

# Upravljanje oborinskim vodama u urbanim područjima

---

Španjić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:440084>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-03**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Ivan Španjić

UPRAVLJANJE OBORINSKIM VODAMA  
U URBANIM PODRUČJIMA

Završni rad

Split, 2024.



STUDIJ: SVEUČILIŠNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO  
KANDIDAT: Ivan Španjić  
MATIČNI BROJ: 0083225883  
KATEDRA: Gospodarenje vodama i zaštitu voda  
KOLEGIJ: Vodoopskrba i kanalizacija

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Upravljanje oborinskim vodama implementacijom rjesenja u skladu s prirodom (NBS) - primjer Kampus Sveučilista u Splitu

### Opis zadatka:

Potrebno je analizirati problem oborinskih voda na prostoru Kampusu Sveučilišta u Splitu te predložiti odgovarajuće mjere upravljanja oborinskim vodama koristeći rješenja kišnog vrta. Cilj rada je istražiti mogućnosti implementacije akumulacijske površina za oborinske vode kroz izgradnju kišnog vrta unutar kampusa koji bi se integrirao u postojeću infrastrukturu odvodnje s ciljem smanjenja opterećenja kanalizacijskog sustava i smanjenja rizika od poplava na urbanom području.

Kroz rješenje zadatka potrebno je: provesti analizu prostornih podataka (dostupni GIS podaci), odrediti koridore površinskog otjecanja, definirati površine podslivova i racionalnom metodom odrediti vršne protoke za povratni period od pet godina. Predloženo rješenje je potrebno kroz dva grafička priloga (Situacija i poprečni presjek) pozicionirati u prostor Kampusu.

U Splitu, 29.3.2024

Mentor:  
Komentor:

Izv.prof.dr.sc. Ivo Andrić  
Dr.sc. Ivan Racetin

## SADRŽAJ

1. Uvod.....	4
1.1. Povjest kampusa.....	6
1.2. Zelena infrastruktura.....	7
2. Završni zadatak.....	9
2.1. Prikupljanje podataka.....	9
2.1.1. Definiranje granica područja.....	10
2.1.2. Prikupljanje ITP krivulje za Split.....	9
2.2. Određivanje podsliva i koeficijenata otjecanja.....	10
2.2.1. Određivanje podsliva.....	10
2.2.2. Koeficijenti otjecanja.....	11
2.3. Generiranje sintetičkog hidrograma.....	13
3.3. Kišni vrtovi.....	16
3.4. Dimenzioniranje kišnog vrta .....	18
3.4.1. Lokacija.....	18
3.4.2. Proračun.....	20
3.4.3. Osvrt.....	24
34. Zaključak.....	25
5. Literatura.....	26
6. Grafički prilozi.....	27
6.1. Situacija.....	28
6.2. Uzdužni presjek.....	29

## 1. Uvod

U kontekstu klimatskih promjena i rastućeg pritiska urbanizacije, gradovi diljem svijeta, uključujući i grad Split, suočavaju se sa sve složenijim izazovima upravljanja vodama. Otjecanje oborinskih voda u urbanim sredinama posebno se ističe kao kritično pitanje, doprinoseći poplavama, onečišćenju voda i degradaciji ekosustava. Tradicionalni pristupi "sive" infrastrukture, iako učinkoviti u mnogim scenarijima, često ne uspijevaju adekvatno odgovoriti na višestruku prirodu ovih izazova. Kao odgovor na to, raste interes za rješenja temeljena na prirodi (Nature-based Solutions, Nbs) kao održiv i prilagodljiv pristup upravljanju oborinskim vodama u urbanim sredinama.



Slika 1 : Prirodni hidrološki ciklus , (Izvor : [https:// hr.wikipedia.org/wiki/Hidrološki\\_ciklus](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrološki_ciklus))

Međunarodna unija za očuvanje prirode (IUCN) definira rješenja temeljena na prirodi kao "akcije za zaštitu, održivo upravljanje i obnovu prirodnih ili modificiranih ekosustava koji učinkovito i prilagodljivo rješavaju društvene izazove, istovremeno pružajući dobrobiti za ljudsko blagostanje i bioraznolikost" (IUCN, 2016). U kontekstu upravljanja oborinskim vodama u urbanim sredinama, NbS obuhvaća širok raspon intervencija koje oponašaju ili rade s prirodnim procesima kako bi

poboljšale zadržavanje vode, filtraciju i postupno otpuštanje. Upravljanje oborinskim vodama u urbanim područjima je moguće podijeliti na dva načina iskorištavanja tih voda

- a) Upravljanje oponašajući prirodni hidrološki ciklus koje se sastoji od infiltracije, sakupljanja i kontroliranog ispuštanja
- b) Odvodnja kišnice putem kanalizacije i sakupljanje u retencijama

Ovaj zadatak analizirat će postojeće stanje oborinskih voda te istražuje primjenu hipotetskog rješenja temeljenih na prirodi u upravljanju oborinskim vodama u urbanim sredinama, s posebnim fokusom na Sveučilišni kampus u gradu Splitu te direktni utjecaj vremenskih prilika uzrokovanih mediteranskim podnebljem. Istražit ćemo potencijal NbS-a za istovremeno rješavanje višestrukih izazova :

Smanjenje rizika od poplava: Povećanjem zadržavanja vode i promicanjem infiltracije, NbS može pomoći u ublažavanju poplava u urbanim područjima Splita.

Poboljšanje kvalitete vode: Prirodni procesi filtracije mogu ukloniti onečišćujuće tvari iz oborinskih voda, poboljšavajući kvalitetu vode koja ulazi u Jadransko more i okolne vodotoke.

Poboljšanje usluga ekosustava: NbS može stvoriti ili obnoviti urbana staništa u Splitu, podržavajući bioraznolikost i pružajući dodatne usluge ekosustava poput sekvenciranja ugljika i ublažavanja učinka urbanih toplinskih otoka.

Prilagodba klimatskim promjenama: Povećanjem otpornosti urbanih vodnih sustava, NbS može pomoći Splitu u prilagodbi sve učestalijim i intenzivnijim ekstremnim vremenskim događajima povezanim s klimatskim promjenama u mediteranskoj regiji.

Društvene i ekonomske koristi: Zelene površine stvorene kroz NbS mogu poboljšati urbanu estetiku Splita, pružiti rekreacijske mogućnosti i potencijalno povećati vrijednost nekretnina.

## 1.1. Povijest kampusa

Sveučilišni kampus u Splitu dio je dugotrajnog procesa razvoja Sveučilišta u Splitu, koje je formalno osnovano 1974. godine, iako su visokoškolske institucije u gradu djelovale i ranije. Sam kampus, smješten na području poznatom kao Visoka, rezultat je težnje da se akademske institucije, razasute po gradu, objedine na jednom mjestu, čime bi se stvorio suvremeni centar za obrazovanje, istraživanje i inovacije.

Gradnja Sveučilišnog kampusa započela je krajem 1990-ih i intenzivirala se tijekom 2000-ih godina. Prve zgrade koje su se otvorile bile su Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije te Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, koje su preseljene na novu lokaciju.

Kampus se neprestano širio te uključuje zgrade različitih fakulteta, studentske domove, sportsku infrastrukturu, parkove i rekreacijske površine. Prostor kampusa projektiran je kao moderno središte koje studentima pruža ne samo obrazovne nego i društvene i kulturne sadržaje.

Danas Sveučilišni kampus u Splitu pokriva veliki dio površine Visoke te je središte akademskog života u gradu. Na kampusu se nalaze gotovo svi fakulteti Sveučilišta u Splitu, uključujući i Centar za znanstvene studije i istraživanja, kao i Sveučilišna knjižnica. Kampus je postao središte inovacija i znanstvenih istraživanja, privlačeći domaće i međunarodne studente i profesore.

Sveučilišni kampus u Splitu predstavlja spoj modernih arhitektonskih rješenja i funkcionalnosti, s jasnim ciljem da postane ne samo nacionalno nego i međunarodno relevantan obrazovni centar.

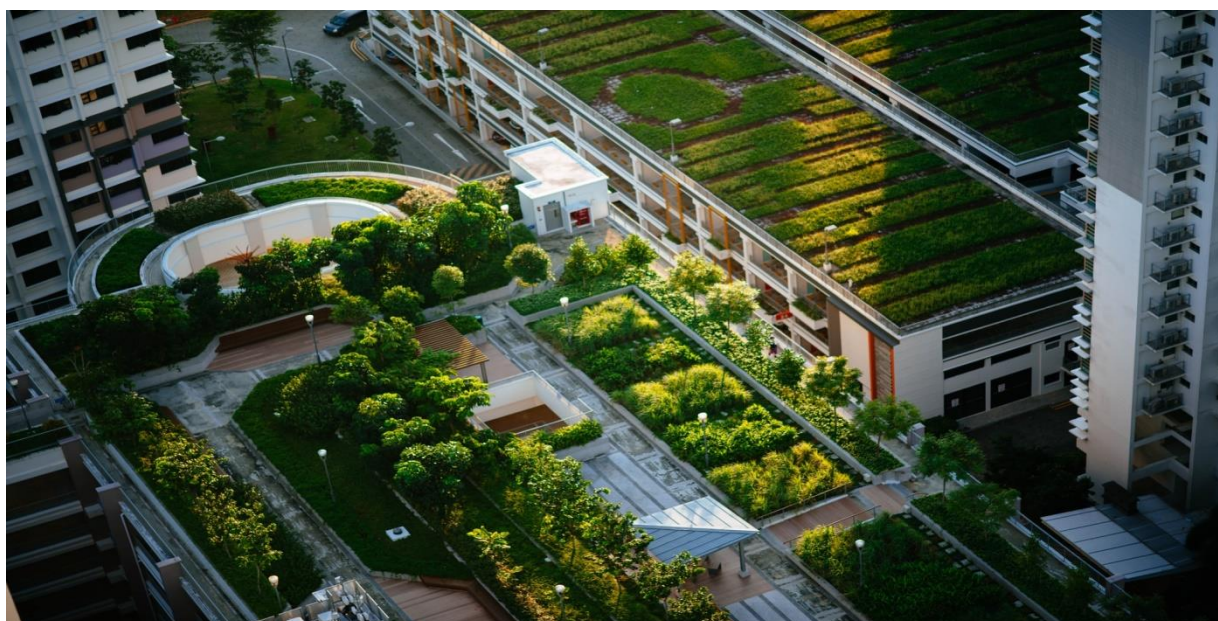


Slika 2 : Kampus Split , (izvor : <https://arhiva.unist.hr/en/znanost-i-inovacije/novosti/university-of-split-became-full-member-of-sgroup-universities-in-europe> )

## 1.2. Zelena infrastruktura

Upravljanje oborinskim vodama u urbanim područjima predstavlja ključni izazov u održivom urbanom razvoju. Postoji niz pristupa i rješenja koja se mogu primijeniti kako bi se adekvatno upravljalo ovim pitanjem.

Jedan od važnih pristupa je korištenje zelene infrastrukture. Pojam zelene infrastrukture podrazumijeva izgradnju različitih zelenih elemenata koji imaju sposobnost apsorpcije i infiltracije oborinskih voda. Primjerice, zeleni krovovi (Slika 3 ) mogu značajno smanjiti volumen oborinskih voda koje treba odvesti u kanalizacijski sustav. Kišni vrtovi i bioretencijski bazeni također imaju sposobnost zadržavanja i infiltracije oborinskih voda, čime se smanjuje opterećenje kanalizacije. Sadnja drveća i ostalog zelenila također pridonosi povećanju infiltracije i evapotranspiracije, što je itekako bitno za upravljanje oborinskim vodama.



Slika 3. Primjer zelenog krova na zgradi (Izvor: [Zeleni krovovi – kako iskoristiti krov kuće ili zgrade? - Gospodarski list](#) )

Nadalje, korištenje propusnih površina umjesto nepropusnih materijala poput asfalta i betona također je ključno. Primjena poroznog asfalta i betona za parkirališta, pješačke staze i druge



površine omogućuje infiltraciju oborinskih voda u tlo, umjesto njihovog brzog otjecanja u kanalizaciju.

Zadržavanje i usporavanje otjecanja oborinskih voda također je važan element. Izgradnja retencijskih bazena i akumulacija omogućuje privremeno zadržavanje oborinskih voda, čime se smanjuje opterećenje kanalizacijskog sustava i rizik od poplava. Korištenje manjih, distribuiranih sustava poput kišnih bačvi također pridonosi usporavanju otjecanja.

## KORIST ZA OKOLIŠ

Zelena infrastruktura u urbanim područjima donosi izravne koristi za okoliš kroz očuvanje i poboljšanje kvalitete zraka, vode i tla. Smanjuje zagađenje filtriranjem štetnih čestica i stakleničkih plinova, a također pruža hidrološke funkcije poput infiltracije, prirodne odvodnje, smanjenja erozije i skladištenja vode za ponovnu upotrebu.

Kontrola otjecanja oborinskih voda kroz zelenu infrastrukturu smanjuje rizik od poplava i nizvodne erozije, dok instalacija separatora ulja i masti uklanja zagađivače iz oborinskih voda prije njihovog ispuštanja. Redovito održavanje sustava za odvodnju također je ključno.

Urbano planiranje koje integrira zelenu infrastrukturu, propusne površine i sustave za kontrolu onečišćenja omogućuje multifunkcionalnost prostora. Ekonomskim benefitima doprinosi smanjenje rashoda, posebno smanjenjem efekta toplinskih otoka, što vodi do ušteda u potrošnji energije za hlađenje zgrada putem zelenih krovova i zidova.

Ovaj sveobuhvatni pristup omogućuje bolje upravljanje oborinskim vodama, smanjenje rizika od poplava i onečišćenja te poboljšanje kvalitete života u urbanim sredinama.

## 2. Zadatak

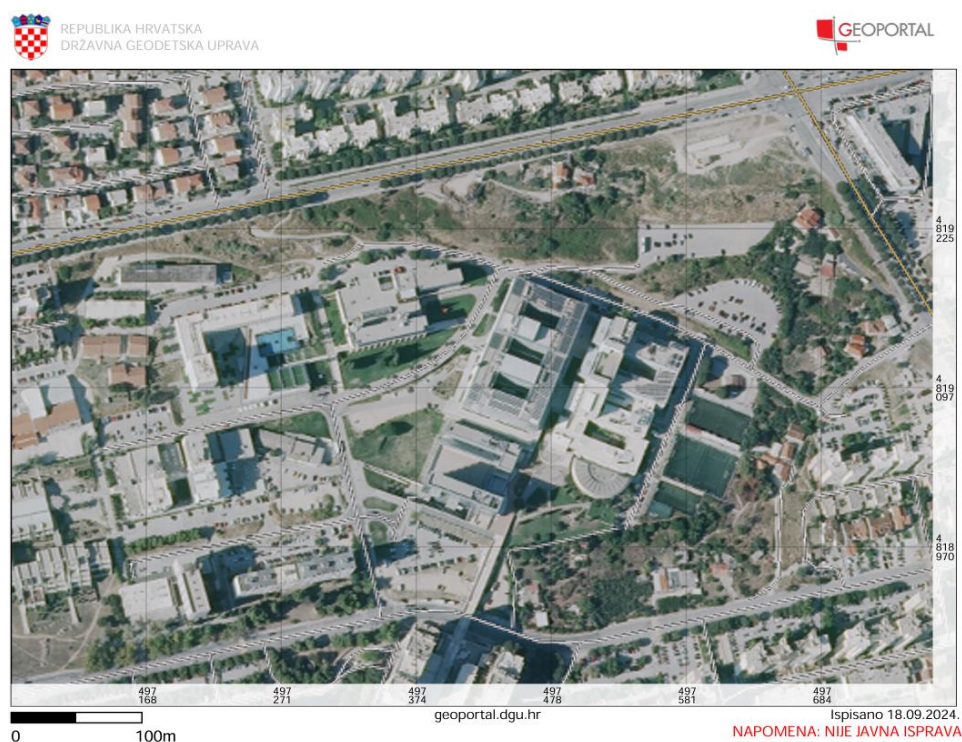
Na temelju prostornih podataka Sveučilišnog kampusa u Splitu prikupljenih putem GEOPORTALA i obrađenih u GIS-u, određeni su i definirani podslivovi oborinskih voda sa granicama unutar kampusa, generiran je sintetički hidrogram korištenjem ITP krivulja, te naposljetku napravljena je projekcija određenih SuDS mjera u GIS-u.

Za pravilno određivanje SuDS (Sustainable Drainage Systems) mjera za odvodnju oborinskih voda korištenjem ITP (Intensity-Duration-Frequency) krivulje i projekcije modela odvodnje na kartu područja Sveučilišnog kampusa u Splitu u GIS-u (Geografski informacijski sustav) napravljeni su sljedeći koraci:

### 2.1. Prikupljanje podataka :

#### 2.1.1. Definiranje granica područja :

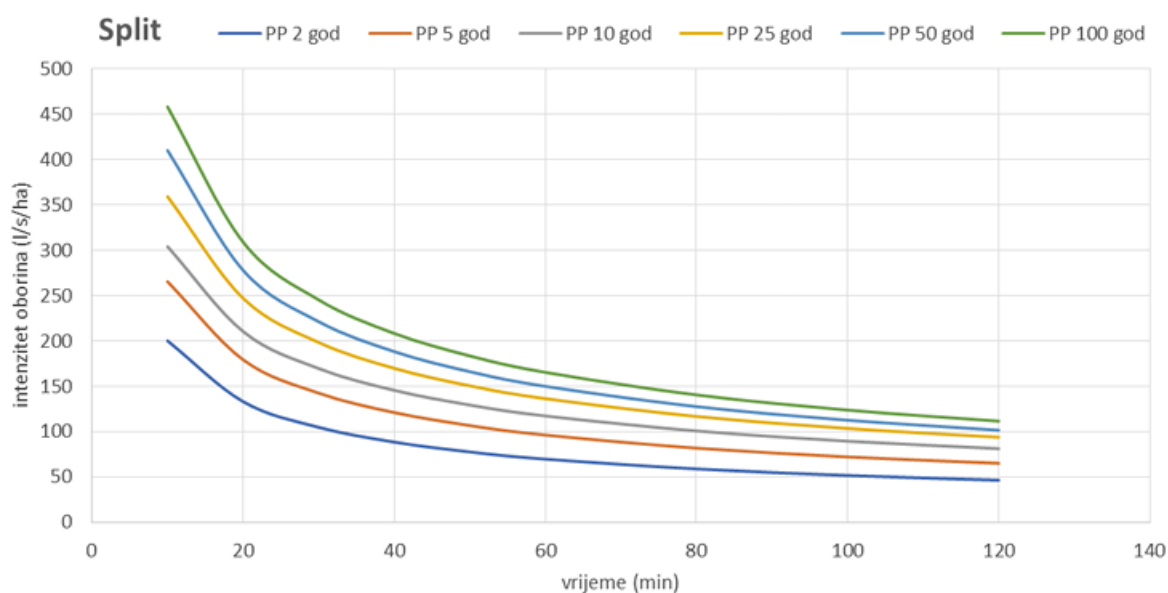
Korištenjem Geoportala definirane su granice kampusa u Splitu na koje se odnosi daljni zadatak .



Slika 4. Situacija Splitskog kampusa

### 2.1.2. Prikupljanje ITP krivulje za Split :

- ITP krivulja prikazuje odnos između intenziteta oborina (I), trajanja oborina (T) i povratnog perioda (P).
- Korištenjem meteoroloških podataka za područje Sveučilišnog kampusa u Splitu, konstruirana se ITP krivulja koja prikazuje očekivane intenzitete oborina za različita trajanja i povratne periode.
- Primjer ITP krivulje:  $I = (T + b) \cdot c \cdot a$ , gdje su a, b i c parametri krivulje određeni na temelju lokalnih meteoroloških podataka.



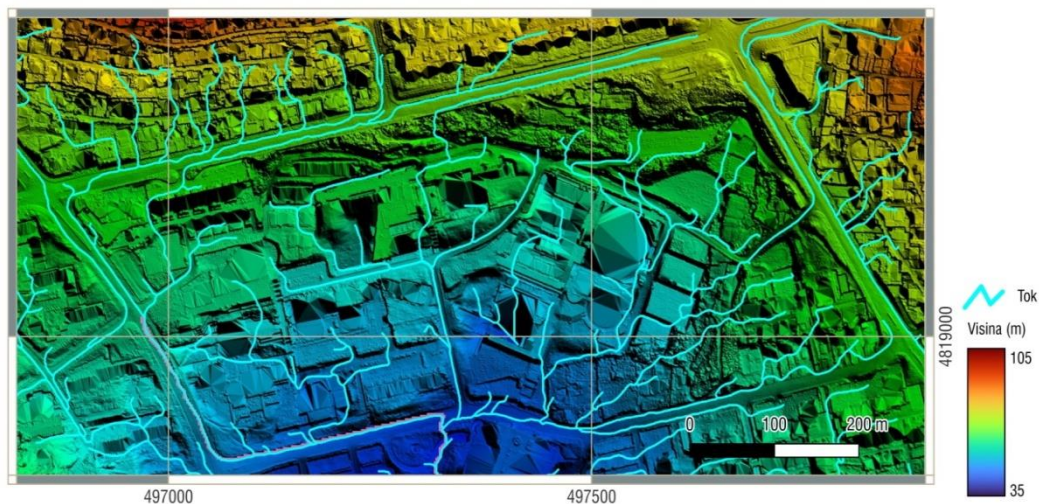
Slika 5 : ITP krivulja za grad Split

(Izvor : [https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/PUVP3%20-%20URP%20-%20200012\\_1.pdf](https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/PUVP3%20-%20URP%20-%20200012_1.pdf))

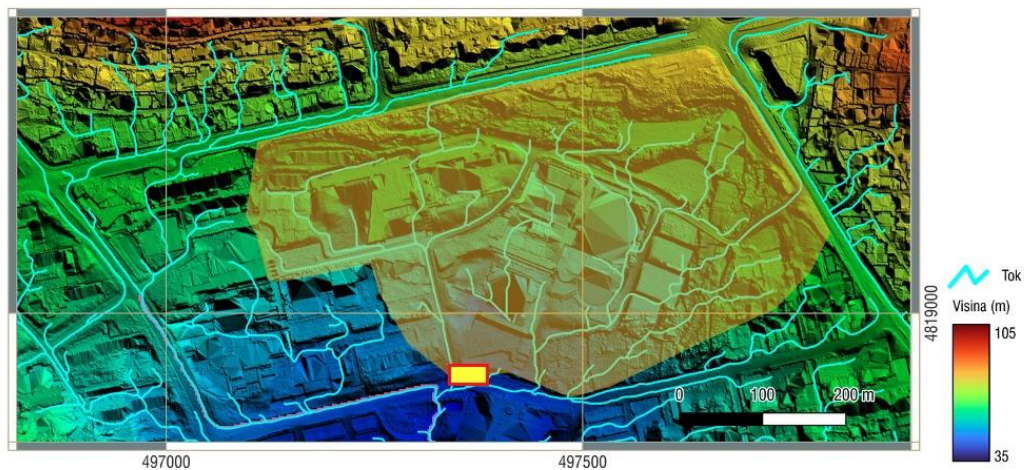
## 2.2. Određivanje podsliva i koeficijenta otjecanja :

### 2.2.1. Određivanje podslivova :

Koristeći prikupljene prostorne podatke definiramo granice podsliva oborinske vode unutar kampusa , procijenimo površinu podsliva te utvrdimo koeficijente otjecanja na temelju vrste površine .



Slika 6 : Prikaz tokova vode na području kampusa



Slika 7 : Granice podsliva

Procjenjena površina podsliva :  $A = 151\,870\text{ m}^2$

### 2.2.2. Koeficijenti otjecanja :

Koeficijent otjecanja sa sliva jest odnos efektivne (neto) oborine i oborine koja padne na sliv (bruto oborina) i veoma je značajna varijabla u analizama procesa otjecanja oborine s određenog sliva .

Koeficijent otjecanja određuje se u ovisnosti o vrsti površine terena koji promatramo (npr. zelene površine, asfaltirane površine, betonirane površine, zgrade...)

Koeficijent otjecanja za različite površine (općenite vrijednosti):

- Nepropusne površine (asfalt, beton, krovovi): 0.85 - 0.95
- Polupropusne površine (travnate površine, parkinzi s propusnim materijalom): 0.3 - 0.6
- Propusne površine (zelene površine, parkovi): 0.1 - 0.3

Za naš podsliv potreban nam je ponderirani koeficijent otjecanja .

Formula koju koristimo je :

$$C_w = \frac{\sum(A_i \times C_i)}{A_{\text{ukupno}}} \quad (1)$$

Gdje je :

$C_w$  = ponderirani koeficijent otjecanja za cijelo područje

$A_i$  = površina i-te površine (npr. krov, asfalt, travnjak)

$C_i$  = koeficijent otjecanja za i-tu površinu

$A_{\text{ukupno}}$  = ukupna površina svih površina uključenih u izračun

Promatrajući naš podsliv vidimo da je većina površine asfalt ili krovovi zgrada , točnije : zelena površina ( 10 % ) , asfalt (30%) , krovovi (60%) . Određeni koeficijent otjecanja je 0.78.

### 2.3. Generiranje sintetičkog higrograma

Sintetički hidrogram oborina je modelirani prikaz protoka vode u rijeci, kanalu ili sustavu oborinske odvodnje kao reakcija na padaline tijekom određenog vremenskog perioda. Ovaj hidrogram prikazuje kako se protok mijenja s vremenom kao rezultat oborina, koristeći teoretske ili empirijske metode za simulaciju stvarnih uvjeta na terenu.

Koristeći ITP krivulju za Split određujemo intezitet kiše za povratni period od 5 godina i odgovarajuće trajanje kiše . Nakon toga pristupamo kreiranju hidrograma koristeći racionalnu metodu (1) . Racionalna metoda je jednostavna i često korištena metoda za procjenu vršnog protoka koji nastaje uslijed određenog kišnog događaja. Koristi se za male do srednje velike slivove , obično površine do 80 km<sup>2</sup> . Ova metoda temelji se na pretpostavci da će se vršni protok dogoditi kada cijeli sliv doprinese otjecanju , što se događa pri trajnoj kiši .

$$Q = C * i * A \quad (2)$$

gdje je :

- Q = vršni protok ( m<sup>3</sup>/s )
- C = koeficijent otjecanja (bezdimenzijski )
- i = intezitet kiše (mm/h , m/s )
- A = površina sliva ( ha , km<sup>2</sup> )

Intezitet kiše na području Splita za tipična trajanja kiše (15min , 30min , 1h , 2h ) za povratni period 5 godina iznosi :

- Za trajanje od 15 minuta (0.25 sati): intenzitet je 225 L / s / ha
- Za trajanje od 30 minuta (0.5 sati): intenzitet je 135 L / s /ha
- Za trajanje od 1 sata: intenzitet je 100 L / s / ha
- Za trajanje od 2 sata: intenzitet je 70 L / s / ha

Prije uvrštavanja u formulu L / s / ha pretvaramo u m / s :

$$220 \text{ L / s / ha} = ( 225 * 0.001 ) / 10000 = 0.0000225$$

$$135 \text{ L / s / ha} = ( 135 * 0.001 ) / 10000 = 0.0000135$$

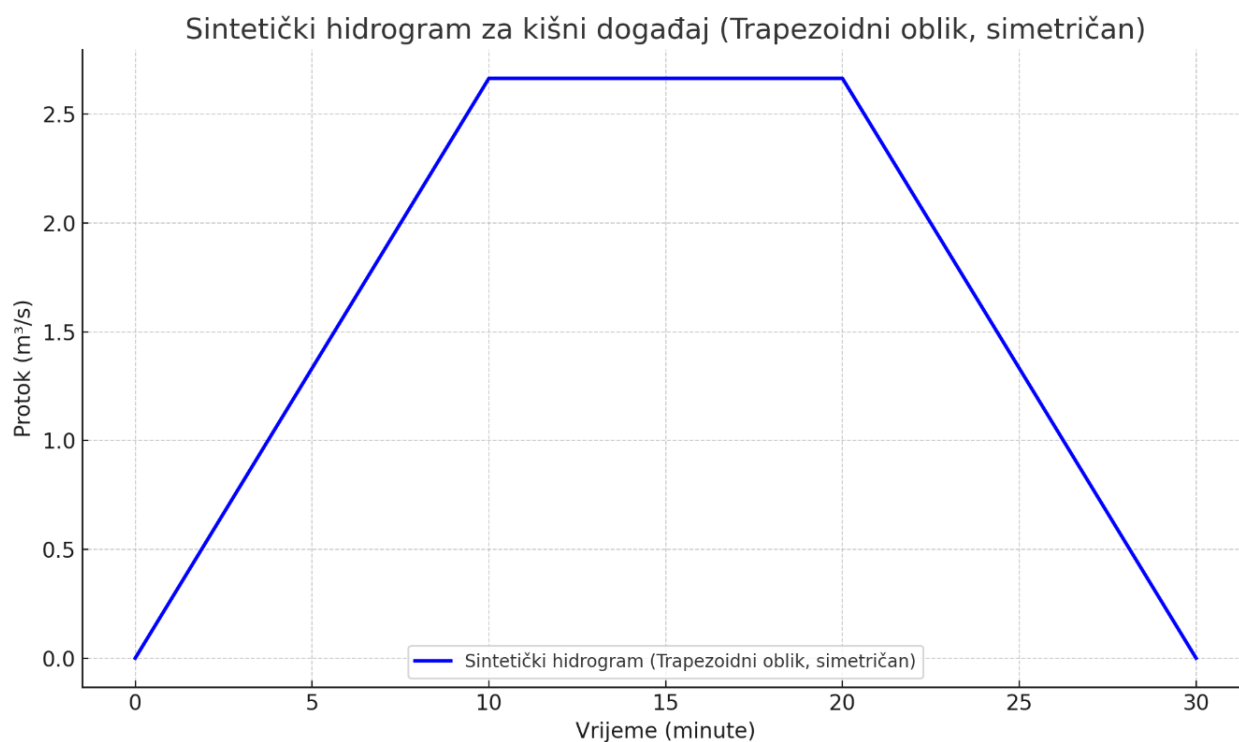
$$100 \text{ L / s / ha} = ( 100 * 0.001 ) / 10000 = 0.00001$$

$$70 \text{ L / s / ha} = ( 70 * 0.001 ) / 10000 = 0,000007$$

Izračun vršnog protoka ( za trajanje kiše 15 minuta ) :

$$Q = 0.78 * 0.0000225 \text{ m / s} * 151\,870 \text{ m}^2 = 2,665 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Na temelju dobivenih podataka generiramo sintetički hidrogram :



Slika 8 : ( Generirani sintetički hidrogram )

Generirani sintetički hidrogram ima trapezoidni oblik , sa vremenom koncentracije od 10 minuta , nakon toga postiže se vršni protok u iznosu od  $2.665 \text{ m}^3 / \text{s}$  , u trajanju od 10 minuta , a potom pad protoka nakon završetka oborine .

Površina ispod hidrograma daje nam ukupni volumen oborine koja iznosi  $2398.5 \text{ m}^3$

Ovaj hidrogram ilustrira kako kraći kišni događaj uzrokuje brzi porast i pad otjecanja, što je važno za dizajn sustava oborinske odvodnje u urbanim sredinama.



### 3. Kišni vrtovi

Kišni vrtovi (engl. *rain gardens*) su uređen i dizajniran dio zemljišta koji je posebno osmišljen za zadržavanje, infiltraciju i filtriranje oborinskih voda. Oni su plitke depresije u zemlji ispunjene vegetacijom, slojem zemlje i materijalom koji omogućuje upijanje vode, poput pijeska ili šljunka.

Glavne karakteristike :

**Uloga u upravljanju oborinskim vodama:** Kišni vrtovi primaju oborinsku vodu s nepropusnih površina poput krovova, parkirališta i puteva te omogućuju njen prolazak kroz tlo. Voda se prirodno infiltrira u tlo, čime se smanjuje otjecanje i smanjuje rizik od poplava.

**Filtracija zagađivača:** Dok voda prolazi kroz tlo i biljni materijal kišnog vrta, zagađivači kao što su ulja, metali i hranjive tvari filtriraju se i razgrađuju, poboljšavajući kvalitetu vode koja se vraća u podzemne vode ili lokalne vodotoke.

**Podrška bioraznolikosti:** Kišni vrtovi često koriste domaće vrste biljaka koje su otporne na lokalne klimatske uvjete. Ove biljke ne samo da pomažu u filtriranju vode nego i podržavaju lokalnu bioraznolikost pružajući stanište za ptice, insekte i druge životinje.

**Estetska i ekološka vrijednost:** Kišni vrtovi mogu biti atraktivni elementi u urbanom krajoliku. Osim što pomažu u upravljanju vodama, oni poboljšavaju estetsku vrijednost prostora, pružaju rekreacijske i obrazovne mogućnosti te smanjuju urbani efekt toplinskog otoka.

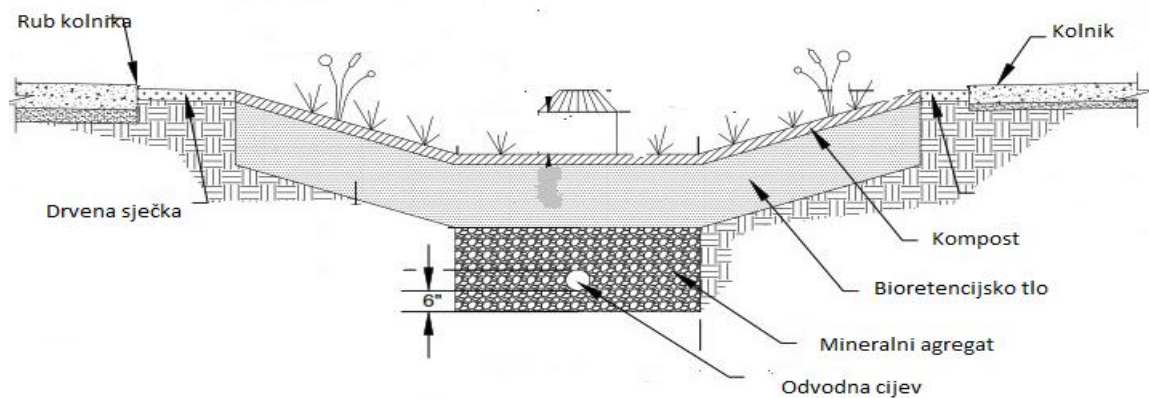
#### Kako funkcioniraju kišni vrtovi:

- **Prikupljanje vode:** Voda s nepropusnih površina usmjerava se u kišni vrt.
- **Infiltracija:** Voda se polako infiltrira u tlo kroz porozne slojeve materijala.
- **Biljke:** Vegetacija pomaže u transpiraciji vode, a korijenje biljaka poboljšava strukturu tla i njegovo upijanje.

- Filtracija: Tlo i biljke filtriraju zagađivače, poboljšavajući kvalitetu vode koja se vraća u okoliš.



Slika 9 : Primjer kišnih vrtova u Puli , (Izvor :<https://green.hr/pula-je-grad-spuzva-s-vise-od-10-kisnih-vrtova/>)



Slika 10. Tipični presjek kišnog vrta , ( Izvor : [stormwater.cob.org](http://stormwater.cob.org) )

### 3.1. Dimenzioniranje kišnog vrta

Infiltracija iz kišnog vrta je proces kojim oborinska voda prolazi kroz tlo i ulazi u podzemne slojeve . Kišni vrtovi su dizajnirani tako da poboljšaju infiltraciju , smanjujući površinsko otjecanje I povećavajući zalihe podzemnih voda .

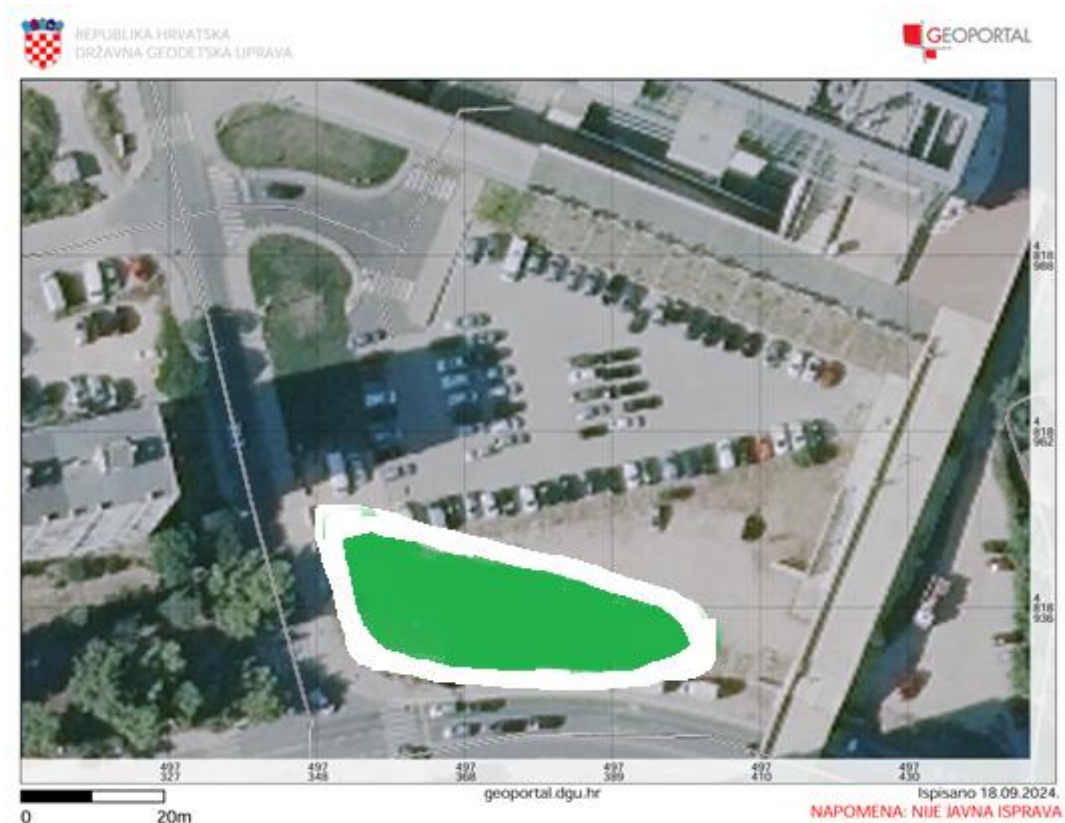
#### 3.1.1.Lokacija

Kako bi odredili lokaciju za smještaj kišnog vrta moramo voditi računa o nekoliko parametara :

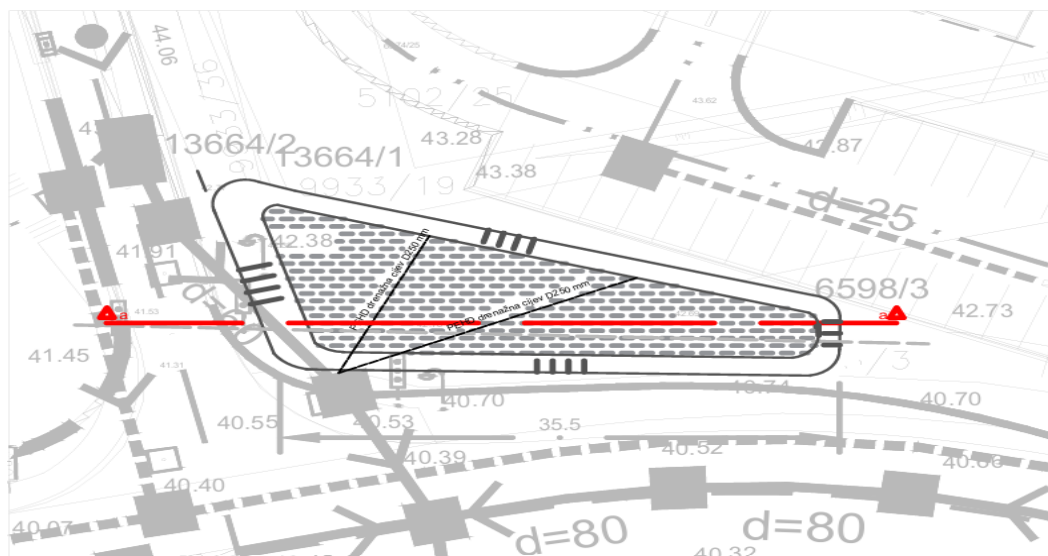
1. **Lokacija blizu izvora otjecanja :** Idealno je smjestiti kišni vrt blizu područja gdje oborinska voda teče ili se akumulira , kao što su oluci s krovova , parkirališta , ili druge tvrde površine koje generiraju otjecanje .
2. **Topografija terena :** Kišni vrt najbolje funkcioniра na blago nagnutim površinama gdje je nagib između 1 i 4 % . Također važno je odabrati teren koji nije podložan ekstremnim poplavama koje bi mogle oštetiti biljni i mikrobiološki život u vrtu .
3. **Svojstva tla :** Prije odabira lokacije , potrebno je provesti test infiltracije kako bi se osiguralo da tlo ima potrebnu propusnost . Tlo mora biti dovoljno duboko da podrži rast korijenja biljaka koje će biti zasađene u vrtu .
4. **Sunčeva svjetlost :** Većina biljaka koje se koriste u kišnom vrtu zahtijeva puno sunca , važno je odabrati lokaciju sa dostatnom dostupnosti sunčeve svjetlosti .
5. **Praktičnost održavanja i estetika :** Kišni vrt treba biti smješten na mjestu gdje će doprinijeti estetskoj vrijednosti okoliša i biti lako dostupan za održavanje i nadzor.

**Regulativni zahtjevi i lokalne smjernice :** Važno je provjeriti lokalne propise I smjernice koje mogu utjecati na dizajn i lokaciju kišnog vrta.

Uzimajući u obzir sve parametre , te promatrajući kartu tokova na kampusu ( Slika 6. ) odabrana lokacija za kišni vrt je ulaz na kampus , ispod sveučilišne knjižnice , netom iznad Ulice Matice Hrvatske .



Slika 11 : Situacija kišnog vrta



Slika 12 : Projekt kišnog vrta

### 3.1.2. Proračun

Za potrebe proračuna kišnog vrta koristit ćemo 3 osnovne jednažbe :

A) Jednažba kontinuiteta

Jednažba kontinuiteta za nestacionarni tok s blagim promjenama u otvorenom vodotoku (uvijet nestišljivosti vode)

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

gdje je :

Q = protok (m<sup>3</sup>/s)

A = površina poprečnog presjeka toka (m<sup>2</sup>)

x = udaljenost duž provodnika (m)

t = vrijeme (s)

B) Manningova jednadžba

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2} \quad (4)$$

gdje je :

Q = protok (m<sup>3</sup>/s)

A = površina poprečnog presjeka toka (m<sup>2</sup>)

R = hidraulički radius (m) (R = A/O, gdje je O omočeni opseg)

n = Manningov koeficijent trenja (bezdimezionalan)

S<sub>f</sub> = gubitak od trenja (bezdimezionalan)

C) Darcyev zakon

Darcyev zakon se koristi za opisivanje protoka vode kroz porozni mediji.

$$Q_i = K_s * A * H/L \quad (5)$$

Gdje je :

Q<sub>i</sub> – infiltracija (m<sup>3</sup>/s )

K<sub>s</sub> – hidraulička vodljivost tla ( m/s )

A – površina kišnog vrta (m<sup>2</sup>)

H – promjena visine vode ( m )

L – debljina tla kroz koje voda prolazi ( m )

Podaci :

Površina kišnog vrta A = 430 m<sup>2</sup>

Promjena visine vode  $H = 0.5 \text{ m}$

Debljina tla kroz koje voda prolazi  $d = 0.5 \text{ m}$

Računamo hidraulički gradijent :

$$Dh / dl = h / d = 1$$

Primjenjujemo Darcyev zakon :  $Q = 0.001 \text{ m / s} * 430 \text{ m}^2 * 1 = 0.43 \text{ m}^3 / \text{s}$

Dakle , kišni vrt infiltrira  $0.43 \text{ m}^3$  po sekundi .

Ukupna zapremina :  $V_{uk} = (A1 + A2) / 2 * h = 200 \text{ m}^3$

Akumuliranje pora :

$$\text{Kompost : } V_{kompost} = 0.3 * 430 * 0.15 = 19.35 \text{ m}^3$$

$$\text{Mineralni agregat : } V_{agregat} = 0.4 * 430 * 0.25 = 43 \text{ m}^3$$

UKUPNA ZAPREMINA Vukupno =  $262.35 \text{ m}^3$

Protok oborinske vode koji treba cijevima odvoditi do okna :

$$Q_{cijev} = Q_{ukupno} - Q_{infiltrirano} = 2.665 - 0.43 = 2.235 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Površina cijevi :

$$A = \pi * \left(\frac{0.25}{2}\right)^2 = 0.0491 \text{ m}^2$$

Omočeni opseg :

$$P = \pi * d = \pi * 0.25 = 0.7854 \text{ m}$$

Hidraulički radijus :

$$R = \frac{0.0491}{0.7854} = 0.0625 \text{ m}$$

Manningova jednađžba :

$$Q = \frac{1}{0.012} * 0.0491 * (0.0625)^{\frac{2}{3}} * (0.01)^{0.5} = 0.0644 \frac{m^3}{s} = 64.4 \text{ L/s}$$

Dakle , jedna cijev uz nagib 1 % može drenirati 64.4 L / s , odnosno za 2 ukupno 128.8 L / s

Vrijeme dreniranja kišnog vrta :

$$t = \frac{V}{Q_{uk}} \quad (6)$$

Gdje je :

V – ukupna zapremina kišnog vrta

Q<sub>uk</sub> – ukupni protok kroz cijevi

$$t = 262.35 \text{ m}^3 / 0.1288 \text{ m}^3 / \text{s} = 2036.9 \text{ s} = 40 \text{ minuta}$$



### 3.1.3. Osvrt

Dakle primjenom Darcyevog zakona dobivamo infiltrirani protok kišnog vrta koji iznosi  $0.43 \text{ m}^3/\text{s}$ . Analizom projektiranog vrta u autocadu dobivamo površine gornjeg i donjeg ruba kišnog vrta, što koristimo za proračun ukupne zapremine. Množeći srednju površinu sa dubinom sloja vode dobivamo ukupnu zapreminu akumulacije u vrijednosti od  $200 \text{ m}^3$ . Ukupni akumulacijski kapacitet vrta zbroj je zapremine akumulacijskog sloja vode, te zapremine akumulirane u porama i iznosi  $262.35 \text{ m}^3/\text{s}$ . Koristeći Manningovu formulu dolazimo do kapaciteta vode koji postavljene PEHD cijevi mogu drenirati. Projektirane dvije PEHD cijevi uz nagib od 1 % mogu drenirati  $128.8 \text{ L/s}$ . Zadnji dio analize odnosi se na proračun vremena potrebnog za pražnjenje ukupnog kapaciteta vrta drenažnim cijevima. Navedeno vrijeme potrebno za potpuno pražnjenje iznosi 40 minuta.

## 4. Zaključak

Analiza ITP (Intensity-Duration-Frequency) krivulje za područje Sveučilišnog kampusa ključna je za razumijevanje lokalnih oborinskih obrazaca i procjenu intenziteta oborina za odabrani povratni 5 - godišnji period. Ovi podaci pružaju solidnu osnovu za dimenzioniranje i odabir odgovarajućih SuDS (Sustainable Drainage Systems) mjera, koje će učinkovito upravljati oborinskim vodama. Metoda projektiranja kišnog vrta pokazala se kao vrlo prikladna SuDS mjera za ovo područje, s obzirom na svoje sposobnosti infiltracije oborinskih voda u tlo i smanjenja opterećenja konvencionalnog sustava odvodnje.

Prostorna analiza u GIS-u (Geografski Informacijski Sustav) omogućuje integraciju kišnih vrtova u postojeću infrastrukturu i okoliš Sveučilišnog kampusa, optimizirajući njihov raspored i procjenjujući ukupni učinak na upravljanje oborinskim vodama.

Odabir ove mjere na području Sveučilišnog kampusa ima brojne prednosti. Ona učinkovito smanjuje opterećenje konvencionalnog sustava odvodnje, povećavaju infiltraciju oborinskih voda u tlo i doprinose opskrbi podzemnih voda. Nadalje, lako se integriraju s okolišem i krajolikom kampusa, pružajući višestruke koristi poput poboljšanja estetike i mikroklike. U usporedbi s drugim SuDS rješenjima ova kombinacija je relativno jednostavna za implementaciju i održavanje, što dodatno povećava njenu atraktivnost.

U kontekstu prilagodbe klimatskim promjenama, ovaj sveobuhvatni pristup, koji kombinira analizu ITP krivulje, odabir prikladnih SuDS mjera i njihovo prostorno projektiranje u GIS-u, pokazuje se kao iznimno vrijedan alat. Naime, klimatske promjene donose neizvjesnost u oborinske obrasce, s mogućnošću učestalijih i intenzivnijih oborina. Upravo zelena infrastruktura, poput kišnih vrtova, ima sposobnost prilagodbe i ublažavanja učinaka takvih promjena, pružajući otpornost i održivost sustavu odvodnje. Predložena SuDS mjera stoga predstavlja sveobuhvatno rješenje za učinkovito i prilagodljivo upravljanje oborinskim vodama na području Sveučilišnog kampusa, u skladu s izazovima klimatskih promjena.

## 5.Literatura

- 1) Andrić I. et.al. H2OBEST, State of the Art, NbS in Stormwater management (2021), University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, Split
- 2) LiDAR snimanje iz zraka (2022), Državna geodetska uprava, Zagreb
- 3) Program razvoja zelene infrastrukture u urbanim područjima za razdoblje od 2021. do 2030. godine (2021), Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, Zagreb
- 4) <https://www.eea.europa.eu/hr/articles/zelena-infrastruktura-bolji-zivot-uz>, pristupljeno 31. kolovoz 2024.
- 5) <https://www.eea.europa.eu/hr>, pristupljeno 30. kolovoz 2024.
- 6) <https://mpgi.gov.hr/vijesti-8/donesen-program-razvoja-zelene-infrastrukture-u-urbanim-podrucjima/14152> , pristupljeno 03. rujna 2024.

## **6. Grafički prilozi**