

# Idejno rješenje mješovite odvodnje naselja Vrh

---

**Pejić, Melisa**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:365034>

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

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

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Melisa Pejić

**Idejno rješenje mješovite odvodnje naselja  
Vrh**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Melisa Pejić

**Idejno rješenje mješovite odvodnje naselja  
Vrh**

DIPLOMSKI RAD

doc. dr. sc. Domagoj Nakić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Melisa Pejić

**Conceptual design of mixed drainage system  
of the settlement of Vrh**

MASTER THESIS

doc. dr. sc. Domagoj Nakić

Zagreb, 2024.



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Student/ica :

|                 |            |
|-----------------|------------|
| Melisa Pejić    | 0082051399 |
| (Ime i prezime) | (JMBAG)    |

zadovoljio/la je na pisanom dijelu diplomskog rada pod naslovom:

|                                                   |
|---------------------------------------------------|
| Idejno rješenje mješovite odvodnje naselja Vrh    |
| (Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku) |

|                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------|
| Conceptual solution of the mixed sewage-drainage system of the settlement Vrh |
| (Naslov teme diplomskog rada na engleskom jeziku)                             |

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

|                                                     |
|-----------------------------------------------------|
|                                                     |
| (Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta) |

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

|                                                        |
|--------------------------------------------------------|
|                                                        |
| (Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse) |

Datum:

|               |
|---------------|
| 18. 09. 2024. |
|---------------|

Mentor:

|                            |
|----------------------------|
| doc. dr. sc. Domagoj Nakić |
|----------------------------|

Potpis mentora:

|  |
|--|
|  |
|--|

Komentor:

|  |
|--|
|  |
|--|



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio diplomskog rada pod naslovom:

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

Potpis:

Melisa Pejić



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Ja :

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela diplomskog rada i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela diplomskog rada pod naslovom:

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom diplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio diplomskog rada u cijelosti bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

Potpis:

Melisa Pejić

## SAŽETAK

U okviru ovog diplomskog rada izrađeno je idejno rješenje mješovitog sustava odvodnje naselja Vrh na otoku Krku, smještenom u Primorsko-goranskoj županiji. Provedena je detaljna analiza postojećeg i budućeg stanja koja je omogućila utvrđivanje svih parametara potrebnih za dimenzioniranje sustava odvodnje. Trasa sustava postavljena je na digitalnom modelu terena koristeći program AutoCAD. S pomoću programskog paketa EPA SWMM izvršena je analiza opterećenja sustava po čvorovima i dionicama, što je obuhvatilo gravitacijske kanalizacijske kolektore s priključcima ukupne dužine 6.7 km, te dvije crpne stanice. Rezultati na modelu provedenog hidrauličkog proračuna prikazani su u odgovarajućem grafičkom obliku po ključnim elementima sustava. Na temelju rezultata hidrauličkog proračuna, odabrani su glavni elementi sustava, osiguravajući optimalno funkcioniranje planirane mješovite odvodnje. Konačno je dan tehnički opis te aproksimativni troškovnik projektiranog mješovitog sustava odvodnje.

**Ključne riječi:** naselje Vrh; mješoviti sustav odvodnje; gravitacijski kanalizacijski kolektori; crpna stanica; hidraulički proračun



## SUMMARY

A conceptual design for the mixed drainage system of the settlement Vrh on the island of Krk, which is situated in the Primorje-Gorski Kotar County, was created as part of this thesis. All the characteristics required for the sizing of the drainage system could be determined thanks to a thorough investigation of the current and future conditions. Using AutoCAD software, the system's course was determined on a digital terrain model. An examination of the system's load by nodes and sections—which included two pumping stations and gravitational sewer collectors with connections totalling 6.7 km in length—was carried out with the aid of the EPA SWMM program package. An acceptable graphical representation of the hydraulic calculation model's results was provided. The results of the hydraulic calculation model were presented in an appropriate graphical form for the key elements of the system. Based on the results of the hydraulic calculation, the main components of the system were selected, ensuring the optimal functioning of the planned drainage system. In conclusion, a technical description and rough cost estimate of the designed mixed drainage system was provided.

**Key words:** settlement Vrh; mixed drainage system; gravity sewer collectors; pumping station; hydraulic calculation

---

**SADRŽAJ**

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SAŽETAK .....</b>                                                            | <b>iv</b> |
| <b>SUMMARY .....</b>                                                            | <b>v</b>  |
| <b>SADRŽAJ .....</b>                                                            | <b>vi</b> |
| <b>1 UVOD .....</b>                                                             | <b>1</b>  |
| <b>2 OPIS LOKACIJE I KORIŠTENE PODLOGE.....</b>                                 | <b>3</b>  |
| <b>3 METODE I TEHNIKE RADA.....</b>                                             | <b>5</b>  |
| <b>4 ANALIZA POTREBA .....</b>                                                  | <b>7</b>  |
| 4.1 Demografski razvoj.....                                                     | 7         |
| 4.2 Analiza potrošnje vode za 2053. godinu.....                                 | 8         |
| 4.3 Odvodnja komunalnih otpadnih voda.....                                      | 10        |
| 4.4 Odvodnja oborinskih voda.....                                               | 13        |
| <b>5 HIDRAULIČKI PRORAČUN MJEŠOVITOG SUSTAVA ODVODNJE.....</b>                  | <b>16</b> |
| 5.1 Model kanalizacijske mreže u programu EPASWMM.....                          | 16        |
| 5.2 Opis sustava i definiranje mjerodavne količine otpadnih voda na modelu..... | 20        |
| 5.3 Opis sustava i definiranje mjerodavne količine oborinskih voda.....         | 30        |
| 5.4 Dimenzioniranje i definiranje elemenata sustava odvodnje u SWMM-u.....      | 33        |
| 5.4.1 Tlačni cjevovodi.....                                                     | 33        |
| 5.4.2 Crpna stanica.....                                                        | 34        |
| 5.4.3 Preljev.....                                                              | 39        |
| 5.4.4 Retencija.....                                                            | 41        |
| 5.4.5 Upojni zdenci.....                                                        | 49        |
| 5.5 Rezultati simulacije modela u SWMM-.....                                    | 52        |
| 5.5.1 Rezultati hidrauličkog proračuna.....                                     | 52        |
| 5.5.2 Grafički prikaz uzdužnih presjeka.....                                    | 54        |
| <b>6 TEHNIČKI OPIS .....</b>                                                    | <b>57</b> |
| <b>7 APROKSIMATIVNI TROŠKOVNIK .....</b>                                        | <b>60</b> |
| <b>8 ZAKLJUČAK.....</b>                                                         | <b>66</b> |
| <b>POPIS LITERATURE .....</b>                                                   | <b>67</b> |
| <b>POPIS SLIKA.....</b>                                                         | <b>68</b> |
| <b>POPIS TABLICA.....</b>                                                       | <b>70</b> |
| <b>GRAFIČKI PRILOZI.....</b>                                                    | <b>71</b> |

## 1 UVOD

Sustav odvodnje koji prenosi sanitarne otpadne vode i oborinske vode kroz jednu cijev naziva se mješovitim sustavom odvodnje [1]. Kada su mješoviti sustavi odvodnje uvedeni 1855. godine, smatrani su velikim napretkom u odnosu na gradske jarke sa septičkim jamama koje su prolazile uz gradske ulice i prelijevale se kad bi padala kiša. Otpadne i oborinske vode tada su se izravno ispuštale u krajnji recipijent. Početkom 20. stoljeća dodana su i postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda kako bi se otpadne vode pročistile prije nego što dopiju u rijeke [2].

Poplave su jedan od najčešćih prirodnih nepogoda u urbanim područjima širom svijeta, posebno u Europi [3]. Urbanizacija često dovodi do stvaranja nepropusne površine tla, što povećava rizik od poplava u urbanim sredinama zbog izgradnje cesta i zgrada [4,5]. Ova nepropusna područja uzrokuju nakupljanje oborinskih voda na tlu, što može negativno utjecati na infrastrukturu i promet. Kako bi se ublažili takvi učinci, potrebno je uspostaviti odgovarajući sustav oborinske odvodnje [5]. Početno otjecanje prilikom pojave oborine zagađenije je od kasnijeg otjecanja, čemu je uzrok nekoliko čimbenika, uključujući nakupljanje materijala tijekom prethodnih sušnih razdoblja, nedostatak protoka razrjeđenja i nesrazmjernu količinu otjecanja s nepropusnih površina na kojima se mogu nakupiti zagađivači [6].

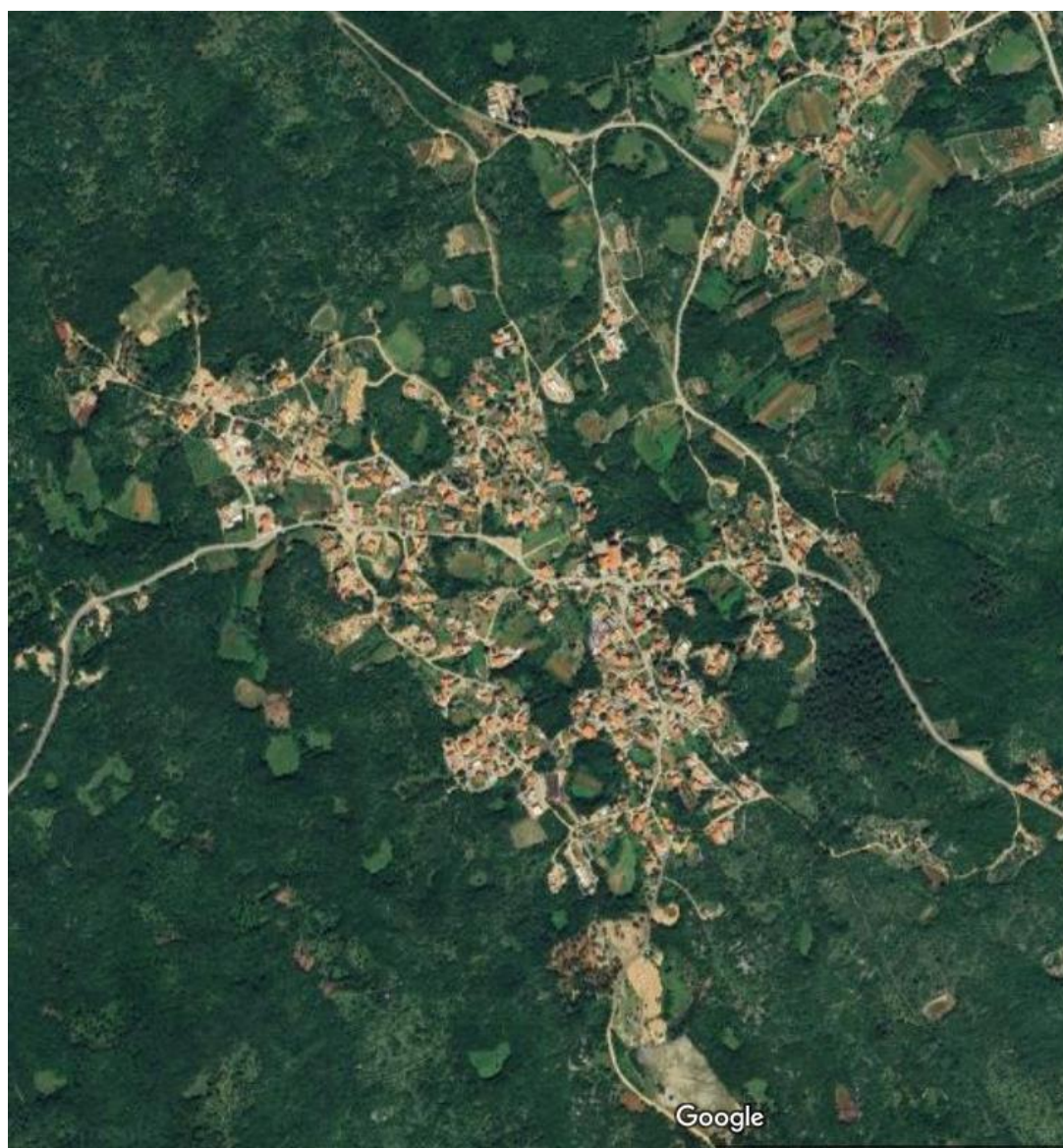
Kroz ovaj diplomski rad predstavljeno je idejno rješenje mješovite odvodnje naselja Vrh, izvedeno kroz odabranu optimalnu varijantu rješenja. Planiranje i projektiranje sustava odvodnje započelo je detaljnim analizama potreba stanovništva, koje su prethodno bile temeljene na procjenama razvoja stanovništva naselja. Ovakav pristup omogućio je uspostavljanje sustava odvodnje koji je prikladan za trenutne i buduće (do kraja projektnog razdoblja od 30 godina) potrebe zajednice. Nakon procjene potreba korisnika (stanovništva, privrede i zasebno turističkih djelatnosti) hidraulička analiza provedena je korištenjem softverskog alata EPA SWMM. Ovaj program omogućava detaljan proračun hidrauličkih karakteristika sustava te simulaciju različitih scenarija opterećenja i otjecanja oborinskih i otpadnih voda. Ključni elementi odvodnje, poput crpnih stanica i preljeva, integrirani su u proračun, osiguravajući funkcionalnost i učinkovitost sustava u različitim uvjetima.

Kao završni korak, pripremljen je troškovnik predloženog sustava odvodnje te su procijenjena financijska sredstva potrebna za realizaciju projekta.

Cilj ovog rada bio je razviti sveobuhvatno i održivo rješenje odvodnje koje ne samo da zadovoljava trenutne potrebe naselja Vrh, već i omogućava prilagodbu budućim demografskim i okolišnim promjenama. Time se osigurava dugoročna održivost i učinkovitost sustava odvodnje te optimiziraju troškovi izgradnje i održavanja.

## 2 OPIS LOKACIJE I KORIŠTENE PODLOGE

Vrh je naselje smješteno na otoku Krku koje danas čini sjeverno predgrađe grada Krka i jedan je od njegovih mjesnih odbora. Nalazi se sjeverozapadno od centra grada, na udaljenosti od približno 4,6 km. Današnji Vrh zapravo je dio Grada Krka i obuhvaća naselja Vrh, Kosići i Salatići, koja zajedno imaju ukupno 769 stanovnika. Naseljavanje zaleđa grada Krka započelo je u 15. stoljeću, a prvo poznato naselje bile su Brajde. Nakon toga su osnovani Vrh, Kosići, Salatići i Bučul. S vremenom su se ta naselja spojila u današnje tri zasebne skupine kuća: Vrh, Salatići i Kosići [7]. Satelitska snimka naselja Vrh prikazana je na Slika 1.



Slika 1. Satelitski prikaz naselja Vrh [9]

Planom odvodnje naselja Vrh, na razini idejnog rješenja, prikazano je konceptualno rješenje mješovite odvodnje naselja, pri čemu su korištene sljedeće podloge:

- Digitalna ortofoto karta (DOF) naselja Vrh s izohipsama u AUTOCAD formatu, koja će se koristiti za definiranje mreže odvodnje u programskom zadatku.
- Popis stanovništva iz 2011. i 2021. godine, prema podacima Državnog zavoda za statistiku, korišten za analizu demografskih promjena tijekom projektnog razdoblja od 30 godina.
- Prostorni plan Primorsko-goranske županije – Infrastrukturni sustavi: vodoopskrba, korišten za prikupljanje podataka o vrsti i lokaciji kanalizacijskog sustava.
- Tekstualni i grafički dijelovi Prostornog plana uređenja općine Krk, korišteni za dobivanje informacija o potrošnji vode, količini otpadnih voda i vrsti kanalizacijskog sustava.

Nadalje, definirane su sljedeće stavke:

- Situacija mreže mješovite odvodnje naselja Vrh
- Prognoza demografskih kretanja za usvojeno 30-godišnje projektno razdoblje
- Mjerodavna potrošnja za vodoopskrbni sustav i mjerodavni dotok otpadnih i oborinskih voda
- Model mješovitog sustava odvodnje izrađen u programu EPASWMM

### 3 METODE I TEHNIKE RADA

U ovom diplomskom radu predstavljeno je idejno rješenje za mješovitu odvodnju naselja Vrh, koje je izvedeno kroz odabranu optimalnu varijantu rješenja. Razrada projekta započela je detaljnim analizama potreba stanovništva, privrede i turista kao osnovnih kategorija korisnika na predmetnom području, temeljenim na procjenama razvoja populacije i privrede naselja. Ovaj pristup omogućio je uspostavljanje sustava odvodnje koji je prilagođen trenutnim i budućim potrebama zajednice, planiranim do kraja projektnog razdoblja od 30 godina.

Planiranje i projektiranje sustava odvodnje obuhvatilo je sljedeće korake:

1. Analiza potreba:

- Detaljna analiza potreba korisnika, uključujući stanovništvo, privredu i turističke djelatnosti, provedena je kako bi se razumjeli zahtjevi za kapacitetom sustava.
- Procjena budućih potreba temelji se na demografskim prognozama koje su omogućile razvoj sustava odvodnje koji će zadovoljiti uvjete tijekom predviđenog razdoblja.

2. Hidraulička analiza:

- Koristeći softverski alat EPA SWMM (eng. *Storm Water Management Model*), provedena je hidraulička analiza sustava. Ovaj program omogućava detaljan proračun hidrauličkih karakteristika sustava te simulaciju različitih scenarija opterećenja i otjecanja oborinskih i sanitarnih otpadnih voda.
- Ključni elementi sustava, uključujući crpne stanice, preljeve i retencije, integrirani su u izrađeni model kako bi se osigurala funkcionalnost i učinkovitost sustava u različitim uvjetima.

3. Priprema troškovnika:

- Kao završni korak, pripremljen je troškovnik predloženog sustava odvodnje. U ovoj fazi su procijenjena financijska sredstva potrebna za realizaciju projekta, uključujući troškove izgradnje i održavanja.

Programi korišteni za izradu proračuna te za grafički prikaz situacije i rezultata navedenih proračuna u okviru ovog diplomskog rada su sljedeći:

- AutoCAD 2024 – softver tvrtke Autodesk koji omogućuje dvodimenzionalno i trodimenzionalno računalno projektiranje.

- CADTools – dodatni alat razvijen od strane Larsa Karlssona, korišten za proširenje mogućnosti trodimenzionalnog projektiranja unutar AutoCAD 2024.
- Excel – softver tvrtke Microsoft koji se koristi za rješavanje različitih matematičkih problema, analizom podataka u tablicama i poljima s mogućnošću povezivanja formula.
- EpaCAD – softver korišten za prijenos podataka iz AutoCAD-a u format pogodan za upotrebu u programima EPANET i EPASWMM.
- EPASWMM 5.1 (Storm Water Management Model) – softver razvijen od strane američke Agencije za zaštitu okoliša (EPA), koji omogućuje simulaciju stacionarnih i dinamičkih stanja otjecanja suhog, kišnog ili mješovitog dotoka unutar zatvorenih ili otvorenih sustava odvodnje.

Sam postupak izrade idejnog rješenja obuhvatio je uobičajene postupke i radnje temeljene na pravilima struke u izradi projektne dokumentacije razine idejnog rješenja i idejnog projekta, pri čemu je detaljnost prikaza i opisa danog rješenja definirana temeljem Pravilnika o obveznom sadržaju idejnog projekta (NN 118/19)[8].



## 4 ANALIZA POTREBA

### 4.1 Demografski razvoj

Na temelju podataka Državnog zavoda za statistiku provedena je prognoza kretanja broja stanovnika uzimajući u obzir broj stanovnika naselja Krk zabilježen službenim popisima 2011. i 2021. godine.

Na temelju dobivenih podataka, izvršena je projekcija kretanja broja stanovnika (Tablica 1) od trenutnog broja (2023.) do broja stanovnika na kraju projektnog razdoblja (2053.). S obzirom na zabilježeni porast broja stanovnika između 2011. i 2021., pretpostavljen je blagi godišnji prirast stanovništva od 0.5%. Grafički prikaz projekcije kretanja stanovništva prikazan je na Slika 2. Projekcija kretanja broja stanovnika naselja Vrh za period od 2021. do 2053.

Tablica 1. Izračunati broj korisnika za postojeće i planirano stanje

| Kategorija korisnika     | 2023. | 2053. |
|--------------------------|-------|-------|
| Priključeno stanovništvo | 759   | 991   |
| Turisti                  | 255   | 344   |
| Ukupno                   | 1014  | 1335  |



Slika 2. Projekcija kretanja broja stanovnika naselja Vrh za period od 2021. do 2053.

## 4.2 Analiza potrošnje vode za 2053. godinu

Za procjenu potrošnje vode u naselju Vrh za 2053. godinu provedena je detaljna analiza koja uzima u obzir potrebe kućanstava, turističkih djelatnosti i industrije. Ova analiza pruža uvid u očekivanu potrošnju vode i omogućava planiranje odgovarajuće infrastrukture za održiv razvoj zajednice.

Za procjenu potrošnje vode u naselju Vrh za 2053. godinu, provedena je analiza u tri ključna sektora: kućanstvima, turizmu i industriji. Tablica 2 prikazuje izračunanu potrošnju vode u kućanstvima, temeljen na broju kućanstava i prosječnoj potrošnji po kućanstvu. Tablica 3 prikazuje procjenu potrošnje vode za turističke djelatnosti, uključujući broj turista i prosječnu potrošnju po osobi. Tablica 4 pruža uvid u procijenjenu potrošnju vode u industriji. Ove procjene omogućuju sveobuhvatno planiranje potrebne vodnokomunalne infrastrukture za buduće potrebe naselja Vrh.

Tablica 2. Analiza potrošnje vode u kućanstvu

|                                              |        |
|----------------------------------------------|--------|
|                                              | 2053.  |
| Broj stanovnika                              | 1101   |
| Pokrivenost [%]                              | 100    |
| Priključenost [%]                            | 90     |
| Broj priključenih stanovnika                 | 991    |
| Specifična potrošnja stanovništva [l/st*d]   | 125    |
| Srednja dnevna potrošnja [m <sup>3</sup> /d] | 137.69 |
| $K_d$                                        | 1.5    |
| $Q_{\max, \text{dn}}$ [m <sup>3</sup> /d]    | 206.53 |
| $K_h$                                        | 2      |
| $q_{\max, \text{h}}$ [m <sup>3</sup> /h]     | 17.21  |
| $q_{\max, \text{h}}$ [l/s]                   | 4.78   |

Tablica 3. Analiza potrošnje vode u turizmu

|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| Broj turista                                 | 344   |
| Specifična potrošnja turisti [l/st*d]        | 170   |
| Srednja dnevna potrošnja [m <sup>3</sup> /d] | 58.4  |
| $K_d$                                        | 1.5   |
| $Q_{\max, \text{dn}}$ [m <sup>3</sup> /d]    | 87.65 |
| $K_h$                                        | 2     |
| $q_{\max, \text{h}}$ [m <sup>3</sup> /h]     | 7.30  |
| $q_{\max, \text{h}}$ [l/s]                   | 2.03  |

Tablica 4. Analiza potrošnje vode u industriji

|                                                    |          |
|----------------------------------------------------|----------|
| Privreda                                           | 84313.93 |
| Srednja dnevna potrošnja [ $\text{m}^3/\text{d}$ ] | 231.0    |
| $K_d$                                              | 2.2      |
| $Q_{\text{max,dn}}$ [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]      | 508.2    |
| $K_h$                                              | 1.8      |
| $q_{\text{max,h}}$ [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]       | 38.11    |
| $q_{\text{max,h}}$ [ $\text{l/s}$ ]                | 10.59    |

### 4.3 Odvodnja komunalnih otpadnih voda

Konačni recipijent za komunalne i oborinske otpadne vode je upojni zdenac, budući da na predmetnom području na prihvatljivoj udaljenosti nema adekvatnih vodotoka i drugih vodnih tijela koja bi mogla poslužiti kao recipijent, a udaljenost do mora je oko 5 km po šumovitom i nenaseljenom terenu. Iako kanalizacijski sustav uobičajeno prima 85-90% potrošenih voda, to je zanemareno u ovom proračunu, odnosno on je proveden na strani sigurnosti, uzimajući pretpostavku da cjelovito utrošene količine vode (100%) završavaju u sustavu odvodnje. Izračunata je količina otpadnih voda za završnu fazu izgradnje naselja Vrh, koje će imati 1335 korisnika. Od toga, 991 su stalni stanovnici, a 344 su turisti.

Odabrana je specifična potrošnja vode od  $q_{sp} = 125 \text{ l}/(\text{korisnik}/\text{dan})$ . Korištenjem odgovarajućih koeficijenata neravnomjernosti za naselje Krk (Tablica 5) određene su srednja dnevna, maksimalna dnevna i satna potrošnja vode.

Tablica 5. Vrijednosti koeficijenta neravnomjernosti potrošnje vode [10]

| Veličina naselja (potrošača)            | Koeficijenti neravnomjernosti |       |
|-----------------------------------------|-------------------------------|-------|
|                                         | $K_D$                         | $K_H$ |
| Ljetovalište i toplice                  | 1.6 do 1.7                    | 2.5   |
| Sela i manja naselja                    | 1.5 do 1.6                    | 2.0   |
| Gradovi ispod 25 tisuća stanovnika      | 1.4 do 1.3                    | 1.6   |
| Gradovi od 25 000 do 50 000 stanovnika  | 1.3 do 1.4                    | 1.4   |
| Gradovi od 50 000 do 100 000 stanovnika | 1.3                           | 1.3   |
| Gradovi preko 100 000 stanovnika        | 1.2                           | 1.2   |

Srednja dnevna količina vode (priključenost 90%)

$$q_{sr} = \frac{1101 \cdot 125}{1000} = 137.69 \left[ m^3/d \right]$$

Maksimalna dnevna količina vode s koeficijentom dnevne neravnomjernosti  $K_D = 1.5$

$$Q_{max,dn} = 137.69 \cdot 1.5 = 206.53 \left[ m^3/d \right]$$

Maksimalna satna količina vode s koeficijentom satne neravnomjernosti  $K_H = 2.0$

$$Q_{max,sat} = \frac{206.53 \cdot 2}{24} = 17.21 \left[ m^3/h \right] = 4.78 \left[ l/s \right]$$

Nadalje, odabrana je specifična potrošnja vode za turiste od

$$q_{sp} = 170 \left[ l/korisnik/dan \right]$$

Srednji dnevna količina vode

$$q_{sr} = \frac{344 \cdot 170}{1000} = 58.4 \left[ m^3/d \right]$$

Maksimalna dnevna količina vode s koeficijentom dnevne neravnomjernosti  $K_D = 1.5$

$$Q_{max,dn} = 58.4 \cdot 1.5 = 87.65 \left[ m^3/d \right]$$

Maksimalna satna količina vode s koeficijentom satne neravnomjernosti  $K_H = 2.0$

$$Q_{max,sat} = \frac{87.65 \cdot 2}{24} = 7.30 \left[ m^3/h \right] = 2.03 \left[ l/s \right]$$

Ukupna godišnja potrošnja od industrije od 2021. do 2023. godini iznosi  $365 \cdot Q_{sr,dn} = 365 \cdot 150 = 54750 \left[ m^3/god \right]$  te uz daljnji godišnji prirast od 1.5% , u 2053. vrijednost iznosi  $86313.83 \left[ m^3/god \right]$ .

Srednji dnevna količina vode od industrije

$$q_{sr} = \frac{84313.93}{365} = 231 \left[ m^3/d \right]$$

Maksimalna dnevna količina vode s koeficijentom dnevne neravnomjernosti  $K_D = 2.2$

$$Q_{max,dn} = 231 \cdot 2.2 = 508.2 \left[ m^3/d \right]$$

Maksimalna satna količina vode s koeficijentom satne neravnomjernosti  $K_H = 1.8$

$$Q_{max,sat} = \frac{508.2 \cdot 1.8}{24} = 38.11 \left[ m^3/h \right] = 10.59 \left[ l/s \right]$$

Maksimalna satna količina vode od hotela uzeta je kao

$$Q_{sr,dn} = \frac{5}{1.5 \cdot 2} = 1.67 \text{ [l/s]}$$

Konačno:

$$\text{Stanovništvo : } Q_{sr,dn,st} = 137.7 \text{ [m}^3/d] = 0.3516 \text{ [l/s]}$$

$$\text{Turisti: } Q_{sr,dn,tur} = 58.4 \text{ [m}^3/d] = 1.5050 \text{ [l/s]}$$

$$\text{Industrija: } Q_{sr,dn,ind} = 231.0 \text{ [m}^3/d] = 0.3186 \text{ [l/s]}$$

$$\text{Hotel= } Q_{sr,dn,ind} = 144 \text{ [m}^3/d]$$

Ukupna količina otpadnih voda za kvalitetno rješenje odvodnje za sve postojeće i buduće korisnike u konačnoj fazi iznosi :

$$Q_{sr,dn,ukupno} = 571.12 \text{ [m}^3/d] = 6.61 \text{ [l/s]}$$

Za gubitke se osigurava količina vode od 30%  $Q_{sr,dn,ukupno}$

$$Q_{tuđe} = 0.30 \cdot 6.61 = 1.983 \text{ [l/s]}$$

Za provedbu otpadnih voda uzeta je 85% vrijednost vode za vodoopskrbu.

#### 4.4 Odvodnja oborinskih voda

Ulazni podaci, prikazani u Pritom su definirane tri oborine, različitih trajanja, a koje su mjerodavne za različita područja podslivova unutar modeliranog područja. Pritom je kao mjerodavno vrijeme trajanja oborine za pojedino podslivno područje odabrano ono trajanje

koje odgovara vremenu koncentracije pojedinog podsliva, budući da se pretpostavlja da u tom trenutku cjelokupni podsliv sudjeluje u otjecanju čime se generira maksimalno otjecanje.

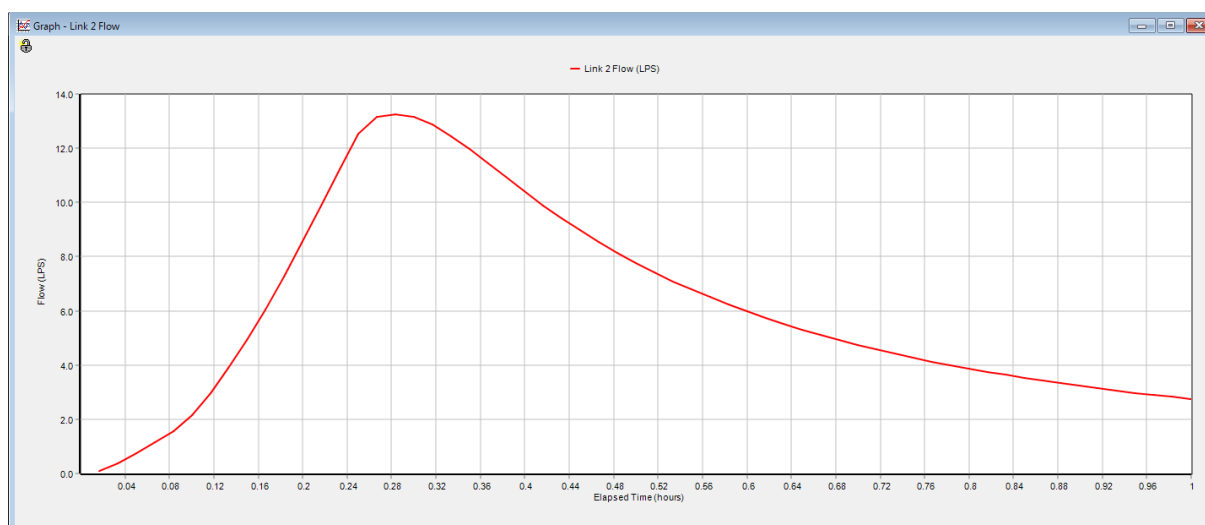
Tablica 6, za mjerodavnu oborinu dobiveni su korištenjem sljedećeg izraza kojim su opisane ITP krivulje mjerodavne za predmetnu lokaciju:

$$i = t^{-0.119} * 564.3$$

Pritom su definirane tri oborine, različitih trajanja, a koje su mjerodavne za različita područja podslivova unutar modeliranog područja. Pritom je kao mjerodavno vrijeme trajanja oborine za pojedino podslivno područje odabrano ono trajanje koje odgovara vremenu koncentracije pojedinog podsliva, budući da se pretpostavlja da u tom trenutku cjelokupni podsliv sudjeluje u otjecanju čime se generira maksimalno otjecanje.

Tablica 6. Ulazni podaci za mjerodavnu oborinu u EPASWMM-u

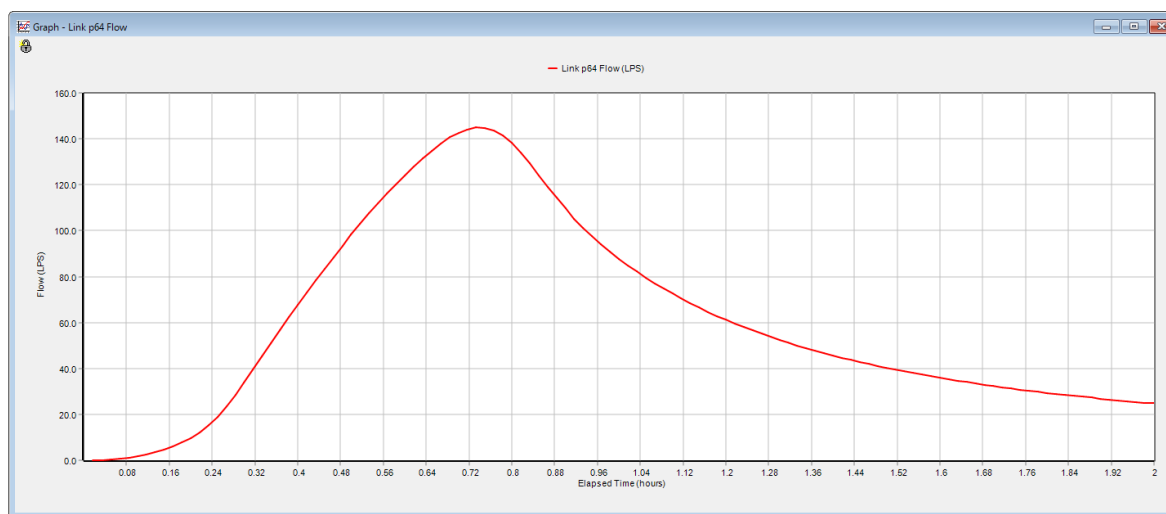
| ITP |           | Oborina 1 | Oborina 2 | Oborina 3 |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| t   | [min]     | 15        | 40        | 35        |
| i   | [l/s/ha]  | 408.84    | 363.80    | 369.63    |
| i   | [mm/min]  | 2.45      | 2.18      | 2.22      |
| i   | [mm/5min] | 12.27     | 10.91     | 11.09     |



Slika 3. Mjerodavni hidrogram otjecanja na lokaciji cijevi 2

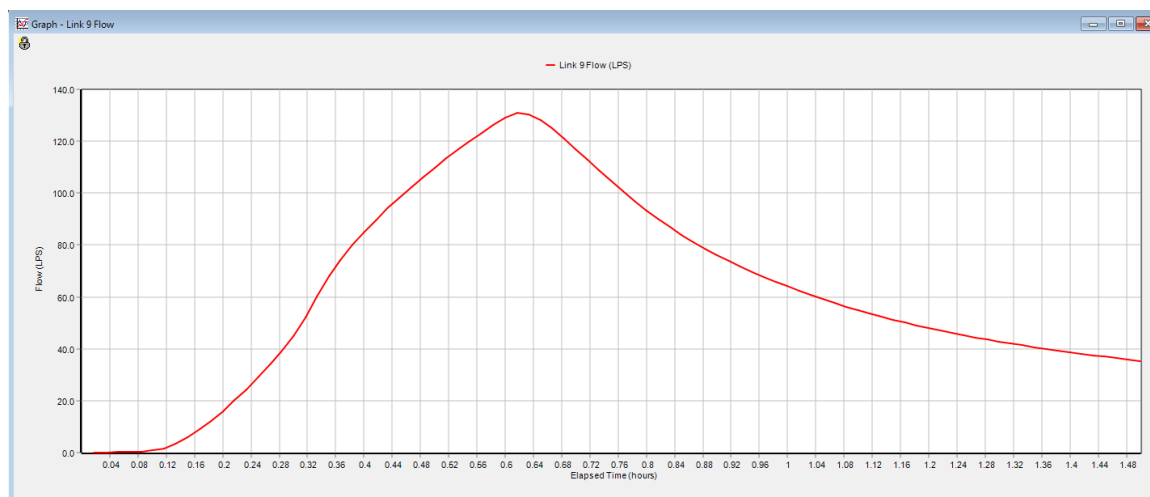


Iz hidrograma otjecanja (Slika 3) vidljivo je da je vrijeme koncentracije 15 minuta i to je mjerodavno vrijeme uzeto da bi se temeljem ITP odnosa dalje odredio intenzitet oborine 1.



Slika 4. Mjerodavni hidrogram otjecanja na lokaciji cijevi p64

Iz hidrograma otjecanja (Slika 4) vidljivo je da je vrijeme koncentracije 40 minuta i to je mjerodavno vrijeme uzeto da bi se temeljem ITP odnosa dalje odredi intenzitet oborine 2.



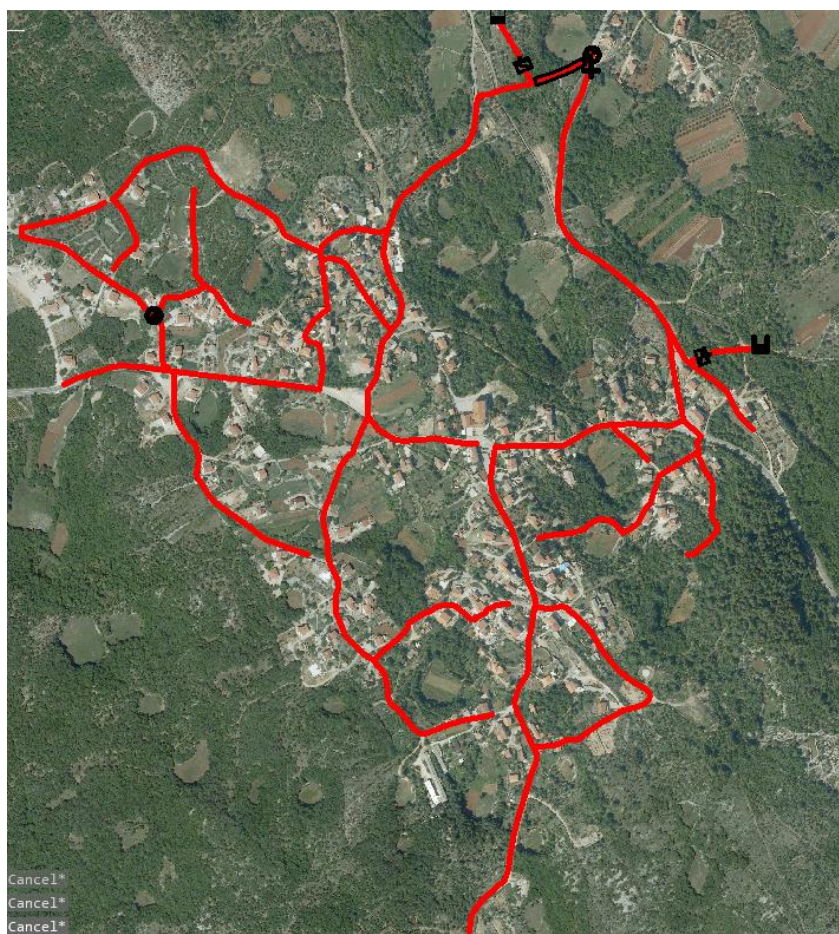
Slika 5. Mjerodavni hidrogram otjecanja na lokaciji cijevi 9

Iz hidrograma otjecanja (Slika 5) vidljivo je da je vrijeme koncentracije 35 minuta i to je mjerodavno vrijeme uzeto da bi se temeljem ITP odnosa dalje odredio intenzitet oborine 3.

## 5 HIDRAULIČKI PRORAČUN MJEŠOVITOG SUSTAVA ODVODNJE

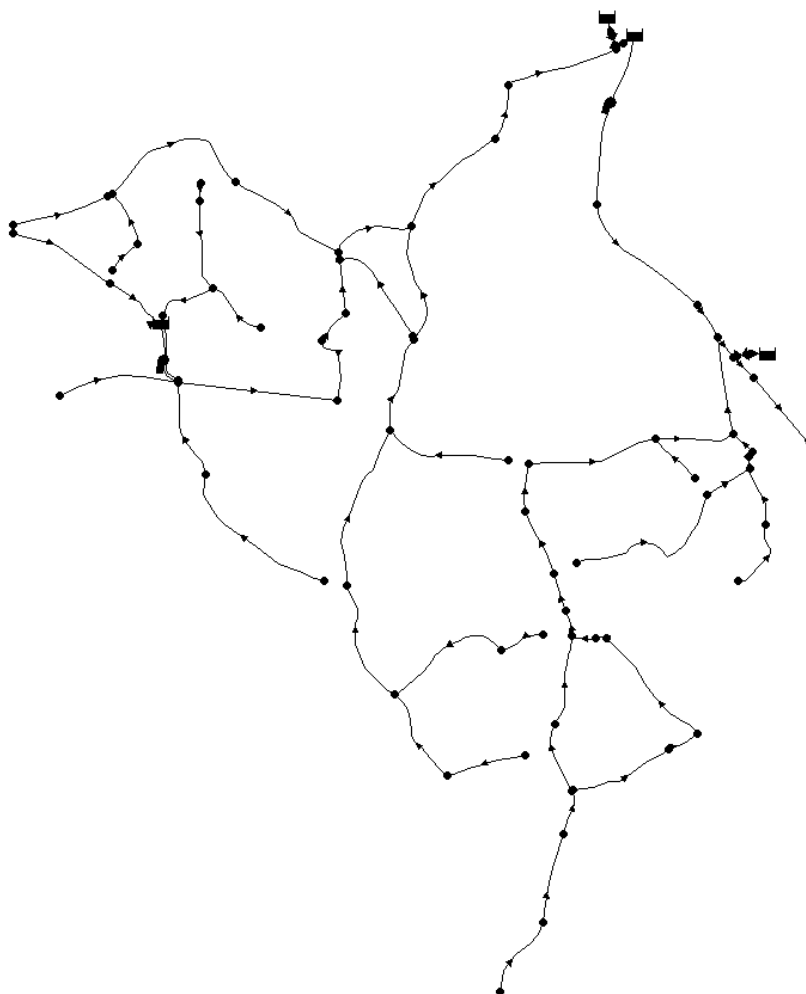
### 5.1 Model kanalizacijske mreže u programu EPASWMM

Prije prijenosa mreže mješovite odvodnje iz AutoCAD-a (Slika 6) u EPASWMM, bilo je ključno, koristeći programski paket CADtools, transformirati 2D polilinije vodoopskrbne mreže u 3D polilinije te stvoriti trodimenzionalnu projekciju mreže na temelju topografskih podataka. To je postignuto projekcijom svih krajnjih točaka pojedine dionice, tj. čvorova modela, na slojeve terena kako bi se dobile njihove visinske kote. Za daljnju kompatibilnost s EPASWMM-om, korišten je alat EpaCAD za konverziju AutoCAD datoteke u format (.inp) prepoznatljiv za EPASWMM. Kako bi se ova .inp datoteka, generirana pomoću EpaCAD-a, uspješno učitala u SWMM, bilo je potrebno dodatno prilagoditi određene parametre. Slivne površine definirane su izravno u EPASWMM-u koristeći naredbu "add a subcatchment".

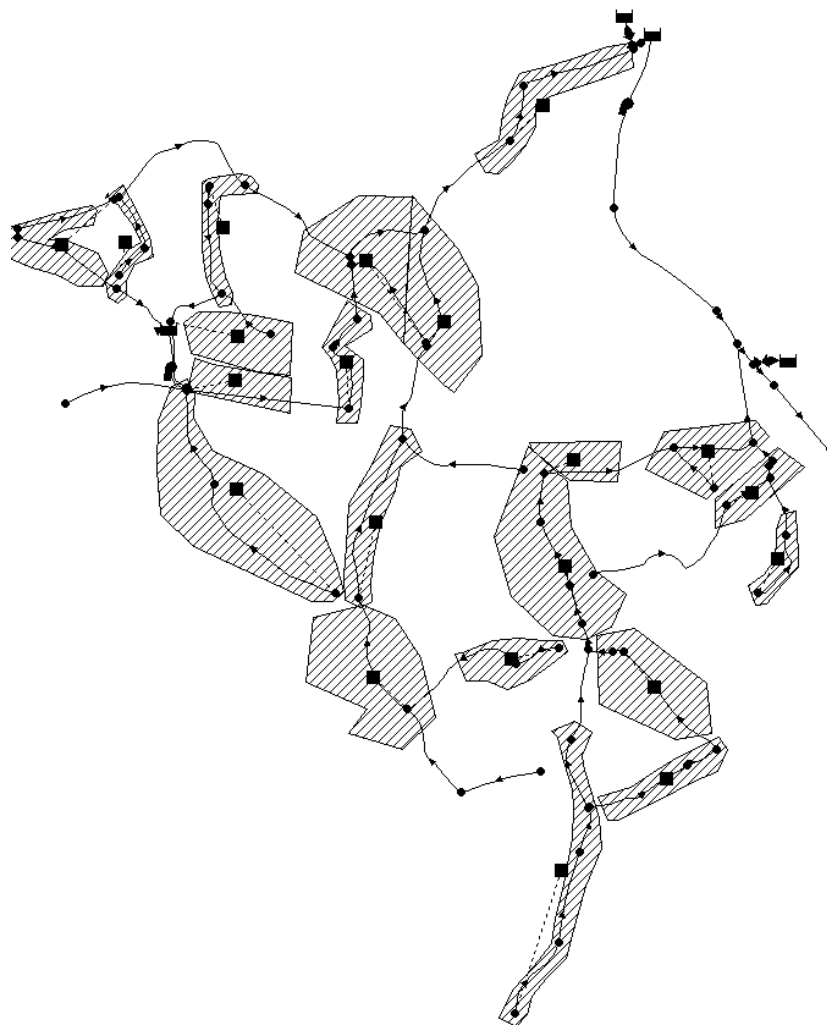


Slika 6. Mreža mješovite odvodnje naselja Vrh u AutoCAD-u

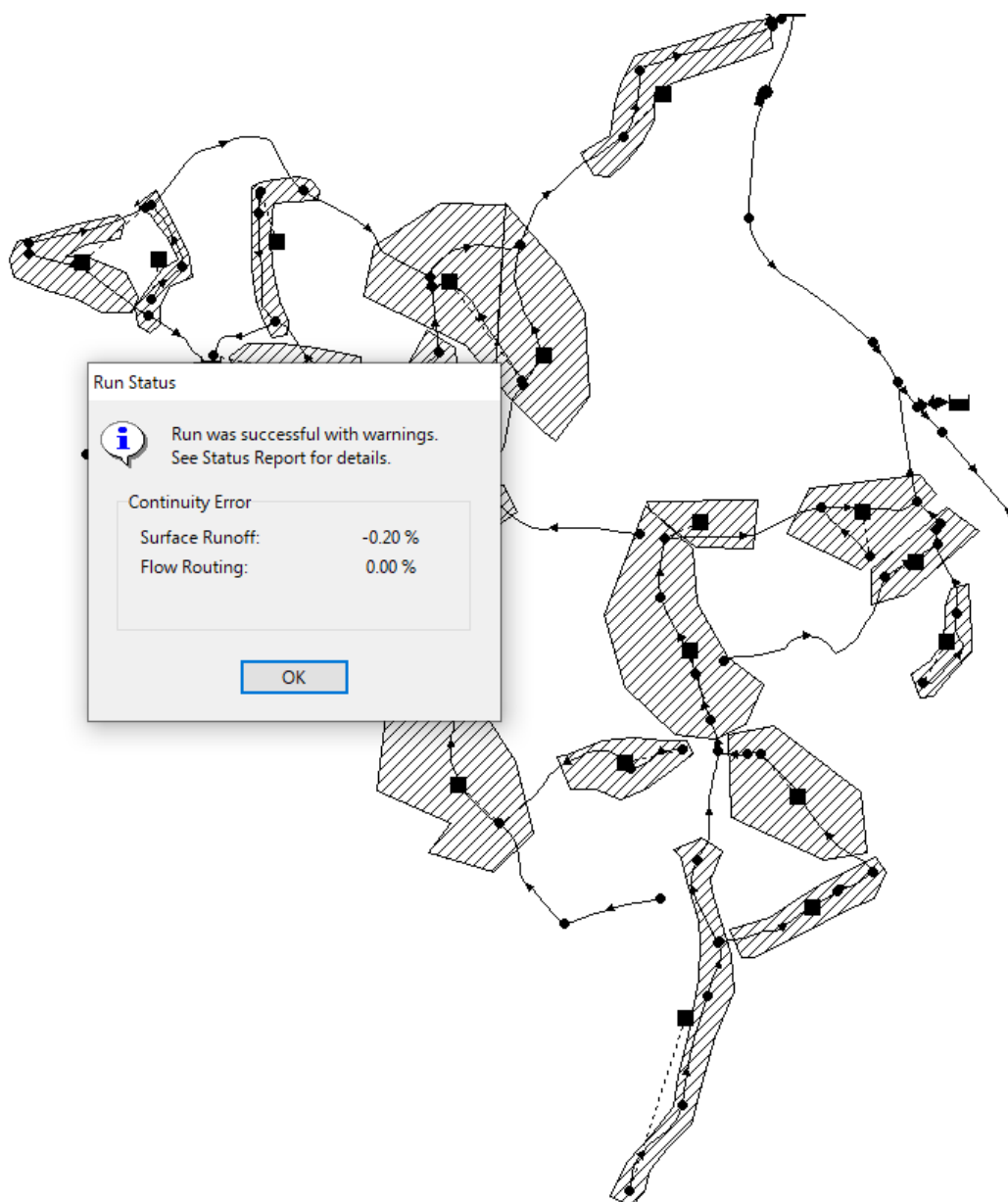
Na Slika 7 prikazan je detaljan model mješovitog sustava odvodnje naselja Vrh na otoku Krku. Ovaj model ilustrira osnovne komponente sustava, uključujući glavne kolektore i sekundarnu mrežu, crpne stanice, retencije i preljeve, koji su integrirani u cjelokupni sustav odvodnje. Na Slika 8 prikazan je prošireni model istog sustava, u kojem su uz osnovnu mrežu odvodnje uključene i pripadne slivne površine. Na Slika 9 prikazana je simulacija mješovitog sustava odvodnje naselja Vrh izvedena u softveru EPASWMM koja svjedoči o „dovoljno maloj grešci“, odnosno zadovoljavajućoj točnosti provedenog proračuna.



Slika 7. Mreža mješovite odvodnje naselja Vrh u EpaSWMM-u



Slika 8. Mreža mješovite odvodnje s prikazanim slivnim površinama naselja Vrh u EpaSWMM-u



Slika 9. Simulacija sustava odvodnje u EpaSWMM-u

Ukupno je izrađen model za obuhvat geometrije sljedećih elemenata:

- 70 računskih čvorova (junctions)
- 71 računskih dionica – cijevi (conduits), ukupne duljine 4,6 km
- 21 podslivovi (subcatchments)
- 2 crpne stanice (pumps)
- 1 cijevna retencija
- 2 upojna zdenca

## 5.2 Opis sustava i definiranje mjerodavne količine otpadnih voda na modelu

Hidraulički proračun mreže mješovite odvodnje vrši se pomoću programskog paketa EPA SWMM 5.1. Tijekom pojave oborine, dio oborinskih voda koje se inicijalno infiltriraju u podzemlje, ali i podzemne vode u uvjetima povišene razine, procjeđuje se u mrežu, što se naziva tuđim vodama. Procjenjuje se da te vode čine 30% količine otpadnih voda. U tuđe vode ubrajaju se i ilegalni priključci.

Dotok otpadnih voda od stanovnika i turista definira se metodom linearnog uprosječivanja, pri čemu je dotok otpadnih voda na određenom dijelu mreže proporcionalan njegovoj duljini. Na temelju maksimalnih satnih dotoka određuje se specifični dotok za svaku kategoriju potrošača (Tablica 7). Specifični dotok za određenu kategoriju potrošača izračunava se kao omjer ukupnog dotoka te kategorije i ukupne duljine mreže na kojoj se ti potrošači nalaze.

Tablica 7. Određivanje specifičnog dotoka za svaku kategoriju potrošača

| Ukupna duljina mreže $l = 5797.63$ m |                   |                                            |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|
|                                      | $q_{max,h} [l/s]$ | $q_{spec,sit} = \frac{q_{max,h} [l/s]}{l}$ |
| Stanovništvo                         | 4.78              | 0.000825                                   |
| Turisti                              | 2.03              | 0.000350                                   |

Definiranje dotoka svake dionice računa se kao  $q_{spec,sit} \cdot l_i$  (Tablica 8) te se tako dobivena vrijednost postavlja se u uzvodni dionice što predstavlja najnepovoljniji slučaj.

Tablica 8. Iznos dotoka otpadnih voda od stanovnika i turista po dionicama

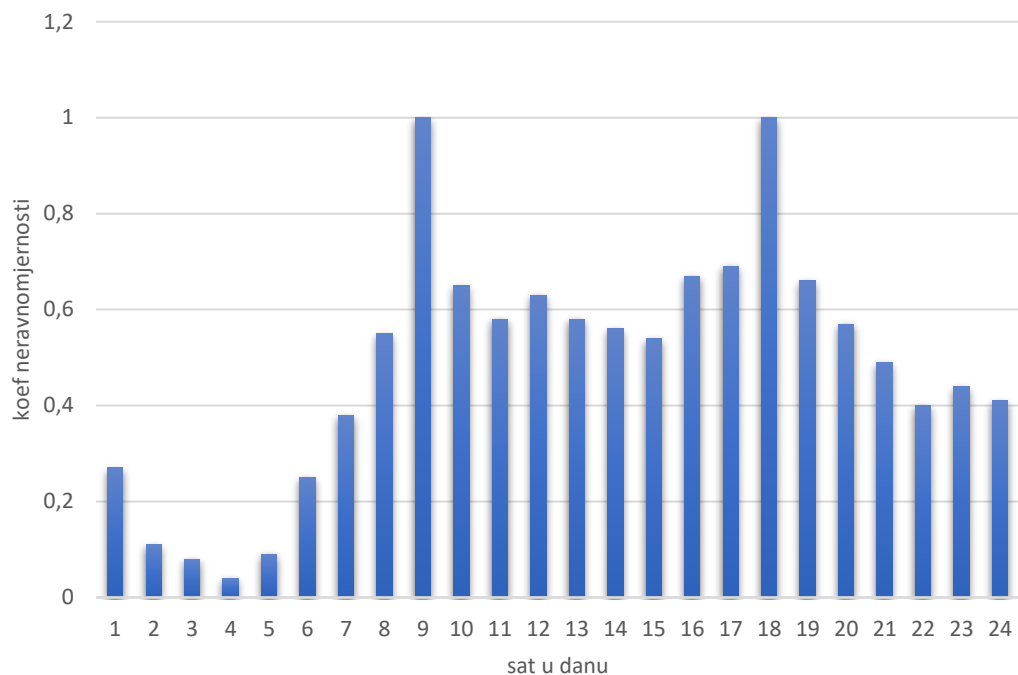
| Oznaka cjevovoda | Početna točka | Krajnja točka | Duljina cijevi [m] | Stanovnici | Turisti |
|------------------|---------------|---------------|--------------------|------------|---------|
| p1               | n1            | n2            | 536.20             | 0.221      | 0.094   |
| p3               | n4            | n2            | 326.00             | 0.135      | 0.057   |
| p4               | n4            | n5            | 194.00             | 0.080      | 0.034   |
| p5               | n6            | n4            | 214.10             | 0.088      | 0.037   |

|     |     |     |        |       |       |
|-----|-----|-----|--------|-------|-------|
| p6  | n4  | n7  | 395.30 | 0.163 | 0.069 |
| p7  | n6  | n8  | 124.00 | 0.051 | 0.022 |
| p8  | n8  | n9  | 89.29  | 0.037 | 0.016 |
| p9  | n8  | n1  | 92.02  | 0.038 | 0.016 |
| p10 | n1  | n9  | 132.70 | 0.055 | 0.023 |
| p11 | n1  | n10 | 111.50 | 0.046 | 0.020 |
| p12 | n9  | n11 | 22.03  | 0.009 | 0.004 |
| p13 | n11 | n12 | 49.95  | 0.021 | 0.009 |
| p14 | n12 | n13 | 60.78  | 0.025 | 0.011 |
| p15 | n14 | n11 | 126.70 | 0.052 | 0.022 |
| p16 | n11 | n10 | 155.40 | 0.064 | 0.027 |
| p17 | n15 | n10 | 113.90 | 0.047 | 0.020 |
| p18 | n15 | n16 | 168.60 | 0.070 | 0.030 |
| p19 | n14 | n6  | 79.85  | 0.033 | 0.014 |
| p20 | n17 | n18 | 51.09  | 0.021 | 0.009 |
| p21 | n7  | n17 | 180.70 | 0.075 | 0.032 |
| p22 | n17 | n19 | 47.87  | 0.020 | 0.008 |
| p23 | n18 | n14 | 48.18  | 0.020 | 0.008 |
| p24 | n20 | n18 | 144.40 | 0.060 | 0.025 |
| p25 | n21 | n7  | 159.50 | 0.066 | 0.028 |
| p26 | n22 | n23 | 73.04  | 0.030 | 0.013 |
| p27 | n24 | n20 | 56.52  | 0.023 | 0.010 |
| p28 | n24 | n25 | 184.10 | 0.076 | 0.032 |
| p29 | n26 | n22 | 131.60 | 0.054 | 0.023 |
| p30 | n22 | n20 | 19.80  | 0.008 | 0.003 |
| p31 | n26 | n27 | 84.69  | 0.035 | 0.015 |
| p32 | n28 | n26 | 13.08  | 0.005 | 0.002 |

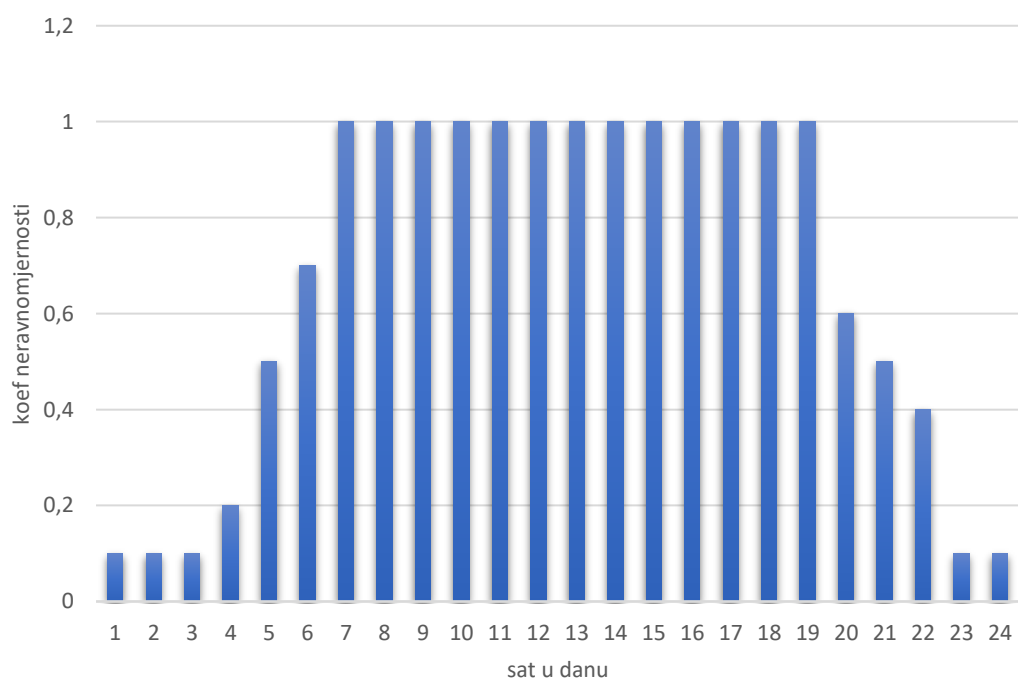
|     |     |     |        |       |       |
|-----|-----|-----|--------|-------|-------|
| p33 | n29 | n28 | 101.20 | 0.042 | 0.018 |
| p34 | n30 | n28 | 16.79  | 0.007 | 0.003 |
| p35 | n30 | n31 | 23.58  | 0.010 | 0.004 |
| p36 | n32 | n30 | 35.98  | 0.015 | 0.006 |
| p38 | n32 | n34 | 127.00 | 0.052 | 0.022 |
| p43 | n29 | n38 | 45.89  | 0.019 | 0.008 |
| p44 | n39 | n21 | 177.90 | 0.073 | 0.031 |
| p45 | n21 | n40 | 127.50 | 0.053 | 0.022 |
| p46 | n25 | n39 | 95.45  | 0.039 | 0.017 |
| p47 | n25 | n41 | 95.91  | 0.040 | 0.017 |
| p48 | n25 | n42 | 38.81  | 0.016 | 0.007 |
| p49 | n42 | n43 | 229.00 | 0.094 | 0.040 |
| p50 | n43 | n44 | 139.40 | 0.058 | 0.024 |
| p51 | n41 | n45 | 48.98  | 0.020 | 0.009 |
| p52 | n40 | n45 | 140.60 | 0.058 | 0.025 |
| p53 | n45 | n44 | 66.68  | 0.028 | 0.012 |
| p54 | n44 | n46 | 95.07  | 0.039 | 0.017 |

Također je bilo potrebno napraviti zajednički dijagram neravnomyernosti (Slika 10-Slika 13) za kategorije potrošača korištene u linearnom uprosječivanju dotoka (dakle, danom neravnomyernosti dotoka obuhvaćene su kategorija stalnog stanovništva, turista, privrede i tuđih voda).

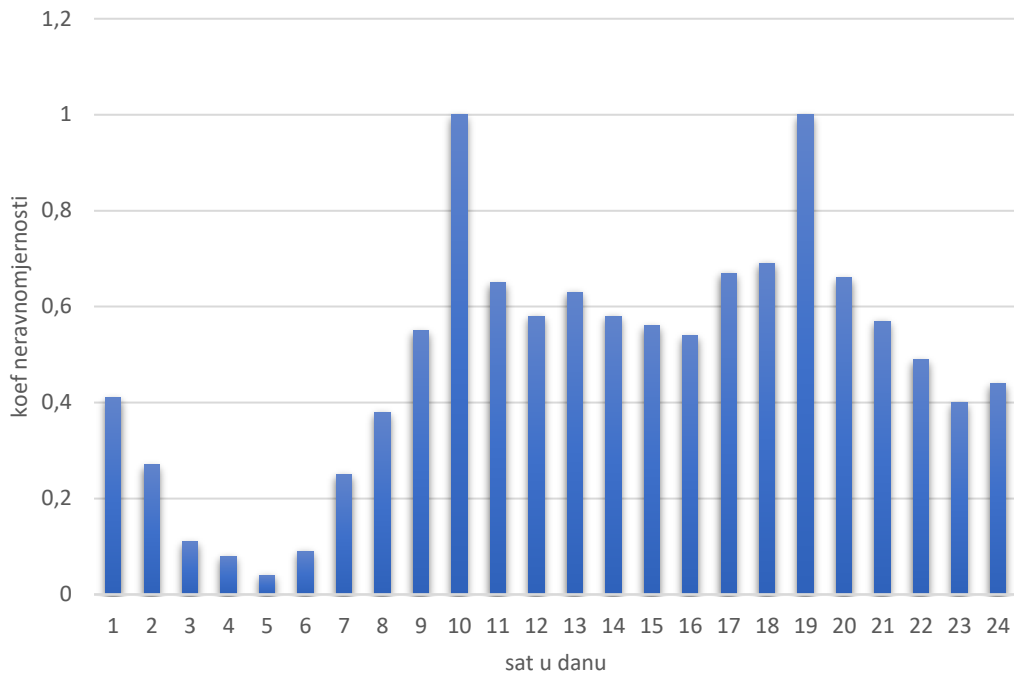




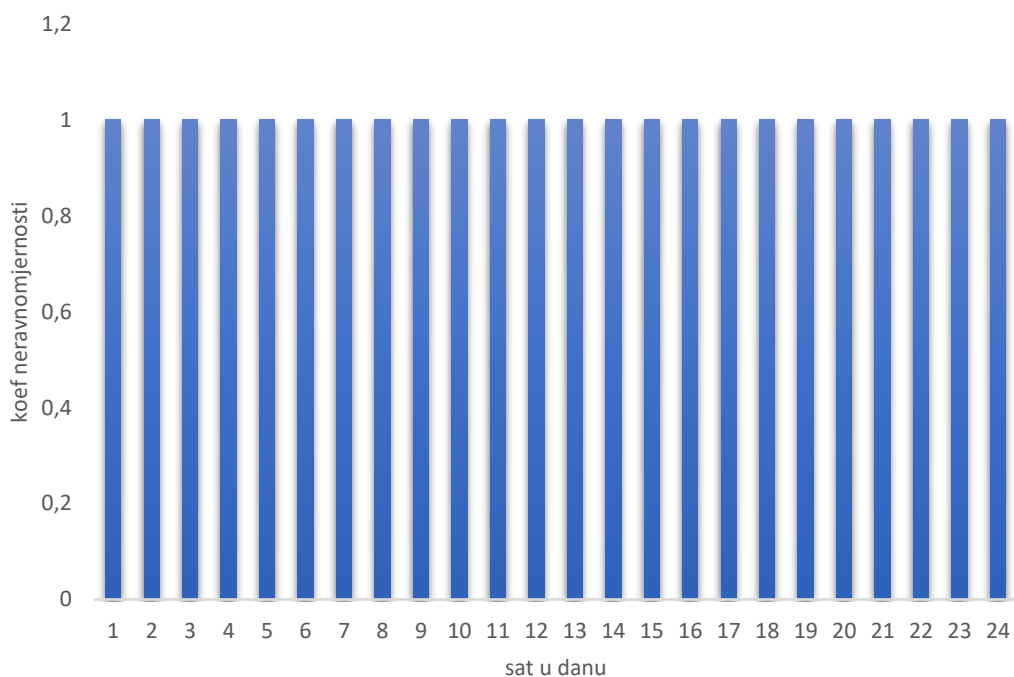
Slika 10. Dijagram neravnomjernosti za dotok od stalnog stanovništva



Slika 11. Dijagram neravnomjernosti za dotok od privrede



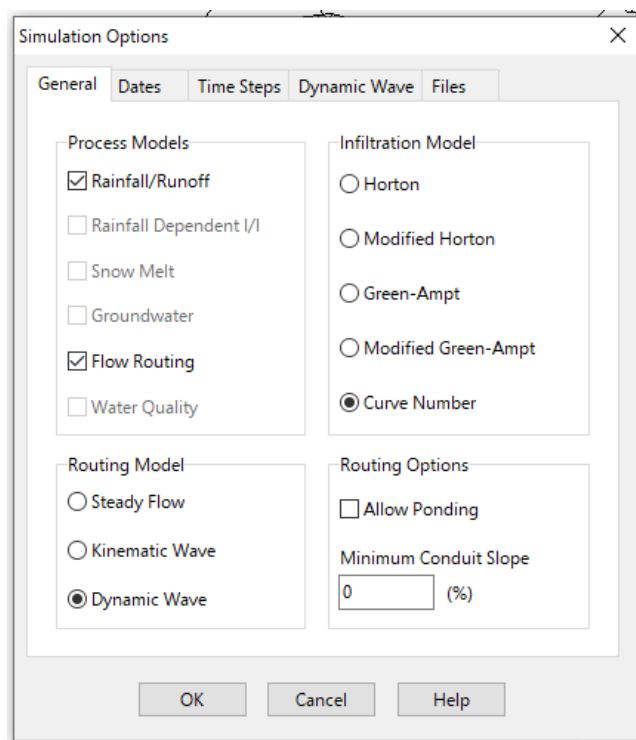
Slika 12. Dijagram neravnomjernosti za dotok od turista



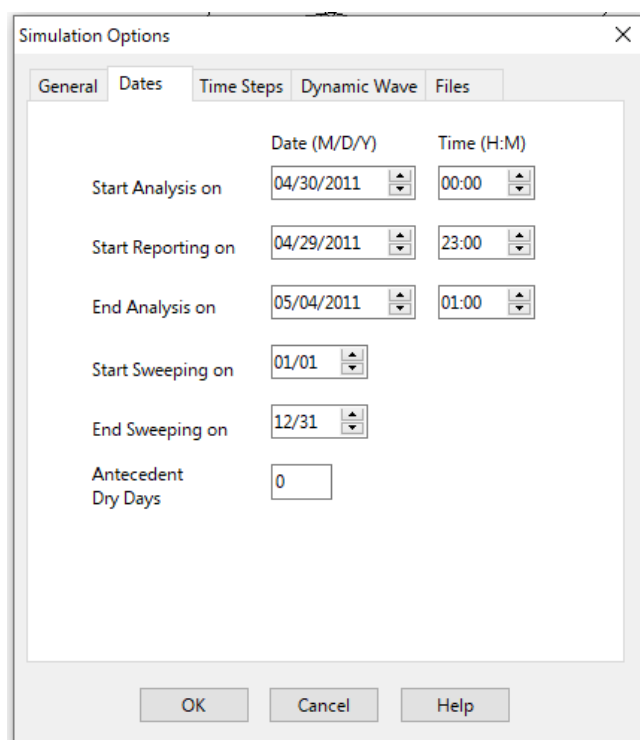
Slika 13. Dijagram neravnomjernosti za dotok tuđih voda

Nakon unosa vrijednosti hidrauličkih opterećenja (dotoka otpadnih voda), u modelu sanitarne odvodnje definirane su karakteristike korištenih građevina sanitarne odvodnje. U

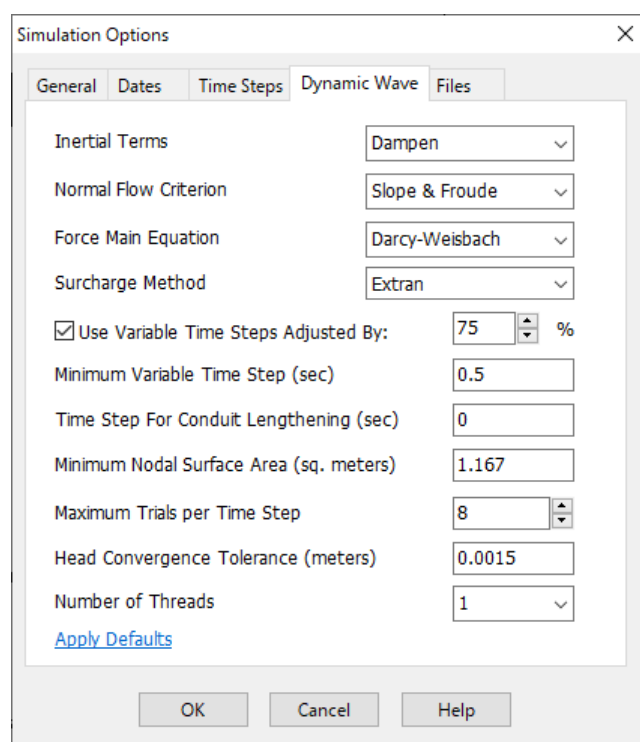
programu su to kanalizacijska mreža, dvije crpne stanice, dva preljeva, cijevna retencija i dva upojna zdenca. Za model transformacije odabran je model dinamičkog vala (Slika 14). Simulacija je postavljena da traje 97 sati (Slika 15). Na Slika 16 prikazano je definiranje parametara propagacije vodnog vala.



Slika 14. Osnovne postavke proračuna (simulacije)



Slika 15. Definiranje vremena proračuna (simulacije)



Slika 16. Definiranje parametara propagacije vodnog vala

Definiranje karakteristika cijevi u kanalizacijskoj mreži igra ključnu ulogu u modeliranju odvodnje. U ovom programu, parametri se postavljaju na sljedeći način:

### 1. Promjer cijevi

- postavlja se kao "max. depth" u izborniku svojstava dionice
- promjer cijevi se odabire prema sanitarnim standardima, pri čemu je minimalni odabrani promjer 0.3 m te je odabran i ovdje kao početna vrijednost navedenog parametra, koja je kasnije iterativnim postupkom prilagođavana u odnosu na realne potrebe pojedine dionice, a temeljem generiranih dotoka
- promjer cijevi prikazan je na Slika 17

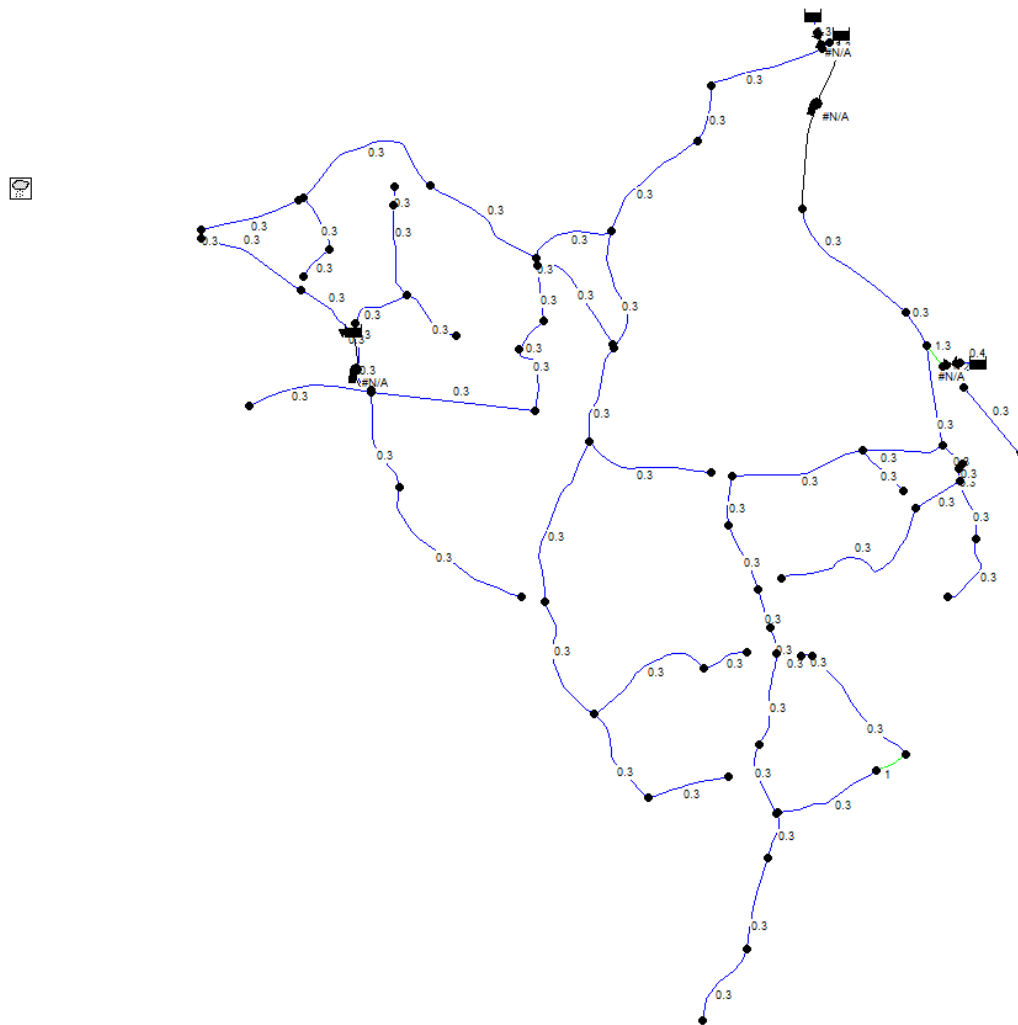
### 2. Hrapavost cijevi:

- unosi se kao Manningov koeficijent hrapavosti pod opcijom "roughness" u izborniku svojstava dionice
- za potrebe ovog modela, odabran je koeficijent hrapavosti 0.013, što odgovara pogonskoj hrapavosti cijevi. Također se može koristiti vrijednost 0.014, ovisno o specifičnim zahtjevima sustava
- hrapavost cijevi prikazana je na Slika 18

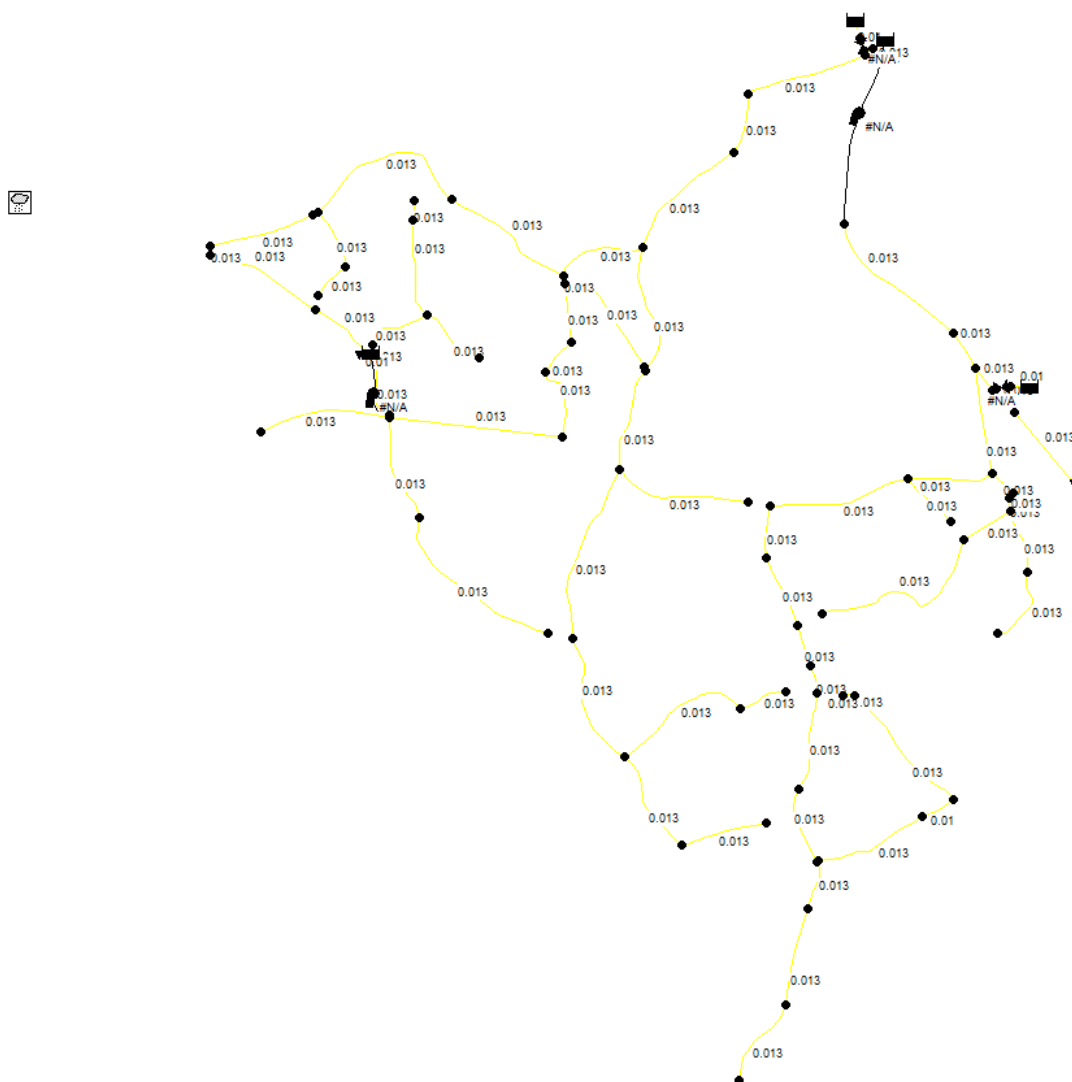
### 3. Dubina ugradnje za čvorove:

- potrebno je definirati dubinu ugradnje za svaki čvor, što predstavlja visinsku razliku između kote nivelete kanala i kote terena (prometnice), za potrebe ovog modela kao početna vrijednost ovog parametra odabrana je vrijednost 1.3.

Navedene karakteristike omogućuju precizno modeliranje hidrauličkih parametara unutar kanalizacijske mreže u korištenom programskom paketu. Važno je pridržavati se minimalnih promjera cijevi te minimalnih nagiba, koji se često definiraju prema standardima sanitarne odvodnje, kako bi se osiguralo pravilno funkcioniranje sustava. Hrapavost cijevi se određuje prema stvarnim uvjetima i materijalu cijevi, dok dubina ugradnje utječe na hidrauličke profile i protok vode u sustavu.



Slika 17. Promjeri cijevi mješovitog sustava odvodnje u EPASWMM-u



Slika 18. Hrapavost cijevi mješovitog sustava odvodnje u EPASWMM-u

Pri izradi ovog idejnog rješenja, početna vrijednost dubine ugradnje postavlja se kao 1.3 [m]. Razmatra se sljedeći pristup:

- i. Izračun dubine ugradnje:
  - dubina ugradnje računa se kao zbroj debljine posteljice, promjera cijevi i nadtjemene visine.
  - u ovom slučaju, to iznosi 1.3 [m] ( $0.1 + 0.3 + 0.9$ ).
- ii. Pretpostavka o jednakosti kote terena i nivelete kanala:
  - pojednostavljeno se pretpostavlja da kota terena odgovara koti nivelete kanala u ovom početnom koraku.

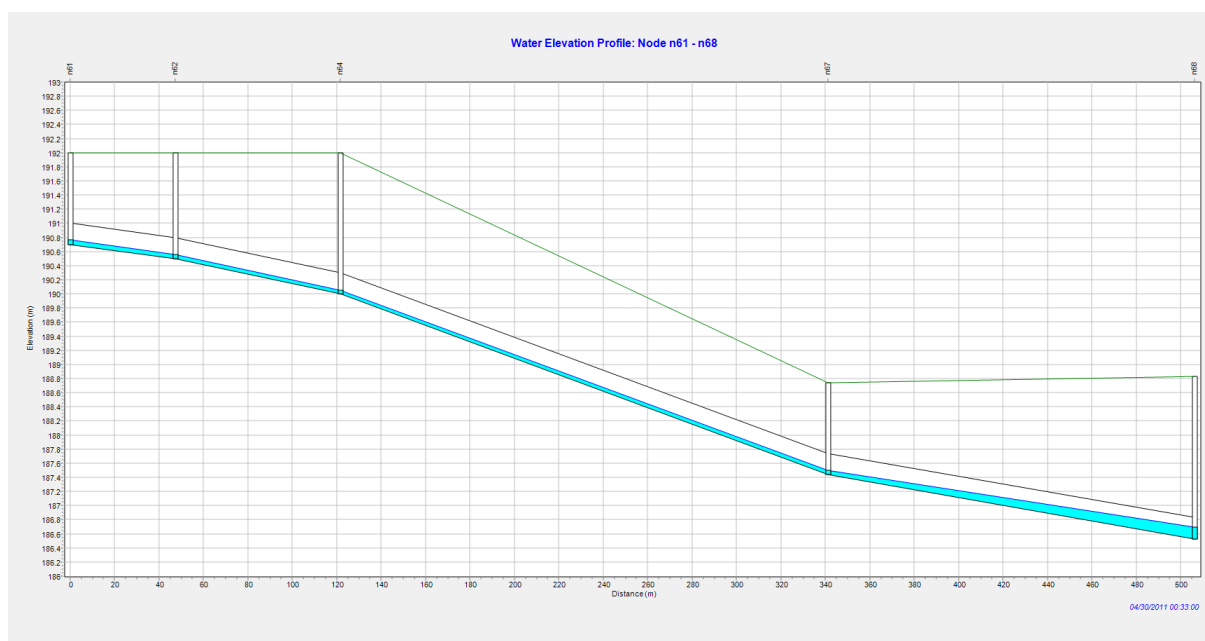
- Zbog toga se svim čvorovima dodaje "Max Depth" vrijednost od 1.3 [m], a istu vrijednost oduzima od kote nivelete ("Invert Elevation").

iii. Prilagodba za gravitacijsko tečenje:

- Kako bi se osiguralo gravitacijsko tečenje, neki dijelovi cijevi su ukopani malo dublje.

- Mijenjanjem "Max Depth" i "Invert Elevation" postiže se prilagodba koja smanjuje grešku i osigurava gravitacijsko tečenje.

Ovaj pristup omogućava inicijalno postavljanje dubina ugradnje koje podržavaju gravitacijsko tečenje. Daljnje prilagodbe mogu biti potrebne tijekom razvoja modela kako bi se postigla bolja usklađenost sa stvarnim uvjetima terena i hidrauličkim zahtjevima sustava. U rješenju su se u svrhu uspostavljanja minimalnog nagiba od 3 ‰ mijenjale dubine ugradnje čvorova, dok su promjeri cijevi iterativnim postupkom namještene na način da ne dođe do isplivavanja vode na površinu ili do uspora u cijevima. Na Slika 19 prikazan je primjer korekcije dubine ugradnje na dionici mreže od čvorova n61 do n68.



Slika 19. Dio kanalske mreže poslije korekcija dubine ugradnje u SWMM-u

### 5.3 Opis sustava i definiranje mjerodavne količine oborinskih voda

U SWMM-u, za modeliranje oborinske odvodnje, koriste se ključni modelski elementi. Rain Gage (kišomjer) služi za bilježenje oborina na slivnoj površini, koja se definira pomoću Subcatchments ikone.

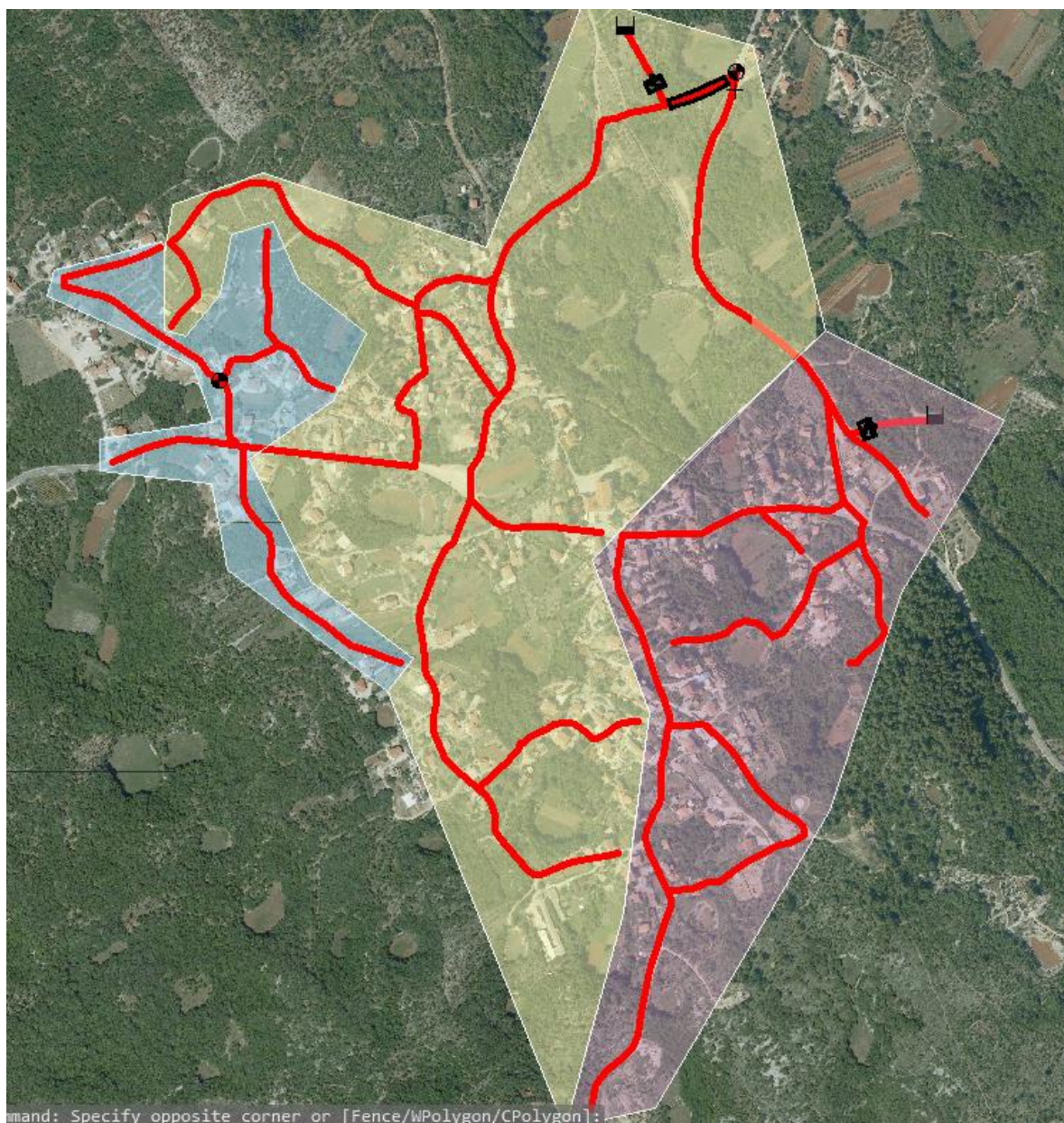


Nakon iscrtavanja slivne površine u SWMM-u, dodjeljuje joj se pripadna kišomjerna stanica (Rain Gage), u ovom slučaju nazvana "Kisomjer". U svojstvima slivne površine postavlja se najuzvodni čvor predmetne dionice (Outlet), dok kraj mreže oborinske odvodnje predstavljaju dva upojna zdenca i jedan odvodni kanal zbog nedostatka izlaza na more u mjestu Vrh na Krku.

Parametri poput veličine slivne površine ("Area") za svaku dionicu i koeficijenta otjecanja ("% Imperv") koji uzima u obzir sve betonske površine postavljaju se u izborniku svojstava. Ostali parametri postavljeni su na početne "default" vrijednosti. Za Subarea routing odabran je „Outlet“, a za "Percent routed" postavljena je vrijednost 100, što znači da se svih 100% oborine koja padne na slivnu površinu transformira u otjecanje. Proces otjecanja modeliran je pomoću dinamičkog vala, dok se za proces infiltracije koristi SCS metoda (Soil Conservation Service), koja se oslanja na definiranje Curve Number (CN) broja.

U SWMM-u, oborina se definira kao hijetogram, odnosno vremenska serija "Time series". Potrebno je zadati naziv oborine, njezino trajanje s određenim vremenskim korakom (5 minuta) i vrijednost intenziteta oborine, izraženu u mm/h. Vrijednost intenziteta određuje se na temelju mjerodavne ITP krivulje, uzimajući u obzir povratni period od 5 godina i trajanje oborine jednako vremenu koncentracije konkretnog podsliva.

Podslivovi oborinske odvodnje procjenjuju se prema položaju crpnih stanica i topografiji terena, pa je tako formirano tri dijela svaki sa svojim vremenom koncentracije i mjerodavnim intenzitetom oborine (Slika 20). Ulazni podaci mjerodavnih oborina koji su korišteni u EPASWMM-u prikazani su u Tablica 9.



Slika 20. Prikaz podslivova s pripadajućim mjerodavnim oborinama

Tablica 9. Ulazni podaci mjerodavnih oborina za EPASWMM

| Naziv vremenske serije | Vrijeme koncentracije | Mjerodavna vrijednost intenziteta oborine u 5 min [mm/h] |
|------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------|
| Oborina 1              | 15 min                | 12.27                                                    |
| Oborina 2              | 40 min                | 10.91                                                    |
| Oborina 3              | 35 min                | 11.10                                                    |

Za odabrana vremena koncentracije i povratni period od 5 godina te mjerodavne vrijednosti intenziteta oborine dimenzionirana je kanalska mreža i objekti oborinske odvodnje. Promjeri kanala određuju se tako da nema tečenja pod tlakom.

## 5.4 Dimenzioniranje i definiranje elemenata sustava odvodnje u SWMM-u

### 5.4.1 Tlačni cjevovodi

Profil dva tlačna cjevovoda odabran je preko jednadžbe protoka. Budući da minimalna brzina od oko 0.7 [m/s] osigurava dovoljnu turbulenciju za sprječavanje taloženja čvrstih tvari u cjevovodu, dok maksimalna brzina od 3.0 [m/s] sprječava pretjerano trošenje cjevovoda i smanjuje gubitke tlaka, brzina je odabrana da bude u rasponu od 0.7 [m/s] do 3 [m/s].

Protok cjevovoda p38 iznosi 12 [l/s], što je jednako  $Q = 0.012$  [m<sup>3</sup>/s]. Za brzinu je odabrana vrijednost od 1 [m/s]. Proračun promjera cijevi:

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.012}{\pi \cdot 1}} = 0.1237 \text{ [m]} = 124 \text{ [mm]}$$

Odabrani D je 125 [mm], odnosno odabrani profil cijevi je DN125.

Protok cjevovoda 3 iznosi 6 l/s, što je jednako  $Q = 0.006$  [m<sup>3</sup>/s]. Za brzinu je odabrana vrijednost od 1 [m/s]. Proračun promjera cijevi:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.006}{\pi \cdot 1}} = 0.087 \text{ [m]} = 87 \text{ [mm]}$$

Odabrani D je 100 mm, odnosno odabrani profil cijevi je DN100.

## 5.4.2 Crpna stanica

Crpna stanica za kanalizaciju opremljena je minimalno jednom glavnom i jednom rezervnom crpkom. Kapacitet crpki određuje se na temelju maksimalnog dotoka koji ulazi u bazen crpne stanice. Maksimalni satni dotok određuje se prema broju korisnika koji se spajaju na crpnu stanicu, specifičnom protoku i koeficijentima neravnomjernosti protoka. Minimalna vrijednost maksimalnog satnog protoka postavlja se na 4.0 l/s, a kako bi se zadovoljile minimalno potrebne brzine tečenja u tlačnom cjevovodu nizvodno od crpne stanice, uzimajući u obzir minimalno potrebne profile tlačnog cjevovoda.

Volumen sabirno – crpnog bazena računa se prema izrazu:

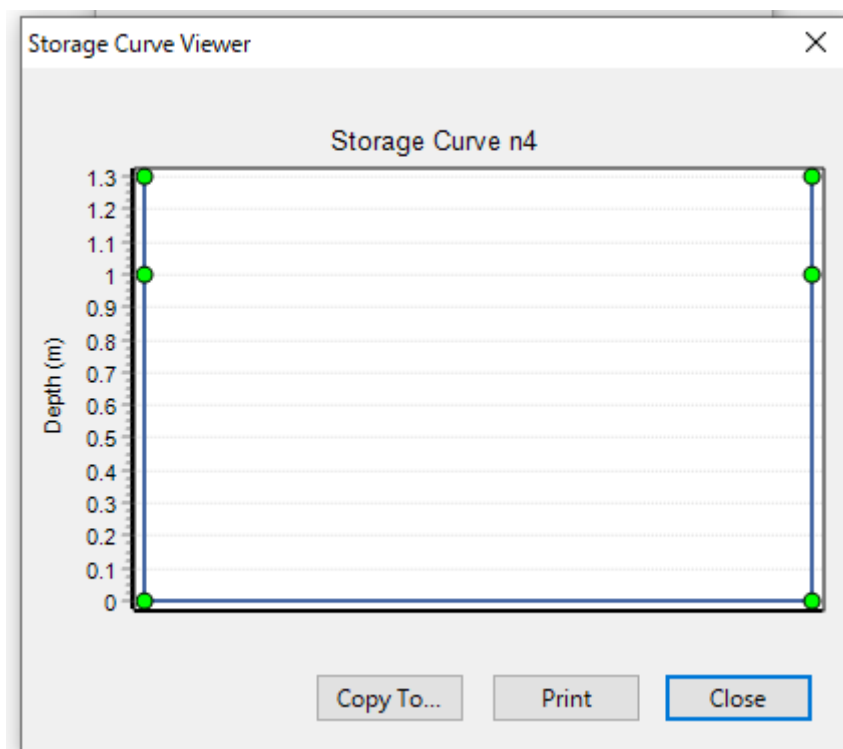
$$V = \frac{0.9 \cdot Q_c}{n}$$

V – volumen saborno crpnog bazena [m<sup>3</sup>]

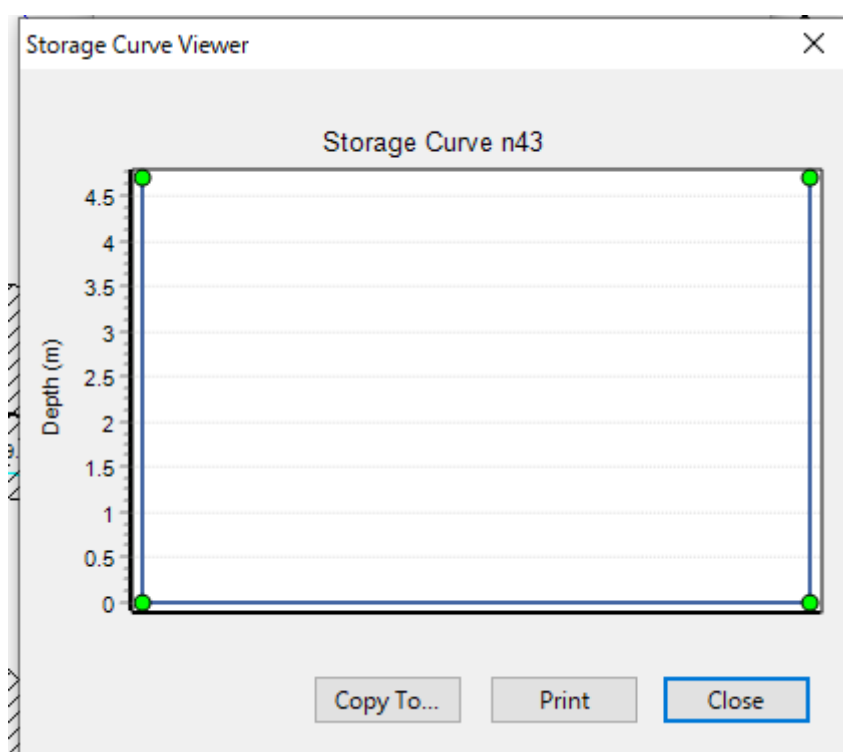
Q<sub>c</sub> – instalirani kapacitet crpke [l/s]

N – broj uključenja crpke u jednom satu [1/h]

Na mjestu gdje je planirana crpna stanica postavlja se crpni bazen (Storage Node). Volumen crpnog bazena definira se pomoću krivulje volumena bazena (Storage Curve) (Slika 21- Slika 22).

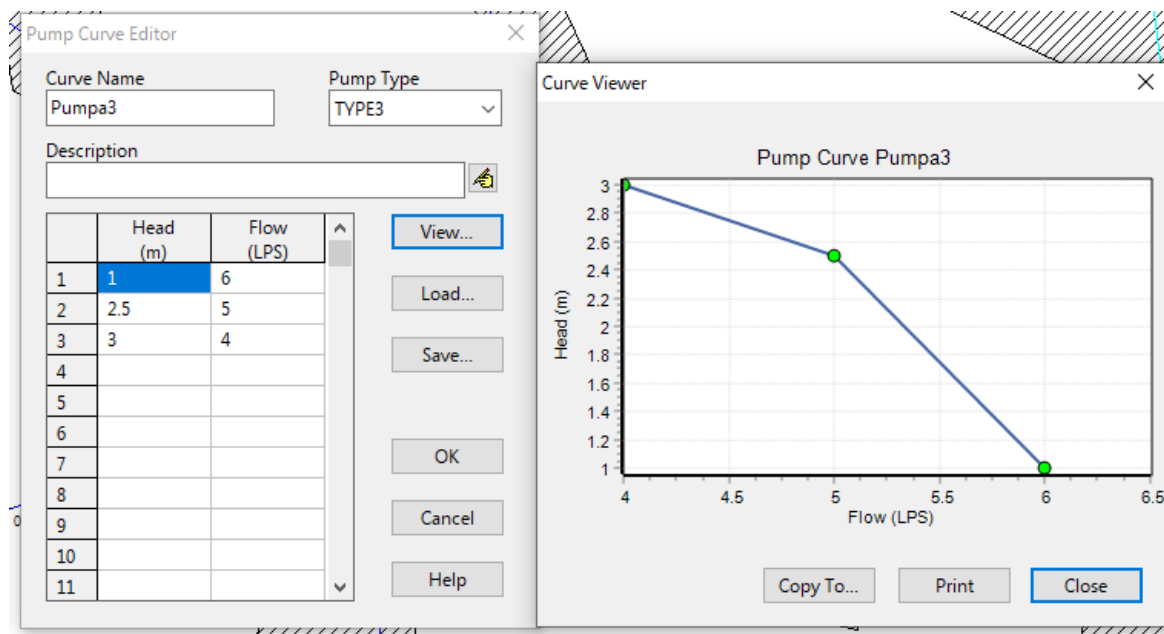


Slika 21. Prikaz crpnog bazena n4 (lijevo) u SWMM-u

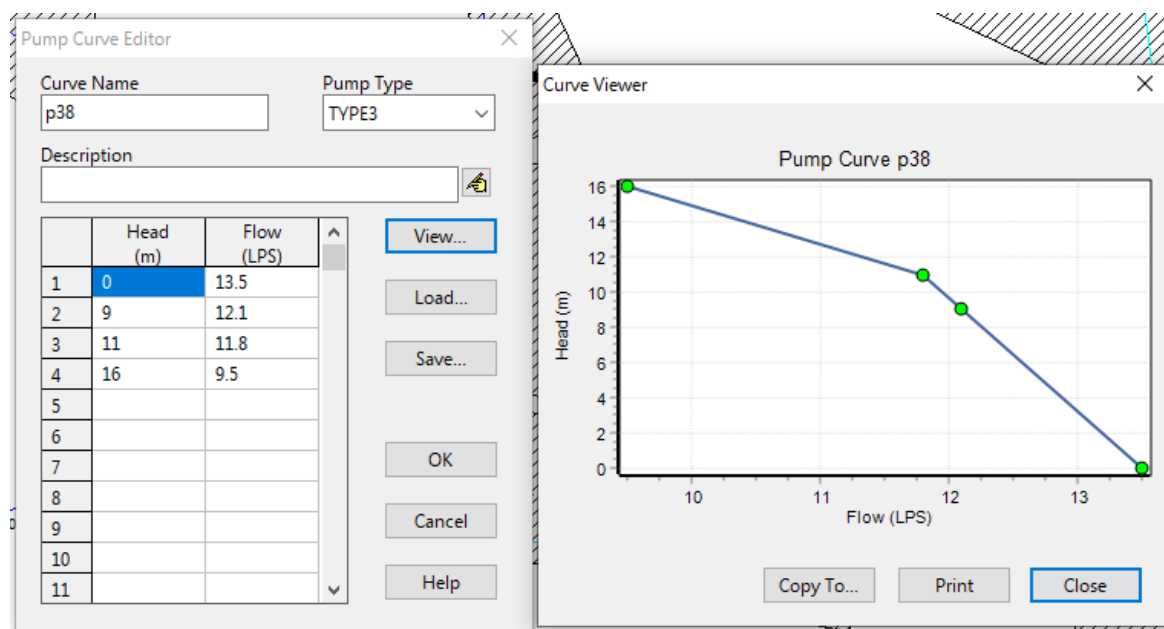


Slika 22. Prikaz crpnog bazena n43 (gore desno) u SWMM-u

Za crpke je potrebno definirati i pripadajuću Q-H krivulju (Slika 23 - Slika 24). Ovo je pojednostavljen način modeliranja crpne stanice budući da su zanemarene karakteristike tlačnog cjevovoda.



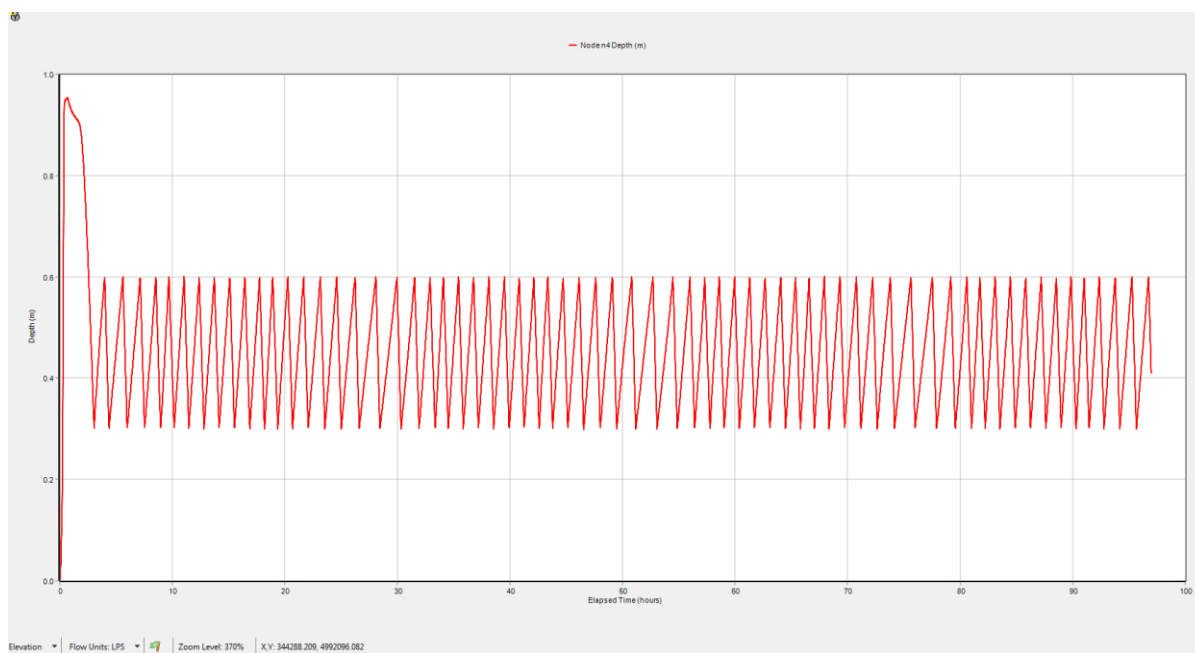
Slika 23. Q-h krivulja crpke 3 crpnog bazena n4 u SWMM-u



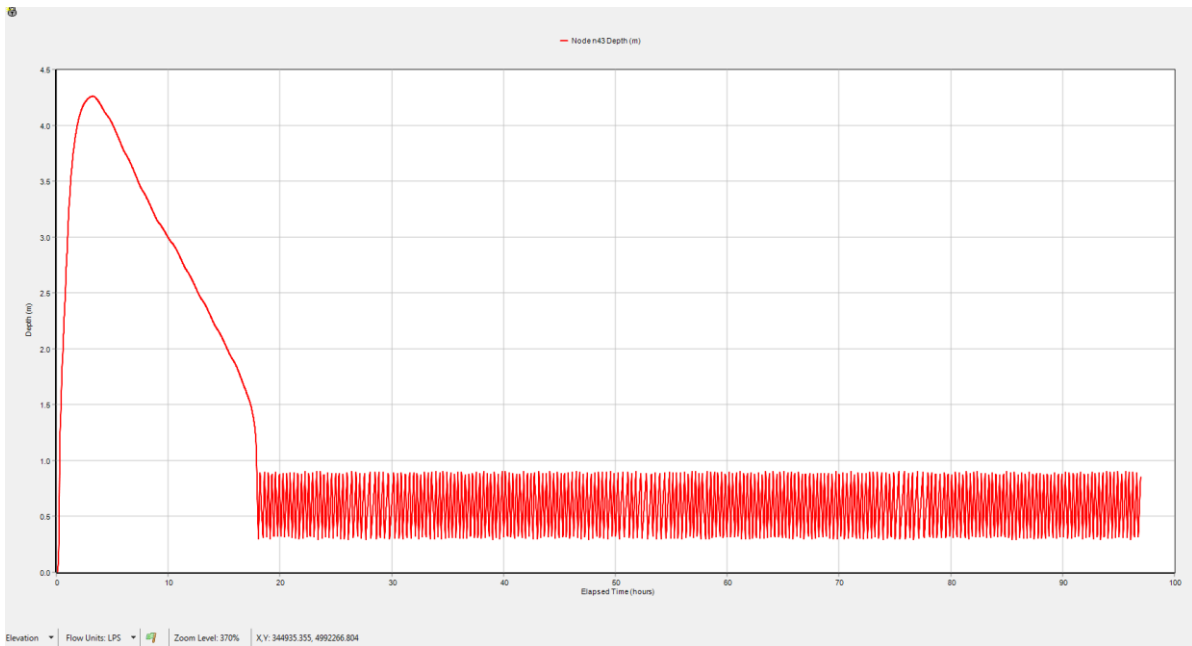
Slika 24. Q-h krivulja crpke p38 crpnog bazena n43 u SWMM-u

Prilikom dimenzioniranja elemenata odvodnje analizirani su ključni dijagrami koji prikazuju rad i oscilacije razine vode u crpnim bazenima smještenim u ulicama Gušternica i Kosić, unutar sustava mješovite odvodnje naselja Vrh. Na Slika 25 prikazan je dijagram oscilacija razine vode u crpnom bazenu n4, smještenom u ulici Gušternica. Ovaj dijagram detaljno prikazuje promjene u razini vode unutar bazena tijekom različitih radnih ciklusa, pružajući uvid u učinkovitost crpne stanice i sposobnost bazena da održava stabilnu razinu tijekom promjenjivih uvjeta dotoka. Na Slika 27 prikazan je dijagram dinamike rada crpnog bazena n4. Ovaj dijagram prikazuje rad crpne stanice, uključujući učestalost i trajanje ciklusa crpljenja, što omogućava procjenu operativne učinkovitosti i identifikaciju potencijalnih problema u radu sustava. Na Slika 26 prikazan je dijagram oscilacija razine vode za crpni bazen n43, smješten u ulici Kosić. Na Slika 28 prikazan je dijagram dinamike rada crpnog bazena n43.

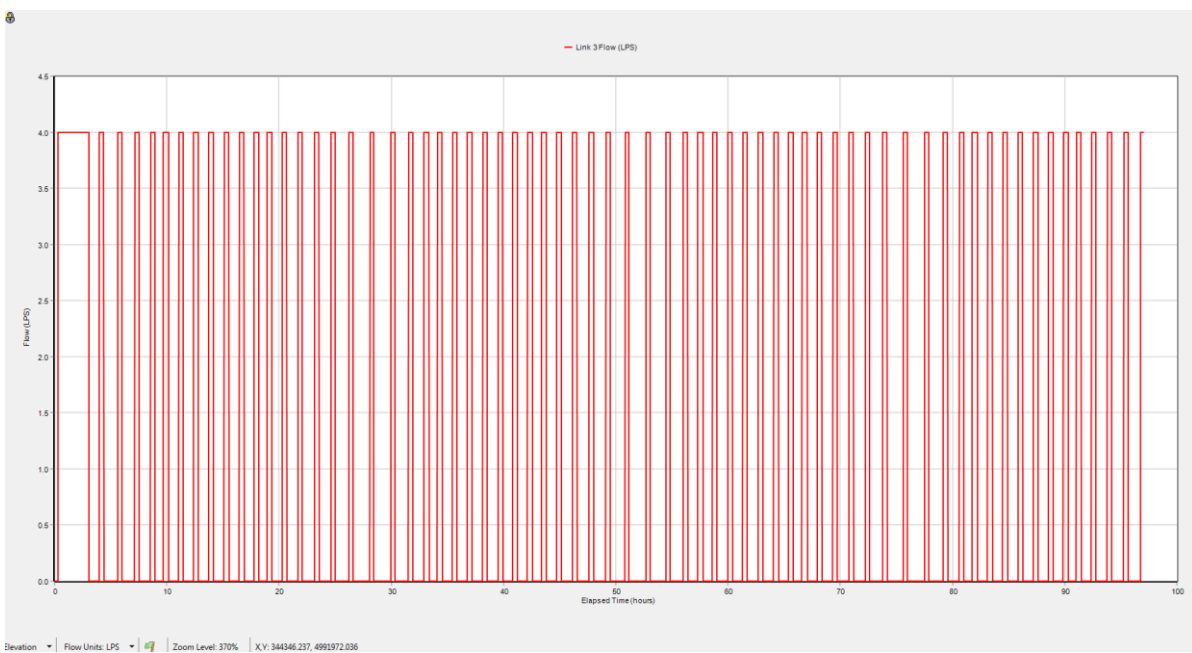
Ovi dijagrami ključni su za razumijevanje rada sustava odvodnje i omogućuju identifikaciju područja gdje su potrebna poboljšanja kako bi se osigurala optimalna funkcionalnost i pouzdanost sustava odvodnje u naselju Vrh.



Slika 25. Dijagram oscilacija razine vode u crpnom bazenu n4

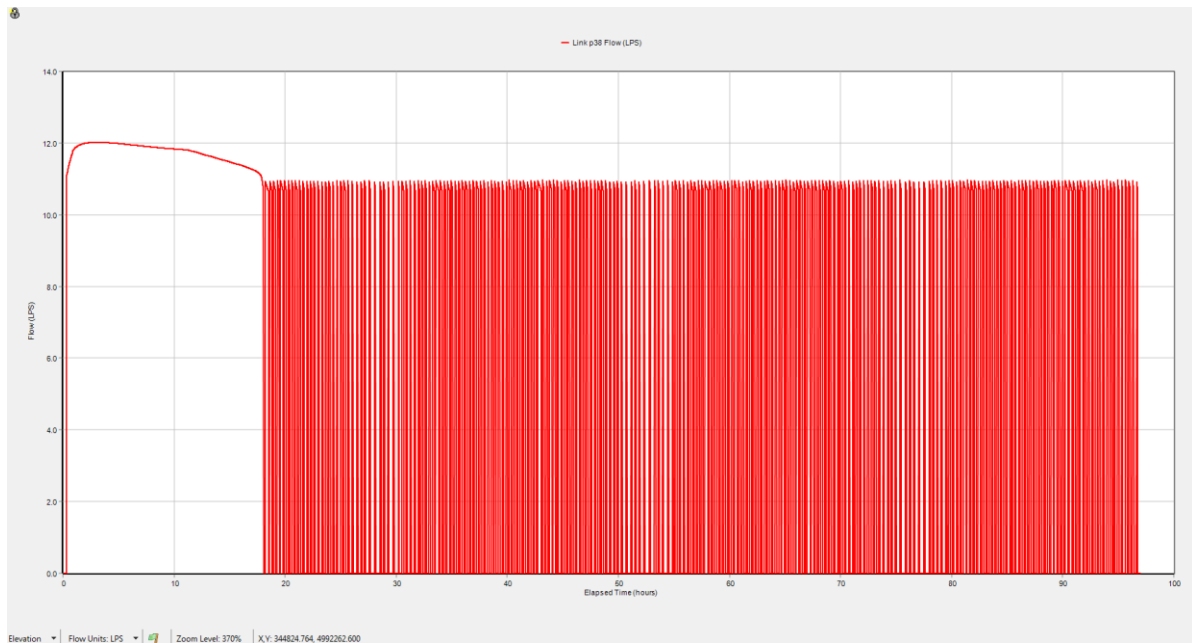


Slika 26. Dijagram oscilacija razine vode u crpnom bazenu n43



Slika 27. Dijagram dinamike rada crpne stanice n4

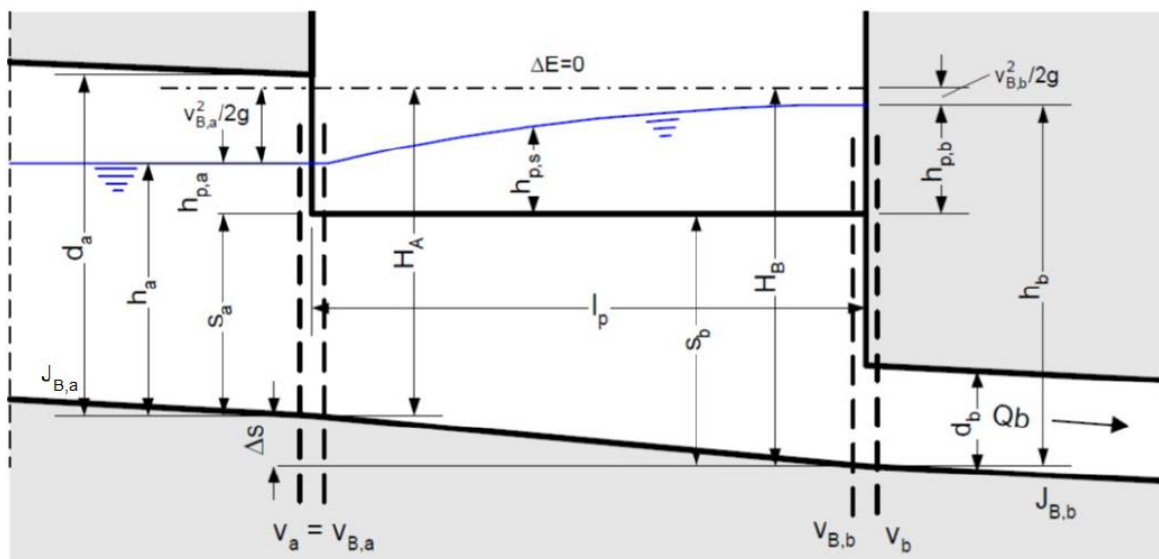




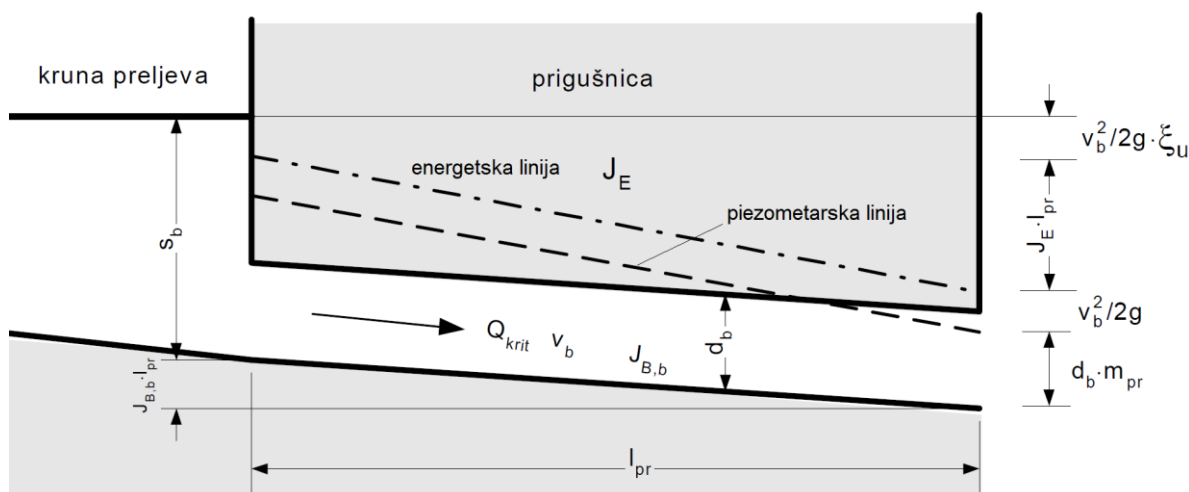
Slika 28. Dijagram dinamike rada crpne stanice n34

### 5.4.3 Preljev

Kišni preljev osigurava rasterećenje oborinskih voda tako da se svi dotoci veći od kritičnog preusmjeravaju putem preljeva i ispuštaju rasteretnim kanalom direktno u more odnosno u ovom konkretnom slučaju u upojni zdenac. Glavni izazov kod projektiranja ovog sustava je osigurati njegovu učinkovitost, odnosno osiguravanje kritičnog protoka,  $Q_{krit}$ , u izlaznom kanalu odnosno prigušnici. U ovom slučaju odabran je bočni preljev s prigušenjem. Bez obzira na dotok koji dolazi do građevine,  $Q_a$ , preljev mora biti dizajniran tako da osigura uvjete tečenja pri kojima Froudeov broj u dolaznom kanalu na početku preljeva ne prelazi 0.75 [10].



Slika 29. Shematski prikaz bočnog preljeva s prikazom definicijskih parametara [10]



Slika 30. Shematski prikaz prigušnice s prikazom definicijskih parametara [10]

Za učinkovit rad bočnog preljeva potrebno je zadovoljiti sljedeće uvjete, prema iskustvima:

- × Duljina preljevnog praga mora biti najmanje  $3d_a$  ili  $3H_a$ .
- × Duljina obostranog preljeva mora biti najmanje  $4d_a$  ili  $4H_a$ .
- × Najmanja visina preljevnog praga,  $s_a$ , mora biti  $0.5d_a$  ili  $0.5H_a$ .
- × Najveća visina preljevnog praga,  $s_a$ , može biti  $0.8d_a$  ili  $0.8H_a$ .
- × Preljevna visina ne smije prijeći  $(0.85d_a - s_a)$  ili  $(0.85H_a - s_a)$ .

Kod projektiranja prigušnice potrebno je poštivati sljedeća ograničenja:

- × Najmanji promjer je DN 200.

- × Najveći promjer je DN 500 (pri istjecanju sa slobodnim vodnim licem).
- × Najmanja duljina je  $20 \cdot d_b$ .
- × Najveća duljina je 100 metara.
- × Što veći omjer  $l_{pr}/d_b$  (gdje je  $l_{pr}$  duljina prigušnice, a  $d_b$  promjer prigušnice).
- × Najveći pad cijevi je 0.3%.

Suhi dotok,  $Q_{dwr}$ , dobiven je kao zbroj dotoka u svim točkama koje dolaze do preljeva. Kritični protok mješovite otpadne vode,  $Q_{crit}$ , dobiven je kao zbroj kritičnog oborinskog dotoka i suhog dotoka. Kritični oborinski dotok,  $Q_{rcrit}$ , dobiven je kao umnožak reducirane površine sliva i kritičnog intenziteta oborine. Maksimalni protok mješovite otpadne vode očitao je iz SWMM-a na mjestu gdje je predviđen preljev.

Dimenzioniranje preljeva pažljivo je provedeno kroz iterativni proces, sa specifičnim ciljem da se omogući da kritični dotok bude zadržan u sustavu, dok se preostali volumen preljeva. Pritom su poštovane smjernice koje reguliraju minimalne i maksimalne dimenzije preljeva [10].

#### 5.4.4 Retencija

Proračun potrebnog retencijskog volumena kao i protoka koji prolazi kroz prigušnicu za retenciju 1, smještena kod crpne stanice n4 u ulici Gušternica, prikazan je tablično (Tablica 10 -

Tablica 14). Na isti način, proračun potrebnog retencijskog volumena kao i protoka koji prolazi kroz prigušnicu za retenciju 2, smještena kod crpne stanice n43 u ulici Kosić, prikazan je tablično (Tablica 15 - Tablica 19).

Tablica 10. Izračun ukupne površine i površine koja sudjeluje u otjecanju za retenciju 1

|                     | Površina | koeficijent otjecanja |                           |       |
|---------------------|----------|-----------------------|---------------------------|-------|
| Subcatchment        | A        | C <sub>i</sub>        | C <sub>i</sub> ·A         |       |
| 9                   | 1.38     | 0.691                 | 0.954                     |       |
| 10                  | 2.19     | 0.69                  | 1.511                     |       |
| 16                  | 1.15     | 0.692                 | 0.796                     |       |
| 22                  | 0.34     | 0.694                 | 0.236                     |       |
| 23                  | 0.6      | 0.693                 | 0.416                     |       |
| 28                  | 0.96     | 0.692                 | 0.664                     |       |
| 29                  | 1.32     | 0.691                 | 0.912                     |       |
| 34                  | 0.46     | 0.249                 | 0.115                     |       |
|                     |          | Σ                     | 5.603                     |       |
| ukupna površina     | [ha]     | 8.4                   |                           |       |
| reducirana površina | [ha]     | 5.6                   | $\bar{c}_i = 5.6/8.$<br>4 | 0.667 |

Tablica 11. Ulazni podaci za izračun volumena retencije

|                                                   |                   |       |          |
|---------------------------------------------------|-------------------|-------|----------|
| Ukupna površina sliva                             | A                 | 8.40  | [ha]     |
| Nepropusna (reducirana) površina sliva            | A <sub>i</sub>    | 5.60  | [ha]     |
| Vrijeme koncentracije                             | t <sub>f</sub>    | 38    | [min]    |
| Koncentracija KPK u suhom dotoku                  | C <sub>dw</sub>   | 600   | [mg/l]   |
| Koncentracija KPK u oborinskom dotoku             | C <sub>r</sub>    | 107   | [mg/l]   |
| Koncentracija KPK nakon pročišćavanja na UPOV - u | C <sub>tp</sub>   | 70    | [mg/l]   |
| Prosječna godišnja visina oborina                 | h <sub>pr</sub>   | 850   | [mm]     |
| Kritični intenzitet oborine                       | r <sub>crit</sub> | 11.39 | [l/s*ha] |
| Nagibna grupa slivnog područja                    | SG                | 1     | [1]      |

Tablica 12. Proračun protoka u retenciji

|                                                                                         |                          |       |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|-------------------|
| Slivni sustav                                                                           |                          |       |                   |
| Srednji dnevni dotok bez tuđih voda                                                     | $Q_{w24}$                | 1.47  | [l/s]             |
| Dotok tuđih voda                                                                        | $Q_{iw24}$               | 1.74  | [l/s]             |
| Srednji dnevni dotok                                                                    | $Q_{dw24}$               | 3.21  | [l/s]             |
| Maksimalni dnevni dotok bez tuđih voda                                                  | $Q_{px}$                 | 2.20  | [l/s]             |
| Maksimalni dnevni dotok                                                                 | $Q_{dwx}$                | 3.94  | [l/s]             |
| Broj stanovnika na području s separatnim sustavom                                       | ES                       | 0     | [1]               |
| Dotok oborinskih voda sa separatnih slivnih područja                                    | $Q_{rS24}$               | 0.0   | [l/s]             |
| Mjerodavni dotok na UPOV                                                                | $Q_{cw}$                 | 60.0  | [l/s]             |
| Oborinski dio od mjerodavnog dotoka koji ide prema UPOV - u                             | $Q_{r24}$                | 56.8  | [l/s]             |
| Kritični oborinski dotok                                                                | $Q_{rcrit}$              | 63.8  | [l/s]             |
| Suma svih protoka kroz prigušnice svih neposredno uzvodno postavljenih kišnih retencija | $\sum Q_{t,i}$           | 11.6  | [l/s]             |
| Kritični mješoviti dotok                                                                | $Q_{crit}$               | 78.6  | [l/s]             |
| Specifični suhi protok                                                                  | $q_{dw24}$               | 0.572 | [l/s*ha]          |
| Specifični oborinski protok                                                             | $q_r$                    | 2.000 | [l/s*ha]          |
| Odabir metode proračuna srednjeg oborinskog protoka preko preljeva                      | Verifikacijski postupak  |       | NE                |
|                                                                                         | Aproksimacijski postupak |       | DA                |
| Volumen prelijevanja u jednoj godini                                                    | $VQ_o$                   | -     | [m <sup>3</sup> ] |
| Vrijeme trajanja prelijevanja u jednoj godini                                           | $T_o$                    | -     | [h]               |
| Koeficijent redukcije vremena otjecanja                                                 | $a_f$                    | 0.885 | [1]               |
| Srednji oborinski protok preko preljeva                                                 | $Q_{ro}$                 | 175.7 | [l/s]             |

Tablica 13. Izračun volumena retencijskog bazena

|                                               |             |        |                      |
|-----------------------------------------------|-------------|--------|----------------------|
| Srednji omjer miješanja u preljevnoj vodi     | $m$         | 54.8   | [1]                  |
| Utjecaj velikih zagađivača                    | $a_p$       | 1.0    | [1]                  |
| Utjecaj visine godišnje oborina               | $a_h$       | 0.063  | [1]                  |
| Taloženje u cjevovodima                       | $x_d$       | 19.5   | [1]                  |
| Utjecaj taloženja u cjevovodima               | $a_a$       | 0.245  | [1]                  |
| Proračunska koncentracija KPK u suhom dotoku  | $c_d$       | 784.5  | [mg/l]               |
| Teoretska koncentracija KPK u preljevnoj vodi | $c_{cc}$    | 119.14 | [mg/l]               |
| Dozvoljeno godišnje rasterećenje              | $e_0$       | 75.3   | [%]                  |
| Specifični retencijski volumen                | $V_s$       | 0      | [m <sup>3</sup> /ha] |
| Volumen retencijskog bazena                   | $V$         | 0.00   | [m <sup>3</sup> ]    |
| Specifični oborinski dotok                    | $q_r$       | 0.834  | [l/s*ha]             |
| Minimalni specifični retencijski volumen      | $V_{s,min}$ | 6.80   | [m <sup>3</sup> ]    |
| Minimalni retencijski volumen                 | $V_{min}$   | 38.1   | [m <sup>3</sup> ]    |

Tablica 14. Izračun protoka kroz prigušnicu

|                                                                                         |                |       |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|----------|
| Kritični intenzitet oborine                                                             | $r_{crit}$     | 11.39 | [l/s*ha] |
| Kritični oborinski dotok                                                                | $Q_{rcrit}$    | 63.8  | [l/s]    |
| Srednji dnevni dotok                                                                    | $Q_{dw24}$     | 3.2   | [l/s]    |
| Suma svih protoka kroz prigušnice svih neposredno uzvodno postavljenih kišnih retencija | $\sum Q_{t,i}$ | 11.6  | [l/s]    |
| Protok kroz prigušnicu                                                                  | $Q_t$          | 78.6  | [l/s]    |
| Minimalni odnos miješanja sanitarnih voda i oborinskih                                  | $M_{STO}$      | 7.0   | [1]      |
| Provjera stvarnog miješanja sanitarnih i oborinskih voda                                | $M_{STO}$      | 23.52 | [1]      |

Tablica 15. Izračun ukupne površine i površine koja sudjeluje u otjecanju za retenciju 2

|                     | Površina | koeficijent otjecanja |                           |       |
|---------------------|----------|-----------------------|---------------------------|-------|
| Subcatchment        | A        | C <sub>i</sub>        | C <sub>i</sub> ·A         |       |
| 5                   | 1.96     | 0.683                 | 1.339                     |       |
| 13                  | 0.31     | 0.694                 | 0.215                     |       |
| 14                  | 0.47     | 0.692                 | 0.325                     |       |
| 19                  | 0.51     | 0.692                 | 0.353                     |       |
| 20                  | 0.96     | 0.692                 | 0.664                     |       |
| 24                  | 0.79     | 0.69                  | 0.545                     |       |
| 25                  | 0.92     | 0.69                  | 0.635                     |       |
| 26                  | 0.61     | 0.691                 | 0.422                     |       |
| 27                  | 3.07     | 0.676                 | 2.075                     |       |
| 30                  | 0.86     | 0.692                 | 0.595                     |       |
| 31                  | 0.55     | 0.694                 | 0.382                     |       |
| 32                  | 1.71     | 0.248                 | 0.424                     |       |
| 33                  | 1.6      | 0.248                 | 0.397                     |       |
|                     |          | Σ                     | 8.371                     |       |
| ukupna površina     | [ha]     | 14.32                 |                           |       |
| reducirana površina | [ha]     | 8.37                  | $\bar{c}_i =$<br>8.4/14.3 | 0.585 |

Tablica 16. Ulazni podaci za izračun volumena retencije 2

|                                                   |            |       |          |
|---------------------------------------------------|------------|-------|----------|
| Ukupna površina sliva                             | A          | 14.32 | [ha]     |
| Nepropusna (reducirana) površina sliva            | $A_i$      | 8.37  | [ha]     |
| Vrijeme koncentracije                             | $t_f$      | 45    | [min]    |
| Koncentracija KPK u suhom dotoku                  | $c_{dw}$   | 600   | [mg/l]   |
| Koncentracija KPK u oborinskom dotoku             | $c_r$      | 107   | [mg/l]   |
| Koncentracija KPK nakon pročišćavanja na UPOV - u | $c_{tp}$   | 70    | [mg/l]   |
| Prosječna godišnja visina oborina                 | $h_{pr}$   | 850   | [mm]     |
| Kritični intenzitet oborine                       | $r_{crit}$ | 10.91 | [l/s*ha] |
| Nagibna grupa slivnog područja                    | SG         | 1     | [1]      |



Tablica 17. Proračun protoka u retenciji 2

|                                                                                         |                          |       |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|-------------------|
| Slivni sustav                                                                           |                          |       |                   |
| Srednji dnevni dotok bez tuđih voda                                                     | $Q_{w24}$                | 2.18  | [l/s]             |
| Dotok tuđih voda                                                                        | $Q_{iw24}$               | 2.50  | [l/s]             |
| Srednji dnevni dotok                                                                    | $Q_{dw24}$               | 4.68  | [l/s]             |
| Maksimalni dnevni dotok bez tuđih voda                                                  | $Q_{px}$                 | 3.27  | [l/s]             |
| Maksimalni dnevni dotok                                                                 | $Q_{dwx}$                | 5.77  | [l/s]             |
| Broj stanovnika na području s separatnim sustavom                                       | ES                       | 0     | [1]               |
| Dotok oborinskih voda sa separatnih slivnih područja                                    | $Q_{rS24}$               | 0.0   | [l/s]             |
| Mjerodavni dotok na UPOV                                                                | $Q_{cw}$                 | 11.6  | [l/s]             |
| Oborinski dio od mjerodavnog dotoka koji ide prema UPOV - u                             | $Q_{r24}$                | 6.9   | [l/s]             |
| Kritični oborinski dotok                                                                | $Q_{rcrit}$              | 91.3  | [l/s]             |
| Suma svih protoka kroz prigušnice svih neposredno uzvodno postavljenih kišnih retencija | $\sum Q_{t,i}$           | 0.0   | [l/s]             |
| Kritični mješoviti dotok                                                                | $Q_{crit}$               | 96.0  | [l/s]             |
| Specifični suhi protok                                                                  | $q_{dw24}$               | 0.559 | [l/s*ha]          |
| Specifični oborinski protok                                                             | $q_r$                    | 0.827 | [l/s*ha]          |
| Odabir metode proračuna srednjeg oborinskog protoka preko preljeva                      | Verifikacijski postupak  |       | NE                |
|                                                                                         | Aproksimacijski postupak |       | DA                |
| Volumen prelijevanja u jednoj godini                                                    | $VQ_o$                   | -     | [m <sup>3</sup> ] |
| Vrijeme trajanja prelijevanja u jednoj godini                                           | $T_o$                    | -     | [h]               |
| Koeficijent redukcije vremena otjecanja                                                 | $a_f$                    | 0.885 | [1]               |
| Srednji oborinski protok preko preljeva                                                 | $Q_{ro}$                 | 41.8  | [l/s]             |

Tablica 18. Izračun volumena retencijskog bazena 2

|                                               |             |        |                      |
|-----------------------------------------------|-------------|--------|----------------------|
| Srednji omjer miješanja u preljevnoj vodi     | $m$         | 8.9    | [1]                  |
| Utjecaj velikih zagađivača                    | $a_p$       | 1.0    | [1]                  |
| Utjecaj visine godišnje oborina               | $a_h$       | 0.063  | [1]                  |
| Taloženje u cjevovodima                       | $x_d$       | 19.5   | [1]                  |
| Utjecaj taloženja u cjevovodima               | $a_a$       | 0.25   | [1]                  |
| Proračunska koncentracija KPK u suhom dotoku  | $c_d$       | 787.5  | [mg/l]               |
| Teoretska koncentracija KPK u preljevnoj vodi | $c_{cc}$    | 175.49 | [mg/l]               |
| Dozvoljeno godišnje rasterećenje              | $e_0$       | 35.1   | [%]                  |
| Specifični retencijski volumen                | $V_s$       | 35     | [m <sup>3</sup> /ha] |
| Volumen retencijskog bazena                   | $V$         | 292.98 | [m <sup>3</sup> ]    |
| Specifični oborinski dotok                    | $q_r$       | 0.820  | [l/s*ha]             |
| Minimalni specifični retencijski volumen      | $V_{s,min}$ | 6.75   | [m <sup>3</sup> ]    |
| Minimalni retencijski volumen                 | $V_{min}$   | 56.5   | [m <sup>3</sup> ]    |

Tablica 19. Izračun protoka kroz prigušnicu

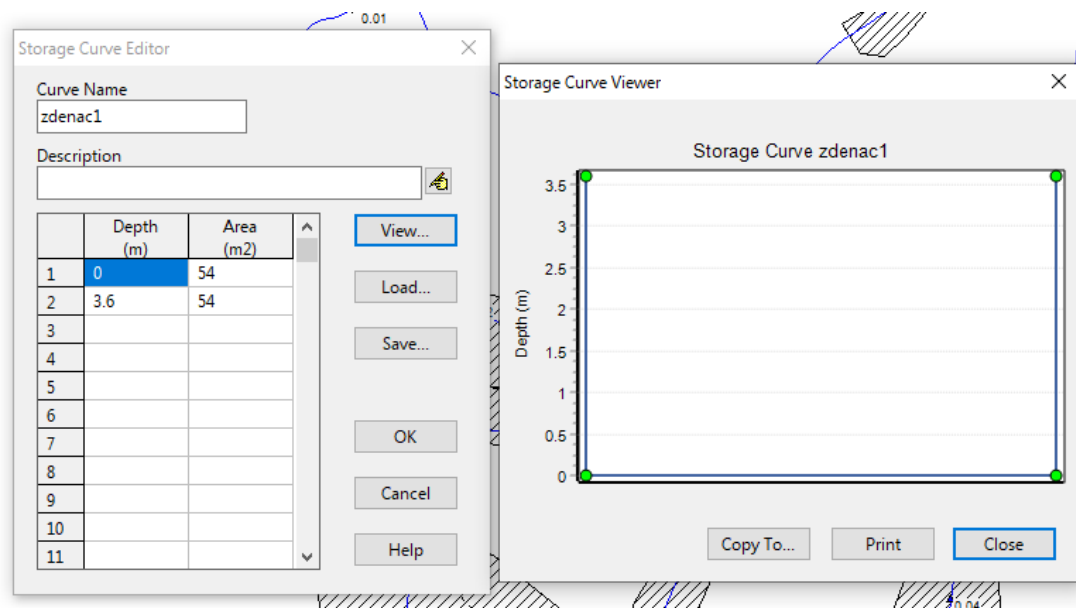
|                                                                                         |                |       |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|----------|
| Kritični intenzitet oborine                                                             | $r_{crit}$     | 10.91 | [l/s*ha] |
| Kritični oborinski dotok                                                                | $Q_{rcrit}$    | 91.3  | [l/s]    |
| Srednji dnevni dotok                                                                    | $Q_{dw24}$     | 4.7   | [l/s]    |
| Suma svih protoka kroz prigušnice svih neposredno uzvodno postavljenih kišnih retencija | $\sum Q_{t,i}$ | 0.0   | [l/s]    |
| Protok kroz prigušnicu                                                                  | $Q_t$          | 96.0  | [l/s]    |
| Minimalni odnos miješanja sanitarnih voda i oborinskih                                  | $M_{STO}$      | 7.0   | [1]      |
| Provjera stvarnog miješanja sanitarnih i oborinskih voda                                | $M_{STO}$      | 19.51 | [1]      |

### 5.4.5 Upojni zdeneci

Rezultati proračuna volumena zdenca 1 odnosno njegove dubine i površine dna prikazan je u Tablica 20. Nakon što su parametri volumena određeni, sljedeći korak je primjena tih podataka unutar EPASWMM modela. Na Slika 31 prikazano je kako su parametri zdenca primijenjeni unutar EPASWMM-a. Parametri dubine i površine dna unose se u model kao ulazni podaci, koji se zatim koriste za simulaciju dotoka u zdenac u uvjetima različitih oborinskih padavina.

Tablica 20. Proračun volumena zdenca 1

|                                |        |                   |
|--------------------------------|--------|-------------------|
| VOLUMEN                        | 145.54 | [m <sup>3</sup> ] |
| NAJVEĆA DUBINA ZDENCA          | 2.7    | [m]               |
| POVRŠINA DNA ZDENCA            | 54     | [m <sup>2</sup> ] |
| NAJMANJA DUBINA ZDENCA         | 0.90   | [m]               |
| UČVRŠĆENA POVRŠINA SLIVA       | 5.60   | [ha]              |
| OBORINA PRVOG DOTOKA           | 11.4   | [l/s/ha]          |
| NAJDUŽE VRIJEME PROCJEĐIVANJA  | 72     | [h]               |
| INFILTRACIJSKI KAPACITET TLA   | 15     | [mm/h]            |
| POROZNOST                      | 40     | [%]               |
| NAJMANJE VRIJEME PROCJEĐIVANJA | 24     | [h]               |

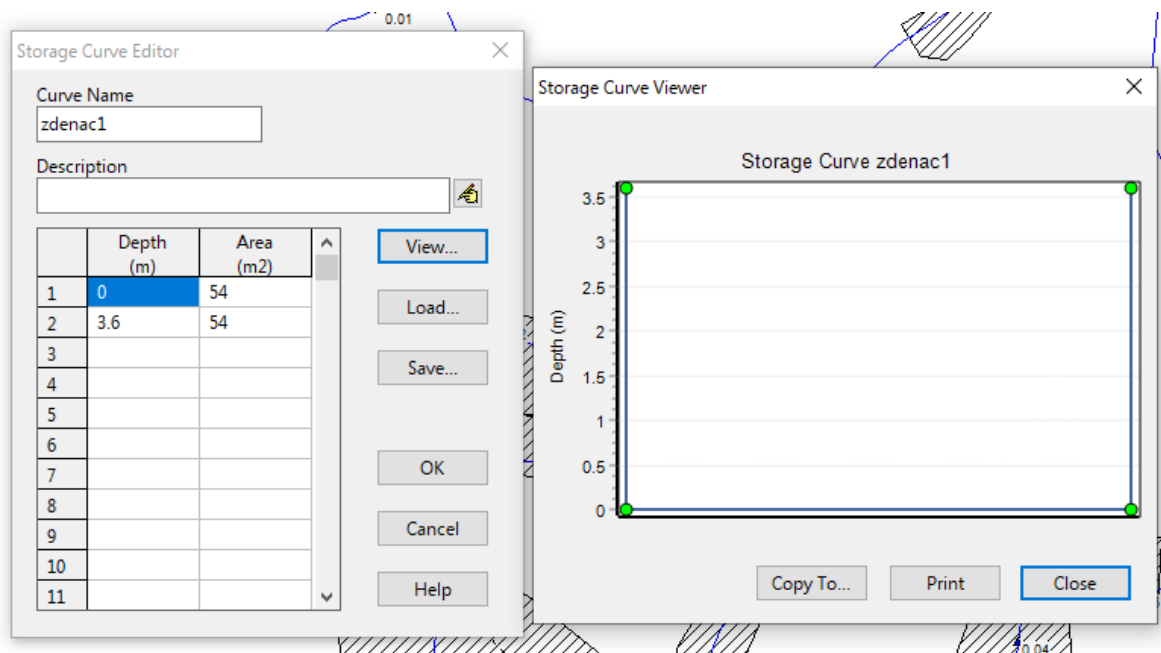


Slika 31. Prikaz na modelu definirane geometrije upjognog zdenca zdenac 1

Rezultati proračuna dubine zdenca 2 i površine njegova dna prikazan je u Tablica 21. Slika 32 ilustrira kako su parametri integrirani u model u EPASWMM-u.

Tablica 21. Proračun volumena zdenca 2

|                                |        |                   |
|--------------------------------|--------|-------------------|
| VOLUMEN                        | 246.56 | [m <sup>3</sup> ] |
| NAJVEĆA DUBINA ZDENCA          | 2.7    | [m]               |
| POVRŠINA DNA ZDENCA            | 91     | [m <sup>2</sup> ] |
| NAJMANJA DUBINA ZDENCA         | 0.90   | [m]               |
| UČVRŠĆENA POVRŠINA SLIVA       | 8.37   | [ha]              |
| OBORINA PRVOG DOTOKA           | 10.9   | l/s/ha            |
| NAJDUŽE VRIJEME PROCJEĐIVANJA  | 72     | [h]               |
| INFILTRACIJSKI KAPACITET TLA   | 15     | [mm/h]            |
| POROZNOST                      | 40     | [%]               |
| NAJMANJE VRIJEME PROCJEĐIVANJA | 24     | [h]               |



Slika 32. Prikaz upojnog zdenca zdenac 2

## 5.5 Rezultati simulacije modela u SWMM-u

### 5.5.1 Rezultati hidrauličkog proračuna

Tablica 22. Dubine vode, protoci i brzine u cijevima u satu najveće potrošnje

| Dionica | Protok [l/s] | Sat maksimalne potrošnje | Brzina [m/s] | Dubina vode [m] |
|---------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------|
| p5      | 19.53        | 00:40                    | 1.36         | 0.26            |
| p6      | 19.42        | 00:40                    | 1.22         | 0.28            |
| p7      | 19.42        | 00:41                    | 1.43         | 0.25            |
| p8      | 19.39        | 00:41                    | 2.07         | 0.19            |
| p9      | 0.21         | 18:59                    | 0.74         | 0.05            |
| p10     | 0.12         | 09:59                    | 0.27         | 0.02            |
| p11     | 19.46        | 00:42                    | 0.86         | 0.36            |
| p13     | 12.04        | 00:40                    | 0.57         | 0.34            |
| p14     | 33.77        | 00:40                    | 1.44         | 0.37            |
| p15     | 33.83        | 00:40                    | 1.11         | 0.45            |
| p16     | 0.3          | 09:57                    | 0.37         | 0.16            |
| p17     | 38.34        | 00:40                    | 1.96         | 0.32            |
| p18     | 12.13        | 00:40                    | 0.8          | 0.27            |
| p19     | 12.13        | 00:40                    | 0.96         | 0.24            |
| p20     | 52.83        | 00:41                    | 1.47         | 0.51            |
| p21     | 79.91        | 00:40                    | 2.87         | 0.42            |
| p22     | 79.97        | 00:40                    | 3.22         | 0.38            |
| p23     | 0.18         | 18:59                    | 0.42         | 0.09            |
| p24     | 80.05        | 00:41                    | 3.13         | 0.39            |
| p25     | 83.08        | 00:41                    | 2.99         | 0.42            |
| p26     | 7.19         | 00:40                    | 1.55         | 0.12            |

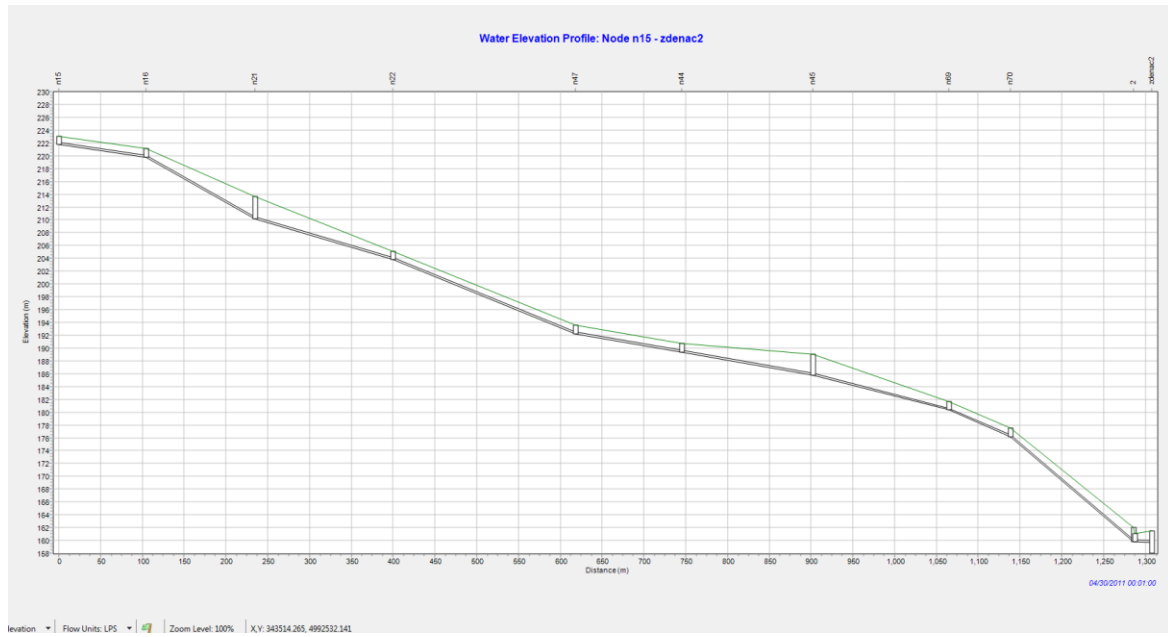
|     |        |       |      |      |
|-----|--------|-------|------|------|
| p27 | 7.28   | 00:40 | 1    | 0.17 |
| p28 | 17.36  | 00:40 | 1.86 | 0.19 |
| p29 | 21.27  | 00:40 | 0.73 | 0.43 |
| p30 | 103.75 | 00:41 | 3.39 | 0.45 |
| p31 | 24.7   | 00:40 | 2.41 | 0.2  |
| p32 | 24.77  | 00:40 | 1.29 | 0.32 |
| p33 | 24.84  | 00:40 | 0.84 | 0.44 |
| p34 | 128.33 | 00:41 | 4.12 | 0.45 |
| p36 | 12.32  | 09:07 | 1.15 | 0.35 |
| p37 | 12.13  | 09:04 | 1.75 | 0.21 |
| p39 | 64.07  | 00:41 | 1.64 | 0.55 |
| p40 | 12.17  | 00:40 | 0.96 | 0.26 |
| p41 | 54.03  | 00:42 | 1.79 | 0.44 |
| p42 | 54.15  | 00:43 | 2.06 | 0.4  |
| p43 | 54.15  | 00:43 | 1.26 | 0.58 |
| p44 | 54.26  | 00:42 | 1.04 | 0.69 |
| p45 | 46.05  | 00:40 | 0.72 | 0.86 |
| p46 | 31.56  | 00:41 | 0.7  | 0.63 |
| p47 | 1.84   | 00:38 | 0.07 | 0.51 |
| p48 | 0.35   | 09:42 | 0.58 | 0.51 |
| p49 | 9.84   | 00:40 | 0.77 | 0.24 |
| p50 | 14.88  | 00:42 | 1.61 | 0.19 |
| p51 | 0.11   | 18:59 | 0.17 | 0.13 |
| p52 | 9.73   | 00:40 | 0.77 | 0.23 |
| p53 | 6.58   | 00:40 | 0.6  | 0.21 |
| p54 | 14.85  | 00:41 | 1.12 | 0.24 |
| p55 | 6.66   | 00:40 | 0.73 | 0.19 |

|     |        |       |      |      |
|-----|--------|-------|------|------|
| p56 | 9.68   | 00:40 | 0.87 | 0.21 |
| p57 | 14.81  | 00:40 | 0.8  | 0.31 |
| p58 | 6.74   | 00:40 | 0.78 | 0.19 |
| p59 | 6.8    | 00:42 | 0.29 | 0.47 |
| p60 | 70.13  | 00:44 | 1.34 | 0.7  |
| p61 | 64.56  | 00:43 | 1.8  | 0.52 |
| p62 | 131.38 | 00:44 | 2.82 | 0.63 |
| p63 | 144.93 | 00:44 | 3.76 | 0.54 |
| p64 | 145    | 00:44 | 2.61 | 0.73 |
| p65 | 0.15   | 19:00 | 0.19 | 0.22 |
| p66 | 54.49  | 00:40 | 2.23 | 0.38 |
| p67 | 31.74  | 00:40 | 1.98 | 0.28 |
| 1   | 14.83  | 00:40 | 0.91 | 0.28 |
| 2   | 25.77  | 00:40 | 2.1  | 0.23 |
| 4   | 12.12  | 00:40 | 0.7  | 0.06 |
| 9   | 140.15 | 00:41 | 0.53 | 0.26 |
| 10  | 60.71  | 00:42 | 2.38 | 0.76 |
| 11  | 60.71  | 00:42 | 2.82 | 0.34 |
| 12  | 79.44  | 00:42 | 1.42 | 0.46 |
| 16  | 53.65  | 00:44 | 1.3  | 0.57 |
| 21  | 36.57  | 00:40 | 4.33 | 0.18 |
| 6   | 91.34  | 00:44 | 2.91 | 1    |
| 8   | 342.59 | 00:56 | 1.56 | 0.9  |

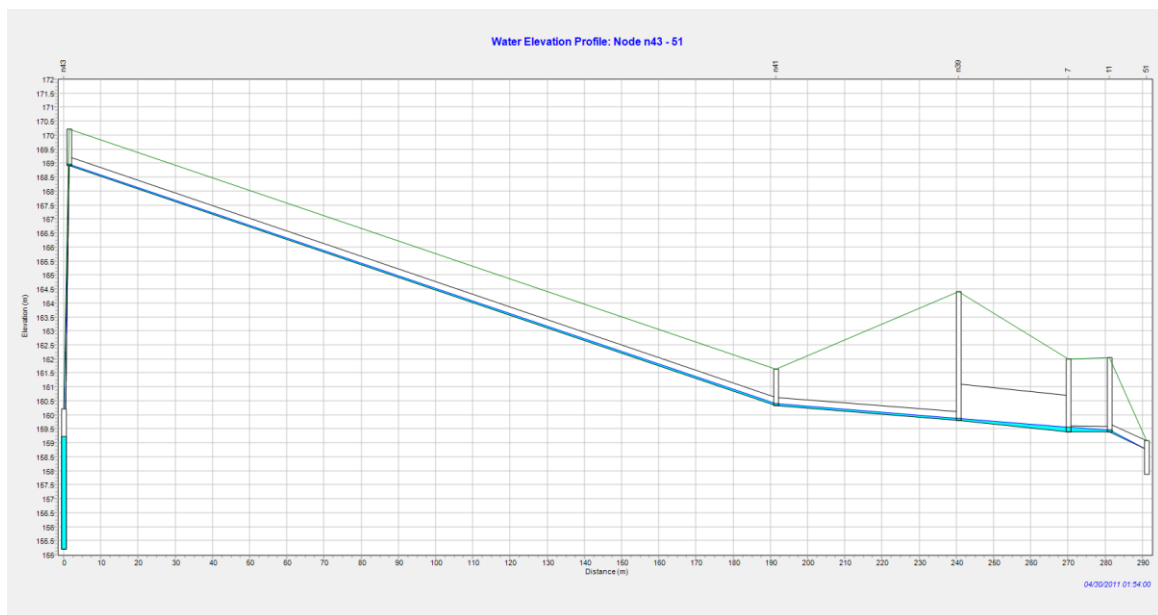
### 5.5.2 Grafički prikaz uzdužnih presjeka

U ovom poglavlju predstavljeni su grafički prikazi uzdužnih presjeka koji su rezultat kalibracije modela u EPASWMM-u (Slika 33 - Slika 36)





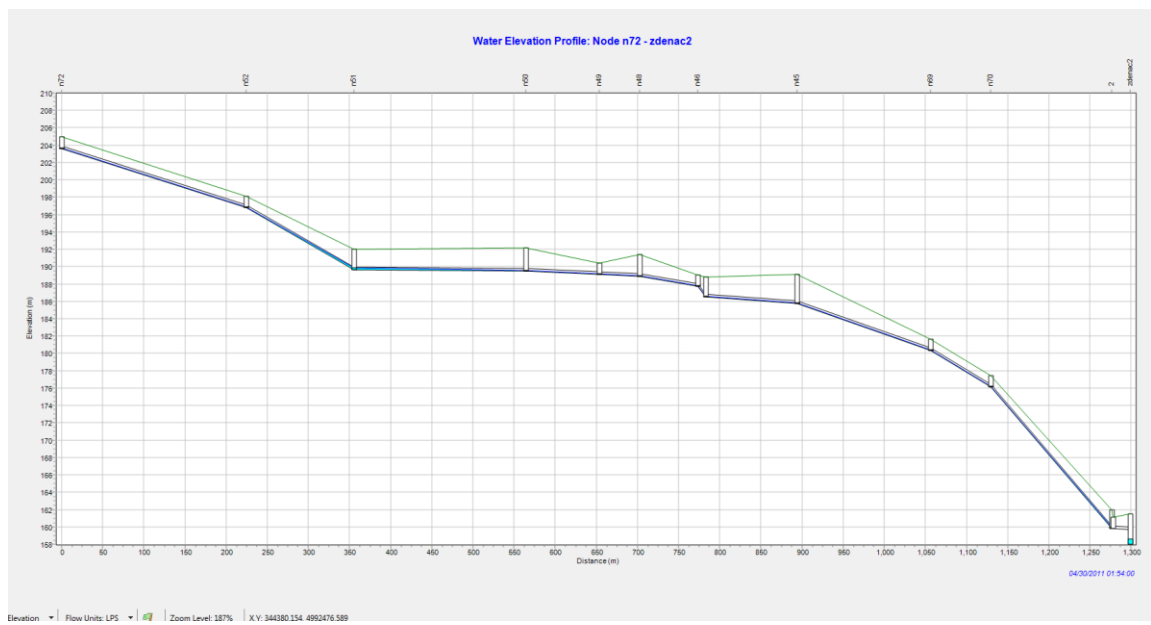
Slika 33. Uzdužni presjek najdulje dionice od točke n15 do točke zdenac2



Slika 34. Uzdužni presjek dionice od točke n43 do točke 51



Slika 35. Uzdužni presjek dionice od točke n28 do točke zdenac 1



Slika 36. Uzdužni presjek dionice od točke n72 do točke zdenac2

## 6 TEHNIČKI OPIS

Tehničko rješenje se sastoji od 71 cijevi, ukupne duljine 6.97 [km]. Na sustavu su inicijalno predviđene PEHD I GRP cijevi, a konačan odabir cijevnog materijala definirat će se prilikom izrade projektne dokumentacije višeg reda. Pritom su primijenjene cijevi različitih promjera.

U Tablica 23 prikazane su predviđene duljine cijevi po profilima.

Nakon izvedbe rova i poravnanja njegova dna, pristupa se izradi posteljice. Cijevi se polažu na posteljicu od sitne kamene sitneži debljine 10 [cm] u zbijenom stanju, zatrpava se istim materijalom s obje strane cijevi, uz lagano ručno zbijanje, nasipava se gornji sloj do visine 15 [cm] iznad tjemena cijevi. U preostalom dijelu zatrpavanje se izvodi u slojevima od 30 [cm] uz korištenje materijala od iskopa, te na kraju ide tucanik i asfaltni sloj.

Tablica 23. Duljine cijevi po profilima

| Profil cijevi | Duljina cijevi |
|---------------|----------------|
| [mm]          | [m]            |
| DN 100        | 86.30          |
| DN 125        | 227.80         |
| DN 200        | 17.00          |
| DN 315        | 6546.28        |
| DN 400        | 21.14          |
| DN 1000       | 43.02          |
| DN 1300       | 29.47          |

Kao dio projekta se također predviđa izgradnja dvije crpne stanice, jedne cijevne retencije i dva upojna zdenca.

Crpna stanica u ulici Gušternica nalazi se na katastarskoj čestici br. 941/25, k.o. Vrh, i u vlasništvu je Grada Krka.

Stanica je duboka 1.3 [m], s tlocrtnim oblikom kvadrata i unutarnjim dimenzijama od 2.25 [m], što daje površinu dna od 5.0625 [m<sup>2</sup>]. Zidovi su debljine 25 [cm]. Unutar crpne stanice

smještene su dvije crpke, pri čemu je jedna u funkciji, dok druga služi kao rezervna u slučaju kvara prve. Ovakav sustav često se koristi kako bi se osigurala neprekidnost rada postrojenja u slučaju kvara ili potrebe za održavanjem.

U programu SWMM, kada je pumpa definirana kao type 3 (dynamic head pump), znači da se manometarska visina dizanja radne točke prilagođava prema trenutnom protoku i uvjetima u sustavu. Ova vrsta pumpe koristi Q-h krivulju kako bi odredila odnos između potrebnog protoka crpljenja (Q) i manometarske visine dizanja radne točke (h), pri čemu se vrijednosti interpoliraju između zadanih točaka.

Za ovu crpnu stanicu pumpa je definirana s Q-h krivuljom, koja uključuje sljedeće parove vrijednosti: (1 [m], 6 [l/s]), (2.5 [m], 5 [l/s]) i (3 [m], 4 [l/s]). Prema zadanim vrijednostima onda program prilagođava visinu dizanja ovisno o trenutnom protoku.

Na ovoj crpnoj stanici izvodi se sigurnosni preljev, kao bočna cijev, s profilom DN300.

Preljev 5 smješten je na katastarskoj čestici br. 892 K.o. Vrh.

Vanjske dimenzije preljeva su 260 [cm] x 310 [cm] s dubinom od 2.2 [m]. Debljina zidova preljeva je 30 [cm]. Kota krune preljeva je visine 0.56 [m]. Ulazna cijev je promjera DN300, dok je prigušnica odnosno izlazni kanal projektiran kao DN200.

Nizvodno od preljeva 5, predviđen je upojni zdenac. Zdenac 2 smješten je na katastarskoj čestici br. 933 K.o. Vrh, s dubinom od 3.5 [m] i površinom dna od 91 [m<sup>2</sup>]. Debljina zidova je 25 [cm]. Dovodna cijev je promjera DN300. U zidovima se nalaze perforacije promjera 150 [mm]. Dno se radi od tucanika debljine 30-40 [mm].

Također je nizvodno od navedenog preljeva, izvodi se cijevna retencija.

Cijevna retencija je nepravilnog oblika, dubine 3.3 [m], a duljine 30 [m], sa zidovima od armiranog betona debljine 25 [cm].

Nizvodno od cijevne retencije izvodi se crpna stanica n43.

Navedena crpna stanica u ulici Kosić smještena je na katastarskoj čestici br. 2015/1 K.o. Vrh i također je u vlasništvu Grada Krka.

Dimenzije ove crpne stanice su : dubina u iznosu od 4.7 [m], kvadratnog je tlocrtnog oblika sa stranicama svijetlog razmaka 2.25 [m], te prema tome površina dna iznosi 5.0625 [m<sup>2</sup>]. Debljina armiranobetonskih zidova je 25 [cm]. Također, i u ovoj crpnoj stanici nalaze dvije crpke, gdje je jedna u pogonu, a druga služi kao rezerva.

Za crpku ove crpne stanice, Q-h krivulju definiraju sljedeće vrijednosti: (0 [m], 13.5 [l/s]), (9 [m], 12.1 [l/s]) (11 [m], 11.8 [l/s]) i (16 [m], 9.5 [l/s]).

Preljev 7 smješten je na katastarskoj čestici br. 38/2 K.o. Vrh.

Vanjske dimenzije preljeva su 310 [cm] x 280 [cm] s dubinom od 3 [m]. Debljina armirano betonskih zidova preljeva je 30 [cm]. Visina krune preljeva je 0.4 [m]. Ulazna cijev je promjera DN1300, dok je prigušnica predviđena kao DN200.

Nizvodno od preljeva 7 smješten je upojni zdenac.

Zdenac 1 smješten je na katastarskoj čestici br. 1478 K.o. Vrh, s dubinom od 3.6 [m] i površinom dna od 54 [m<sup>2</sup>]. Debljina zidova je 25 [cm]. Na zidovima se nalaze perforacije promjera 150 [mm]. Dno je projektom predviđeno kao tucanik debljine 30-40 [mm].

U konačnici se voda dovodi do uređaja za pročišćavanje, koji će biti smješten na najnižvodnijoj točki sustava.

## 7 APROKSIMATIVNI TROŠKOVNIK

Kod izvedbe gravitacijskih i tlačnih kanala, odnosno kanalske mreže mješovite odvodnje, stavkom je obuhvaćeno:

- × Iskolčenje trase cjevovoda i objekata s označavanjem važnijih točaka
- × Pregled trase i detektiranje postojećih instalacija
- × Označavanje lokacije radova prometnim znakovima i signalnim uređajima
- × Zasijecanje asfaltnih površina na prometnicama
- × Strojni iskop rova za polaganje kanalske mreže
- × Razupiranje rova
- × Planiranje dna rova
- × Izvedba posteljice te bočnog i iznad tjemnog zatrpavanja cjevovoda
- × Odvoz preostalog materijala na deponiju
- × Nabava, doprema i montaža PEHD kanalizacijskih cijevi za izvedbu kanalske mreže, DN 100, DN 125, DN 200, DN 315, DN 400 i DN 700
- × Izvedba gravitacijskih i tlačnih priključaka
- × Prelaganje postojećih komunalnih instalacija
- × Izvedba nosivog sloja i tampona kolničke konstrukcije
- × Asfaltiranje kolničkih ploha
- × Ispitivanje kanalske mreže na vodonepropusnost
- × Izrada elaborata katastra izvedenih instalacija
- × Televizijska inspekcija izvedenih kolektora

Tablica 24. Troškovnik izvedbe cjevovoda

| Nazivni promjer cijevi | Količina | Jedinična cijena | Ukupna cijena |
|------------------------|----------|------------------|---------------|
|                        | [m']     | [€/m']           | [€]           |
| DN 100                 | 86.30    | 360              | 31,068.00     |
| DN 125                 | 227.80   | 370              | 86,564.00     |
| DN 200                 | 17.00    | 385.00           | 6,545.00      |
| DN 315                 | 6,546.28 | 450.00           | 2,945,826.00  |
| DN 400                 | 21.14    | 475.00           | 10,041.50     |
| DN 1000                | 43.02    | 850.00           | 36,567.00     |
| DN 1300                | 29.47    | 1,050.00         | 30,943.50     |
|                        |          | Σ                | 3,029,923.00  |

Kod izvedbe crpne stanice stavkom je obuhvaćeno:

- × Iskolčenje objekata i snimak izvedenog stanja
- × Zasijecanje asfaltnih površina na prometnicama
- × Strojni iskop građevne jame
- × Zatrpavanje građevne jame materijalom od iskopa
- × Odvoz viška materijala od iskopa na deponiju
- × Izvedba podložnog betona
- × Izvedba (armiranje, betoniranje) objekta crpne stanice (dna, zidova, ploča, kineta)
- × Nabava, doprema i montaža crpnih agregata, lijevanoželjeznih fasonskih komada i armatura, izvedba spoja s tlačnim cjevovodom, puštanje u probni rad crpki
- × Nabava, doprema i montaža poklopca i stupaljki
- × Ispitivanje vodonepropusnosti objekata crpne stanice
- × Dovod električne energije s potrebnim pripadnim radovima i opremom

Tablica 25. Troškovnih izvedbe crpnih stanica

|                                        | Količina | Jedinična cijena | Ukupna cijena |
|----------------------------------------|----------|------------------|---------------|
|                                        | [kom]    | [€]              | [€]           |
| <b>Građevinski radovi</b>              |          |                  |               |
| Crpna stanica 1                        | 1        | 14,500.00        | 14,500.00     |
| Crpna stanica 2                        | 1        | 17,500.00        | 17,500.00     |
| <b>Elektro-strojarska oprema i rad</b> |          |                  |               |
| Crpna stanica 1                        | 1        | 17,500.00        | 17,500.00     |
| Crpna stanica 2                        | 1        | 24,500.00        | 24,500.00     |
|                                        |          | Σ                | 74,000.00     |

Kod izvedbe preljeva stavkom je obuhvaćeno:

- × Iskolčenje objekta
- × Strojni iskop građevne jame
- × Planiranje dna građevne jame
- × Zatrpavanje rađevne jame materijalom od iskopa
- × Odvoz viška materijala od iskopa na deponiju
- × Izvedba podložnog betona
- × Izvedba prigušnice i preljeva
- × Izvedba (armiranje, betoniranje) objekta separatora (dna, zidova, ploča, kineta)
- × Nabava, doprema i montaža konstrukcije, lijevanoželjeznih fasonskih komada i armatura i spoja s dovodnim i odvodnim kanalom
- × Nabava, doprema i montaža poklopaca i stupaljki
- × Ispitivanje vodonepropusnosti objekata preljeva



Tablica 26. Troškovnik izvedbe preljeva

|                    |           | Količina | Jedinična cijena | Ukupna cijena |
|--------------------|-----------|----------|------------------|---------------|
|                    |           | kom      | €                | €             |
| Građevinski radovi | Preljev 5 | 1        | 16,500.00        | 16,500.00     |
|                    | Preljev 7 | 1        | 18,000.00        | 18,000.00     |
|                    |           | Σ        |                  | 34,500.00     |

Kod izvedbe retencije stavkom je obuhvaćeno:

- × Iskolčenje trase cjevovoda s označavanjem važnijih točaka
- × Pregled trase i detektiranje postojećih instalacija
- × Označavanje lokacije radova prometnim znakovima i signalnim uređajima
- × Zasijecanje asfaltnim površina na prometnicama
- × Strojni iskop rova za polaganje cijevne retencije
- × Razupiranje rova
- × Planiranje dna rova
- × Izvedba posteljice te bočnog i iznad tjemnog zatrpavanja cjevovoda
- × Odvoz preostalog materijala od iskopa na deponiju
- × Nabava, doprema i montaža retencije, DN3000
- × Prelaganje postojećih komunalnih instalacija
- × Zatrpavanje preostalog dijela rova materijalom iz iskopa
- × Izvedba nosivog sloja i tampona kolničke konstrukcije
- × Asfaltiranje kolničkih ploha
- × Izrada elaborata katastra izvedenih instalacija

Tablica 27. Troškovnik izvedbe cijevne retencije

|                           | Količina | Jedinična cijena | Ukupna cijena |
|---------------------------|----------|------------------|---------------|
|                           | kom      | €                | €             |
| <b>Građevinski radovi</b> | 1        | 22,500.00        | 22,500.00     |
|                           | Σ        |                  | 22,500.00     |

Kod izvedbe upojnog zdenca stavkom je obuhvaćeno:

- × Iskop materijala za smještaj upojnice
- × Ukrcaj i odvoz viška materijala od iskopa na deponiju
- × Dobava i doprema kamenog materijala
- × Zidanje bunara vanjskih dimenzija 2.0 x 2.0 m
- × Izrada armirano – betonske ploče, debljine 20 cm i poklopca dimenzije 60x60 cm, debljine 20 cm
- × Doprema i ugradnja preljevnice DN 400
- × Ispuna upojnog zdenca kamenim materijalom promjera zrna 50 – 150 mm, te izvedba tamponskog sloja od tucanika
- × Ispitivanje upojnosti terena 'in situ'

Tablica 28. Troškovnik izvedbe upojnih zdenaca

|                           | Količina | Jedinična cijena | Ukupna cijena |
|---------------------------|----------|------------------|---------------|
|                           | kom      | €                | €             |
| <b>Građevinski radovi</b> | 1        | 15,500.00        | 15,500.00     |
|                           | 1        | 19,500.00        | 19,500.00     |
|                           | Σ        |                  | 35,000.00     |

---

**Rekapitulacija troškova**

|                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| Kanalizacijski cjevovodi | 3,147,555.00 €   |
| Crpne stanice            | 74,000.00 €      |
| Preljev                  | 34,500.00 €      |
| Retencija                | 22,500.00 €      |
| Upojni zdenac            | 35,000.00 €      |
|                          | <hr/>            |
|                          | Σ 3,313,555.00 € |

## 8 ZAKLJUČAK

Zaključno, prikazano je izrađeno idejno rješenje mješovitog sustava odvodnje za naselje Vrh na Krku, s naglaskom na gravitacijsko tečenje uz minimiziranje potrebnih iskopa. Upotrebom prirodnih padova cijevi gdje je to moguće i implementacijom crpnih stanica s pripadajućim crpkama potrebnog kapaciteta, gdje je potrebno, postignuti su postavljeni ciljevi.

Uz to, dodana je cijevna retencija DN1300, kao i dva upojna zdenca s ciljem optimiziranja tečenja u sustavu i samog dotoka na uređaj za pročišćavanje. Ovaj pristup smanjuje pritisak na uređaj za pročišćavanje, što rezultira manjim dimenzijama uređaja i, posljedično, smanjenjem ekonomskih troškova. Također, projekt se time usklađuje s ekološkim standardima, osiguravajući dugoročnu održivost i zaštitu okoliša.

Projekt obuhvaća izgradnju 6.97 km cjevovoda, 2 crpne stanice s po jednom radnom i rezervnom pumpom, 2 preljeva, 2 upojna zdenca te jednu cijevnu retenciju, a vrijednost projekta iznosi 3,313,555.00 eura, s financiranjem osiguranim putem EU fondova.

Implementacija ovog sustava osigurava i učinkovito upravljanje oborinskim vodama, čime se smanjuje rizik od poplava i oštećenja infrastrukture. Pored toga, korištenjem moderne tehnologije za nadzor i upravljanje, omogućilo bi se i pravovremeno otkrivanje i rješavanje potencijalnih problema. Projekt je usklađen s urbanističkim planovima i potrebama zajednice, čime se doprinosi kvaliteti života u naselju.

Iako ovo rješenje pruža pouzdan i učinkovit sustav odvodnje, daljnje istraživanje alternativnih rješenja moglo bi donijeti još bolje rezultate. Na primjer, sveobuhvatna analiza isplativosti između izgradnje crpnih stanica i dubljih iskapanja mogla bi identificirati najisplativiji pristup. Dodatno, usporedba s postojećim sustavima odvodnje te istraživanje mogućnosti nadogradnje mogli bi dodatno smanjiti troškove izvedbe i unaprijediti učinkovitost sustava.

Kako bi se dodatno poboljšali rezultati, razmatranje uključivanja sustava za ponovnu upotrebu oborinskih voda moglo bi dodatno smanjiti potrebu za vodom iz drugih izvora. Također, proširenje analize utjecaja na okoliš moglo bi pomoći u identificiranju mogućih poboljšanja u smislu energetske učinkovitosti i smanjenja emisije CO<sub>2</sub>. Uključivanje održivih materijala za gradnju i poboljšanje infiltracijskih svojstava tla također bi moglo doprinijeti dugoročnoj održivosti sustava. Na kraju, redovito praćenje i evaluacija izvedbe sustava omogućit će pravovremene prilagodbe i optimizacije kako bi se osigurala maksimalna učinkovitost i isplativost.

---

## POPIS LITERATURE

- [1] Combined Sewer Overflow Management Fact Sheet Sewer Separation. 1999.
- [2] Ltd P, Alamy /. A 465 Spheres of Influence | Combined Sewer Systems Combined Sewer Systems. vol. 113. 2005.
- [3] Wehrli A. Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe An overview of the last decade, 1998.
- [4] Ramos HM, Besharat M. Urban flood risk and economic viability analyses of a smart sustainable drainage system. *Sustainability (Switzerland)* 2021;13.
- [5] Abd-Elhamid HF, Zeleňáková M, Vranayová Z, Fathy I. Evaluating the impact of urban growth on the design of storm water drainage systems. *Water (Switzerland)* 2020;12.
- [6] Barco J, Papiri S, Stenstrom MK. First flush in a combined sewer system. *Chemosphere* 2008;71;827–33.
- [7] Vrh (Krk) [Internet]. Wikipedia, slobodna enciklopedija. c2023 [pristupljeno 2024. rujan 2.]. Dostupno na: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Vrh\\_\(Krk\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Vrh_(Krk))
- [8] *Narodne novine*. [pristupljeno 2024. rujan 13.]. Dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_12\\_118\\_2353.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_12_118_2353.html)
- [9] Google Maps. [Satelitski prikaz naselja Vrh]. Google Maps. [pristupljeno 2024. rujan 2.]. Dostupno na: <https://www.google.com/maps>
- [10] Halkijević I. OPSKRBA VODOM I ODVODNJA 2-SKRIPTA PREDAVANJA; Zagreb 2022.

## POPIS SLIKA

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1. Satelinski prikaz naselja Vrh [9].....                                                    | 3  |
| Slika 2. Projekcija kretanja broja stanovnika naselja Vrh za period od 2021. do 2053.....          | 8  |
| Slika 3. Mjerodavni hidrogram otjecanja na lokaciji cijevi 2 .....                                 | 14 |
| Slika 4. Mjerodavni hidrogram otjecanja na lokaciji cijevi p64 .....                               | 15 |
| Slika 5. Mjerodavni hidrogram otjecanja na lokaciji cijevi 9 .....                                 | 15 |
| Slika 6. Mreža mješovite odvodnje naselja Vrh u AutoCAD-u .....                                    | 16 |
| Slika 7. Mreža mješovite odvodnje naselja Vrh u EpaSWMM-u .....                                    | 17 |
| Slika 8. Mreža mješovite odvodnje s prikazanim slivnim površinama naselja Vrh u EpaSWMM-u .....    | 18 |
| Slika 9. Simulacija sustava odvodnje u EpaSWMM-u .....                                             | 19 |
| Slika 10. Dijagram neravnomjernosti za linearno uprosječivanje dotoka od stalnog stanovništva..... | 23 |
| Slika 11. Dijagram neravnomjernosti za linearno uprosječivanje dotoka od privrede.....             | 23 |
| Slika 12. Dijagram neravnomjernosti za linearno uprosječivanje dotoka od turista.....              | 24 |
| Slika 13. Dijagram neravnomjernosti za linearno uprosječivanje dotoka od tuđih voda ....           | 24 |
| Slika 14. Osnovne postavke proračuna (simulacije).....                                             | 25 |
| Slika 15. Definiranje vremena proračuna (simulacije).....                                          | 26 |
| Slika 16. Definiranje parametara propagacije vodnog vala.....                                      | 26 |
| Slika 17. Promjeri cijevi mješovitog sustava odvodnje u EPASWMM-u.....                             | 28 |
| Slika 18. Hrapavost cijevi mješovitog sustava odvodnje u EPASWMM-u .....                           | 29 |
| Slika 19. Dio kanalske mreže poslije korekcija dubine ugradnje u SWMM-u .....                      | 30 |
| Slika 20. Prikaz podslivova s pripadajućim mjerodavnim oborinama .....                             | 32 |
| Slika 21. Prikaz crpnog bazena n4 (lijevo) u SWMM-u .....                                          | 35 |
| Slika 22. Prikaz crpnog bazena n43 (gore desno) u SWMM-u .....                                     | 35 |
| Slika 23. Q-h krivulja crpke 3 crpnog bazena n4 u SWMM-u .....                                     | 36 |
| Slika 24. Q-h krivulja crpke p38 crpnog bazena n43 u SWMM-u .....                                  | 36 |
| Slika 25. Dijagram oscilacija razine vode u crpnom bazenu n4.....                                  | 37 |
| Slika 26. Dijagram oscilacija razine vode u crpnom bazenu n43 .....                                | 38 |
| Slika 27. Dijagram dinamike rada crpne stanice n4 .....                                            | 38 |
| Slika 28. Dijagram dinamike rada crpne stanice n34.....                                            | 39 |
| Slika 29. Shematski prikaz bočnog preljeva s prikazom definicijskih parametara [10].....           | 40 |
| Slika 30. Shematski prikaz prigušnice s prikazom definicijskih parametara [10].....                | 40 |
| Slika 31. Prikaz na modelu definirane geometrije upojnog zdenca zdenac 1 .....                     | 50 |

---

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 32. Prikaz upojnog zdenca zdenac 2.....                                  | 51 |
| Slika 33. Uzdužni presjek najdulje dionice od točke n15 do točke zdenac2 ..... | 55 |
| Slika 34. Uzdužni presjek dionice od točke n43 do točke 51 .....               | 55 |
| Slika 35. Uzdužni presjek dionice od točke n28 do točke zdenac 1 .....         | 56 |
| Slika 36. Uzdužni presjek dionice od točke n72 do točke zdenac2.....           | 56 |

---

## POPIS TABLICA

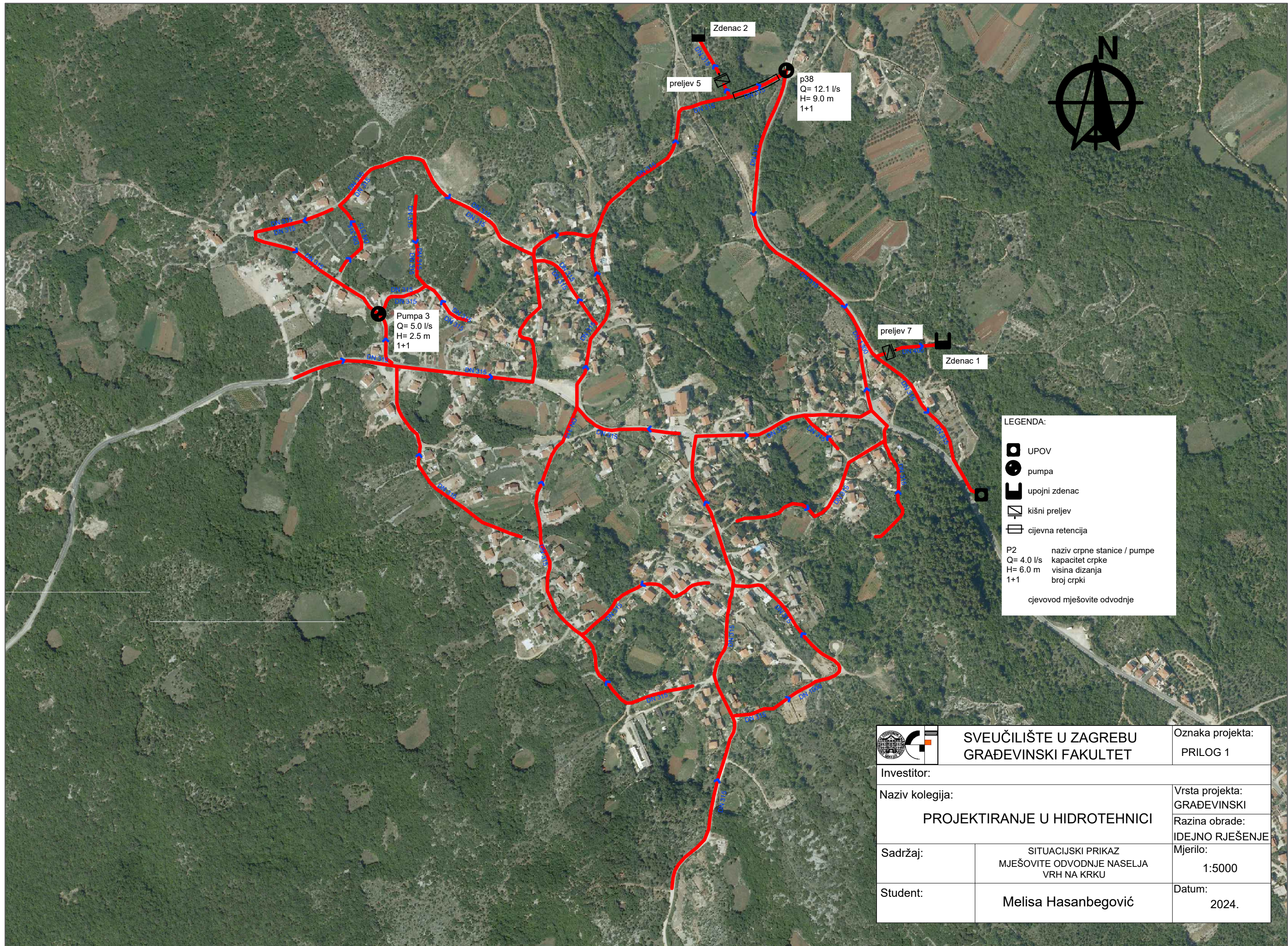
|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablica 1. Izračunati broj korisnika za postojeće i planirano stanje.....                     | 7  |
| Tablica 2. Analiza potrošnje vode u kućanstvu.....                                            | 9  |
| Tablica 3. Analiza potrošnje vode u turizmu.....                                              | 9  |
| Tablica 4. Analiza potrošnje vode u industriji.....                                           | 10 |
| Tablica 5. Vrijednosti koeficijenta neravnosmjernosti potrošnje vode [10].....                | 11 |
| Tablica 6. Ulazni podaci za mjerodavnu oborinu u EPASWMM-u.....                               | 14 |
| Tablica 7. Određivanje specifičnog dotoka za svaku kategoriju potrošača .....                 | 20 |
| Tablica 8. Iznos dotoka otpadnih voda od stanovnika i turista po dionicama .....              | 20 |
| Tablica 9. Ulazni podaci mjerodavnih oborina za EPASWMM.....                                  | 32 |
| Tablica 10. Izračun ukupne površine i površine koja sudjeluje u otjecanju za retenciju 1 .... | 42 |
| Tablica 11. Ulazni podaci za izračun volumena retencije .....                                 | 42 |
| Tablica 12. Proračun protoka u retenciji.....                                                 | 43 |
| Tablica 13. Izračun volumena retencijskog bazena .....                                        | 44 |
| Tablica 14. Izračun protoka kroz prigušnicu .....                                             | 44 |
| Tablica 15. Izračun ukupne površine i površine koja sudjeluje u otjecanju za retenciju 2 .... | 45 |
| Tablica 16. Ulazni podaci za izračun volumena retencije 2.....                                | 46 |
| Tablica 17. Proračun protoka u retenciji 2.....                                               | 47 |
| Tablica 18. Izračun volumena retencijskog bazena 2.....                                       | 48 |
| Tablica 19. Izračun protoka kroz prigušnicu .....                                             | 48 |
| Tablica 20. Proračun volumena zdenca 1.....                                                   | 49 |
| Tablica 21. Proračun volumena zdenca 2.....                                                   | 50 |
| Tablica 22. Dubine vode, protoci i brzine u cijevima u satu najveće potrošnje.....            | 52 |
| Tablica 23. Duljine cijevi po profilima .....                                                 | 57 |
| Tablica 24. Troškovnik izvedbe cjevovoda.....                                                 | 61 |
| Tablica 25. Troškovnik izvedbe crpnih stanica.....                                            | 62 |
| Tablica 26. Troškovnik izvedbe preljeva.....                                                  | 63 |
| Tablica 27. Troškovnik izvedbe cijevne retencije .....                                        | 64 |
| Tablica 28. Troškovnik izvedbe upojnih zdenaca.....                                           | 64 |








---

**GRAFIČKI PRILOZI**

|           |                                                            |               |
|-----------|------------------------------------------------------------|---------------|
| Prilog 1  | Situacija planirane mješovite odvodnje naselja Vrh na Krku | MJ 1:5000     |
| Prilog 2  | Uzdužni profil dionice od točke n8 do točke n36            | MJ 1:2000/200 |
| Prilog 3a | Tlocrt i poprečni presjek preljeva 7                       | MJ 1:2000     |
| Prilog 3b | Poprečni presjek preljeva 7                                | MJ 1:2000     |
| Prilog 4a | Tlocrt zdenca 1                                            | MJ 1:2000     |
| Prilog 4b | Poprečni presjek zdenca 1                                  | MJ 1:5000     |
| Prilog 5a | Tlocrt crpne stanice u ulici Gušternica                    | MJ 1:2000     |
| Prilog 5b | Poprečni presjek crpne stanice u ulici Gušternica          | MJ 1:2000     |
| Prilog 6  | Karakterični poprečni presjek rova                         | MJ 1:2000     |



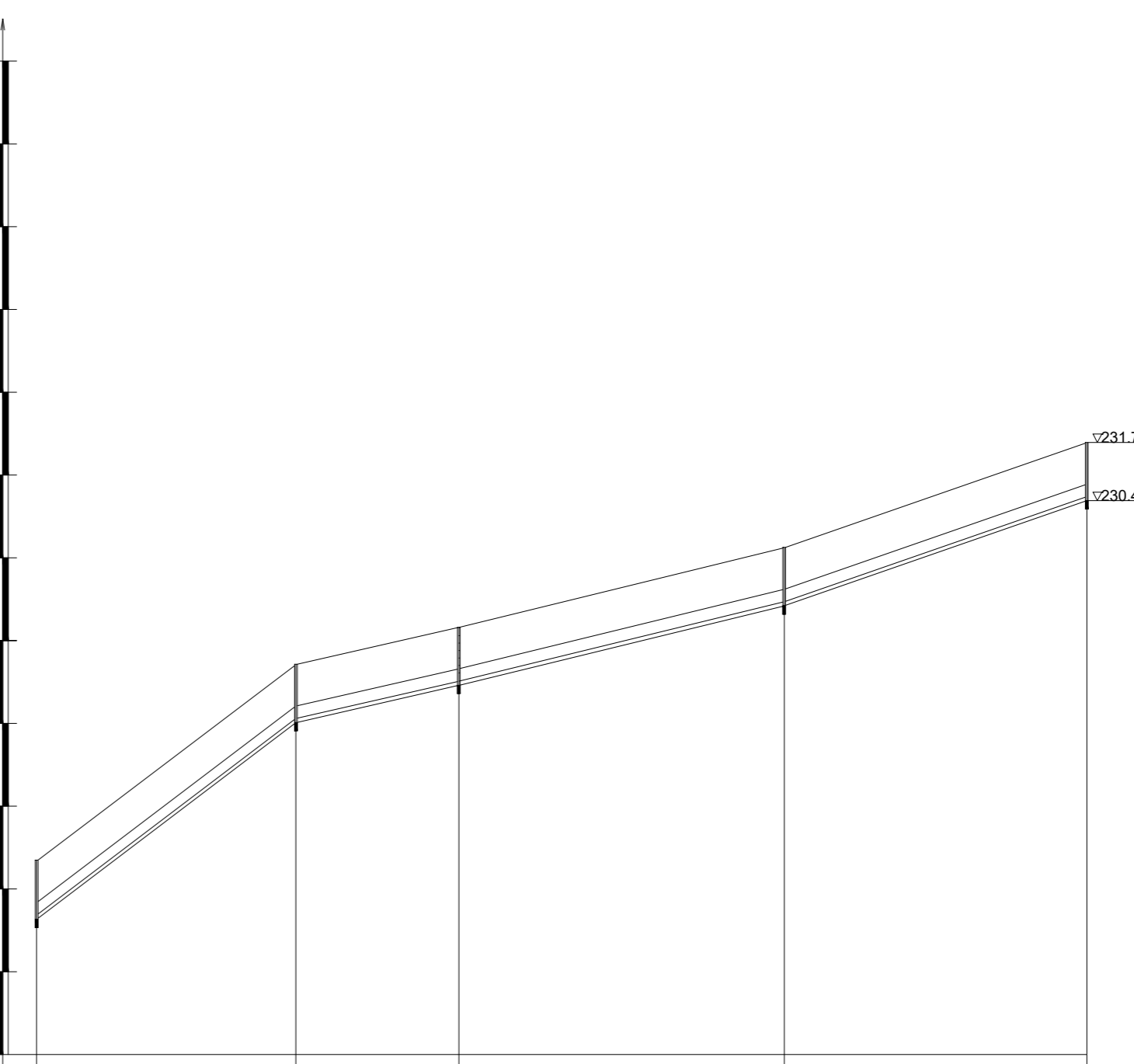
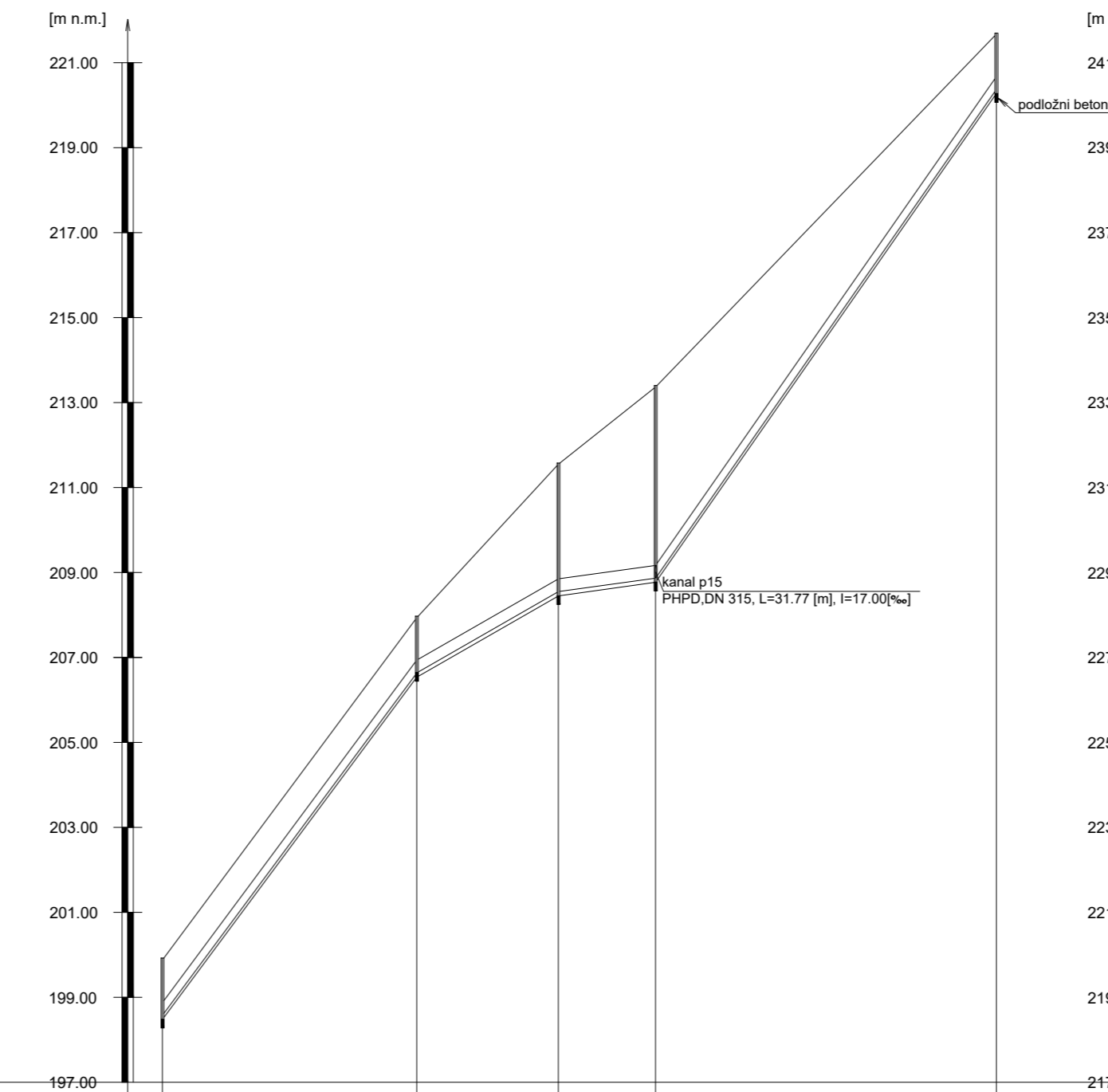
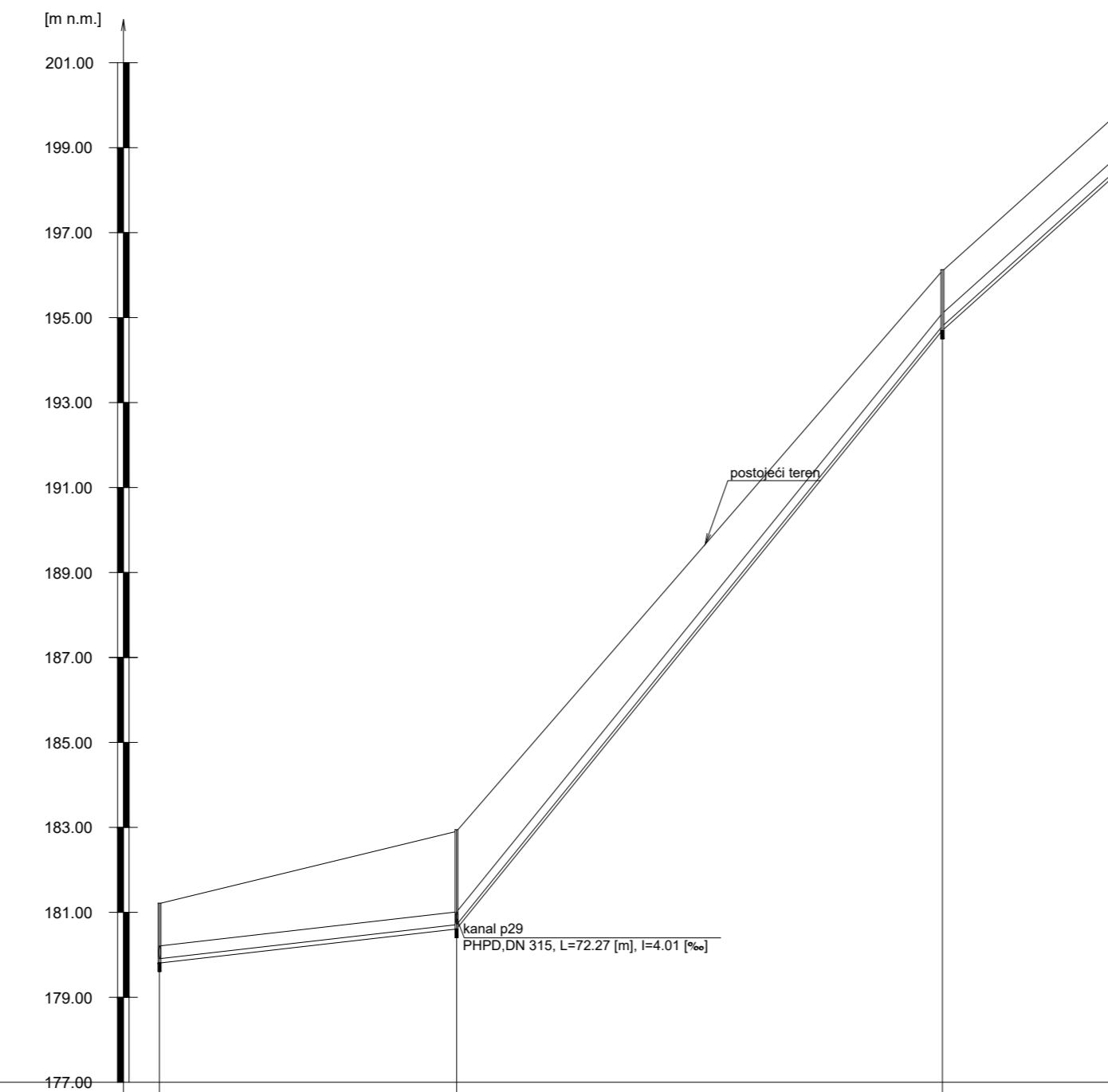
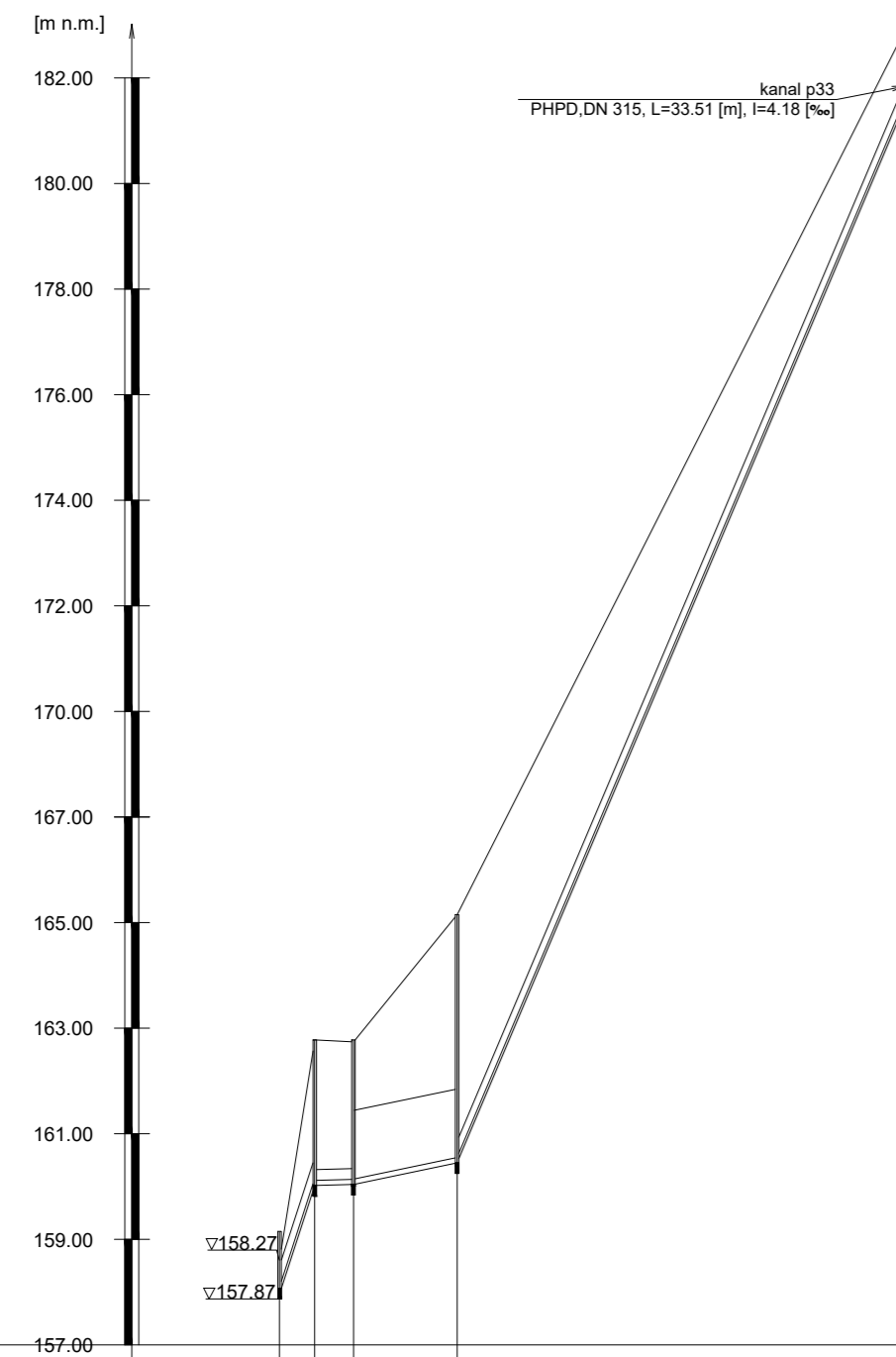
**LEGENDA:**

-  UPOV
-  pumpa
-  upojni zdenac
-  kišni preljev
-  cijevna retencija


P2 naziv crpne stanice / pumpe  
 Q= 4.0 l/s kapacitet crpke  
 H= 6.0 m visina dizanja  
 1+1 broj crpki

cjevovod mješovite odvodnje

|                                                                                                                                             |                     |                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
|  <b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU<br/>GRAĐEVINSKI FAKULTET</b> |                     | Oznaka projekta:<br>PRILOG 1      |
|                                                                                                                                             |                     | Investitor:                       |
| Naziv kolegija:<br><b>PROJEKTIRANJE U HIDROTEHNICI</b>                                                                                      |                     | Vrsta projekta:<br>GRAĐEVINSKI    |
| Sadržaj:                                                                                                                                    |                     | Razina obrade:<br>IDEJNO RJEŠENJE |
|                                                                                                                                             |                     | Mjerilo:<br>1:5000                |
| Student:                                                                                                                                    | Melisa Hasanbegović | Datum:<br>2024.                   |



|                                   |              |              |               |          |          |          |          |          |          |              |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------|--------------|--------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| OZNAKA TOČKE                      | 51           | 11           | 7             | n39      | n36      | n36      | n31      | n30      | n27      | n27          | n26      | n25      | n17      | n13      | n13      | n12      | n11      | n10      | n9       |
| PROFIL I VRSTA CIJEVI             | PEHD, DN 315 | PEHD, DN 200 | PEHD, DN 1300 |          |          |          |          |          |          | PEHD, DN 315 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| VRSTA TERENA                      |              |              |               |          |          |          |          |          |          | ASFALT       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| UZDUŽNI PAD DNA [‰] I DULJINE [m] | 1/10         | 1/11         | 1/29.47       | 1/127.60 | 1/178.07 | 1/178.07 | 1/104.90 | 1/171.50 | 1/63.15  | 1/89.82      | 1/49.97  | 1/34.33  | 1/120.30 | 1/93.94  | 1/59.05  | 1/117.9  | 1/109.6  |          |          |
| KOTA TERENA [m n.m.]              | 157.87       | 158.27       | 162.00        | 164.41   | 181.21   | 181.21   | 196.10   | 199.88   | 199.88   | 206.94       | 211.55   | 213.37   | 221.67   | 221.67   | 226.42   | 227.32   | 229.24   | 231.78   | 230.48   |
| KOTA DNA ROVA [m n.m.]            | 157.87       | 158.27       | 162.00        | 164.41   | 181.21   | 181.21   | 196.10   | 199.88   | 199.88   | 206.94       | 211.55   | 213.37   | 221.67   | 221.67   | 226.42   | 227.32   | 229.24   | 231.78   | 230.48   |
| DUBINA ISKOPA [m]                 | 0.4          | 2.66         | 2.6           | 4.6      | 1.3      | 1.3      | 1.3      | 1.3      | 1.3      | 1.3          | 3        | 4.5      | 1.3      | 1.3      | 1.3      | 1.3      | 1.3      | 1.3      | 1.3      |
| RAZMAK PROFILA [m]                | 10           | 11           | 29.47         | 127.60   | 178.07   | 178.07   | 104.90   | 171.50   | 63.15    | 89.82        | 49.97    | 34.33    | 120.30   | 93.94    | 59.05    | 117.9    | 109.6    |          |          |
| STACIONAŽA                        | 0+000.00     | 0+010.00     | 0+021.00      | 0+050.47 | 0+178.07 | 0+178.07 | 0+282.97 | 0+454.47 | 0+517.62 | 0+517.62     | 0+607.44 | 0+657.41 | 0+691.74 | 0+812.04 | 0+812.04 | 0+905.98 | 0+965.03 | 1+082.93 | 1+192.53 |



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Oznaka projekta:  
PRILOG 2

Investitor:

Naziv građevine: Mješovita odvodnja naselja Vrh

Sadržaj: Uzdužni profil dionice 51 - n9 oborinske i sanitarne odvodnje naselja Vrh

Student: Melisa Pejić

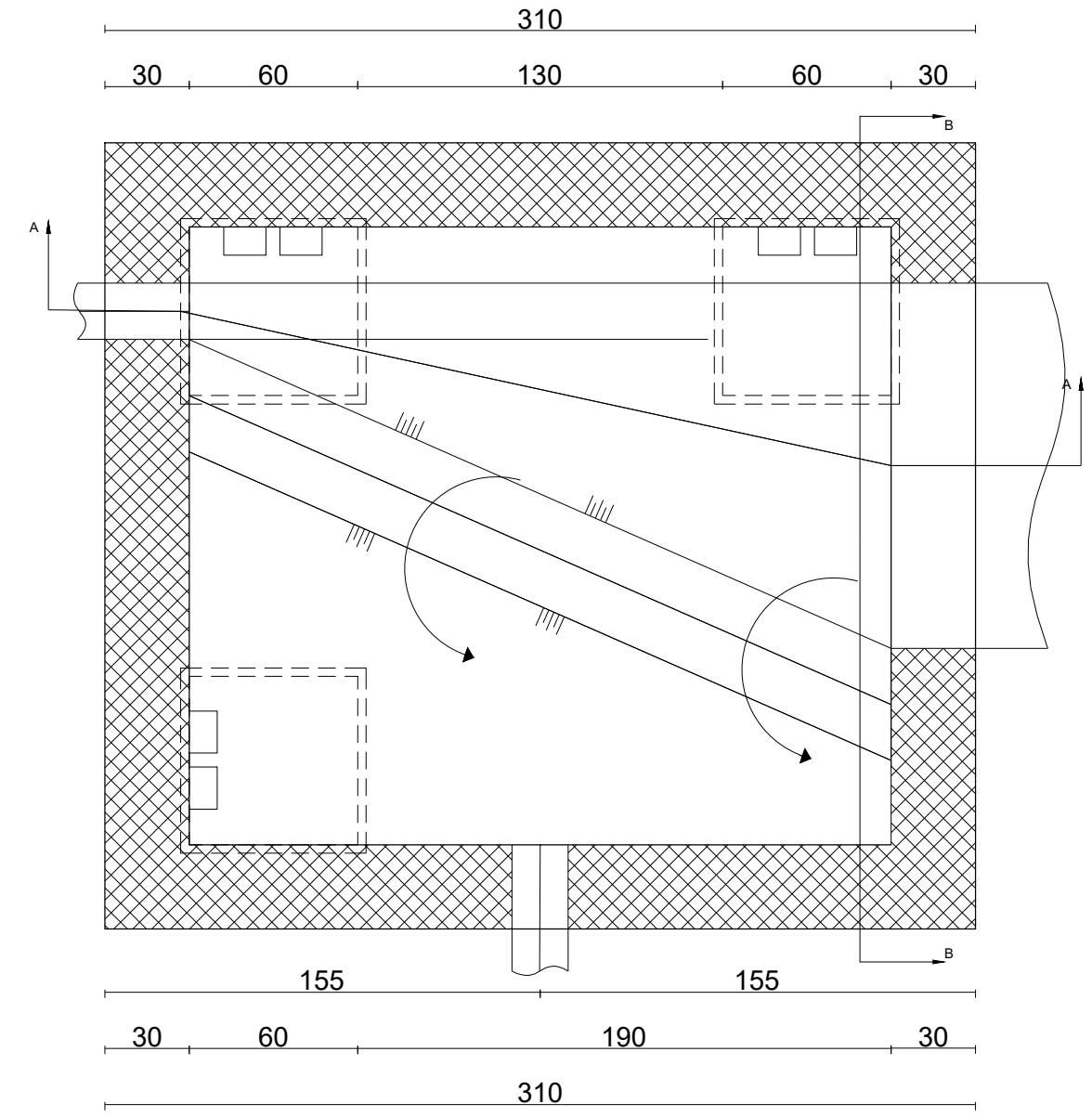
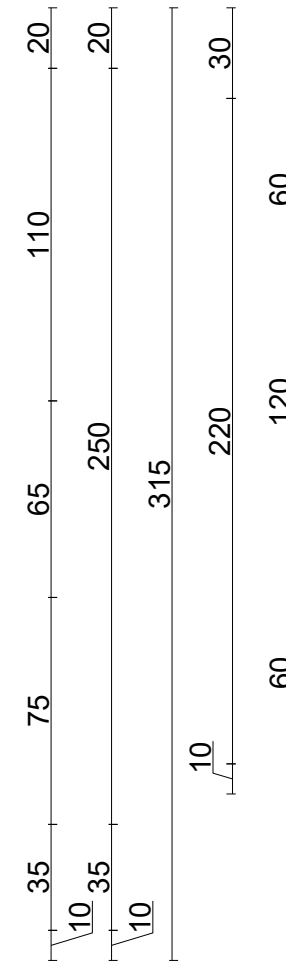
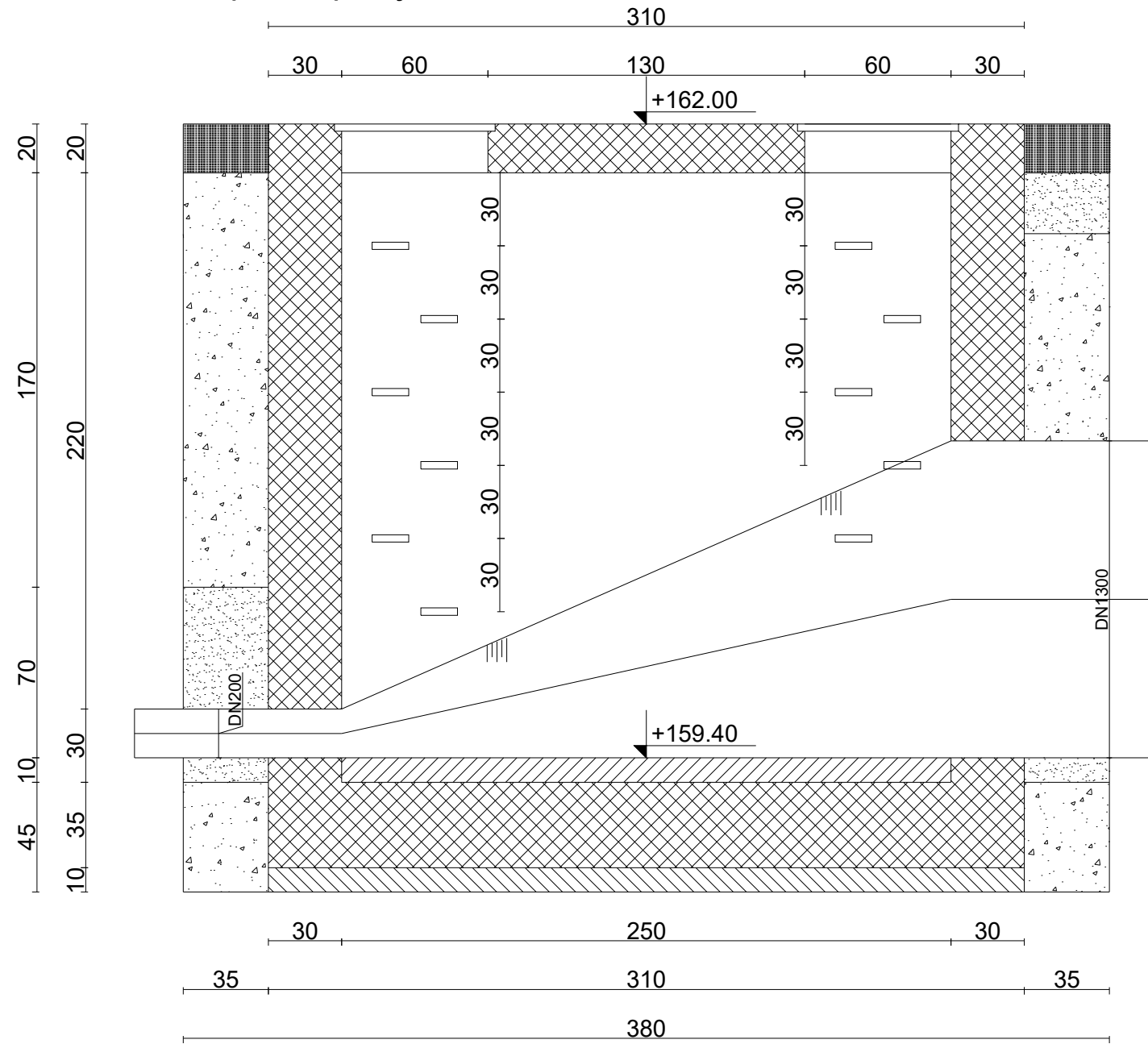
Vrsta projekta: GRAĐEVINSKI


Razina obrade: IDEJNO RJEŠENJE

Mjerilo: 1:200/2000

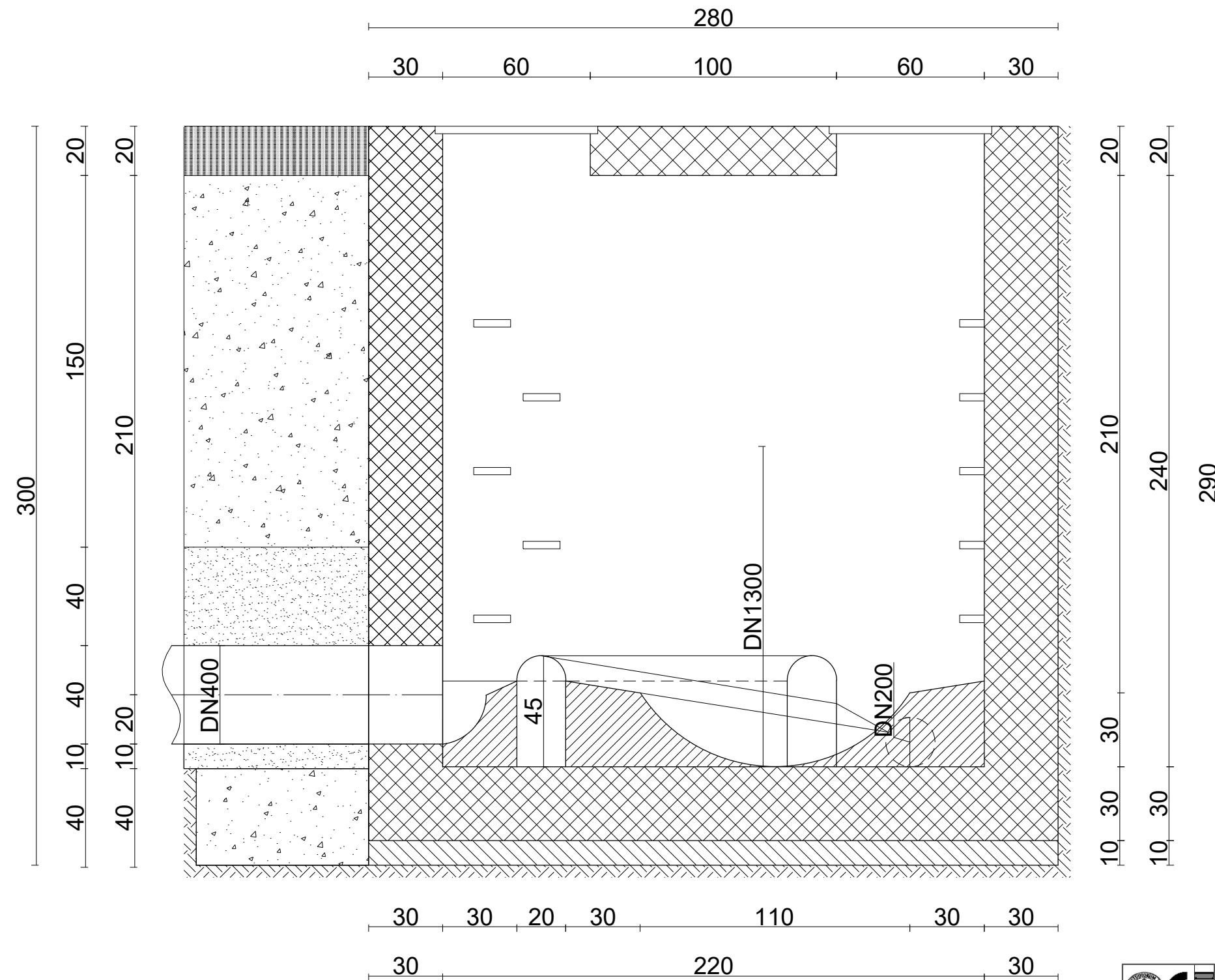
Datum: 2024.


# Poprečni presjek A - A

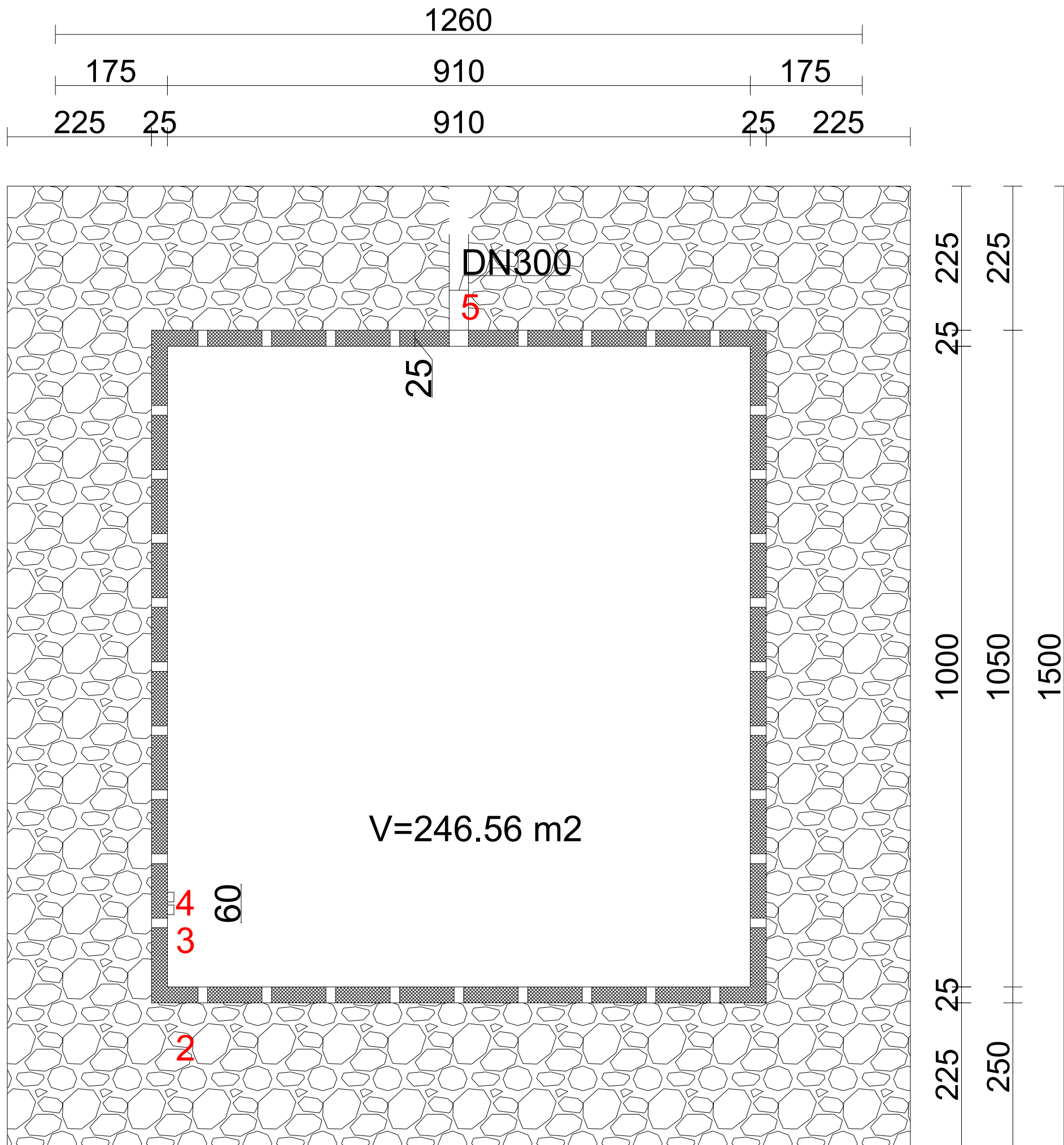


|                                                                                                                                                   |                                                            |                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|  <b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU</b><br><b>GRAĐEVINSKI FAKULTET</b> |                                                            | Oznaka projekta:<br>PRILOG 3a     |
| Investitor:                                                                                                                                       |                                                            | Vrsta projekta:<br>GRAĐEVINSKI    |
| Naziv građevine:<br>Mješovita odvodnja naselja Vrh                                                                                                |                                                            | Razina obrade:<br>IDEJNO RJEŠENJE |
| Sadržaj:                                                                                                                                          | <b>Tlocrt i poprečni presjek A<br/>         preljeva 7</b> | Mjerilo:<br>1:200                 |
| Student:                                                                                                                                          | Melisa Pejić                                               | Datum:<br>2024.                   |


# Poprečni presjek B-B

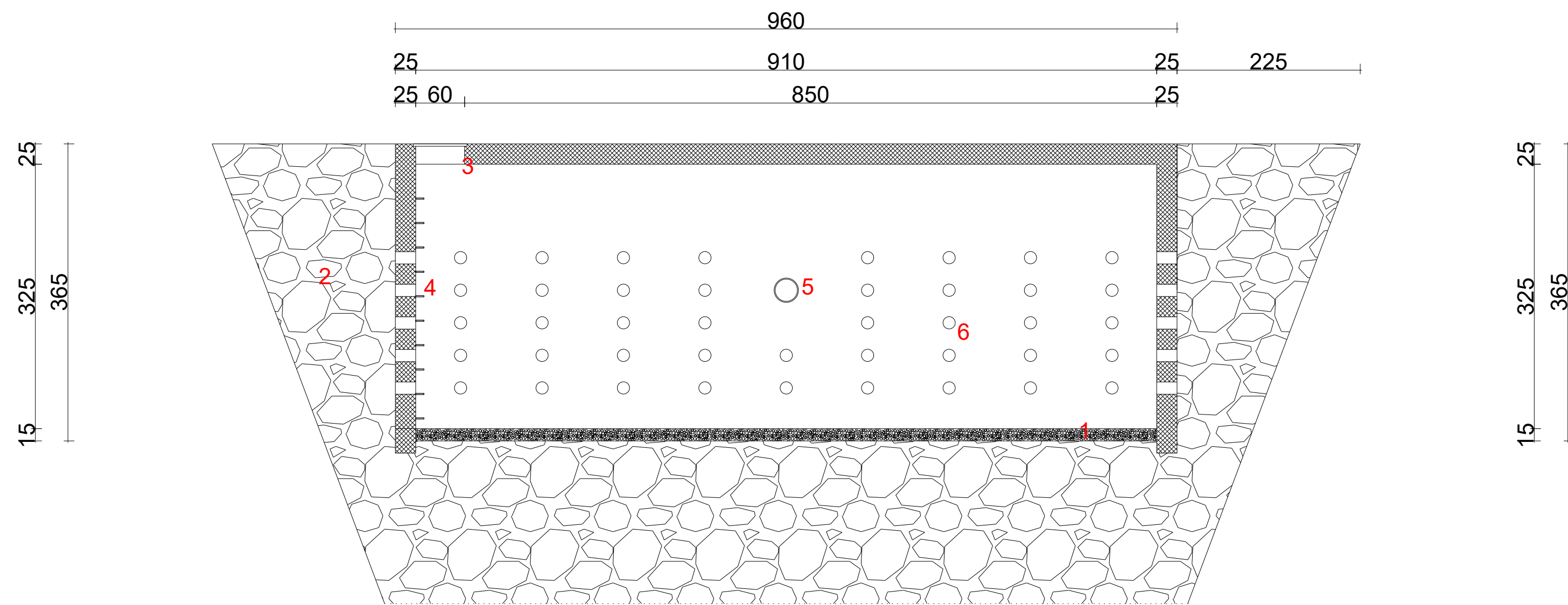
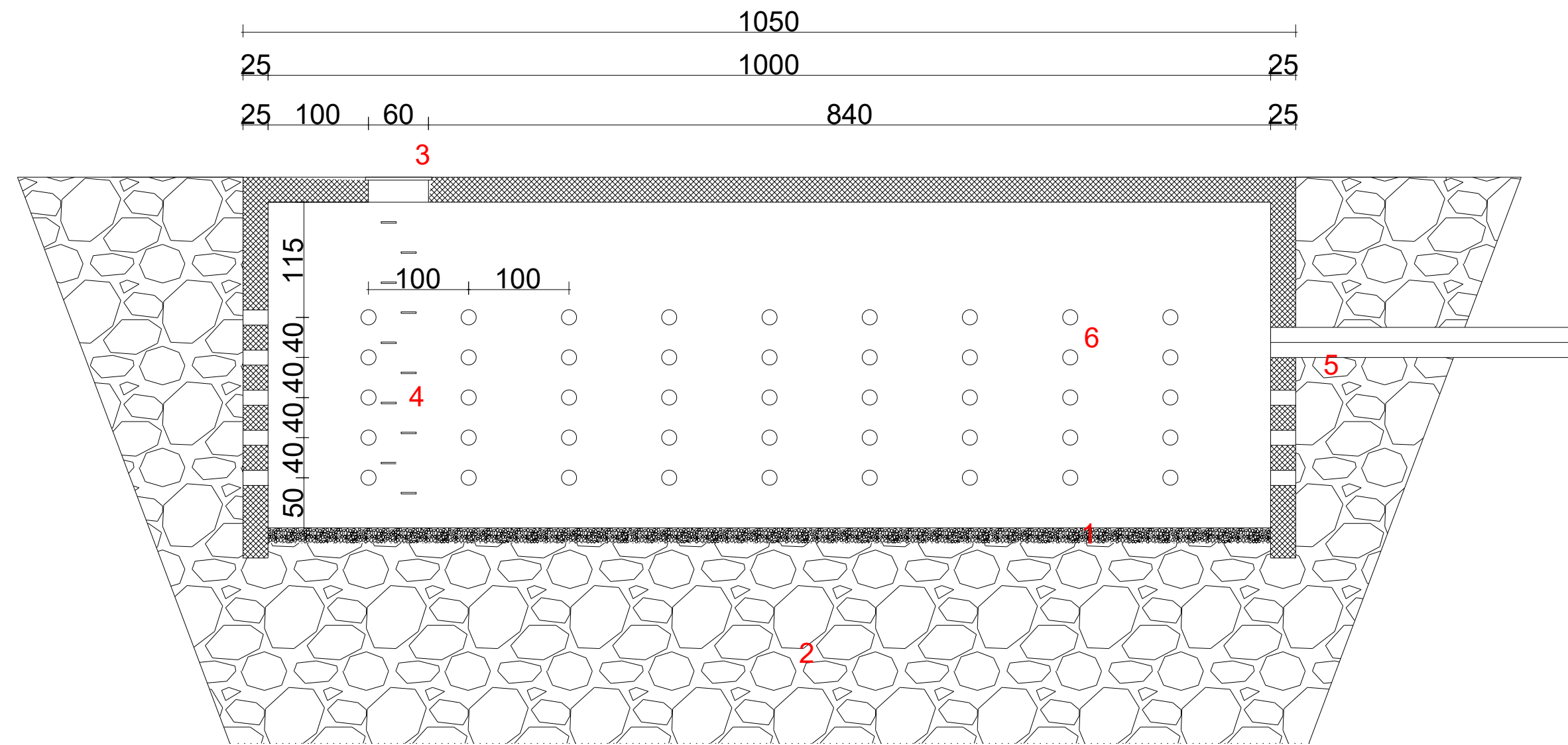


|                                                                                                                                                   |                                    |                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
|  <b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU</b><br><b>GRAĐEVINSKI FAKULTET</b> |                                    | Oznaka projekta:<br>PRILOG 3b     |
| Investitor:                                                                                                                                       |                                    |                                   |
| Naziv građevine:<br>Mješovita odvodnja naselja Vrh                                                                                                |                                    | Vrsta projekta:<br>GRAĐEVINSKI    |
|                                                                                                                                                   |                                    | Razina obrade:<br>IDEJNO RJEŠENJE |
| Sadržaj:                                                                                                                                          | Poprečni presjek B-B<br>preljeva 7 | Mjerilo:<br>1:200                 |
| Student:                                                                                                                                          | Melisa Pejić                       | Datum:<br>2024.                   |



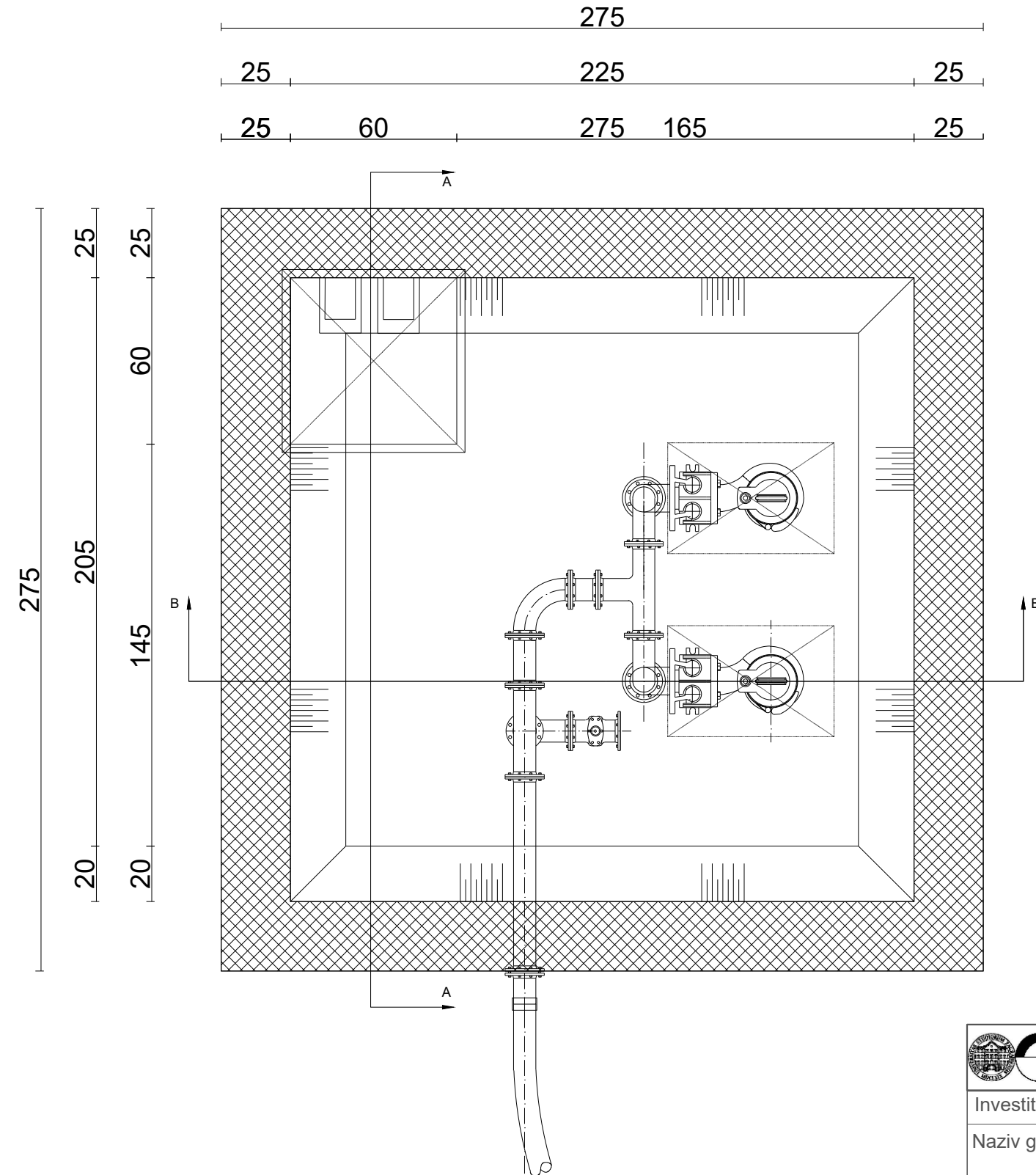
- 2 kameni nabačaj
- 3 poklopac 60x60 cm
- 4 stupaljke
- 5 dovod vode DN300

|                                                                                                                                                   |                    |                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------|
|  <b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU</b><br><b>GRAĐEVINSKI FAKULTET</b> |                    | Oznaka projekta:<br>PRILOG 4a                                       |
| Investitor:                                                                                                                                       |                    |                                                                     |
| Naziv građevine:<br>Mješovita odvodnja naselja Vrh                                                                                                |                    | Vrsta projekta:<br>GRAĐEVINSKI<br>Razina obrade:<br>IDEJNO RJEŠENJE |
| Sadržaj:                                                                                                                                          | Tlocrt<br>zdenca 1 | Mjerilo:<br>1:200                                                   |
| Student:                                                                                                                                          | Melisa Pejić       | Datum:<br>2024.                                                     |



- 1 tucanik 30-40 mm
- 2 kameni nabačaj
- 3 poklopac 60x60 cm
- 4 stupaljke
- 5 dovod vode DN300
- 6 perforacije DN150

|                  |                                               |                                   |
|------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|
|                  | SVEUČILIŠTE U ZAGREBU<br>GRAĐEVINSKI FAKULTET | Oznaka projekta:<br>PRILOG 4b     |
| Investitor:      |                                               |                                   |
| Naziv građevine: | Mješovita odvodnja naselja Vrh                | Vrsta projekta:<br>GRAĐEVINSKI    |
|                  |                                               | Razina obrade:<br>IDEJNO RJEŠENJE |
| Sadržaj:         | Poprečni presjek<br>zdenca 1                  | Mjerilo:<br>1:200                 |
| Student:         | Melisa Pejić                                  | Datum:<br>2024.                   |



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Oznaka projekta:  
PRILOG 5a

Investitor:

Naziv građevine:

Mješovita odvodnja naselja Vrh

Vrsta projekta:  
GRAĐEVINSKI

Razina obrade:  
IDEJNO RJEŠENJE

Sadržaj:

Tlocrt crpne stanice  
u ulici  
Gušternica

Mjerilo:  
1:200

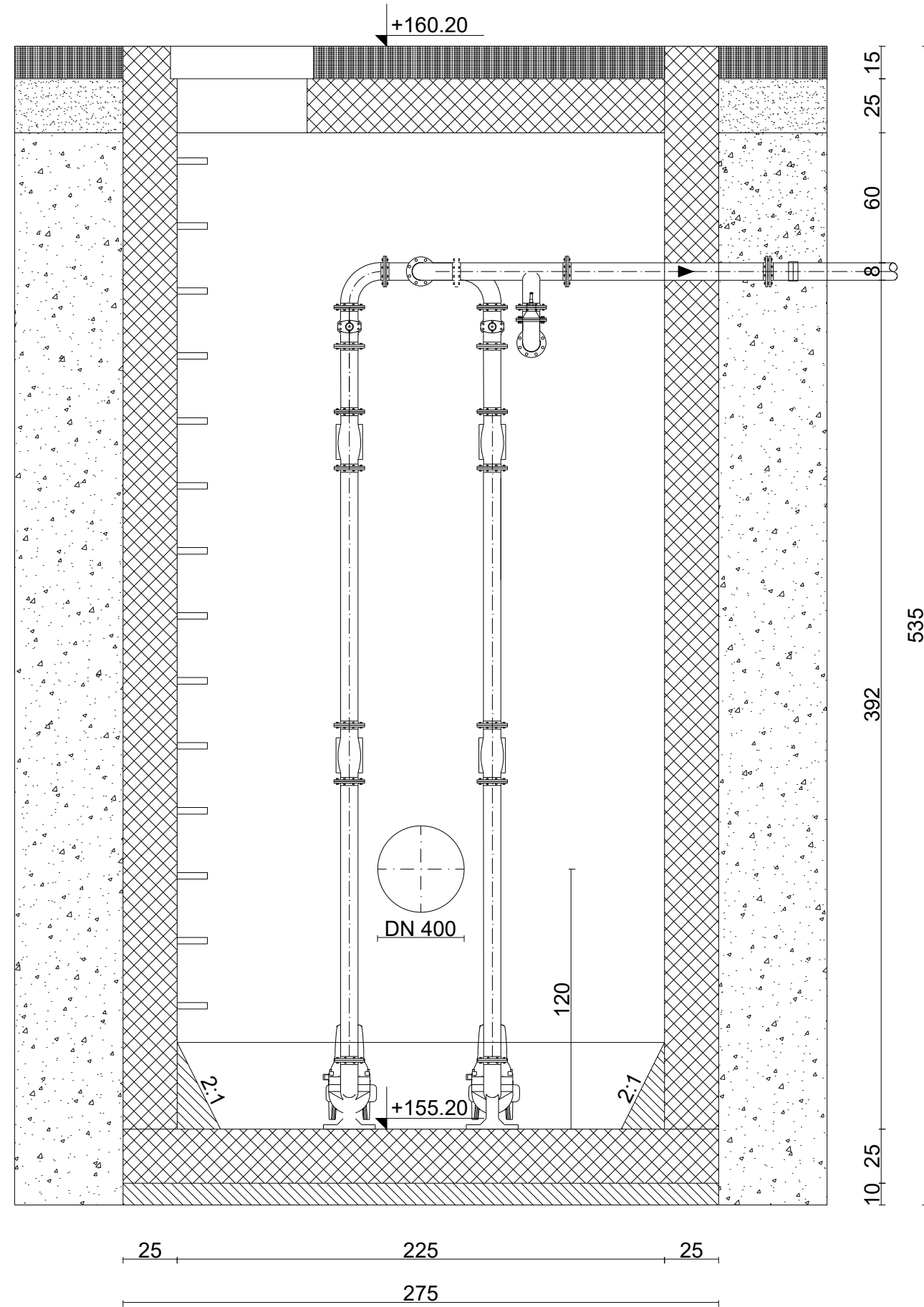
Student:

Melisa Pejić

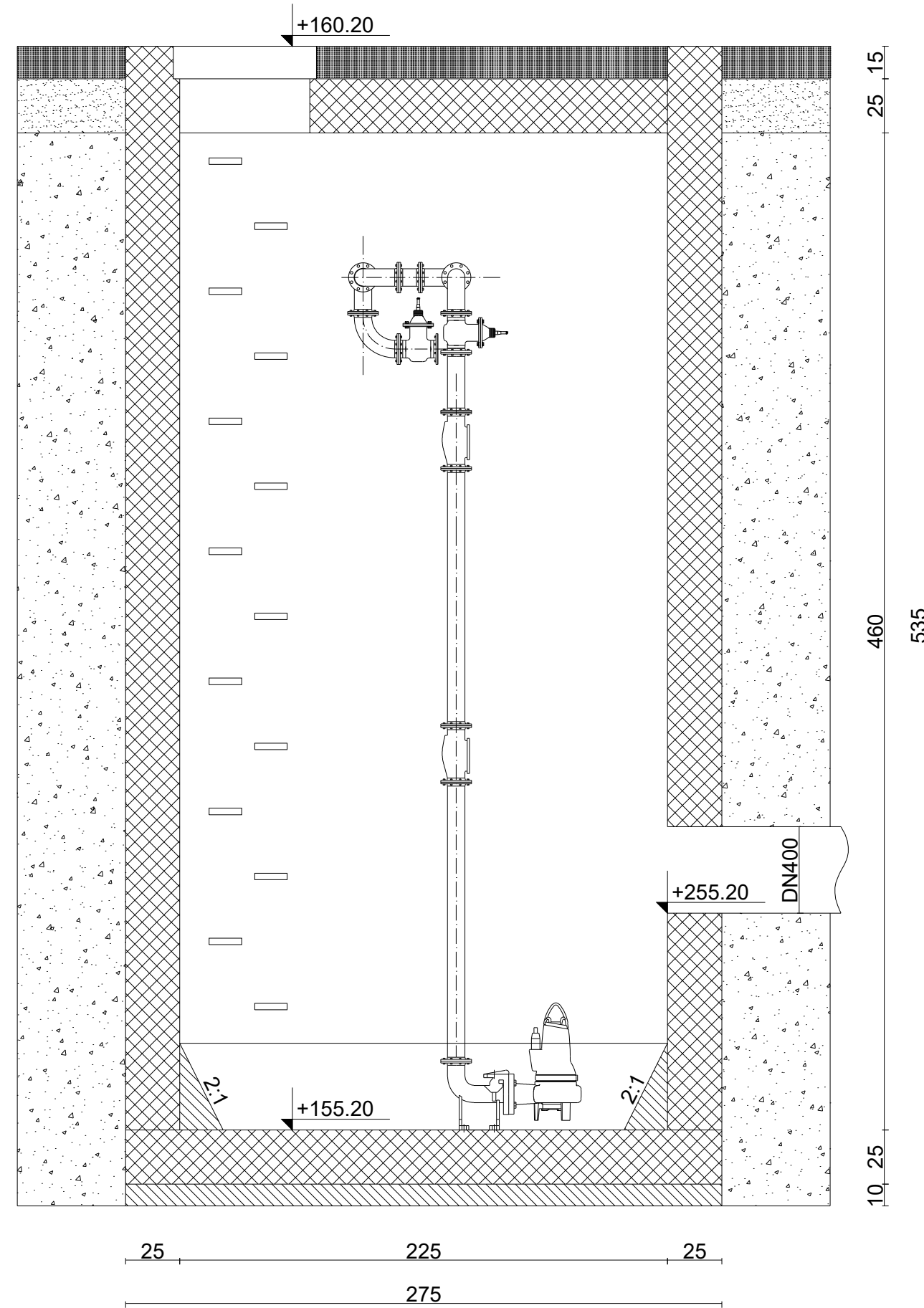
Datum:  
2024.




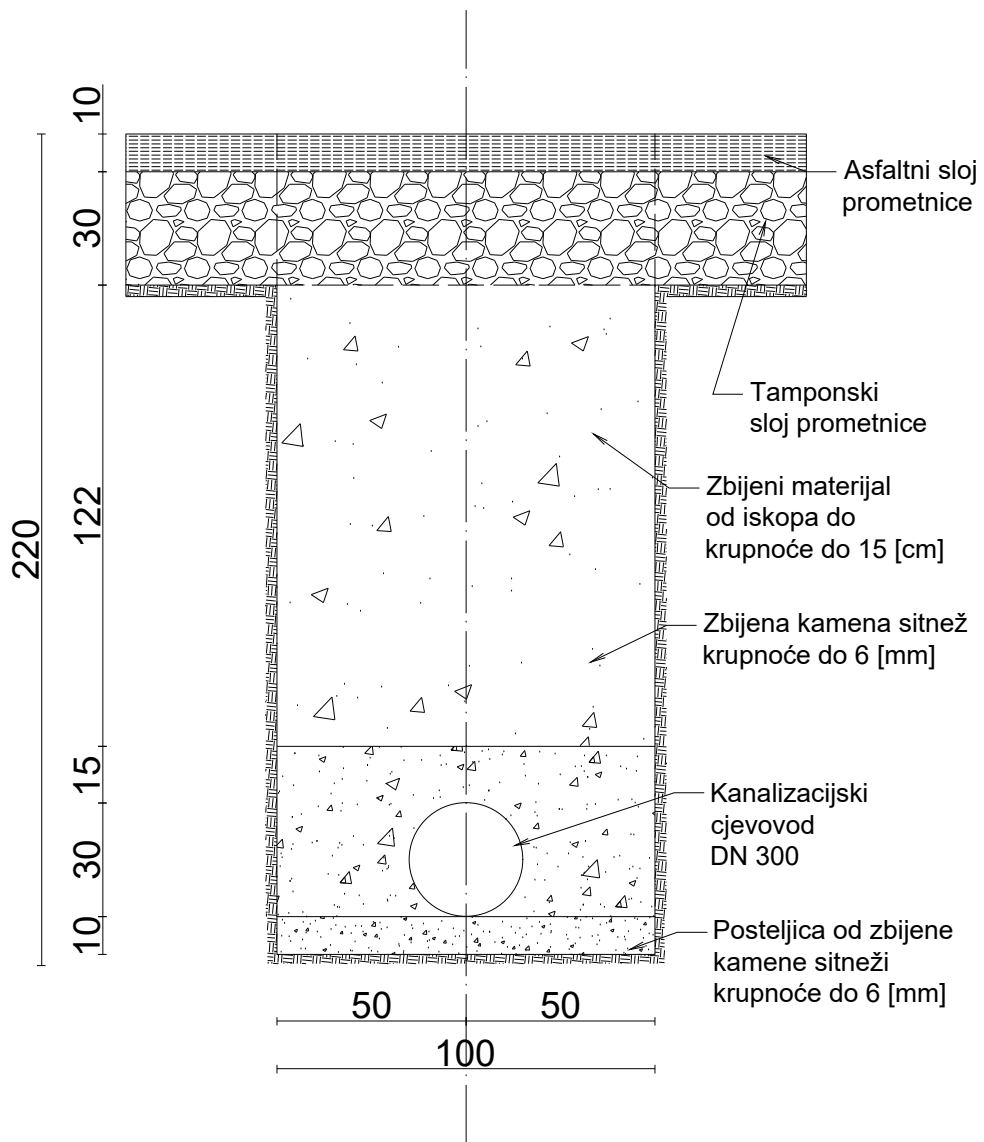
Poprečni presjek A - A



Poprečni presjek B-B



|                                                                                                                                             |                                                               |                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|  <b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU<br/>GRAĐEVINSKI FAKULTET</b> |                                                               | Oznaka projekta:<br>PRILOG 5b     |
| Investitor:                                                                                                                                 |                                                               | Vrsta projekta:<br>GRAĐEVINSKI    |
| Naziv građevine:<br><b>Mješovita odvodnja naselja Vrh</b>                                                                                   |                                                               | Razina obrade:<br>IDEJNO RJEŠENJE |
| Sadržaj:                                                                                                                                    | Poprečni presjek A i B crpne stanice<br>u ulici<br>Gušternica | Mjerilo:<br>1:200                 |
| Student:                                                                                                                                    | <b>Melisa Pejić</b>                                           | Datum:<br>2024.                   |



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
 GRAĐEVINSKI FAKULTET

Oznaka projekta:  
 PRILOG 6

Investitor:

Naziv građevine:

Mješovita odvodnja naselja Vrh

Vrsta projekta:  
 GRAĐEVINSKI

Razina obrade:  
 IDEJNO RJEŠENJE

Sadržaj:

Karakteristični poprečni presjek rova

Mjerilo:

1:200

Student:

Melisa Pejić

Datum:

2024.