

# Određivanje koeficijenta otjecanja sliva primjenom GIS-a

---

Latin, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:130:561093>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-27**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

MARIO LATIN

ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA OTJECANJA SLIVA  
PRIMJENOM GIS-a

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2023.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva  
za 21. 09. 2023. u 9 sa  
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred  
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu  
Varaždin, 07. 09. 2023.

Predsjednik  
ispitnog povjerenstva

Prof. dr. sc. Sauje Kovč

**Članovi povjerenstva**

- 1) Doc. dr. sc. Jelena Lohorec
- 2) Dr. sc. Karlo Leskovic
- 3) Prof. dr. sc. Ranko Brundić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

MARIO LATIN

ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA OTJECANJA SLIVA  
PRIMJENOM GIS-a

ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT:

MARIO LATIN

Mario Latin

MENTOR:

Doc. dr. sc. Jelena Loborec

KOMENTOR:

Dr. sc. Karlo Leskovar

VARAŽDIN, 2023.

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

### **Određivanje koeficijenta otjecanja sliva primjenom GIS-a**

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc.dr.sc. Jelene Loborec** i komentorstvom **dr.sc. Karla Leskovara**.

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, 29.08.2023.

Mario Latin  
(Ime i prezime)

Mario Latin  
(Vlastoručni potpis)

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

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

### **Određivanje koeficijenta otjecanja sliva primjenom GIS-a**

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, 29.08.2023.

doc. dr. sc. Jelena Loborec

(Mentor)

*Jelena Loborec*

(Vlastoručni potpis)

## SAŽETAK

IME I PREZIME AUTORA: MARIO LATIN

NASLOV RADA: Određivanje koeficijenta otjecanja sliva primjenom GIS-a

Koeficijent otjecanja odnos je efektivne (neto) oborine i oborine koja padne na sliv. Zbog porasta ekstremnih vremenskih uvjeta potreba za istraživanjem i analizom koeficijenta otjecanja postaje sve veća, posebice zbog problema vezanih uz učestalost poplava. Na temelju dobivenih hidroloških i meteoroloških podataka za 2019. godinu te potrebnih GIS podataka izračunat je koeficijent otjecanja sliva rijeke Bednje. Primjena GIS-a (Geografskog Informacijskog Sustava) vrlo je značajna u upravljanju i istraživanju vodnih resursa, kod modeliranja u slivovima, izradi podloga za vodoopskrbne planove i slično. U GIS-u je dobivena karta sliva rijeke Bednje s izračunatim površinama utjecajnih područja metodom Thiessenovih poligona.

KLJUČNE RIJEČI: otjecanje, koeficijent otjecanja, sliv, GIS

## ABSTRACT

NAME AND SURNAME of the AUTHOR: MARIO LATIN

TITLE: The determination of basin runoff coefficient using a GIS software

The runoff coefficient represents the ratio of the effective (net) precipitation to the precipitation that falls to the basin. Due to the increase in extreme weather conditions the need for research and analysis of the runoff coefficient is becoming more important, especially due to problems related to the frequency of floods. The runoff coefficient of the Bednja River basin was calculated based on the obtained hydrological and meteorological data for 2019 and the necessary GIS data. The application of GIS (Geographic Information System) is very important in the management and research of water resources, in modeling of watersheds, in the creation of bases for water supply plans and the like. By using GIS a map of the Bednja River basin is shown with the calculated surface of affected areas using the Thiessen polygon method.

KEYWORDS: runoff, runoff coefficient, basin, GIS



# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA .....	3
2.1. Opis procesa otjecanja na slivu .....	3
2.2. Teorijski prikaz koeficijenta otjecanja .....	7
2.3. Opis korištenih metoda (GIS alata).....	8
3. POSTUPAK ODREĐIVANJA KOEFICIJENTA OTJECANJA NA PRIMJERU NIZINSKOG VODOTOKA .....	13
3.1. Rijeka Bednja .....	13
3.2. Krivulja učestalosti i trajnosti .....	14
3.3. Protočna krivulja .....	18
3.4. Srednja godišnja oborina sliva izračunata metodom Thiessenovih poligona .	21
4. REZULTATI GODIŠNJEG KOEFICIJENTA OTJECANJA.....	24
5. ZAKLJUČAK .....	25
6. POPIS LITERATURE .....	27
7. POPIS SLIKA .....	29
8. POPIS TABLICA.....	30

## 1. UVOD

U posljednje vrijeme sve smo češće suočeni s katastrofalnim posljedicama ekstremnih vremenskih događaja koji se javljaju zbog klimatskih promjena. U takve događaje svakako se ubrajaju poplave. Poplave zahvaćaju sve češće prostor Republike Hrvatske što može rezultirati gubitkom ljudskih života te velikim materijalnim i ekološkim štetama.

Koeficijent otjecanja odnos je efektivne (neto) oborine i oborine koja padne na sliv. Okvirno se koeficijent otjecanja koristi za predviđanje poplava nastalih zbog ekstremnih oborina te za izgradnju kanala za zaštitu od poplava. Osim toga, bitan je kod obnove podzemnih rezervi vode, prikaza promjene korištenja zemljišta i u procjeni količine vlage pri bilanciranju.

Cilj ovog rada je prikazati postupak izračuna godišnjeg koeficijenta otjecanja na primjeru sliva rijeke Bednje za 2019. godinu. Rijeka Bednja čitavim svojim tokom teče u Republici Hrvatskoj. Njezino slivno područje je uglavnom nizinsko i proteže se od Trakošćana na zapadu do Ludbrega prema istoku. Omeđeno je Ivanšćicom, Maceljskim i Kalničkim gorjem. Zbog toga dolazi do slijevanja vode, a kod jakih oborina i do poplava. Godišnji koeficijent otjecanja se dobije preko formule u kojoj se koristi vrijednost srednjeg godišnjeg protoka, prosječne količine oborine pale na sliv te površina samog sliva. Ulazni podaci korišteni za analizu su podaci o izmjerenim oborinama s 12 kišomjernih postaja za 2019. godinu te vodostaji za 2019. godinu za hidrološku postaju Ludbreg i 8 vodomjerenja koje prikazuju visine vodostaja i odgovarajuće protoke. Obradom niza podataka vodostaja dobivena je učestalost i trajnost vodostaja i grafički je prikazana krivulja učestalosti i trajnosti. Na temelju zadanih 8 vodomjerenja koja prikazuju visine vodostaja i odgovarajuće protoke izračunata je protočna krivulja uz grafički i tablični prikaz.

U programu Geografski informacijski sustav dobivena je karta sliva rijeke Bednje s izračunatim površinama utjecajnih područja metodom Thiessenovih poligona zbog daljnje obrade podataka. Uvrštavanjem zadanih vodostaja u jednadžbu protočne krivulje izračunati su dnevni protoci za 2019. godinu pomoću kojih je određena aritmetička sredina protoka. Kao rezultat izračuna dobiven je srednji godišnji protok. U programu Ms Excel izračunata je prosječna količina oborina metodom Thiessenovih poligona i uspoređena s prosječnom količinom oborina dobivenom metodom aritmetičke sredine.

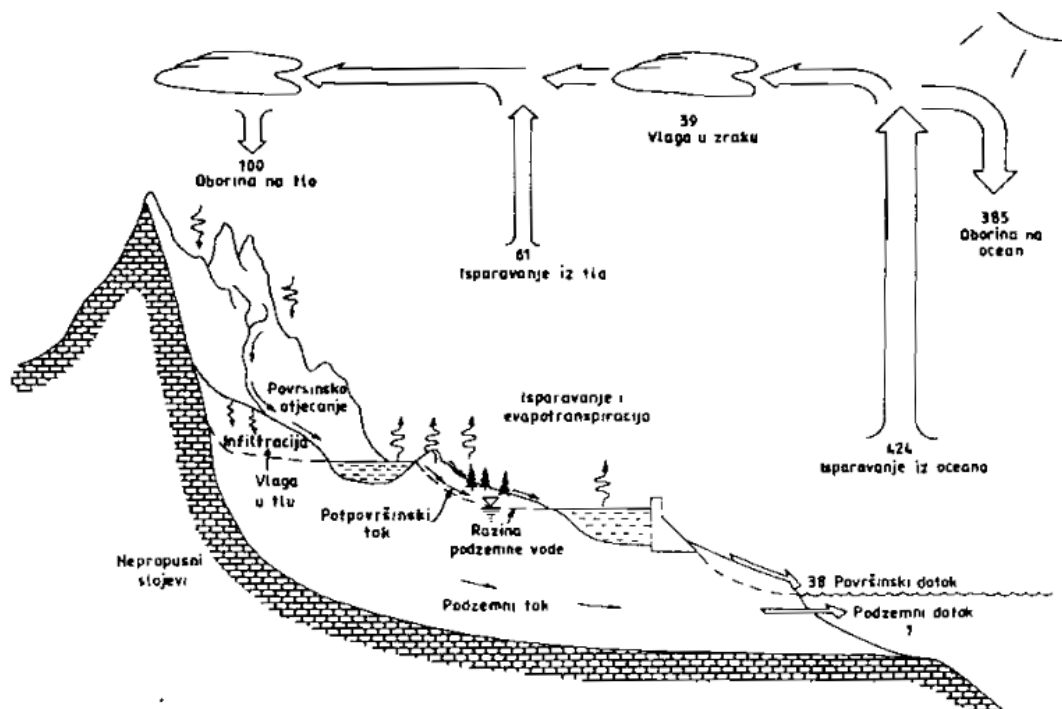
Godišnji koeficijent otjecanja je rezultat umnoška srednjeg godišnjeg protoka i broja sekundi u godini podijeljenog s umnoškom prosječne količine oborina na slivu i površine samog sliva.

## 2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Opis procesa otjecanja na slivu

Otjecanje je dio oborine koji se pojavljuje kao vodotok, odnosno predstavlja oborine koje površinskim ili podzemnim putem otječu u vodotoke. Otjecanje je bitna komponenta hidrološkog ciklusa te je ona suprotna pojavi infiltracije. Dio oborine pale na sliv koji direktno sudjeluje u otjecanju naziva se efektivnom ili neto oborinom ili oborinom koja otječe [1].

Osim otjecanja, procesi koji čine hidrološki ciklus su: kondenzacija, oborina, infiltracija i evapotranspiracija [2]. Osnovna je definicija hidrološkog ciklusa kruženje vode kroz atmosferu i na Zemljinoj površini (Slika 1). Drugim riječima, to je prelaženje vode iz atmosfere na Zemlju i njezino vraćanje u atmosferu. U oblacima dolazi do kondenzacije, nastaju oborine koje padaju natrag u oceane i na kopno. Nakon toga voda se akumulira u oceanima, morima, jezerima, vodenim tokovima i na kopnu te opet isparava [1].



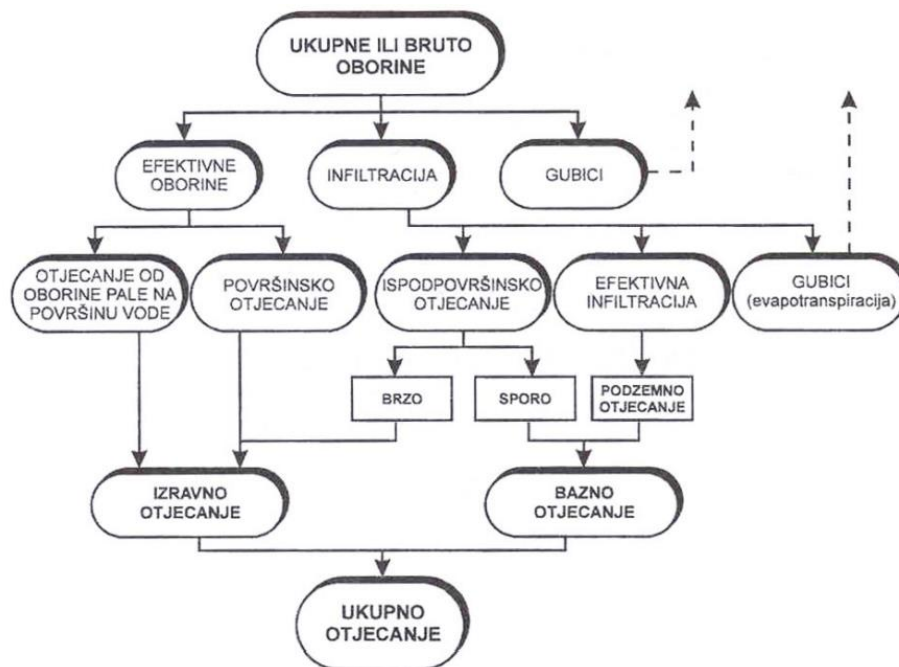
Slika 1. Prikaz hidrološkog ciklusa [1]

Otjecanje ovisi o intenzitetu oborina koje padnu na tlo. Kod manjeg intenziteta oborina, upijanje vode u tlo je brže i nema površinskog otjecanja. Do površinskog otjecanja dolazi kada je tlo saturirano vodom ili kada je intenzitet oborina veći od upijanja [1].

Otjecanje opisuje dinamiku procesa raspodjele vode na kopnu, od trenutka kada je kiša pala na tlo do trenutka kada je voda dospjela do konačnog recipijenta (oceani, mora, jezera) ili se vratila u atmosferu putem evapotranspiracije [1].

Ukupno otjecanje vode kao proces, predstavlja gravitacijsko tečenje vode s određenog sliva u vodotok. Ukupno otjecanje može se podijeliti na površinsko, potpovršinsko i podzemno. Uobičajena je još podjela otjecanja na komponente direktnog i baznog otjecanje prema vremenu koje je potrebno da se nakon početka oborine na promatranoj lokaciji dogodi porast protoka (Slika 2) [1].

Direktno otjecanje je onaj dio ukupnog otjecanja koje dopiye u vodotoke sliva brzo po prestanku kiše ili topljenja snijega, a jednako je sumi površinskog i brzog potpovršinskog otjecanja te oborine pale na samu površinu vodotoka. Bazno je otjecanje onaj dio ukupnog otjecanja koje potiče od dotoka vode iz podzemlja i zakašnjelog potpovršinskog otjecanja [1].



Slika 2. Ukupno otjecanje rastavljeno na komponente [1]

U šumovitim slivovima, odnosno u prirodnim uvjetima, poplave su manje značajne jer dio otjecanja tijekom oborina tlo apsorbira i pohranjuje kao podzemnu vodu koja se zatim polako ispušta u potoke kroz kanale i izvore, čime se smanjuje površinsko otjecanje [3].

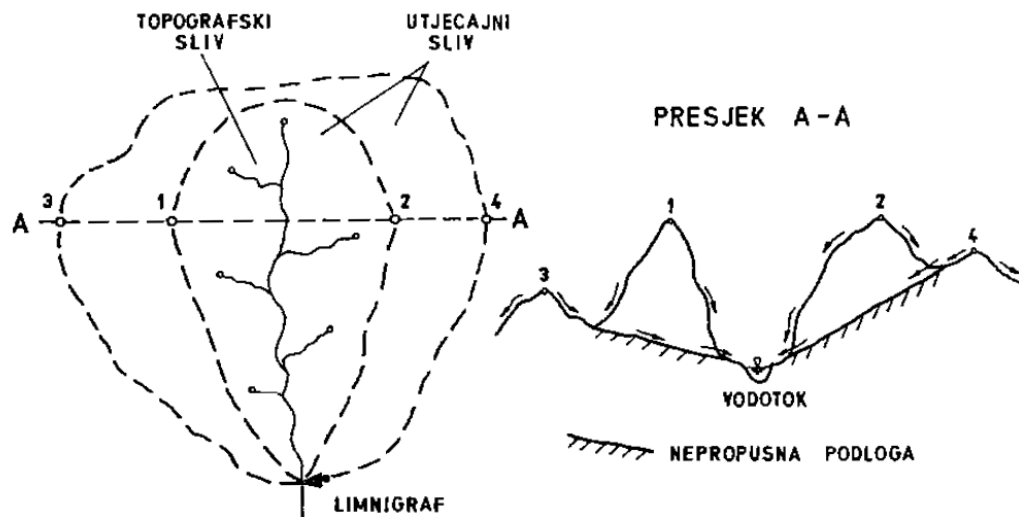
Otjecanje uzrokuje eroziju tla. Erozija tla prirodni je proces kojim se stvara onoliko tla koliko ga se vodom odnese. Glavni je problem kada su gubici tla veći od količine tla koja nastaje u evolucijskom procesu. U sprečavanju ubrzane, ekscesivne erozije, šuma i biljni pokrov najdjelotvorniji su čimbenici [4].

Urbanizacija i nagli razvoj gradova također imaju utjecaj na površinsko otjecanje. Dolazi do povećanja nepropusnih površina, čime se smanjuje mogućnost infiltracije oborinskih voda i povećava otjecanje. Negativne su posljedice urbanizacije i tradicionalnog pristupa odvodnji oborinskih voda: povećanje volumena i brzina otjecanja oborina, skraćivanje vremena koncentracije površinskog toka i narušavanje kakvoće vode. Kratkotrajne jake oborine jedan su od glavnih uzroka poplava u urbanim područjima, ponekad s vrlo ozbiljnim posljedicama. Iz tog razloga urbane poplave predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje zbog koncentracije onečišćujućih tvari i patogenih organizama [5].

Na otjecanje sa sliva veliki utjecaj imaju čimbenici [1]:

- zemljopisni: veličina i oblik sliva, pad i reljef terena te gustoća riječne mreže;
- geološki: sastav zemljišta s gledišta propusnosti i sadržaj vode u podzemlju;
- biološki: vrste raslinja, a posebice zastupljenost šumskih kultura na slivu;
- klimatski: oborine, temperatura, vlažnost zraka, vjetar, isparavanje i evapotranspiracija;
- antropološki: čovjekov utjecaj na promjene vodnog režima.

Sliv je područje na kojem dolazi do odljeva vode nastalog površinskim otjecanjem. Sliv se u širem smislu definira kao sve one kopnene površine s kojih vodne mase ulaze u oceane, mora ili jezera, a u užem smislu kao površina s koje se voda slijeva prema glavnome sabiraču (recipijentu) – vodotoku. Kod sliva važna je zamišljena linija koja se zove razvodnica. Razlikujemo topografsku i hidrogeološku razvodnicu. Topografska razvodnica granična je linija koja dijeli susjedne slivove, a određuje se na topografskoj karti na temelju najviših kota terena. U mnogo slučajeva razvodnica ne ovisi samo o topografiji već prvenstveno o geološkim i hidrogeološkim uvjetima, pa je tada riječ o hidrogeološkoj razvodnici. Hidrogeološka razvodnica nije stalna, već se njezin položaj mijenja ovisno o razini podzemne vode. U slučajevima kao npr. određivanje razvodnice na krškom području razmatra se takozvani utjecajni sliv koji se bitno razlikuje od topografskog sliva te koji obuhvaća podzemno i površinsko otjecanje kao što je prikazano na slici 3. Općenito, određivanje hidrogeološke razvodnice zahtjevan je zadatak za čiju su analizu potrebne geološke podloge te rezultati hidrogeoloških istražnih radova [1].



Slika 3. Razlika topografskog i utjecajnog sliva u presjeku A-A [1]

## 2.2. Teorijski prikaz koeficijenta otjecanja

Koeficijent otjecanja  $c$  odnos je efektivne (neto)  $Pe$  oborine i oborine koja padne na sliv (bruto)  $P$ , kao što je prikazano u jednadžbi (1):

$$c = \frac{Pe}{P} \quad (1)$$

odnosno predstavlja postotak otjecanja u odnosu na ukupnu količinu oborine pale na neko slivno područje [1]. Koeficijent otjecanja predstavlja bezdimenzionalnu veličinu [6] kojoj vrijednost može biti između 0 i 1, odnosno 0 i 100 % [7].

Za područja s niskom infiltracijom i jakim otjecanjem, kao što su kolnici i strmi nagibi, vrijednost koeficijenta otjecanja veća je u odnosu na područja s visokom infiltracijom i manjim otjecanjem, kao što su dobro obrasla područja, šume i ravna zemljišta. Povećanjem oborine tlo dosegne svoju točku zasićenja, što rezultira većim površinskim otjecanjem i većim koeficijentom otjecanja te može uzrokovati bujične poplave [6]. Koeficijent otjecanja bitan je hidrološki parametar u razumijevanju poplava u posebnim hidrološkim i klimatskim uvjetima [7], kod izgradnje kanala za zaštitu od poplava i za određivanje mogućih zona opasnosti od poplava [8]. Također je koristan parametar u procjeni količine vlage pri bilanciranju, prikazu promjene korištenja zemljišta te u obnovi podzemnih rezervi vode [7].

Ako je vrijednost koeficijenta otjecanja jednaka nuli, do površinskog otjecanja ne dolazi zato što se sva oborina infiltrira u tlo ili isparava natrag u atmosferu. S druge strane, ako je vrijednost koeficijenta otjecanja jednaka jedan, sva oborina koja je pala na tlo otječe površinski i nema gubitaka zbog infiltracije ili isparavanja, odnosno površinsko otjecanje je maksimalno [7].

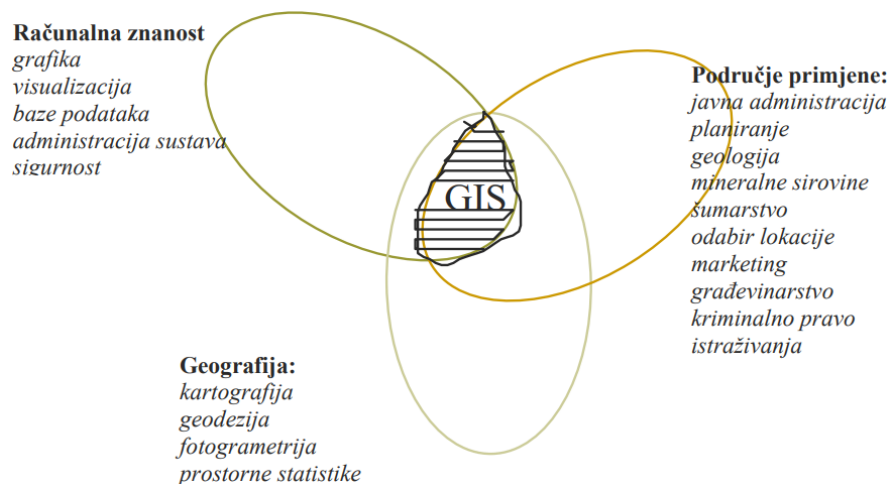
U istom slivu vrijednosti koeficijenta otjecanja variraju prema intenzitetu, vremenskoj i prostornoj raspodjeli padalina, uvjetima vlažnosti i korištenju zemljišta. Oborina je jedan od najbitnijih čimbenika u procjeni i određivanju koeficijenta otjecanja. Osim oborine i njenih karakteristika kao što su intenzitet, trajanje i raspodjela, na pojavu i volumen otjecanja utječu i specifični fizički aspekti sliva (vrsta tla, vegetacija, nagib i propusnost) [9].



### 2.3. Opis korištenih metoda (GIS alata)

Geografski informacijski sustav prema definiciji NCGIA (National Center for Geographic Information & Analyses, USA) sustav je hardvera, softvera i procedura koje omogućuju menadžment, obrade, analize, modeliranje, predstavljanje i prikaz georeferenciranih podataka sa svrhom rješavanja kompleksnih problema planiranja i gospodarenja prostorom. Drugim riječima, GIS služi za pojednostavljenje opisa stvarnog svijeta [10].

Za razumijevanje GIS-a i načina na koji on funkcionira, potrebne su vještine i znanja u nekoliko tehnoloških i tradicionalnih disciplina koje se preklapaju: računalnim znanostima, geografiji i području primjene (Slika 4) [10].

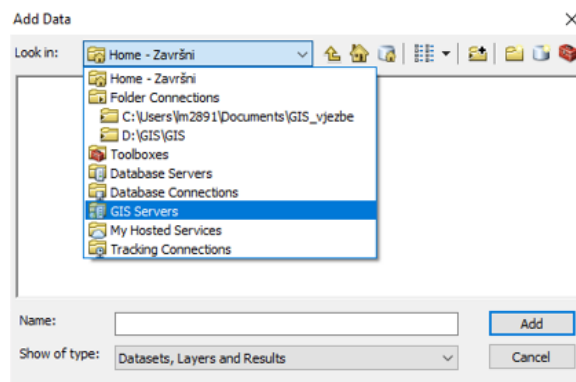


Slika 4. Preklapanje tehnologija i tradicionalnih disciplina [10]

Prilikom daljnjih modeliranja i obrade podataka GIS koristi slojeve koje nazivamo „temama“ koje tvore kartografski prikaz prekrivajući različite vrste prostornih podataka. Svaka tema prezentira određeni skup informacija (prometnice, različiti tipovi šuma, pedološka podloga, vodotoci, hidrogeološke karakteristike terena i sl.). U GIS-u pomoću karata i simbola dolazimo do željenih informacija poput lokacije pojedinih objekata, vrste objekata, informacije o njihovoj dostupnosti i objektima koji se nalaze u njihovoj blizini. Pomoću osobnih računala GIS pruža informacije putem interaktivnih karata i zbog te interakcije omogućen je pristup informacijama koje nisu bile vidljive na tiskanim kartama. Primjena GIS-a vrlo je velika i raznolika kod korištenja i upravljanja prirodnim resursima i kod zaštite okoliša, a obuhvaća i područja različitih struka, kao npr. urbanističko planiranje, građevinarstvo, promet nekretnina, zdravstvo i dr.

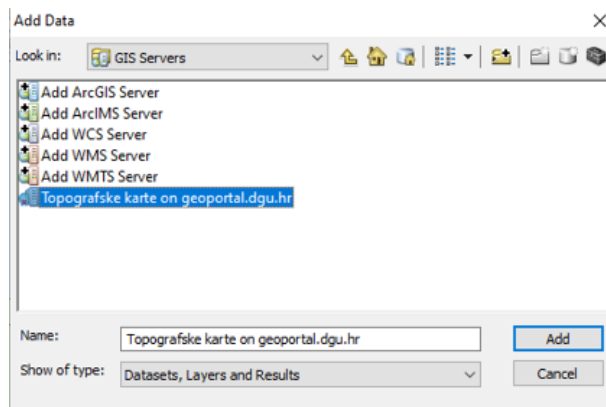
Pri upravljanju i istraživanju vodnih resursa, primjena GIS-a vrlo je značajna kod: modeliranja slivova, izrade podloga za vodoopskrbne ili urbanističke planove, izrade razvojnih planova, određivanja najpovoljnijih trasa za promet opasnim teretima ovisno o položaju prometnica u slivu i zaštitnim zonama izvorišta pitke vode, zatim definiranja lokacija i stupnja pročišćavanja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, definiranja lokacija odlagališta komunalnog i industrijskog otpada, lociranja industrijskih i drugih zona te kod mnogih drugih primjena [10].

U ovome radu bilo je potrebno izraditi kartu sliva rijeke Bednje i izračunati površine utjecajnih područja metodom Thiessenovih poligona. Prilikom izrade karte korišten je program ArcGIS u kojem je prvi korak bio prikazati zadane podatke (u formatu *shapefile*). Zadani vektorski podaci su meteorološke i hidrološke stanice, sliv rijeke Bednje, rijeka Bednja i prikaz granica Republike Hrvatske. Kao podloga korištena je topografska karta Republike Hrvatske mjerila 1:25.000 sa servera Geoportala DGU-a i to tako što je u ArcGIS-u odabran *GIS Servers* (Slika 5). Zatim je odabrana mogućnost *Add WMS Server*.

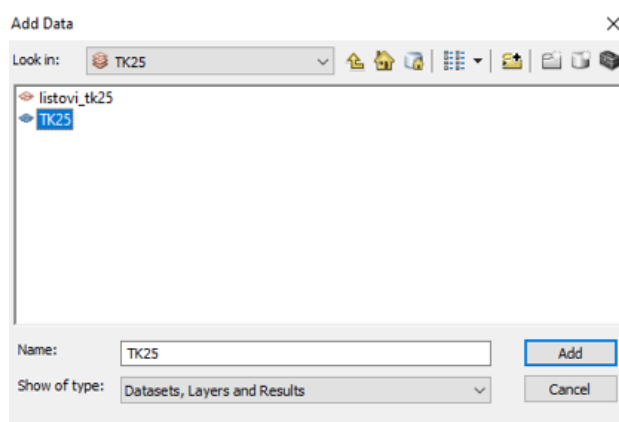


Slika 5. Odabir GIS Servers

Na stranici Državne geodetske uprave odabere se podstranica Mrežna usluga prostornih podataka Državne geodetske uprave s nizom mrežnih usluga za korisnike kojima se omogućava pristup prostornim podacima preko određenih poveznica, u obliku WMS (Web Map Service). Adresa odabrane poveznice kopira se u *Add WMS Server* na za to određeno mjesto (URL) i dobiveni rezultati pokazuju niz topografskih karata različitog mjerila (Slika 6). Odabrana je karta u mjerilu 1:25.000 (Slika 7).



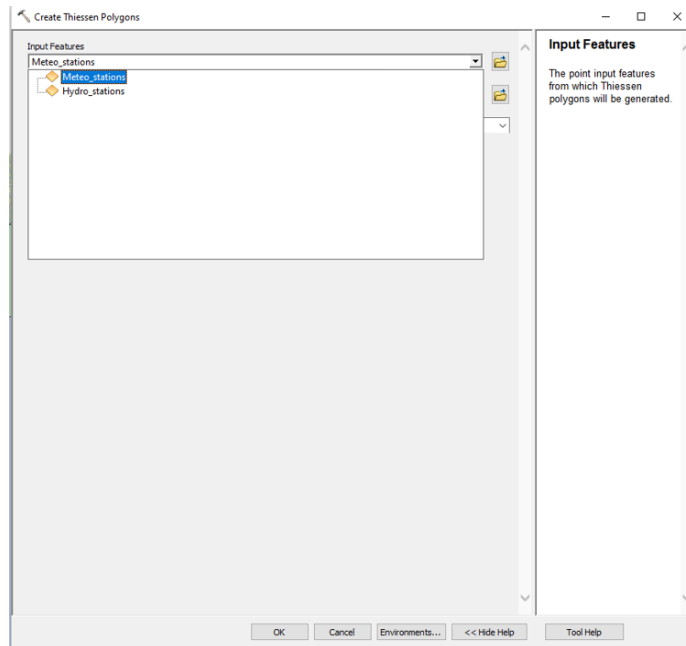
Slika 6. Dobivene topografske karte



Slika 7. Odabrana topografska karta mjerila 1:25.000

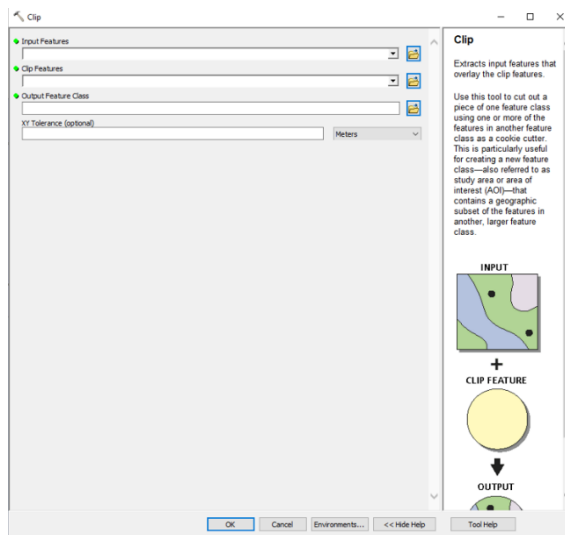
Glavni zadatak u ArcGIS-u bio je odrediti površine utjecajnog područja pojedine kišomjerne postaje na slivu metodom Thiessenovih poligona radi daljnje obrade podataka za izračun koeficijenta otjecanja sliva.

Korištena je naredba *Create Thiessen Polygon* gdje je prvi korak bio odabrati ulazni podatak (kišomjerne stanice), a u drugom je koraku trebalo definirati kako će se zvati izlazni podatak i kamo se treba spremati (Slika 8). Dobivene poligone naredba u izvornom obliku iscrtava preko šireg područja, a za određivanje točne površine poligona unutar sliva rijeke Bednje korištena je naredbu *Clip (Analysis Tools)* (Slika 9).



Slika 5. Naredba *Create Thiessen Polygon*

Naredba uzima dva ulazna parametra, poligonski tip podatka, odnosno područje koje zauzimaju Thiessenovi poligoni i poligonski tip podatka u odnosu na koji želimo odrezati suvišno područje sliva rijeke Bednje.



Slika 6. Naredba *Clip*

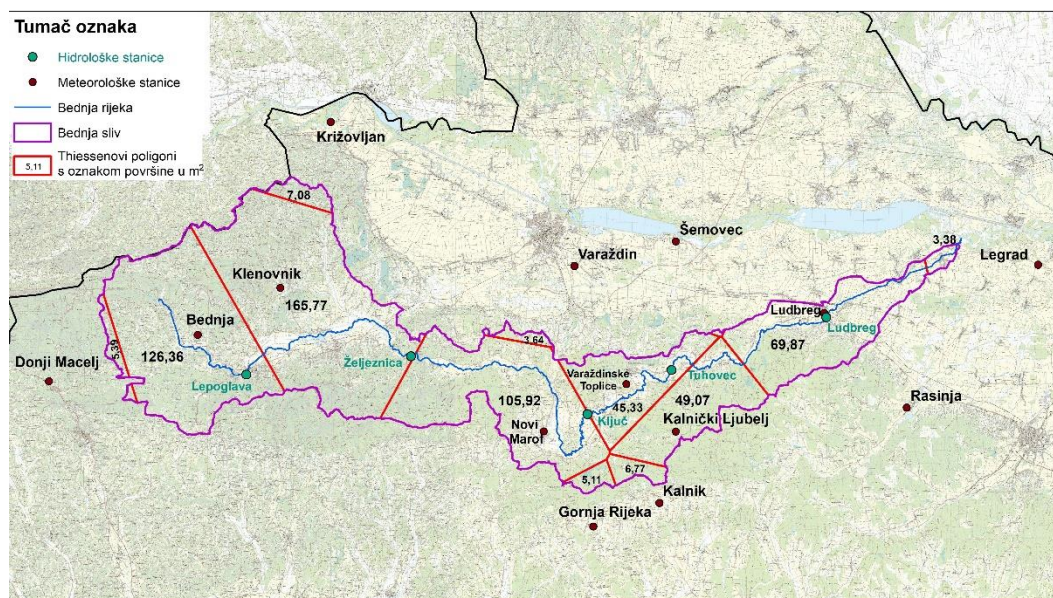
Kako bi se izračunale površine utjecajnih područja potrebno je dodati prikaz površine svakog poligona. U atributnoj tablici Thiessenovih poligona doda se polje area i odabere neki od brojčanih tipova. Kod polja *area* odabere se *Calculate Geometry* i dobiju se površine poligona (Slika 10).

FID	Shape *	Id	Input FID	Area
0	Polygon	0	0	126,356394
1	Polygon	0	13	45,334599
2	Polygon	0	6	7,078906
3	Polygon	0	5	165,774299
4	Polygon	0	1	5,387784
5	Polygon	0	12	3,636103
6	Polygon	0	11	0,326303
7	Polygon	0	9	105,924211
8	Polygon	0	4	6,773425
9	Polygon	0	3	49,066077
10	Polygon	0	2	5,113044
11	Polygon	0	8	69,869411
12	Polygon	0	7	3,384971

Slika 7. Dobivene površine utjecajnih područja

*Shapefile* podaci pretvoreni su u *geodatabase* oblik podatka jer bolje funkcioniraju kod izvedbe prostorne analize, zauzimaju manje prostora na disku, noviji su format GIS podataka te su bolji za podatke koji se dijele. Prvo je kreirana nova *geodatabase* mapa, a nakon toga su u tablici sadržaja odabrani *shapefile* podaci i eksportirani u *geodatabase* podatke pomoću naredbe Export Data.

Nakon izračunate površine izrađena je karta sliva rijeke Bednje s izračunatim površinama utjecajnih područja metodom Thiessenovih poligona (Slika 11).



Slika 8. Karta sliva rijeke Bednje s izračunatim površinama utjecajnih područja metodom Thiessenovih poligona

### **3. POSTUPAK ODREĐIVANJA KOEFICIJENTA OTJECANJA NA PRIMJERU NIZINSKOG VODOTOKA**

#### **3.1. Rijeka Bednja**

Rijeka Bednja nalazi se u sjeverozapadnoj Hrvatskoj i najduža je rijeka koja ima i izvor i ušće u Hrvatskoj. Glavni tok rijeke Bednje dug je oko 103 km. Rijeka je Bednja desni pritok rijeke Drave. Rijeka Bednja teče u smjeru zapad – istok, osim malog dijela kod Novog Marofa gdje prvo teče prema jugu pa zatim prema sjeveru [11]. Ne zna se točno gdje je izvor rijeke Bednje: neki autori tvrde da je izvor Bednje u Kamenoj gorici, drugi da Bednja nastaje istjecanjem vode iz Trakošćanskog jezera, a treći kao izvor rijeke uzimaju Brezovu goricu [12]. S hidrološkog gledišta sliv rijeke Bednje definiran je topografskom razvodnicom, površina sliva je 596 km<sup>2</sup>, a srednja širina porječja približno 5.8 km. Slivno područje uglavnom je izduženo i nizinsko i proteže se od Trakošćana na zapadu do Ludbrega na istoku. Na zapadu je omeđen s Maceljskim gorjem, na jugu s Ivanščicom i Kalničkim gorjem, a na sjeveru s manjim brežuljcima koji predstavljaju razvodnicu prema vodotoku Plitvici. U čitavom slivu rijeke Bednje prisutni su erozijski procesi [11].

S hidrogeološkog stajališta razlikuju se tri osnovna dijela sliva: prvi dio čini temeljno gorje (Ivanščica, Kalničko gorje i Ravna gora) koje je izgrađeno od karbonatnih stijena – pretežno dolomita mezozojske starosti. Drugi dio sliva čine sedimenti vezani uz brežuljkasta pobrđa i manje doline tercijarne starosti, nastali kao posljedica ispiranja i erozije starijih stijena. Treći dio su naslage kvartarne starosti u nizinskom dijelu rijeke Bednje. Karakteristika tog područja je taloženje šljunka, pijeska i gline. Budući da u tim naslagama dominiraju sitnozrnate čestice, propusnost je slaba, a obnavljanje podzemnih voda zbiva se infiltracijom oborina i procjeđivanjem iz korita vodotoka [11].

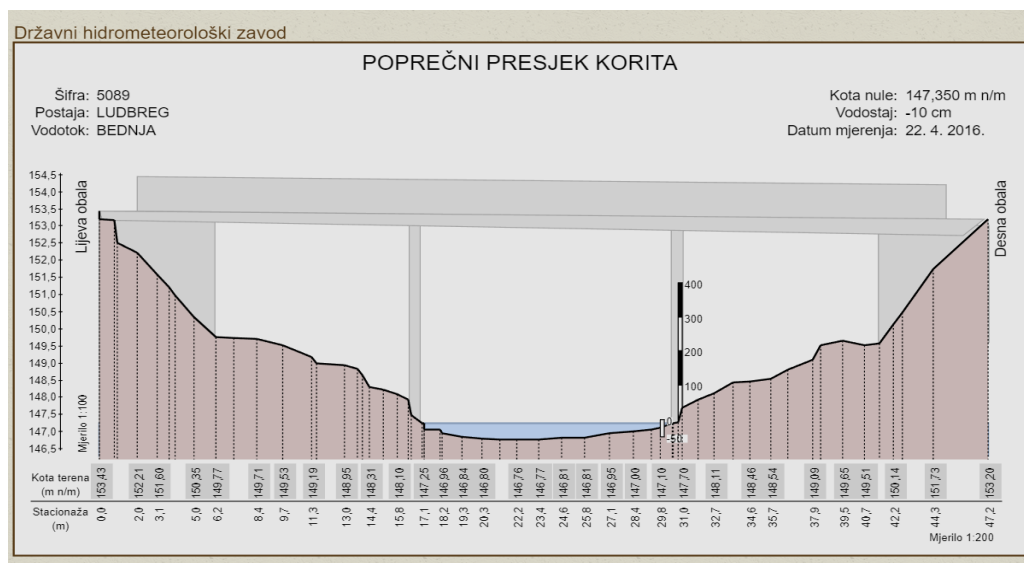
Za potrebe ovog rada korišteni su podaci hidrološke stanice Ludbreg i meteoroloških stanica: Bednja, Donji Macelj, Gornja Rijeka, Kalnik, Kalnički Ljubelj, Klenovnik, Križovljan Grad, Ludbreg, Novi Marof, Varaždinske Toplice, Varaždin i Legrad. Osim hidrološke stanice Ludbreg na području sliva rijeke Bednje postoje i stanice Lepoglava, Željeznica, Ključ i Tuhovec.

### 3.2. Krivulja učestalosti i trajnosti

U ovome dijelu zadatka bilo je potrebno izračunati učestalost i trajnost pojedinih vodostaja te grafički prikazati krivulju učestalosti i trajnosti. Pri izračunu učestalosti i trajnosti zadan je niz podataka vodostaja u centimetrima za 2019. godinu za hidrološku postaju Ludbreg na rijeci Bednji.

Učestalost je neke vrijednosti slučajne varijable broj kojim se pokazuje koliko se puta pojavila vrijednost te varijable. To je zapravo broj pojavljivanja neke vrijednosti prekidne varijable u vremenskom razdoblju u kojem se provode opažanja. Raspodjelom učestalosti grafički se prikazuju učestalost i prekidne varijable u koordinatnom sustavu. Učestalost se svrstava u razrede i grafički se prikazuje u obliku stepeničastih dijagrama. Učestalosti pojavljivanja mogu se aproksimirati neprekidnom krivuljom koja se zove krivulja učestalosti. Zbrojna ili kumulativna učestalost neke vrijednosti označava zbroj učestalosti svih vrijednosti manjih ili jednakih toj vrijednosti, i obrnuto. Kumulativna učestalost prikazuje trajnosti i može se prikazati krivuljom trajanja. Krivulja je trajanja krivulja kojom se prikazuje postotak vremena ili broj dana u godini tijekom kojih je vodostaj ili protok jednak ili veći od danih količina neovisno o kronološkom redu. Ova je krivulja zapravo integralna krivulja učestalosti, dok je krivulja učestalosti diferencijalna krivulja trajanja [1].

Budući da se oznaka nule na vodokazu ne poklapa s dnom profila, već je nula vodokaza iznad riječnog dna, bilo je potrebno dodati određeni razmak B iščitan na poprečnom presjeku korita rijeke Bednje, postaje Ludbreg, koji u ovom slučaju iznosi 50 cm (Slika 12).



Slika 12. Poprečni presjek korita vodotoka Bednje (izvor: <https://hidro.dhz.hr/>)

Ako se nula vodokaza poklapa s dnom profila dubina vode  $V$ , tada je jednaka vodostaju  $H$ , pa u tom slučaju vrijedi oblik kao što je prikazano jednačbom (2):

$$Q = aH^b \quad (2)$$

Ako se nula vodokaza ne poklapa s dnom profila nego je od dna udaljena za razmak  $B$ , općenito se prikazuje jednačbom (3):

$$Q = a(H \pm B)^b \quad (3)$$

i tada, ili dodajemo razmak  $B$  ako je nula vodokaza iznad riječnog dna, ili oduzimamo razmak  $B$  ako je nula vodokaza ispod riječnog dna [1].

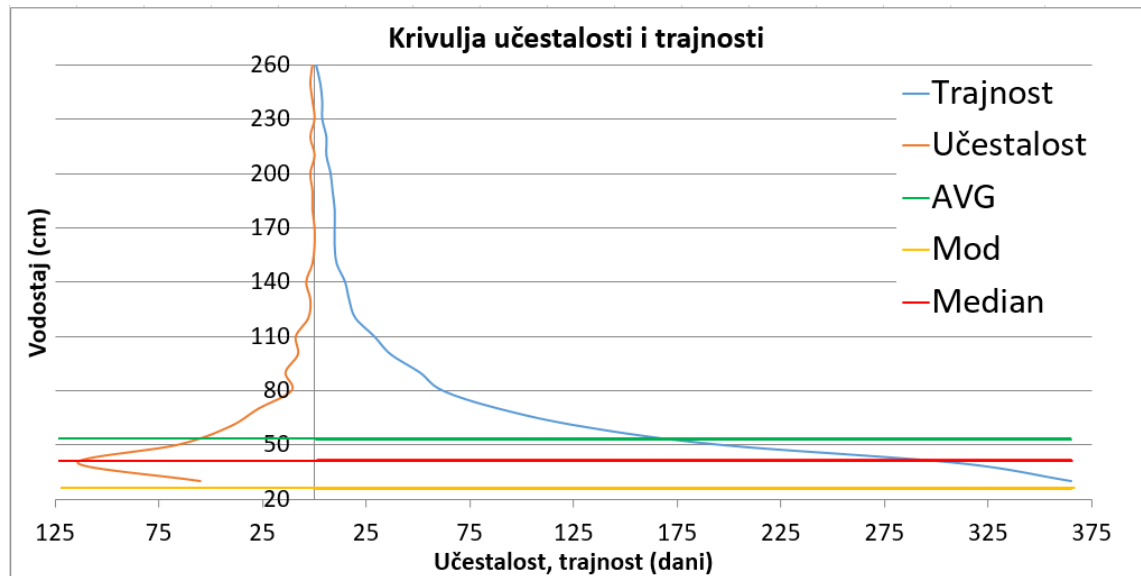
Za dobivanje podataka o učestalosti, najprije je potrebno odrediti minimalnu i maksimalnu vrijednost vodostaja, a podatke o visini vodostaja zatim podijeliti u razrede. U ovom slučaju razmak razreda iznosi 10 cm. Učestalost vodostaja dobivena je prebrojavanjem vodostaja u pojedinom razredu. Na kraju, suma učestalosti mora odgovarati broju dana u godini. Trajnost je dobivena oduzimanjem pojedinih učestalosti, razvrstanih u razrede, od ukupnog broja dana u godini. Razredi vodostaja učestalosti i trajnosti vodomjerne stanice Ludbreg za 2019. godinu prikazani su u (Tablica 1).



Tablica 1. Prikaz podataka vodostaja, učestalosti i trajnosti

Vodostaj			
H [m]		Učestalost [d]	Trajnost [d]
20	30	55	365
30	40	114	310
40	50	66	196
50	60	41	130
60	70	27	89
70	80	11	62
80	90	14	51
90	100	8	37
100	110	9	29
110	120	3	20
120	130	2	17
130	140	4	15
140	150	1	11
150	160	0	10
160	170	0	10
170	180	1	10
180	190	1	9
190	200	2	8
200	210	0	6
210	220	2	6
220	230	0	4
230	240	1	4
240	250	2	3
250	260	1	1
SUM		365	0

Na kraju su grafički prikazani krivulja učestalosti i trajnosti, mod, medijan i aritmetička sredina (Slika 13).



Slika 13. Grafički prikaz učestalosti i trajnosti vodomjerne stanice Ludbreg za 2019. godinu

Mod je najčešća vrijednost nekog skupa, odnosno vrijednost veličine što ga ima najveći broj elemenata u nekom statističkom skupu [13].

Medijan je srednja vrijednost u nizu elemenata statističkog skupa od najmanjeg prema najvećem. Ta vrijednost dijeli navedeni skup na dva jednaka dijela [14].

Aritmetička je sredina srednja vrijednost koja se dobiva zbrajanjem svih članova neke skupine, nakon čega se taj zbroj dijeli s ukupnim brojem pribrojnika [15].

Osnovni statistički podaci vodostaja vodomjerne stanice Ludbreg za 2019. godinu prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. Prikaz osnovnih statističkih obilježja krivulje učestalosti i trajnosti

Maksimalna vrijednost [cm]	255
Minimalna vrijednost [cm]	24
Aritmetička sredina	53
Medijan	42
Mod	26

### 3.3. Protočna krivulja

U ovome dijelu zadatka bilo je potrebno izračunati odgovarajuću protočnu krivulju uz grafički i tablični prikaz.

Protočna je krivulja prikaz protoka kao funkcije vodostaja [1]. Protočna krivulja naziva se još krivulja protoka ili konsupcijska krivulja i ona označava odnos između vodostaja i protoka u protjecajnom profilu vodotoka koji se može izraziti putem jednadžbe, krivulje ili tablice.

Opći izraz kojim se određuje protočna krivulja prikazan je jednadžbom (4):

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

pri čemu je  $H$  (m) vodostaj, a  $Q$  (m<sup>3</sup>/s) protok.

Za definiranje protočne krivulje potrebno je poznavati neki minimalan broj protoka pri različitim vodostajima. Pomoću protočne krivulje moguće je, iz poznatih vodostaja, odrediti odgovarajuće protoke vode.

Protočnu krivulju možemo odrediti grafički i analitički. Kod grafičkog određivanja, ako postoji dovoljan broj izmjerenih protoka pri različitim vodostajima te rasipanje točaka nije veliko, može se izvući težišnica između tih točaka. Krivulja stvorena na takav način može se prihvatiti ako su mjerenja obuhvatila cijelu amplitudu vodostaja.

Kod analitičkog određivanja protočna krivulja može se najčešće definirati za dva oblika: kvadratna parabola i oblik  $y = ax^b$ . Kod kvadratne parabole pretpostavljamo da je protok funkcija vodostaja  $H$  i parametara  $a, b, c, \dots, n$  kao što je prikazano u jednadžbi (5):

$$Q = f(H, a, b, c \dots n) \quad (5)$$

Nakon toga, razvijanjem u red dobiva se oblik koji je prikazan jednadžbom (6):

$$Q = a + bH + cH^2 + \dots nH^m \quad (6)$$

U ovom redu 4. i svi članovi iza njega malog su iznosa pa se zanemaruju, nakon čega se dobiva prvi oblik krivulje kao što je prikazano jednadžbom (7):

$$Q = a + bH + cH^2 \quad (7)$$

Drugi je način analitički oblik  $y = ax^b$ . Kod ovog načina općenito se pretpostavi oblik kao što je prikazano jednadžbom (8):

$$Q = aV^b \quad (8)$$

Kod odabira analitičkog izraza kojim će se definirati protočna krivulja prednost ima onaj oblik koji se bolje prilagođava izračunatim podacima [1].

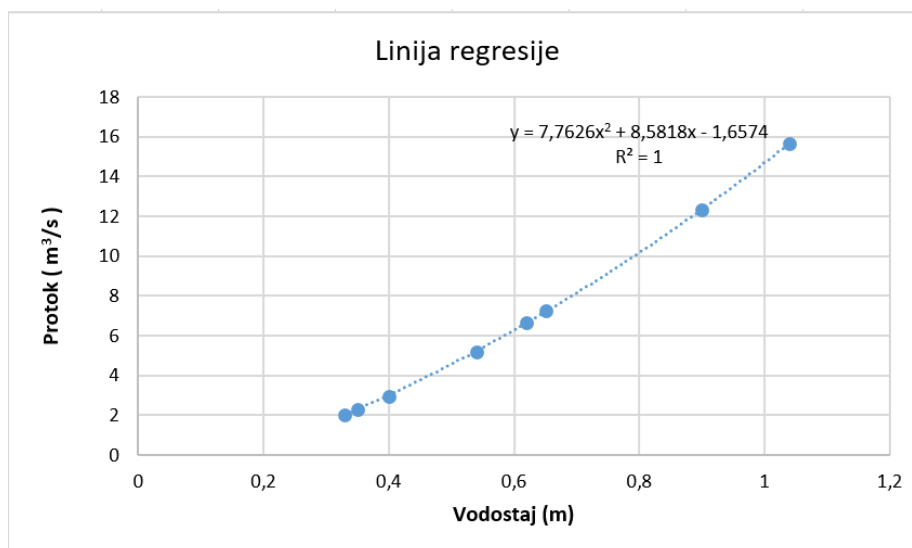
Zadano je 8 vodomjerenja provedenih na svakom vodotoku, koji prikazuju visine vodostaja i dobivene protoke (Tablica 3).

Tablica 3. Prikaz zadanih vodomjerenja

H [cm]	-15	-10	40	15	-17	54	4	12
Q [m <sup>3</sup> /s]	2,31	2,97	12,35	7,24	2,05	15,66	5,2	6,66
H+B [cm]	35	40	90	65	33	104	54	62
H+B [m]	0,35	0,4	0,9	0,65	0,33	1,04	0,54	0,62

Kao kod određivanja krivulje učestalosti i trajnosti i ovdje je bilo potrebno dodati određeni razmak B iščitan na poprečnom presjeku korita rijeke Bednje, postaje Ludbreg, zato što se oznaka nule na vodokazu ne poklapa s dnom profila. Zadani vodostaji i protoci prikazani su u dijagramu. Za te podatke određena je linija trenda, jednadžba linije i koeficijent determinacije (Slika 14). Odabran je kvadratni oblik linije, odnosno polinom drugog stupnja, jer daje najveći koeficijent determinacije.

Dobivena jednadžba glasi:  $Y = 7,7626x^2 + 8,5818x - 1,6574$

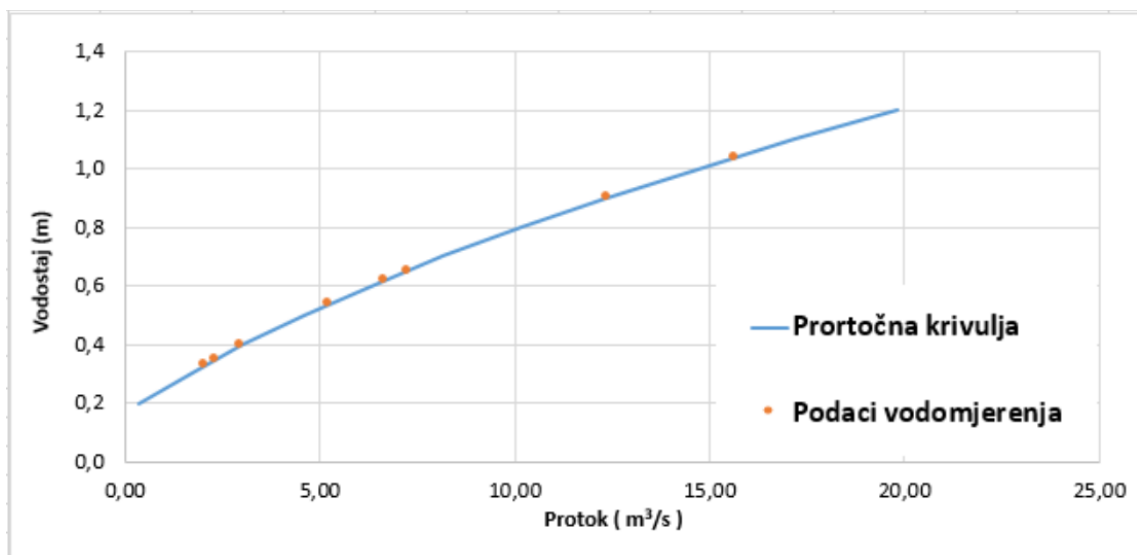


Slika 14. Grafički prikaz ovisnosti protoka o visini vodostaja

Vodostaji su uvršteni u jednadžbu i dobiven je protok (Tablica 4.). Vrijednosti vodostaja i protoka prikazani su u dijagramu, tako da je vodostaj na y-osi, a protok na x-osi, obrnuto od matematički pravilnog načina, ali radi lakšeg pregleda i usporedbi s više protočnih krivulji (Slika 15).

Tablica 4. Prikaz podataka protoka i vodostaja za protočnu krivulju

H[m]	Q[m <sup>3</sup> /s]
0,2	0,37
0,3	1,62
0,4	3,02
0,5	4,57
0,6	6,29
0,7	8,15
0,8	10,18
0,9	12,35
1,0	14,69
1,1	17,18
1,2	19,82



Slika 15. Grafički prikaz protočne krivulje i mjerenih podataka

### 3.4. Srednja godišnja oborina sliva izračunata metodom Thiessenovih poligona

U ovome dijelu zadatku bilo je potrebno izračunati prosječnu godišnju oborinu sliva rijeke Bednje. Korišten je program Microsoft Excel.

Oborina tj. padalina tekući je ili čvrsti proizvod kondenzacije vodene pare koji pada iz oblaka ili se iz zraka taloži na tlo. Količina oborine na sliv umnožak je površine sliva  $A$  i srednje visine oborine  $P$  koja padne na sliv [1].

Za određivanje srednje godišnje oborine sliva može se koristiti devet različitih metoda. To su sljedeće metode: metoda Thiessenovih poligona, metoda trokuta, metoda aritmetičke sredine, metoda izohijeta, metoda izbora težina pomoću izohijeta, metoda postotka srednje višegodišnje oborine, hipsometrijska metoda, Spreen metoda, Sacramento metoda. U ovom su radu korištene metode Thiessenovih poligona te metoda aritmetičke sredine.

Koristeći metodu Thiessenovih poligona, za svaku se kišomjernu stanicu određuje poligon koji predstavlja njezino utjecajno područje. Poligoni se dobivaju pomoću simetrala spojnica pojedinih stanica koje predstavljaju stranice poligona. Ova metoda, osim što obuhvaća stanice koje se nalaze unutar površine sliva, ubraja i stanice koje se nalaze izvan te površine, a njihovo utjecajno područje obuhvaća površinu sliva. Kao što je prikazano jednadžbom (9), za  $n$  stanica srednja količina oborina  $P$  na slivu površine  $A$  je:

$$\bar{P} = \frac{P_1 a_1 + P_2 a_2 + \dots + P_n a_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (9)$$

gdje je  $P$  suma godišnje oborine za pojedinu stanicu, a  $A$  površina utjecajnog područja pojedine kišomjerne stanice [1].

Za sliv rijeke Bednje, zadane su godišnje oborine 12 kišomjernih stanica za 2019. godinu. Najprije su tablično prikazane površine utjecajnih područja u kvadratnim metrima svake stanice dobivene u GIS-u i sumarni prikaz godišnje količine oborine svake stanice u metrima, čime se na kraju dobiva volumen u kubičnim metrima (tablica 5.). Za dobivanje volumena oborina površine utjecajnih područja svake stanice množe se s godišnjom visinom oborina svake stanice. Količnik sume volumena oborina svih stanica i sume površine svih stanica daje srednju godišnju oborinu sliva.

Tablica 5. Suma godišnjih oborina za 2019. godinu i površine Thiessenovih poligona

Naziv mjerne stanice	Suma godišnjih oborina [mm]	Suma godišnjih oborina [m]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Bednja	1241,5	1,2415	126360000	156875940
Donji Macelj	1119,3	1,1193	5390000	6033027
Gornja Rijeka	1251,8	1,2518	5110000	6396698
Kalnik	1291,1	1,2911	6770000	8740747
Kalnički Ljubelj	1277,9	1,2779	49070000	62706553
Klenovnik	1214,9	1,2149	165770000	201393973
Križovljan Grad	1035,7	1,0357	7080000	7332756
Ludbreg	0	0	69870000	0
Novi Marof	1005	1,005	105920000	106449600
Varaždinske toplice	1114,6	1,1146	45330000	50524818
Varaždin	1090,2	1,0902	3640000	3968328
Legrad	0	0	3380000	0
<b>SUMA</b>	<b>11642</b>	<b>11,642</b>	<b>593690000</b>	<b>610422440</b>

Izračun srednje godišnje oborine metodom Thiessenovih poligona:

$$\bar{P} = \frac{610422440}{593690000} = 1028 \text{ mm}$$

Radi usporedbe izračunata je srednja godišnja oborina sliva metodom aritmetičke sredine. U tablici 6. prikazane su stanice koje imaju utjecajno područje te njihova suma. U ovom slučaju dvije kišomjerne stanice nisu imale utjecajno područje jer nisu unutar samog sliva, što znači da se ne uzimaju u obzir prilikom računanja. Srednja godišnja oborina sliva metodom aritmetičke sredine dobivena je tako što se ukupna suma oborina podijeli s ukupnim brojem stanica koje imaju utjecajno područje.

Tablica 6. Suma godišnjih oborina za 2019. godinu

Naziv mjerne stanice	Visina oborina [m]
Bednja	1,2415
Donji Macelj	1,1193
Gornja Rijeka	1,2518
Kalnik	1,2911
Kalnički Ljubelj	1,2779
Klenovnik	1,2149
Križovljan Grad	1,0357
Novi Marof	1,005
Varaždinske toplice	1,1146
Varaždin	1,0902
<b>SUMA</b>	<b>11,642</b>

Izračun srednje godišnje oborine metodom aritmetičke sredine:

$$\bar{P} = \frac{11,642}{10} = 1164 \text{ mm}$$

Razlog razlike vrijednosti srednje godišnje oborine na slivu dobivene metodom aritmetičke sredine i metodom Thiessenovih poligona je u tome što kod izračuna metodom aritmetičke sredine svaka stanica ima jednak utjecaj na slivno područje, a kod Thiessenovih poligona svaka stanica ima različit utjecaj, odnosno ima utjecaj toliko jako koliko ima veliku površinu poligona oko sebe (Tablica 7.).

Tablica 7. Usporedba rezultata Thiessenove metode i metode aritmetičke sredine

	[mm]
Srednja godišnja oborina (Thiessen)	1028
Srednja godišnja oborina (Ar Sr)	1164



#### 4. REZULTATI GODIŠNJEG KOEFICIJENTA OTJECANJA

Za izračun godišnjeg koeficijenta otjecanja korištena je formula (10):

$$c = \frac{QT}{PA} \quad (10)$$

gdje je  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) srednji protok (mjesečni, godišnji, višegodišnji),  $T$  (s) trajanje srednjega protoka,  $P$  (m) oborina koja padne na sliv i  $A$  ( $\text{m}^2$ ) površina sliva [1].

Uvrštavanjem zadanih vodostaja za 2019. godinu u jednadžbu protočne krivulje, određen je dnevni protok za cijelu godinu. Na temelju tih vrijednosti, pomoću aritmetičke sredine, određen je srednji godišnji protok u  $\text{m}^3/\text{s}$ . Srednji godišnji protok pomnožen je s brojem sekundi u godini za dobivanje volumena koji je otekao. Taj se broj dijeli s umnoškom srednje godišnje visine oborina i ukupnom površinom sliva čime je dobiven godišnji koeficijent otjecanja. Vrijednosti za izračun godišnjeg koeficijenta otjecanja prikazane su u tablici 8.

Tablica 8. Tablični prikaz svih varijabli pri izračunu godišnjeg koeficijenta otjecanja

Srednji godišnji protok $Q$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	6,03105492	
Broj sekundi u godini $T$ [s]	31536000	
Volumen $V$ [ $\text{m}^3$ ]	190195347,9	
Srednja godišnja visina oborina $P$ [m]	1,03	
Površina sliva $A$ [ $\text{m}^2$ ]	593690000	
Koeficijent otjecanja	0,31	<b>31 %</b>

Izračun godišnjeg koeficijenta otjecanja:

$$c = \frac{QT}{PA} = \frac{6,03105492 * 31536000}{1,03 * 593690000} = 0,31$$

Nakon provedene analize dobivena je vrijednost godišnjeg koeficijenta otjecanja na slivu rijeke Bednje i on iznosi 0,31 ili 31 %.

Dobiveni rezultat prikazuje koliki udio ukupnih oborina palih na sliv sudjeluje u otjecanju.

## 5. ZAKLJUČAK

Na temelju hidroloških, meteoroloških i GIS podataka izračunat je godišnji koeficijent otjecanja sliva rijeke Bednje. Koeficijent otjecanja prikazuje koliki udio ukupnih oborina palih na sliv sudjeluje u otjecanju. U današnje vrijeme, zbog klimatskih promjena sve su češće prisutni ekstremni vremenski uvjeti. Poplave nakon kiša jakog intenziteta su jedan od tih ekstremnih uvjeta, pa je potreba za izračunom koeficijenta otjecanja neizbježna i vrlo korisna. Koeficijent otjecanja ima bitnu ulogu kod izgradnje kanala za zaštitu od poplava, određivanje mogućih zona opasnosti od poplava, prikazu promjene korištenja zemljišta te u obnovi rezervi podzemne vode. Urbanizacija i nagli razvoj gradova također imaju utjecaj na površinsko otjecanje. Izgrađuje se sve više nepropusnih površina, čime se smanjuje infiltracija oborina i povećava otjecanje.

U ovome radu prikazan je detaljan postupak izračuna godišnjeg koeficijenta otjecanja na primjeru sliva rijeke Bednje. Rijeka Bednja je najduža rijeka koja ima izvor i ušće u Republici Hrvatskoj te povremeno pojedini dijelovi sliva imaju problem s plavljenjem. U ovoj analizi korišteni su podaci o izmjerenim oborinama s 12 kišomjernih postaja za 2019. godinu te vodostaji za 2019. godinu za hidrološku postaju Ludbreg i 8 vodomjerenja koje prikazuju visine vodostaja i odgovarajuće protoke.

Koeficijent otjecanja je dobiven izračunom srednjeg godišnjeg protoka, prosječne količine oborine pale na sliv te površina samog sliva. Srednji godišnji protok je rezultat osrednjavanja dnevnih protoka za jednu godinu. Dnevni protoci izračunati su pomoću jednadžbu protočne krivulje u koju su uvršteni zadani vodostaji. Protočna krivulja dobivena je dijagramskim prikazom zadanih vodostaja i protoka gdje je određena linija trenda, koeficijent determinacije i jednadžba linije. U dobivenu jednadžbu uvršteni su vodostaji te su dobiveni protoci. Grafički je prikazan odnos između vodostaja i protoka. U GIS-u je napravljena karta sliva rijeke Bednje s izračunatom površinom utjecajnih područja pojedinih kišomjernih stanica metodom Thiessenovih poligona. Volumen oborine svakog utjecajnog područja dobiven je umnoškom površine svakog utjecajnog područja sa sumom dnevnih visina oborina za pojedinu kišomjernu stanicu u jednoj godini. Na temelju zadanih vodostaja određena je učestalost i trajnost vodostaja te je grafički prikazana ista. Vrijednost koeficijenta otjecanja za sliv rijeke Bednje iznosi 0,31 odnosno 31 % i vrijedi za 2019. godinu. Sa gledišta otjecanja vrijednost koeficijenta od 31 % je relativno mala, ali zbog bujičnog karaktera rijeke Bednje ta vrijednost je u granicama normale.

Analizom drugih godišta s većom ili manjom količinom oborina ili duljeg vremenskog niza dobio bi se osrednjeni višegodišnji podatak za sliv koji bi bio precizniji podatak.

## 6. POPIS LITERATURE

1. Žugaj, R. (2000): *Hidrologija*, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet: Zagreb.
2. Gereš, D. (2004). *Kruženje vode u zemljinom sustavu*. *Građevinar*, 56(06), 355-365.
3. USGS – Unitet States Geological Survey (2018). *Runoff: Surface and Overland Water Runoff* [Online]. Dostupno na: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/runoff-surface-and-overland-water-runoff>. Datum pristupa: 6.8.2023
4. Topić, V., Butorac, L., & Jelić, G. (2006). *Površinsko otjecanje padalina i erozija tla u šumskim ekosustavima alepskog bora*. *Radovi*, (iz. br. 9), 127-137.
5. Maretić, A., & Krvavica, N. (2021). *Procjena učinkovitosti održivih sustava odvodnje oborinskih voda na primjeru Sveučilišnog kampusa na Trsatu*. *Zbornik radova (Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci)*, 24(1), 103-118.
6. Anees, M. T., Abdullah, K., Nordin, M. N. M., Ab Rahman, N. N. N., Syakir, M. I., & Kadir, M. O. A. (2017). *One-and two-dimensional hydrological modelling and their uncertainties*. *Flood Risk Manag*, 11, 221-244.
7. Rosanda, E. (2015). *Analiza promjene koeficijenta otjecanja u toku godine za sliv Slanog potoka*. Doktorski rad. Rijeka: Sveučilište u Rijeci. Građevinski fakultet.
8. Mahmoud, S. H., Mohammad, F. S., & Alazba, A. A. (2014). *Determination of potential runoff coefficient for Al-Baha Region, Saudi Arabia using GIS*. *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 2041-2057.
9. Machado, R. E., Cardoso, T. O., & Mortene, M. H. (2022). *Determination of runoff coefficient (C) in catchments based on analysis of precipitation and flow events*. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2), 208-216.
10. Biondić, R. (2013): *Uvod u GIS (Geografski informacijski sustav)* skripta iz kolegija GIS na Geotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Dostupno na Merlin stranici kolegija: <https://moodle.srce.hr/2021-2022/course/view.php?id=96189>
11. Leskovar, K., Mrakužić, P., & Meaški, H. (2021). *Evaluacija daljinski opaženog produkta oborina u hidrološkom modelu sliva Bednje*. *Građevinar*, 73(04.), 335-348.

12. Petrić, H. (2010). *O nekim naseljima u porječju rijeke Bednje tijekom srednjega i početkom ranoga novog vijeka. Kaj: časopis za književnost, umjetnost, kulturu*, 43(3.), 91-116.
13. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=41445>. Datum pristupa: 6.8.2023.
14. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=39758>. Datum pristupa: 6.8.2023.
15. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=3839>. Datum pristupa: 6.8.2023.

## 7. POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz hidrološkog ciklusa, str. 3

Slika 2. Ukupno otjecanje rastavljeno na komponente, str. 4

Slika 3. Razlika topografskog i utjecajnog sliva u presjeku A-A, str. 6

Slika 4. Preklapanje tehnologija i tradicionalnih disciplina, str. 8

Slika 5. Odabir GIS Servers, str. 9

Slika 6. Dobivene topografske karte, str. 10

Slika 7. Odabrana topografska karta mjerila 1:25.000, str. 10

Slika 8. Naredba *Create Thiessen Polygon*, str. 11

Slika 9. Naredba *Clip (Analysis)*, str. 11

Slika 10. Dobivene površine utjecajnih područja, str. 12

Slika 11. Karta sliva rijeke Bednje s izračunatim površinama utjecajnih područja metodom Thiessenovih poligona, str. 12

Slika 12. Poprečni presjek korita vodotoka Bednje, str. 14

Slika 13. Grafički prikaz učestalosti i trajnosti vodomjerne stanice Ludbreg za 2019. godinu, str. 17

Slika 14. Grafički prikaz ovisnosti protoka o visini vodostaja, str. 19

Slika 15. Grafički prikaz protočne krivulje i mjerenih podataka, str. 20

## **8. POPIS TABLICA**

Tablica 1. Prikaz podataka vodostaja, učestalosti i trajnosti, str. 16

Tablica 2. Prikaz osnovnih statističkih obilježja krivulje učestalosti i trajnosti, str. 17

Tablica 3. Prikaz zadanih vodomjerenja, str. 19

Tablica 4. Prikaz podataka protoka i vodostaja za protočnu krivulju, str. 20

Tablica 5. Suma godišnjih oborina za 2019. godinu i površine Thiessenovih poligona, str. 22

Tablica 6. Suma godišnjih oborina za 2019. godinu, str. 23

Tablica 7. Usporedba rezultata Thiessenove metode i metode aritmetičke sredine, str. 23

Tablica 8. Tablični prikaz svih varijabli pri izračunu koeficijenta otjecanja, str. 24