brojem varijabli zbog čega su u hidrologiji bitna mjerenja te metode matematičke statistike (Žugaj, 2000). Povezivanjem stohastičkih i determinističkih analiza moguće je dobiti dobre opise hidroloških procesa pomoću kojih se na pravilan način upravlja vodama. Kako bi se dobili podaci za takve analize, koriste se neprekidni (kontinuirani) i prekidni (diskretni) vremenski nizovi koji se dobivaju temeljem izravnih mjerenja na terenu.

Oborine su jedan od najvažnijih čimbenika u hidrološkom ciklusu. Njihova prisutnost dovodi do pojave površinskog otjecanja koje je iznimno važno u hidrološkom režimu, budući da je otjecanje osnovnom jednadžbom vodne bilance definirano kao razlika oborina i isparavanja te gubitaka ( $Q = P - I - G$ ). Stoga je česta provedba korelacijskih analiza oborina i protoka u odabranom slivu. Korelacijsku analizu moguće je sprovesti na mnogo načina te je zbog toga preporučljivo izvršiti analizu na što više različitih načina. Usporedbom odnosa protoka i oborina na raznim hidrološkim i meteorološkim postajama klasificiraju se jačine korelacija i time dobiva podatak koji odnos je pogodniji za korištenje u daljnjim hidrološkim analizama.

Cilj ovog diplomskog rada je analizirati i utvrditi vezu između ukupne dnevne oborine izmjerene na meteorološkim postajama u slivu rijeke Bednje i Plitvice i srednjih dnevnih protoka izmjerenih na hidrološkim postajama na rijeci Bednji i Plitvici. Korelacijskom analizom provedena usporedba protoka s 5 hidroloških postaja na rijeci Bednji te dvije hidrološke postaje na rijeci Plitvice i oborina s ukupno 11 kišomjernih, klimatoloških i meteoroloških postaja te vlastitim mjerenjem oborine na lokaciji u Tuhovcu. Podaci su dobiveni od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a) za vremenski period od 2000. do 2019. godine. U odabranom razdoblju analiza je sprovedena za dio godine kad su prisutne oborine u tekućem obliku koje utječu na promjenu vrijednosti protoka, od 1. svibnja do 31. listopada.

## 2. ZNAČAJKE SLIVNOG PODRUČJA RIJEKE BEDNJE I PLITVICE

Slivno područje rijeke Bednje i Plitvice obuhvaća ukupno 849,85 km<sup>2</sup> površine. Sa sjevera je ograničeno slivnim područjem rijeke Drave, a s juga slivnim područjem rijeke Save. Sa zapada graniči s teritorijalnom granicom Republike Slovenije, a na istoku sa slivnim područjem potoka Gliboki. Najznačajnije planine u slivu su Ivanščica koja se ističe kao najviša planina u slivu s najvišim vrhom od 1061 m n.m. Osim Ivanščice ističu se još Ravna gora, Macelj, Strahinjčica i Kalničko gorje (Miletić, 1969).



Slika 1. Područje sliva rijeke Plitvice i Bednje (preuzeto iz Prostornog plana Varaždinske županije, 2010.)

### 2.1. Slivno područje rijeke Bednje

Rijeka Bednja izvire u zapadnom dijelu općine Bednja, ispod Brezove gore te nakon protjecanja kroz Trakošćansko jezero teče općenito smjerom od zapada prema istoku, izuzev dijela kod Novog Marofa gdje teče prema jugu pa zatim i prema sjeveru. Utječe u rijeku Dravu kod Malog Bukovca. Površina slivnog područja rijeke Bednje iznosi 565,75 km<sup>2</sup>, od toga nizinski dio zauzima 88,50 km<sup>2</sup>, a brdsko-planinski dio 477,25 km<sup>2</sup>. Budući da je čak 84 % sliva na brdovitom terenu, prema katastru bujica u slivu rijeke Bednje je registrirano 46 bujičnih slivova s jačinom erozijskih procesa III – V

kategorije razornosti (Paladin *et. al.*, 2015). Navedeni bujični tokovi donose velike količine nanosa koji dospijeva u korito rijeke Bednje. Srednja širina porječja je oko 5,8 km, a dužina vodotoka je oko 94 km. Visinska razlika između ušća i izvora rijeke Bednje iznosi oko 110 m što za navedenu dužinu rijeke daje prosječni uzdužan pad od 1,17 %. Prema navedenim podacima rijeka Bednja slovi kao najdulja hrvatska rijeka koja izvire i utječe u Republici Hrvatskoj (Miletić, 1969).

U srednjem i donjem dijelu Rijeka Bednja ima izduženo slivno područje, dok u gornjem dijelu slivno područje je lepezasto proširenog oblika koji ima za utjecaj naglo formiranje vodnih valova. Upravo u gornjem toku Rijeka Bednja prime najznačajnije pritoke i to su vodotoci Saša, Očura i Voća (Miletić, 1969).

Posljedice navedenog oblika su učestale poplave, snažni erozijski procesi u samom koritu, a posljedično tome i pronos i taloženje krupnog nanosa.

## **2.2. Slivno područje rijeke Plitvice**

Rijeka Plitvica izvire u sjeveroistočnim brežuljcima Maceljskog gorja, točnije ispod Viničkih gorica čija nadmorska visina iznosi oko 300 m n.m. U gornjem toku Plitvica teče u smjeru jugoistoka između brežuljaka te njih prima mnoge pritoke. Kod naselja Greda mijenja svoj smjer i teče krivudavim tokom ravnicom u smjeru istoka, gotovo paralelno s rijekom Dravom. Duljina vodotoka premašuje 60 km te se Rijeka Plitvica nedaleko kod Velikog Bukovca ulijeva u Dravu. Površina slivnog područja rijeke Plitvice iznosi 283,20 km<sup>2</sup>. Svi desni pritoci su većinom brdskog karaktera, dok su lijevi većinom izrazito nizinski vodotoci s mjestimično vrlo malim padom. Slivno područje navedenih vodotoka smješteno je u sjevernim obroncima Varaždinsko-topličkoga gorja. Uzdužni pad rijeke Plitvice je vrlo malen što je prouzrokovalo krivudavi tok rijeke i vrlo sporo otjecanje voda iz zaobalja (Urumović, 1971).

## **2.3. Geološke i hidrogeološke karakteristike slivova**

### **2.3.1. Geološke karakteristike**

S fizičkog aspekta područje sliva rijeke Bednje i Plitvice nalazi se u dvije cjeline: podravska i međimurska ravnica s kvartarnim sedimentima na površini i tercijarna pobrđa. Zapadno i južno od podravske ravnice pružaju se Haloze i Toplička gora. A u zapadnom dijelu Međimurja su Međimurske gorice kao nastavak Slovenskih gorica.



Nizine u Međimurju i na desnoj obali Drave jedinstvene su po svom postanku i sastavu. Površina podravske nizine prekrivena je pleistocenskim i aluvijalnim sedimentima, dok je uz Dravu i Plitvicu raširen šljunkovito – pješčani aluvij. U brežuljkastom dijelu prevladavaju pleistocenski sediment i to najčešće ilovina koja je nastala klizanjem niz padine, a mjestimično ima i šljunkovito – pješčanog materijala. Uz sjeverne padine Topličkog gorja i obronaka Kalničkog gorja i to napose na ludbreškom kraju, rašireni su pleistocenski sedimenti koji se u donjim horizontima sastoje od pješčanih i šljunkovitih naslaga, a u gornjim od lesne gline ili zaglinjenog lesa. Zapadno od Vinice ističe se izolirani dio trijanskih vapnenaca i dolomita poznatih kao „vinički kamen“. Južnije od mladotercijarnih gorica prema Ivanščici i Kalniku pojavljuju se sediment iz starijeg tercijara, a planinski masivi pretežito su sastavljeni od mezozojskih slojeva, najčešće vapnenca (Urumović, 1971).

### 2.3.2. Hidrogeološke karakteristike

S obzirom na hidrogeološke značajke, područje slivova rijeke Bednje i Plitvice može se podijeliti u tri skupine s različitim hidrogeološkim karakteristikama.

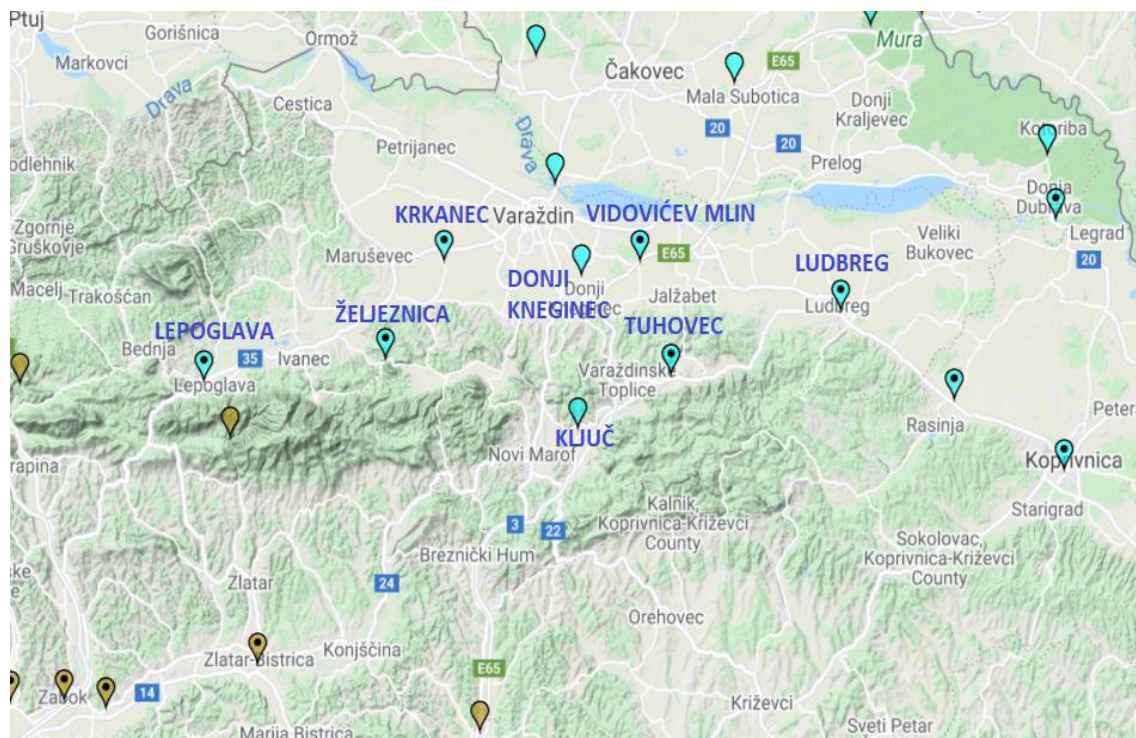
Prvo se područje nalazi južno od Drave te ga sačinjavaju paleozojske i mezozojske stijene. U litološkom smislu sačinjavaju ga eruptivne, klastične, karbonatne i metamorfne stijene koje izgrađuju brdovito područje Ivanščice i Ravne gore. Ovo područje karakterizira degradacija u površinskom dijelu. Mehaničko oštećenje omogućilo je akumuliranje podzemne vode u mreži pukotina i prslina temeljnoga gorja (Ivanščica, Kalničko gorje i Ravna gora) koje je izgrađeno od karbonatnih stijena - pretežito dolomita, mezozojske starosti i sekundarne poroznosti. Najizdašniji izvor karbonatnog kompleksa nalazi se u dolini rijeke Bednje, pod Belom, i njegov kapacitet je 35 l/s. Karbonatne naslage su povezane i s termalnim vodama jer njihovi izdanci su sabirna područja termalnih izvora gdje se osobito ističu Varaždinske Toplice (Miletić *et al.*, 1971).

Brežuljkasta područja izgrađena od tercijarnih stijena karakteriziraju stijene vrlo slabe i povremene izdašnosti zbog svoje slabe propusnosti. Manje izvore nalazimo tek na područjima s debljim površinskim trošnim slojem i ovi izvori imaju ocjedni karakter. Na području gdje se nalazi vodonosni horizont kojeg čine pjeskovite plitkomorske naslage tortonske starosti, ima stalnih izvora s manjim kapacitetom (Miletić *et al.*, 1971).

Ravničarsko područje Mure i Drave izgrađeno od kvartarnih naslaga predstavlja s aspekta dreniranja i akumulacije podzemne vode najznačajniju hidrogeološku jedinicu. Debljina šljunkovito – pjeskovitog horizonta raste od zapada prema istoku te kod Preloga iznosi preko 100 m. Aluvijalni sedimenti Bednje, Plitvice i ostalih većih potoka sastoje se od pijeska i glinovitog praha te rjeđe od sitnog šljunka. Vodonosne naslage prekrivene su relativno nepropusnim pokrovom čija debljina raste nizvodno i varira od 0 do maksimalno 2 m (Miletić *et al.*, 1971).

## 2.4. Hidrološke karakteristike sliva rijeke Bednje i Plitvice

Rijeka Bednja je u uzdužnom profilu pretežito nizinska rijeka s vrlo malim uzdužnim padom. Međutim, pripadajući sliv je gotovo isključivo brdski. Duž toka rijeke Bednje razlikuju se gornji tok (do ušća Željeznice), srednji tok (do ušća Velinečkog potoka) te donji tok do ušća rijeke Bednje u Dravu, kod mjesta Mali Bukovec (Miletić *et al.*, 1971).



Slika 2. Hidrološke postaje u slivu rijeke Bednje i Plitvice ( izvor: <https://meteo.hr/> )

Na slivu rijeke Bednje postoji 5 aktivnih hidroloških postaja: Lepoglava, Željeznica, Ključ, Tuhovec i Ludbreg, a u slivu rijeke Plitvice: Krkanec, Donji Knežinec i

Vidovićev mlin (slika 2.). Postaje Ključ i Donji Kneginec trenutno nemaju kontinuirano limnigrafsko mjerenje, dok su ostale postaje automatske, što znači da mjere vodostaj u realnom vremenu i šalju ih daljinskom dojavom na server u DHMZ.

Podatci za vrijednosti protoka za razdoblje od 1990. do 2019. godine dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a), te su za navedeni period izračunati osnovni statistički pokazatelji dnevnih protoka na vodomjernim postajama na rijeci Bednji (tablica 1.). Vodomjerna postaja Lepoglava počela je s radom 1986. godine, a 2005. postavljen je limnigraf i daljinska dojava vodostaja. Vodomjerna postaja Željeznica počela je s radom 1958. godine, 1960. je postavljen limnigraf, a od 2006. uspostavljena je daljinska dojava vodostaja. Vodomjerna postaja Ključ počela je s radom 1986. godine, a od 2002. je postavljen elektronski limnigraf koji, zbog kvara, od 1.4.2019. nije u funkciji. Vodomjerna postaja Tuhovec počela je s radom 1957. godine, ukinuta je 1975. te ponovno uspostavljena 1979. Godine 2003. s radom je počeo elektronski limnigraf te je kasnije uspostavljena i automatska dojava vodostaja u realnom vremenu. Na postaji Tuhovec u razdoblju od 01.01.2003. do 20.05.2003. godine dnevni protoci su izračunati iz dnevnih očitavanja vodostaja. Nakon tog razdoblja satne i dnevne vrijednosti protoka proračunavaju se iz satnih vrijednosti vodostaja. Vodomjerna postaja Ludbreg počela je s radom 1938. godine, a 2006. je uspostavljena daljinska dojava vodostaja u realnom vremenu.

Tablica 1. Osnovni statistički pokazatelji dnevnih protoka na vodomjernim postajama na rijeci Bednji

	<b>Lepoglava</b>	<b>Željeznica</b>	<b>Ključ</b>	<b>Tuhovec</b>	<b>Ludbreg</b>
<b>Broj podataka</b>	10957	10957	10452	10566	10957
<b>Ar. sredina</b>	1,35	3,42	4,96	5,27	6,27
<b>Mod</b>	0,26	1,60	1,99	0,89	1,77
<b>Medijan</b>	0,55	1,63	2,32	2,42	3,10
<b>Min</b>	0,02	0,2	0,27	0,31	0,33
<b>Max</b>	81,90	123,00	90,20	159,00	135,00
<b>Varijanca</b>	11,62	38,46	78,02	92,94	112,56
<b>St. devijacija</b>	3,41	6,20	8,83	9,64	10,61
<b>Koef. varijacije</b>	2,52	1,82	1,78	1,83	1,69

Prema obradi osnovnih statističkih podataka može se uočiti kako se vrijednosti aritmetičke sredine, moda i medijana dnevnih protoka u pravilu povećavaju udaljavanjem od izvora rijeke Bednje. Navedena teza povezana je s povećanjem protoka

od izvora prema ušću. Minimalan protok na rijeci Bednji zabilježen je na postaji Lepoglava 4. rujna 1998. godine i iznosio je 0,02 m<sup>3</sup>/s. Maksimalan protok u navedenom razdoblju zabilježen je na postaji Tuhovec 6. studenog 1998. godine. Vrijednosti varijance i standardne devijacije rastu s porastom udaljenosti hidroloških postaja od izvora. Posljedica je to velikih razlika u amplitudama između minimalnih i maksimalnih protoka na postajama u donjem toku rijeke Bednje. Tako postaja Tuhovec bilježi razliku navedenih vrijednosti od čak 158,69 m<sup>3</sup>/s. Koeficijenti varijacije i asimetrije najveći su na postaji Lepoglava, dok ostale postaje imaju približno jednake koeficijente. Navedene vrijednosti rezultat su velikog utjecanja bujičnih vodotoka u gornjem toku rijeke Bednje na postaju Lepoglava, odnosno lepezastog oblika sliva u gornjem toku.

Plitvica ima pluvijalni (kišni) režim, s maksimalnim protocima u proljeće (ožujak-travanj) te nema povoljne hidrološke karakteristike. Svi desni pritoci su većinom brdskog karaktera dok su lijevi većinom izrazito nizinski vodotoci. Zbog toga što je uzdužni pad rijeke Plitvice malen, došlo je do meandrirajućeg toka te sporog otjecanja vode iz zaobalja. Sliv rijeke Plitvice je izduženog oblika. U slivu rijeke Plitvice analizirani su protoci s postaja Krkanec i Vidovićev Mlin te su izračunati osnovni statistički pokazatelji dnevnih protoka na navedenim vodomjernim postajama (tablica 2.). Postaja Krkanec je automatska postaja koja radi od 2016. godine, a Vidovićev Mlin je automatska postaja koja je započela s radom 27. lipnja 2002. godine, od kad bilježi vodostaje, dok su se protoci počeli određivati od 2003. godine.

Tablica 2. Osnovni statistički pokazatelji dnevnih protoka na vodomjernim postajama na rijeci Plitvici

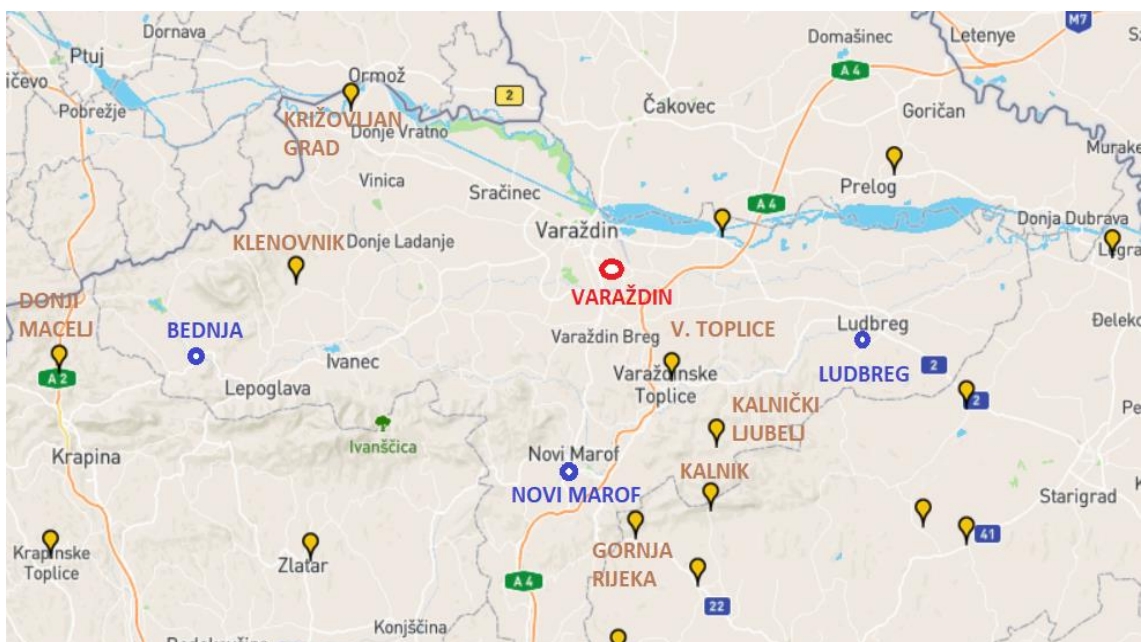
	<b>Krkanec</b>	<b>Vidovićev Mlin</b>
<b>Broj podataka</b>	964	6209
<b>Ar. sredina</b>	0,37	2,28
<b>Mod</b>	0,12	1,00
<b>Medijan</b>	0,24	1,57
<b>Min</b>	0,004	1,57
<b>Max</b>	4,34	32,7
<b>Varijanca</b>	0,18	6,87
<b>St. devijacija</b>	0,43	2,62
<b>Koef. varijacije</b>	1,16	1,15

Najmanji izmjereni protok je iznosio 0,004 m<sup>3</sup>/s te je zabilježen 26. i 27. kolovoza 2017. godine na postaji Krkanec. Najveći protok iznosio je 32,7 m<sup>3</sup>/s, izmjeren na

postaji Vidovićev mlin 20. rujna 2017. godine. Iz statističke obrade podataka može se uočiti manja vrijednost varijance i standardne devijacije na postaji Krkanec zbog kraćeg promatranog perioda. Uspoređujući podatke sa slivom rijeke Bednje, uočavaju se slični koeficijenti varijacije i asimetrije kao posljedice sličnih kišnih režima.

## 2.5. Meteorološki podaci i značajke

Službeni meteorološki podaci za razdoblje od 1990. do 2019. godine, dobiveni su od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda. Na području sliva Bednje i Plitvice postoje 3 klimatološke (Bednja, Novi Marof i Ludbreg) i 3 kišomjerne postaje (Klenovnik, Varaždinske Toplice i Kalnički Ljubelj). U neposrednoj blizini sliva nalazi još 7 kišomjernih postaja (Križovljan Grad, Donji Macelj, Kalnik, Gornja Rijeka, Šemovec, Rasinja i Legrad) te glavna meteorološka postaja Varaždin (slika 3.). U ovom radu korištenu su podatci s postaja: Varaždin, Bednja, Novi Marof, Ludbreg, Varaždinske Toplice, Križovljan Grad, Ljubelj Kalnički, Kalnik, Donji Macelj, Klenovnik i Gornja Rijeka te neslužbeni podaci o oborinama od strane autora u mjestu Tuhovec. Podaci o oborinama u mjestu Tuhovec mjereni su na adresi Tuhovec 136. Mjerenje na navedenoj adresi provedeno je pomoću dva analogna kišomjera, a provedeno je svakog dana u 7 sati. Zapis oborina je svakodnevno unesen u „Excel“ programsku tablicu, a podatak palih oborina dobiven je „osrednjavanjem“ pomoću formule za aritmetičku sredinu vrijednosti oba kišomjera.



Slika 3. Kišomjerne (narančasta boja), klimatološke (plava boja) i glavna meteorološka postaja (crvena boja) u slivu rijeke Bednje i Plitvice (izvor: <https://meteo.hr/>)

Prema dostupnim podacima DHMZ-a za postaju Varaždin, klima na širem Varaždinskom području se definirao kao umjereno toplo-kišna klima s toplim ljetima. Prema analizi za razdoblje 1949.-2019., prosječna mjesečna temperatura kreće se od -0,1 °C u siječnju do 20,5 °C u srpnju. Oborine variraju iz godine u godinu s naglaskom na sve više ekstrema. Kišnija razdoblja zabilježena su u toplijem dijelu godine, dok se sušniji period bilježi u prvom kvartalu godine. Prosječne mjesečne oborine kreću se od 43,7 mm u siječnju dok je najkišniji srpanj s 94 mm. Godišnji prosjek dana sa snijegom je 23, a pojava dana s kišom je 119. Dominiraju vjetrovi južnog i jugozapadnog te sjevernog i sjeveroistočnog kvadranta. Proljeće je najvjetrovitije dok se tijekom ljeta javljaju vjetrovi slabih učestalosti (Zaninović *et al.*,2008).

Prema obrađenoj statističkoj analizi dnevnih oborina za razdoblje 1990.-2020., iščitava se kako je najveća dnevna količina pala na postaji Kalnik, 25. srpnja 2020. godine i iznosi 133 mm (tablica 3.). S obzirom na to kako je broj dana bez oborina veći od broja dana sa zabilježenim oborinama, a vrijednosti oborina manjih od 0,1 mm, prikazuju se iznosom 0, vrijednosti min, moda i medijana nije bilo potrebno računati jer iznosi 0. Veće vrijednosti aritmetičke sredine, varijacije i standardne devijacije na privatnom mjernom mjestu Tuhovec mogu se pripisati kraće analiziranom razdoblju. Vidljiva je relativna ujednačenost koeficijenata asimetrije i koeficijenta varijacije na postajama DHMZ-a. Standardna devijacija kreće se od vrijednosti 6,32 na postaji Novi Marof, do 7,64 na postaji Kalnički Ljubelj.

Tablica 3. Osnovni statistički pokazatelji mjerenih dnevnih oborina (DHMZ) za razdoblje 1990-2020. i vlastito mjerenje dnevnih oborina (2013. - 2020.)

	Broj podataka	Ar. sredina	Max	Varijanca	St. devijacija	Koef. varijacije	Koef. asimetrije
Bednja	5359	2,90	80,00	56,20	7,50	2,59	3,99
Donji Macelj	11323	2,86	90,20	56,22	7,50	2,62	3,94
Gornja Rijeka	11323	2,61	114,00	49,16	7,01	2,68	4,53
Kalnik	8828	2,74	133,00	52,66	7,26	2,65	4,57
Kalnički Ljubelj	10958	2,88	89,30	58,40	7,64	2,65	4,05
Klenovnik	11323	2,93	94,70	55,81	7,47	2,55	4,00
Krizovljan Grad	11323	2,50	99,20	40,77	6,39	2,55	3,95
Ludbreg	11323	2,45	83,60	41,64	6,45	2,63	4,13
Novi Marof	11323	2,45	68,10	39,99	6,32	2,58	3,94
V. Toplice	10958	2,64	88,80	49,09	7,01	2,65	4,20
Varazdin	11323	2,37	127,70	42,08	6,49	2,74	4,93
Tuhovec	2913	3,12	108,00	69,99	8,37	2,68	4,68

### 3. NAJVAŽNIJI HIDROLOŠKI POJMOVI

#### 3.1. Slivno područje vodotoka

Slivno područje vodotoka definirano je kao površina s koje se oborine slijevaju prema mjernom profilu tog vodotoka. Omeđeno je zamišljenom linijom koju nazivamo razvodnica ili vododijelnica. Topografska razvodnica je linija koja dijeli susjedne slivove prema najvišim točkama terena, a određuje se pomoću slojnica na topografskoj karti. Međutim, u nekim polupropusnim ili propusnim terenima (npr. krškim) razvodnica ovisi o geološkim i hidrogeološkim uvjetima, stoga osim topografske razvodnice postoji i hidrološka ili hidrogeološka razvodnica. Za razliku od topografske koja je stalna, hidrološka razvodnica najčešće nije stalna, odnosno mijenja se s obzirom na razinu i smjer kretanja podzemnih tokova. U tom slučaju osim površinskog otjecanja razmatra se i podzemno otjecanje.

Na otjecanje sa sliva utječe mnogo faktora, no najčešće se dijele na (Žugaj,2000):

- a) Zemljopisne: veličina i oblika sliva, pad i reljef terena te gustoća riječne mreže
- b) Geološke: sastav zemljišta u vidu propusnosti i sadržaja vode u podzemlju
- c) Biološke: pokrivenost tla nekom vrstom raslinja
- d) Klimatske: oborine, temperatura, vlažnost zraka, vjetar, isparavanje i evapotranspiracija
- e) Antropološke: čovjekov utjecaj na promjene vodnog režima.

Oblik sliva značajno utječe na način i intenzitet površinskog otjecanja te oblik formiranja vodnih valova u koritu vodotoka. Oblici slivova mogu biti koncentrirani, izduženi, okrugli i sl., a što se prikazuje koeficijentom koncentriranosti sliva (K). Formule za izračunavanje koeficijenta koncentriranosti sliva daju mnogi autori, no najpoznatije formula prema D. Srebrenoviću glasi:

$$K = \frac{2A}{O \times U} \quad (1)$$

gdje je:

K – koeficijent koncentriranosti sliva, A - površina sliva izražena u km<sup>2</sup>,

O - opseg sliva izražen u km,

U – udaljenost težišta sliva od protjecajnog profila (Srebrenović,1986).

### 3.2. Protok i vodostaj

Protok je fizikalna veličina koja označava volumen tekućine koja prolazi kroz neku točku prostora u određenom trenutku vremena. Pomoću njega se određuju i ostali parametri vodotoka. Prema vremenskom intervalu mjerenja razlikuju se sekundni, minutni, satni i dnevni protok. Najčešće korištena mjerna jedinica za protok je metar kubni po sekundi ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Ukoliko su iznosi protoka malog iznosa tada se upotrebljava mjerna jedinica litra po sekundu ( $\text{l/s}$ ). Protok je definiran formulom:

$$Q = A \times v \quad (2)$$

gdje je:

Q – protok ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),

A – površina protjecajnog presjeka vodotoka ( $\text{m}^2$ ),

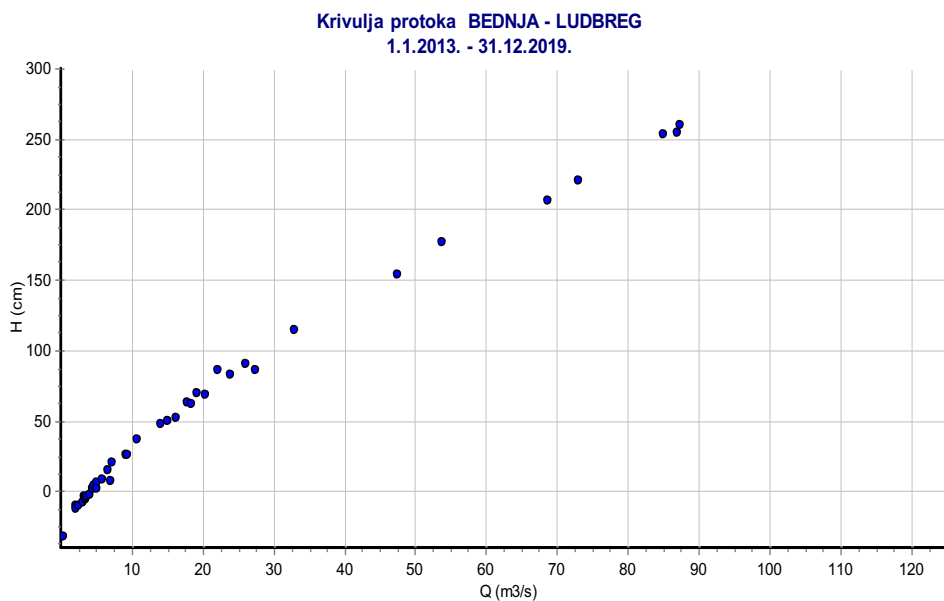
v – brzina tečenja u protjecajnom presjeku ( $\text{m/s}$ ).

Da bi se odredila površina protjecajnog presjeka A potrebno je precizno snimiti geometrijski oblik korita. U tom smislu potrebno je izmjeriti širinu vodotoka i podvodnu konfiguraciju dna vodotoka. Širina vodotoka se, kod manjih vodotoka, može izmjeriti mjernom trakom, dok se kod velikih vodotoka u tu svrhu koriste optički instrumenti. Za mjerenje brzine strujanja vode koriste se različite vrste mjernih uređaja – od klasičnih hidrometrijskih krila do sofisticiranih ultrazvučnih i elektromagnetskih uređaja (Žugaj, 2000).

Protok se najčešće dobiva indirektnim načinom putem izmjerenog vodostaja i prethodno definiranog regresijskog odnosa između vodostaja i protoka. Odnos vodostaja i protoka za neko razdoblje definiran je konsumpcijskom (protočnom) krivuljom (slika 4.) koja je definirana općim izrazom:

$$Q = f(H) \quad (3)$$





Slika 4. Primjer konsumpcijske (protočne) krivulje za HP Bednja-Ludbreg

Taj odnos može biti jednoznačan ili ne, konstantan ili promjenjiv u vremenu te je odnos potrebno svake godine provjeravati i novelirati na osnovi novih H-Q mjerenja koja su na slici 4 prikazana točkama. Nakon definiranja konsumpcijske krivulje, hidrološka opažanja se svode na kontinuirana motrenja vodostaja i povremeno mjerenje protoka pri različitim visinama vodostaja (Srebrenović, 1986).

Vodostaj je visinska razlika između razine vode i nekog nultog položaja kojem je potrebno unaprijed definirati apsolutnu visinu, a naziva se točka nule vodokaza („0“). Geodetska visina kota „0“ u m.n.m. se određuje geodetski i relevantna je za cijelo razdoblje mjerenja, no može doći i do promjena u visini uslijed pomicanja vodokaza, kvara instrumenta, rekonstrukcije i dr. te je stoga geodetsku visinu „0“ potrebno redovito provjeravati. Mjerenje vodostaja vrši se pomoću vodokazne letve ili limnigrafa. Vodokazna letva (slika 5.) je najjednostavniji uređaj za mjerenje vodostaja i pomoću nje se obično očitavaju vodostaji jednom dnevno ili se iznimno, u slučajevima velikih voda, vrše češća očitavanja kako bi se pravovremeno donijele mjere zaštite od poplava. Limnigraf je uređaj koji omogućuje neprekidno mjerenje vodostaja i najveći broj hidroloških postaja je opremljen kontinuiranim mjerenjem vodostaja pomoću tih uređaja. Postoje više vrsta limnigrafa: npr. limnigraf s plovkom i limnigraf s pneumatskim (hidrostatskim) indikatorima (Srebrenović, 1986).



Slika 5. Pojedinačne vodokazne letve u rasponu od 0 do 300 cm na HP Tuhovec  
(autorska fotografija, 13.7.2021.)

### 3.3. Hidrogram protoka

Hidrogram ili hod protoka je grafički prikaz protoka vode u vremenu. Hidrogram ili hod protoka dobije se tako da se na temelju opažanih vodostaja, preko protočne krivulje, proračunaju odgovarajući protoci. Hidrogram je definiran kao grafički prikaz protoka u funkciji vremena izrazom:

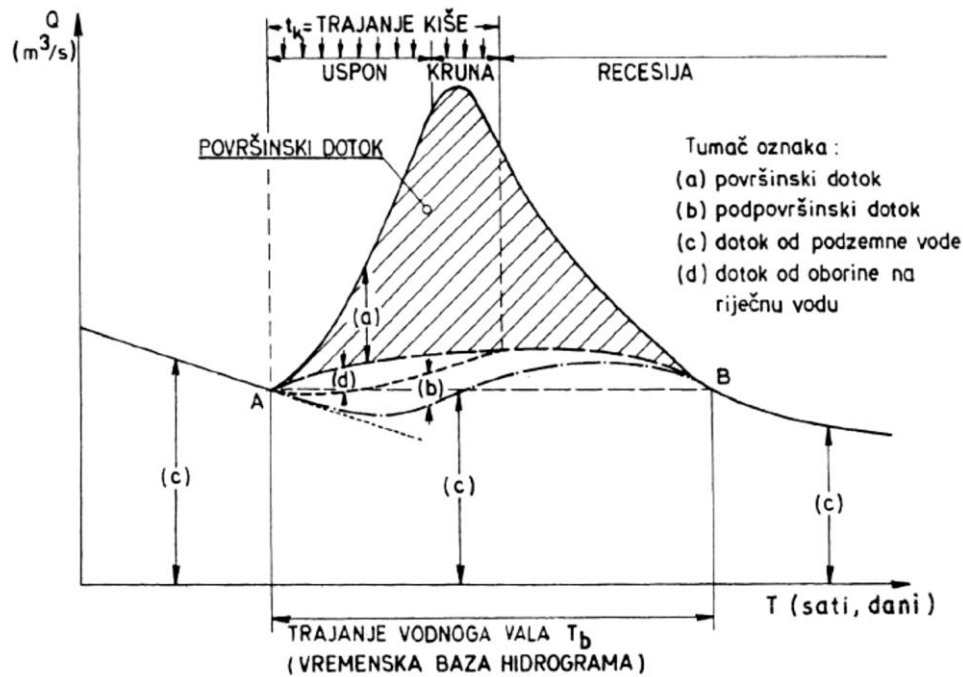
$$Q = f(t) \quad (4)$$

Hidrogram nekog vodnog vala reprezentira porast protoka u nekom mjernom profilu, a sastoji se od nekoliko osnovnih dijelova; uspona, krune i recesije (opadanja). Oblik hidrograma vodnog vala ovisi o količini i trajanju kiše, veličini i obliku sliva zahvaćena kišom te geološko-pedološkim i vegetacijskim osobinama sliva. (Žugaj, 2000).

Dotjecanje vode u vodotok sastoji se od dvaju glavnih dijelova: direktnog dotoka i baznog (temelnog dotoka). Direktni dotok izravni je utjecaj oborina i sastoji se od površinskog i brzog površinskog dotoka. Bazni dotok gotovo je nepromjenjiv u sušnom periodu, a sastoji se od sporog podpovršinskog doticanja i podzemnog (Žugaj, 2000).

Vremensku bazu hidrograma  $T_b$  definira vrijeme od početka porasta hidrograma do vremena kada je površinsko otjecanje gotovo jednako nuli. Vrijeme podizanja vodnoga vala  $T_p$  je vrijeme od početka izravnoga dotoka iz oborine do vršnoga (maksimalnog)

protoka vodnoga vala, a vrijeme recesije ili opadanja vodnoga vala  $T_r$  je vrijeme od vršnoga (maksimalnog) protoka vodnog vala do kraja vodnoga vala (slika 6.).



Slika 6. Glavni dijelovi hidrograma otjecanja (Žugaj, 2000).

Vremenska baza ili trajanje hidrograma je prema tome definiran izrazom:

$$T_b = T_p + T_r \quad (5)$$

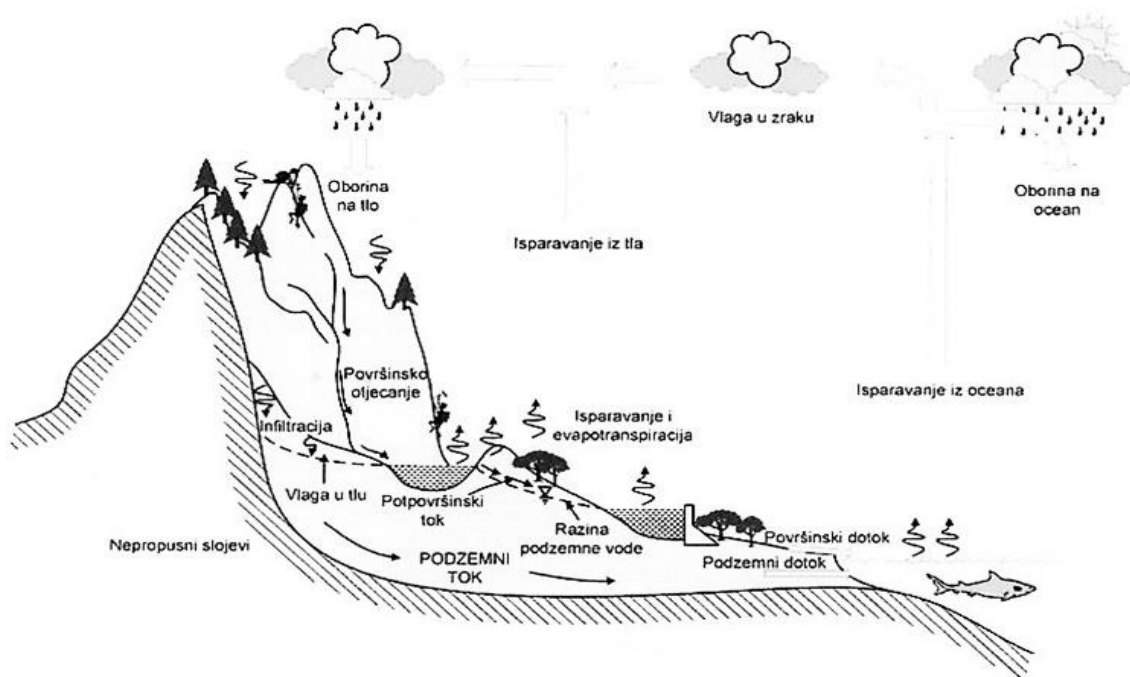
Komponente hidrograma su :

- a) površinski (izravni) dotok,
- b) međudotok (potpovršinski)
- c) podzemni dotok
- d) oborina pala na korito vodotoka

### 3.4. Hidrološki ciklus

Međudjelovanje hidrosfere, geosfere, biosfere i atmosfere je najlakše predočiti slikom hidrološkog ciklusa koji opisuje kretanje vode i njenu razmjenu između mora, atmosfere i zemljine površine (slika 7.). Solarno zračenje osigurava neophodnu energiju potrebnu za evaporaciju tj. isparavanje vode sa zemljine površine i mora. Kada zrak

postane zasićen vodenom parom, odnosno relativna vlaga iznosi 100%, zrak se podiže i hladi u atmosferi te tada dolazi do kondenzacije i stvaranja vodenih kapljica koje formiraju oblake. Te kapljice rastu kako voda napušta svoje plinovito stanje i nastaje kiša ili snijeg, ovisno o temperaturi zraka (Bačani, 2006).



Slika 7. Hidrološki ciklus (Bačani, 2006)

Kada kiša ili snijeg padne na Zemljinu površinu kao oborina, više od polovice te količine vraća se relativno brzo u atmosferu putem evaporacije ili transpiracije. Jedan dio vode zadržava se kao led u ledenjacima ili snježni pokrivač. Ostatak vode otječe površinom kao površinsko otjecanje u vodotocima, privremeno se zadržava u jezerima ili prirodnim retencijama ili se infiltracijom upija u tlo i tu formira podzemnu vodu (Bačani, 2006).

Podzemna voda se kreće vrlo sporo i može se vratiti u površinski sistem daleko od mjesta gdje se infiltrirala u podzemlje bilo da prihranjuje vodotoke tzv. bazičnim dotokom ili kao izvor nekog budućeg vodotoka. Na posljetku se većina vode sastaje s morem, gdje ponovo evaporacijom završava taj ciklus. Samo oko 15-20% oborina završava kao površinsko otjecanje u rijekama i vodotocima, iako i taj podatak može varirati od 2-25%, ovisno o klimatskim uvjetima, fizičkim karakteristikama sliva, vrsti tla, vrsti i količini vegetacije. Stalna i dugotrajna oborina može saturirati tlo i atmosferu i dovodi do poplava, tada otjecanje dosegne 100% vrijednosti oborine (Bačani, 2006).

### 3.5. Oborine

Oborina ili padalina je tekući ili čvrsti proizvod kondenzacije vodene pare koji pada iz oblaka ili se iz zraka taloži na tlo. Oborine se dijele na horizontalne i vertikalne oborine. Horizontalne oborine se pojavljuju u obliku rose, mraza, magle iinja. Iako nisu zanimljive za otjecanje vode u vodotocima, one u određenim uvjetima mogu biti zanimljive za vodoopskrbu. Vertikalne oborine se pojavljuju u obliku kiše, snijega i tuče (Žugaj, 2000).

Oborine se po tipu dijele na ciklonske, konvektivne i orografske. Ciklonske oborine karakteriziraju snažna vrtložna strujanja u atmosferi. Olujnog su karaktera i velikog intenziteta. Konvektivne oborine nastaju podizanjem toplog zraka bogatog vlagom iznad Zemlje. Uslijed hlađenja dolazi do brze kondenzacije i stvaranje obilnih kratkotrajnih oborina, a njihov intenzitet može biti veći od ciklonskih. Orografske oborine nastaju podizanjem toplog zraka uz planinske zapreke (planinske barijere). Oborine su redovito jače na uzlaznoj strani planine nego na silaznoj (Žugaj, 2000).

Za otjecanje vode važna je kiša čiji je promjer kapi veći od 0,5 mm. Takva se kiša po intenzitetu dijeli na tri vrste:

- a) slaba kiša: satni intenzitet do 2,5 mm,
- b) umjereni kiša: intenzitet od 2,5 do 8,0 mm/sat,
- c) jaka kiša: intenzitet preko 8,0 mm/ sat

Meteorološke se veličine motre i mjere na meteorološkim postajama. Količina izmjerene oborine koja padne na tlo iskazuje se u milimetrima (mm) koji zapravo predstavljaju litre na četvorni metar ( $l/m^2$ ). Glavni instrumenti za mjerenje oborina su: kišomjer, ombrograf i totalizator.

Kišomjer služi za mjerenje dnevne količine oborina. Oborina se mjeri jednom dnevno i tada se izmjeri 24 satna kumulativna oborina od prethodnog dana. Oborina se mjeri u 7h prema zimskom računanju vremena ili u 8h prema ljetnom računanju vremena. Postoje različiti tipovi kišomjera, a u Hrvatskoj se najviše rabi Hellmannov kišomjer (slika 8.). Općenito, smatra se da je u prosjeku potrebna jedna kišomjerna stanica na svakih 80 do 100  $km^2$ . Pritom valja imati na umu da u ravničarskim krajevima s ravnomjernijom raspodjelom oborine, kišomjerne postaje mogu biti rjeđe raspoređene, a u planinskim krajevima poželjno je da raspodjela postaja bude gušća (Žugaj, 2000).



Slika 8. Hellmannov kišomjer na kišomjernoj postaji u Varaždinskim Toplicama (autorska fotografija, 13.7.2021).

Uređaj ombrograf kontinuirano bilježi količinu i trajanje tekuće i krute oborine. Za bilježenje tekuće oborine rabi se pluviograf, a za krute nifograf. Za mjerenje oborina u nepristupačnim krajevima, naročito u planinskim krajevima rabi se totalizator. Totalizator ima veliki spremnik pa se može prazniti nakon dužeg vremenskog razdoblja – od nekoliko mjeseci pa sve do godinu dana (Žugaj, 2000).

### **3.6. Određivanje srednje količine oborina na slivnom području**

Budući da su oborinske veličine izmjerene na kišomjernim postajama u samo jednoj točki prostora, potrebno je sagledati njihovu prostornu raspodjelu na čitavom području budući da varijacije oborine ima znatan utjecaj na hidrološke procese. S meteorološkog aspekta postoje tri najčešća načina određivanja prosječne količine oborina na nekom području ili slivu (Srebrenović, 1986). To su:

- Metoda aritmetičke sredine,
- Thiessenova metoda ( metoda Thiessenovih poligona),
- Metoda izohijeta.

### Metoda aritmetičke sredine

Metoda aritmetičke sredine služi za određivanja srednje količine oborina u slivovima koji su relativno maleni te ih karakterizira miran ravničarski reljef. Uz navedene preduvjete, potrebno je zadovoljiti preduvjet jednoliko raspoređenih meteoroloških postaja. U takvim uvjetima očekuje se da neće biti znatnih razlika u visinama oborina. Matematički gledano, ukoliko na nekom promatranom području (slivu) postoji  $n$  meteoroloških postaja za mjerenje količina oborine, veličina prosječne oborine određena metodom aritmetičke sredine dobije se kao prosjek (srednja vrijednost) količina oborina svih stanica na tom slivu (slika 9.). Prema D. Srebrenoviću, formula glasi:

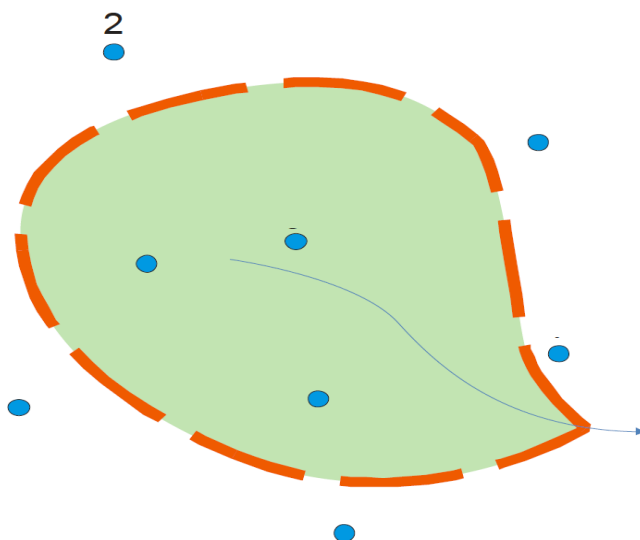
$$H = \frac{\sum_{i=1}^N H_i}{N} \quad (6)$$

gdje su:

$H$  – prosječna oborina slivnog područja,

$H_1, H_2, \dots, H_n$  – srednja vrijednost oborina zapaženih na postajama sliva,

$N$  – broj stanica.



Slika 9. Prikaz metode aritmetičkih sredina (Đurin, 2017)

Metoda je jednostavna, no nedostatak joj je da ne uzima u obzir utjecaj oborina zabilježenih na susjednim postajama.

## Metoda Thiessenovih poligona

Kod primjene Thiessenove metode, za svaku se stanicu odredi njezino utjecajno područje (poligon) u slivu tako da se stranice poligona definiraju kao simetrale spojnica pojedinih stanica (slika 10.). Takvim se postupkom određuju utjecajni poligoni oko svih stanica na slivu s pripadnim površinama A. Za definiranje poligona stanica na rubnim dijelovima sliva uključene su i stanice izvan sliva. Prema D. Srebrenoviću, prosječna količina oborina u slivu tada se računa prema izrazu:

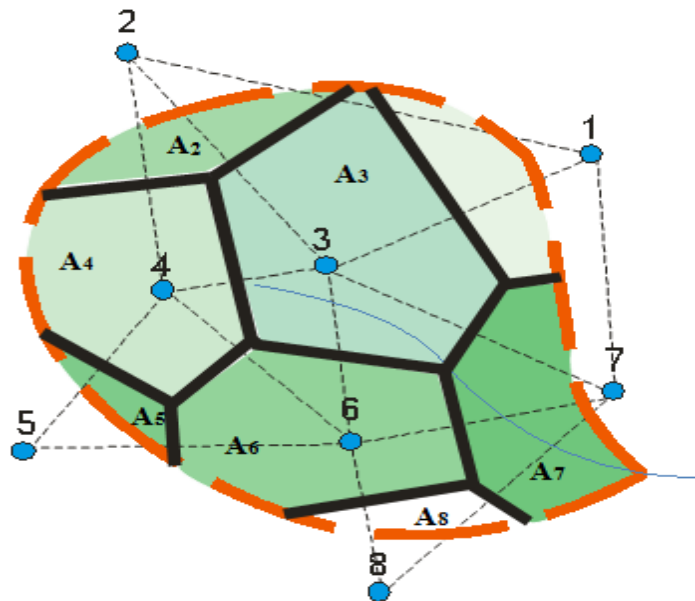
$$H = \frac{\sum_{i=1}^N H_i * A_i}{A} \quad (7)$$

gdje su:

H – prosječna oborina na slivu,

$H_i, A_i$  – oborina na mjernoj postaji i pripadajuća površina,

A – ukupna površina slivnog područja.



Slika 10. Prikaz metode Thiessenovih poligona (Đurin, 2017)

Ova je metoda pogodna za korištenje pri nejednolikoj raspodjeli kišomjernih postaja u prostoru i u ravničarskim područjima bez izraženije promjene topografskih i meteoroloških faktora.



## Metoda izohijeta

Izohijete su linije koje spajaju mjesta s istom visinom palih oborina u nekom razdoblju. Prema tome postoje dnevne, mjesečne, godišnje itd. izohijete. Princip se svodi na osnovu vrijednosti u pojedinim postajama koristeći se linearnom ili subjektivnom interpolacijom. Izohijete se uvijek crtaju za cijele vrijednosti (slika 11.). Matematički izraz glasi:

$$H = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^N \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \times A_i \quad (8)$$

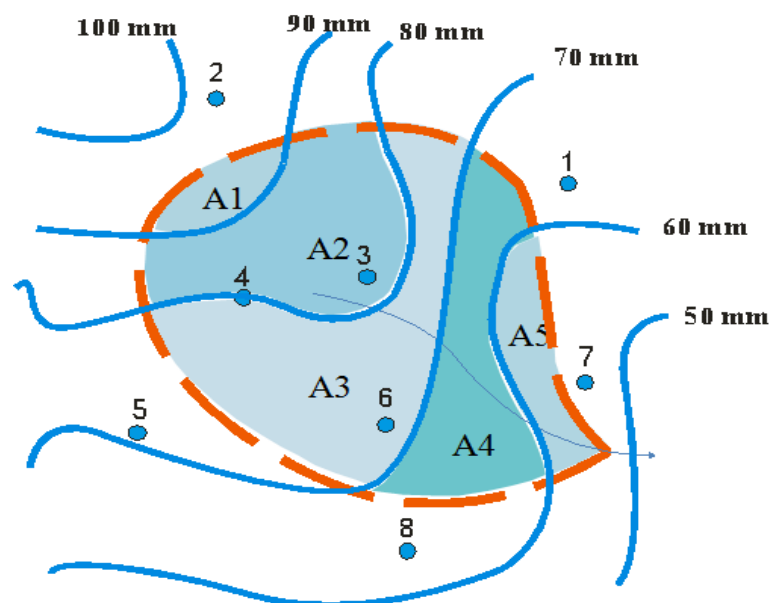
gdje su:

H – prosječna oborina u slivnom području,

A – ukupna površina sliva,

$P_i, P_{i+1}$  – oborine na dvije susjedne postaje,

$A_i$  – površina područja koja pripada postaji.



Slika 11. Metoda izohijeta (Đurin, 2017)

Subjektivna interpolacija se češće upotrebljava i pri njezinoj se primjeni vodi računa o topografskim uvjetima, udaljenosti od mora i ostalim podacima o kojima ovise veličine oborina.

## 4. STATISTIČKA OBRADA NIZOVA PODATAKA

Kako bi se dobila pouzdana analiza ponašanja bilo kojeg hidrološkog procesa, potrebno je prikupiti što više hidroloških podataka (mjerenja oborina, vodostaja, protoka i dr.) što znači da se hidrološke obrade i analize zasnivaju na velikom broju podataka. Iz takvog velikog uzorka se određuju numeričke karakteristike koje mogu ukazati na ponašanje uzorka. Numeričke karakteristike su sljedeće: aritmetička sredina, medijan, mod, varijanica, standardna devijacija, koeficijent varijacije i koeficijent asimetrije (Hrelja, 2000).

### Aritmetička sredina

Aritmetička sredina ili srednja vrijednost ili prosjek jest vrijednost koja se dobiva zbrajanjem članova skupine i dijeljenjem zbroja s brojem pribrojnika. Općenito, srednja vrijednost niza brojeva  $x_1, x_2, \dots, x_n$  je:

$$x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (9)$$

U programu MS Excel programskog paketa MS Office, srednja vrijednost računa se pomoću naredbe „*AVERAGE*“.

### Medijan

Medijan je pojam iz statistike koje određuje sredinu distribucije, odnosno medijan je ona vrijednost slučajne varijable  $X$  koja dijeli funkciju raspodjele gustoće vjerojatnosti na dva jednaka dijela:

$$F(x) = P[X \leq x] = \frac{1}{2} \quad (10)$$

U programu MS Excel programskog paketa MS Office, medijan se računa pomoću naredbe „*MEDIAN*“.

### Mod

Mod je vrijednost slučajne varijable  $X$  koja se najčešće javlja, tj. koja ima najveću vrijednost raspodjele gustoće vjerojatnosti. U programu MS Excel programskog paketa MS Office, mod se računa pomoću naredbe „*MODE*“.

## Varijanca

Varijanca je mjera disperzije mjerenih ili slučajnih veličina oko srednje vrijednosti. Naziva se i centralni moment drugog reda te pokazuje kolika je prosječna vrijednost kvadrata odstupanja za svako pojedino  $x_i$  od srednje vrijednosti. Formula po kojoj se varijanca izračunava:

$$\sigma^2 = m_2 = \sum_{i=1}^{i=N} f_i (x_i - \bar{x})^2 \quad (11)$$

U programu MS Excel programskog paketa MS Office varijanca se računa pomoću funkcije „VARPA“.

## Standardna devijacija

Standardna devijacija je drugi korijen varijance, a označava prosječno srednje kvadratno odstupanje numeričkih vrijednosti neke veličine od njihove aritmetičke sredine:

$$\sigma = m_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} f_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

Standardna devijacija se uvijek izražava u apsolutnim vrijednostima jedinica u kojima se izražava uzorak. U programu MS Excel programskog paketa MS Office za izračun standardne devijacije koristi se funkcija „STDEVS“.

## Koeficijent varijacije

Srednja vrijednost i standardna devijacija jednog uzorka izražavaju se istim mjernim jedinicama, a kako bi se mogle uspoređivati disperzije različitih uzoraka koji imaju različite mjerne jedinice uveo se koeficijent varijacije koji je zapravo relativna mjera disperzije. On je omjer između standardne devijacije i srednje vrijednosti, a izražava se u postocima:

$$C_v(X) = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} = 100 \frac{\sigma_x}{\bar{x}} [\%] \quad (13)$$

Što je koeficijent varijacije veći, rasipanje oko srednje vrijednosti uzorka je veće i obratno.

## Koeficijent asimetrije

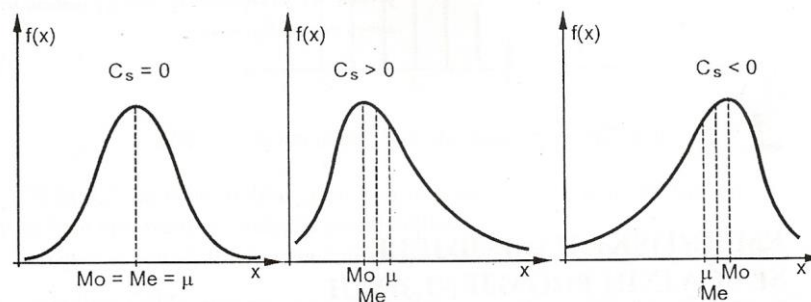
Kako bi se ocijenio oblik funkcije gustoće raspodjele vjerojatnosti uzimaju se centralni statistički momenti u odnosu prema standardnoj devijaciji na određeni stupanj (zbog dovođenja na bezdimenzionalni izraz). Treći koeficijent u hidrološkoj praksi se naziva koeficijent asimetrije funkcije gustoće raspodjele vjerojatnosti te se definira formulom:

$$\alpha_3 = C_s = \frac{M_3}{\sigma^3} \quad (14)$$

Kad je  $C_s = 0$ , funkcija gustoće vjerojatnosti je simetrična te se kao što je to ranije spomenuto, medijana, mod i srednja vrijednost poklapaju u jednoj točki (slika 12.).

Ako je  $C_s < 0$ , onda je asimetričnost negativna ili lijevostrana i tada je  $\bar{x} < Mo < Me$ .

Ako je pak  $C_s > 0$ , onda je asimetričnost pozitivna ili desnostrana i tada je  $\bar{x} > Mo > Me$ .



Slika 12. Grafički prikaz asimetričnosti funkcije gustoće raspodjele vjerojatnosti (Oskoruš, 2010)

Što je  $C_s$  veći po svojoj apsolutnoj vrijednosti, gustoća raspodjele vjerojatnosti je sve više asimetrična. U programu MS Excel programskog paketa MS Office za izračun koeficijenta asimetrije koristi se funkcija „SKEW“.

## 5. KORELACIJSKA ANALIZA

### 5.1. Općenito o korelacijskoj analizi

Korelacija ili povezanost je odnos ili međuovisnost dviju mjerljivih varijabli. U korelacijskoj analizi razmatra se statistički niz koji je predstavljen parovima vrijednosti  $(x_i, y_i)$ . Cilj korelacije je utvrditi postoji li povezanost među varijablama, kolika je jakost veze te može li se varijabla koja je predmet statističke analize prognozirati pomoću opaženih vrijednosti druge varijable (drugih varijabli). Veze između dviju pojava mogu biti:

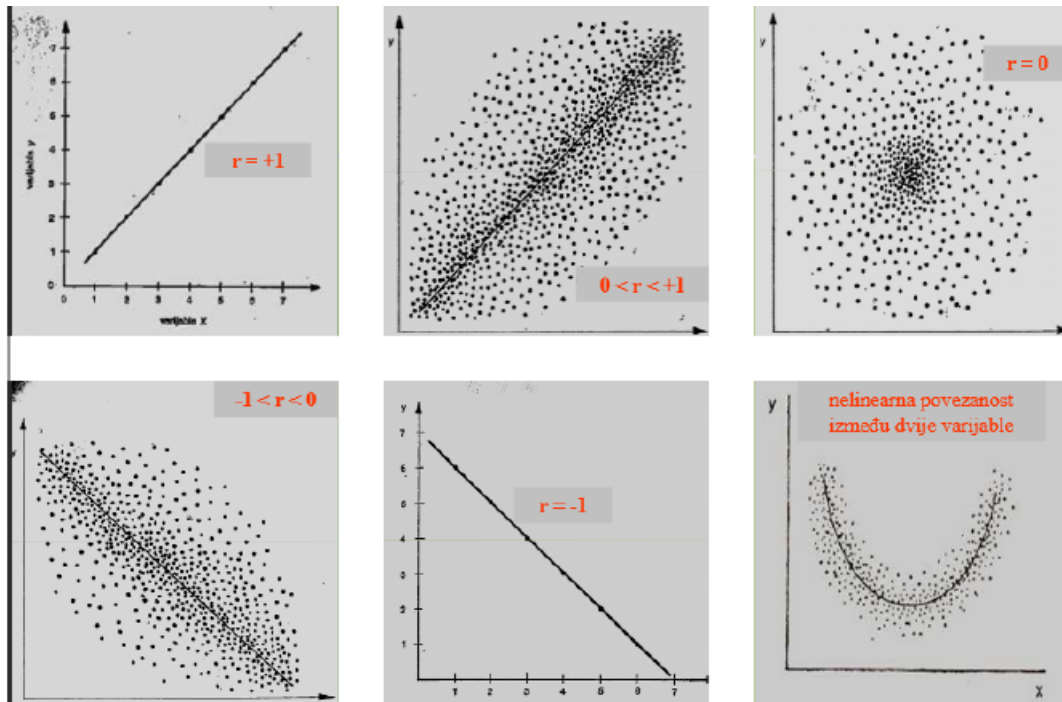
1. Funkcionalne – mogu biti linearne i nelinearne,
2. Približne ili korelacijske – u kojima postoji rasipanje (dispersija) podataka.  
Postoje dva slučaja :
  - a) Pozitivna ili izravna korelacijska veza,
  - b) Negativna ili inverzna korelacijska veza,
3. Nikakve – ne postoji korelacijska veza.

Korelacijski odnosi dviju slučajnih varijabli mogu biti linearni, oblika:  $y = a \times x + b$ , i nelinearni oblika:  $y = a \times x^b$ .

Najjednostavniji oblik primjene korelacijske analize je kada su varijable (npr. varijabla  $x$  i varijabla  $y$ ) u linearnom odnosu. Potpuna korelacija ili funkcionalna veza postoji kada svakoj vrijednosti varijable  $x$  odgovara samo jedna vrijednost u drugoj varijabli  $y$ . Djelomična korelacija znači da određenoj vrijednosti varijable  $x$  odgovara više različitih vrijednosti varijable  $y$ . Što je korelacija manja, to je veća varijabilnost vrijednosti varijable  $x$  koje se pojavljuju uz neku određenu vrijednost varijable  $y$ . Dobivene parove vrijednosti  $x$  i  $y$  možemo prikazati u dvodimenzionalnom dijagramu točaka (slika 13.), odnosno tzv. dijagramu raspršenja (Žugaj, 2000).

Pretpostavke kod računanja koeficijenta korelacije ili Pearsonovog koeficijenta  $r$  su:

- linearna zavisnost između dviju varijabli  $x$  i  $y$ ,
- kontinuirane slučajne varijable,
- obje varijable moraju imati normalnu razdiobu,
- varijable  $x$  i  $y$  moraju biti nezavisne jedna o drugoj.



Slika 13. Primjeri dijagrama raspršenja za različite vrijednosti Pearsonovog koeficijenta r. (Žugaj, 2000).

Koeficijent korelacije r je bezdimenzionalna vrijednost, odnosno nema mjerne jedinice te se njome mjeri smjer i jakost veze između varijabli (x i y) te njegova vrijednost proizlazi iz formule:

$$r = \frac{\sigma_{xy}^2}{\sigma_x \times \sigma_y} \quad (15)$$

gdje su  $\sigma_x$  i  $\sigma_y$  standardne devijacije varijabli X i Y, a  $\sigma_{xy}^2$  je kovarijanca, odnosno aritmetička sredina umnoška odstupanja varijabli od njihovih aritmetičkih sredina (Žugaj, 2000).

Zamjena mjesta x i y ne utječe na konačnu vrijednost koeficijenta r. Vrijednosti r od 0 do 1 ukazuju na pozitivnu povezanost odnosno porast jedne varijable praćen je porastom druge varijable. Vrijednosti od -1 do 0 ukazuju na negativnu povezanost. Porast jedne varijable praćen je padom druge varijable. Jakost veze određujemo pomoću koeficijenta determinacija koji nam brojčano iskazuje jačinu iste, odnosno što je veća apsolutna vrijednost  $|r|$ , veza je čvršća. Kriterij za ocjenu korelacijskih veza predlažu razni autori, no česta je primjena Roemer-Oraphalove ljestvice koja vrijednosti dijeli u 7 razreda.

Tablica 4. Roemer – Oraphalova ljestvica (izvor:  
<http://www.pof.ues.rs.ba/Ostalo/kr.pdf>, datum pristupa 10.7.2021)

Vrijednost koeficijenta korelacije  r	Jačina korelacije
0,00 – 0,10	Nema je
0,10 - 0,25	Jako slaba
0,25 - 0,40	Slaba
0,40 - 0,50	Srednja
0,50 - 0,75	Jaka
0,75 - 0,90	Vrlo jaka

Za razliku od korelacijske analize uloga regresijske analize je da pronađe analitičko-matematički oblik veze između jedne zavisne varijable (npr. y) i jedne ili više nezavisnih varijabli (npr. x). Vrijednosti mjerenja prikazuju kao točke u koordinatnom sustavu koje „spaja” crta regresije.

Crta regresije pokazuje tip odnosa između varijable x i y:

-ako je pravac, onda je povezanost linearna i određena jednačinom pravca

-ako nije pravac, tada se radi o zakrivljenoj korelaciji

Najjednostavniji regresijski model zavisnosti je model jednostavne linearne regresije:

$$y = ax + b \quad (16)$$

gdje su a, b  $\in \mathbb{R}$ . Nagib a i odsječak b regresijskog pravca se određuju metodom najmanjih kvadrata.

## 5.2. Srednja apsolutna pogreška (MAE)

Srednja apsolutna pogreška, eng. *mean absolute error* (MAE), koristi se za usporedbu dva skupa podataka. Primarno se koristi za procjenu točnosti modela koji se zasnivaju na principu regresije, odnosno definira se kao vrijednost apsolutnih vrijednosti pojedinačnih pogrešaka predviđanja u svim primjerima testnog skupa. Svaka pogreška definira se kao razlika između stvarne vrijednosti i predviđene vrijednosti. Osim navedene primjene, srednja apsolutna pogreška koristi se i u drugim primjerima na području hidrologije. Važno je napomenuti kako je nužno da, uspoređujući dva skupa podataka, svaki skup ima određenu mjernu jedinicu, u protivnom usporedba vrijednosti

nema smisla. Tako na primjer možemo iterativno uspoređivati protoke i oborine na željenim postajama na željenom broju lokacija. Srednja apsolutna pogreška definirana je izrazom:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - y| \quad (17)$$

pri čemu su:

$N$  – ukupan broj podataka,

$y_i$  – vrijednost prvog skupa podataka,

$y$  – vrijednost drugog skupa podataka.

Vrijednost srednje apsolutne pogreške dobivena je provođenjem radnji u dva koraka. U prvom koraku sumiraju se sve apsolutne pogreške, a u drugom se izračunava aritmetička sredina apsolutnih pogrešaka. Što je manja vrijednost srednje apsolutne pogreške, to je veća korelacijska povezanost skupova podataka. Korištenjem navedenog izraza, možemo rangirati izvršene usporedbe i vršiti usporedbe (Chicco *et al.*, 2021).

### 5.3. Prosječna kvadratna pogreška (MSE)

Prosječna kvadratna pogreška, eng. *mean squared error* (MSE), predstavlja prosjek kvadrata razlike između izvorne i predviđene vrijednosti u skupu podataka. Prosječna kvadratna pogreška definirana je izrazom:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y)^2 \quad (18)$$

gdje su:

$N$  – ukupan broj podataka,

$y_i$  – vrijednost prvog skupa podataka,

$y$  – vrijednost drugog skupa podataka.

Za razliku od izraza za srednju apsolutnu pogrešku u kojoj je razlika podataka definirana apsolutno, prosječna kvadratna pogreška koristi operaciju kvadriranja razlike podataka, odnosno mjeri se varijanca ostataka. Time se izbjegavaju negativni predznaci,



no veće razlike time dobivaju na težini. Što je vrijednost manja, to je veća korelacija skupova podataka (Chicco *et al.*, 2021).

#### 5.4. Korijen prosječne kvadratne pogreške (RMSE)

Korijen prosječne kvadratne pogreške, eng. *root mean squared error* (RMSE) definira se kao korijen prosječne kvadratne pogreške. Provode se iste matematičke operacije kao i u slučaju prosječne kvadratne pogreške te se u zadnjem koraku dodatno korjenjuje dobiveni iznos. Srednja kvadratna pogreška mjeri varijancu ostataka, dok korijen iste mjeri standardno odstupanje ostataka.

Izraz glasi:

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y)^2} \quad (19)$$

gdje su:

N – ukupan broj podataka,

$y_i$  – vrijednost prvog skupa podataka,

$y$  – vrijednost drugog skupa podataka.

Korištenjem operacije korjenovanja, dobivaju se vrijednosti koje su prikladnije za usporedbu te se zbog navedenog korijen prosječne kvadratne pogreške koristi češće (Chicco *et al.*, 2021).

#### 5.5. Koeficijent determinacije ( $R^2$ )

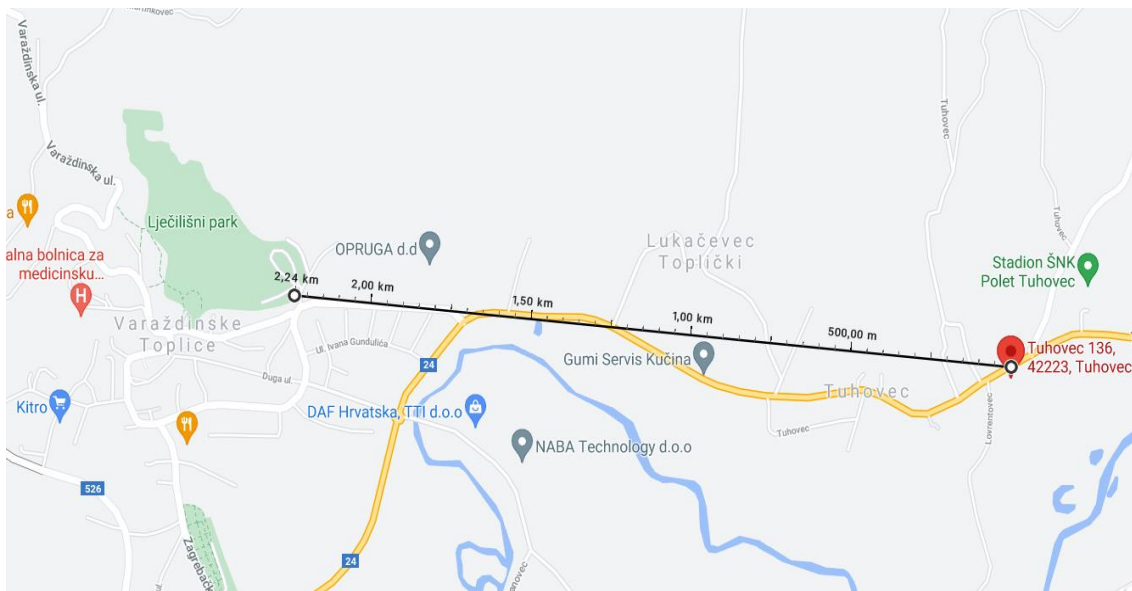
Koeficijent determinacije ili  $R^2$  definira koliko je jak linearni odnos između dvije varijable. Često se koristi za provođenje analize trenda. Koeficijent determinacije kreće se u intervalu [0,1] pri čemu veća vrijednost koeficijenta ukazuje na jaču povezanost dviju varijabli. Vrijednost koeficijenta 1 označava potpunost korelacijske veze. Ponašanje koeficijenta determinacije prilično je neovisno iz linearnosti modela regresijskog uklapanja. Stoga vrijednost  $R^2$  može biti vrlo niska čak i za potpuno linearne modele i obrnuto (Chicco *et al.*, 2021). Matematički, koeficijent determinacije definiran je izrazom:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (20)$$

U programu MS Excel programskog paketa MS Office, srednja vrijednost računa se pomoću naredbe „*CORREL*“.

## 6. REZULTATI

### 6.1. Korelacijska analiza količine oborina između kišne postaje Varaždinske Toplice i vlastitih mjerenja u mjestu Tuhovec



Slika 14. Udaljenost kišomjerne postaje Varaždinske Toplice i vlastite lokacije mjerenja (izvor: <https://www.google.com/maps/hr/>, datum pristupa. 9.7.2021.)

Kišomjerna postaja Varaždinske Toplice nalazi se na 200 m n.m. pokraj Lječilišnog parka. Lokacija vlastitog mjerenja na adresi Tuhovec 136 nalazi se na 178 m n.m. (slika 14.). Udaljenost navedenih lokacija prema proračunu s aplikacije “google karta” iznosi 2,24 km. Kišomjerna postaja Varaždinske Toplice vrši mjerenja od 1.1.1991., dok vlastita mjerenja su započeta 1.1.2013. Zbog moguće razlike kod otapanja krutih oborina, odnosno njihova pretvorba u mm, usporedba oborina izvršena je u vremenskom periodu od 2013.do 2019. godine za razdoblje od 1. svibnja do 31. listopada.

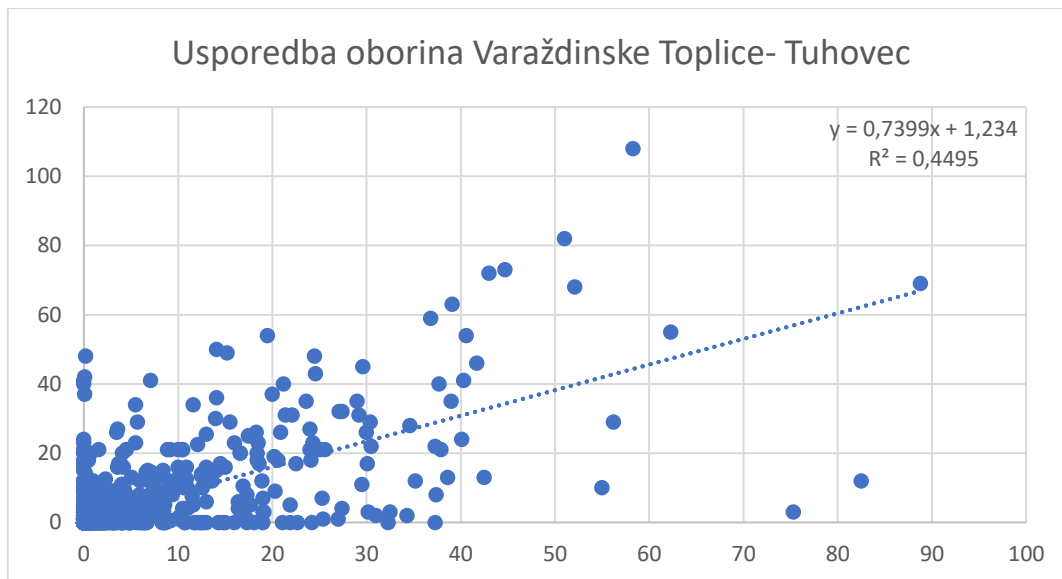
Vlastita mjerenja provedena su na adresi Tuhovec 136. Na livadi pokraj kuće smješšana su dva analogna kišomjera s brojiлом do 40 mm, odnosno 70mm (slika 15.). Mjerenja su provedena od strane autora svakog dana u 7 sati te je podatak o palim oborinama u protekla 24 sata dobiven „osrednjavanjem“ podataka s oba kišomjera. U slučaju pojave krutih oborina (snijega), kišomjeri su zagrijavani te je nakon otapanja snijega očitana količina oborina u tekućem obliku. Podaci su zapisani u elektronički meteorološki dnevnik izrađen od strane autora u programu „Excel“. Redovito su

provedene statističke analize podataka pomoću proračunskih tablica „Excel“ te su rezultati redovito objavljeni na web platformi „CROMETEO forum“.

Aritmetička sredina izdvojenog niza podataka iznosi 2,94 mm za kišomjernu postaju, dok za vlastito mjerenje u mjestu Tuhovec ista iznosi 3,70 mm. Navedena razlika proizlazi iz činjenice da odabrano razdoblje najčešće karakteriziraju konvektivne čiji prostorni raspored je izrazito nejednolik (Žugaj, 2000). Maksimalna dnevna količina oborina koja je zabilježena na kišomjernoj postaji Varaždinske Toplice iznosi 88,8 mm, dok kod vlastitog mjerenja ona iznosi 108 mm i izmjerena je 19. rujna 2017. godine. Istog dana kišomjerna postaja u Varaždinskim Toplicama izmjerila je gotovo dvostruko manje oborina, odnosno 58,3 mm. U prilog izrazito neravnomjernim raspodjelama oborina, pridonosi i podatak iz svibnja 2018. godine, kad je postaja u Varaždinskim Toplicama 14. dana u mjesecu svibnju izmjerila drugu najveću 24-satnu količinu oborina u iznosu od 82,5 mm, dok je tada u Tuhovcu palo tek 12 mm. Radarska slika tog dana potvrdila je dugotrajno zadržavanje jake kišne „mase“ nad Varaždinskim Toplicama dok je ista ta masa tek povremeno rubno zahvaćala mjesto Tuhovec. Tog dana zabilježene su izrazite bujične poplave u gradu Varaždinske Toplice, a rijeka Bednja na postaji Tuhovec imala je satno povećanje od gotovo pola metra uzrokovano jakim i dugotrajnim pljuskom.

Vrijednost standardne devijacije za postaju Varaždinske Toplice iznosi 7,85, a za Tuhovec 9,77. Vrijednosti koeficijenata varijacije i asimetrije su približno iste. Koeficijent varijacije za postaju u Varaždinskim Toplicama iznosi 2,67, a za Tuhovec 2,64. Koeficijent asimetrije iznosi 4,75, odnosno 4,39.

Oborina na postaji Varaždinske Toplice i vlastita mjerenja u Tuhovcu stavljena su u korelacijski odnos (slika 15.). Vrijednost koeficijenta korelacije iznosi  $|r| = 0,67$ , što prema Roemer-Oraphalovoj ljestvici, koja vrijednosti koeficijenata korelacije dijeli u 7 razreda, pripada jakoj korelaciji. S obzirom na zračnu udaljenost dviju mjernih lokacije, očekivala bi se veća korelacija, no budući da je promatran topliji dio godine, koji uključuje neravnomjerniju raspodjelu oborina, jačina korelacije je očekivana.



Slika 15. Usporedba dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Varaždinske Toplice i vlastitih mjerenja u Tuhovcu

## 6.2. Korelacijska analiza protoka i oborina u slivu rijeke Bednje

Korelacijska analiza oborina i protoka na meteorološkim i hidrološkim postajama u slivu rijeke Bednje provedena je u razdoblju od 2000. do 2019. godine. Iznimka je analiza provedena na meteorološkoj postaji Bednja gdje je mjerenje oborina započelo 1.1.2006. godine te vlastita mjerenja u Tuhovcu koja su započela 1.1.2013. godine.

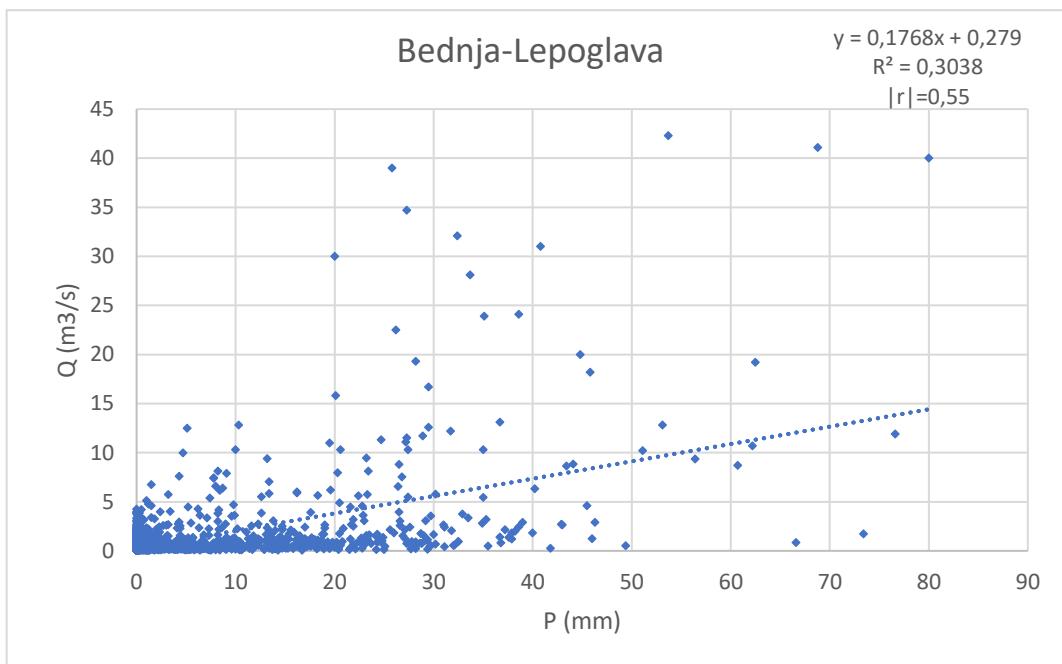
Zbog krutih oborina tijekom zimskih mjeseci (snježnog pokrivača), čija pojava ne utječe na povećanje protoka na vodotocima, korelacijska analiza provedena je u razdoblju toplijeg dijela godine, odnosno od 1. svibnja do 31. listopada. Izračunate su vrijednosti srednje apsolutne pogreške (MAE), srednja kvadratna pogreška (MSE), korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE), koeficijent korelacije ( $|r|$ ) i vrijednost R kvadrata ( $R^2$ ). Navedene vrijednosti dobivene su korištenjem softvera za programske tablice "Excel" prema ranije navedenim formulama (tablica 5.)

Tablica 5. Korelacijska analiza oborina i protoka na meteorološkim i hidrološkim postajama u slivu rijeke Bednje (2000. – 2019.)

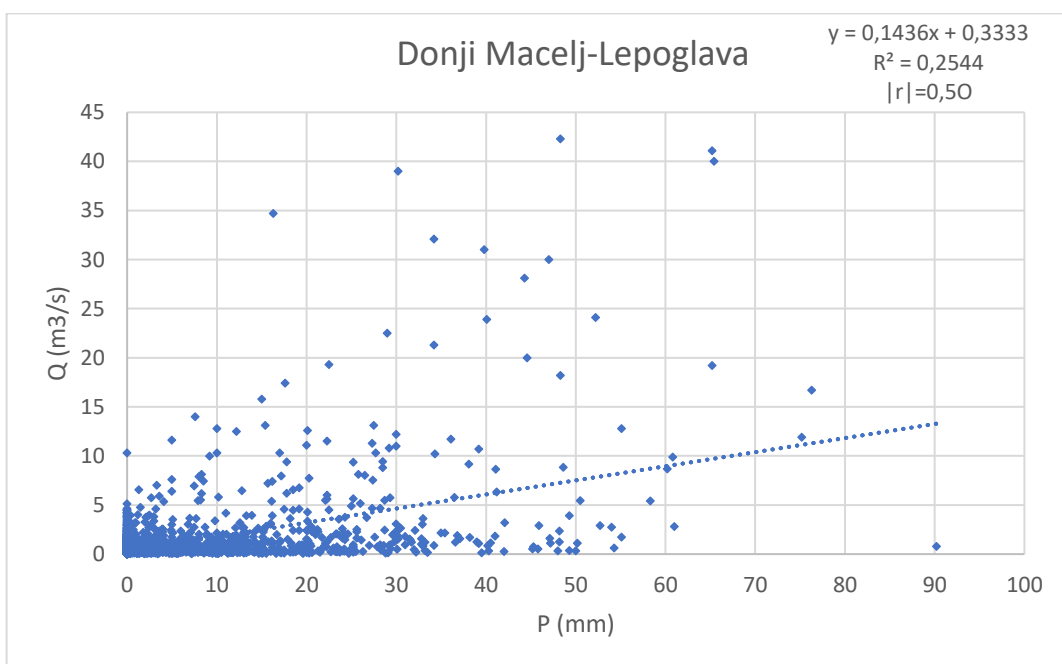
	MAE	MSE	RMSE	r	R <sup>2</sup>
Donji Macelj - Lepoglava	3,12	63,32	7,95	0,50	0,25
Bednja - Lepoglava	3,13	60,86	7,80	0,55	0,30
Donji Macelj - Železnica	3,53	62,03	7,87	0,45	0,20
Bednja - Železnica	3,63	60,07	7,75	0,50	0,25
Bednja - Ključ	4,52	81,93	9,05	0,42	0,18
Donji Macelj - Ključ	4,23	77,87	8,82	0,39	0,15
Bednja - Tuhovec	4,78	93,56	9,67	0,38	0,14
Novi Marof - Tuhovec	3,94	65,05	8,07	0,39	0,15
Kalnički Ljubelj - Tuhovec	4,11	70,69	8,41	0,43	0,19
Kalnik - Tuhovec	4,16	74,93	8,66	0,38	0,15
Gornja Rijeka - Tuhovec	4,03	71,50	8,45	0,37	0,14
Varaždinske Toplice - Tuhovec	4,05	69,23	8,37	0,43	0,19
Tuhovec - Tuhovec	5,74	138,26	11,75	0,31	0,10
Bednja - Ludbreg	5,45	117,25	10,82	0,31	0,10
Novi Marof - Ludbreg	4,59	82,10	9,06	0,33	0,11
Gornja Rijeka - Ludbreg	4,66	86,59	9,31	0,33	0,11
Kalnički Ljubelj - Ludbreg	4,73	85,19	9,23	0,38	0,15
Kalnik - Ludbreg	4,77	90,52	9,51	0,33	0,11
Varaždinske Toplice - Ludbreg	4,69	85,36	9,23	0,37	0,14
Tuhovec - Ludbreg	6,26	162,40	12,74	0,28	0,08

### 6.2.1. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Lepoglava

Najpovoljniji koeficijenti korelacije, MAE, MSE i RMSE, zabilježeni su u gornjem toku rijeke Bednje. Prema tome je korelacijska veza između meteoroloških postaja u gornjem toku rijeke Bednje i hidrološke postaje Lepoglava, prema Roemer-Oraphalovoj ljestvici, definirana kao jaka korelacijska veza (slika 16 i 17.). Vrijednost srednje apsolutne pogreške (MAE) na obje postaje iznosi oko 3,1, dok korijen srednje kvadratne pogreške iznosi oko 7,9. Razlog navedenom rezultatu možemo pripisati velikom utjecaju oborina na protok budući da se meteorološka postaja Bednja nalazi u neposrednoj blizini toka, a kišomjerna postaja Donji Macelj smještena je neposrednoj blizini Maceljskog gorja koje je jedno od najvažnijih izvora brdskih voda putem mnogih vodotoka “bujičara”.



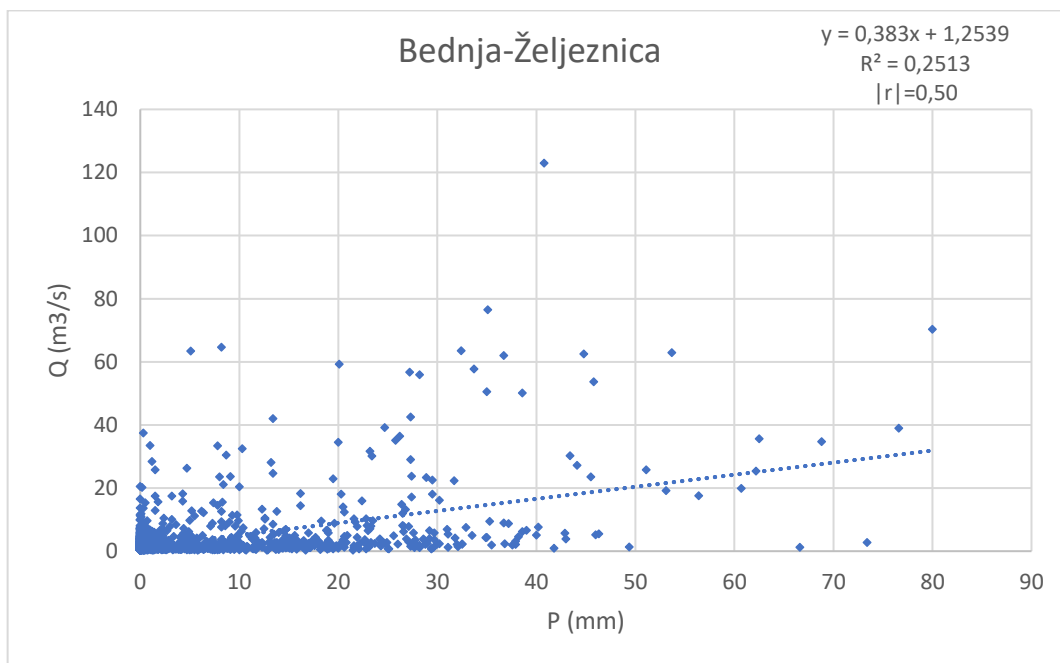
Slika 16. Korelacijska analiza oborina i protoka na klimatološkoj postaji Bednja i hidrološkoj postaji Lepoglava u razdoblju od 2006. do 2019.



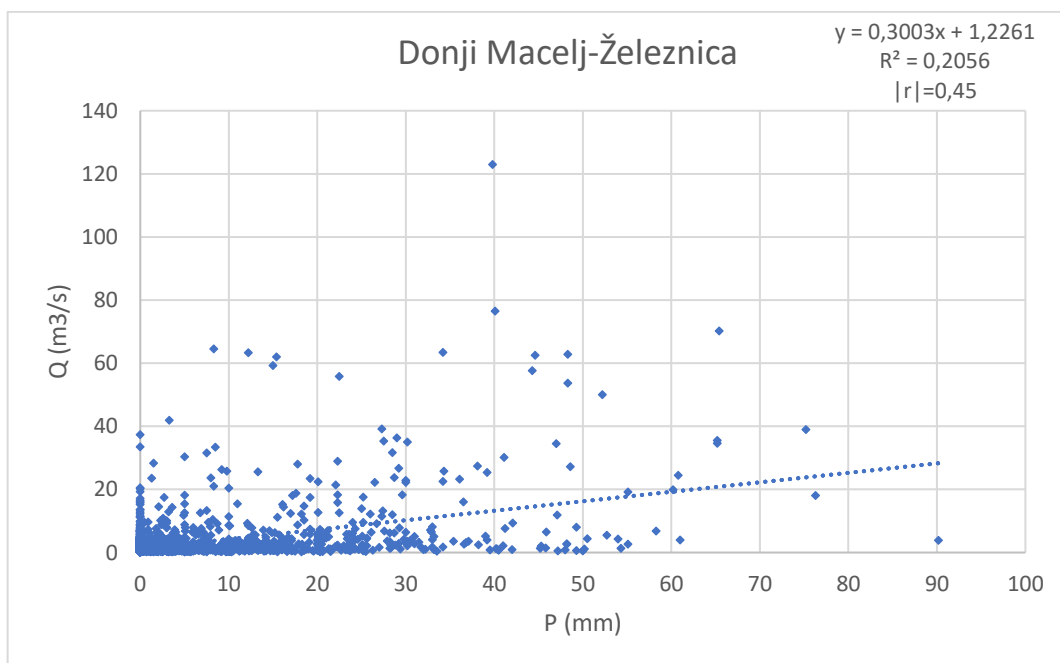
Slika 17. Korelacijska analiza oborina i protoka na kišomjernoj postaji Donji Macelj i hidrološkoj postaji Lepoglava u razdoblju od 2000. do 2019.

### 6.2.2. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Željeznica

Na hidrološkoj postaji Željeznica može se uočiti i dalje jaka korelacijska veza, unatoč međusobno većoj udaljenosti meteoroloških postaja i hidrološke postaje Željeznica.



Slika 18. Korelacijska analiza oborina i protoka na klimatološkoj postaji Bednja i hidrološkoj postaji Lepoglava u razdoblju od 2006. do 2019.



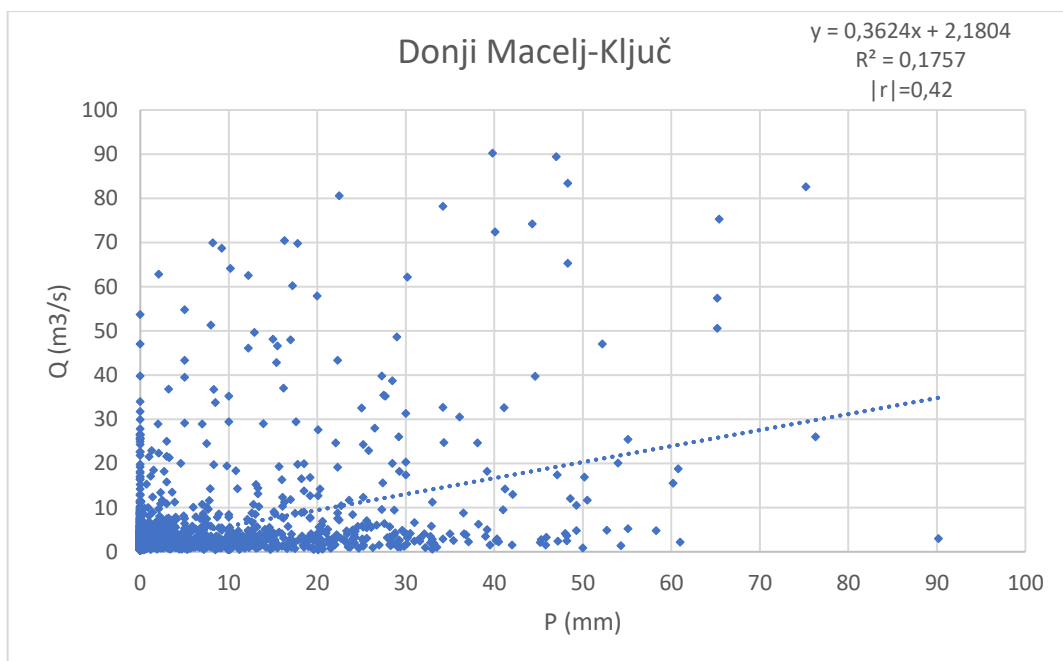
Slika 19. Korelacijska analiza oborina i protoka na kišomjernoj postaji Donji Macelj i hidrološkoj postaji Željeznica u razdoblju od 2000. do 2019.



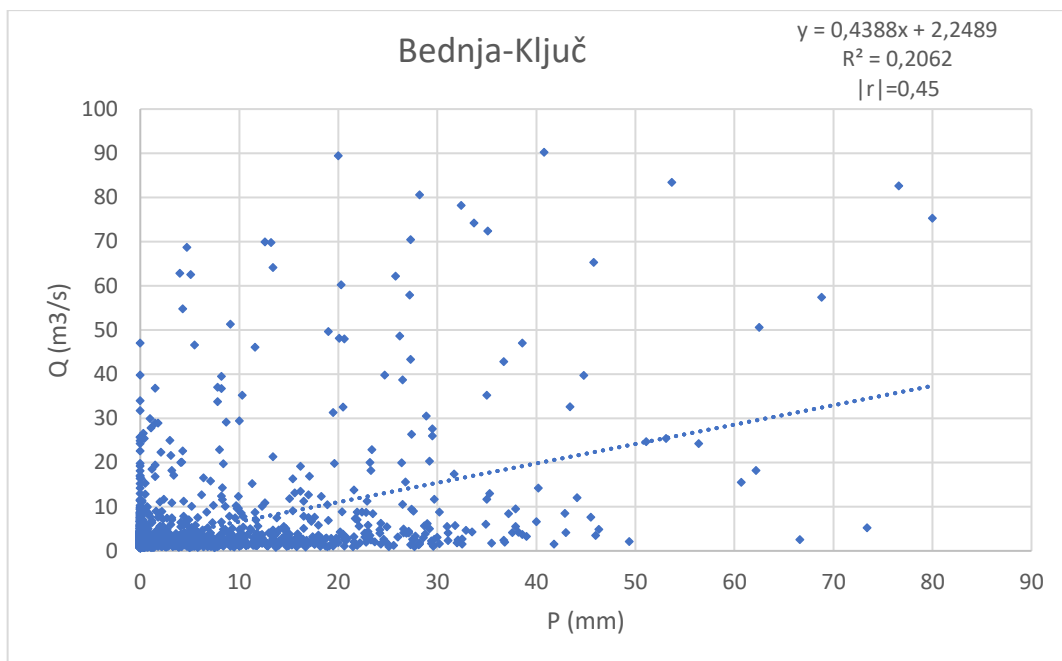
Korelacijska veza oborina i protoka na meteorološkoj postaji Bednja i hidrološkoj postaji Željeznica spada u jaku, dok se korelacijska veza na postaji Donji Macelj i Željeznica svrstava u srednju (slika 18 i 19.). Vrijednost srednje apsolutne pogreške (MAE) za obje postaje iznosi oko 3,6, dok korijen srednje kvadratne pogreške za iste iznosi oko 7,8. Prolazak vodnih valova u gornjem toku rijeke Bednje je izrazito brz, a upravo su postaje Bednja i Donji Macelj dio područja čije oborine uvelike utječu na protoke na hidrološkoj postaji Željeznica. Oborine pale na području Ivanščice ulijevaju se putem vodotoka u neposrednoj blizini postaje Željeznice te znatno utječu na protok na postaji Željeznica.

### 6.2.3. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Ključ

Korelacijska analiza oborina palih na kišomjernoj postaji Donji Macelj te protoka na hidrološkoj postaji Ključ karakterizira korelacijsku vezu kao slabu, dok veza između postaja Bednja i Ključ pripada srednje jakoj vezi. Vrijednost srednje apsolutne pogreške (MAE) u odnosu na obje postaje iznosi oko 4,5 dok korijen srednje kvadratne pogreške iznosi oko 9.



Slika 20. Korelacijska analiza oborina i protoka na kišomjernoj postaji Donji Macelj i hidrološkoj postaji Ključ u razdoblju od 2000. do 2019.



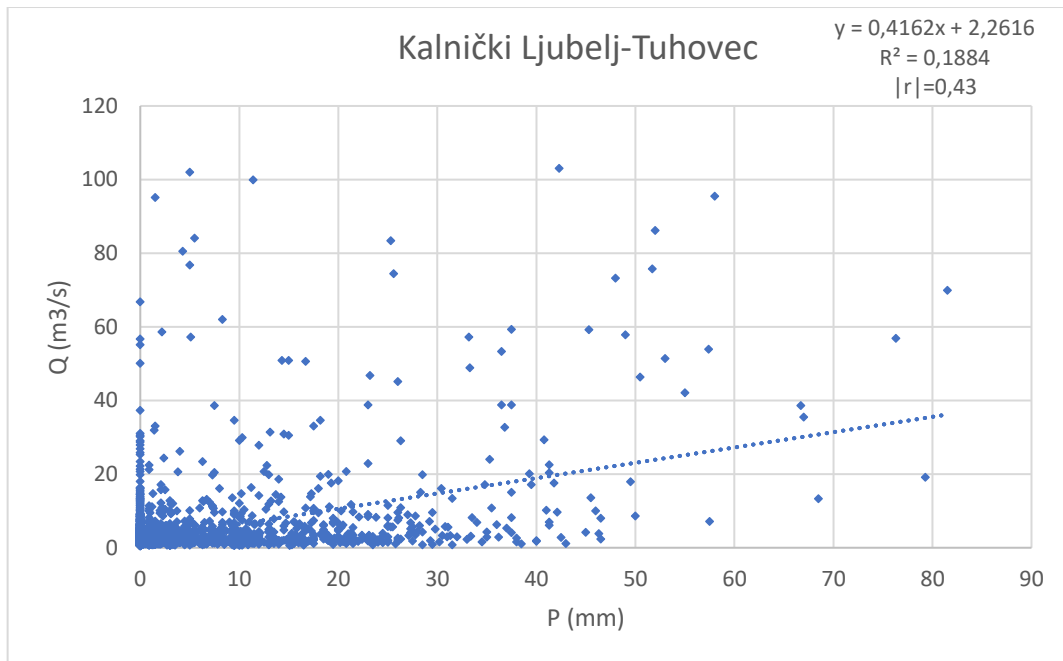
Slika 21. Korelacijska analiza oborina i protoka na klimatološkoj postaji Bednja i hidrološkoj postaji Ključ u razdoblju od 2006. do 2019.

Zračna udaljenost meteorološke postaje Bednja i hidrološke postaje Ključ iznosi oko 30 km dok je razlika između postaje Donji Macelj i Ključ još veća. Stoga oborine pale na meteorološkoj postaji Bednja i Donji Macelj utječu na protok na hidrološkoj postaji Ključ nakon 24 sata i više. Zbog toga je narednog dana provedena korelacijska analiza oborina i protoka na hidrološkoj postaji Ključ te se koeficijent korelacije za odnos s kišomjernom postajom Donji Macelj povećao s 0,39 na 0,42. Koeficijent korelacije za odnos s klimatološkom postajom Bednja povećao se s 0,42 na 0,45. Oba odnosa time spadaju u kategoriju srednje korelacijske povezanosti (slika 20. i 21.).

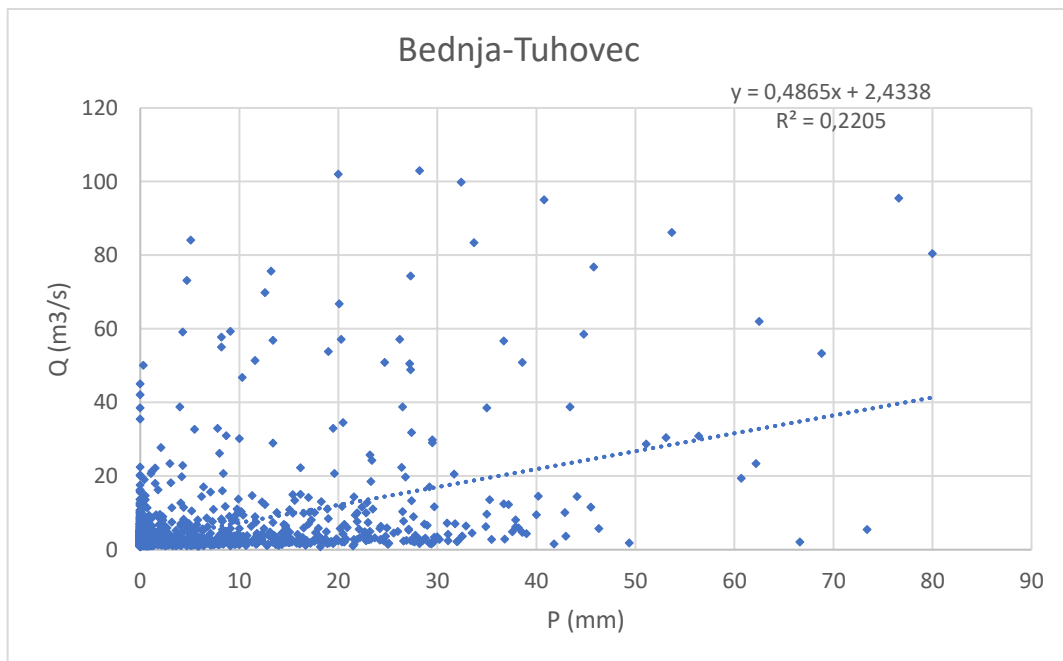
#### 6.2.4. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Tuhovec

Korelacijske veze oborina na meteorološkim postajama i protocima na hidrološkoj postaji Tuhovec mogu se podijeliti u kategorije slaba i srednja korelacijska veza. U slabu korelacijsku vezu spadaju oborine izmjerene na postajama Bednja, Gornja Rijeka, Novi Marof i Kalnik s vrijednostima koeficijenta korelacije između 0,37 i 0,39. Vrijednost koeficijenta korelacije 0,43 bilježi odnos postaja Varaždinske Toplice i Kalnički Ljubelj (slika 22.). Navedeni odnos zabilježen je zbog blizine kišomjernih postaja Varaždinske Toplice i Kalnički Ljubelj, čija zračna udaljenost od hidrološke

postaje Tuhovec ne prelazi 5 km. Iznos srednje apsolutne pogreške kreće se u rasponu od 3,94 za odnos s klimatološkom postajom Novi Marof do vrijednosti 4,78 za odnos s klimatološkom postajom u Bednji. Isti odnos bilježi se i za korijen srednje kvadratne pogreške čije vrijednosti se kreću od 8,07 do 9,67.



Slika 22. Korelacijska analiza oborina i protoka na kišomjernoj postaji Kalnički Ljubelj i hidrološkoj postaji Tuhovec u razdoblju od 2000. do 2019.



Slika 23. Korelacijska analiza oborina i protoka na klimatološkoj postaji Bednja i hidrološkoj postaji Tuhovec u razdoblju od 2006. do 2019.

Budući da je udaljenost klimatološke postaje Bednja i hidrološke postaje Tuhovec velika, napravljena je analiza oborina i vrijednosti protoka sljedećeg dana. Koeficijent korelacije tada iznosi 0,47, dok je vrijednost korelacije za oborine i protoke za isti dan iznosila 0,38. Korelacijska veza time spada u srednje jaku naspram prethodne slabe (slika 23.)

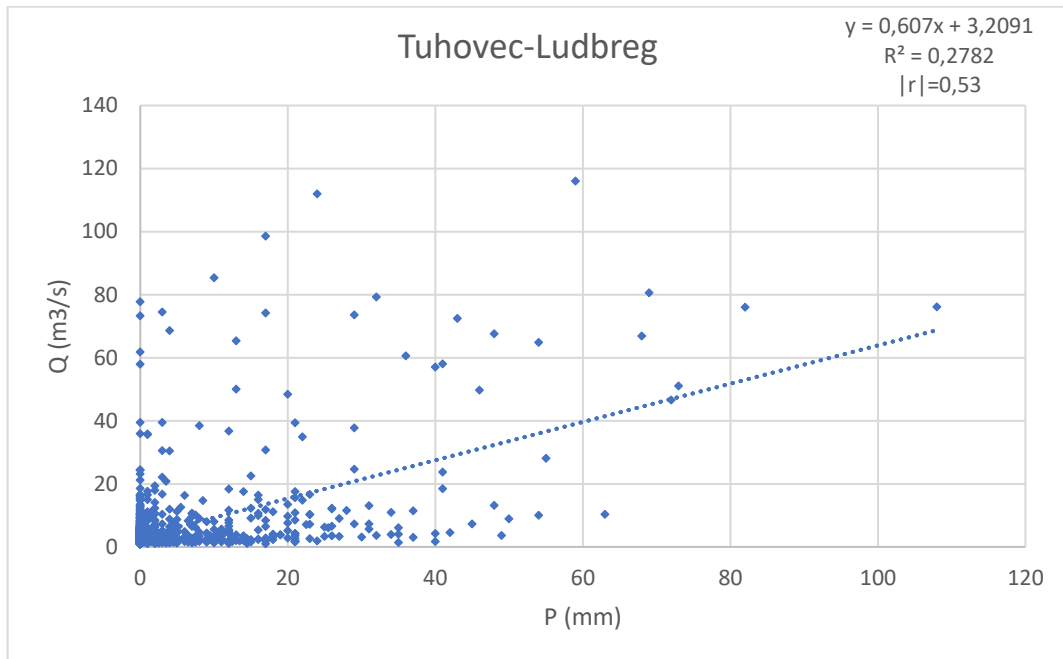
Mjesto vlastitih mjerenja u Tuhovcu udaljeno je oko 300 m od hidrološke postaje Tuhovec. Vrijednost koeficijenta korelacije za navedeni odnos iznosi 0,31. Navedeni podatak produkt je kraćeg razdoblja mjerenja oborina (vlastito mjerenje provodi se od 2013.) te činjenice kako se utjecaj oborina palih na području mjesta Tuhovec (mjesta vlastitog mjerenja) zamjećuju nizvodno od hidrološke postaje Tuhovec.

#### 6.2.5. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Ludbreg

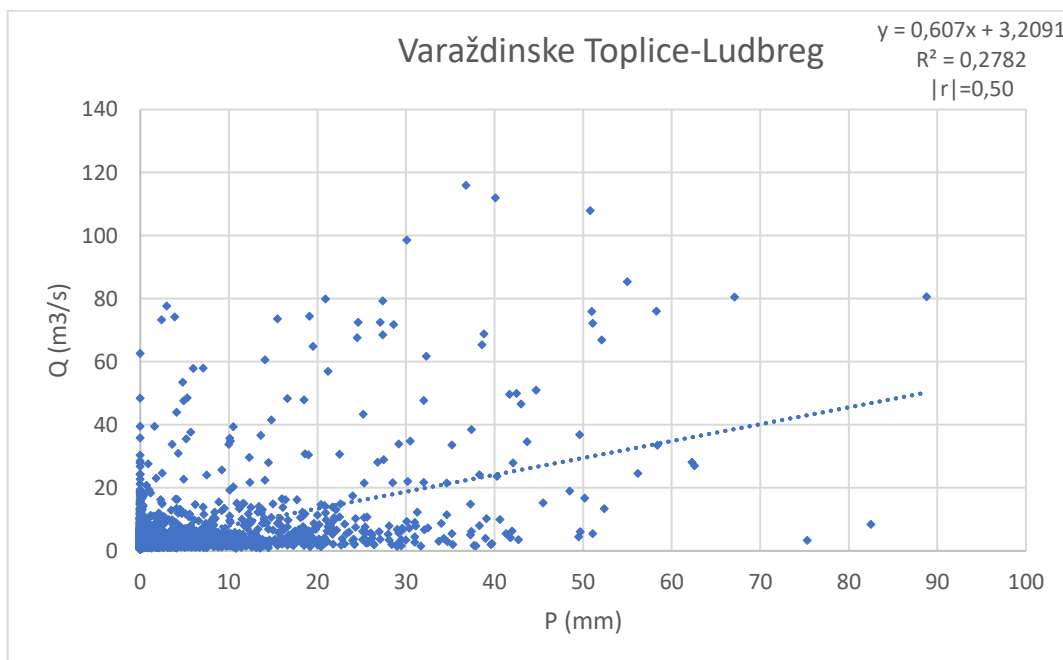
Korelacijska veza oborina s meteoroloških postaja u slivu rijeke Bednje i protoka na hidrološkoj postaji Ludbreg karakterizirana je kao slaba. Hidrološka postaja Ludbreg smještena je u donjem toku rijeke Bednje (u blizini ušća rijeke u Dravu) te u njezinoj blizini nema meteoroloških postaja.

Vrijednost srednje apsolutne pogreške kreću se od 4,59 u odnosu s klimatološkom postajom Novi Marof do 5,74 u odnosu s klimatološkom postajom Bednja. Raspon korijena srednje kvadratne pogreške kreće se u iznosima od 9,06 do 11,75 i navedene vrijednosti izračunate su u odnosima s prethodno navedenim postajama. Koeficijenti korelacije kreću se oko 0,35. Najmanji koeficijent zabilježen je u odnosu s klimatološkom postajom Bednja i iznosi 0,31, dok je najveći zabilježen u odnosu s kišomjernom postajom Kalnički Ljubelj u iznosu od 0,38. Protoci na postaji rezultat su "prikupljanja" oborina palih na području gotovo čitavog sliva u tok rijeke. Stoga je teško procijeniti čiji utjecaj zabilježenih oborina na meteorološkoj postaji najviše utječe na protok. Možemo konstatirati da hidrološki gledano svaka postaja utječe podjednako na protoke na hidrološkoj postaji Ludbreg što govore i ujednačeni koeficijenti korelacije i u gornjem i srednjem toku rijeke Bednje. Zbog velike zračne udaljenosti meteoroloških postaja i hidrološke postaje Ludbreg, korelacijska analiza oborina s odabраних meteoroloških postaja izvršena je s protocima na hidrološkoj postaji Ludbreg sljedećeg dana. Vrijednosti koeficijenta korelacije time su značajno porasli. Najveći porast zabilježen je u odnosu s vlastitim mjerenjem oborina u Tuhovcu gdje je

koeficijent korelacije porastao s 0,28 na 0,53 (slika 24.). Time je korelacijska veza svrstana u kategoriju jake.



Slika 24. Korelacijska analiza oborina i protoka vlastitih mjerenja u Tuhovcu i hidrološkoj postaji Ludbreg u razdoblju od 2013. do 2019.



Slika 25. Korelacijska analiza oborina i protoka na kišomjernoj postaji Varaždinske Toplice i hidrološkoj postaji Ludbreg u razdoblju od 2000. do 2019.

S obzirom da je analiza provedena u kratkom razdoblju (od 2013. godine do 2019. godine), pretpostavka je da koeficijent korelacije u stvarnosti još veći. Vrijednosti

koeficijenta korelacije porasle su i na odnosima s drugim meteorološkim postajama. Tako je u odnosu s klimatološkom postajom Bednja vrijednost koeficijenta korelacije porasla s 0,31 na 0,47 te je time veza okarakterizirana kao srednje jaka. I ostale postaje bilježe porast za gotovo identičan iznos pa je tako vrijednost koeficijenta korelacije u odnosu s kišomjernom postajom Varaždinske Toplice porasla na 0,50 i time je okarakterizirana kao jaka korelacijska veza (slika 25.).

### 6.3. Korelacijska analiza protoka i oborina u slivu rijeke Plitvice

Na rijeci Plitvici vrše se mjerenja protoka na tri hidrološke postaje: Krkanec, Donji Kneginec i Vidovičev mlin. U ovom radu izvršena je korelacijska analiza protoka s hidroloških postaja Krkanec i Vidovičev Mlin. Sliv rijeke Plitvice broji tek nekoliko meteoroloških postaja od kojih se najviše ističu glavna meteorološka postaja Varaždin i kišomjerne postaje Klenovnik i Križovljan Grad. Korelacijska analiza sprovedena je kao i u slučaju sliva rijeke Bednje. Zbog manje površine sliva rijeke Plitvice kao i relativno male udaljenosti hidroloških postaja, vrijednosti parametara su ujednačenije nego u slučaju sliva rijeke Bednje (tablica 6.). Hidrološka postaja Krkanec krenula je s mjerenjima 1.1. 2016., a postaja Vidovičev Mlin 1.1.2003.

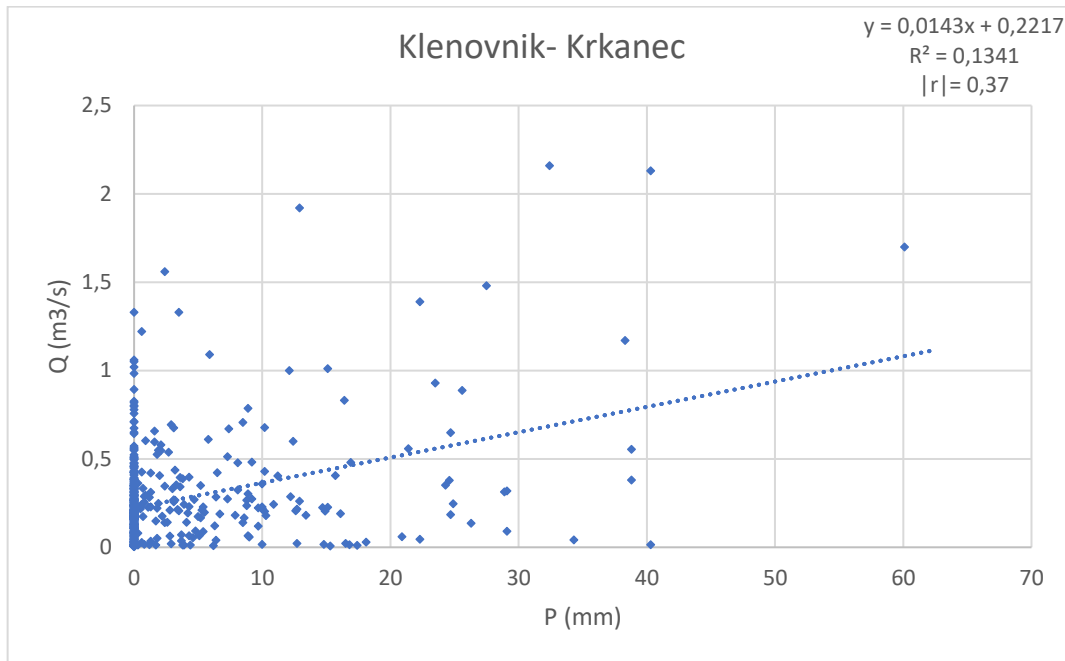
Tablica 6. Korelacijska analiza oborina i protoka na meteorološkim i hidrološkim postajama u slivu rijeke Plitvice

	MAE	MSE	RMSE	r	R <sup>2</sup>
Klenovnik- Krkanec	3,47	76,84	8,77	0,37	0,13
Križovljan Grad- Krkanec	3,25	71,04	8,43	0,37	0,13
Klenovnik- Vidovičev Mlin	3,75	53,34	7,30	0,35	0,12
Križovljan Grad- Vidovičev Mlin	3,85	57,46	7,58	0,34	0,11
Varaždin - Vidovičev Mlin	3,55	51,64	7,19	0,40	0,16

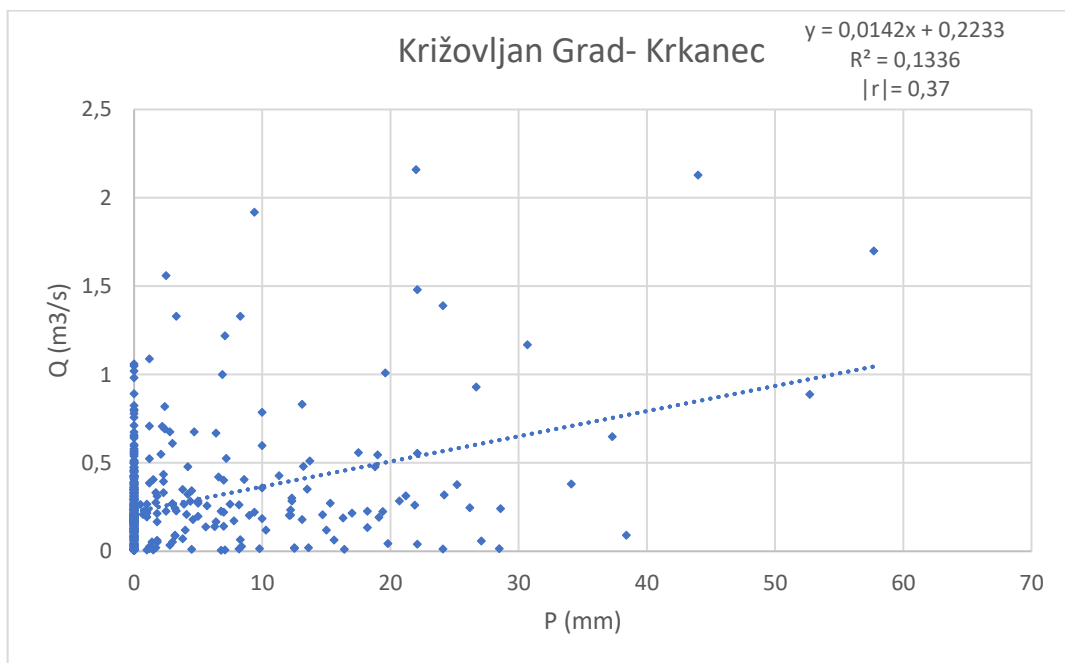
#### 6.3.1. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Krkanec

Koeficijent korelacije u odnosu hidrološke postaje Krkanec i kišomjernih postaja Klenovnik i Križovljan Grad je jednak i iznosi 0,37 (slika 26.). Navedeni koeficijent svrstava odnose u kategoriju slabe korelacijske veze (slika 27.). Vrijednost srednje

apsolutne pogreške u navedenom odnosu je 3,47 i 3,25, dok je vrijednost korijena srednje kvadratne pogreške 8,77 i 8,43.



Slika 26. Korelacijska analiza oborina i protoka s kišomjerne postaje Klenovnik i hidrološke postaje Krkanec u razdoblju od 2016. do 2019.

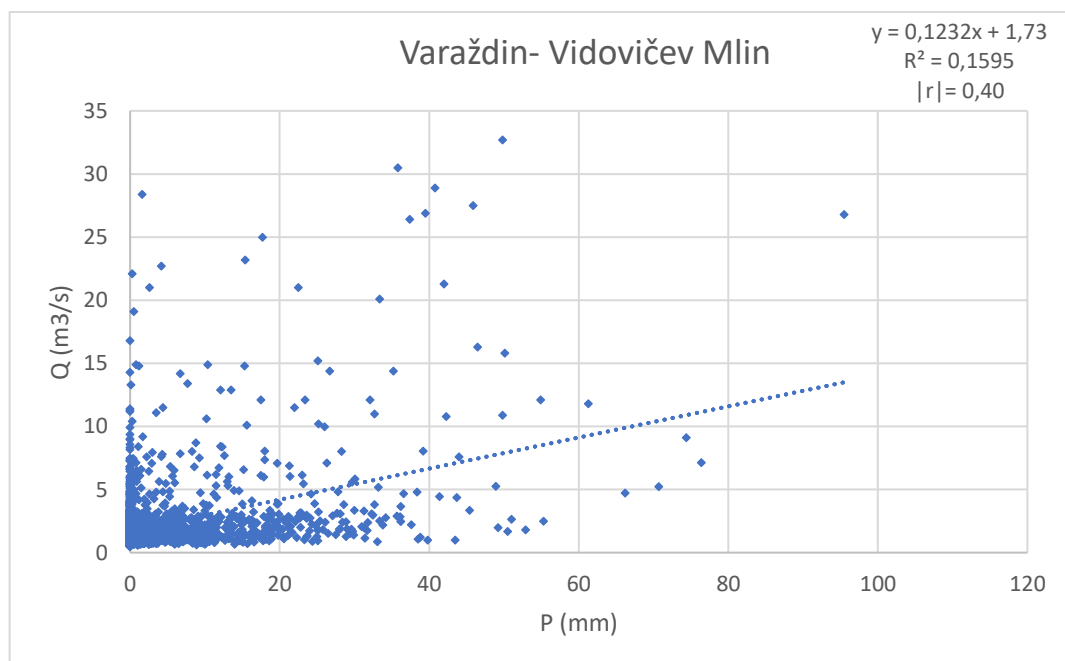


Slika 27. Korelacijska analiza oborina i protoka s kišomjerne postaje Križovljan Grad i hidrološke postaje Krkanec u razdoblju od 2016. do 2019.

Kišomjerne postaje slične su zračne udaljenosti od hidrološke postaje Krkanec pa stoga ne čude slične izračunate vrijednosti navedenih koeficijenata. Za precizniju korelacijsku analizu potreban je duži vremenski period mjerenja protoka na postaji Krkanec.

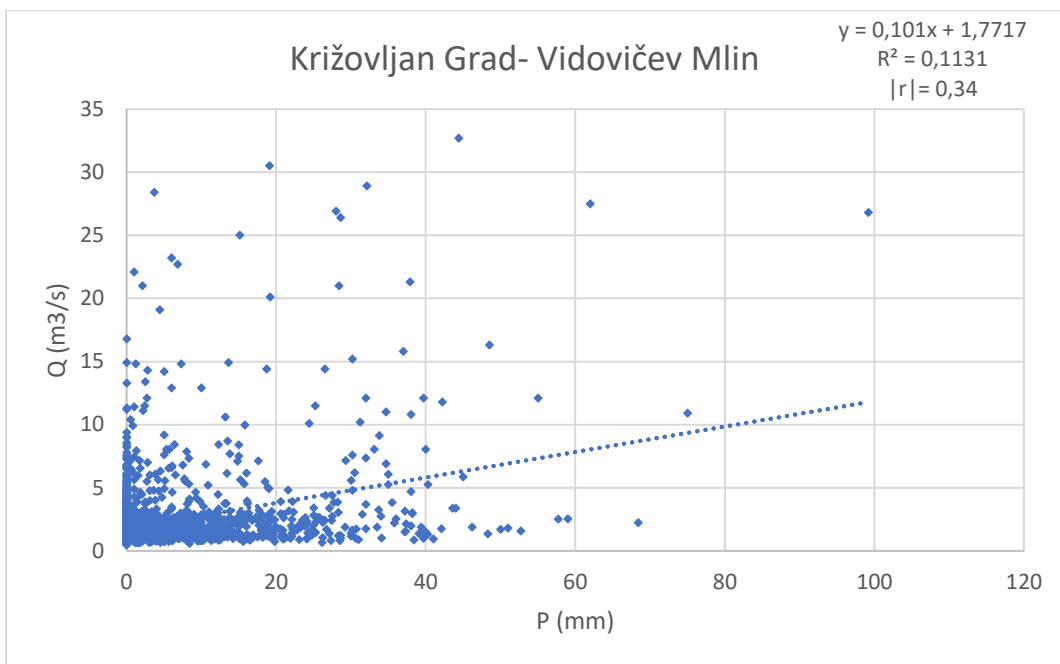
### 6.3.2. Korelacijska analiza oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidrološke postaje Vidovičev Mlin

Koeficijenti korelacije oborina s kišomjernih postaja i protoka s hidrološke postaj Vidovičev Mlin slične su vrijednosti kao i kod odnosa kišomjernih postaja i hidrološke postaje Krkanec. Vrijednosti srednje apsolutne pogreške nešto su veće u usporedbi postaje Vidovičev mlin, no vrijednost korijena srednje kvadratne pogreške su manje i iznose 7,19 do 7,58. Koeficijent korelacije u odnosu hidrološke postaje Vidovičev Mlin i glavne meteorološke postaje Varaždin iznosi 0,40, čime se veza karakterizira kao srednje jaka (slika 28.). Odnosi hidrološke postaje i ostalih dviju kišomjernih postaja spadaju u slabu korelacijsku vezu (slika 29.).



Slika 28. Korelacijska analiza oborina i protoka s glavne meteorološke postaje Varaždin i hidrološke postaje Vidovičev Mlin u razdoblju od 2003. do 2019.





Slika 29. Korelacijska analiza oborina i protoka s kišomjerne postaje Križovljan Grad i hidrološke postaje Vidovičev Mlin u razdoblju od 2003. do 2019.

## 7. ZAKLJUČAK

Provedenom korelacijskom analizom između oborina s meteoroloških postaja i protoka s hidroloških stanica u slivu rijeke Bednje i Plitvice kategorizirani su odnosi prema jačini korelacijske veze. Odnosi su kategorizirani prema koeficijentu korelacije  $|r|$ , koeficijentu determinacije  $R^2$ , srednje apsolutne pogreške (MAE), prosječne kvadratne pogreške (MSE) i korijena prosječne kvadratne pogreške (RMSE). Jačina korelacijskih veza pomoću koeficijenta korelacije  $|r|$  kategorizirana je prema Roemer – Orphalovoj ljestvici. Vrijednosti MAE, MSE i RMSE rasle su što se povećavala udaljenost hidroloških postaja od izvora rijeka. Manje vrijednosti navedenih parametara, odnosno jača korelacijska veza zabilježena je većinom u istim odnosima kao i kod korištenja koeficijenta korelacije  $|r|$ . Korištenjem više parametara i podudaranjem njihovih vrijednosti, interpretirani rezultati dobivaju na značaju.

Sliv rijeke Bednje „pokriven“ je relativno gustom prostornom raspodjelom meteoroloških postaja, odnosno postoje podaci oborina s 8 meteoroloških postaja koje su relativno ravnomjerno prostorno raspodijeljene u slivu te su zastupljene nizinske i brdske lokacije. Time je su rezultati provedene korelacijske analiza pouzdaniji. Najveća vrijednost koeficijenta korelacije zabilježena je u gornjem toku rijeke Bednje, odnosno u odnosu klimatološke postaje Bednja i hidrološke postaje Lepoglave te iznosi 0,55. Slična vrijednost zabilježena je u odnosu kišomjerne postaje Donji Macelj i hidrološke postaje Lepoglava. Visoke vrijednosti koeficijenta korelacije zabilježene su uzvodnije u odnosu navedenih postaja s hidrološkom postajom Željeznica.

Klimatološka postaja Bednja bilježi najpovoljnije vrijednosti koeficijenta korelacije u odnosu s svim hidrološkim stanicama na rijeci Bednji. Oborine zabilježene na postaji Bednja podudaraju s protocima na hidrološkim postajama Tuhovec i Ludbreg sljedećeg dana. Stoga je važno analizirati oborine s klimatološke postaje Bednja kao ulazni parametar u prognozi protoka na nizvodnijim hidrološkim postajama. Relativno visoki koeficijenti korelacije zabilježeni su u odnosima kišomjerne postaje Varaždinske Toplice i privatnog mjerenja u Tuhovcu i protoka sljedećeg dana na hidrološkoj postaji Ludbreg. Navedeni rezultati proizlaze iz činjenice da se navedene lokacije kao i postaja Bednja, nalaze se u neposrednoj blizini rijeke Bednje. No, zadovoljavajuće visoke jačine korelacijskih veza zabilježene su i u odnosima „brdskih“ kišomjernih postaja Donji Macelj, Kalnik, Ljubelj Kalnički i hidroloških stanica. Time se potvrđuje veliki utjecaj oborina palih na uzvodnom dijelu sliva u brdskim područjima (orografski

karakter) jer te postaje bilježe veću količinu oborina u odnosu na nizinsko područje i imaju veći utjecaj na povećanje protoka na hidrološkim postajama na rijeci Bednji.

U slivu rijeke Plitvice provedena je korelacijska analiza između dvije kišomjerne postaje i jedne glavne meteorološke postaja te dvije hidrološke stanice. Budući da je hidrološka postaja Vidovičev Mlin je počela s radom 2003., a postaja Krkanec tek 2016. godine, vrijednosti koeficijenta korelacije znatno su manje nego u slivu rijeke Bednje. Tako je najveća vrijednost koeficijenta korelacije zabilježena u odnosu kišomjernih postaja Klenovnik i Križovljan Grad i hidrološke postaje Krkanec i iznosi 0,37. Vrijednosti koeficijenta korelacije ujednačenije su u slivu rijeke Plitvice budući da se postaje nalaze na sličnijoj zračnoj udaljenosti. Za pouzdanije rezultate potrebno je izvršiti korelacijsku analizu oborina i protoka analizirajući podatke u dužem vremenskom periodu.

U vremenima kad su klimatski ekstremi sve prisutniji i kad su izmjene minimalnih i maksimalnih protoka kao i nagle promjene režima rijeka često prisutne, važno je vršiti analize oborina i protoka u slivovima rijeka. Povećanjem razdoblja mjerenja i duljine niza podataka raste i pouzdanost dobivenih korelacijskih odnosa. S obzirom na kompleksan reljef u slivu rijeke Bednje i Plitvice, povećanjem broja kišomjernih postaja te njihovim podacima o oborinama, prognoze protoka na hidrološkim stanicama mogle bi se znatno povećati. Uvođenje kišomjerne postaje s podacima o mjerenim oborinama posebno bi bilo korisno za planinu Ivanščica kao i na još nekim višim terenima kao što je npr. Ravna Gora. Navedene lokacije izvor su mnogih bujičnih vodotoka koji znatno pridonose protocima na hidrološkim postajama. S obzirom da ne postoje hidrološki modeli na navedenim rijekama, postoji prostor za daljnje poboljšanje provedbi korelacijskih analiza oborina i protoka, čiji bi rezultati kasnije mogli služiti za izradu hidroloških modela.

## LITERATURA

1. Bačani, A. (2006): *Hidrogeologija I*. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet: Zagreb.
2. Chicco, Davide; Warrens, Matthijs J.; Jurman, Giuseppe (2021). "The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation". *PeerJ Computer Science*. 7 (e623): 1–24 (preuzeto s <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>, datum preuzimanja: 13.7.2021)
3. Državni hidrometeorološki zavod (2021): Podaci s meteoroloških i hidroloških postaja na području sjeverozapadne Hrvatske.
4. Đurin, B. (2017): *Hidrologija - interna skripta*, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin.
5. Hrelja, H. (2000): *Vjerovatnoća i statistika u hidrologiji*. Sarajevo: Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu.
6. Marković, T., Larva, O., Brkić, Ž., Dolić, M., Kuhta, M. (2015): Stanje podzemnih voda na vodnom području rijeke Dunav s obzirom na prirodan sadržaj metala i njihov antropogeni utjecaj, HGI-CGS, Zagreb.
7. Miletić, P. (1969): *Hidrogeološke karakteristike sjeverne Hrvatske*, Geološki vjesnik 22, 511 – 524, Zagreb.
8. Miletić, F., Urumović, K. i Capar, A. (1971): *Hidrogeologija prvog vodonosnog horizonta porječja Drave na području Hrvatske*. Geološki vjesnik 24, Zagreb.
9. Oskoruš, D. (2010): *Primijenjena statistika u hidrologiji - seminarski rad*. Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
10. Paladin, M., Vidaković Šutić, R., Vrcelj, B., Ričković, V.: *Izrada karata opasnosti i izračun šteta na slivu rijeke Bednje*, In: Biondić D, Holjević D, Vizner M, editors. *HRVATSKE VODE NA INVESTICIJSKOM VALU*, Hrvatske vode: Opatija; 2015.
11. Srebrenović, D. (1986) : *Primijenjena hidrologija*, Zagreb
12. Šimunić, A. (1986): Geološka Građa Okolice Lepoglave i Osvrt Na Pojave Mineralnih Sirovina, *RADOVI ZAVODA ZA ZNANSTVENI RAD JAZU*, 1, pp. 19–32
13. Urumović, K. (1971): O kvartarnom vodonosnom kompleksu u području Varaždina. *Geološki vjesnik* 24, 183 – 188, Zagreb.

14. Zaninović, K., Gajić-Čapka, Marjana Perčec Tadić, Melita Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., et al. (2008): *Klimatski atlas Hrvatske, Climate atlas of Croatia: 1961. - 1990.: 1971. - 2000.*, Državni hidrometeorološki zavod: Zagreb.
15. Žugaj, R. (2000): *Hidrologija*, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet: Zagreb.
16. Žugaj, R. (2010): *Velike vode malih slivova*, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet: Zagreb.
17. Županijski zavod za prostorno uređenje Varaždinske županije (2010): Prostorni plan Varaždinske županije

## POPIS SLIKA

Slika 1. Područje sliva rijeke Plitvice i Bednje (preuzeto iz Prostornog plana Varaždinske županije, 2010.).....	3
Slika 2. Hidrološke postaje u slivu rijeke Bednje i Plitvice ( izvor: <a href="https://meteo.hr/">https://meteo.hr/</a> ) .....	6
Slika 3. Kišomjerne (narančasta boja), klimatološke (plava boja) i glavna meteorološka postaja (crvena boja) u slivu rijeke Bednje i Plitvice (izvor: <a href="https://meteo.hr/">https://meteo.hr/</a> ).....	9
Slika 4. Primjer konsumpcijske (protočne) krivulje za HP Bednja-Ludbreg.....	13
Slika 5. Pojedinačne vodokazne letve u rasponu od 0 do 300 cm na HP Tuhovec ..	14
Slika 6. Glavni dijelovi hidrograma otjecanja (Žugaj, 2000).....	15
Slika 7. Hidrološki ciklus (Bačani, 2006) .....	16
Slika 8. Hellmannov kišomjer na kišomjernoj postaji u Varaždinskim Toplicama (autorska fotografija, 13.7.2021). .....	18
Slika 9. Prikaz metode aritmetičkih sredina (Đurin, 2017).....	19
Slika 10. Prikaz metode Thiessonovih poligona (Đurin, 2017) .....	20
Slika 11. Metoda izohijeta (Đurin, 2017).....	21
Slika 12. Grafički prikaz asimetričnosti funkcije gustoće raspodjele vjerojatnosti (Oskoruš, 2010) .....	24
Slika 13. Primjeri dijagrama raspršenja za različite vrijednosti Pearsonovog koeficijenta r. (Žugaj, 2000). .....	26
Slika 14. Udaljenost kišomjerne postaje Varaždinske Toplice i vlastite lokacije mjerenja (izvor: <a href="https://www.google.com/maps/hr/">https://www.google.com/maps/hr/</a> , datum pristupa. 9.7.2021.).....	31
Slika 15. Usporedba dnevnih oborina na kišomjernoj postaji Varaždinske Toplice i vlastitih mjerenja u Tuhovcu .....	33
Slika 16. Korelacijska analiza oborina i protoka na klimatološkoj postaji Bednja i hidrološkoj postaji Lepoglava u razdoblju od 2006. do 2019.....	35
Slika 17. Korelacijska analiza oborina i protoka na kišomjernoj postaji Donji Macelj i hidrološkoj postaji Lepoglava u razdoblju od 2000. do 2019. ....	35
Slika 18. Korelacijska analiza oborina i protoka na klimatološkoj postaji Bednja i hidrološkoj postaji Lepoglava u razdoblju od 2006. do 2019.....	36
Slika 19. Korelacijska analiza oborina i protoka na kišomjernoj postaji Donji Macelj i hidrološkoj postaji Željeznica u razdoblju od 2000. do 2019.....	36

Slika 20. Korelacijska analiza oborina i protoka na kišomjernoj postaji Donji Macelj i hidrološkoj postaji Ključ u razdoblju od 2000. do 2019. ....	37
Slika 21. Korelacijska analiza oborina i protoka na klimatološkoj postaji Bednja i hidrološkoj postaji Ključ u razdoblju od 2006. do 2019.....	38
Slika 22. Korelacijska analiza oborina i protoka na kišomjernoj postaji Kalnički Ljubelj i hidrološkoj postaji Tuhovec u razdoblju od 2000. do 2019.....	39
Slika 23. Korelacijska analiza oborina i protoka na klimatološkoj postaji Bednja i hidrološkoj postaji Tuhovec u razdoblju od 2006. do 2019. ....	39
Slika 24. Korelacijska analiza oborina i protoka vlastitih mjerenja u Tuhovcu i hidrološkoj postaji Ludbreg u razdoblju od 2013. do 2019.....	41
Slika 25. Korelacijska analiza oborina i protoka na kišomjernoj postaji Varaždinske Toplice i hidrološkoj postaji Ludbreg u razdoblju od 2000. do 2019.....	41
Slika 26. Korelacijska analiza oborina i protoka s kišomjerne postaje Klenovnik i hidrološke postaje Krkanec u razdoblju od 2016. do 2019.....	43
Slika 27. Korelacijska analiza oborina i protoka s kišomjerne postaje Križovljan Grad i hidrološke postaje Krkanec u razdoblju od 2016. do 2019. ....	43
Slika 28. Korelacijska analiza oborina i protoka s glavne meteorološke postaje Varaždin i hidrološke postaje Vidovičev Mlin u razdoblju od 2003. do 2019.....	44
Slika 29. Korelacijska analiza oborina i protoka s kišomjerne postaje Križovljan Grad i hidrološke postaje Vidovičev Mlin u razdoblju od 2003. do 2019.....	45

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Osnovni statistički pokazatelji dnevnih protoka na vodomjernim postajama na rijeci Bednji.....	7
Tablica 2. Osnovni statistički pokazatelji dnevnih protoka na vodomjernim postajama na rijeci Plitvici.....	8
Tablica 3. Osnovni statistički pokazatelji mjerenih dnevnih oborina (DHMZ) za razdoblje 1990-2020. i vlastito mjerenje dnevnih oborina (2013. - 2020.) .....	10
Tablica 4. Roemer – Oraphalova ljestvica (izvor: <a href="http://www.pof.ues.rs.ba/Ostalo/kr.pdf">http://www.pof.ues.rs.ba/Ostalo/kr.pdf</a> , datum pristupa 10.7.2021) .....	27
Tablica 5. Korelacijska analiza oborina i protoka na meteorološkim i hidrološkim postajama u slivu rijeke Bednje (2000. – 2019.) .....	34
Tablica 6. Korelacijska analiza oborina i protoka na meteorološkim i hidrološkim postajama u slivu rijeke Plitvice .....	42