

# Upravljanje oborinskim vodama u urbanim područjima

---

**Bugarin, Toni**

**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:123:534597>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-13**



*Repository / Repozitorij:*

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



**FGAG  
SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**ZAVRŠNI RAD**

**UPRAVLJANJE OBORINSKIM VODAMA U URBANIM  
PODRUČJIMA**

AKADEMSKA GODINA 2023/2024

MENTOR: Ivo Andrić

STUDENT: Toni Bugarin

U Splitu, rujan 2024.



STUDIJ: SVEUČILIŠNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO  
KANDIDAT: Toni Bugarin  
MATIČNI BROJ: 0083225792  
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 Kampus Sveučilista u Splitu te predložiti odgovarajuće mjere upravljanja oborinskim vodama koristeći rješenja poroznih površina i uporabe poroznog betona.

Cilj rada je istražiti mogućnosti implementacije parkinga kao akumulacijske površine za oborinske vode na primjeru parkinga unutar Kampus, s ciljem smanjenja opterećenja kanalizacijskog sustava i smanjenja rizika od poplava na urbanom području kampus. Kroz rješenje zadatka potrebno je: provesti analizu prostornih podataka (dostupni GIS podaci) i 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 Kampus.

U Splitu, 29.3.2024

Mentor:  
Komentor:

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

## Sadržaj

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD.....  | 4  |
| 1.1 Opis predmetne lokacija.....  | 7  |
| 1.2 Sustavi održive odvodnje (SUDS).....  | 9  |
| 2. ANALIZA OBORINSKIH VODA.....   | 11 |
| 2.1. Prikupljanje podataka.....   | 11 |
| 2.2. Određivanje slivova i koeficijenata otjecanja.....                                     | 13 |
| 2.2. Generiranje sintetičkog hidrograma.....  | 15 |
| 3. AKUMULACIJSKE POVRŠINE.....  | 17 |
| 4. PRIJEDLOG RJEŠENJA U OBLIKU PROPUSNIH POVRŠINA S POSTUPNOM<br>INFILTRACIJOM OBORINA..... | 19 |
| 5. POSTUPAK DIMENZIONIRANJA AKUMULACIJSKOG PARKINGA.....                                    | 21 |
| 6. DIMENZIONIRANJE OTJECANJA NA IZDVOJENOM SLIVU.....                                       | 22 |
| 7. DIMENZIONIRANJE PRESJEKA PARKINGA.....   | 25 |
| 8. DIMENZIONIRANJE DRENAŽNIH CIJEVI.....  | 27 |
| 9. ZAKLJUČAK.....   | 29 |
| Literatura.....   | 30 |
| Grafički prilozi.....   | 31 |
| Situacija.....  | 31 |
| Uzdužni presjek.....  | 32 |

## 1. UVOD

Zbog sve izraženijih klimatskih promjena i ubrzane urbanizacije, gradovi širom svijeta, uključujući Split, suočavaju se s kompleksnim izazovima u upravljanju vodenim resursima. Poseban problem predstavlja otjecanje oborinskih voda u gradovima, što doprinosi poplavama, zagađenju voda i ugrožavanju ekosustava. Tradicionalna "siva" infrastruktura, premda često učinkovita, ne uspijeva u potpunosti riješiti ove višestruke izazove. Kao odgovor na to, sve se više pozornosti usmjerava na rješenja koja se oslanjaju na prirodne procese (Nature-based Solutions, NbS), koja nude dugoročne i održive metode upravljanja 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))

Prema Međunarodnoj uniji za očuvanje prirode (IUCN), NbS su "aktivnosti koje uključuju zaštitu, održivo upravljanje i obnovu prirodnih ili izmijenjenih ekosustava, rješavajući društvene izazove na učinkovit i prilagodljiv način, dok istodobno pružaju korist ljudima i biodiverzitetu" (IUCN, 2016). U urbanom kontekstu upravljanja oborinskim vodama, NbS obuhvaća razne intervencije koje oponašaju ili se prilagođavaju prirodnim procesima radi poboljšanja apsorpcije, filtracije i postepenog otjecanja vode. Upravljanje oborinskim vodama može se promatrati kroz dva pristupa:

- Upravljanje koje simulira prirodni hidrološki ciklus, uključujući infiltraciju, sakupljanje i kontrolirano otpuštanje vode.
- Odvodnja oborinskih voda kroz kanalizacijske sustave i njihovo prikupljanje u retencijskim bazenima.

Ovaj rad se bavi analizom postojećeg stanja oborinskih voda i istražuje mogućnosti primjene NbS rješenja u upravljanju vodnim resursima u urbanim područjima, s posebnim fokusom na Sveučilišni kampus u Splitu te na specifičnosti mediteranskog klimatskog okruženja.

Razmotrit ćemo potencijal NbS-a u rješavanju ključnih problema:

- **Smanjenje rizika od poplava:** Poboljšanjem kapaciteta za zadržavanje vode i poticanjem njezine infiltracije, NbS mogu smanjiti rizik od poplava u urbanim dijelovima Splita.
- **Poboljšanje kakvoće vode:** Prirodni procesi filtriranja mogu ukloniti zagađivače iz oborinskih voda, čime se podiže kvaliteta vode koja se ulijeva u Jadransko more i lokalne vodene tokove.
- **Povećanje ekosustavnih usluga:** NbS rješenja mogu omogućiti stvaranje novih ili obnovu postojećih staništa unutar Splita, čime bi se poticala bioraznolikost te pružale dodatne ekološke usluge poput sekvestracije ugljika i smanjenja učinka urbanih toplinskih otoka.
- **Prilagodba klimatskim promjenama:** Povećanjem otpornosti urbanih vodnih sustava, NbS mogu pomoći Splitu da se prilagodi sve učestalijim ekstremnim vremenskim uvjetima karakterističnim za mediteransku regiju.
- **Društvene i ekonomske koristi:** Zelene površine stvorene primjenom NbS-a mogu unaprijediti estetiku Splita, pružiti dodatne mogućnosti za rekreaciju i pozitivno utjecati na vrijednost nekretnina.

Istraživanje predstavljeno u ovom radu/zadatku ima za cilj:

- Procijeniti učinkovitost različitih mjera pristupa u upravljanju oborinskim vodama
- Analizirati izazove i mogućnosti implementacije mjera u postojećem urbanom kontekstu Splita
- Analizirati dugoročne performanse i zahtjeve održavanja mjera u usporedbi s tradicionalnim pristupima upravljanju oborinskim vodama, s posebnim osvrtom na otpornost na suše i intenzivne oborine karakteristične za mediteransku klimu.
- Istražiti potencijal integracije NbS s konvencionalnom "sivom" infrastrukturom za stvaranje hibridnih sustava koji maksimiziraju koristi i prevladavaju ograničenja u specifičnom kontekstu grada Splita.
- Osposobiti studente kroz završni rad za praktično korištenje prostornih podataka, hidroloških proračuna i suvremenih alata za dimenzioniranje održivih sustava odvodnje

## 1.1. Opis predmetne lokacije

Sveučilišni kampus u Splitu smješten je u gradskoj četvrti Visoka, na istočnom dijelu grada. Izgradnja kampusa započela je krajem 20. stoljeća s ciljem objedinjavanja fakulteta i drugih sveučilišnih institucija na jednom mjestu, što je bio značajan korak za akademsku zajednicu u Splitu. Kampus je s vremenom postao centralno mjesto za obrazovne, istraživačke i sportske aktivnosti, obuhvaćajući zgrade fakulteta, knjižnice, studentske domove i rekreacijske sadržaje.

Vrsta tla i izgradnja:

Kampus je izgrađen na mješovitom terenu koji uključuje vapnenačke formacije, karakteristične za dalmatinsko priobalje, ali i aluvijalna tla na nižim dijelovima. Vapnenac može biti izazovan za gradnju zbog poroznosti i sklonosti pukotinama, što je zahtijevalo posebne tehnike temeljenja i stabilizacije tla. Tlo je djelomično prohodno za vodu, što je moglo utjecati na odvodnju oborinskih voda i infrastrukturne izazove tijekom izgradnje.

Urbanistički izazovi:

Jedan od ključnih urbanističkih problema bio je osigurati efikasnu infrastrukturu za promet i parkiranje unutar kampusa, s obzirom na nagli porast broja studenata i vozila. Planiranje sustava oborinske odvodnje također je predstavljalo izazov zbog mješovitih tipova tla i brdovitog reljefa. To je zahtijevalo pažljivo upravljanje oborinskim vodama kako bi se spriječile poplave i erozija. Retencijski bazeni i drugi SuDS sustavi odvodnje uvedeni su kao dio rješenja za kontrolu otjecanja oborinskih voda.





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> )



Slika 3 : urbanistički plan uređenja za područje kampusa ( izvor: <https://split.hr/ukljucise/prostorno-planska-dokumentacija/planovi-na-snazi/upu-i-na-snazi> )

## 1.2. Sustavi održive odvodnje (SuDS)

Sustavi održive odvodnje oborinskih voda (SuDS – Sustainable Drainage Systems) sve se više koriste u urbanom planiranju kao odgovor na izazove koje tradicionalni sustavi odvodnje nisu u stanju riješiti na održiv način. U konvencionalnim sustavima oborinska voda se s nepropusnih površina, poput cesta, krovova i parkirališta, brzo odvodi u kanalizaciju, rijeke i mora, često izazivajući poplave, eroziju i onečišćenje vodnih tijela. SuDS sustavi predstavljaju prirodniji i integriraniji pristup upravljanju oborinskom vodom, nadovezujući se na prirodne procese kako bi se smanjio negativan utjecaj urbanizacije na okoliš.

### Što su SuDS sustavi?

SuDS sustavi predstavljaju skup različitih mjera i rješenja koja za cilj imaju upravljanje oborinskom vodom kroz usporavanje otjecanja, filtriranje onečišćenja i povećanje kapaciteta tla za upijanje vode. Oni uključuju rješenja koja su specifično dizajnirana kako bi oponašala prirodne procese infiltracije, usporavanja otjecanja i isparavanja, umjesto da se oslanjaju isključivo na tradicionalne kanalizacijske sustave.

Ovi sustavi mogu uključivati:

- **Prirodna rješenja** poput infiltracijskih jaraka, bioretencijskih zona i kišnih vrtova.
- **Tehnička rješenja** kao što su permeabilne površine (porozni beton ili asfalt), podzemne retencijske komore i akumulacijski bazeni.

**Razlozi korištenja SuDS sustava:**

1. **Kontrola oborinskih voda:** U urbanim sredinama, povećana površina pod asfaltom i betonom smanjuje sposobnost tla da apsorbira oborinske vode. SuDS sustavi omogućuju bolje upravljanje oborinama smanjenjem otjecanja s nepropusnih površina, kao što su krovovi i ceste.
2. **Smanjenje rizika od poplava:** SuDS sustavi kontroliraju brzinu otjecanja oborinskih voda u kanalizacijsku mrežu, smanjujući pritisak na infrastrukturu tijekom jakih kiša. Ovi sustavi mogu usporiti otjecanje vode i omogućiti postupno ispuštanje u tlo ili kanalizaciju.
3. **Poboljšanje kvalitete vode:** Tradicionalni sustavi odvodnje često ispuštaju oborinske vode izravno u vodotoke, noseći sa sobom onečišćenja poput ulja, sedimenta i kemikalija. SuDS sustavi, poput infiltracijskih jaraka, zelenih krovova i kišnih vrtova, filtriraju vodu, uklanjajući zagađivače prije nego što voda dospije u prirodne vodene tokove.
4. **Podrška bioraznolikosti:** Primjenom zelenih rješenja, poput kišnih vrtova i biozadržki, SuDS sustavi pomažu u stvaranju novih staništa za biljni i životinjski svijet, čime se povećava bioraznolikost u urbanim sredinama.
5. **Održiva urbanizacija:** S porastom urbanizacije, SuDS sustavi pružaju priliku za održivo planiranje gradova. Umjesto da se oslanjamo na skupe tradicionalne metode odvodnje, SuDS sustavi integriraju prirodne procese infiltracije, isparavanja i skladištenja vode u urbano okruženje.

**Glavne SuDS mjere:**

- **Infiltracijska polja:** Prostor gdje se oborinska voda upija u tlo, smanjujući otjecanje i doprinoseći obnovi podzemnih voda.
- **Kišni vrtovi:** Zeleni prostori dizajnirani za prikupljanje i filtriranje oborinskih voda.
- **Retencijski bazeni:** Umjetno oblikovana jezera ili bazeni koji privremeno zadržavaju oborinsku vodu.
- **Permeabilne površine:** Ceste ili parkirališta izrađeni od poroznih materijala koji omogućuju prodiranje vode u tlo.

## 2. Analiza oborinskih voda

Na temelju prostornih podataka Sveučilišnog kampusa u Splitu prikupljenih putem Google Maps-a i obrađenih u GIS-u, određeni su i definirani slivovi oborinskih voda sa granicama unutar kampusa, generiran je sintetički hidrogram korištenjem ITP krivulja te je napravljena 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 :

-Definiranje granica područja :

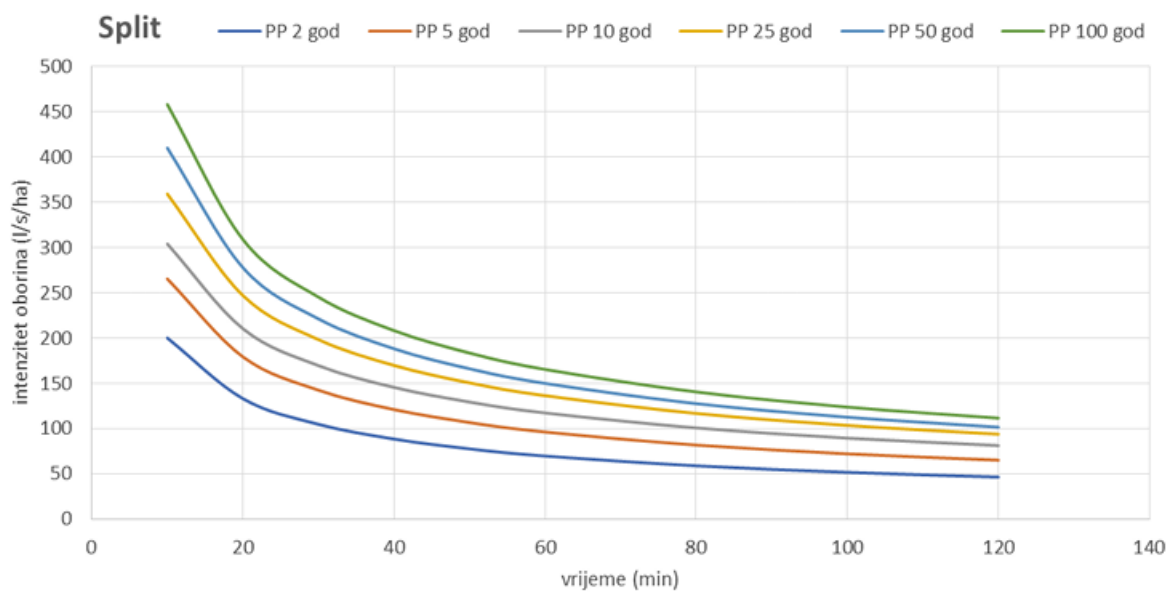
Korištenjem Geoportala definirane su granice kampusa u Splitu na koje se odnosi daljnji zadatak .



Slika 4. Tlocrtni prikaz kampusa Split ,( Izvor : <https://Geoportal.dgu.hr> )

-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, konstruira 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.



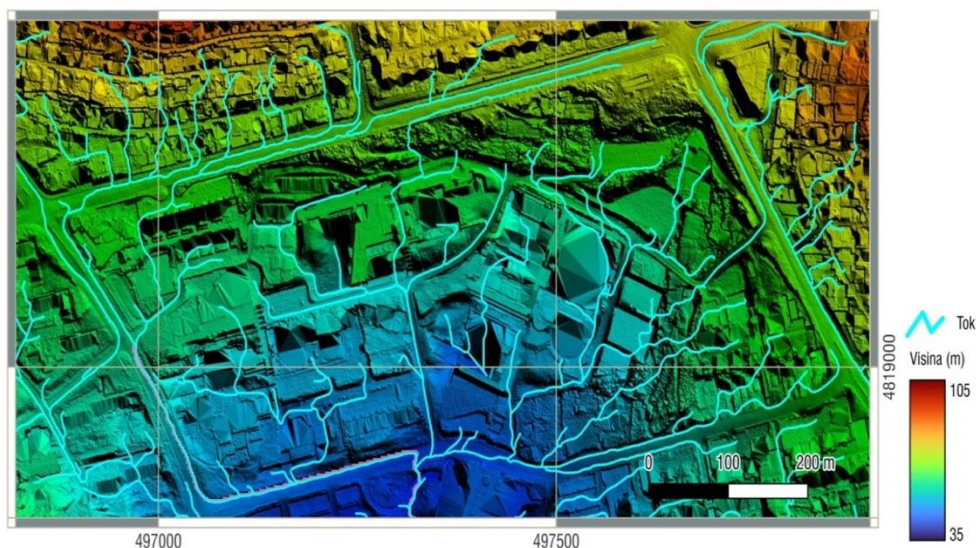
Slika 5 : ITP krivulja za grad Split

(Izvor : [https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/PUVP3%20-%20URP%20-%20012\\_1.pdf](https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/PUVP3%20-%20URP%20-%20012_1.pdf))

## 2.2. Određivanje slivova i koeficijenta otjecanja :

Određivanje podslivova :

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



Slika 6 : Prikaz tokova na području kampusa



Slika 7 : Tlocrtni prikaz podjele kampusa na 3 podsliva, ( Izvor : <https://Geoportal.dgu.hr> )

Uz pomoć Geoportala napravili smo podjelu kampusa na 3 podsliva i procijenili smo njihovu površinu.

Podsliv 1 ( zapadni dio) ima procjenjenu površinu od 42600 m<sup>2</sup>,

Podsliv 2 ( sjeveroistočni dio) 64000 m<sup>2</sup>

Podsliv 3 (jugoistočni dio) 72800 m<sup>2</sup>.

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

Podsliv 1 : Većina površine je asfalt ili krovovi zgrada , područje se sastoji od asfalta ( 70% ) , zelene površine ( 10% ) , i krovova ( 20% ) .

Određeni koeficijent otjecanja je 0.81.

Podsliv 2 : Pretežno zelena površina ( 80% ) , krovovi zgrada ( 20 % ) .

Određeni koeficijent otjecanja je 0.33 .

Podsliv 3 : Zelena površina ( 10 % ) , asfalt ( 30% ) , krovovi ( 60% ) .

Određeni koeficijent otjecanja je 0.78.

Izračun ponderiranog koeficijenta otjecanja: 
$$C_{pond} = \frac{(C_1 * A_1) + (C_2 * A_2) + \dots + (C_n * A_n)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Za područje kampusa smo izračunali  $C_{pond} = 0.64$

### 2.3. Generiranje sintetičkog hidrograma

**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 intenzitet kiše za povratni period od 5 godina i odgovarajuće trajanje kiše . Nakon toga pristupamo kreiranju hidrograma koristeći racionalnu metodu . 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 .

Matematički izraz :  $Q = C * I * A$  (1)

gdje je :

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

Intenzitet kiše na području Splita za tipična trajanja kiše (10min , 30min , 1h , 2h ) za povratni period 5 godina iznosi :

- Za trajanje od 10 minuta (0.167 sati): intenzitet je 270 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 :

$$270 \text{ L / s / ha} = (270 * 0.001) / 10000 = 0.000027 \text{ m/s}$$

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

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

$$70 \text{ L / s / ha} = (70 * 0.001) / 10000 = 0.000007 \text{ m/s}$$

- Izračun vršnog protoka ( za trajanje kiše 10 minuta ) :

$$\text{Podsliv 1 : } Q = 0.81 * 0.000027 \text{ m/s} * 42600 \text{ m}^2 = 0.931 \text{ m}^3/\text{s}$$

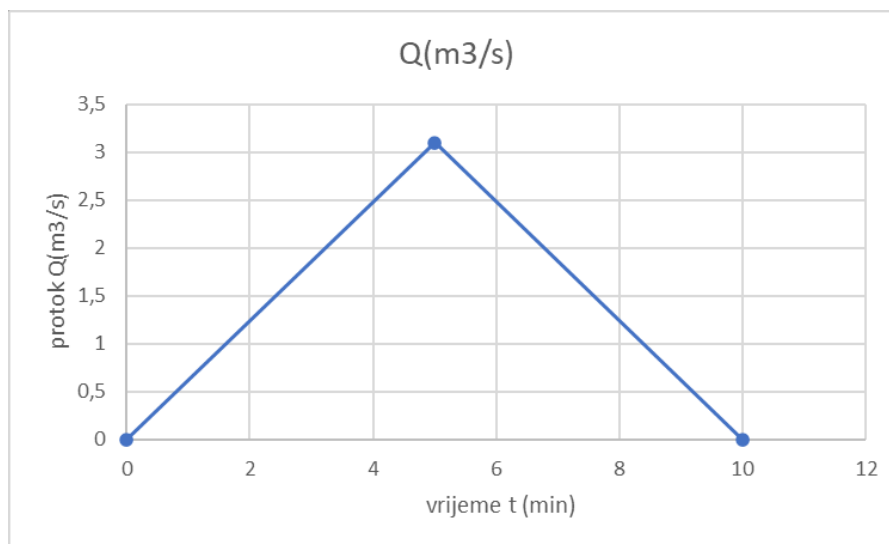
$$\text{Podsliv 2 : } Q = 0.33 * 0.000027 \text{ m/s} * 64000 \text{ m}^2 = 0.57 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Podsliv 3 : } Q = 0.78 * 0.000027 \text{ m/s} * 72800 \text{ m}^2 = 1.533 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Protok za srednju vrijednost : } Q = 0.64 * 0.000027 \text{ m/s} * 179400 \text{ m}^2 = 3.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Na temelju dobivenih podataka generiramo sintetički hidrogram :

Slika 8 : ( Generirani sintetički hidrogram kreiran uz pomoć Excel-a )



Generirani sintetički hidrogram ima trokutni oblik , sa vremenom koncentracije od 5 minuta , nakon toga postiže se vršni protok u iznosu od 3.1 m<sup>3</sup> / s , a potom pad protoka nakon završetka oborine .

Površina ispod hidrograma predstavlja ukupni volume oborina,  $3.1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{600\text{s}}{2} = 930 \text{ m}^3$

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

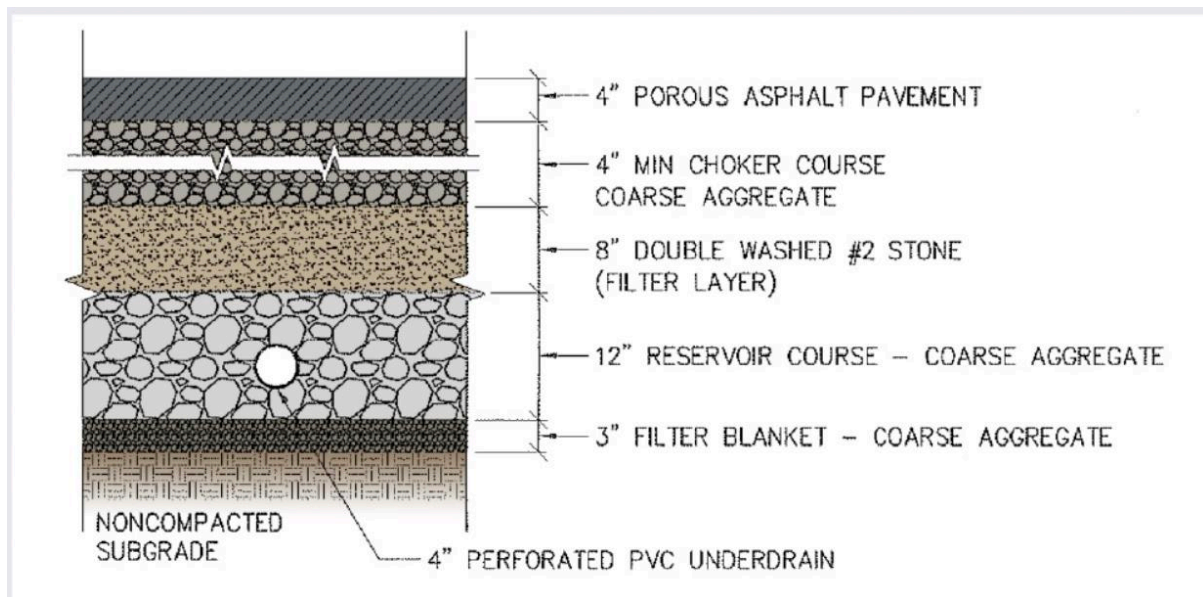
### 3. Akumulacijske površine

Akumulacijske površine igraju ključnu ulogu u održivim sustavima odvodnje oborinske vode, poznatima kao SuDS (Sustainable Drainage Systems). Ovi sustavi su dizajnirani da upravljaju otjecanjem oborinskih voda na način koji smanjuje opterećenje na tradicionalne kanalizacijske mreže, smanjuje rizik od poplava i poboljšava kvalitetu vode prije nego što se vrati u prirodni vodeni ciklus.

Akumulacijske površine u kontekstu održivih sustava odvodnje su definirane kao prostori namijenjeni zadržavanju, privremenom skladištenju i kontroliranom ispuštanju oborinske vode. One su ključne za ublažavanje posljedica intenzivnih padalina, posebno u urbanim sredinama gdje su površine često nepropusne (beton, asfalt). Njihova primarna svrha je zadržavanje vode tijekom i nakon padalina, te omogućavanje postupnog otjecanja ili infiltracije vode u tlo.

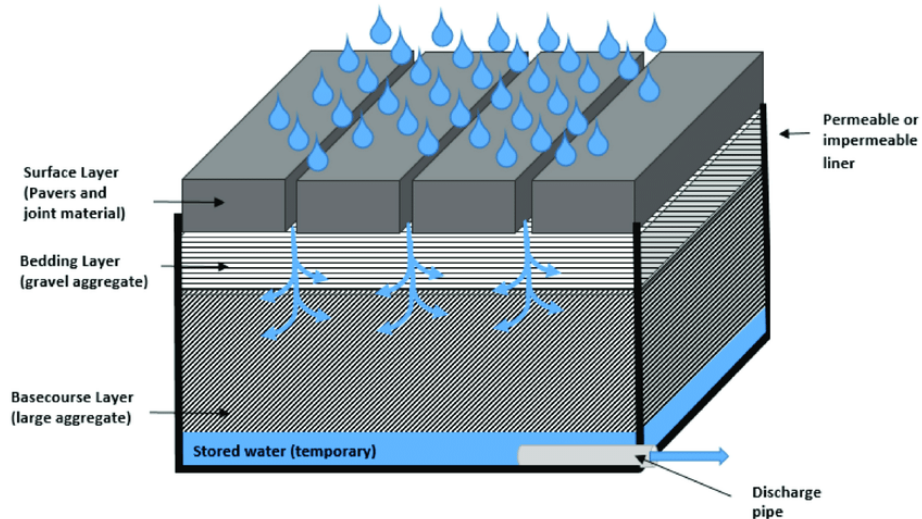
Prednosti korištenja akumulacijskih površina

1. Smanjenje površinskog otjecanja: Korištenjem akumulacijskih površina smanjuje se količina vode koja odmah otječe u kanalizaciju ili prirodne vodotoke. Voda se privremeno zadržava i postepeno ispušta, čime se smanjuje rizik od preopterećenja kanalizacijskih sustava i poplava.
2. Infiltracija: Akumulacijske površine omogućavaju infiltraciju vode u tlo, čime se obnavljaju podzemne vode i smanjuje pritisak na površinske vodene tokove. Ovo je posebno korisno u područjima koja su sklona sušama.
3. Poboljšanje kvalitete vode: Akumulacijske površine često djeluju kao prirodni filtri. Voda se taloži i prolazi kroz slojeve tla i šljunka, pri čemu se uklanjaju zagađivači, sediment i druge nečistoće prije nego što dođe do podzemnih voda ili vodotoka.
4. Bioraznolikost i estetika: Održivi sustavi odvodnje, uključujući akumulacijske površine, često uključuju zelene površine poput bioretencijskih zona, umjetnih jezera i ribnjaka. Ove površine mogu pružiti staništa za biljke i životinje, dok u isto vrijeme poboljšavaju estetski izgled urbanih sredina.



Slika 9. Presjek asfaltiranog parkinga sa slojevima za filtraciju i retenciju

Izvor : <https://www.newpaltz.edu/sustainability/permeable-pavement-parking-lot/>



Slika 10 : konceptni dijagram poroznog pločnika koji zadržava vodu prije ispuštanja u sustav za odvodnju ( izvor: [https://www.researchgate.net/figure/A-conceptual-diagram-of-a-permeable-pavement-which-detains-water-prior-to-the-discharge\\_fig1\\_324093744](https://www.researchgate.net/figure/A-conceptual-diagram-of-a-permeable-pavement-which-detains-water-prior-to-the-discharge_fig1_324093744) )

#### 4. Prijedlog rješenja u obliku propusnih površina s postupnom infiltracijom oborina.

Kako bi se smanjilo oborinsko otjecanje i poboljšalo upravljanje vodama na urbanim površinama, predlaže se implementacija sustava propusnih parking površina s postupnom infiltracijom vode. Ovaj sustav koristi propusne materijale za izgradnju parkirališta te omogućuje prirodni proces infiltracije oborinske vode u tlo, smanjujući pritom opterećenje na kanalizacijsku mrežu i rizik od poplava.

##### Korištenje propusnih materijala za parkirališta

Za izgradnju parkinga koristili bismo **porozni beton** ili **porozni asfalt** umjesto tradicionalnih nepropusnih materijala. Ovi materijali omogućuju oborinskoj vodi da prođe kroz površinu i infiltrira se u tlo, umjesto da otječe u oborinsku kanalizaciju. Na taj način smanjuje se vršno otjecanje oborinskih voda te se omogućuje postupno upijanje vode.

Propusni materijali omogućuju da se oborinska voda:

- **Filtrira kroz površinu:** Porozna struktura betona ili asfalta djeluje kao prirodni filter, čime se smanjuje zagađenje vode.
- **Smanji površinsko otjecanje:** Umjesto brzog otjecanja, voda se postepeno propušta u dublje slojeve tla, čime se smanjuje rizik od erozije i preopterećenja kanalizacijskih sustava.

##### Postavljanje sloja za infiltraciju

Ispod poroznog sloja postavili bismo **infiltracijski sloj** koji omogućuje dodatnu akumulaciju i infiltraciju vode. Ovaj sloj sastoji se od šljunka i drugih propusnih materijala koji osiguravaju sporije otjecanje vode, čime se omogućava učinkovitija apsorpcija oborina. Dublji infiltracijski sloj također doprinosi smanjenju vršnih protoka, jer zadržava veće količine vode tijekom jačih kiša.

##### Ugradnja infiltracijskih polja ispod parkirališta

Ispod propusnih parking površina može se instalirati sustav **infiltracijskih polja**. Ovaj sustav omogućuje dodatnu akumulaciju oborinske vode, a zatim postepeno ispuštanje u tlo, čime se još više smanjuje opterećenje na lokalne odvodne sustave. Infiltracijska polja mogu biti postavljena na način da se voda privremeno pohranjuje i postepeno infiltrira, što je osobito korisno u slučaju ekstremnih kiša.

## Dugoročne prednosti rješenja

Implementacijom propusnih parkirnih površina i infiltracijskih polja očekuje se smanjenje ukupnog otjecanja oborinskih voda, kao i smanjenje vršnih protoka tijekom kišnih razdoblja.

Ključne prednosti uključuju:

- **Smanjenje opterećenja kanalizacijskih sustava:** Propusne površine smanjuju količinu vode koja se mora zbrinuti putem kanalizacije.
- **Smanjenje rizika od urbanih poplava:** S obzirom na to da se voda zadržava i infiltrira na mjestu nastanka, smanjuje se rizik od poplava u okolnim područjima.
- **Očuvanje kvalitete vode:** Infiltracija kroz propusne površine i infiltracijska polja pomaže u prirodnoj filtraciji zagađivača, čime se smanjuje onečišćenje površinskih i podzemnih voda.

Ovo rješenje doprinosi održivom razvoju i klimatskoj otpornosti urbanih područja, smanjujući negativne utjecaje urbanizacije na okoliš i osiguravajući održiviji pristup upravljanju oborinskim vodama.

## 5. Postupak dimenzioniranja akumulacijskog parkinga

### Odabir površinskog materijala (npr. porozni beton ili asfalt)

Porozni beton ili asfalt služi kao površinski sloj parkirališta i omogućuje prolazak oborinske vode kroz materijal u dublje slojeve tla. Debljina ovog sloja ovisi o potrebama nosivosti i količini prometa. Tipično, debljina sloja poroznog betona ili asfalta iznosi oko **15 do 25 cm**. Za naš primjer uzimamo porozni beton debljine 20 cm.

### Infiltracijski sloj

Ispod poroznog betona ili asfalta nalazi se infiltracijski sloj, koji djeluje kao privremeno skladište za oborinsku vodu. Ovaj sloj često se sastoji od šljunka ili kamenog agregata visoke propusnosti, što omogućuje da voda postepeno otječe u tlo ili sustav infiltracijskih polja.

- **Debljina infiltracijskog sloja:** Ovisno o količini oborina koje parkiralište treba apsorbirati, debljina sloja može biti između **30 cm i 50 cm**. Deblji slojevi omogućuju veću zadržnu zapreminu, čime se smanjuje pritisak na odvodni sustav tijekom jakih kiša.

Za proračun uzimamo debljinu infiltracijskog sloja 30 cm, da bi bili na strani sigurnosti zbog eventualnog slijeganja.

### Kapacitet infiltracijskog sustava ispod parkirališta

Ovisno o vrsti tla ispod infiltracijskog sloja, kapacitet tla za infiltraciju mora biti dovoljno velik da se voda može apsorbirati unutar određenog vremenskog perioda. U slučaju propusnog tla, infiltracija može biti brza, dok u slučaju manje propusnog tla (npr. glina), može biti potrebna dodatna dubina infiltracijskog sloja ili postavljanje sustava drenaže. S obzirom da tlo na području kampusa ima malu propusnost, na dno infiltracijskog sloja ćemo postaviti perforiranu cijev za drenažu.

### Izračun potrebne debljine infiltracijskog sloja

#### Formula za izračun volumena infiltracijskog sloja:

$$V=A*d*poroznost$$

- V volumen vode koju sloj može primiti (m<sup>3</sup>),
- A površina parkirališta (m<sup>2</sup>),
- d debljina sloja šljunka ili kamenog agregata (m),
- **Poroznost** (obično između 30% i 40% za šljunak ili kamen, tj. 0.3–0.4).

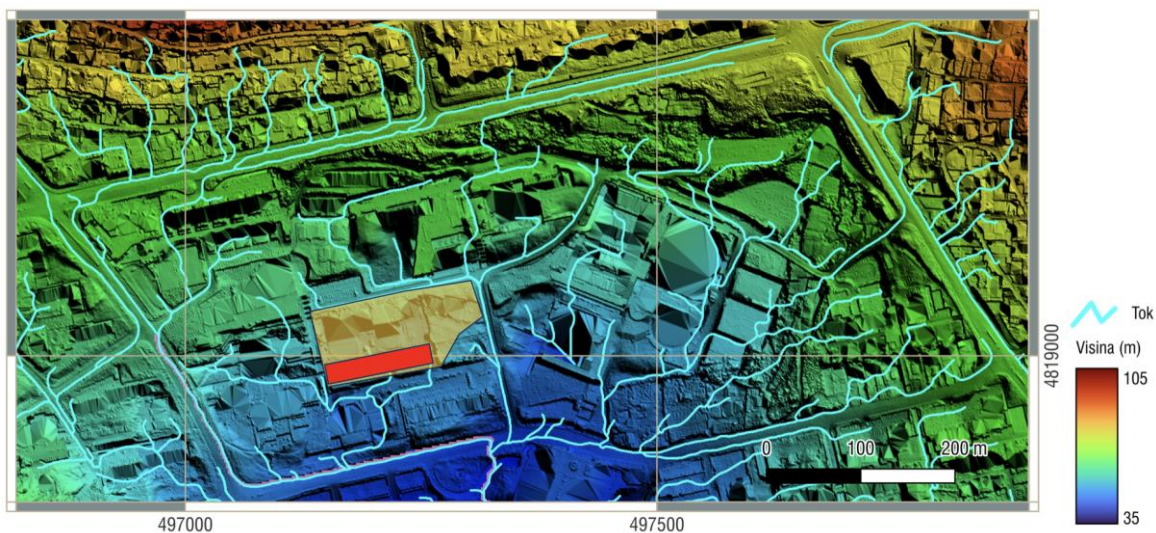
### Dimenzioniranje drenažnih slojeva

Ako se parkiralište nalazi na lokaciji s manje propusnim tlom, bit će potrebno dodati drenažni sustav ispod infiltracijskog sloja. Ovaj sustav može uključivati drenažne cijevi koje usmjeravaju višak vode prema kanalizaciji ili infiltracijskim poljima.

## 6. Dimenzioniranje otjecanja na izdvojenom slivu

Da bi mogli pravilno projektirati presjek akumulacijskog parkinga, prvo ćemo promotriti sliv nekog odabranog parkinga i odrediti količinu oborina koju treba moći akumulirati.

Za proračun uzimamo južni parking zgrade FGAG-a.

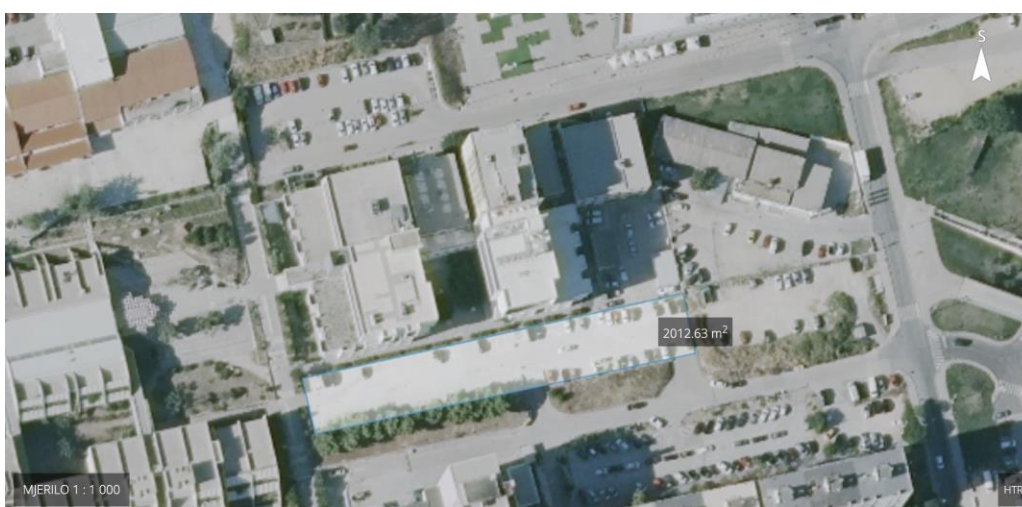


Slika 11. Označeni sliv i parking na karti vodenih tokova kampusa



Slika 12. Ortofoto karta izdvojenog parkinga

(izvor: <https://geoportal.dgu.hr/>)



Slike 13. i 14. Označene površine promatranog podsliva i pripadajućeg parkinga FGAG-a  
(izvor: <https://geoportal.dgu.hr/> )

Površina promatranog podsliva je 13000m<sup>2</sup>, a površina pripadajućeg parkinga je 2000m<sup>2</sup>.

Koristimo jednake parametre za intezitet i trajanje kao za proračun cijele površine kampusa.

- Za trajanje od 10 minuta (0.167 sati): intenzitet je 270 L / s / ha, za povratni period 5 godina

Izračun ponderiranog koeficijenta otjecanja: 
$$C_{pond} = \frac{(C_1 * A_1) + (C_2 * A_2) + \dots + (C_n * A_n)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Procijenjeno je da je 70 % površine zgrade ( C= 0.9 ) , 20 % asfalt i beton ( C = 0.85 ) i 10% zelene površine ( C=0.2).

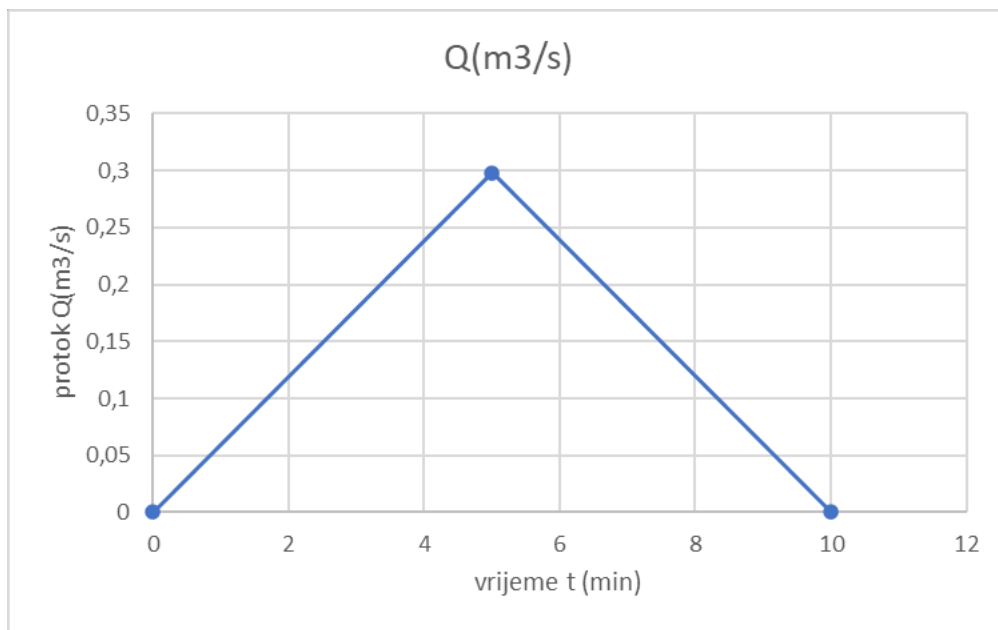
Prema tome dobijamo srednju vrijednost koeficijenta otjecanja C= 0.85.

Znamo vrijednost C( 0.85), vrijednost inteziteta i (0.000027 m/s) te površina (13000 m<sup>2</sup>)

Protok za srednju vrijednost :  $Q = 0.85 * 0.000027 \text{ m/s} * 13000 \text{ m}^2 = 0.298 \text{ m}^3/\text{s}$



Slika 15. ( Generirani sintetički hidrogram za promatrani podsliv kreiran uz pomoć Excel-a )



Površina ispod hidrograma predstavlja ukupni volume oborina,  $0,298 \frac{m^3}{s} * \frac{600s}{2} = 119,4m^3$

Za vrijeme trajanja kiše 10 minuta na sliv padne ukupno  $119.4 m^3$  oborina, u cilju će nam biti da naš projektirani parking preuzme sav volume oborina.

## 7. Dimenzioniranje presjeka parkinga

- Površina odabranog parkinga: 2000 m<sup>2</sup>
- Debljina poroznog betona: 20 cm
- Infiltracijski sloj (šljunak): 30 cm
- Poroznost betona : 15% (0.15)
- Poroznost šljunka: 35% (0.35)

Izračun zapremine infiltracijskog sloja:

Volumen = površina( m<sup>2</sup>) \* debljina infiltracijskog sloja(beton + šljunak)(m) \* poroznost(%)

$$V = 2000 \times (0.2 + 0.3) \times (0.25) (\text{srednja vrijednost poroznosti}) = 250 \text{ m}^3$$

To znači da infiltracijski sloj ispod parkirališta može primiti do **250 m<sup>3</sup>** vode.

Izračunati ćemo brzinu infiltracije uz pomoć Darcy-evog zakona:

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

$$\text{Matematički izraz glasi : } Q_i = K_s * A * \frac{H}{L} \quad (2)$$

gdje je :

$Q_i$  – infiltracija (m<sup>3</sup>/s )

$K_s$  – hidraulička vodljivost tla ( m/s )

$A$  – površina parkinga (m<sup>2</sup>)

$H$  – promjena visine vode ( m )

$L$  – debljina tla kroz koje voda prolazi ( m )

Parametri koje imamo:

Površina parkinga  $A = 2000 \text{ m}^2$ .

Debljina slojeva  $L$ : Ukupno 0.5 m (0.2 m porozni beton + 0.3 m šljunak).

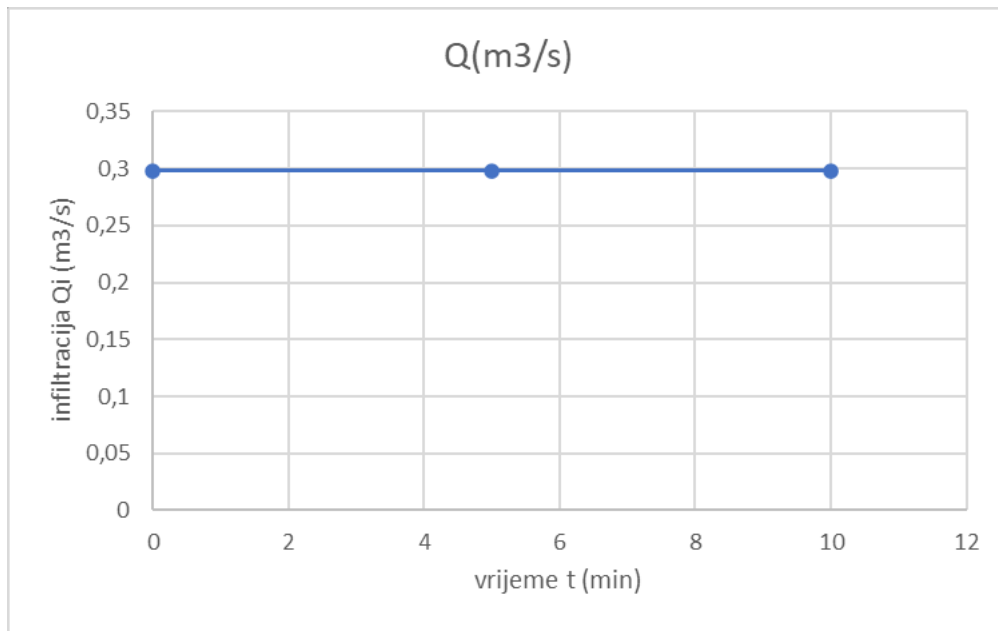
Promjena visine vode  $H$ : Pretpostavit ćemo visinu od 0.1 m za početni proračun.

Hidraulička vodljivost tla  $K_s$ : možemo uzeti prosječnu vrijednost za šljunak- 0.01m/s.

$$\text{Formula dakle glasi: } Q_i = 0,01 * 2000 * 0,1/0,5 = 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Možemo zaključiti da je brzina infiltracije takva da se sva količina oborina odmah infiltrira kroz debljinu betona i šljunka.

Slika 16. Grafički prikaz infiltracije kroz vrijeme za promatranu površinu, kreiran uz pomoć Excel-a.



S obzirom da smo izračunali da promatrani parking ima kapacitet 250 m<sup>3</sup> vode, možemo zaključiti da je kapacitet takav da može bez problema primiti projektiranu količinu oborina za 10-minutnu kišu( 119.4 m<sup>3</sup>)

## 8. Dimenzioniranje drenažnih cijevi

U ovom koraku ćemo koristiti **Manningovu jednadžbu** kako bismo izračunali protok vode kroz cijev promjera 120 mm uz dane parametre.

**Formula Manningove jednadžbe:**

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Gdje je:

- Q = protok (m<sup>3</sup>/s),
- n=0.012 (Manningov koeficijent hrapavosti, ovisi o karakteristikama kroz koju ili preko koje teče voda)
- A=0.0113 m<sup>2</sup> (površina poprečnog presjeka cijevi),
- R=A/P = hidraulički polumjer (m),
- P = omočeni opseg (za kružne cijevi, to je cijeli opseg)= 0.377m,
- S=0.01= nagib cijevi (1% ili 0.01 m/m).

**Površina poprečnog presjeka A**  $A = \pi * \left(\frac{0,08}{2}\right)^2 = \pi * 0,04^2 = 0,0113m^2$

**Omočeni opseg P:** Za kružne cijevi, omočeni opseg je jednak cijelom opsegu cijevi:

$$P = \pi * d = 3,1416 * 0,12 = 0,377 \text{ m}$$

**Hidraulički polumjer R:** Hidraulički polumjer se definira kao:  $R = \frac{A}{P} = \frac{0,0113m^2}{0,377m} = 0,03$

**Primjena Manningove jednadžbe:** Uvrstit ćemo sve vrijednosti u Manningovu jednadžbu:

$$Q = \frac{1}{0,012} * 0,0113 * (0,03)^{\frac{2}{3}} * (0,01)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = 83,33 * 0,0113 * 0,0965 * 0,1 = 0,00909m^3/s$$

Protok kroz cijev promjera 120 mm s nagibom 1% iznosi približno **0.00909 m<sup>3</sup>/s**.

Ovaj rezultat znači da će cijev od 120 mm, uz dani Manningov koeficijent i nagib, moći odvoditi oko **9.09 litara vode u sekundi**.

S dobivenim protokom kroz jednu cijev možemo izračunati koliko će vremena trebati 3 projektirane cijevi da bi u potpunosti kroz drenažu izbacile čitav volumen akumulacije u sustav kanalizacije.

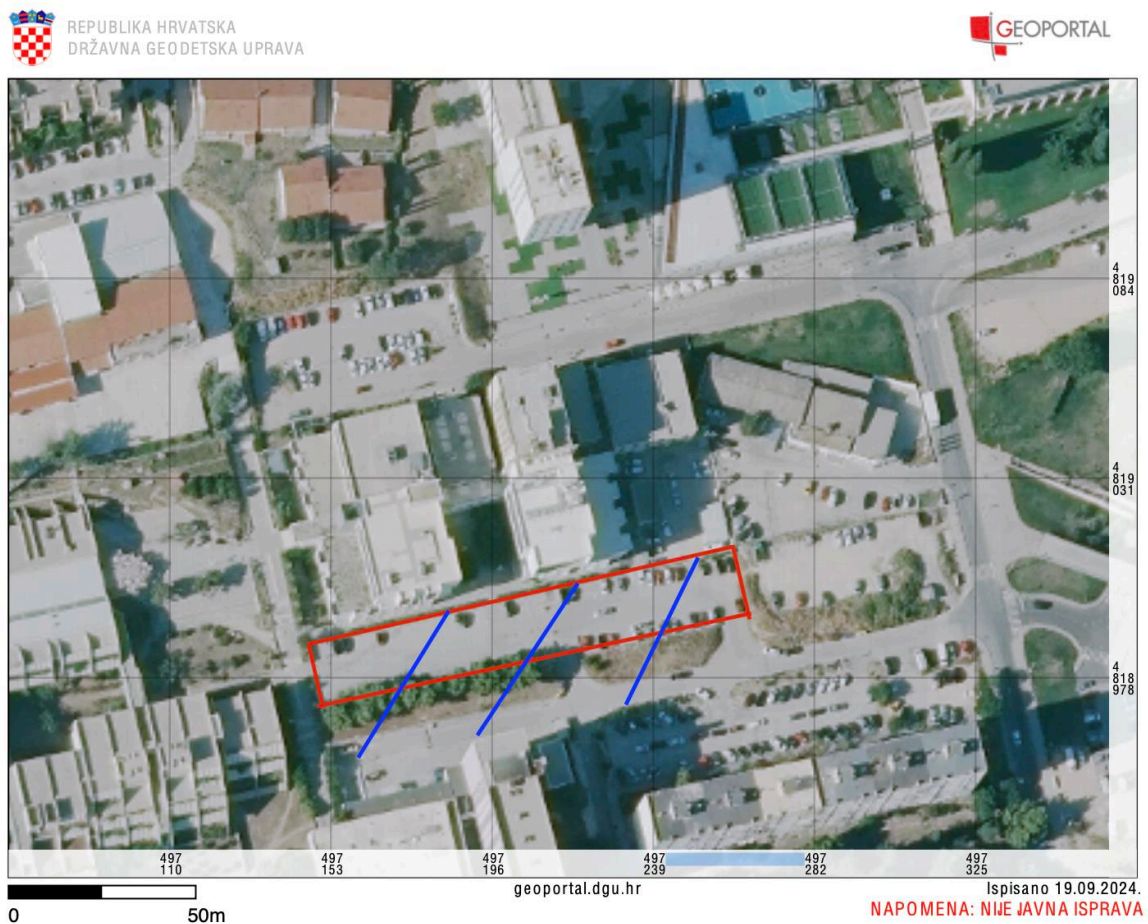
S obzirom da imamo 3 drenažne cijevi:

$$Q_{\text{kupno}} = 3 * Q_{\text{drenažne cijevi}} = 3 * 9,09 \frac{l}{s} = 27,27 \frac{l}{s} = 0,02727 \frac{m^3}{s}$$

Vrijeme drenaže možemo izračunati pomoću sljedeće formule:  $t = \frac{V}{Q_{\text{kupno}}}$

S obzirom da znamo  $Q_{\text{kupno}} = 0,02727 m^3/s$ , i ukupni volumen  $V = 250 m^3$

Dobivamo minimalno vrijeme drenaže  $t = 9167,6$  sekundi = 152,79 minuta.



Slika 17. Prijedlog postavljanja drenažnih cijevi ispod površine parkinga  
( izvor: <https://geoportal.dgu.hr/> )

## 9. Zaključak

Za promatrani sliv na području zgrade i južnog parkinga FGAG-a smo odredili mjerodavne oborine za povratni period 5 godina. Za dobivene rezultate volumena oborina smo kao idejno rješenje odabrali parking kao infiltracijsko-retencijsku površinu.

Rezultati su pokazali da takav parking ima mogućnost preuzimanja čitavog volumena standardizirane 10-minutne kiše visokog inteziteta.

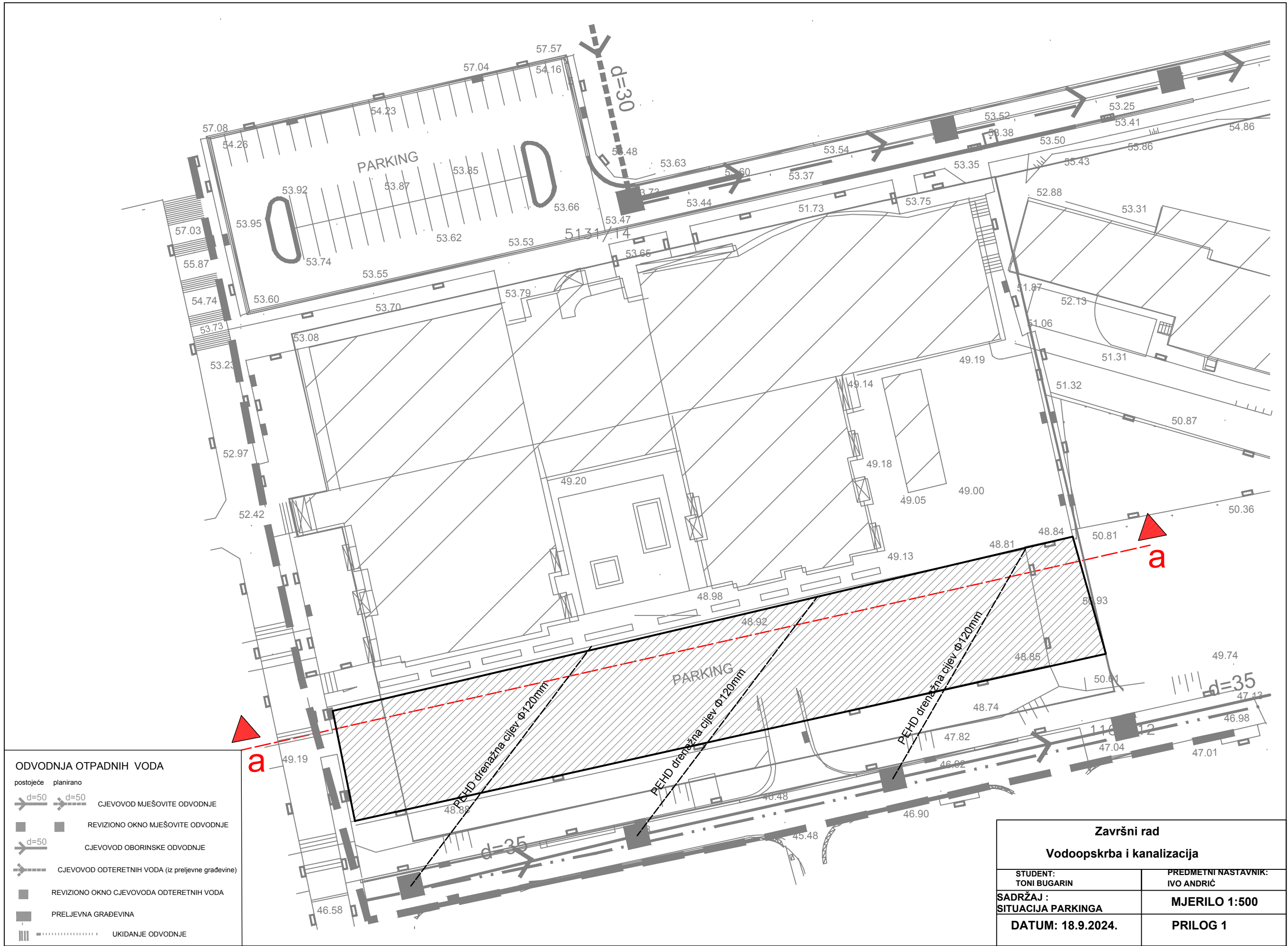
Motivacija ovog idejnog rješenja je smanjenje površinskog otjecanja sa javnih površina, a time i manja mogućnost zadržavanja vode kod većih inteziteta oborina, filtracija oborinske vode prije doticaja s podzemnim vodama i općenito rasterećenje kanalizacijskog sustava.

Uvođenjem akumulacijskog polja ispod parkirališta postignute su brojne prednosti. Osim smanjenja otjecanja, ova SuDS mjera doprinosi obnovi podzemnih voda, poboljšava mikroklimu i estetski doprinosi urbanom krajoliku. Zbog relativne jednostavnosti implementacije i održavanja, akumulacijsko polje je dugoročno isplativa i održiva opcija za oborinske sustave.

Ovaj pristup također uzima u obzir izazove klimatskih promjena, kao što su povećana učestalost i intenzitet oborina, te se pokazuje kao fleksibilno i prilagodljivo rješenje. Implementacija akumulacijskih polja doprinosi otpornosti sustava na ekstremne vremenske uvjete i osigurava dugoročnu održivost upravljanja oborinskim vodama na području Sveučilišnog kampusa.

## 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.

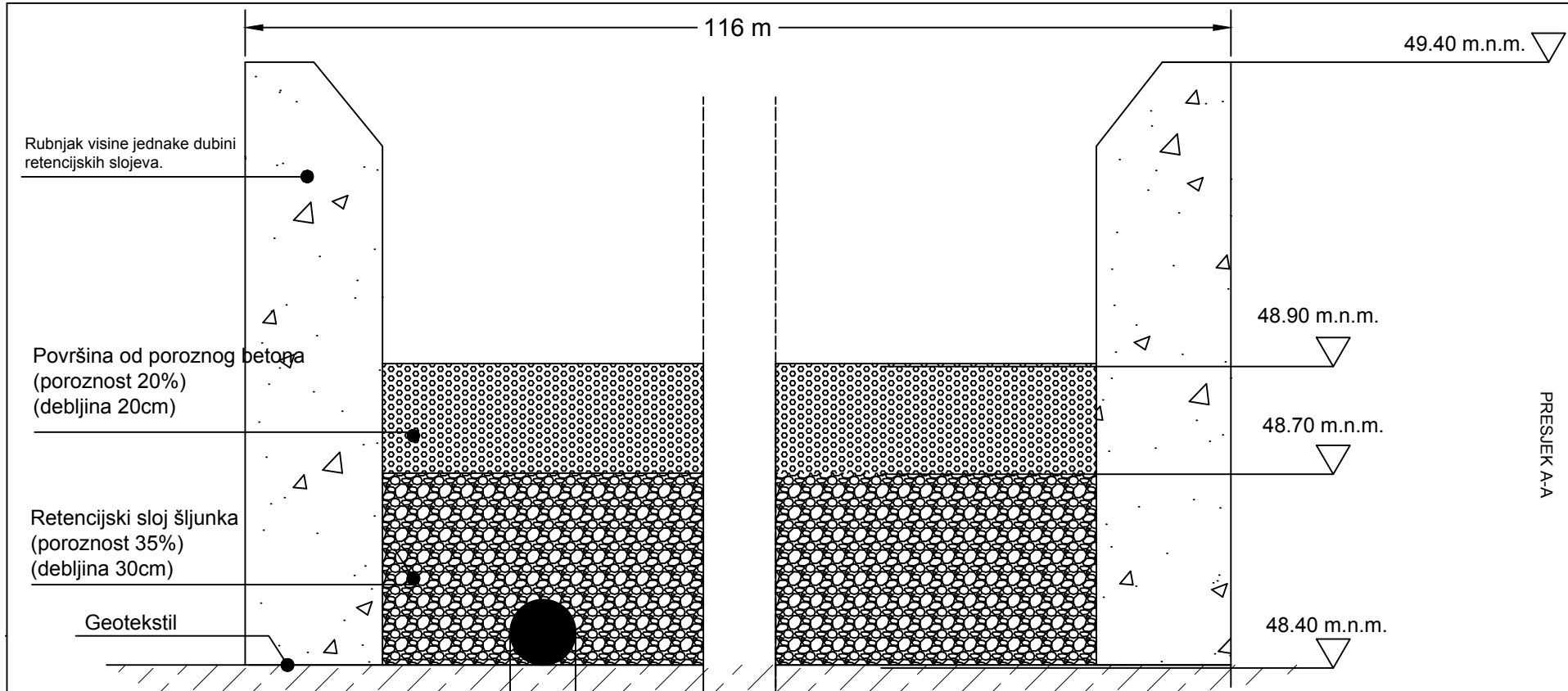


**ODVODNJA OTPADNIH VODA**

|           |           |  |
|-----------|-----------|--|
| postojeće | planirano |  |
|           |           | CJEVOVOD MJEŠOVITE ODVODNJE                      |
|           |           | REVIZIONO OKNO MJEŠOVITE ODVODNJE                |
|           |           | CJEVOVOD OBORINSKE ODVODNJE                      |
|           |           | CJEVOVOD ODTERETNIH VODA (iz prelivne građevine) |
|           |           | REVIZIONO OKNO CJEVOVODA ODTERETNIH VODA         |
|           |           | PRELJEVNA GRAĐEVINA                              |
|           |           | UKIDANJE ODVODNJE                                |

|                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| <b>Završni rad</b>                |                                    |
| <b>Vodoopskrba i kanalizacija</b> |                                    |
| STUDENT:<br>TONI BUGARIN          | PREDMETNI NASTAVNIK:<br>IVO ANDRIĆ |
| SADRŽAJ:<br>SITUACIJA PARKINGA    | MJERILO 1:500                      |
| DATUM: 18.9.2024.                 | PRIOLOG 1                          |





|                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| <b>Završni rad</b>                |                                    |
| <b>Vodoopskrba i kanalizacija</b> |                                    |
| STUDENT:<br>TONI BUGARIN          | PREDMETNI NASTAVNIK:<br>IVO ANDRIĆ |
| SADRŽAJ :<br>SITUACIJA PARKINGA   | <b>MJERILO 1:20</b>                |
| <b>DATUM: 18.9.2024.</b>          | <b>PRILOG 1</b>                    |