

# Proračun otjecanja oborinskih voda na kampusu Sveučilišta u Rijeci

---

**Borozni, Katarina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering in Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet u Rijeci**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:157:864822>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-01**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



Image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Katarina Borozni**

**Proračun otjecanja oborinskih voda na kampusu Sveučilišta u Rijeci**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo  
Hidrotehnika  
Inženjerska Hidrologija**

**Katarina Borozni  
JMBAG: 0114024795**

**Proračun otjecanja oborinskih voda na kampusu Sveučilišta u Rijeci**

**Diplomski rad**

**Rijeka, ožujak 2019.**

Naziv studija: **Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo**  
Znanstveno područje: Tehničke znanosti  
Znanstveno polje: Građevinarstvo  
Znanstvena grana: Hidrotehnika

Tema diplomskog rada

**PRORAČUN OTJECANJA OBORINSKIH VODA NA KAMPUSU SVEUČILIŠTA U RIJECI**

**CALCULATION OF THE RAINFALL RUNOFF ON THE UNIVERSITY OF RIJEKA CAMPUS**

Kandidatkinja: **KATARINA BOROZNI**

Kolegij: **INŽENJERSKA HIDROLOGIJA**

Diplomski rad broj: **H-2018-56**

**Zadatak:**

Zadatak ovoga Diplomskog rada je istražiti koncept integralnog pristupa zbrinjavanju oborinskih voda. U diplomskom radu je potrebno opisati te definirati male te urbane slivove te čimbenike koji utječu na otjecanje oborina. Detaljnije opisati primjenu racionalne metode, dimenzioniranje oborinskog kanalizacijskog kolektora te konstruiranje hidrograma otjecanja velikih voda. U sklopu diplomskog rada potrebno je integralnim pristupom zbrinjavanja oborinskih voda na primjeru kampusa Sveučilišta u Rijeci obraditi idejno rješenje jednog takvog sustava. Rezultate je potrebno obrazložiti kroz diskusiju rezultata.

Tema rada je uručena: 22. ožujka 2018.

**Komentorica:**

dr. sc. Ivana Sušanj Čule,  
mag. ing. aedif.

**Mentorica:**

prof. dr. sc. Nevenka Ožanić,  
dipl. ing. građ.

## **IZJAVA**

Diplomski rad sam izradila samostalno, u suradnji s mentoricom i komentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

*Katarina Borozni*

---

Katarina Borozni

U Rijeci, 25. veljače 2019.

## IZJAVA

Diplomski rad nastao jednim dijelom kao rezultat rada u okviru potpore za materijalno zahtjevna istraživanja Sveučilišta u Rijeci „***Hidrologija vodnih resursa i identifikacija rizika od poplava i blatnih tokova na krškom području***“ (voditelj prof. dr. sc. Nevenka Ožanić) te projekta „**Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci**“ (RC.2.2.06-0001) (voditelj prof. dr. sc. Nevenka Ožanić) koji je sufinanciran iz Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR) i Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH.

U Rijeci, 22.02.2019.

## ZAHVALA

*Veliku zahvalnost upućujem mentorici prof.dr.sc. Nevenki Ožanić, dipl.ing.građ. i dr.sc. Ivani Sušanj Čule, dipl.ing.građ. na pruženoj pomoći tijekom izrade ovog diplomskog rada, savjetima, strpljenju, razumjevanju i vremenu odvojenom za pregled rada.*

*Velika zahvala na podršci ide mojim najdražim prijateljima koji su me bodrili tijekom studiranja: Maji, Barbari, Nini, Sivri, Marini, Maji i ne samo prijateljici već i najboljoj cimerici Tajani.*

*Posebna i najveća zahvala ide mojim roditeljima, bratu, sestrama i njihovim boljim polovicama bez kojih ovo nebi bilo moguće. Kao znak zahvalnosti ovaj rad posvećujem upravo njima, mojoj obitelji!*

## SAŽETAK

U ovom radu proveden je proračun otjecanja oborinskih voda na primjeru kampusa Sveučilišta u Rijeci. Rad je podijeljen u pet dijelova. U prvom dijelu rada opisan je sliv i njegove značajke, također su opisani mali slivovi i urbani slivovi s njihovim značajkama. U drugom dijelu je opisana racionalna metoda, dimenzioniranje kolektora oborinskih voda i postupak određivanja hidrograma velikog vodnog vala. U trećem dijelu je opisan integralni sustav odvodnje zajedno s njegovim značajkama, odnosno prednostima. U četvrtom dijelu je detaljno opisan proračun racionalnom metodom i odabrani elementi integralnog sustava odvodnje. U zadnjem, petom djelu su prikazani rezultati proračuna i diskusija dobivenih rezultata.

**Ključne riječi:** Sliv, urbani sliv, otjecanje, racionalna metoda, integralni sustav odvodnje.

## ABSTRACT

The main aim of this thesis is flow calculation of rainfall in the campus of University of Rijeka. This thesis is divided in five parts. First part of this paper consists of explanation of basin and its features, also there is explanation of small basins and urban basins with their features. In the second part there is a description of rational method, dimensionalization of rainwater collectors and a method of determining the hydrograph of a large water wave . There is an explanation of integral drainage system with its features in the third part. Fourth part is bringing a detailed description of calculation with rational method. In the last, fifth, part are results of calculation and elements that are chosen for implementation in integral system.

**Key words:** basin, urban basin, runoff, rational method, integral drainage system.



# SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>5</b>
<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>7</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. SLIVIVI</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1 Mali slivovi</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Urbani slivovi</b> .....	<b>4</b>
2.2.1 Urbana područja .....	4
2.2.2 Otjecanje na urbanim slivovima.....	5
<b>2.3 Čimbenici otjecanja sa slivova</b> .....	<b>7</b>
<b>3. IZRAČUN OTJECANJA SA SLIVOVA</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Racionalna metoda</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2 Dimenzioniranje oborinskog kanalizacijskog kolektora</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3 Hidrogram velikog vodnog vala prema R. D. Goodrichu</b> .....	<b>26</b>
<b>4. INTEGRALNI PRISTUP ZBRINJAVANJA OBORINSKIH VODA</b> .....	<b>28</b>
<b>5. PRIMJER KAMPUS SVEUČILIŠTA U RIJECI</b> .....	<b>34</b>
<b>5.1 Geografske i reljefne značajke područja</b> .....	<b>34</b>
<b>5.2 Klimatske i meteorološke značajke</b> .....	<b>35</b>
<b>5.3 Sustav odvodnje</b> .....	<b>35</b>
5.3.1 Hidrogrami.....	42

<b>5.4 Integralni pristup .....</b>	<b>43</b>
5.4.1 Dimenzioniranje bioretencijskih bazena.....	44
<b>6. DISKUSIJA .....</b>	<b>60</b>
<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>62</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>63</b>

## POPIS SLIKA

- Slika 1. Topografska i hidrološka vododjelnica [1]
- Slika 2. Shematski prikaz razlike topografskog i utjecajnog sliva [3]
- Slika 3. Promjena hidrograma otjecanja urbanizacijom područja [5]
- Slika 4. Otjecanje prije urbanizacije i nakon [5]
- Slika 5. Čimbenici koji utječu na otjecanje sa sliva [3]
- Slika 6. Tipovi sliva prema obliku [8]
- Slika 7. a) Hipsometrijska krivulja, b) Krivulja površina [8]
- Slika 8. Brutto i srednji pad vodotoka [8]
- Slika 9. Nomogram hidrauličkih parametara za potpuno ispunjene kanalizacijske cijevi okruglog oblika profila [10]
- Slika 10. Hidrogram vodnog vala [9]
- Slika 11. Tradicionalno upravljanje oborinske odvodnje [12]
- Slika 12. Integralno upravljanje oborinama [12]
- Slika 13. Mogućnosti tradicionalnog pristupa [12]
- Slika 14. Primjer ulične odvodnje [12]
- Slika 15. Mogućnosti odvodnje ulica i parkinga [12]
- Slika 16. Bioretencija [12]
- Slika 17. Kišni vrt gradske zone [12]
- Slika 18. Varijante propusnih pločnika [14]
- Slika 19. Položaj kampusa [15]
- Slika 20. Slivne površine
- Slika 21. Sliv sa dionicama i slivnim površinama
- Slika 22. Primjer označavanja koeficijenta otjecanja
- Slika 23. ITP krivulja za Rijeku za različite povatne periode [17]
- Slika 24. Položaj bioretencija
- Slika 25. Položaj prve bioretencije
- Slika 26. Složeni hidrogram prve bioretencije
- Slika 27. Tlocrt prve bioretencije
- Slike 28. Presjek A-A prve bioretencije
- Slika 29. Položaj druge bioretencije
- Slika 30. Hidrogram druge bioretencije

- Slika 31. Tlocrt druge bioretencije
- Slika 32. Presjek A-A druge bioretencije
- Slika 33. Položaj treće bioretencije
- Slika 34. Hidrogram treće bioretencije
- Slika 35. Tlocrt treće bioretencije
- Slika 36. Presjek A-A treće bioretencije
- Slika 37. Položaj četvrte bioretencije
- Slika 38. Složeni hidrogram četvrte bioretencije
- Slika 39. Dimenzije četvrte bioretencije
- Slika 40. Tlocrt četvrte bioretencije
- Slika 41. Presjek A-A četvrte bioretencije
- Slika 42. Četvrta bioretencija u prostoru
- Slika 43. Prikaz nagiba terena

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Vrijednosti površinske koncentracije [6]

Tablica 2. Koeficijent otjecanja prema opisu područja odvodnje[6]

Tablica 3. Koeficijent otjecanja prema vrsti površine[6]

Tablica 4. Vrijednosti racionalnog koeficijenta C [9]

Tablica 5. Protoci i brzine kod punih profila kružnih kanalizacijskih cijevi do profila 70cm[10]

Tablica 6. Protoci i brzine kod punih profila kružnih kanalizacijskih cijevi od profila 70cm [10]

Tablica 7. Hidraulički parametri kanalizacijskih cijevi kružnog oblika profila pri djelomičnom ispunjenju [10]

Tablica 8. Najveće dozvoljene brzine u kanalima [11]

Tablica 9. Vrijednosti visine punjenja kanala [11]

Tablica 10. Prikaz slivnih površina

Tablica 11. Dionice kanala s pripadajućim veličinama

Tablica 12. Srednji koeficijent otjecanja po dionicama

Tablica 13. Protok po dionicama

Tablica 14. Dimenzioniranje kolektora

Tablica 15. Proračun parametara za hidrograme

Tablica 16. Dionice koje utječu u retenciju

Tablica 17. Ulazni parametri za složeni hidrogram prve bioretencije

Tablica 18. Dimenzioniranje bioretencije

Tablica 19. Ulazni parametri za hidrogram druge bioretencije

Tablica 20. Dimenzioniranje bioretencije

Tablica 21. Ulazni parametri za hidrogram treće bioretencije

Tablica 22. Dimenzioniranje bioretencije

Tablica 23. Ulazni parametri za složeni hidrogram četvrte bioretencije

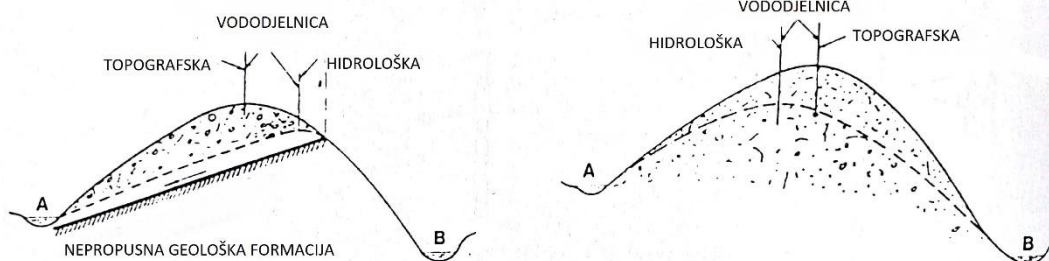
## 1. UVOD

U ovom diplomskom radu biti će prikazan proračun otjecanja oborinskih voda racionalnom metodom kao i definiranje hidrograma otjecanja s pojedinih površina sliva te opisano idejno rješenje primjene integralnog pristupa u sustavu odvodnje. Na području kampusa Sveučilišta u Rijeci zbog rasterećenja postojećeg mješovitog kanalizacijskog sustava, koji je trenutačno u funkciji prikupljanja oborinskih voda, teži se trajnijem i ekološki prihvatljivom zbrinjavanju oteklih površinskih voda. Iako se oborine zbrinjavaju u postojeći kanalizacijski sustav, uslijed oborina velikog inteziteta dolazi do stvaranja poplavnih valova na prometnicama koji ometaju promet i nesmetano kretanje korisnika kampusa. S obzirom na to da je nagib terena na kampusu u smjeru juga odnosno prema gradu potrebno je stvoriti sustav koji će omogućiti prodor vode u tlo odmah nakon kontakta s tlom. Takvo rješenje nudi potencijalno rasterećenje postojećeg kanalizacijskog sustava te održavanje prirodne bilance vode na slivu koji je izgradnjom kampusa doživio promjene u smislu smanjenja ukupnog volumena infiltrirane vode u podzemlje. Ovaj problem je najbolje potencijalno riješiti integralnim sustavom odvodnje jer je on najekonomičniji i ne zahtijeva velike radove koji bi uzrokovali još veće probleme u funkcioniranju kampusa.

U radu će se također opisati ostali potrebni termini za razumijevanje problematike. U prvim poglavljima nalazit će se definicija sliva i njegovih fizičkih obilježja. Nadalje će se pojasniti mali sliv, urbani slivovi te otjecanje na urbanim slivovima. U nastavku će se objasniti otjecanje na urbanim slivovima i čimbenici otjecanja s urbanih slivova. U trećem poglavlju će se objasniti racionalna metoda proračuna otjecanja sa sliva, dimenzioniranje kolektora oborinske odvodnje i konstruiranje hidrograma velikog vodnog vala prema R. D. Goodrichu. U četvrtom poglavlju će se objasniti integralni sustav odvodnje i njegov princip rada. Naglašava se i prednost integralnog pristupa koji ne zahtijeva veliku količinu novca za izvođenje projekta, a primjena integralnog pristupa je ekološki prihvatljivija nego druga rješenja. Razlog tomu je cilj kojem je što veće ozelenjivanje površine s biljem i raslinjem koje dobro podnosi velike količine vode, a da propušta vodu u podzemlje što bi značilo da se voda ne zadržava na površini i ne šteti normalnom funkcioniranju prometa. U zadnja dva poglavlja će se nalaziti detaljni proračun otjecanja na kampusu racionalnom metodom, prijedlozi rješenja integralnim sustavom koja bi se uvela i diskusija na samom kraju.

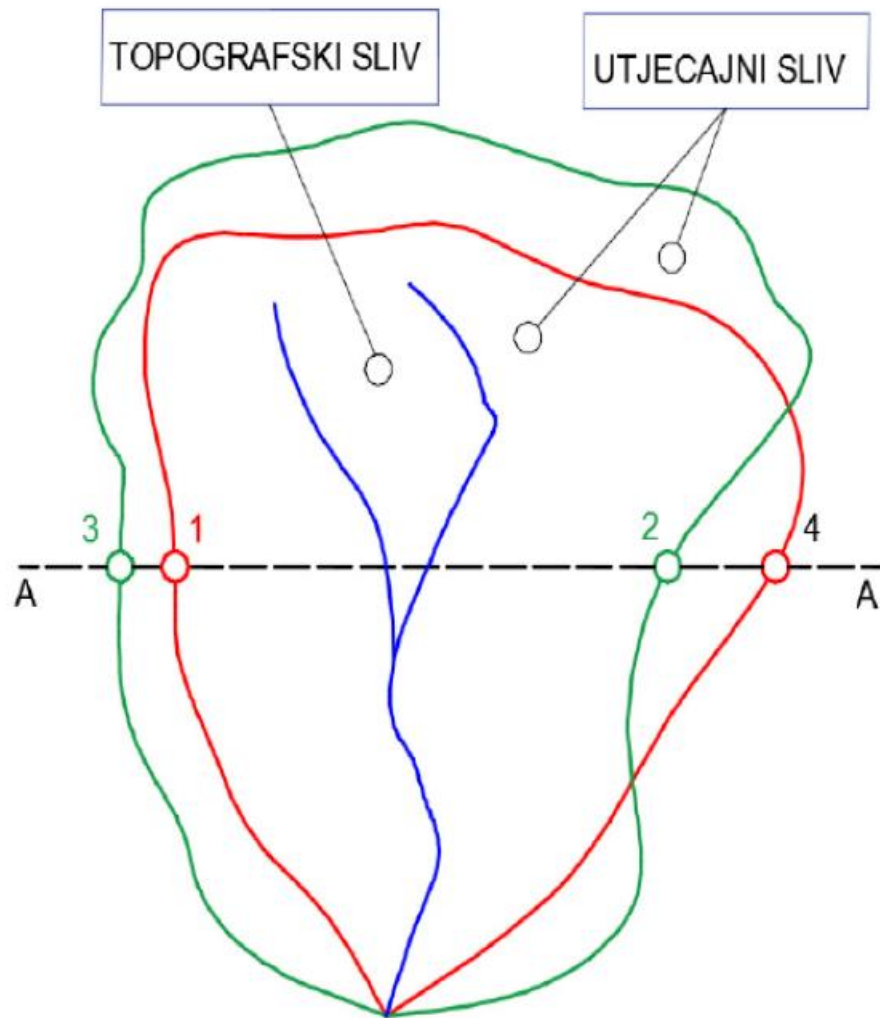
## 2. SLIVОВИ

Sliv je oborinsko područje ili ona površina tla s koje se slijeva oborinska voda u vodotok [1]. Vrlo je važan čimbenik koji utječe na dotjecanje vode i veličinu protoka u vodotoku [1]. Granica sliva je vododjelnica koja može biti topografska i hidrološka (Slika 1). Topografska vododjelnica spaja točke najveće nadmorske visine između dva sliva dok hidrološka ili hidrografska vododjelnica ovisi o geološkoj građi sliva i ona se ne može odrediti uz pomoć karte kao topografska. Hidrološka vododjelnica se određuje korištenjem indikatora različitih boja i kemijskog sastava upuštanjem na područja poniranja te se prati njihova pojava u izvorima i vodotocima.

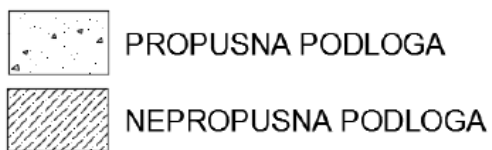
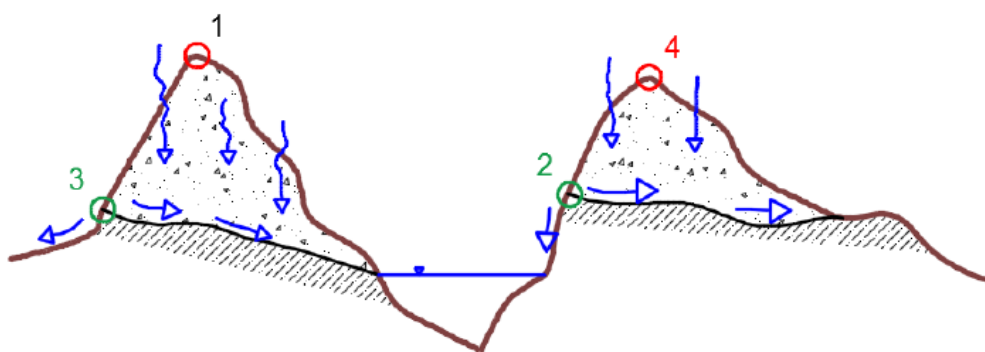


Slika 1. Topografska i hidrološka vododjelnica [1]

Pri definiranju veličine sliva vrlo često topografska razvodnica ne određuje utjecajno slivno područje [2]. Odstupanja topografske i hidrogeološke vododjelnice mogu biti vrlo velika što ovisi o razvijenosti podzemnih putova. Također hidrogeološka vododjelnica ne mora biti stalna već se utjecajna površina može mijenjati zavisno o visini podzemne vode (Slika 2).



PRESJEK A--A



Slika 2. Shematski prikaz razlike topografskog i utjecajnog sliva [3]



## **2.1 Mali slivovi**

Mali sliv je definiran prema nekim autorima kao onaj koji ima površinu manju od 1000 km<sup>2</sup>, a češće je definiran površinom manjom od 400 km<sup>2</sup>. Teško je odrediti granicu između velikog i malog sliva samo na temelju površine. Potrebno je razmotriti čimbenike koji utječu na otjecanje sa sliva. Svojstvo koje zasigurno najbolje definira mali sliv kao takav je ujednačena količina oborine koja pada na sliv odnosno uvjet da prilikom nastupanja oborina cjelokupni sliv sudjeluje u otjecanju i nastanku histograma otjecanja [3]. Za klasifikaciju je potrebno proučiti svaki sliv zasebno zbog već navedenih specifičnih čimbenika svakog sliva. Mali slivovi bujičnih karakteristika imaju brzi odziv na pale oborine tako da je pojava bujice, muljnog toka i debrinne poplave izrazito vjerojatna.

## **2.2 Urbani slivovi**

### ***2.2.1 Urbana područja***

Prema članku 14. Zakona o regionalnom razvoju RH urbana područja obuhvaćaju urbane aglomeracije i veća, odnosno manja urbana područja utvrđena ovim Zakonom. Urbana područja u RH se ustrojavaju kao urbane aglomeracije, veća urbana područja i manja urbana područja. Urbane aglomeracije su [4]:

- Urbana aglomeracija Zagreb, sa sjedištem u Zagrebu
- Urbana aglomeracija Split, sa sjedištem u Splitu
- Urbana aglomeracija Rijeka, sa sjedištem u Rijeci
- Urbana aglomeracija Osijek, sa sjedištem u Osijeku.

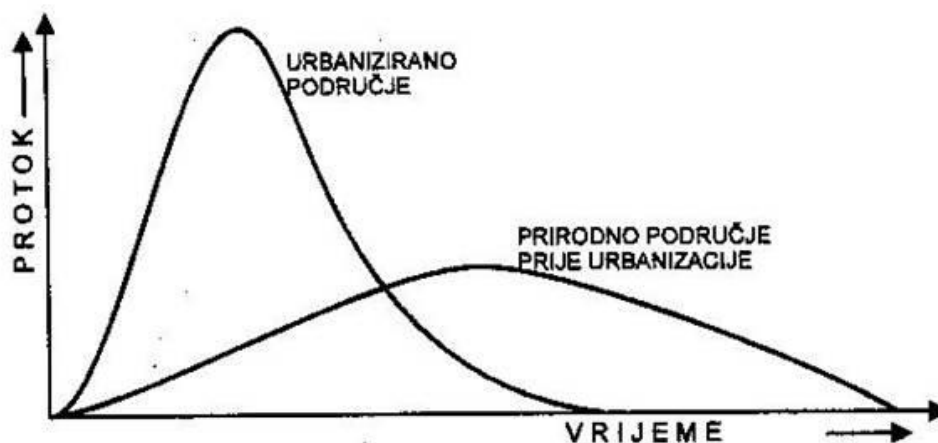
Veća urbana područja su gradovi koji prema posljednjem popisu stanovništva imaju više od 35 000 stanovnika i nisu uključeni u navedene urbane aglomeracije. Manja urbana područja su gradovi koji imaju manje od 35 000 stanovnika prema posljednjem popisu stanovništva, a čija naselja imaju više od 10 000 stanovnika i/ili su sjedišta županija. Temeljni strateški dokument kojim se određuju ciljevi i prioriteti razvoja urbanih područja je Strategija razvoja urbanog područja.

Prema definiciji Haughtona i Hiuitera (1994), jedno urbano područje je skup zgrada i ulica gdje ljudi žive, rade i sudjeluju u njegovu gospodarskom i društvenom razvoju koje obično ima najmanje 10 000 stanovnika [5].

U europskim državama se razlikuju definicije urbanih područja. Neke države definiraju urbana područja na osnovi uporabe zemljišta gdje ne dopuštaju prekide više od 200 m, a pomoću satelitskih snimki određuju granice. Druge, slabije razvijene zemlje, zahtijevaju da se više od 75% stanovništva ne bavi poljoprivredom uz zahtjev o uporabi zemljišta i gustoći stanovništva.

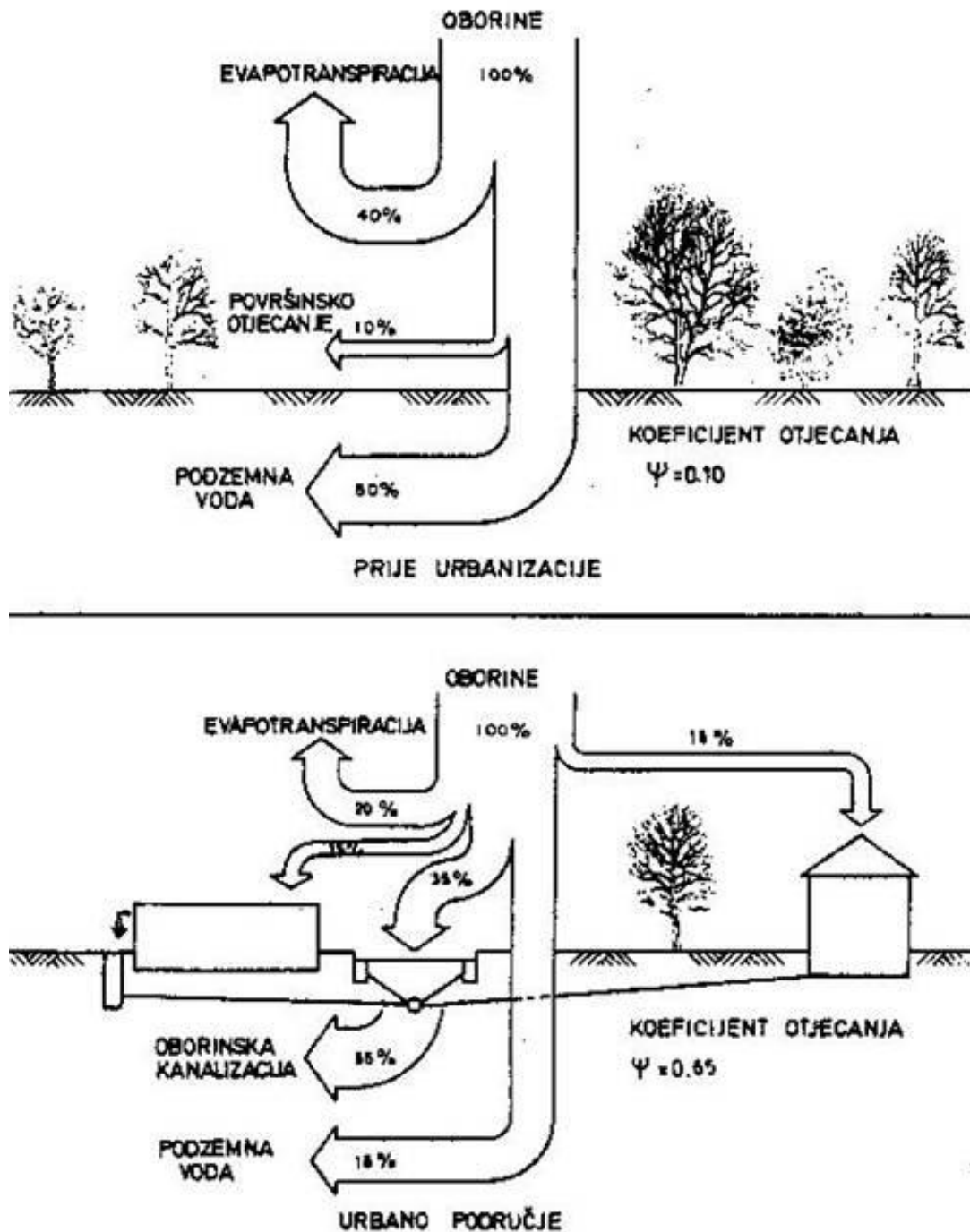
### 2.2.2 Otjecanje na urbanim slivovima

Otjecanje u urbanim ili izgrađenim sredinama različito je od otjecanja u prirodnim sredinama [6]. Izgradnjom prostora dolazi do mijenjanja osnovnih karakteristika prostora, odnosno slivne površine. Prometnice, objekti i drugi vodonepropusni elementi zamjenjuju zelenilo i prirodne površine što uzrokuje promjenu osnovnih komponenti otjecanja. Povećanje vodonepropusnih površina uzrokovano urbanizacijom dovodi do toga da oborinska voda brzo otječe u recipijent. Kod urbaniziranih sredina se puno manje vode infiltrira u podzemlje uslijed čega razina podzemne vode opada, opada i otjecanje površinskih voda u sušnom razdoblju, smanjuje se vrijeme koncentracije i mijenja oblik hidrograma te se povećava vrh hidrograma (Slika 3.).



Slika 3. Promjena hidrograma otjecanja urbanizacijom područja [5]

Također, izgradnjom zgrada i kolnika smanjuje se količina oborina koja isparava u atmosferu uslijed smanjenja zelenila pa dolazi i do smanjenja procesa evapotranspiracije. S obzirom na to da se smanjuju ove dvije komponente otjecanja dolazi do povećanja treće komponente, a to je površinsko otjecanje. Povećanje površinskog otjecanja ovisi o stupnju izgrađenog prostora (Slika 4).



Slika 4. Otjecanje prije urbanizacije i nakon [5]

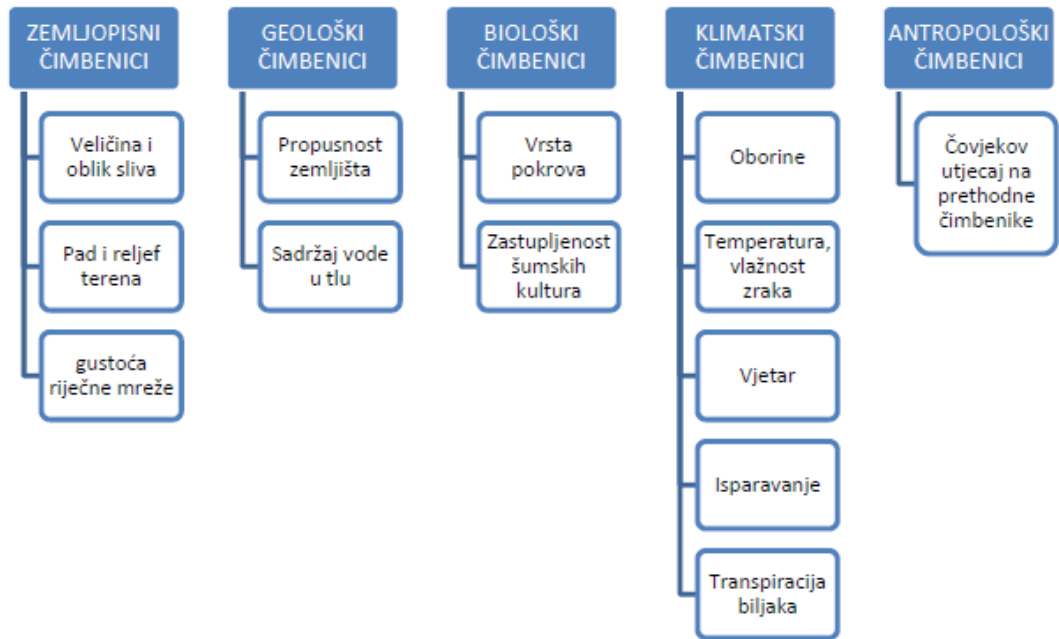
Na urbanim područjima danas se nastoji smanjiti dotok oborinske vode u kanalizaciju, zadržati što više vode na slivu i infiltrirati u teren [5]. Uslijed ubrzane urbanizacije i litoralizacije dolazi do problema u rješavanju odvodnje oborinskih voda u urbanim područjima. Odvodnja oborinskih voda kod novoizgrađenih naselja koja se nalaze na širem gradskom području vrlo često predstavlja problem zbog ograničenja koja nameće postojeća izgrađena infrastruktura, planirana s drugačijim uvjetima i režimima otjecanja [7]. Problem koji se također javlja u urbanim sredinama je erozija zemljišta koja nastaje kao posljedica uništenja prirodnog pokrova zemljišta i ono postaje izloženo povećanom djelovanju površinskog otjecanja [6]. Kao rezultat javlja se zamućenje prijemnika oborinskih voda, gubitak površinskog sloja zemljišta i taloženje sedimenata u prijemnicima. Dolazi i do erozije samih vodotoka zbog povećanog protjecanja u njima.

### **2.3 Čimbenici otjecanja sa slivova**

Na brzinu i količinu dotjecanja oborina u vodotok utječu: zemljopisni, geološki, biološki, klimatski i antropološki čimbenici (Slika 5) [3].

- Zemljopisni čimbenici su: oblik i veličina sliva, reljef, nagib terena i gustoća riječne mreže,
- Geološki: sadržaj vode u podzemlju i sastav zemljišta s obzirom na propusnost,
- Biološki: zastupljenost šumske kulture na slivu i vrste raslinja,
- Klimatski: isparavanje i evapotranspiracija, vjetar, temperatura, vlažnost zraka i oborine,
- Antropološki: čovjekov utjecaj.

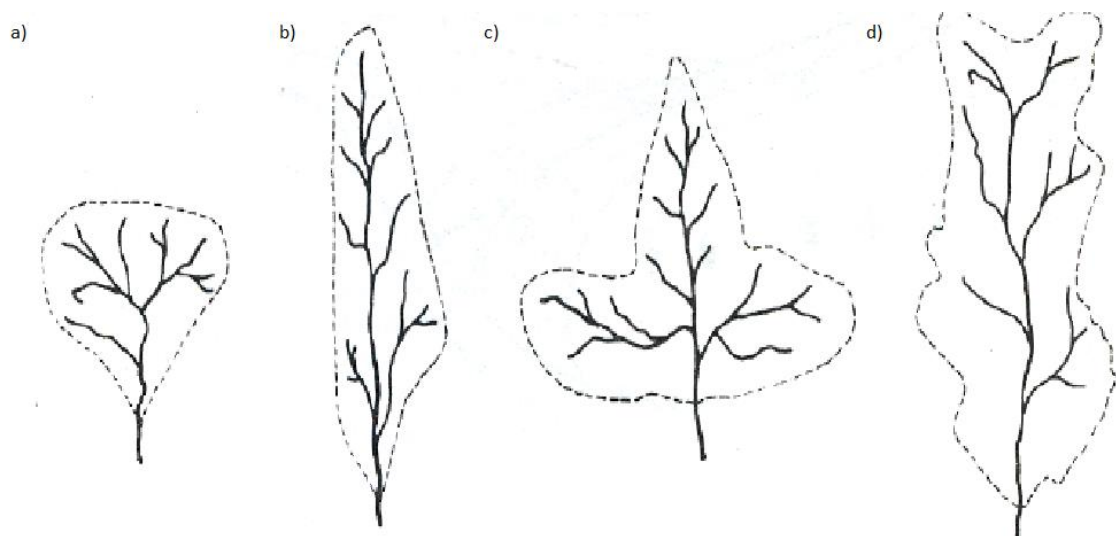
Tijekom izrade hidroloških analiza ili modela važno je analizirati sve čimbenike koji utječu na otjecanje sa sliva kao npr. geološka građa, geografski položaj, klimatski uvjeti i općenito fizičke osobine sliva. Osnovne fizičke osobine sliva su površina i oblik sliva, srednja nadmorska visina sliva, pad sliva, pad vodotoka i gustoća riječne mreže. Područje sliva može obuhvaćati cijeli vodotok ili samo neki dio. Površina sliva se određuje planimetriranjem s topografskih karata i koristeći elektroničke alate.



Slika 5. Čimbenici koji utječu na otjecanje sa sliva [3]

O obliku sliva ovisi koncentracija vode, karakter otjecanja, dimenzije, uzdužni profil vodotoka, veličina i trajanje hidrograma vodnih valova. Tipovi slivova prema obliku mogu biti (Slika 6) [8]:

- Lepezasti - nagla koncentracija, vrlo veliki mjerodavni intenzitet, kratko otjecanje
- Duguljasti - spora koncentracija, slab intenzitet, dugotrajno otjecanje
- Trokutasti - nagla koncentracija, velik intenzitet, dugotrajno otjecanje
- Opći pravokutni - spora koncentracija, velike vode dugo traju, dugotrajno otjecanje



Slika 6. Tipovi sliva prema obliku [8]

Oblik sliva se opisuje koeficijentom koncentriranosti sliva  $K$ . Ovaj koeficijent je moguće izračunati na više načina prema različitim autorima. Tako je izraz (1) izraz prema Srebrenoviću, (2) prema R.E.Hortonu i (3) prema H.Graveliusu [3]:

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

$$K = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

$$K = \frac{0,28 * O}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Gdje je:

$K$  - koeficijent koncentriranosti [-]

$A$  - površina sliva [ $\text{km}^2$ ]

$O$  - opseg sliva [km]

$U$  - udaljenost težišta od protjecajnog profila [km]

$L$  - duljina glavnog vodotoka [km]

Srednja nadmorska visina sliva se određuje pomoću hipsometrijske krivulje  $A = f(H)$  koja se prikazuje grafički u koordinatnom sustavu (Slika 7.)[8]. Na ordinatu se nanose površine koje zatvaraju pojedine slojnice sa vododjelnicom, izražene u postocima od ukupne površine sliva nanesenom na apscisi (4) [1].

$$H_0 = H_p + \Delta H \quad (4)$$

Gdje je:

$\Delta H$  - srednja visina sliva,  $\Delta H = \frac{A_1}{L_1} \Delta h$

$H_p$  - najniža apsolutna kota sliva

$L_1$  - dužina izmjerene apscise na crtežu

$\Delta h$  - interval na ordinati

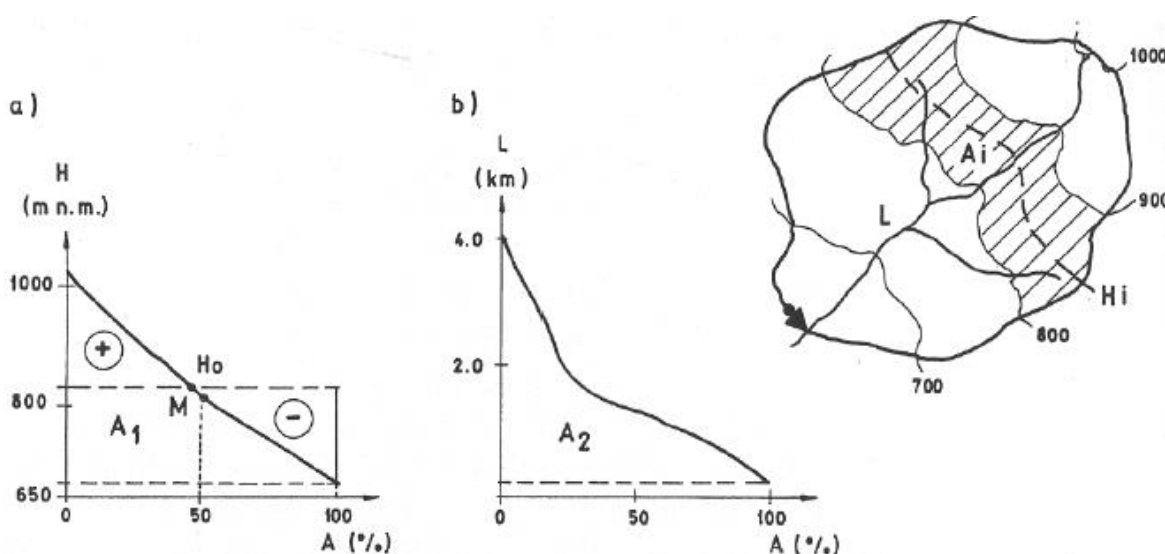
Drugi način određivanja je krivulja površina  $A = f(L)$ , mjeri se duljina slojnica unutar sliva (5) [1]. Kod ovog postupka je poželjan približno jednak razmak među slojnicama.

$$H_0 = \frac{L_1 H_1 + L_2 H_2 + \dots + L_n H_n}{\Sigma L} \quad (5)$$

Gdje su:

$L_1, L_2, \dots, L_n$  - dužine slojnica unutar obrisa koji čini vododjelnicu

$H_1, H_2, \dots, H_n$  - apsolutne visine slojnica



Slika 7. a) Hipsometrijska krivulja, b) Krivulja površina [8]

Srednja nadmorska visina sliva se danas određuje analizom digitalnog elevacijskog modela (eng. *Digital Elevation Model, DEM*) u različitim programskim paketima.

Pad sliva se definira kao odnos površine ispod hipsometrijske krivulje i krivulje površina sliva. Kao i u prethodnom slučaju u današnje vrijeme pad sliva se ponajviše dobiva analizom digitalnog elevacijskog modela [9]. Određivanje pada sliva je malo složeniji postupak i često se izjednačuje s padom glavnog vodotoka i njegovih pritoka pa tako imamo brutto pad i srednji pad vodotoka. Srednji pad vodotoka određen je visinskom razlikom apsolutnih kota krajnjih točaka vodotoka i njihovim razmakom (Slika 8) (6) [1].

$$i = \frac{H_2 - H_1}{L} \quad (6)$$

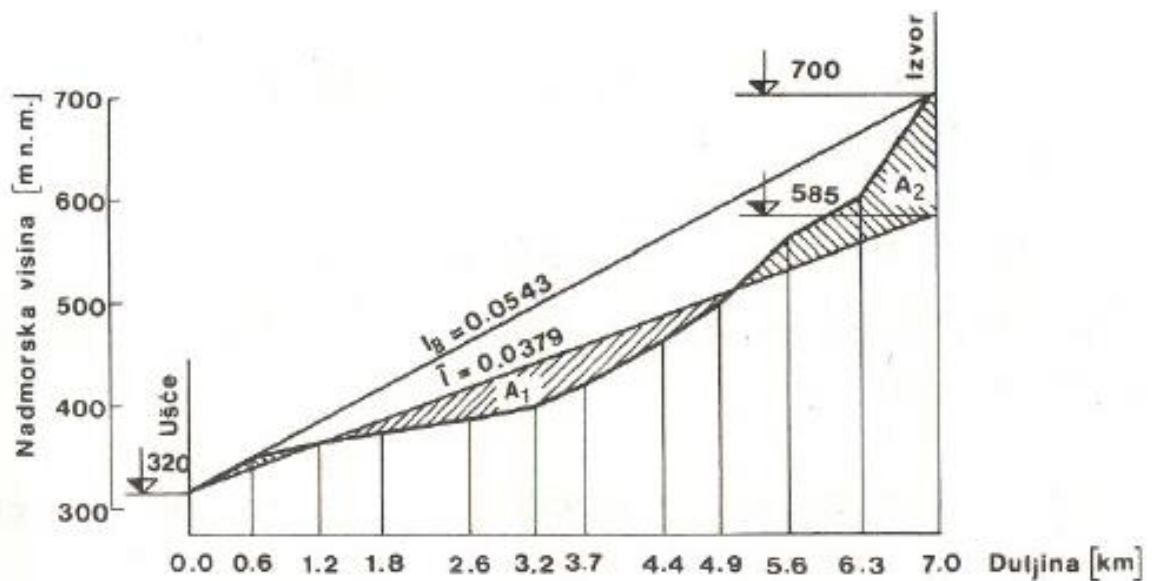
Gdje je:

$H_1$  - apsolutna kota na ušću ili promatranom početnom presjeku vodotoka

$H_2$  - najviša apsolutna kota vodotoka

$L$  - dužina vodotoka

Kada je visinska razlika u metrima, a dužina u kilometrima tada se rezultat izražava u promilima.



Slika 8. Brutto i srednji pad vodotoka [8]

Od velikog značaja za režim otjecanja nekog sliva je biljni pokrov odnosno vegetacija. Pozitivan utjecaj ima zadržavanje vode na granama drveća, raslinje sprječava eroziju zemljišta i topljenje snijega .



Drensku mrežu nekog sliva predstavljaju svi vodotoci (stalni, isprekidani i povremeni). Najčešće se računa specifična gustoća riječne mreže  $D$  (7). Prema specifičnoj gustoći riječne mreže može se razlikovati dobro ( $D > 4 \text{ km/km}^2$ ), srednje ( $D=1-4 \text{ km/km}^2$ ), i slabo dreniran sliv ( $D < 1 \text{ km/km}^2$ )[9].

$$D = \frac{\sum L}{A} \quad (7)$$

Gdje su:

$D$  - Gustoća drenske mreže [ $\text{km/km}^2$ ]

$L$  - Duljina vodotoka [km]

$A$  - Površina sliva [ $\text{km}^2$ ]

### 3. IZRAČUN OTJECANJA SA SLIVOVA

#### 3.1 Racionalna metoda

Racionalna formula ili racionalna metoda je formula za izračunavanje maksimalnih protoka s malih slivova kao umnoška slivne površine, maksimalna kišnog intenziteta i racionalnog koeficijenta [9]. Racionalna metoda se primjenjuje na slivovima manjim od 13 km<sup>2</sup>, kod kojih je slivna površina više nepropusna nego propusna, a propusnost se značajno ne mijenja s trajanjem kiše, kao što je slučaj u urbanim sredinama. Prema EN-752-4 metoda se primjenjuje za urbane površine do veličine od 200 ha ili vrijeme koncentracije do 15 minuta [1]. Kada cjelokupno slivno područje sudjeluje u formiranju otjecanja, pojavit će se na računskom profilu maksimalno otjecanje uz uvjet da je intenzitet kiše jednak na cijelom slivnom području. To je vrijeme koncentracije  $t_c$  ili vrijeme maksimalnog otjecanja, jednako je vremenu potrebnom da efektivna kap kiše od najudaljenije točke sliva dođe do promatranog profila. Povratno razdoblje računatog vršnog otjecanja je isto kao za projektirani pljusak i intenzitet kiše, jednak je u cijelom razdoblju i na cijelom području. Za primjenu ove metode potrebno je raspolagati ITP krivuljama u funkciji povratnog perioda  $P$  i trajanja oborina  $t$ , te karakteristikama slivne površine  $A$  i  $C$ . Racionalna formula glasi [1]:

$$Q = C * i * A \text{ (l/s)} \quad (8)$$

gdje je:

$Q$  - vršni protok (l/s)

$C$  - koeficijent otjecanja

$i$  - intenzitet oborina (l/s/ha)

$A$  - slivna površina (ha)

Ako se uzmu jedinice  $Q$  (m<sup>3</sup>/s),  $i$  (mm/sat) i  $A$  (km<sup>2</sup>), onda racionalna formula ima oblik [9]:

$$Q = 0,278 C * i * A \quad (9)$$

Za  $Q$  ( $m^3/s$ ),  $A$  ( $km^2$ ) i  $i$  ( $mm/min$ ) je:

$$Q = 16,67 C * i * A \quad (10)$$

Intenzitet kiše je veličina oborine u vremenu [1]. Mjerodavni intenzitet oborine  $i$  je funkcija vremena koncentracije  $T_c$  i povratnog razdoblja  $p$  [9]:

$$i = i(T_c, p) \quad (11)$$

Vrijeme koncentracije ovisi o uređenju terena, karakteristikama površine i povratnom razdoblju. Vrijeme površinske koncentracije kraće je što je nagib terena veći, uređenost površinske odvodnje bolja, vodonepropusnost terena veća i povratno razdoblje veće. Kod ove metode vrlo je važan dobar proračun vremena koncentracije. U urbanim područjima uobičajena vrijednost površinske koncentracije je 3-15 minuta. Prema Margeti preporučuje se [6]:

- za gusto naseljena područja kolektivne izgradnje koristiti  $t_1=5$  min;
- za područja individualne izgradnje koristiti  $t_1=10$  min.

Ove vrijednosti se koriste za povratni period  $p=1$  godina, a za druge povratne periode se može koristiti Tablica 1. [6]:

Tablica 1. Vrijednosti površinske koncentracije [6]

Povratno razdoblje $p$	Površinska koncentracija za gusto naseljenost	Površinska koncentracija za individualnu izgradnju
0,5	7	15
1	5	10
2	4	8
5	3	6

Vrijeme koncentracije  $t_c$  može se računati prema izrazu koji je dao Z.P.Kirpich [9]:

$$t_c = 0,00032L^{0,77}I_{max}^{-0,385} \text{ (sati)} \quad (12)$$

Gdje je :

$L$  - najveća duljina putovanja vode

$I_{max}$  – maksimalan pad (%)

Maksimalan pad  $I_{max}$  se računa kao (13) [10]:

$$I_{max} = \frac{H_{p.k.} - H_{k.k.}}{L_{dionice}} * 100 \quad (13)$$

Gdje je:

$H_{p.k.}$  – početna kota terena (m n.m.)

$H_{k.k.}$  – krajnja kota terena (m n.m.)

$L_{dionice}$  – duljina dionice (m)

Za vrijeme koncentracije  $t_c$  se također može uzeti:

$$t_c = \frac{L}{v} \quad (14)$$

Gdje je:

$L$  - duljina glavnog vodotoka (m)

$v$  - brzina vode u vodotoku (m/s)

Za proračun brzine u vodotoku za koji nema dovoljno podataka koristi se izraz koji je dao I.I.Herheulidze [9]:

$$v_p = (1,6 + 1,1 * \log(p)) * \sqrt[4]{I_{max}} \quad (15)$$

Gdje je:

$p$  - povratno razdoblje (god.)

$I_{max}$  - maksimalan pad

Povratnim razdobljem pojave se obično iskazuje učestalost hidroloških veličina. Povratno razdoblje  $P$  je recipročna vrijednost neke pojave i izražava se formulom (16):

$$P = \frac{100}{p} \text{ (godine)} \quad (16)$$

gdje je:

$p$  - vjerojatnost pojave (%)

Povratno razdoblje je prosječno vremensko razdoblje u kojem će se jedanput pojaviti neka pojava.

Koeficijent  $C$  je omjer maksimalne količine otekle vode i prosječne veličine pale vode u vremenskom intervalu  $t_c$  na dani sliv [9]. On nije konstantan u svim razdobljima u godini ni u razdoblju kiše. Veličina koeficijenta ovisi o karakteristikama sliva, klimatskim značajkama područja, infiltraciji, evapotranspiraciji, gubicima na raslinju, gubicima u depresijama, itd. Koeficijent otjecanja je veći što je trajanje kiše veće. Za kiše s vremenom ponavljanja  $P < 5$  mogu se koristiti veličine koeficijenta  $C$  prikazane u Tablicama 2 i 3 [6]:

Tablica 2. Koeficijent otjecanja prema opisu područja odvodnje [6]

Karakteristike područja	C
Područja ureda, trgovina i sl.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• stari dio grada</li> <li>• predgrađe</li> </ul>	0,7-0,95 0,5-0,7
Područja stanovanja: <ul style="list-style-type: none"> <li>• rijetka izgradnja obiteljskih kuća</li> <li>• gusta izgradnja obiteljskih kuća</li> <li>• gusta stambena izgradnja</li> </ul>	0,3-0,5 0,4-0,6 0,6-0,8
Industrijska područja: <ul style="list-style-type: none"> <li>• područja rjeđe izgradnje</li> <li>• područja guste izgradnje</li> </ul>	0,3-0,7 0,6-0,9
Parkovi, groblja i slično	0,10-0,25
Igrališta i slično	0,20-0,35
Željeznički kolodvori	0,20-0,40
Neizgrađene površine	0,10-0,30

Tablica 3. Koeficijent otjecanja prema vrsti površine[6]

Karakteristike površine	C
<p>Ulice:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• asfalt</li> <li>• beton</li> <li>• cigla</li> <li>• tucanik</li> </ul>	<p>0,70-0,95</p> <p>0,80-0,95</p> <p>0,70-0,85</p> <p>0,25-0,45</p>
<p>Šetnice, pločnici i slično:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• betonske ili asfaltne</li> <li>• pločnik sa spojnicama</li> <li>• mozaik od kamenih ploča i sl.</li> </ul>	<p>0,75-0,85</p> <p>0,70-0,80</p> <p>0,40-0,55</p>
<p>Krovovi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• veliki ravni krovovi, preko 10 000 m<sup>2</sup></li> <li>• mali ravni krovovi, manje od 100 m<sup>2</sup></li> </ul>	<p>0,8-1,0</p> <p>0,5</p> <p>1,0</p>
<p>Tratine, prirodne površine-pjeskoviti teren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ravan, 2%</li> <li>• srednji nagib, 2-7%</li> <li>• strm, 7% i više</li> </ul> <p>Tratina, prirodne površine-teško, manje propusno tlo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ravno, 2%</li> <li>• srednji nagib, 2-7%</li> <li>• strmo, 7% i više</li> </ul>	<p>0,05-0,10</p> <p>0,10-0,15</p> <p>0,15-0,20</p> <p>0,13-0,17</p> <p>0,18-0,22</p> <p>0,25-0,35</p>

Prema Žugaju za racionalni koeficijent *C* mogu se uzeti prosječne vrijednosti na osnovi topografskih uvjeta i vegetacije različitih vrsta tla na slivu (Tablica 4.) [9].

Tablica 4. Vrijednosti racionalnog koeficijenta C [9]

Karakteristike pokrova	Povratno razdoblje (godine)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Izgrađena područja</b>							
Asfalt	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Beton/krov	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
<b>Zelene površine (grobља, parkovi, itd.)</b>							
0 – 2 %	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
2 – 7 %	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Više od 7 %	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<b>Trava pokriva od 50 – 70 % površine</b>							
0 – 2 %	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
2 – 7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Više od 7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Trava pokriva više od 75 % površine</b>							
0 – 2 %	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.48
2 – 7 %	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Više od 7 %	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
<b>Neizgrađena područja</b>							
0 – 2 %	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
2 – 7 %	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Više od 7 %	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
<b>Livade</b>							
0 – 2 %	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
2 – 7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Više od 7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Šume</b>							
0 – 2 %	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
2 – 7 %	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Više od 7 %	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Kada se na slivnom području pojavljuju različite vrste površina proračunava se srednji koeficijent  $C_{sr}$  na način (17):

$$C_{sr} = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2 + \dots + C_n * A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (17)$$

gdje su:

$C_1, C_2, \dots, C_n$  - koeficijenti otjecanja različitih tipova ili vrsta površina

$A_1, A_2, \dots, A_n$  - pripadajuće površine

### 3.2 Dimenzioniranje oborinskog kanalizacijskog kolektora

Dimenzioniranje oborinskog kanalizacijskog kolektora radiće se za gravitacijski sustav sa zatvorenim cijevima u kojima se odvija tečenje sa slobodnim vodnim licem. Protok će se dobiti racionalnom metodom, a nagib terena  $I_{ter}$  formulom (18)[10]:

$$I_{ter} = \frac{H_{p.k.} - H_{k.k.}}{L_{dionice}} * 1000 \quad (18)$$

Gdje je:

$I_{ter}$  – pad terena (‰)

$H_{p.k.}$  – početna kota terena (m n.m.)

$H_{k.k.}$  – krajnja kota terena (m n.m.)

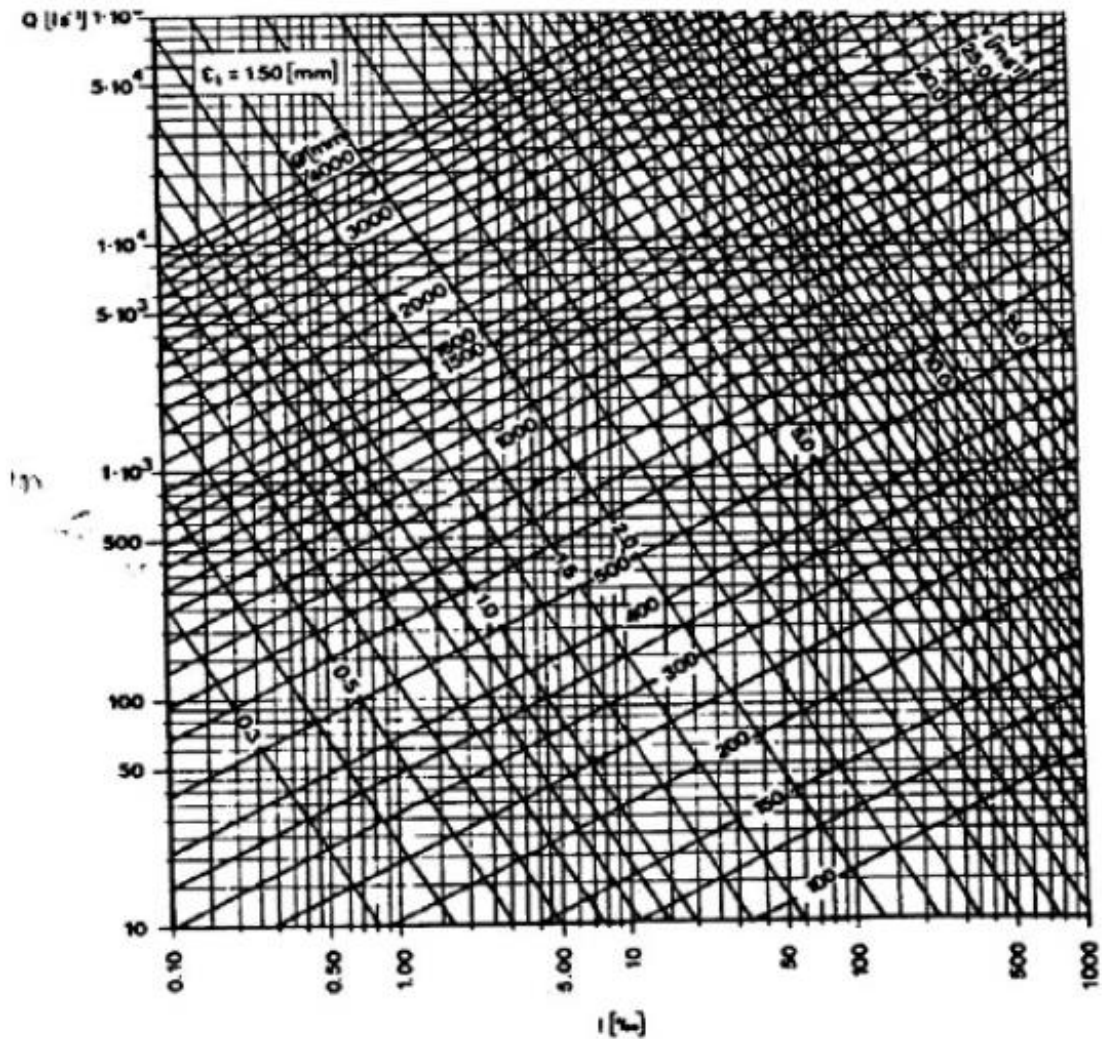
$L_{dionice}$  – duljina dionice (m)

Pretpostavlja se da je pad kolektora  $I_{kol}$  jednak padu terena (19):

$$I_{kol} = I_{ter} \quad (19)$$

Profil kolektora  $\phi_{kol}$  se određuje iz nomograma (Slika 9)[10].





Slika 9. Nomogram hidrauličkih parametara za potpuno ispunjene kanalizijske cijevi okruglog oblika profila [10]

Ograničenje minimalnih profila za oborinski kanalizijski sustav je 300 mm, odnosno 400 mm [11].

Provjera pada kolektora će se raditi prema izrazu (20) [10]:

$$I_{min} < I_{kol} < I_{max} \quad (20)$$

Gdje je:

$$I_{min} = \frac{1}{\Phi(mm)} * 1000 \quad (21)$$

$$I_{max} = \frac{1}{\Phi(cm)} * 1000 \quad (22)$$

U slučaju da pad ne zadovoljava prethodnu provjeru uzet će se minimalni ili maksimalni pad pa će se sa tim novim padom i protokom odabirati novi profil cijevi iz nomograma (Slika 9) [10].

Protok punog profila  $Q_{ppr}$  i brzina punog profila  $v_{ppr}$  određuju se iz Tablice 5. i Tablice 6. [10].

Tablica 5. Protoci i brzine kod punih profila kružnih kanalizacionih cijevi do profila 70cm[10]

Nagib kolektora u ‰	cm													
	20		25		30		40		50		60		70	
	$Q_{ppr}$	$v_{ppr}$	$Q_{ppr}$	$v_{ppr}$	$Q_{ppr}$	$v_{ppr}$	$Q_{ppr}$	$v_{ppr}$	$Q_{ppr}$	$v_{ppr}$	$Q_{ppr}$	$v_{ppr}$	$Q_{ppr}$	$v_{ppr}$
0,2									59,6	0,30	97	0,34	148	0,38
0,25							37,2	0,30	67,2	0,34	109	0,39	163	0,42
0,3					19,1	0,27	40,9	0,33	74	0,38	120	0,42	180	0,47
0,4			13,6	0,28	22,2	0,31	47,6	0,38	86	0,44	139	0,49	209	0,54
0,5			15,3	0,31	24,9	0,35	53,5	0,43	96,5	0,49	156	0,55	234	0,61
0,6	9,5	0,3	16,9	0,34	27,4	0,39	58,8	0,47	106	0,54	172	0,61	258	0,67
0,8	10,8	0,35	19,6	0,40	31,9	0,45	68,3	0,54	123	0,63	199	0,70	299	0,78
1	12,2	0,39	21,1	0,43	35,8	0,51	76,6	0,61	138	0,70	223	0,79	335	0,87
1,25	13,7	0,44	24,8	0,51	40,2	0,57	85,9	0,68	155	0,79	250	0,88	375	0,97
1,5	15,1	0,48	27,2	0,55	44,1	0,62	94,4	0,75	170	0,87	275	0,97	412	1,07
2	17,5	0,56	31,8	0,64	51,2	0,72	109	0,87	197	1,00	318	1,13	477	1,24
2,5	19,6	0,62	35,4	0,72	57,4	0,81	123	0,98	221	1,13	356	1,26	534	1,39
3	21,5	0,69	38,9	0,79	63	0,89	135	1,07	242	1,23	391	1,38	586	1,52
4	25	0,8	45,1	0,92	73	1,03	156	1,24	280	1,43	453	1,60	678	1,76
5	28	0,89	50,6	1,03	81,8	1,16	175	1,39	314	1,60	507	1,79	759	1,97
6	30,8	0,98	55,5	1,13	89,8	1,27	192	1,53	344	1,75	556	1,97	833	2,17
7	33,3	1,06	60	1,22	97,1	1,37	207	1,65	372	1,90	601	2,13	900	2,34
8	35,6	1,13	64,2	1,31	104	1,47	222	1,77	398	2,03	643	2,28	963	2,50
10	39,9	1,27	72	1,47	118	1,67	248	1,97	446	2,27	720	2,55	1078	2,80
12	43,8	1,39	78,9	1,61	128	1,81	274	2,18	489	2,49	789	2,79	1181	3,07
14	47,3	1,51	85,3	1,74	138	1,95	294	2,34	529	2,70	853	3,02	1277	3,32
16	50,7	1,61	91,3	1,86	148	2,09	315	2,51	565	2,88	912	3,23	1366	3,55
18	53,8	1,71	96,9	1,98	157	2,22	334	2,66	600	3,06	968	3,43	1449	3,77
20	56,7	1,81	102	2,08	165	2,34	352	2,80	633	3,23	1020	3,61	1528	3,97
22	59,5	1,9	107	2,18	173	2,45	370	2,95	664	3,38	1071	3,79	1603	4,17
24	62,2	1,98	112	2,28	181	2,56	386	3,07	694	3,54	1119	3,96	1675	4,35
26	64,8	2,06	117	2,38	189	2,68	402	3,20	722	3,68	1164	4,12	1744	4,53
28	67,3	2,14	121	2,47	196	2,77	417	3,32	750	3,82	1209	4,28	1810	4,71
30	69,7	2,22	125	2,55	203	2,87	432	3,44	776	3,95	1251	4,43	1874	4,87
32	72	2,29	130	2,65	210	2,97	448	3,57	802	4,09	1293	4,58	1935	5,03
34	74,2	2,38	134	2,73	216	3,06	460	3,66	826	4,21	1333	4,72		
36	76,4	2,43	138	2,81	222	3,14	474	3,77	851	4,34	1371	4,85		
38	78,5	2,5	141	2,87	228	3,23	487	3,88	874	4,45	1409	4,99		
40	80,8	2,58	145	2,96	234	3,31	499	3,97	897	4,57	1445	5,11		
42	82,6	2,63	149	3,04	240	3,40	512	4,08	919	4,68				
44	84,5	2,69	152	3,10	246	3,48	524	4,17	941	4,79				
46	86,4	2,75	158	3,22	252	3,57	536	4,27	962	4,90				
48	88,3	2,81	159	3,24	257	3,64	547	4,36	983	5,01				
50	90,2	2,87	162	3,30	262	3,71	559	4,45						

Tablica 6. Protoci i brzine kod punih profila kružnih kanalizacionih cijevi od profila 70cm [10]

cm													
70		80		90		100		110		120		130	
V/s m/s													
Q <sub>ppr.</sub>	V <sub>ppr.</sub>	Q <sub>ppr.</sub>	V <sub>ppr.</sub>	Q <sub>ppr.</sub>	V <sub>ppr.</sub>	Q <sub>ppr.</sub>	V <sub>ppr.</sub>	Q <sub>ppr.</sub>	V <sub>ppr.</sub>	Q <sub>ppr.</sub>	V <sub>ppr.</sub>	Q <sub>ppr.</sub>	V <sub>ppr.</sub>
148	0,38	207	0,41	283	0,45	373	0,48	480	0,51	603	0,53	745	0,56
163	0,42	233	0,46	317	0,50	419	0,53	539	0,57	677	0,60	835	0,63
180	0,47	256	0,51	349	0,55	461	0,59	592	0,62	744	0,66	913	0,69
209	0,54	297	0,59	406	0,64	534	0,68	688	0,72	862	0,76	1064	0,80
234	0,61	333	0,66	454	0,71	599	0,76	769	0,81	967	0,86	1192	0,90
258	0,67	366	0,73	499	0,78	658	0,84	845	0,89	1061	0,94	1309	0,99
299	0,78	424	0,84	578	0,91	762	0,97	975	1,03	1229	1,09	1518	1,14
335	0,87	476	0,95	646	1,02	854	1,09	1096	1,15	1377	1,22	1698	1,28
375	0,97	533	1,06	726	1,14	957	1,22	1228	1,29	1543	1,37	1902	1,43
412	1,07	585	1,16	797	1,25	1050	1,34	1348	1,42	1692	1,50	2087	1,57
477	1,24	677	1,35	922	1,45	1215	1,55	1559	1,64	1958	1,73	2414	1,82
534	1,39	758	1,51	1033	1,62	1361	1,73	1746	1,84	2192	1,94	2703	2,04
586	1,52	832	1,66	1133	1,78	1492	1,90	1915	2,02	2404	2,13	2964	2,23
678	1,76	962	1,91	1310	2,06	1726	2,20	2215	2,33	2780	2,46	3427	2,58
759	1,97	1077	2,14	1467	2,31	1932	2,46	2479	2,61	3112	2,75	3835	2,89
833	2,17	1181	2,35	1608	2,53	2118	2,70	2718	2,86	3411	3,02	4204	3,17
900	2,34	1277	2,54	1738	2,73	2289	2,92	2937	3,09	3687	3,26	4544	3,43
963	2,50	1366	2,72	1859	2,92	2449	3,12	3142	3,31	3943	3,49	4860	3,66
1078	2,80	1529	3,04	2080	3,27	2740	3,49	3515	3,70	4412	3,90	5433	4,10
1181	3,07	1678	3,34	2280	3,59	3004	3,83	3853	4,06	4836	4,28	5960	4,49
1277	3,32	1811	3,60	2464	3,88	3246	4,14	4184	4,40	5226	4,62	6440	4,85
1366	3,55	1937	3,86	2636	4,15	3471	4,42	4453	4,69	5588	4,94	6887	5,19
1449	3,77	2055	4,09	2797	4,40	3683	4,69	4724	4,97	5929	5,25		
1528	3,97	2167	4,31	2949	4,64	3883	4,95	4981	5,24				
1603	4,17	2273	4,52	3093	4,86	4074	5,19						
1675	4,35	2375	4,73	3232	5,08								
1744	4,53	2473	4,92	3364	5,29								
1810	4,71	2566	5,11										
1874	4,87												
1935	5,03												

Nadalje će se odrediti omjer ukupnog protoka i protoka punog profila  $Q_{uk}/Q_{ppr}$  kako bi se iz Tablice 7 očitali omjeri djelomičnog i punog profila  $h/D$  i omjer djelomične i brzine punog kolektora  $v_d/v_{ppr}$ .

Tablica 7. Hidraulički parametri kanalizacijskih cijevi kružnog oblika profila pri djelomičnom ispunjenju [10]

$\frac{Q_c}{Q_c}$	$\frac{A}{D}$	$\frac{v_c}{v_c}$	$\frac{A}{D^3}$	$\frac{b}{D}$	$\frac{R}{D}$	$\frac{O}{D}$
0.001	0.023	0.17	0.00462	0.2998	0.0152	0.3045
0.002	0.032	0.21	0.00756	0.3520	0.0210	0.3597
0.003	0.038	0.24	0.00976	0.3824	0.0249	0.3924
0.004	0.044	0.26	0.01214	0.4102	0.0287	0.4227
0.005	0.049	0.28	0.01425	0.4317	0.0319	0.4464
0.006	0.053	0.29	0.01601	0.4481	0.0345	0.4646
0.007	0.057	0.30	0.01783	0.4637	0.0370	0.4822
0.008	0.061	0.32	0.01972	0.4787	0.0395	0.4991
0.009	0.065	0.33	0.02166	0.4931	0.0420	0.5156
0.010	0.068	0.34	0.02315	0.5035	0.0439	0.5276
0.011	0.071	0.35	0.02468	0.5136	0.0458	0.5394
0.012	0.074	0.36	0.02624	0.5235	0.0476	0.5510
0.013	0.077	0.36	0.02782	0.5332	0.0495	0.5624
0.014	0.080	0.37	0.02944	0.5426	0.0513	0.5735
0.015	0.083	0.38	0.03108	0.5518	0.0532	0.5845
0.016	0.086	0.39	0.03275	0.5607	0.0550	0.5953
0.017	0.088	0.39	0.03387	0.5666	0.0562	0.6024
0.018	0.091	0.40	0.03559	0.5752	0.0581	0.6129
0.019	0.093	0.41	0.03674	0.5809	0.0593	0.6198
0.020	0.095	0.41	0.03791	0.5864	0.0605	0.6266
0.022	0.100	0.42	0.04088	0.6000	0.0635	0.6435
0.024	0.104	0.43	0.04330	0.6105	0.0659	0.6576
0.026	0.108	0.45	0.04576	0.6208	0.0683	0.6697
0.028	0.112	0.45	0.04826	0.6307	0.0707	0.6825
0.030	0.116	0.46	0.05080	0.6404	0.0731	0.6951
0.032	0.120	0.47	0.05339	0.6499	0.0755	0.7075
0.034	0.123	0.48	0.05535	0.6569	0.0772	0.7167
0.036	0.127	0.49	0.05799	0.6659	0.0796	0.7288
0.038	0.130	0.50	0.06000	0.6726	0.0813	0.7377
0.040	0.134	0.50	0.06271	0.6813	0.0837	0.7495
0.043	0.141	0.52	0.06733	0.6960	0.0877	0.7699
0.050	0.149	0.54	0.07316	0.7122	0.0923	0.7926
0.055	0.156	0.55	0.07819	0.7257	0.0963	0.8121
0.060	0.163	0.57	0.08332	0.7387	0.1002	0.8312
0.065	0.170	0.58	0.08854	0.7513	0.1042	0.8500
0.070	0.176	0.59	0.09307	0.7616	0.1075	0.8658
0.075	0.182	0.60	0.09767	0.7717	0.1108	0.8815
0.080	0.188	0.61	0.10233	0.7814	0.1141	0.8969
0.085	0.194	0.62	0.10705	0.7909	0.1174	0.9122
0.090	0.200	0.63	0.11182	0.8000	0.1206	0.9273
0.095	0.205	0.64	0.11584	0.8074	0.1233	0.9397
0.100	0.211	0.65	0.12071	0.8160	0.1263	0.9545
0.105	0.216	0.66	0.12481	0.8230	0.1291	0.9667
0.110	0.221	0.67	0.12894	0.8298	0.1317	0.9788
0.115	0.226	0.68	0.13311	0.8365	0.1343	0.9908
0.120	0.231	0.69	0.13731	0.8429	0.1369	1.0027
0.125	0.236	0.69	0.14154	0.8492	0.1395	1.0146
0.130	0.241	0.70	0.14580	0.8554	0.1421	1.0263
0.135	0.245	0.71	0.14923	0.8602	0.1441	1.0356
0.140	0.250	0.72	0.15355	0.8660	0.1466	1.0472
0.145	0.255	0.72	0.15789	0.8717	0.1491	1.0587
0.150	0.259	0.73	0.16139	0.8762	0.1511	1.0679
0.155	0.263	0.74	0.16499	0.8805	0.1531	1.0770
0.160	0.268	0.74	0.16932	0.8858	0.1556	1.0883
0.165	0.272	0.75	0.17287	0.8900	0.1575	1.0973
0.170	0.276	0.76	0.17644	0.8940	0.1595	1.1063
0.175	0.281	0.76	0.18092	0.8990	0.1619	1.1174
0.180	0.285	0.77	0.18452	0.9028	0.1638	1.1263
0.190	0.293	0.78	0.19177	0.9103	0.1676	1.1440
0.200	0.301	0.79	0.19909	0.9174	0.1714	1.1615
0.210	0.309	0.80	0.20645	0.9242	0.1751	1.1798
0.220	0.316	0.81	0.21294	0.9298	0.1784	1.1939
0.230	0.324	0.82	0.22040	0.9360	0.1820	1.2111
0.240	0.331	0.83	0.22697	0.9411	0.1851	1.2260
0.250	0.339	0.84	0.23453	0.9467	0.1887	1.2430
0.260	0.346	0.85	0.24117	0.9514	0.1918	1.2577
0.270	0.353	0.86	0.24785	0.9558	0.1948	1.2724
0.280	0.360	0.86	0.25455	0.9600	0.1978	1.2870
0.290	0.367	0.87	0.26128	0.9640	0.2007	1.3016
0.300	0.374	0.88	0.26805	0.9677	0.2037	1.3160
0.310	0.381	0.89	0.27483	0.9713	0.2066	1.3305
0.320	0.387	0.89	0.28067	0.9741	0.2090	1.3428
0.330	0.397	0.90	0.28750	0.9773	0.2118	1.3572
0.340	0.403	0.91	0.29435	0.9802	0.2146	1.3715
0.350	0.407	0.92	0.30024	0.9825	0.2170	1.3837
0.360	0.414	0.92	0.30713	0.9851	0.2197	1.3979
0.370	0.420	0.93	0.31304	0.9871	0.2220	1.4101
0.380	0.426	0.93	0.31897	0.9890	0.2243	1.4223
0.390	0.433	0.94	0.32599	0.9910	0.2269	1.4364
0.400	0.439	0.95	0.33185	0.9925	0.2291	1.4485

$\frac{Q_1}{Q_2}$	$\frac{h}{D}$	$\frac{v_1}{v_2}$	$\frac{A}{D^2}$	$\frac{b}{D}$	$\frac{R}{D}$	$\frac{Q}{D}$
0.410	0.445	0.95	0.33781	0.9939	0.2313	1.4606
0.420	0.451	0.96	0.34378	0.9952	0.2334	1.4726
0.430	0.458	0.96	0.35075	0.9965	0.2359	1.4867
0.440	0.464	0.97	0.35673	0.9974	0.2380	1.4987
0.450	0.470	0.97	0.36272	0.9982	0.2401	1.5108
0.460	0.476	0.98	0.36871	0.9988	0.2420	1.5228
0.470	0.482	0.99	0.37470	0.9994	0.2441	1.5348
0.480	0.488	0.99	0.38070	0.9997	0.2461	1.5468
0.490	0.494	1.00	0.38670	0.9999	0.2481	1.5588
0.500	0.500	1.00	0.39270	1.0000	0.2500	1.5708
0.510	0.506	1.00	0.39870	0.9999	0.2519	1.5828
0.520	0.512	1.01	0.40470	0.9997	0.2538	1.5948
0.530	0.519	1.01	0.41169	0.9993	0.2559	1.6088
0.540	0.525	1.02	0.41769	0.9987	0.2577	1.6208
0.550	0.531	1.02	0.42368	0.9981	0.2595	1.6328
0.560	0.537	1.02	0.42967	0.9973	0.2612	1.6449
0.570	0.543	1.03	0.43565	0.9963	0.2629	1.6569
0.580	0.550	1.03	0.44262	0.9950	0.2649	1.6710
0.590	0.556	1.03	0.44858	0.9937	0.2665	1.6830
0.600	0.562	1.04	0.45454	0.9923	0.2681	1.6951
0.610	0.568	1.04	0.46049	0.9907	0.2697	1.7072
0.620	0.575	1.04	0.46642	0.9887	0.2715	1.7214
0.630	0.581	1.05	0.47234	0.9868	0.2731	1.7355
0.640	0.587	1.05	0.47926	0.9847	0.2745	1.7457
0.650	0.594	1.05	0.48614	0.9822	0.2762	1.7599
0.660	0.600	1.05	0.49203	0.9798	0.2776	1.7722
0.670	0.607	1.06	0.49888	0.9768	0.2793	1.7865
0.680	0.613	1.06	0.50473	0.9741	0.2806	1.7988
0.690	0.620	1.06	0.51154	0.9708	0.2821	1.8132
0.700	0.626	1.06	0.51735	0.9677	0.2834	1.8255
0.710	0.633	1.06	0.52411	0.9640	0.2848	1.8400
0.720	0.640	1.07	0.53085	0.9600	0.2862	1.8546
0.730	0.646	1.07	0.53660	0.9564	0.2874	1.8671
0.740	0.653	1.07	0.54328	0.9520	0.2887	1.8818
0.750	0.660	1.07	0.54992	0.9474	0.2900	1.8965
0.760	0.667	1.07	0.55654	0.9426	0.2912	1.9113
0.770	0.675	1.07	0.56406	0.9367	0.2925	1.9284
0.780	0.682	1.07	0.57060	0.9314	0.2936	1.9434
0.790	0.689	1.07	0.57710	0.9258	0.2947	1.9584
0.800	0.697	1.07	0.58448	0.9191	0.2958	1.9758
0.805	0.701	1.08	0.58815	0.9156	0.2964	1.9845
0.810	0.705	1.08	0.59180	0.9121	0.2969	1.9933
0.815	0.709	1.08	0.59544	0.9084	0.2974	2.0020
0.820	0.713	1.08	0.59907	0.9047	0.2979	2.0109
0.825	0.717	1.08	0.60268	0.9009	0.2984	2.0197
0.830	0.721	1.08	0.60628	0.8970	0.2989	2.0286
0.835	0.725	1.08	0.60986	0.8930	0.2993	2.0376
0.840	0.729	1.07	0.61342	0.8890	0.2997	2.0465
0.845	0.734	1.07	0.61785	0.8837	0.3002	2.0578
0.850	0.738	1.07	0.62138	0.8794	0.3006	2.0669
0.855	0.742	1.07	0.62489	0.8751	0.3010	2.0760
0.860	0.747	1.07	0.62925	0.8695	0.3014	2.0875
0.865	0.751	1.07	0.63272	0.8649	0.3018	2.0967
0.870	0.756	1.07	0.63703	0.8590	0.3022	2.1083
0.875	0.761	1.07	0.64131	0.8529	0.3025	2.1200
0.880	0.766	1.07	0.64556	0.8467	0.3028	2.1318
0.885	0.770	1.07	0.64893	0.8417	0.3031	2.1412
0.890	0.775	1.07	0.65313	0.8352	0.3033	2.1532
0.895	0.781	1.07	0.65811	0.8271	0.3036	2.1676
0.900	0.786	1.07	0.66223	0.8203	0.3038	2.1797
0.905	0.791	1.07	0.66631	0.8132	0.3040	2.1920
0.910	0.797	1.07	0.67117	0.8045	0.3041	2.2068
0.915	0.803	1.06	0.67597	0.7955	0.3042	2.2218
0.920	0.808	1.06	0.67993	0.7877	0.3043	2.2345
0.925	0.814	1.06	0.68462	0.7782	0.3043	2.2498
0.930	0.821	1.06	0.69003	0.7667	0.3043	2.2679
0.935	0.827	1.06	0.69460	0.7565	0.3042	2.2837
0.940	0.834	1.05	0.69985	0.7442	0.3040	2.3023
0.945	0.841	1.05	0.70502	0.7314	0.3037	2.3213
0.950	0.849	1.05	0.71081	0.7161	0.3033	2.3434
0.955	0.856	1.05	0.71577	0.7022	0.3029	0.3631
0.960	0.865	1.04	0.72201	0.6834	0.3022	0.3891
0.965	0.874	1.04	0.72807	0.6637	0.3014	0.4158
0.970	0.883	1.04	0.73395	0.6428	0.3004	2.4434
0.975	0.894	1.03	0.74088	0.6157	0.2989	2.4784
0.980	0.905	1.03	0.74749	0.5864	0.2972	2.5149
0.985	0.919	1.02	0.75542	0.5457	0.2946	2.5644
0.990	0.935	1.02	0.76374	0.4931	0.2908	2.6260
0.995	0.956	1.01	0.77326	0.4102	0.2844	2.7189
1.000	1.000	1.00	0.78540	0.0000	0.2500	3.1416

Proračun stvarne brzine vode u kolektoru  $v_{stv}$  (23) i stvarne visine u kolektoru  $h_{stv}$  (24) računa se [10]:

$$v_{stv} = \frac{v_{dj}}{v_{ppr}} * v_{ppr} \quad (23)$$

$$h_{stv} = \frac{h}{D} * \Phi_{kol} \quad (24)$$

Najmanja brzina za oborinsku kanalizaciju je 0,9 m/s zbog taloženja pijeska koji se nalazi u oborinskoj vodi [11]. Najveća brzina dozvoljena za plastične cijevi je 5 m/s Tablica 8 [11].

Tablica 8. Najveće dozvoljene brzine u kanalima [11]

Vrsta cijevi	Najveća brzina $v_{max}$ [m s <sup>-1</sup> ]
Betonske cijevi	3.0
Armiranobetonske cijevi	4.0
Azbestcementne cijevi	4.5
Plastične cijevi	5.0
Čelične cijevi	8.0

Preporučene vrijednosti visine punjenja okruglih kanala, Tablica 9 [11]:

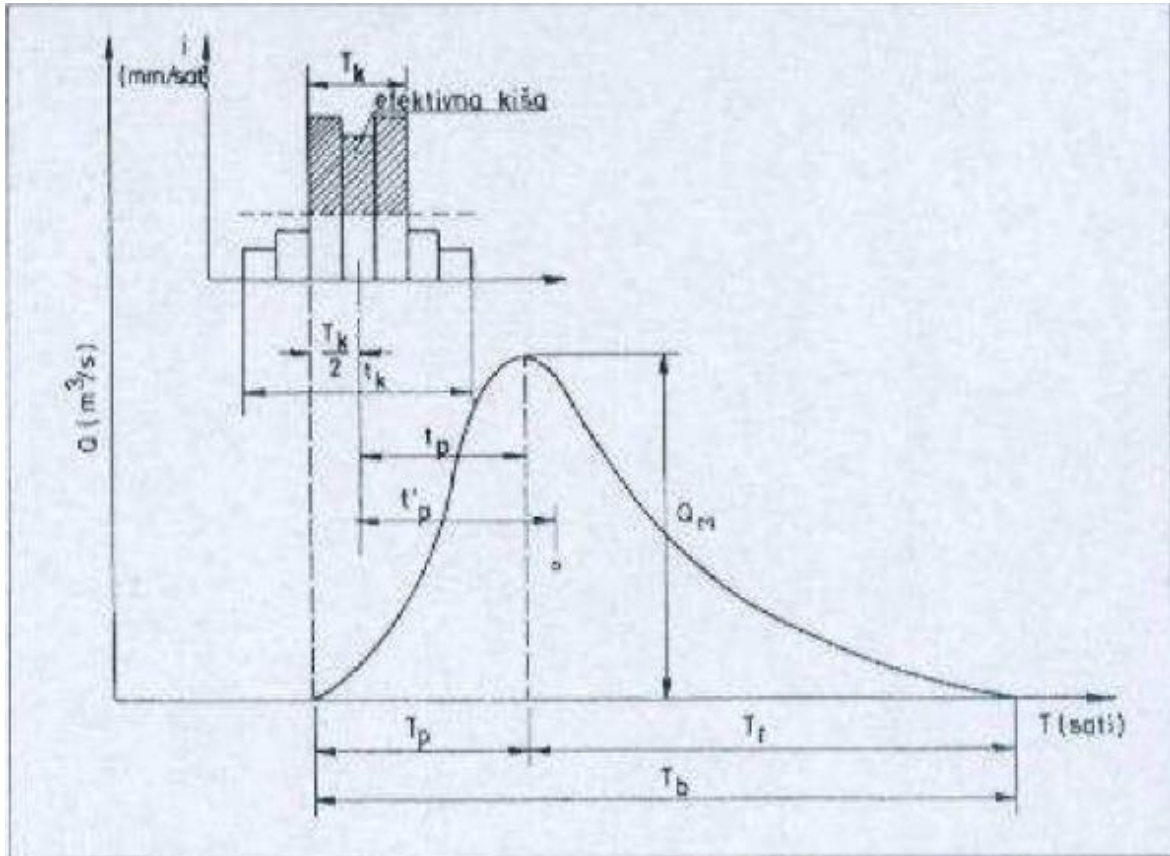
Tablica 9. Vrijednosti visine punjenja kanala [11]

Promjer kanala $D$ [mm]	Visina punjenja $h_p$ [mm]
250 do 300	0.60 $D$
350 do 450	0.70 $D$
500 do 900	0.75 $D$
> 900	0.80 $D$

Ako visina punjenja kanala ne zadovoljava ide se na veći  $\Phi_{kol}$  ili se mijenja pad tako da se postigne tečenje sa slobodnim vodnim licem.

### 3.3 Hidrogram velikog vodnog vala prema R. D. Goodrichu

Prema R. D. Goodrich u efektivni volumen  $V$  je raspoređen unutar standardnog oblika vodnog vala prikazan na Slici 10.



Slika 10. Hidrogram vodnog vala [9]

Vršni protok se za Goodrichev hidrogram dobiva na temelju vremena podizanja hidrograma  $T_p$  koje se dobiva izrazom (28), a dulje je od vremena koncentracije  $t_c$ . Elementi potrebni za konstrukciju hidrograma velikog vodnog vala prema R. D. Goodrichu su [9]:

- $Pe$  - efektivna oborina
- $V$  - volumen izravnog otjecanja
- $Q_M$  - maksimalni protok
- $T_p$  - vrijeme zakašnjenja

Mjerodavna oborina će se dobiti uz pomoć ITP krivulje. Efektivna oborina  $Pe$  će se prikazati uz pomoć racionalne metode kao umnožak mjerodavne oborine  $P$  i racionalnog koeficijenta  $C_{sr}$  (25):

$$P_e = P * C_{sr} \quad (25)$$

Volumen izravnog otjecanja  $V$  m<sup>3</sup> izražava se kao umnožak efektivne oborine  $P_e$  i slivne površine  $A$  (26):

$$V = P_e * A \quad (26)$$

Vrijeme zakašnjenja hidrograma  $tp$  se dobiva po formuli (27):

$$tp = 0,30288 * \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,64} \quad (27)$$

Vrijeme podizanja hidrograma  $Tp$  jednako je (28), gdje je  $tk$  trajanje kiše koje je jednako vremenu koncentracije  $tc$ .

$$Tp = 0,5 * tk + tp \quad (28)$$

Vrijeme opadanja hidrograma  $Tr$  jednako je (29):

$$Tr = 3Tp \quad (29)$$

Trajanje hidrograma  $Tb$  jednako je (30):

$$Tb = Tp + Tr \quad (30)$$

Hidrogram vodnog vala se konstruira na način da je  $y$  jednak (31):

$$y = 10^{-\frac{\lambda(1-x)^2}{x}} \quad (31)$$

$x$  je definiran odnosom (32):

$$x = \frac{t}{Tp} \quad (32)$$

$t$  je vrijeme koje se zadaje za crtanje hidrograma, a  $\lambda$  se dobiva kao (33)

$$\lambda = \frac{Q * Tp}{V} \quad (33)$$

Ordinata hidrograma u nekom vremenu  $t$  je (34):

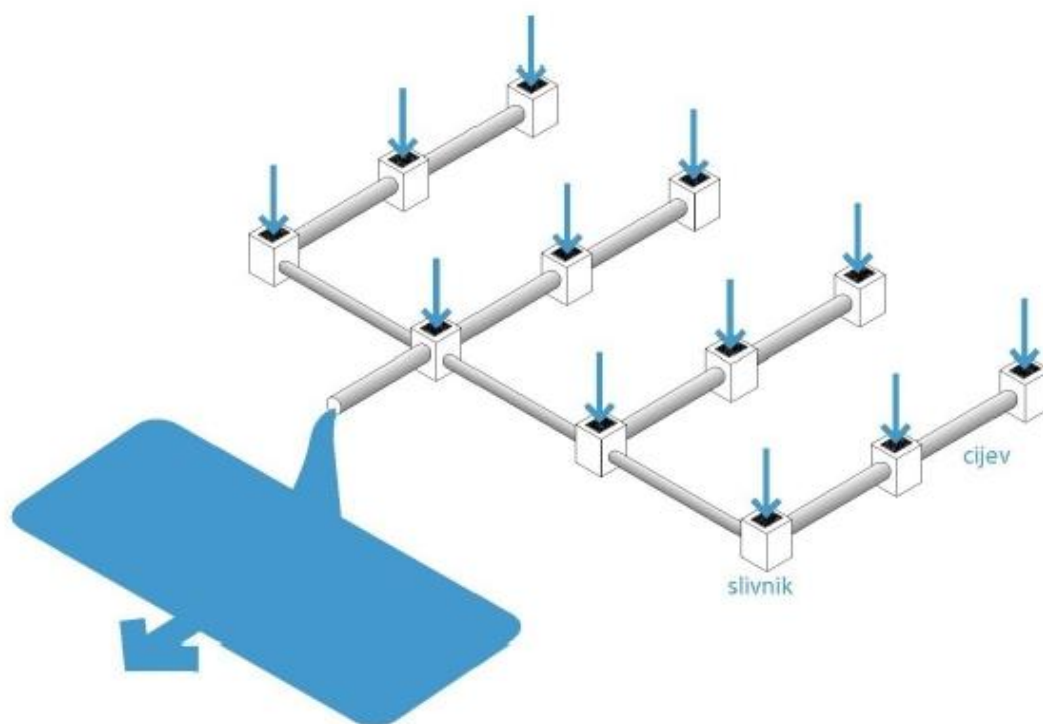
$$q(t) = y(t) * Q \quad (34)$$



4.

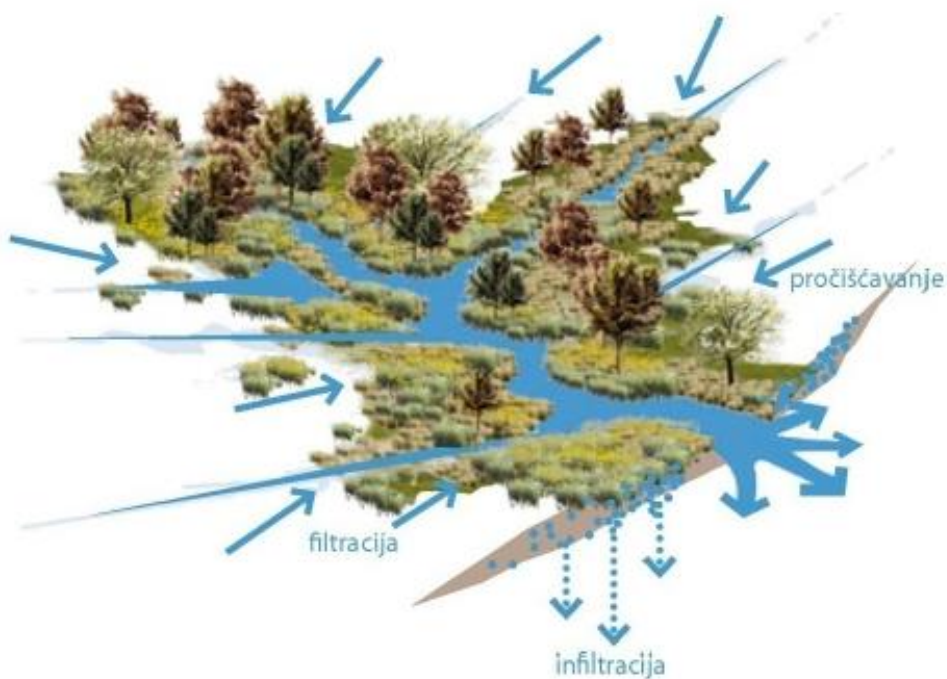
#### 4. INTEGRALNI PRISTUP ZBRINJAVANJA OBORINSKIH VODA

Tradicionalni pristup zbrinjavanja oborinskih voda za razliku od integralnog obuhvaća uže opredjeljenje rada koje je isključivo orijentirano na kanalizacijski sustav. Kada dođe do problema u sustavu oni se rješavaju kada postanu goreći i koristi se isključivo inženjerski pristup pri projektiranju. Glavne vodilje pri projektiranju su zaštita vlasništva, što brža i dalja odvodnja od parcela. Vođenje oborinskih voda je usmjereno isključivo u cijevi što vodi ka povećanom korištenju cijevi i nekorištenju površina za zadržavanje vode. Zagađenje se odvodi cijevima s jednog mjesta na drugo (Slika 11.)[12].



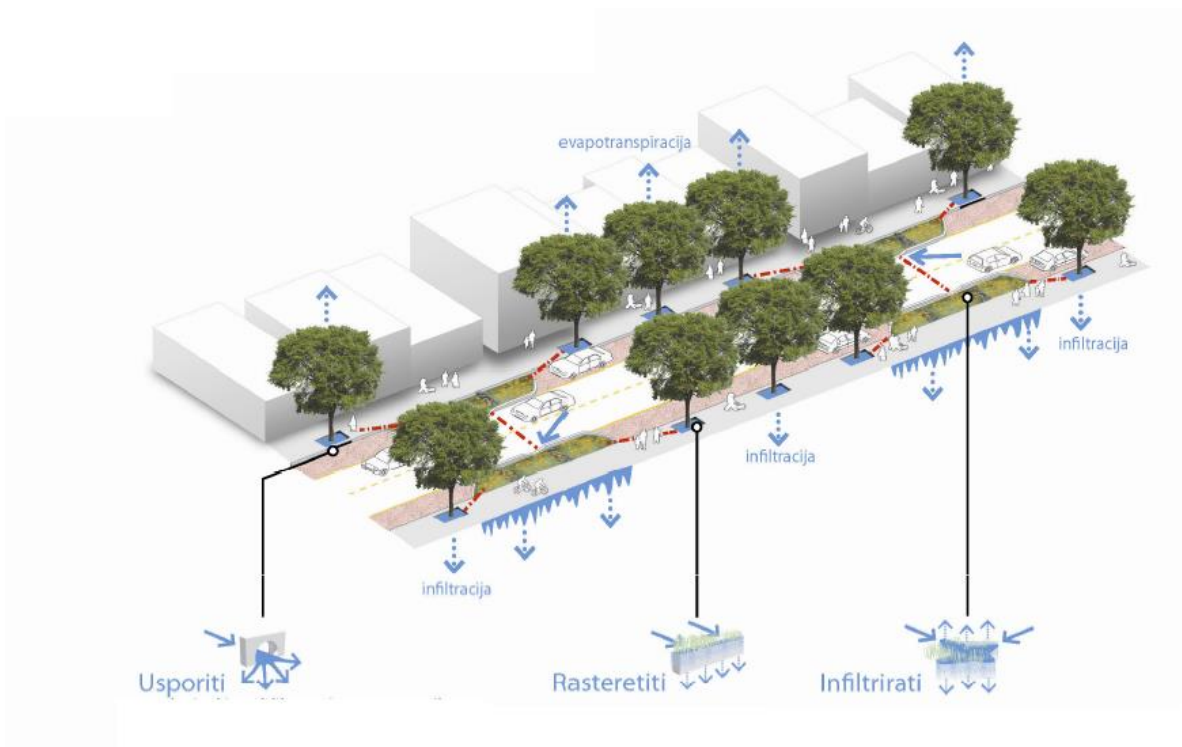
Slika 11. Tradicionalno upravljanje oborinske odvodnje [12]

Integralni pristup je drugačiji nego tradicionalni i pokušava se što više iskoristiti cijeli ekosustav. Ovim pristupom se prevenira moguća problematika u prostoru suradnjom stručnjaka različitih grana znanosti. Glavna vodilja je ne samo zaštita vlasništva već i prostornih resursa što se omogućuje usporavanjem otjecanja s površina. Cilj je oborinske i površinske vode integrirati u namjenu datog prostora čime bi se smanjilo korištenje cijevi i povećalo korištenje zelenih površina (Slika 12.)[12].



Slika 12. Integralno upravljanje oborinama [12]

Integralnim pristupom se smanjuje otjecanje oborinskih voda i povećava se infiltracija u podzemlje. Usporavanje otjecanja se postiže građevinskim oblikovanjem prometnih površina (ivičnjacima s integriranim odvodnim kanalom i poprečnim nagibima) koji usmjeravaju vodu na kišne vrtove. Rasterećenje sustava odvodnje se postiže djelomičnim zadržavanjem vode na slivu putem zelenih površina i drenaža, a infiltracijom u tlo se postiže obnova podzemnih voda (Slika 13.)[12].



Slika 13. Mogućnosti tradicionalnog pristupa [12]

Dodatni pozitivni učinci korištenja zelenih površina u kontekstu oborinske odvodnje su višestruki [13]:

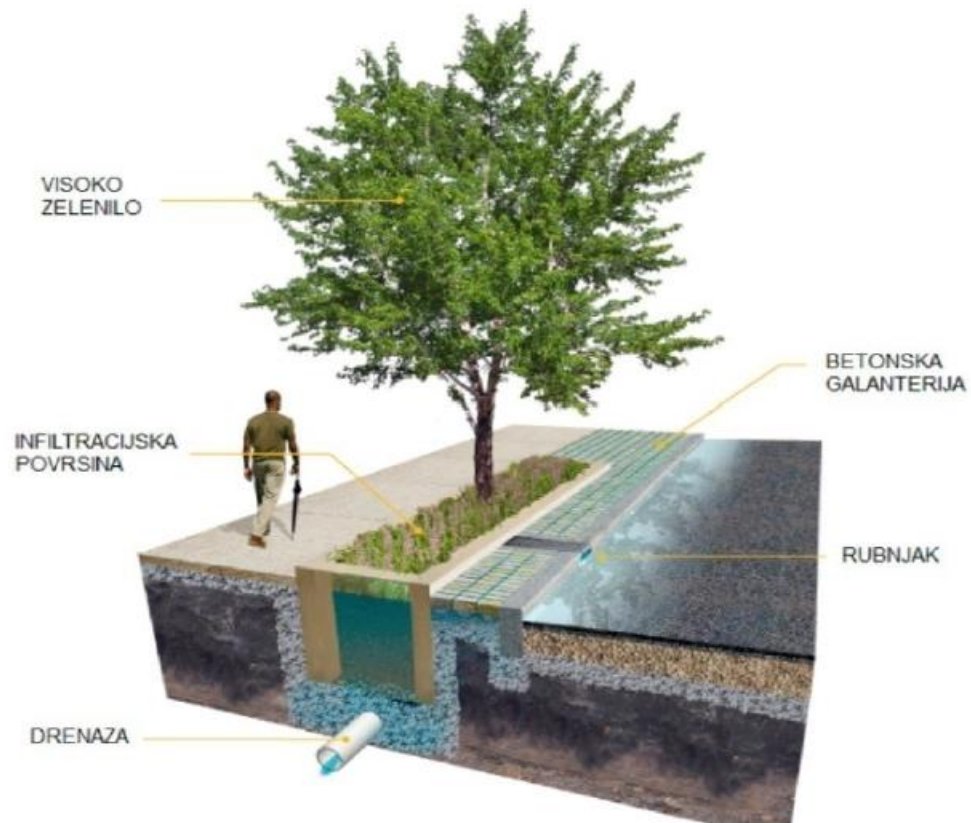
- Obogaćenje ekološkog sustava u gradskoj sredini,
- Pобољшanje percepcijskih vrijednosti,
- Pобољшanje zdravlja stanovništva,
- Unapređenje socijalne uloge otvorenih prostora,
- Zaštita recipijenata i pročišćavanje.

Zelene površine u integralnom pristupu su neizostavni dio sustava odvodnje. Dvije važne uloge zelenih površina su:

- Povećanjem infiltracije u podzemlje smanjuje se otjecanje oborinskih voda na mjestu nastajanja,
- Retencioniranjem se usporava otjecanje oborinskih voda u recipijente.

Problematika uvjetovana vremenskim prilikama se može izbjeći pravilnim odabirom biljaka, ukrasnih trava i grmlja. Odabire se bilje koje dobro podnosi duge periode suše i vlage.

Postoje višestruke mogućnosti za upravljanje i zbrinjavanje oborinskih voda u otvorenim gradskim prostorima [13]. Pa se tako u pojasu prometnice i oko nje mogu raditi bioretencije, drenažni kanali, rovovi, propusni kolnički zastori, parkirne površine s visokom propusnom moći, slivnici s drenažnim sustavom i sl. (Slika 14.,15.)[13].



Slika 14. Primjer ulične odvodnje [12]



Slika 15. Mogućnosti odvodnje ulica i parkinga [12]

Rješenja odvodnje unutar parkova i na otvorenim prostorima mogu uključivati bioretencije, infiltracijske ili filtracijske sustave ispod piknik zona, parkirališta i igrališta, integraciju vodenih površina unutar parkova i u pojasu pored šuma.

Bioretencije ili kišni vrtovi su plitko iskopane površine koje su ozelenjene. Trebaju sadržavati komponente za filtraciju onečišćivača s prometnica, odabrane vrste vegetacije s filterskim svojstvima koje mogu izdržati dugotrajnu sušu i vlagu (Slika 16.) [12]. Kišni vrtovi služe za retencioniranje, usporavanje i pročišćavanje oborinskih voda. Izbor biljaka, filterskih slojeva, vrijeme zadržavanja, način ispuštanja i dimenzioniranje drenaže se određuju za svaki slučaj posebno (Slika 17.). Obično se koriste na relativno malim slivovima i u gusto urbaniziranim dijelovima naselja gdje su koeficijenti otjecanja veći od 0,5 [13]. Ne smiju se koristiti na vodocrpilištima i u vodozaštitnim zonama. Poželjno je da se dimenzioniraju iznad razine podzemne vode. Svaki od sustava se sastoji od pet glavnih dijelova: predtretmana, tretmana, prijenosa i zadržavanja vode kroz slojeve i na površini te smanjenja održavanja i krajobraznog uređenja [13].



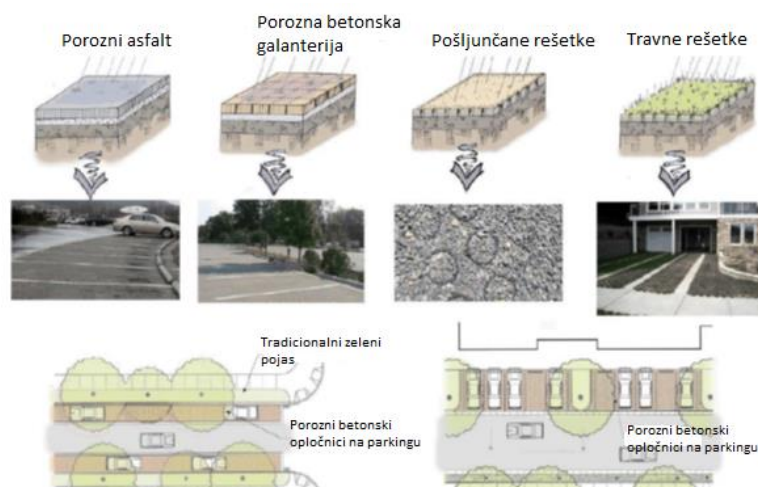
Slika 16. Bioretencija [12]



Slika 17. Kišni vrt gradske zone [12]

U ovom slučaju drenažni rovovi su infiltracijski rovovi, drenažni blokovi, galerije i slično. Grade se ispod površine pa zauzimaju malo prostora. Izvode se u stambenim dvorištima, na parkiralištima, šetalištima, pješačkim trgovima, u parkovima i na sportskim terenima.

Propusni pločnik je varijacija opločenja završne podne konstrukcije u odnosu na tradicionalni kolnik koji koristi uglavnom nepropusne materijale. Površina propusnog kolnika može biti od propusnog betona, propusnog asfalta, propusne betonske galanterije i slično (Slika 18.) [14].



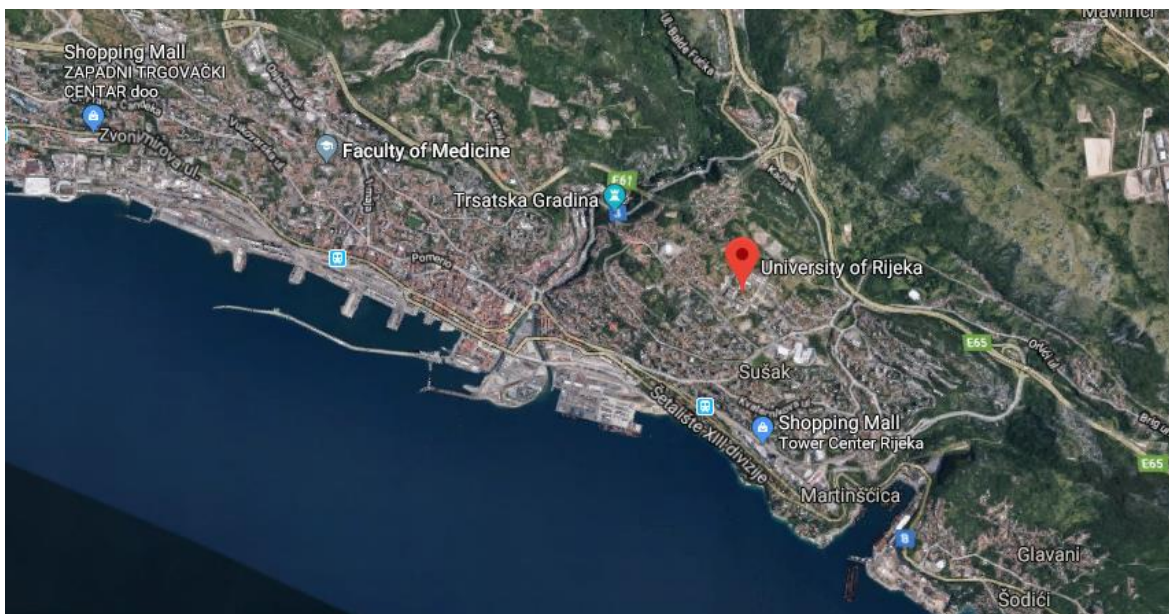
Slika 18. Varijante propusnih pločnika [14]

## 5. PRIMJER KAMPUS SVEUČILIŠTA U RIJECI

U ovom diplomskom radu, prikazan je proračun odvodnje oborinskih voda na području kampusa Sveučilišta u Rijeci primjenom racionalne metode. Struktura mreže oborinske odvodnje promatrati će se kao mreža koja se sastoji od zatvorenih kanala, bioretencija, drenažnih kanala i slivnika s drenažnim sustavom. Dionice će predstavljati zatvorene kanale ispod prometnica koje povezuju čvorovi. U kanalima se određuje maksimalni protok kako bi se dimenzionirale bioretencije koje služe za sakupljanje oborinske vode te upuštanje iste u tlo.

### 5.1 Geografske i reljefne značajke područja

Sveučilišni kampus u Rijeci nalazi se u Primorsko-goranskoj županiji te je smješten u gradu Rijeci na području Trsata (Slika 19). Grad Rijeka se nalazi na zapadnom dijelu Hrvatske i sjevernoj obali Riječkog zaljeva. Nalazi se na oko 45 stupnjeva sjeverne geografske širine i 14 stupnjeva istočne geografske dužine. Srednja nadmorska visina obuhvata kampusa je na oko 140 m n.m. Obuhvat kampusa je veličine od oko 40ha.



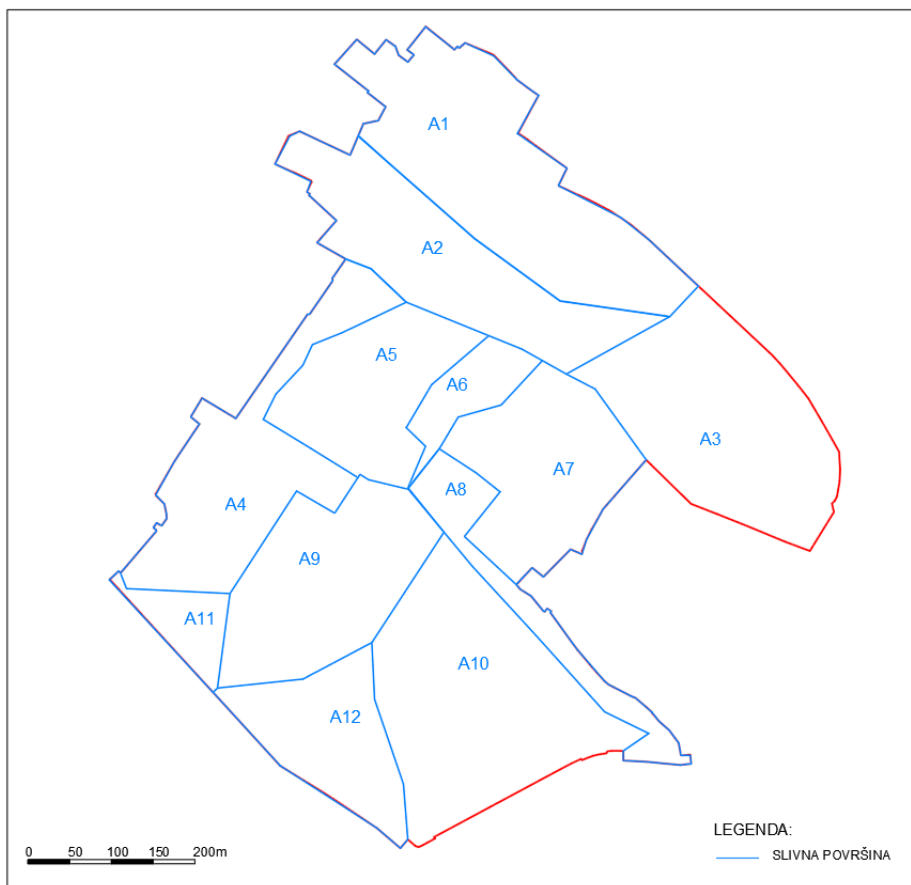
Slika 19. Položaj kampusa [15]

## 5.2 Klimatske i meteorološke značajke

Grad Rijeka ima umjereno toplu vlažnu klimu. Najtopliji mjesec je srpanj i prosječna temperatura u tom mjesecu iznosi 23,3°C, u siječnju prosječna temperatura iznosi 5,6 °C. Na godišnju raspodjelu padalina i količinu utječu ciklone nastale u genovskom zaljevu. Zimi rijetko pada snijeg, ali puše bura koja nosi hladno i sunčano vrijeme.

## 5.3 Sustav odvodnje

Proračun odvodnje oborinskih voda započinje određivanjem slivnih površina na području kampusa. Kako bi se izračunali maksimalni protoci na slivu kampusa koristi se racionalna formula koja je umnožak slivne površine, racionalnog koeficijenta i kišnog intenziteta. Prvi korak računanju je određivanje slivnih površina. U ovom diplomskom radu veličina slivnih površina i granice slivnih površina određuju se uz pomoć programskog sustava AutoCAD (Slika 20). Veličine određene u programu Auto CAD zapisuju se u program Excel i prikazane su u Tablici 10.



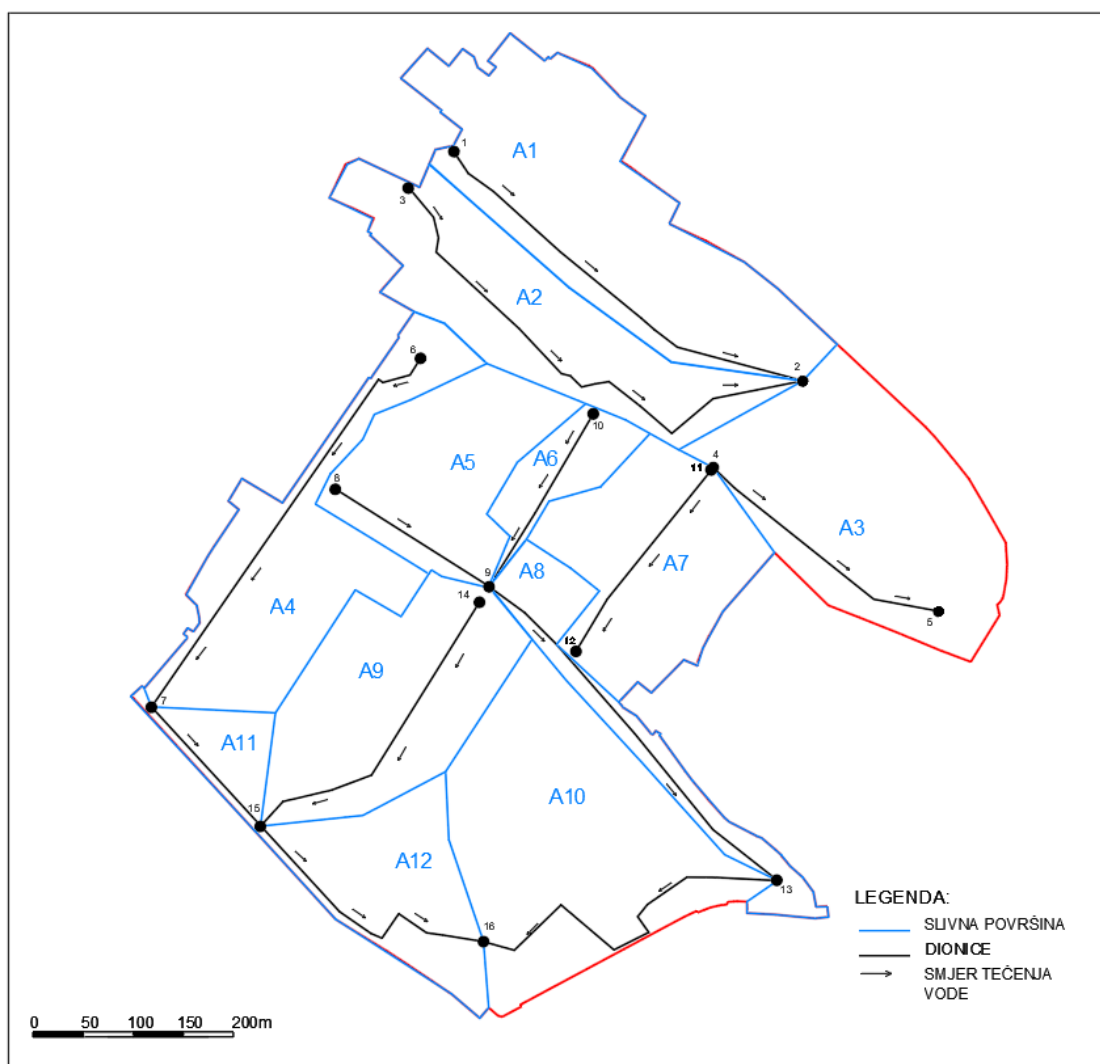
Slika 20. Slivne površine



Tablica 10. Prikaz slivnih površina

DIONICA	OZNAKA SLIVNE POVRŠINE	POVRŠINA (ha)
I	A1	6.03
II	A2	4.28
III	A3	5.40
IV	A4	4.24
V	A5	3.11
VI	A6	1.01
VII	A7	3.65
VIII	A8	1.69
IX	A9	4.32
X	A10	6.43
XI	A11	0.85
XII	A12	2.60
	$\Sigma$	43.61

Veličina pojedinih slivnih površina ne prelazi 6,5 hektara dok ukupna veličina sliva iznosi nešto više od 40 hektara. Nakon određivanja slivnih površina slijedi definiranje rasporeda odvodnih kanala, odnosno određivanje dionica, njihovih čvorova, nagiba terena, kota terena i dužine kanala prikazanih u Tablici 11 (Slika21). Dionice se postavljaju okomito na pad terena kako bi sakupile oborine koje teku tim dijelom sliva. Čvorovi se postavljaju na početak dionice, kraj dionice i na mjestima križanja sa drugim dionicama. Kote terena se iščitavaju iz karte, a dužine kanala se određuju također programom AutoCAD. Nagib terena se određuje prema formuli (18). Na primjeru kampusa se radi proračun gravitacijskog tečenja sa slobodnim vodnim licem.



Slika 21. Sliv sa dionicama i slivnim površinama

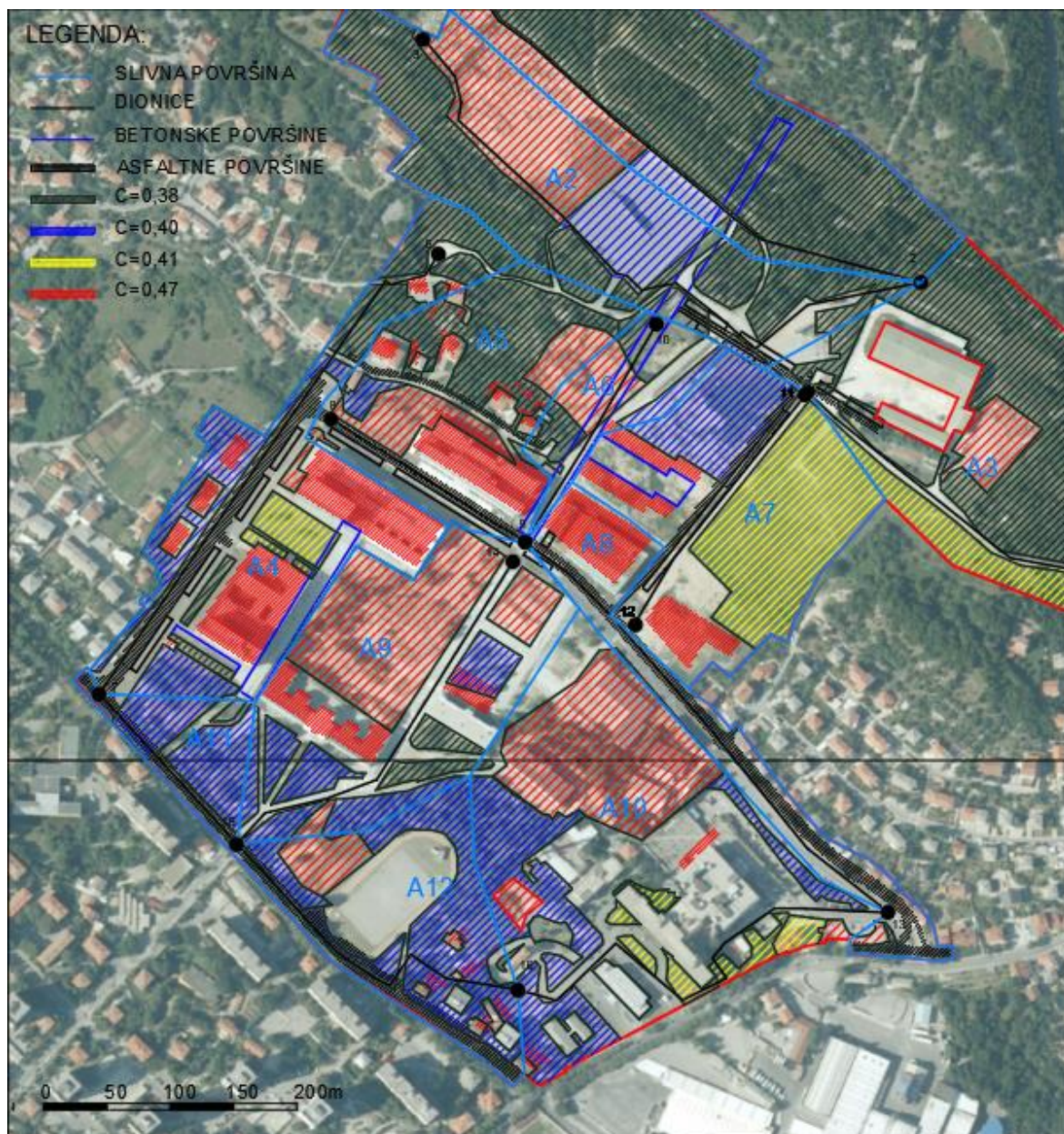
Tablica 11. Dionice kanala s pripadajućim veličinama

DIONICA	POČETNI ČVOR	ZAVRŠNI ČVOR	POČETNA KOTA TERENA (m n.m.)	ZAVRŠNA KOTA TERENA (m n.m.)	NAGIB TERENA S(%)	DUŽINA KANALA L(m)
I	1	2	170	154	3.728	429.1
II	3	2	168	154	2.648	528.8
III	4	5	153	147	2.194	273.5
IV	6	7	157	126	6.866	451.5
V	8	9	146	145	0.549	182.0
VI	10	9	156	145	5.461	201.4
VII	11	12	153	143.5	4.192	226.6
VIII	9	13	145	123	5.317	413.7
IX	14	15	144	119	7.576	330.0
X	13	16	123	111	3.169	378.7
XI	7	15	126	119	4.339	161.3
XII	15	16	119	111	2.782	287.6

Sljedeći dio proračuna je određivanje racionalnog koeficijenta koji se dobiva pomoću tablica iz literature (Tablica 2., 3. i 4.) na način da se svakoj vrsti površine dodijeli određeni koeficijent. U radu je racionalni koeficijent određivan detaljno za svaku vrstu tla i materijala koja se nalazi na kampusu. Kod svake slivne površine računao se srednji koeficijent prema formuli (17). U ovom slučaju racionalni koeficijent se određivao uz pomoć AutoCad-a i internet servisa pod nazivom Okolo [16]. U Tablici 12 prikazane su srednje vrijednosti koeficijenta otjecanja po dionicama u kojima je prosječni koeficijent otjecanja jednak 0,489. Na Slici 22 se vidi raspored površina s različitim koeficijentima otjecanja.

Tablica 12. Srednji koeficijent otjecanja po dionicama

OZNAKA SLIVNE POVRŠINE	OZNAKA	SREDNJI KOEFIKIJENT OTJECANJA C <sub>sr</sub> (-)
A1	C1	0.410
A2	C2	0.496
A3	C3	0.440
A4	C4	0.590
A5	C5	0.496
A6	C6	0.522
A7	C7	0.346
A8	C8	0.556
A9	C9	0.575
A10	C10	0.516
A11	C11	0.489
A12	C12	0.518
	Δ	0.496



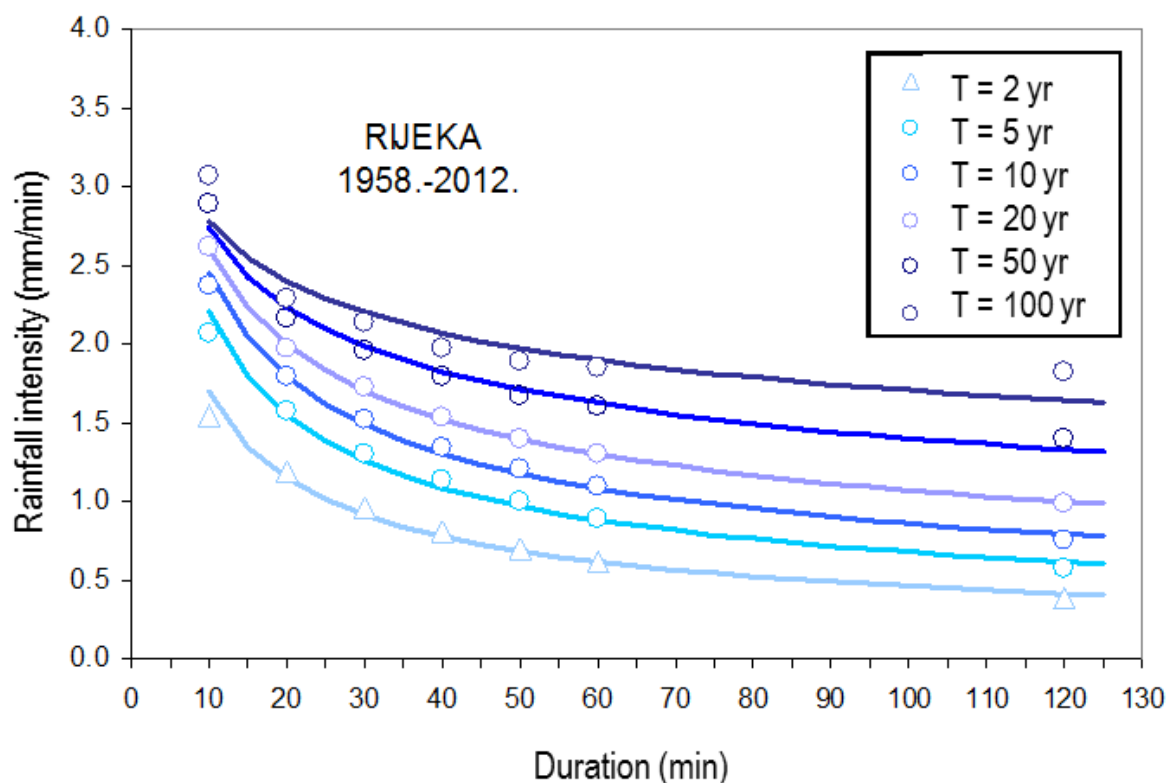
Slika 22. Primjer označavanja koeficijenta otjecanja

Intenzitet padalina se očitava iz ITP krivulja za određeni povratni period krivulje (Slika 23). U ovom radu se radi proračun za dvogodišnji povratni period. Intenzitet padalina  $i$  (35) se računa prema formuli za dvogodišnji povratni period dobivenoj iz ITP krivulje uz koeficijent korelacije  $r$  (36).

$$i = 6,22 * t^{-0,565} \quad (35)$$

$$r = 0,991 \quad (36)$$

Vrijeme koncentracije  $t_c$  se određuje prema formuli Z.P.Kirpich (12), a primjenom racionalne metode određuje se maksimalni dvogodišnji protok vode koji otječe predviđenim trasama (Tablica 13). Maksimalni dvogodišnji protok ne prelazi 1,15 l/s i javlja se u dionici pod brojem deset. Uz pomoć tih podataka iz Tablice 13 dobiva se volumen bioretencija.



Slika 23. ITP krivulja za Rijeku za različite povatne periode [17]

Tablica 13. Protok po dionicama

DIONICA	VRIJEME KONCENTRACIJE $t_c$ (s)	INTENZITET OBORINE (m/s)	POVRŠINA SLIVA $A$ (m <sup>2</sup> )	$C_{sr}$	MAKSIMALNI DVOGODIŠNJI PROTOK $Q_{m2}$ (m <sup>3</sup> /s)
I	435.0	0.000034	60329.530	0.410	0.84
II	582.9	0.000029	42759.060	0.496	0.61
III	377.2	0.000037	54022.285	0.440	0.87
IV	357.6	0.000038	42365.977	0.590	0.95
V	469.7	0.000032	31106.892	0.496	0.50
VI	209.8	0.000051	10111.038	0.522	0.27
VII	254.3	0.000046	36498.252	0.346	0.58
VIII	368.9	0.000037	16861.632	0.556	0.35
IX	270.5	0.000044	43208.232	0.575	1.10
X	420.6	0.000034	64337.597	0.516	1.15
XI	193.2	0.000054	8486.626	0.489	0.22
XII	357.8	0.000038	26001.765	0.518	0.51

U radu je dimenzioniran gravitacijski sustav odvodnje zatvorenim cijevima i sa tečenjem sa slobodnim vodnim licem. Prema dobivenim protocima određen je pad kolektora koji je izjednačen sa padom trena te je prema potrebi korigiran ovisno o ostalim dimenzijama. Promjer cijevi u sustavu oborinske odvodnje određen je prema nomogramu (Slika 9)[10], visina punjenja kolektora i brzina u kolektoru zadovoljavaju postavljene uvjete s obzirom na vrstu cijevi i tip sustava. Za ovu oborinsku kanalizaciju odabrane su plastične cijevi unutar kojih je maksimalna brzina vode 5 m/s, a minimalna brzina za oborinsku odvodnju je 0,9 m/s. Promjer cijevi kolektora je minimalno 300 mm (bolje 400 mm) što vrijedi za oborinsku odvodnju. Visina punjenja kanala zahtjeva 0,7D za profil 350-450 mm, a 0,75D za profil 500-900 mm. Svi parametri u tablicama zadovoljavaju prethodno navedene uvjete ograničenja. U Tablici 14. je prikazan proračun dimenzioniranja oborinske odvodnje na kampusu u Rijeci.

Tablica 14. Dimenzioniranje kolektora

DIONICA	UKUPNI PROTOK Quk (l/s)	NAGIB TERENA I <sub>ter</sub> (%)	MINIMALAN NAGIB KOLEKTORA I <sub>min</sub> (‰)	MAKSIMALAN NAGIB KOLEKTORA I <sub>max</sub> (‰)	PAD KOLEKTORA I <sub>kol</sub> (‰)	PROFIL CIJEVI φ <sub>kol</sub> (mm)	PROTOK PUNOG PROFILA Q <sub>ppr</sub> (l/s)	BRZINA PUNOG PROFILA v <sub>ppr</sub> (m/s)
I	838.22	3.73	2.00	20.00	20.00	600	1020	3.61
II	608.45	2.65	2.00	20.00	20.00	600	1020	3.61
III	871.66	2.19	1.67	16.67	16.67	700	1449	3.77
IV	945.41	6.87	2.00	20.00	20.00	700	1528	3.97
V	500.42	0.55	1.67	16.67	5.49	700	833	2.17
VI	269.71	5.46	2.86	28.57	28.57	400	432	3.44
VII	578.13	4.19	2.00	20.00	20.00	600	1020	3.61
VIII	348.52	5.32	2.86	28.57	28.57	400	432	3.44
IX	1099.11	7.58	2.00	20.00	20.00	700	1528	3.97
X	1145.18	3.17	1.67	16.67	16.67	700	1449	3.77
XI	222.24	4.34	3.33	33.33	33.33	400	460	3.66
XII	508.68	2.78	2.00	20.00	20.00	500	633	3.23

DIONICA	OMJER PROTOKA Quk/Q <sub>ppr</sub> (-)	OMJER DJELOMIČNOG I PUNOG PROFILA h/D (-)	OMJER DJELOMIČNE I BRZINE PUNOG KOLEKTORA v <sub>dj</sub> /v <sub>ppr</sub> (-)	STVARNA VISINA U KOLEKTORU h <sub>stv</sub> (mm)	STVARNA BRZINA U KOLEKTORU v <sub>stv</sub> (m/s)	VISINA PUNJENJA KOLEKTORA h <sub>vp</sub> (mm)
I	0.822	0.717	1.08	430.2	3.90	450
II	0.597	0.562	1.04	337.2	3.75	450
III	0.602	0.568	1.04	397.6	3.92	525
IV	0.619	0.575	1.04	402.5	4.13	525
V	0.601	0.568	1.04	397.6	2.26	525
VI	0.624	0.581	1.05	232.4	3.61	280
VII	0.567	0.543	1.03	325.8	3.72	450
VIII	0.807	0.705	1.08	282.0	3.72	308
IX	0.719	0.640	1.07	448.0	4.25	525
X	0.790	0.689	1.07	482.3	4.03	525
XI	0.483	0.494	1	197.6	3.66	280
XII	0.804	0.701	1.08	350.5	3.49	375

### 5.3.1 Hidrogrami

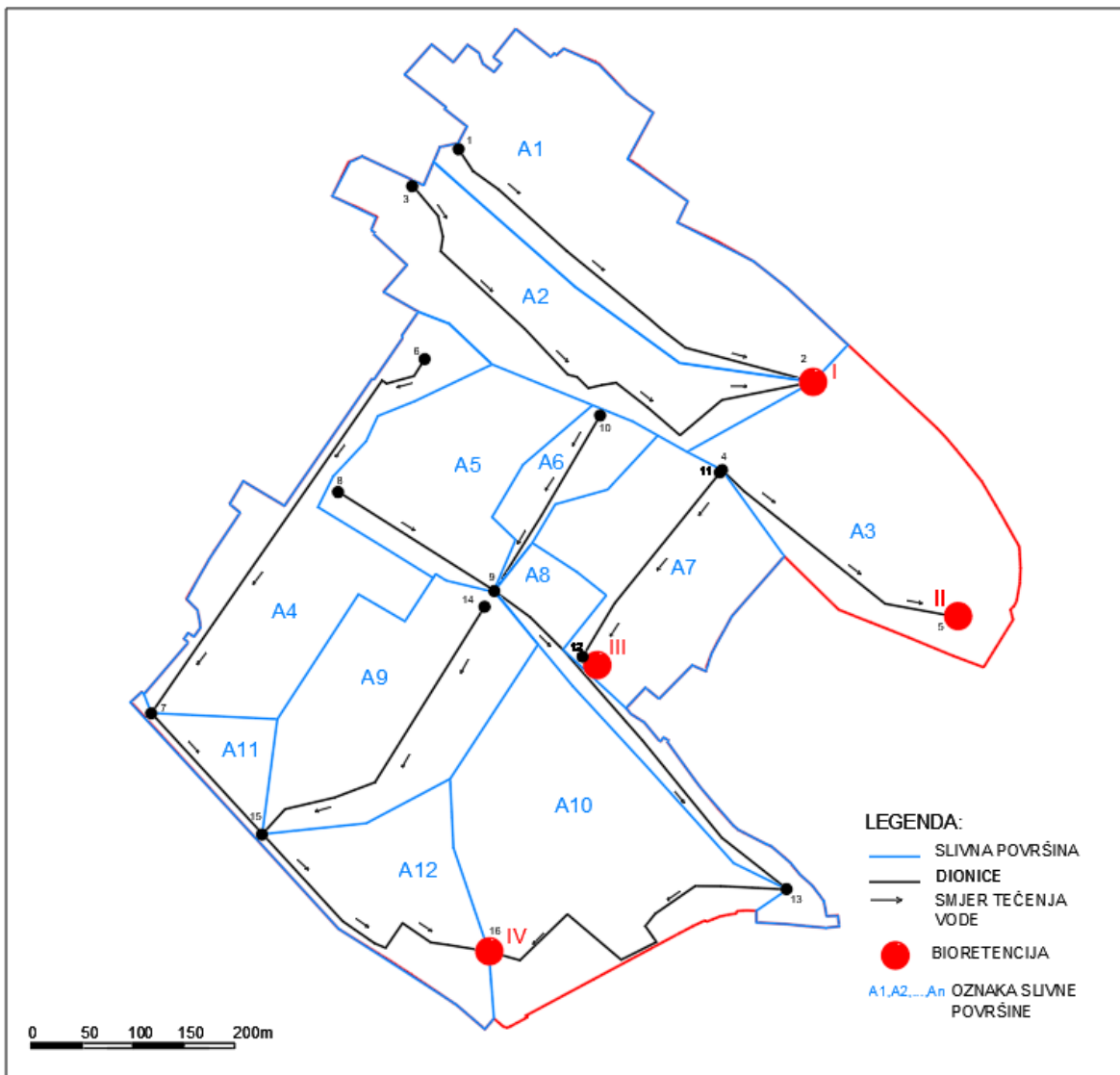
Za proračun složenih hidrograma velikog vodnog vala kombinirane su Racionalna metoda i metoda R.D.Goodricha kako bi se konstruirali hidrogrami u svrhu dimenzioniranja bioretencija.. Racionalna metoda se koristila za dobivanje protoka i efektivne oborine koja je umnožak racionalnog koeficijenta i mjerodavne oborine. Za konstruiranje hidrograma koristila se metoda R.D.Goodricha koja se inače koristi uz SCS metodu. Točnije, efektivna oborina se dobiva uz pomoć SCS metode što nije slučaj u ovom radu. Uz protoke dobivene racionalnom metodom konstruirani su hidrogrami za svaki dionicu posebno i sintetički hidrogrami potrebni za određivanje volumena bioretencija ovisno o tome u koju bioretenciju utječu koje dionice. Proračun parametara potreban za konstruiranje hidrograma velikog vodnog vala prikazan je u Tablici 15.

Tablica 15. Proračun parametara za hidrograme

DIONICA	VRIJEME KONCENTRACIJE $t_c$ (s)	MJERODAVNA OBORINA $P$ (m)	EFEKTIVNA OBORINA $P_e$ (m)	VOLUMEN IZRAVNOG OTJECANJA $V$ (m <sup>3</sup> )	VRIJEME ZAKAŠNJENJA $t_p$ (s)	VRIJEME PODIZANJA HIDROGRAMA $T_p$ (s)	VRIJEME OPADANJA HIDROGRAMA $T_r$ (s)	TRAJANJE HIDROGRAMA $T_b$ (s)	MAKSIMALNI DVOGODIŠNJI PROTOK $Q_{M2}$ (m <sup>3</sup> /s)
I	435.03	0.0147	0.0060	364.65	577.30	794.82	2384.45	3179.27	0.84
II	582.89	0.0167	0.0083	354.66	736.23	1027.67	3083.01	4110.68	0.61
III	377.15	0.0138	0.0061	328.75	512.70	701.28	2103.84	2805.11	0.87
IV	357.60	0.0135	0.0080	338.08	490.51	669.30	2007.91	2677.22	0.95
V	469.69	0.0152	0.0076	235.04	615.28	850.12	2550.37	3400.50	0.50
VI	209.78	0.0107	0.0056	56.58	314.87	419.76	1259.28	1679.03	0.27
VII	254.30	0.0117	0.0040	147.02	369.48	496.64	1489.91	1986.54	0.58
VIII	368.92	0.0137	0.0076	128.57	503.38	687.84	2063.51	2751.34	0.35
IX	270.46	0.0120	0.0069	297.27	388.90	524.13	1572.39	2096.53	1.10
X	420.58	0.0145	0.0075	481.64	561.32	771.61	2314.82	3086.43	1.15
XI	193.18	0.0103	0.0051	42.93	294.02	390.61	1171.82	1562.43	0.22
XII	357.77	0.0135	0.0070	181.99	490.70	669.59	2008.77	2678.36	0.51

## 5.4 Integralni pristup

Integralnim pristupom oborinske vode se nastoje upustiti u teren tijekom otjecanja ili lokalno zadržati na određenim područjima. Proračunate su četiri bioretencije čiji volumen je jednak površini hidrograma otjecanja oborinske vode. Bioretencije su predviđene kao iskopane površine, ozelenjene s različitim biljkama i travama koje dobro podnose vlagu u dugom vremenskom periodu. Položaj bioretencija prikazan je slikom 24. Iz priloženog se vidi da u prvu bioretenciju utječu prva i druga dionica, u drugu bioretenciju utječe samo treća dionica, u treću bioretenciju utječe samo sedma dionica, a u četvrtu bioretenciju utječu sve ostale dionice (Tablica 16).



Slika 24. Položaj bioretencija

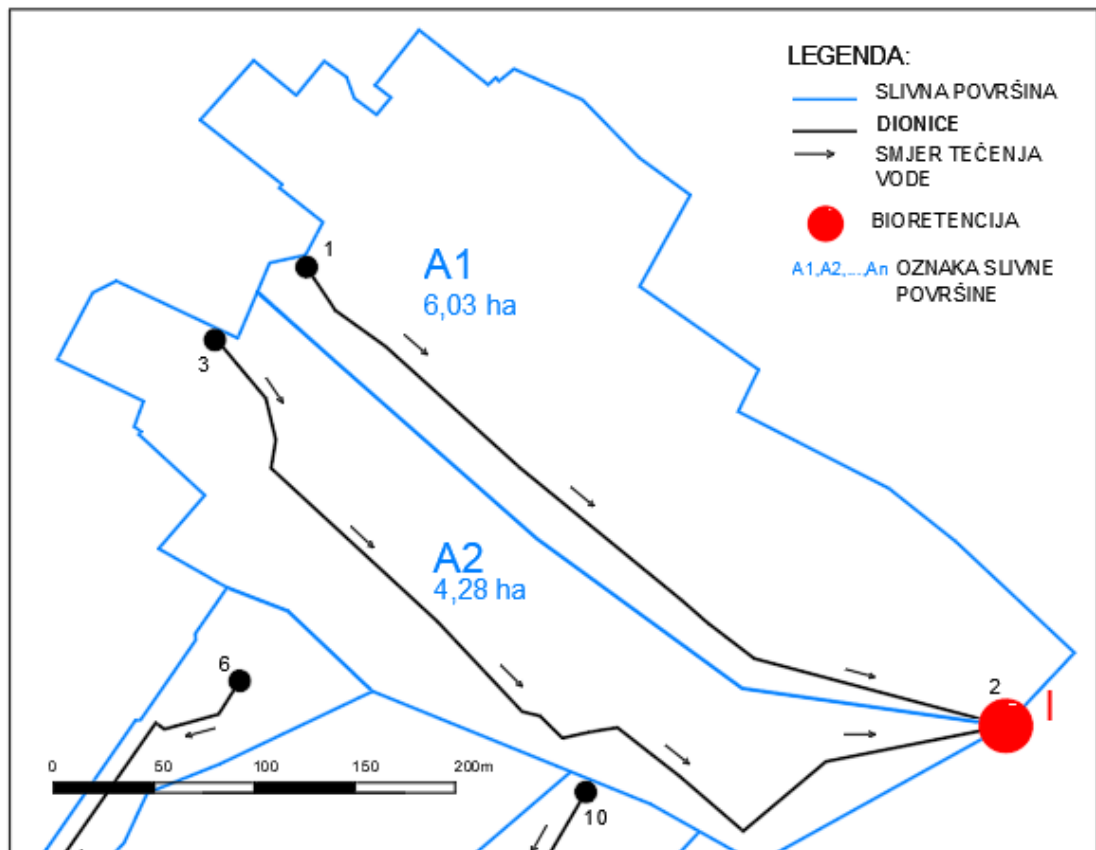


Tablica 16. Dionice koje utječu u retenciju

DIONICA	RETENCIJA
I	1
II	1
III	2
IV	4
V	4
VI	4
VII	3
VIII	4
IX	4
X	4
XI	4
XII	4

#### **5.4.1 Dimenzioniranje bioretencijskih bazena**

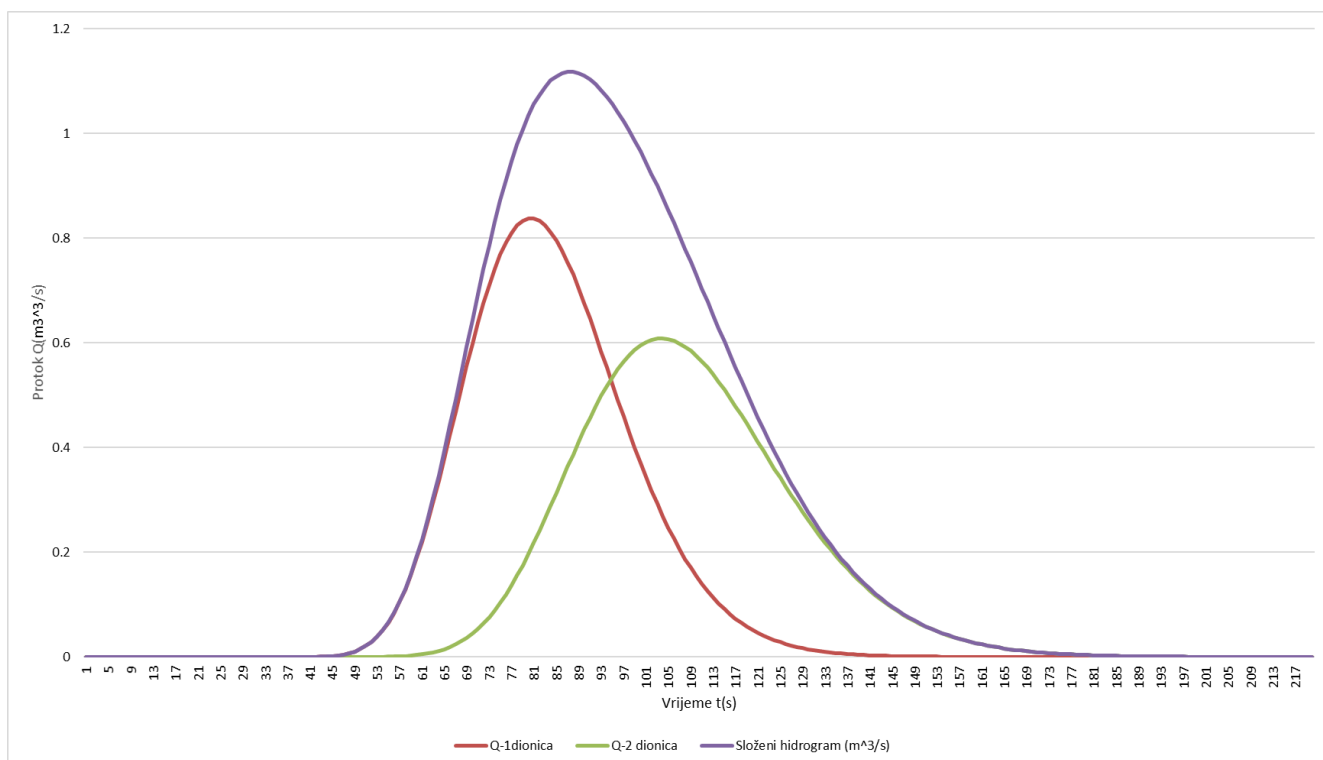
- Prikaz položaja prve bioretencije može se vidjeti na slici 25 na kojoj je jasno naznačen smjer tečenja, slivne površine s kojih voda utječe u kolektor i dionice koje utječu u bioretenciju. Tablicom 17 prikazani su vrijeme koncentracije, mjerodavna oborina, efektivna oborina, volumen izravnog otjecanja, vrijeme zakašnjenja, vrijeme podizanja hidrograma, vrijeme opadanja hidrograma, trajanje hidrograma i maksimalni dvogodišnji protok svake dionice u svrhu konstruiranja složenog hidrograma prve bioretencije (Slika 26).



Slika 25. Položaj prve bioretencije

Tablica 17. Ulazni parametri za složeni hidrogram prve bioretencije

DIONICA	I	II
VRIJEME KONCENTRACIJE $t_c$ (s)	435.03	582.89
MJERODAVNA OBORINA $P$ (m)	0.0147	0.0167
EFEKTIVNA OBORINA $P_e$ (m)	0.0060	0.0083
VOLUMEN IZRAVNOG OTJECANJA $V$ (m <sup>3</sup> )	364.65	354.66
VRIJEME ZAKAŠNJENJA $t_p$ (s)	577.30	736.23
VRIJEME PODIZANJA HIDROGRAMA $T_p$ (s)	794.82	1027.67
VRIJEME OPADANJA HIDROGRAMA $T_r$ (s)	2384.45	3083.01
TRAJANJE HIDROGRAMA $T_b$ (s)	3179.27	4110.68
DVOGODIŠNJI PROTOK $Q_{M2}$ (m <sup>3</sup> /s)	0.84	0.61
$\lambda$	7.308106	7.052284



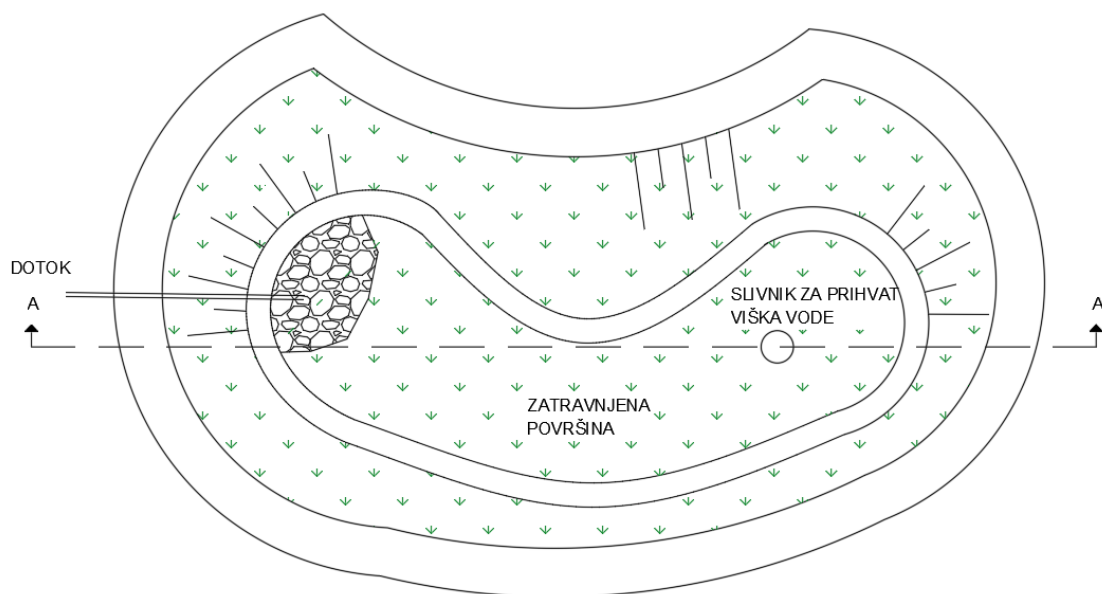
Slika 26. Složeni hidrogram prve bioretencije

Složeni hidrogram prve bioretencije dobiven je zbrajanjem hidrograma prve i druge dionice. Iz složenog hidrograma prve bioretencije dobivamo veličinu vršnog protoka u iznosu od 1,12 m<sup>3</sup>/s i vrijeme jednako 860 sekundi u kojem se javlja vršni protok. Za ukupni volumen bioretencije uzima se volumen od 719,31 m<sup>3</sup>, odnosno 720 m<sup>3</sup>.

Odabire se nepravilni okrugli oblik bioretencije čije dimenzije se računaju na principu proračuna volumena akumulacije, tlocrtna površina prve bioretencije je 258,55m<sup>2</sup> (Slika 27) (Tablica 18). Na slici 28 prikazan je presjek bioretencije. Odabiru se sljedeće dimenzije i usvaja se volumen od 736,87 m<sup>3</sup>.

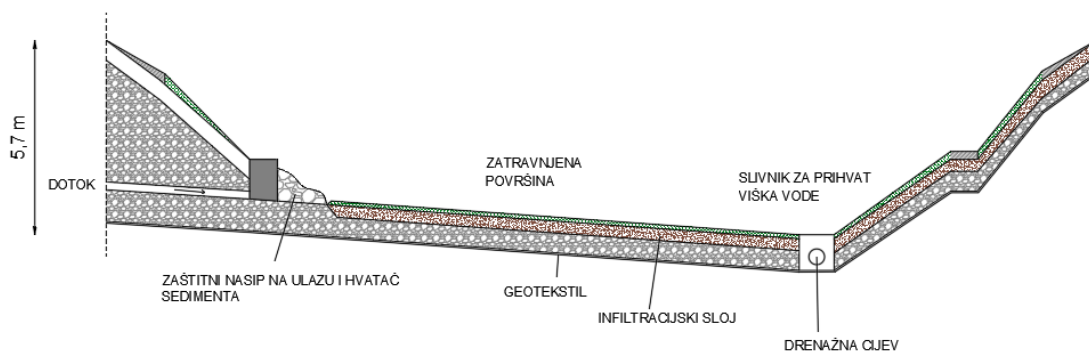
Tablica 18. Dimenzioniranje bioretencije

H	dH	A	V
[m]	[m]	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
5.7	1	258.55	736.87
4.7	1	213.19	501.00
3.7	1	167.83	310.49
2.7	1	122.47	165.34
1.7	1	77.11	65.54
0.7	0.7	31.75	11.11
0	0	0.00	0.00



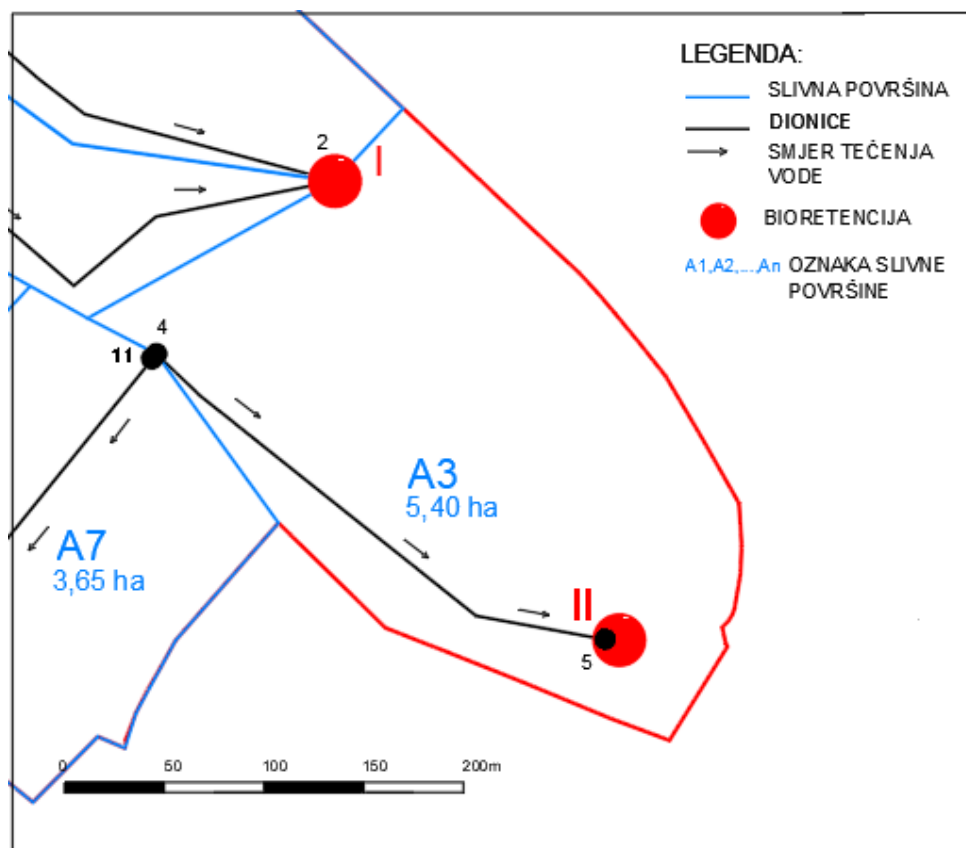
Slika 27. Tlocrt prve bioretencije

### PRESJEK A-A



Slika 28. Presjek A-A prve bioretencije

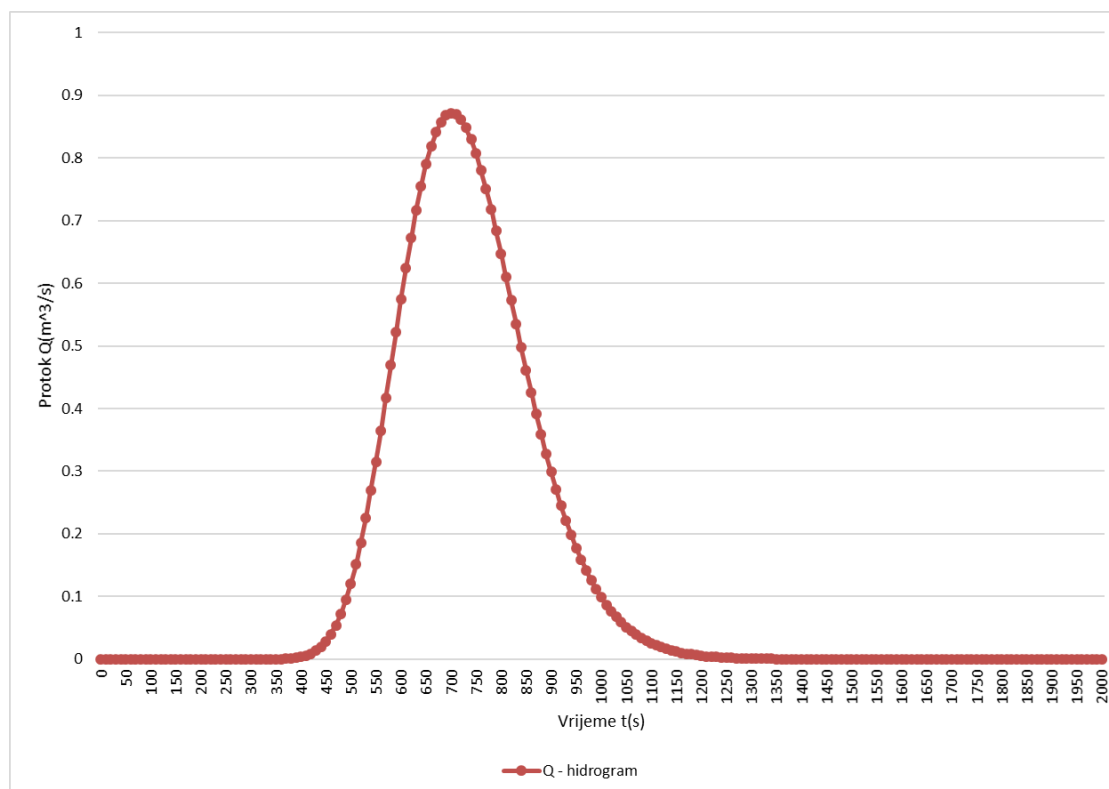
- Prikaz položaja druge bioretencije može se vidjeti na slici 29 na kojoj je jasno naznačen smjer tečenja, slivna površina s koje voda utječe u kolektor i dionica koja utječe u bioretenciju. Tablicom 19 prikazani su vrijeme koncentracije, mjerodavna oborina, efektivna oborina, volumen izravnog otjecanja, vrijeme zakašnjenja, vrijeme podizanja hidrograma, vrijeme opadanja hidrograma, trajanje hidrograma i maksimalni dvogodišnji protok treće dionice u svrhu konstruiranja hidrograma druge bioretencije (Slika 30).



Slika 29. Položaj druge bioretencije

Tablica 19. Ulazni parametri za hidrogram druge bioretencije

DIONICA	III
VRIJEME KONCENTRACIJE $t_c$ (s)	377.15
MJERODAVNA OBORINA $P$ (m)	0.0138
EFEKTIVNA OBORINA $P_e$ (m)	0.0061
VOLUMEN IZRAVNOG OTJECANJA $V$ (m <sup>3</sup> )	328.75
VRIJEME ZAKAŠNJENJA $t_p$ (s)	512.70
VRIJEME PODIZANJA HIDROGRAMA $T_p$ (s)	701.28
VRIJEME OPADANJA HIDROGRAMA $T_r$ (s)	2103.84
TRAJANJE HIDROGRAMA $T_b$ (s)	2805.11
DVOGODIŠNJI PROTOK $Q_{M2}$ (m <sup>3</sup> /s)	0.87
$\lambda$	7.43761



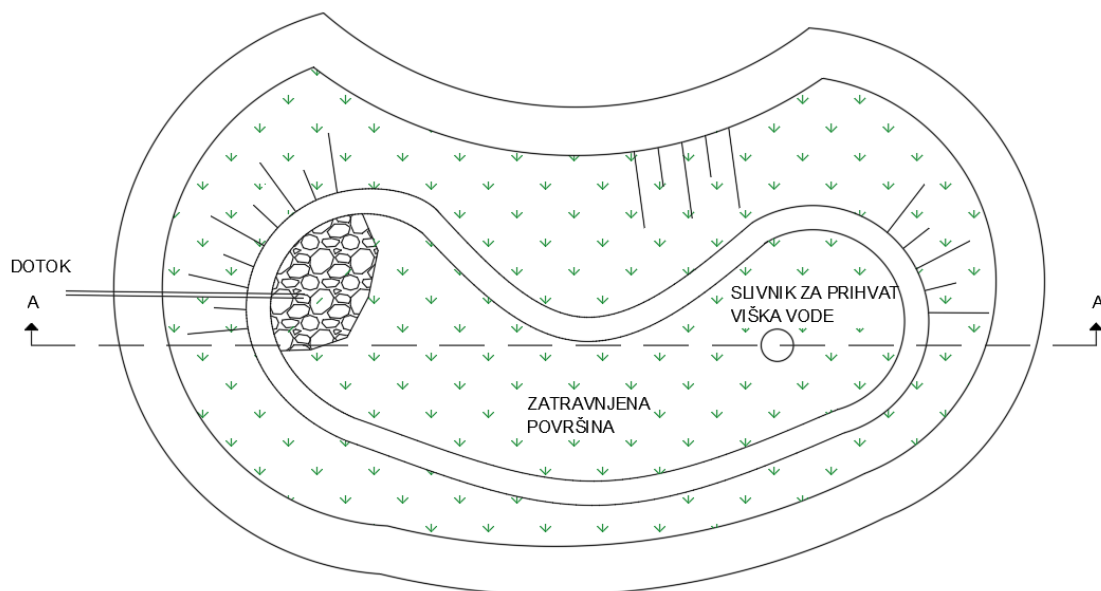
Slika 30. Hidrogram druge bioretencije

Hidrogram druge bioretencije jednak je hidrogramu treće dionice. Iz hidrograma druge bioretencije dobivamo veličinu vršnog protoka u iznosu od  $0,87 \text{ m}^3/\text{s}$  i vrijeme jednako 701,2 sekundi u kojem se javlja vršni protok. Za ukupni volumen bioretencije uzima se volumen od  $328,75 \text{ m}^3$ , odnosno  $330 \text{ m}^3$ .

Odabire se nepravilni okrugli oblik bioretencije čije dimenzije se računaju na principu proračuna volumena akumulacije, tlocrtna površina druge bioretencije je  $372,32 \text{ m}^2$  (Slika 31) (Tablica 20). Na slici 32 prikazan je presjek bioretencije. Odabiru se sljedeće dimenzije bioretencije i usvaja se volumen od  $335,09 \text{ m}^3$ .

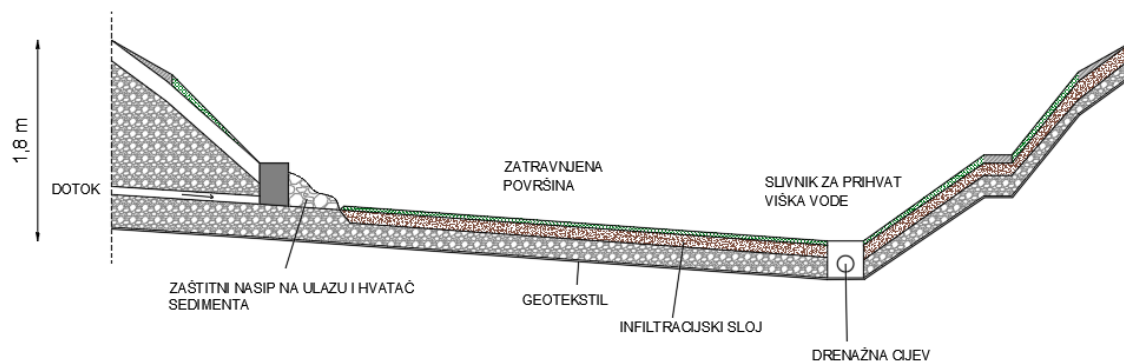
Tablica 20. Dimenzioniranje bioretencije

H	dH	A	V
[m]	[m]	$\text{m}^2$	$\text{m}^3$
1.8	0.4	372.32	335.09
1.4	0.4	289.58	202.71
1	0.4	206.84	103.42
0.6	0.4	124.11	37.23
0.2	0.2	41.37	4.14
0	0	0.00	0.00



Slika 31. Tlocrt druge bioretencije

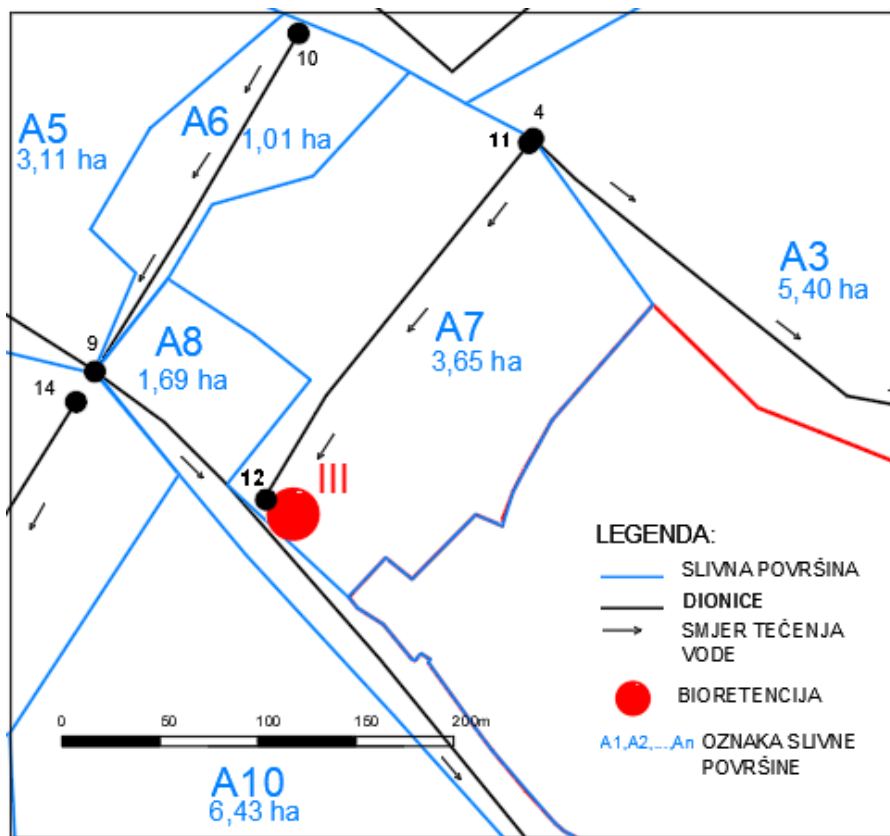
## PRESJEK A-A



Slika 32. Presjek A-A druge bioretencije

- Prikaz položaja treće bioretencije može se vidjeti na slici 33 na kojoj je jasno naznačen smjer tečenja, slivna površina s kojie voda utječe u kolektor i dionicu koja utječe u bioretenciju. Tablicom 21 prikazani su vrijeme koncentracije, mjerodavna oborina, efektivna oborina, volumen izravnog otjecanja, vrijeme zakašnjenja, vrijeme podizanja hidrograma, vrijeme opadanja hidrograma, trajanje hidrograma i maksimalni dvogodišnji protok sedme dionice u svrhu konstruiranja hidrograma treće bioretencije (Slika 34).

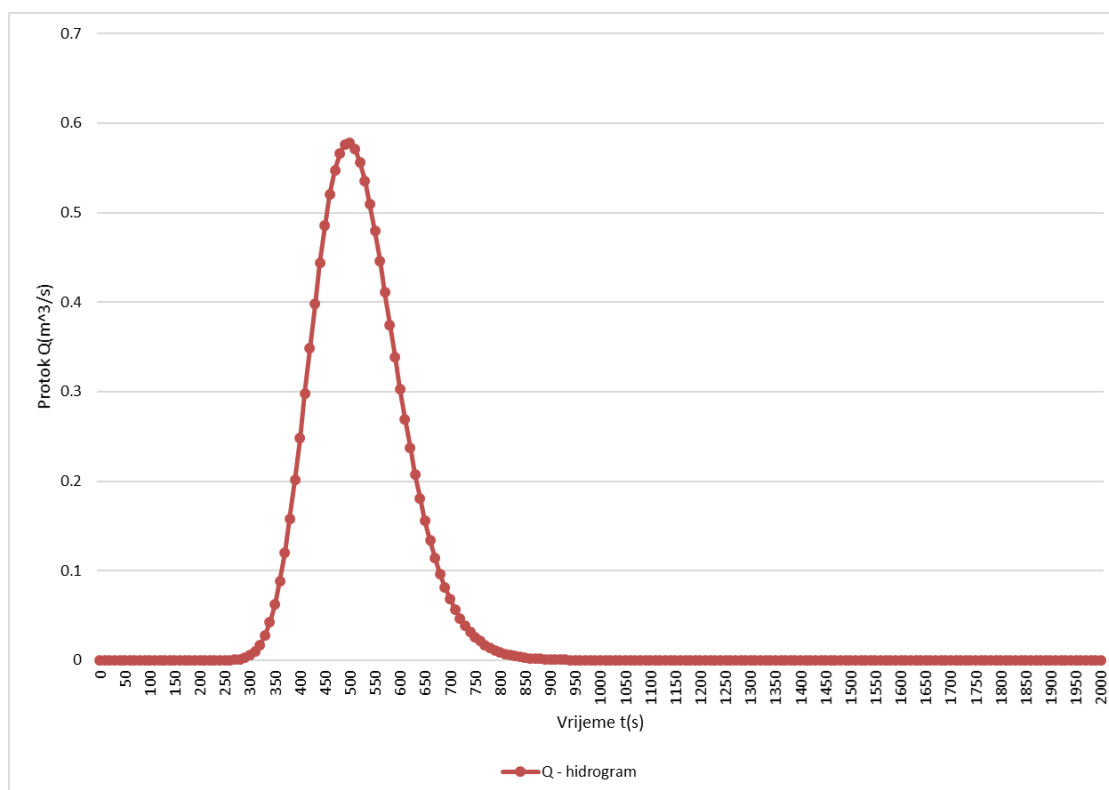




Slika 33. Položaj treće bioretencije

Tablica 21. Ulazni parametri za hidrogram treće bioretencije

DIONICA	VII
VRIJEME KONCENTRACIJE $t_c$ (s)	254.30
MJERODAVNA OBORINA $P$ (m)	0.0117
EFEKTIVNA OBORINA $P_e$ (m)	0.0040
VOLUMEN IZRAVNOG OTJECANJA $V$ (m <sup>3</sup> )	147.02
VRIJEME ZAKAŠNJE $t_p$ (s)	369.48
VRIJEME PODIZANJA HIDROGRAMA $T_p$ (s)	496.64
VRIJEME OPADANJA HIDROGRAMA $T_r$ (s)	1489.91
TRAJANJE HIDROGRAMA $T_b$ (s)	1986.54
DVOGODIŠNJI PROTOK $Q_{M2}$ (m <sup>3</sup> /s)	0.58
$\lambda$	7.811743



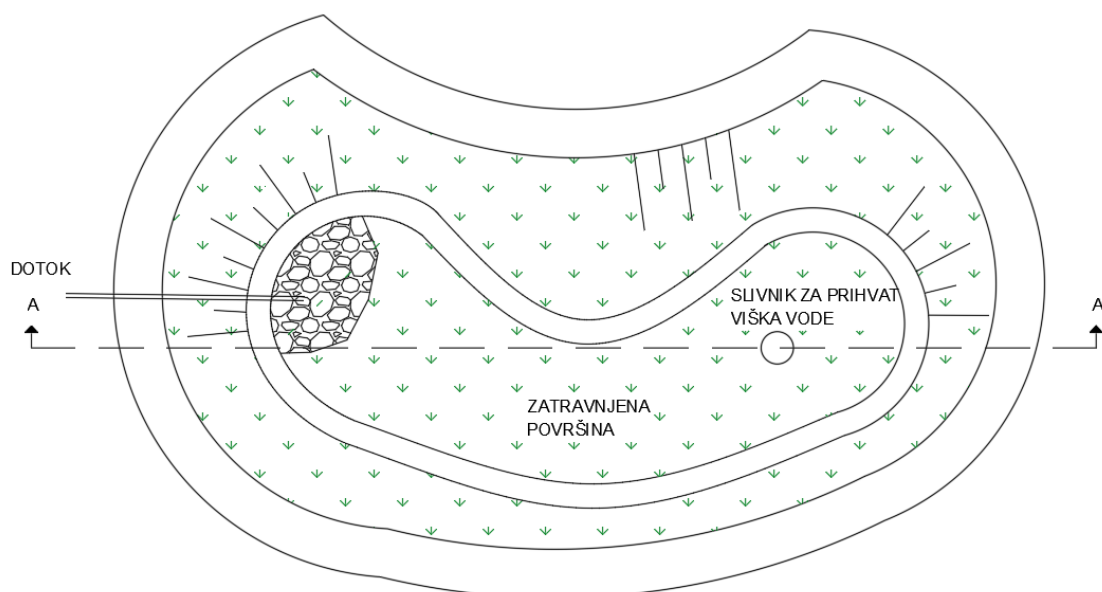
Slike 34. Hidrogram treće bioretencije

Hidrogram treće bioretencije jednak je hidrogramu sedme dionice. Iz hidrograma treće bioretencije dobivamo veličinu vršnog protoka u iznosu od  $0,58 \text{ m}^3/\text{s}$  i vrijeme jednako 496,6 sekundi u kojem se javlja vršni protok. Za ukupni volumen bioretencije uzima se volumen od  $147,02 \text{ m}^3$ , odnosno  $148 \text{ m}^3$ .

Odabire se nepravilni okrugli oblik bioretencije čije dimenzije se računaju na principu proračuna volumena akumulacije čija je tlocrtna površina jednaka  $78,21 \text{ m}^2$  (Slika 35) (Tablica 22). Na slici 36 prikazan je presjek bioretencije. Odabiru se sljedeće dimenzije bioretencije i usvaja se volumen od  $148,60 \text{ m}^3$ .

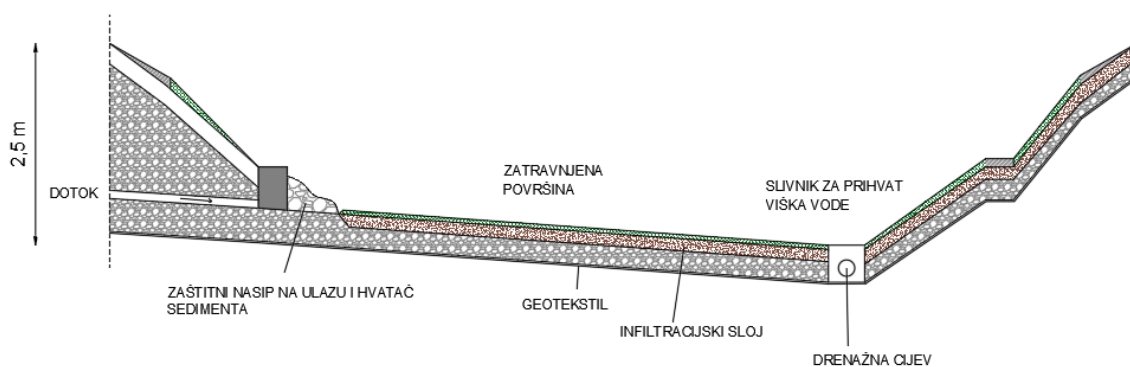
Tablica 22. Dimenzioniranje bioretencije

H	dH	A	V
[m]	[m]	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
3.8	0.8	78.21	148.60
3	0.5	61.75	92.62
2.5	0.5	51.46	64.32
2	0.5	41.16	41.16
1.5	0.5	30.87	23.16
1	0.5	20.58	10.29
0.5	0.5	10.29	2.57
0	0	0.00	0.00



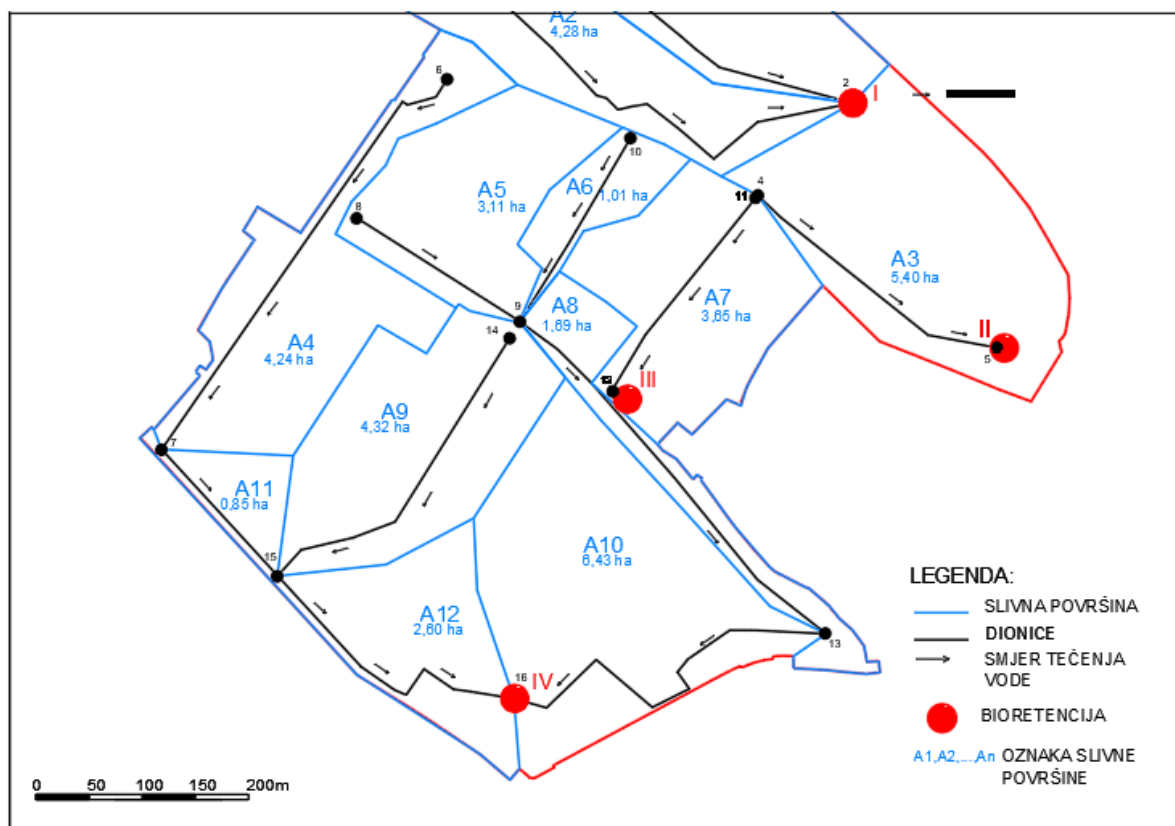
Slika 35. Tlocrt treće bioretencije

### PRESJEK A-A



Slika 36. Presjek A-A treće bioretencije

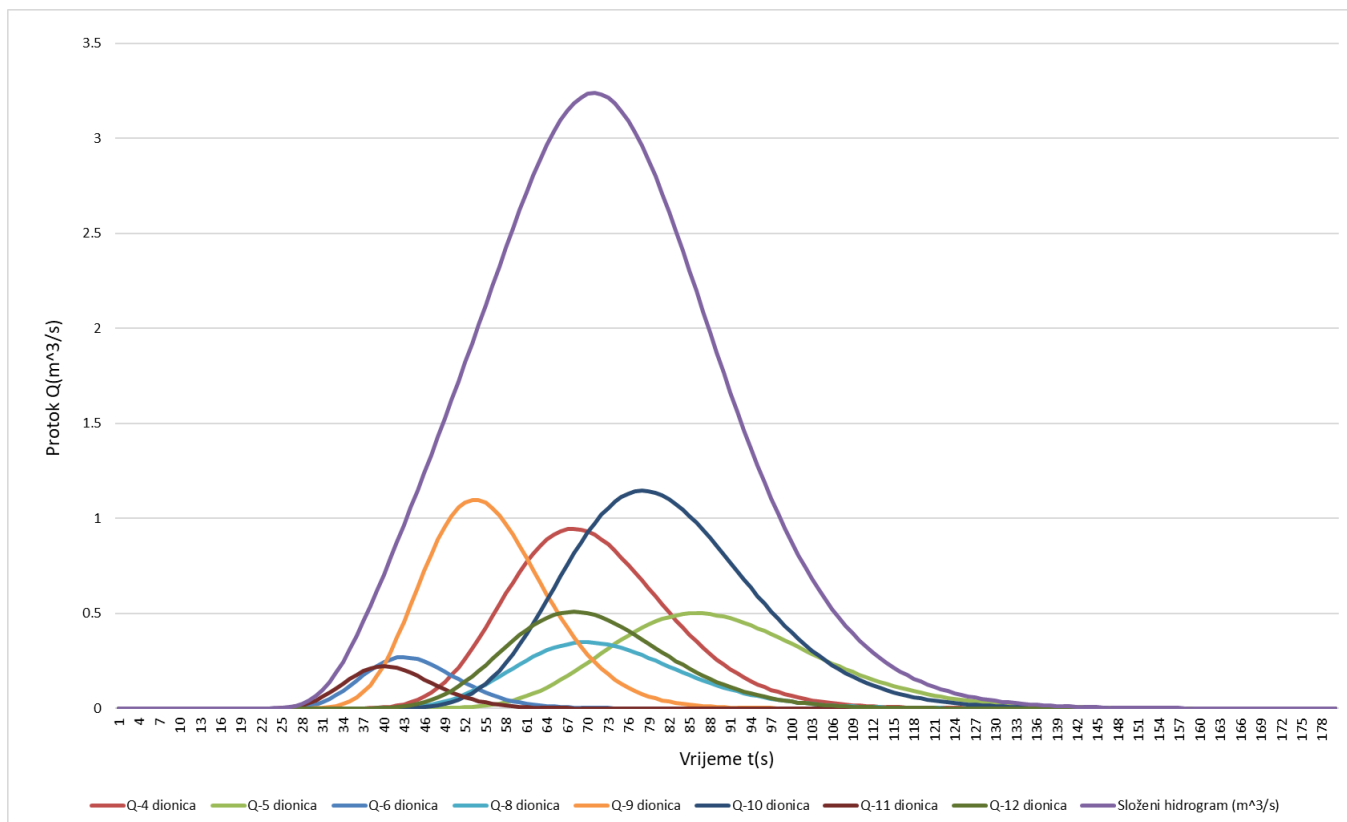
- Prikaz položaja četvrte bioretencije može se vidjeti na slici 37 na kojoj je jasno naznačen smjer tečenja, slivne površine s kojih voda utječe u kolektor i dionice koje utječu u bioretenciju. Tablicom 20 prikazani su vrijeme koncentracije, mjerodavna oborina, efektivna oborina, volumen izravnog otjecanja, vrijeme zakašnjenja, vrijeme podizanja hidrograma, vrijeme opadanja hidrograma, trajanje hidrograma i maksimalni dvogodišnji protok svake dionice u svrhu konstruiranja složenog hidrograma četvrte bioretencije (Slika 38). Četvrta bioretencija služi za sakupljanje vode iz dionica 4.,5.,6.,8.,9.,10.,11. i 12.



Slika 37. Položaj četvrte bioretencije

Tablica 23. Ulazni parametri za složeni hidrogram četvrte bioretencije

DIONICA	IV	V	VI	VIII	IX	X	XI	XII
VRIJEME KONCENTRACIJE $t_c$ (s)	357.60	469.69	209.78	368.92	270.46	420.58	193.18	357.77
MJERODAVNA OBORINA $P$ (m)	0.0135	0.0152	0.0107	0.0137	0.0120	0.0145	0.0103	0.0135
EFEKTIVNA OBORINA $P_e$ (m)	0.0080	0.0076	0.0056	0.0076	0.0069	0.0075	0.0051	0.0070
VOLUMEN IZRAVNOG OTJECANJA $V$ (m <sup>3</sup> )	338.08	235.04	56.58	128.57	297.27	481.64	42.93	181.99
VRIJEME ZAKAŠNJENJA $t_p$ (s)	490.51	615.28	314.87	503.38	388.90	561.32	294.02	490.70
VRIJEME PODIZANJA HIDROGRAMA $T_p$ (s)	669.30	850.12	419.76	687.84	524.13	771.61	390.61	669.59
VRIJEME OPADANJA HIDROGRAMA $T_r$ (s)	2007.91	2550.37	1259.28	2063.51	1572.39	2314.82	1171.82	2008.77
TRAJANJE HIDROGRAMA $T_b$ (s)	2677.22	3400.50	1679.03	2751.34	2096.53	3086.43	1562.43	2678.36
DVOGODIŠNJI PROTOK $Q_{M2}$ (m <sup>3</sup> /s)	0.95	0.50	0.27	0.35	1.10	1.15	0.22	0.51
$\lambda$	7.486712	7.2398548	8.00367635	7.45792	7.75160007	7.33847	8.087814704	7.486263



Slika 38. Složeni hidrogram četvrte bioretencije

Složeni hidrogram četvrte bioretencije dobiven je zbrajanjem hidrograma 4.,5.,6.,8.,9.,10.,11. i 12. dionice. Iz složenog hidrograma četvrte bioretencije dobivamo veličinu vršnog protoka u iznosu od 3,24 m<sup>3</sup>/s i vrijeme jednako 700 sekundi u kojem se javlja vršni protok. Za ukupni volumen bioretencije uzima se volumen od 1762,11 m<sup>3</sup>, odnosno 1763 m<sup>3</sup>.

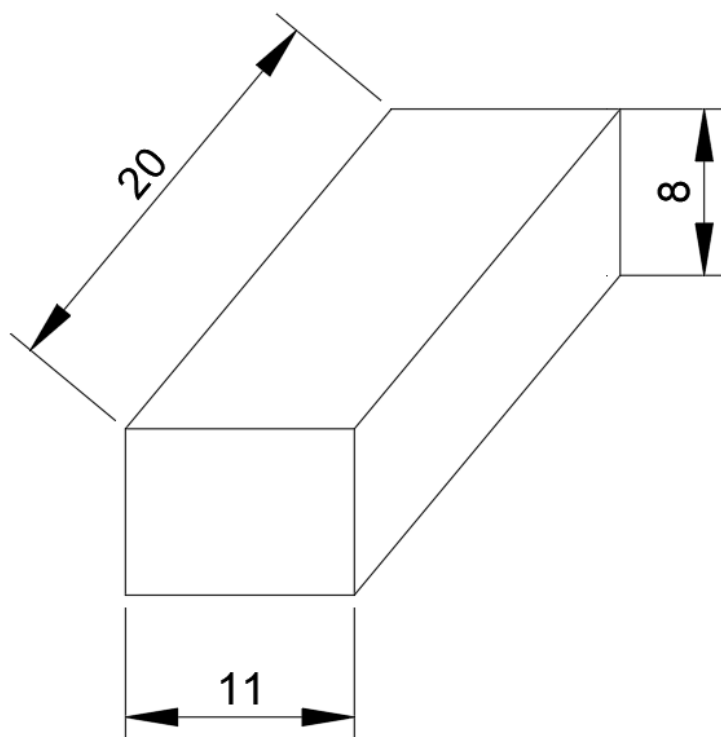
Odabire se retencija pravokutnog oblika (Slika 39). Radi velikog prihvatnog kapaciteta retencija će se raditi pod zemljom kako svojom veličinom nebi zauzimala prostor na površini. U podzemnu retenciju su postavljeni skadišni blokovi za zbrinjavanje oborinskih voda. Kišni vrt sa klupama i ležaljka izgraditi će se iznad podzemne retencije, te će se preliv također nalaziti u vrtu(Slika 40, 41). Odabiru se dimenzije podzemne retencije u metrima:

$$V = a * b * c$$

$$a = 20 \text{ m}$$

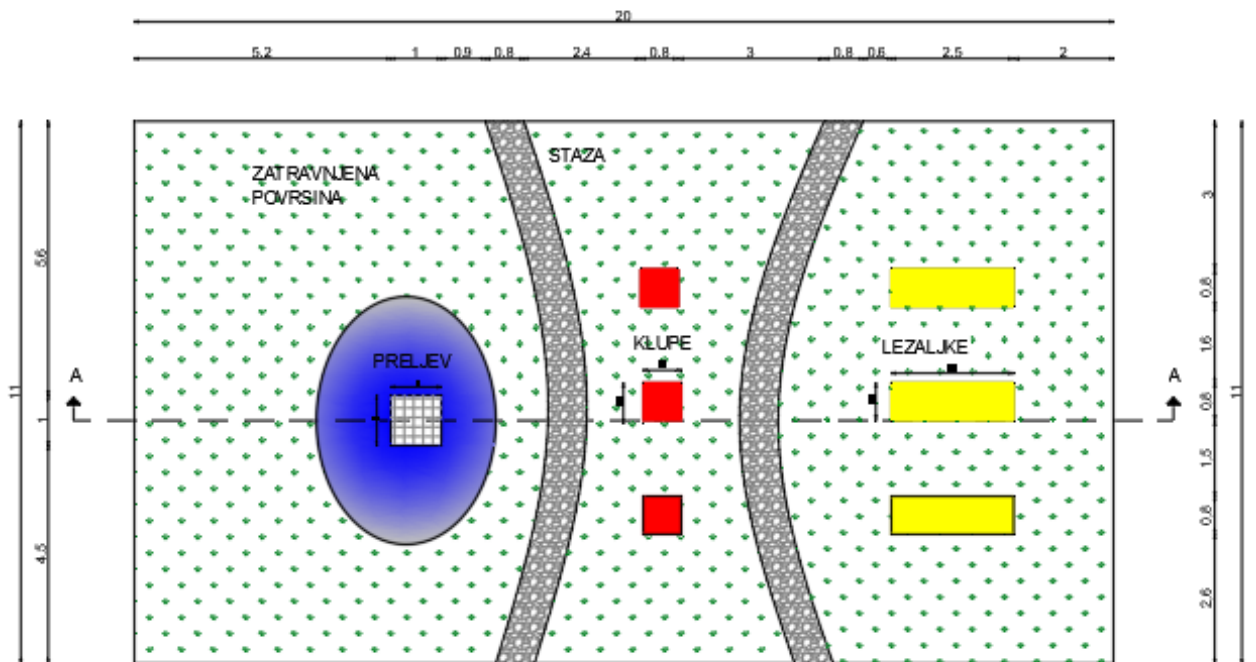
$$b = 11 \text{ m}$$

$$c = 8 \text{ m}$$



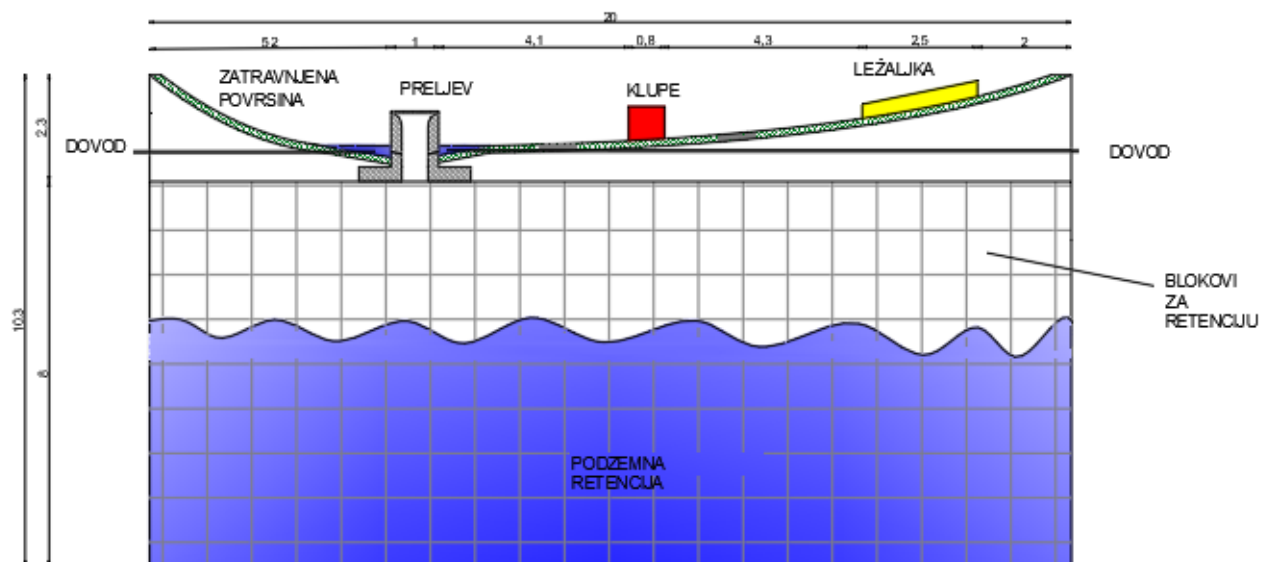
Slika 39. Dimenzije četvrte bioretencije

# TLOCRT



Slika 40. Tlocrt četvrte bioretencije

# PRESJEK A-A



Slika 41. Presjek A-A četvrte bioretencije



Slika 42. Četvrta bioretencija u prostoru



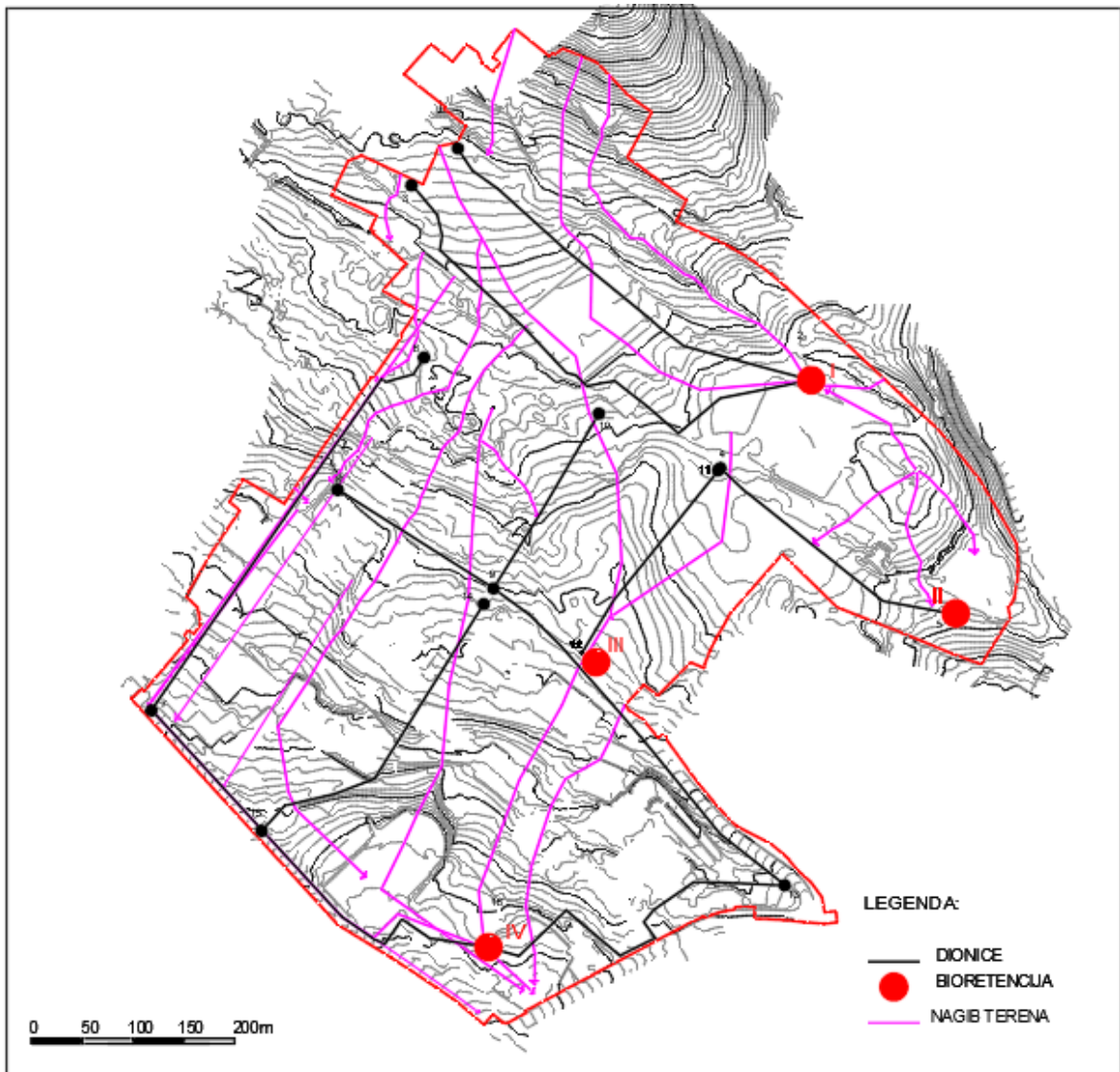
## 6. DISKUSIJA

Nakon sakupljenih potrebnih podataka proveden je proračun odvodnje oborinskih voda na području kampusa sveučilišta u Rijeci. Proračun je proveden racionalnom metodom, hidrogrami su definirani primjenom Goodrich metode, te su predložena rješenja odvodnje primjenom integralnog sustava odvodnje oborinskih voda.

Elementi racionalne formule dobiveni su primjenom različitih formula potrebnih za njihov izračun kao što su racionalni koeficijent, nagib terena, brzina u kanalu, vrijeme koncentracije, intenzitet oborine, protok i na samom kraju volumen bioretencija. Za računanje prethodno navedenih elemenata korišten je program Excel. Podaci kao što su duljina kanala, nadmorska visina čvorova, površina sliva i površina dijelova s određenim racionalnim koeficijentom dobiveni su uz pomoć programa Auto CAD. Neke od površina su dobivene iz servisa Okolo radi točnijih podataka sukladno s trenutnim stanjem izgrađenosti kampusa.

Rješenje problema predviđa četiri bioretencije koje sakupljaju oborinske vode i upuštaju u teren. Odabrane su 4 bioretencije iz razloga jer se nagib terena dijeli u dva smjera (Slika 34). Iako većina pada terena gravitira prema gradu postoji dio koji pada na drugu stranu te su na taj dio postavljene dvije bioretencije. Odabirom četiri bioretencije sustav se rasterećuje s obzirom na to da velika većina oborina pada na istu stranu. Tako su preostale dvije postavljene na drugim lokacijama.

Rješenje ovog problema je rasteretiti postojeći sustav odvodnje koji ne može primiti postojeće oborine tako da se što veća količina oborina upusti u teren uz pomoć bioretencija. Potrebno je i provođenje analize kvalitete oborinske vode kako nebi došlo do zagađenja prilikom upuštanja u tlo. Po potrebi bi se sustavu dodali pjeskolovi i mastolovi u slučaju da voda nije zadovoljavajuće kvalitete. Time bi se postiglo da voda koja se daje pozemlju bude što čišća.



Slika 43. Prikaz nagiba terena

Protoci dobiveni za svaku bioretenciju su očekivani i ne zahtijevaju velika financijska ulaganja u retencije radi njihovih malih dimenzija. Vršni protok dobiven za prvu retenciju iznosi  $Q_1 = 1,12 \text{ m}^3/\text{s}$ , za drugu iznosi  $Q_2 = 0,87 \text{ m}^3/\text{s}$ , za treću iznosi  $Q_3 = 0,58 \text{ m}^3/\text{s}$ , za četvrtu  $Q_4 = 3,24 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dobiveni protoci su razmjerni s obzirom na veličinu sliva i ostale faktore koji utječu na protoke. Volumeni bioretencija su također očekivani s obzirom na protoke u dionicama koje se slijevaju u njih, a iznose:  $V_1 = 736,87 \text{ m}^3$ ,  $V_2 = 335,09 \text{ m}^3$ ,  $V_3 = 148,60 \text{ m}^3$ ,  $V_4 = 1762,11 \text{ m}^3$ .

## ZAKLJUČAK

U ovom radu su obrađene teme koje pomažu u razumijevanju problematike koja se javlja na kampusu Sveučilišta u Rijeci i dano je rješenje. U radu se prvo pojašnjavaju definicije vezane za problematiku. Počevši s definicijom sliva, njegovim značajkama, definicijom malih slivova, urbanih slivova i otjecanja na urbanim slivovima. Nakon toga su pojašnjene tri metode za proračun otjecanja na slivovima od kojih je jedna upotrebljena za proračun na ovom primjeru. Nadalje su navedena obilježja integralnog sustava odvodnje i njegove prednosti.

Primjenom racionalne metode proveden je proračun otjecanja oborinskih voda na području kampusa Sveučilišta u Rijeci. Jedan od najbitnijih dijelova proračuna je određivanje racionalnog koeficijenta koji je napravljen jako detaljno uz pomoć programa AutoCAD i servisa Okolo tj. ovim programima su računane površine kojima je pridružen određeni koeficijent. Podaci o protocima su dobiveni racionalnom metodom za pojedine dionice. Nakon proračuna su određene lokacije za postavljanje bioretencija koje bi sakupljale vodu i propuštale je u podzemlje. Predviđene su četiri bioretencije sljedećih volumena:  $V_1 = 736,87 m^3$ ,  $V_2 = 335,09 m^3$ ,  $V_3 = 148,60 m^3$ ,  $V_4 = 1762,11 m^3$ . Sadržavale bi bilje i raslinje koje može podnijeti velike količine vode i duži boravak u vodi.

Integralni sustav odvodnje je sustav koji ne zahtijeva velike inženjerske projekte i veliku količinu novaca. Pogodan je zbog navedenih prednosti od kojih je posebno bitno istaknuti upuštanje vode izravno u podzemlje čime se voda vraća natrag u ciklus. Time se smanjuje mogućnost zagađenja. Ekološka strana ovog sustava je ogromna prednost i potrebno ju iskoristiti.

Uz sve spomenute pozitivne strane ovakvoga sustava, svakako treba posebno naglasiti očuvanje prirodne bilance vode na tome području te očuvanje prirodnog ekosustava Draškog potoka kojemu ovaj sliv pripada. Prilikom izgradnje sljedeće faze kampusa, svakako se predlaže i sagledavanje dugoročnog zbrinjavanja oborinskih voda u smjeru integralnog sustava odvodnje u urbanoj sredini.

## LITERATURA

- [1] Čavlek, E., Osnove hidrologije, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1992
- [2] Žugaj, R., Regionalna hidrološka analiza u kršu hrvatske, Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb, 1995
- [3] Sušan, I., Razvoj hidrološkog modela otjecanja s malih slivova temeljen na umjetnoj neuronskoj mreži, doktorska disertacija, Sveučilište u Rijeci, 2016.
- [4] Zakon o regionalnom razvoju RH, pročišćeni tekst zakona, NN br. 147/14, 123/17
- [5] Rubinić, J., Predavanja iz kolegija Urbani vodni sustavi, Građevinski fakultet u Sveučilišta u Rijeci, Rijeka
- [6] Margeta, J., Kanalizacija naselja: odvodnja i zbrinjavanje otpadnih i oborinskih voda, Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2009.
- [7] Santin, G., Uzelac, B., Sokol, M., Sušan, I., Odvodnja oborinskih voda na lokalitetu planiranog sveučilišnog kampusa u Rijeci, Zbornik radova, Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Građevinski fakultet sveučilišta u Rijeci, Rijeka
- [8] Ožanić, N., Predavanja iz kolegija Inženjerska hidrologija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2017.
- [9] Žugaj, R., Velike vode malih slivova, Zagreb, 2010.
- [10] Interna skripta, Vježbe iz kolegija Odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka
- [11] Interna skripta predavanja, Predavanja iz kolegija Odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka
- [12] Uzelac, T., Integralni pristup odvodnji oborinskih i površinskih voda, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2012.
- [13] Uzelac, T., Idejni koncept oborinske odvodnje grada Pule, Pula, 2011.
- [14] Penić, H., Projekt odvodnje oborinskih voda naselja Busje integralni sustav odvodnje, završni rad, Split, 2014.
- [15] <https://www.google.com/maps/place/University+of+Rijeka/@45.3246919,14.432205,13.46z/data=!4m5!3m4!1s0x4764a1ab74dc9b0f:0x9048c0f84aeab3f4!8m2!3d45.3277614!4d14.4667629>, pristup 18.12.2018.00:12
- [16] <https://okolo.com/o/d739756d-5bdb-11e7-a0b0-001e67995544#y202p25z85>, pristup 21.2.2019. 17:37

[17] Gajić-Čapka, M., Ožanić, N., Krvavica, N., Extreme Short-Term Precipitations in Rijeka Region, Meteorological and Hydrological Service of Croatia, Faculty of Civil Engineering, University of Rijeka