

# Hidraulički proračun vodoopskrbne mreže korištenjem EPANET-a (za dio naselja Drenova i dio naselja Marinići)

---

**Mušić, Neira**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:822992>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#) / [Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



*Repository / Repozitorij:*

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

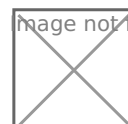


image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Neira Mušić**

**Hidraulički proračun vodoopskrbne mreže korištenjem EPANET-a  
(za dio naselja Drenova i dio naselja Marinići)**

**Završni rad**

**Rijeka, 2023.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni prijediplomski studij  
Osnove Hidrotehnike**

**Neira Mušić  
JMBAG: 0114033002**

**Hidraulički proračun vodoopskrbne mreže korištenjem EPANET-a  
(za dio naselja Drenova i dio naselja Marinići)**

**Završni rad**

**Rijeka, rujan 2023.**

Zavod: **Zavod za hidrotehniku i geotehniku**  
Predmet: **Osnove hidrotehnike**  
Grana: **2.05.03 hidrotehnika**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 138

Pristupnik: **Neira Mušić (0114033002)**  
Studij: Građevinarstvo

Zadatak: **Hidraulički proračun vodoopskrbne mreže korištenjem EPANET-a (za dio naselja Drenova i dio naselja Marinići)**

### Opis zadatka:

Za zadano područje (dio naselja Drenova i dio naselja Marinići) potrebno je izraditi hidraulički proračun korištenjem programa EPANET. Treba osigurati količine vode za potrebe stanovništva i turista, te za potrebe gašenja požara, stoga razraditi različite scenarije pojave požara na različitim lokacijama i pri tome optimizirati dimenzije cijevi i tlakove u mreži.

Zadatak uručen pristupniku: 13. ožujka 2023.  
Rok za predaju rada: 20. rujna 2023.

Mentor: Prof. dr. sc. Barbara Karleuša



## **IZJAVA**

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

---

Neira Mušić

U Rijeci, 18. rujna 2023.

## **SAŽETAK**

Ovaj završni rad opisuje postupak modeliranja vodoopskrbne mreže za unaprijed definirano naselje između područja Drenove, grad Rijeka i područja Marinića, općina Viškovo te je cilj rada prezentirati mogućnosti korištenja računalnog programa EPANET-a za projektiranje vodoopskrbnih sustava. Na osnovi hidrauličkog proračuna modeliran je sustav vodoopskrbne mreže za izračunate potrošnje vode zadane u čvorovima. Provedene simulacije analiziraju različite scenarije požarnih situacija u kojima se mijenjao profil cijevi i/ili postavljali redukcijski ventili u svrhu smanjenja nepovoljnih tlakova vodoopskrbne mreže. Kao rješenje navedenih simulacija dobiven je optimalni vodoopskrbni sustav koji zadovoljava potrebe stanovništva i turista te osigurava potrebne količine vode za gašenje požara.

## **ABSTRACT**

This final paper describes the process of modeling a water supply network for a pre-defined settlement located between the areas of Drenova, the city of Rijeka, and the Marinići area in the municipality of Viškovo. The aim of the paper is to present the possibilities of using the computer program EPANET for analyzing water supply systems. Based on hydraulic calculations, a water supply network system was modeled for calculated water consumptions specified at nodes. The conducted simulations analyze various scenarios of fire situations in which the pipe profile was altered and/or pressure reducing valves were installed to reduce adverse pressures in the water supply network. The outcome of these simulations provides an optimal water supply system that meets the needs of the population and tourists and ensures the necessary quantities of water for fire situations.

## SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD.....  | 5  |
| 2. VODOOPSKRBNI SUSTAV GRADA RIJEKE.....                                  | 6  |
| 3. UVODNI PODACI VODOOPSKRBNOG SUSTAVA ZADANOG NASELJA .....              | 8  |
| 4. ODREĐIVANJE POTREBNIH KOLIČINA VODE ZA VODOOPSKRBU .....               | 11 |
| 4.1. Konačni broj stanovnika.....   | 11 |
| 4.2. Konačni broj turista u privatnom smještaju.....                      | 11 |
| 4.3. Specifične potrošnje vode.....                                       | 12 |
| 4.4. Proračun mjerodavnih količina vode.....                              | 12 |
| 4.4.1. Srednja dnevna potrošnja vode ( $Q_{sr.dn.}$ ) .....               | 12 |
| 4.4.2. Ukupna srednja dnevna potrošnja vode ( $Q_{uk.sr.dn.}$ ).....      | 12 |
| 4.4.3. Maksimalna dnevna potrošnja vode ( $Q_{max.dn.}$ ) .....           | 13 |
| 4.4.4. Ukupna maksimalna dnevna potrošnja vode ( $Q_{uk.max.dn.}$ ) ..... | 14 |
| 4.4.5. Maksimalna satna potrošnja vode ( $Q_{max.sat.}$ ) .....           | 15 |
| 4.4.6. Ukupna maksimalna satna potrošnja vode ( $Q_{uk.max.sat.}$ ) ..... | 15 |
| 4.4.7. Potrošnja vode za vlastite potrebe ( $Q_{vl.potr.}$ ) .....        | 16 |
| 4.4.8. Potrošnja vode za gašenje požara ( $Q_{pož.}$ ) .....              | 16 |
| 4.4.9. Gubici vode u vodovodnoj mreži ( $Q_{gubici}$ ).....               | 17 |
| 5. HIDRAULIČKI PRORAČUN GRANASTE VODOOPSKRBNE MREŽE.....                  | 18 |
| 5.1. Granasta vodoopskrbna mreža .....                                    | 18 |
| 5.2. Definiranje mjerodavnih protoka.....                                 | 18 |
| 5.3. Dimenzioniranje granaste vodoopskrbne mreže.....                     | 19 |
| 5.3.1. Lijevano-željezne cijevi .....                                     | 19 |
| 5.3.2. Određivanje početnog promjera cijevi metodom nomograma .....       | 20 |
| 5.4. Provjera tlakova u čvorovima vodoopskrbne mreže .....                | 24 |
| 6. MODELIRANJE VODOOPSKRBNOG SUSTAVA U PROGRAMU EPANET .....              | 26 |
| 6.1. Uvodno o EPANET-u.....   | 26 |
| 6.2. Crtanje mreže u programu EPANET.....                                 | 27 |
| 6.3. Simuliranje požarnih situacija u krajnjim čvorovima mreže.....       | 30 |



|  |    |
|--|----|
| 6.4. Redukcijski ventili.....                              | 38 |
| 6.4.1. Nekontrolirani (opružni) redukcijski ventili.....   | 39 |
| 6.4.2. Kontrolirani (hidraulički) redukcijski ventili..... | 40 |
| 6.5. Protupožarni hidranti.....                            | 40 |
| 7. ZAKLJUČAK.....  | 43 |
| LITERATURA.....  | 44 |
| PRILOZI.....   | 45 |

## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 1 Primorsko-goranska županija sa prikazom vodoopskrbe riječkog područja sa naznačenim područjem koje se analizira [1] ..... | 7  |
| Slika 2 Prikaz šireg područja sa naznačenom zadanom mrežom preuzeto sa Google Earth Pro aplikacije.....                           | 8  |
| Slika 3 Topografska karta zadane vodoopskrbne mreže, M 1:10 000.....  | 9  |
| Slika 4 Digitalna podloga zadanog naselja [2] .....   | 10 |
| Slika 5 Lijevano-željezne cijevi [11].....  | 20 |
| Slika 6 Dijagram ovisnosti unutarnjeg promjera cjevovoda i protoka [3] .....  | 20 |
| Slika 7 Nomogram hidrauličkih proračuna za okrugle cijevi [3] .....   | 21 |
| Slika 8 Početni tlakovi zadane vodoopskrbne mreže .....   | 28 |
| Slika 9 Požarna situacija za čvor 3 .....   | 30 |
| Slika 10 Požarna situacija za čvor 4 .....  | 30 |
| Slika 11 Požarna situacija u čvoru 6.....   | 31 |
| Slika 12 Požarna situacija u čvoru 7.....   | 32 |
| Slika 13 Požarna situacija u čvoru 9.....   | 33 |
| Slika 14 Požarna situacija u čvoru 15.....  | 34 |
| Slika 16 Požarna situacija u čvoru 19 nakon smanjenja promjera cijevi .....   | 35 |
| Slika 15 Požarna situacija u čvoru 19.....  | 35 |
| Slika 17 Požarna situacija u čvoru 24 nakon postavljanja redukcijskog ventila .....   | 37 |
| Slika 18 Presjek opružnog ventila [12] .....  | 39 |
| Slika 19 Presjeci Hidrauličkog ventila [11].....  | 40 |
| Slika 20 Zidni hidrant [13] .....   | 41 |
| Slika 22 Podzemni hidrant [14] .....  | 42 |
| Slika 21 Nadzemni hidrant [14].....   | 42 |

## POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1 Koeficijenti neravnomjernosti maksimalne dnevne i maksimalne satne potrošnje [3]<br>..... | 14 |
| Tablica 2 Mjerodavni protoci zadane mreže .....   | 22 |
| Tablica 3 Dimenzioniranje zadane vodoopskrbne mreže.....  | 23 |
| Tablica 4 Prikaz proračunatih tlakova vodoopskrbne mreže .....                                      | 25 |
| Tablica 5 Početni tlakovi zadane mreže dobiveni u programu EPANET .....                             | 29 |
| Tablica 7 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 4 dobiveni u programu EPANET .....                   | 31 |
| Tablica 6 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 3 dobiveni u programu EPANET .....                   | 31 |
| Tablica 8 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 6 dobiveni u programu EPANET .....                   | 32 |
| Tablica 9 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 7 dobiveni u programu EPANET .....                   | 33 |
| Tablica 10 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 9 dobiveni u programu EPANET .....                  | 33 |
| Tablica 11 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 15 dobiveni u programu EPANET .....                 | 34 |
| Tablica 12 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 19 dobiveni u programu EPANET .....                 | 36 |
| Tablica 13 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 24 dobiveni u programu EPANET .....                 | 38 |

## 1. UVOD

Ovaj završni rad opisuje postupak modeliranja vodoopskrbne mreže za unaprijed definirano područje između naselja Drenove, grad Rijeka i naselja Marinići, općina Viškovo. Cilj rada je prezentirati mogućnosti korištenja računalnog programa EPANET-a za projektiranje vodoopskrbnih sustava i analiziranje rada tih sustava u različitim uvjetima. Završni rad sadrži proračune za potrebne opskrbe količine vode stanovništva i turista kako za zadano područje, tako i za područje Saršona, Marinića i Drenove čije se vrijednosti potrebnih količina vode tretiraju kao tranzitne količine vode. Detaljnije razrade i objašnjenja proračuna biti će prezentirane kroz sam završni rad. U proračune i simulacije su se u obzir uzimale i potrebne količine vode za gašenje požara. Ovisno o potencijalnoj lokaciji na kojoj se gasi požar mijenjao se profil cijevi u svrhu redukcije nepovoljnih tlakova. Korišteni su i kasnije opisani redukcijski ventili na dionicama u kojima smanjenje promjera cijevi nije bilo dovoljno. Kao rješenje navedenih simulacija dobiven je optimalni vodoopskrbni sustav koji zadovoljava potrebe stanovništva i turista i potrebne količine vode za gašenje požara.

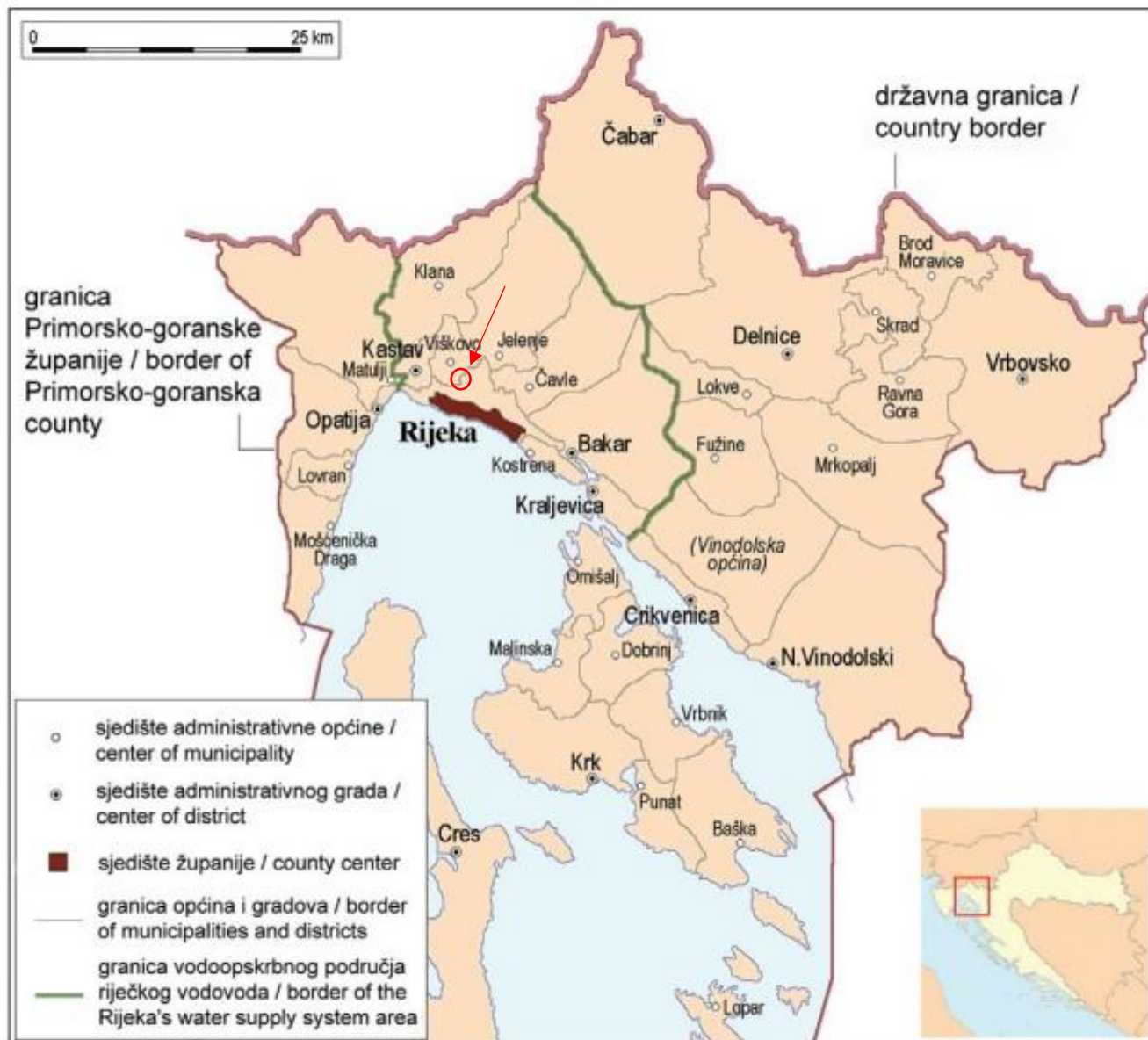
## 2. VODOOPSKRBNI SUSTAV GRADA RIJEKE

Zbog velikog broja izvora grad Rijeka obiluje vodnim resursima koji zadovoljavaju potrebe za vodoopskrbu šireg područja grada. Ispitivana kvaliteta vode je dobra te opskrbljuje oko 200 000 stanovnika sa područja grada Rijeke, ali i sjevernijih dijelova otoka Krka.

Otpriblike 2/3 potrošnje vode danas predstavljaju potrošnje domaćinstava, a do značajnijeg pada vodoopskrbnog standarda nije došlo. Naprotiv, u posljednjih par godina zabilježeni su podaci značajnijeg napretka u procesu smanjenja vodnih gubitaka vodoopskrbne mreže grada Rijeke.

Vodoopskrba Rijeke bazira se na sustavu Komunalnog društva Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka, a obuhvaća gradove Rijeka, Bakar, Kraljevica, Kastav i općine Kostrena, Jelenje, Viškovo i Čavli. Općina Klana u organizacijskom smislu svrstava se komunalnom sustavu grada Rijeke, no vodoopskrbno pripada sustavu Ilirske Bistrice, Slovenija. Najveću tekućicu ovog prostora predstavlja rijeka Rječina koja je specifična po velikom broju izdašnih izvora. Upravo izvor Rječine zajedno sa izvorima Zvir I i Zvir II, Martinščica kao i Perilo, Dobra i Dobrica (Bakarski zaljev) predstavlja najvažniji izvor vodoopskrbe riječkog područja. Zanimljiv je podatak, da prvi vodoopskrbni sustav riječkog područja datira iz kraja 19. stoljeća (početak projektiranja 1885. godina) namijenjen tadašnjem području Sušaka, dok je grad Rijeka svoj prvi vodovod dobio 1894. godine.

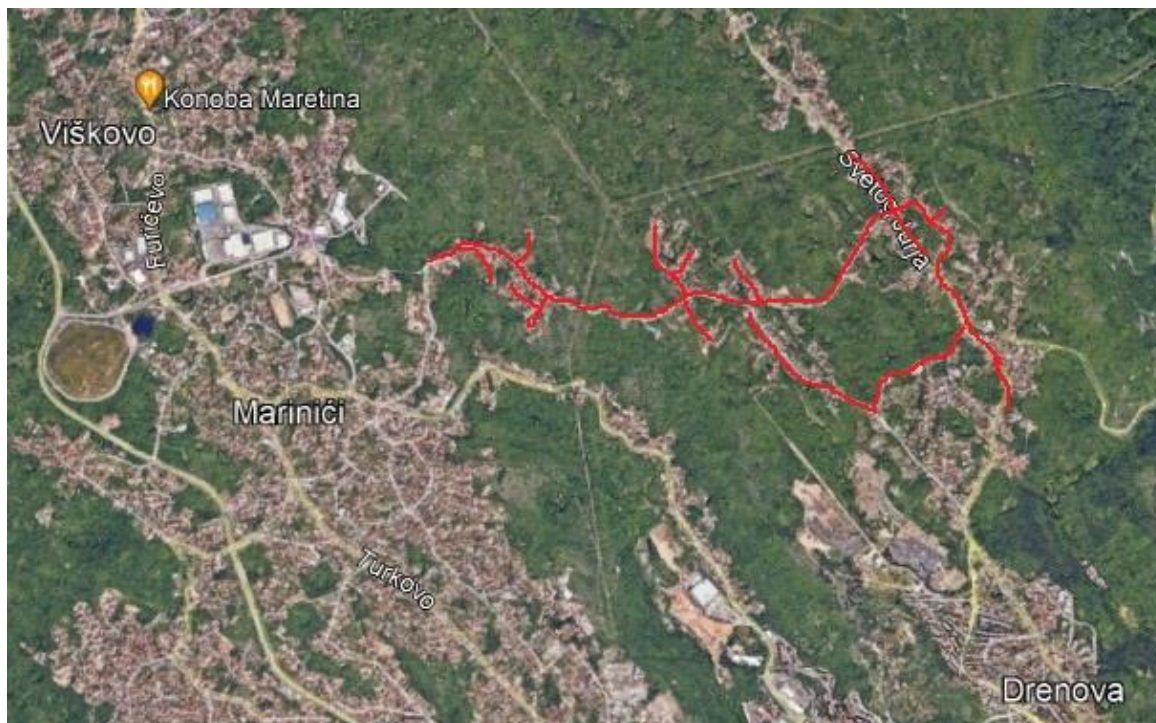
Možemo zaključiti da je vodoopskrbni sustav grada Rijeke veoma specifičan po konfiguraciji terena zbog čega se uvijek težilo njegovom unaprijeđenju. Danas, kao rezultat toga, imamo kompleksnu vodovodnu mrežu dužine od oko 783 km koja funkcionira i distribuira pitku vodu širem području grada Rijeke i sjevernijim dijelovima otoka Krka. [1]



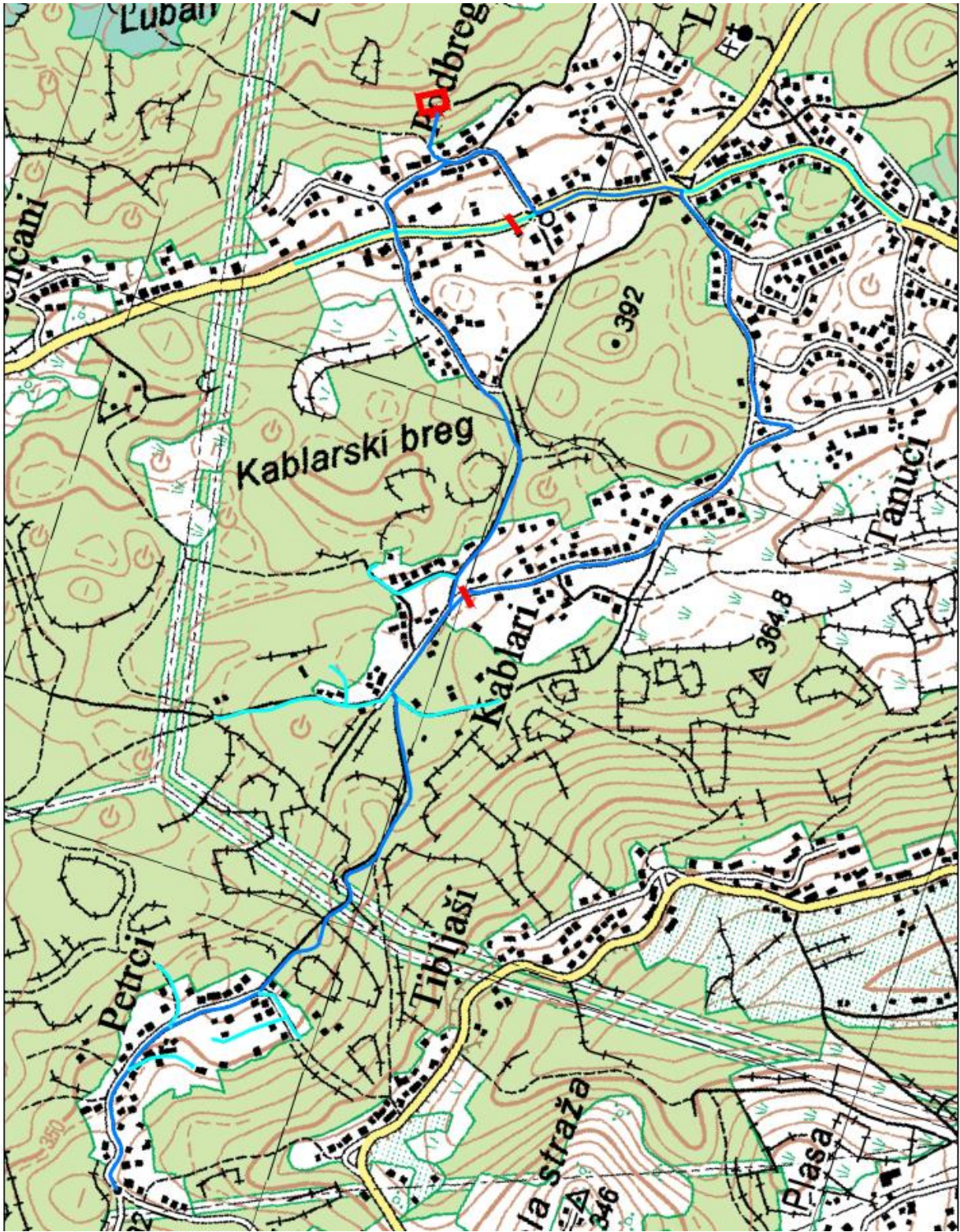
Slika 1 Primorsko-goranska županija sa prikazom vodoopskrbe riječkog područja sa naznačenim područjem koje se analizira [1]

### 3. UVODNI PODACI VODOOPSKRBNOG SUSTAVA ZADANOG NASELJA

Za potrebne analize ovog završnog rada, kao i korištenje računalnog programa EPANET-a, izabran je lokalitet koji dijelom pripada naselju Drenova u gradu Rijeci, a dijelom naselju Marinići u općini Viškovo. Zadana vodoopskrbna mreža spojena je na vodospremu Podbreg smještene na visini od 439 m n. m. čiji je volumen 1500 m<sup>3</sup>. Bitno je za naglasiti da su se kod analiza i izračuna potrebnih za kasnije simulacije izrađenih u ovom završnom radu, u obzir uzimale potrebne količine vode za naznačeni i unaprijed zadani lokalitet, ali su se u proračun uzimale i tranzitne količine vode, koje prolaze kroz analizirani sustav kako bi opskrbile susjedna naselja, van označenog područja. Naselja koja su uzeta u obzir i čiji protoci predstavljaju tranzitne protoke zadanog naselja su Saršoni, Marinići i Drenova. Na slici 2 vidljivo je šire područje zadane vodoopskrbne mreže sa okolnim naseljima. Slika 3 prikazuje topografsku kartu zadane vodoopskrbne mreže naznačenog područja, nešto uvećanog prikaza radi lakše predodžbe lokaliteta za koji se vrši analiza vodoopskrbe u svrhu dobivanja adekvatnog rješenja funkcionalnog distribucijskog sustava, a koji u obzir uzima i tranzitne protoke za susjedna naselja.



Slika 2 Prikaz šireg područja sa naznačenom zadanom mrežom preuzeto sa Google Earth Pro aplikacije



Slika 3 Topografska karta zadane vodoopskrbne mreže, M 1:10 000



Na slici 4 [2] vidljiva je digitalna ortofoto podloga preuzeta sa Geoportala kojom je definiran geografski položaj naselja radi jednostavnijeg shvatanja reljefa zadanog područja što će se u kasnijem proračunu i izvođenju simulacija u programu EPANET pokazati kao nužno.



REPUBLIKA HRVATSKA  
DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA



Slika 4 Digitalna podloga zadanog naselja [2]

## **4. ODREĐIVANJE POTREBNIH KOLIČINA VODE ZA VODOOPSKRBU**

Za određivanje količina vode potrebnih pri analiziranju vodoopskrbe, primijenjena je kasnije navedena literatura.

### **4.1. Konačni broj stanovnika**

Na osnovu informacija preuzetih iz Prostornog plana uređenja grada Rijeke [4], broj stanovnika iz 2001. godine na području prostorne cjeline Drenova iznosio je 8 281 stanovnika, dok je prema Generalnom urbanističkom planu uređenja grada Rijeke [5], broj stanovnika za pomenutu prostornu cjelinu 2001. godine iznosio 6 352. Na osnovu podataka iz Prostornog plana uređenja Općine Viškovo [6], broj stanovnika u naselju Marinići iznosi 3139 za 2001. godinu.

Obzirom na navedene podatke i činjenicu da ne možemo točno odrediti broj korisnika zadane mreže, nužno ga je pretpostaviti.

Uzimajući sve navedeno u obzir, kao pretpostavku broja korisnika u dijelu analiziranog područja vodospreme Podbreg, odabran je broj od 3200 stanovnika.

Također, bitno je odrediti broj stanovnika za područje Saršona, Marinića i Gornje Drenove, kao krajnjih točaka zadane vodoopskrbne mreže kako bi došli do podataka tranzitnih tokova koji će proticati kroz analiziranu mrežu [7].

Pretpostavljeni broj stanovnika Saršona iznosi 1800, Marinića 3900, a Drenove 7100 stanovnika.

Broj stanovnika ćemo u nastavku ovog rada označavati sa  $N_k$

### **4.2. Konačni broj turista u privatnom smještaju**

Osobnim upitom preuzeti su podaci o broju turista zadanog naselja na osnovi raspoloživih podataka Turističkog informativnog centra grada Rijeke [8] i Turističkog informativnog centra općine Viškovo [9].

Kako u analiziranim ulicama ne postoje hoteli i kampovi, primijenjena je struktura turista u privatnim smještajima. Na zadanom području nalazi se 10 smještajnih objekata sa maksimalnim ležajnim kapacitetom od 48 ležaja. Prema tome, možemo zaključiti da je broj turista ( $N_{\text{turista}} = 48$ ).

Pretpostavljeni broj turista za naselje Saršoni iznosi 90, Marinići 195 i Drenova 355 turista.

### 4.3. Specifične potrošnje vode

Analiziranjem podataka o potrošnji vode zadanog naselja i mjesta van zadane mreže, usvojene su količine dnevne potrošnje vode. Specifične potrošnje vode stanovništva ( $q_{sp.stan.}$ ) i specifične potrošnje vode turista u privatnom smještaju ( $q_{sp.t.PS.}$ ) iznose:

$$q_{sp.stan.} = 180 \text{ l/stan/dan}$$

$$q_{sp.t.PS.} = 180 \text{ l/tur/dan}$$

### 4.4. Proračun mjerodavnih količina vode

#### 4.4.1. Srednja dnevna potrošnja vode ( $Q_{sr.dn.}$ )

Srednja dnevna potrošnja vode izračunava se na osnovi srednje potrošnje vode stanovnika ili turista tijekom cijele godine.

- *Zadana mreža :*

$$Q_{sr.dn.} = q_{sp.} \times N_k$$

$$Q_{sr.dn.stan.} = 180 \times 3200 = 576\,000 \text{ l/dan} = 6,67 \text{ l/s}$$

$$Q_{sr.dn.t.PS.} = 180 \times 48 = 8640 \text{ l/dan} = 0,1 \text{ l/s}$$

- *Saršoni, Marinići i Drenova (označeni indeksima S, M i D):*

$$Q_{sr.dn.stan.}^S = 324\,000 \text{ l/dan} = 3,75 \text{ l/s}$$

$$Q_{sr.dn.stan.}^M = 702\,000 \text{ l/dan} = 8,125 \text{ l/s}$$

$$Q_{sr.dn.stan.}^D = 1\,278\,000 \text{ l/dan} = 14,79 \text{ l/s}$$

$$Q_{sr.dn.t.PS.}^S = 16\,200 \text{ l/dan} = 0,19 \text{ l/s}$$

$$Q_{sr.dn.t.PS.}^M = 35\,100 \text{ l/dan} = 0,41 \text{ l/s}$$

$$Q_{sr.dn.t.PS.}^D = 63\,900 \text{ l/dan} = 0,74 \text{ l/s}$$

#### 4.4.2. Ukupna srednja dnevna potrošnja vode ( $Q_{uk.sr.dn.}$ )

Ukupna srednja dnevna potrošnja vode podrazumijeva zbroj dnevne potrošnje vode stanovništva i turista.

$$Q_{uk.sr.dn.} = \sum Q_{sr.dn.}$$

$$Q_{uk.sr.dn.} = Q_{sr.dn.stan} + Q_{sr.dn.t.PS} = 576\,000 + 8640 = 584\,640 \text{ l/dan} = 6,76 \text{ l/s}$$

$$Q_{uk.sr.dn.}^S = 340\,200 \text{ l/dan} = 3,94 \text{ l/s}$$

$$Q_{uk.sr.dn.}^M = 737\,100 \text{ l/dan} = 8,53 \text{ l/s}$$

$$Q_{uk.sr.dn.}^D = 1\,341\,900 \text{ l/dan} = 15,53 \text{ l/s}$$

#### 4.4.3. Maksimalna dnevna potrošnja vode ( $Q_{max.dn.}$ )

Maksimalna dnevna potrošnja vode računa se prema izrazu:

$$Q_{max.dn.} = K_{max.dn.} \times Q_{sr.dn.}$$

$$Q_{max.dn.stan.} = K_{max.dn.stan.} \times Q_{sr.dn.stan.} = 1,6 \times 576\,000 = 921\,600 \text{ l/dan} = 10,67 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.dn.t.PS.} = K_{max.dn.t.PS.} \times Q_{sr.dn.t.PS.} = 1,6 \times 8640 = 13\,824 \text{ l/dan} = 0,16 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.dn.stan.}^S = 518\,400 \text{ l/dan} = 6 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.dn.stan.}^M = 1\,123\,200 \text{ l/dan} = 13 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.dn.stan.}^D = 2\,044\,800 \text{ l/dan} = 23,67 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.dn.t.PS.}^S = 25\,920 \text{ l/dan} = 0,3 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.dn.t.PS.}^M = 56\,160 \text{ l/dan} = 0,65 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.dn.t.PS.}^D = 102\,240 \text{ l/dan} = 1,18 \text{ l/s}$$

$K_{max.dn.}$  predstavlja koeficijent neravnomjernosti maksimalne dnevne potrošnje vode te se određuje pomoću tablice 1.

Obzirom na mali broj turista u privatnom smještaju, izabran je jednak koeficijent neravnomjernosti kako za stanovništvo, tako i za turiste.

| Kategorije potrošača                    | $K_{max,d}$ | $K_{max,h}$ |
|---|-------------|-------------|
| Ljetovališta i toplice                  | 1,6 do 1,7  | 2,5         |
| Sela i manja naselja                    | 1,5 do 1,6  | 2,0         |
| Gradovi do 10 000 stanovnika            | 1,4 do 1,5  | 1,8         |
| Gradovi od 10 000 do 25000 stanovnika   | 1,3 do 1,4  | 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         |
| Turistički objekti                      | 1,4         | 2,5         |
| A kategorije (****, *****)              | 1,4         | 2,2         |
| Ostale kategorije (*, **, ***)          | 1,6         | 2,2         |
| Privatni smještaj                       | 1,8         | 2,3         |
| Kampovi                                 | 2,0         | 2,2         |

Tablica 1 Koeficijenti neravnomjernosti maksimalne dnevne i maksimalne satne potrošnje [3]

#### 4.4.4. Ukupna maksimalna dnevna potrošnja vode ( $Q_{uk,max,dn.}$ )

Ukupna maksimalna dnevna potrošnja vode predstavlja zbroj najvećih dnevnih potrošnja vode stanovništva i turista zajedno.

$$Q_{uk,max,dn.} = \sum Q_{max,dn.}$$

$$Q_{uk,max,dn.} = 921\,6000 + 13\,824 = 935\,424 \text{ l/dan} = 10,83 \text{ l/s}$$

$$Q_{uk,max,dn.}^S = 544\,320 \text{ l/dan} = 6,3 \text{ l/s}$$

$$Q_{uk,max,dn.}^M = 1\,179\,360 \text{ l/dan} = 13,65 \text{ l/s}$$

$$Q_{uk,max,dn.}^D = 2\,147\,040 \text{ l/dan} = 24,85 \text{ l/s}$$

#### 4.4.5. Maksimalna satna potrošnja vode ( $Q_{max.sat.}$ )

Maksimalna satna potrošnja vode određuje se pomoću izraza:

$$Q_{max.sat.} = \frac{K_{max.h.} \times Q_{max.dn.}}{24}$$

Gdje  $K_{max.h.}$  predstavlja koeficijent neravnomjernosti maksimalne satne potrošnje vode te se određuje pomoću tablice 1 [2].

U ovom slučaju odabiremo koeficijent neravnomjernosti za sela i manja naselja, koji iznosi  $K_{max.h.} = 2,0$ .

$$Q_{max.sat.stan.} = \frac{K_{max.h.} \times Q_{max.dn.}}{24} = \frac{2 \times 921\,600}{24} = 76\,800 \text{ l/h} = 21,33 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.sat.t.PS.} = \frac{K_{max.h.} \times Q_{max.dn.}}{24} = \frac{2 \times 13\,824}{24} = 1\,152 \text{ l/h} = 0,32 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.sat.stan.}^S = 43\,200 \text{ l/h} = 12 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.sat.stan.}^M = 93\,600 \text{ l/h} = 26 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.sat.stan.}^D = 170\,400 \text{ l/h} = 47,33 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.sat.t.PS.}^S = 2160 \text{ l/h} = 0,6 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.sat.t.PS.}^M = 4680 \text{ l/h} = 1,3 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.sat.t.PS.}^D = 8520 \text{ l/h} = 2,37 \text{ l/s}$$

#### 4.4.6. Ukupna maksimalna satna potrošnja vode ( $Q_{uk.max.sat.}$ )

Ukupna maksimalna satna potrošnja vode predstavlja zbroj maksimalnih satnih potrošnja stanovništva i turista.

$$Q_{uk.max.sat.} = \sum Q_{max.sat.}$$

$$Q_{uk.max.sat.} = 76\,800 + 1\,152 = 77\,952 \text{ l/h} = 21,65 \text{ l/s}$$

$$Q_{uk.max.sat.}^S = 12,6 \text{ l/s}$$

$$Q_{uk.max.sat.}^M = 27,3 \text{ l/s}$$

$$Q_{uk.max.sat.}^D = 49,7 \text{ l/s}$$

Upravo maksimalne satne potrošnje vode Saršona, Marinića i Drenove predstavljaju vrijednosti tranzitnih tokova izlaznih čvorova mreže, koje ćemo kao takve koristiti u daljnjem proračunu.

#### **4.4.7. Potrošnja vode za vlastite potrebe ( $Q_{vl.potr.}$ )**

Potrošnja vode za vlastite potrebe može se odrediti na jedan od dva načina:

- 5-10% od ukupne maksimalne dnevne količine potrošnje
- 1-2% količine ukupne dnevne potrošnje vode

Kao mjerodavan postotak određivanja potrošnje vode za vlastite potrebe, odabran je postotak od 1-2% količine ukupne dnevne potrošnje vode obzirom da se radi o manjim naseljima čije su količine potrošnje relativno male.

$$Q_{vl.potr.} = 1-2\% \times Q_{uk.dn.} = 0,02 \times 935\,424 = 18708,48 \text{ l/dan} = 0,22 \text{ l/s}$$

$$Q_{vl.potr.}^S = 10\,886,4 \text{ l/dan} = 0,13 \text{ l/s}$$

$$Q_{vl.potr.}^M = 23\,587,2 \text{ l/dan} = 0,27 \text{ l/s}$$

$$Q_{vl.potr.}^D = 42\,940,8 \text{ l/dan} = 0,497 \text{ l/s}$$

#### **4.4.8. Potrošnja vode za gašenje požara ( $Q_{pož.}$ )**

Zahtjevi hidrantskih mreža za gašenje požara kao i slučajevi u kojima se koristi hidrantska mreža u svrhu zaštite od požara propisani su Pravilnikom o hidrantskoj mreži za gašenje požara (NN 8/06) [9].

*„Udaljenost bilo koje vanjske točke građevine ili neke točke šticeenog prostora i najbližeg hidranta ne smije biti veća od 80 m, niti manja od 5 m.*

*Udaljenost između dva susjedna vanjska hidranta smije iznositi najviše 150 m, ako posebnim propisom nije drugačije određeno.*

*U naseljima sa samostojećim obiteljskim kućama udaljenost između dva susjedna vanjska hidranta smije iznositi najviše 300 m.*

*Najmanji tlak na izlazu iz bilo kojeg nadzemnog ili podzemnog hidranta vanjske hidrantske mreže za gašenje požara ne smije biti manji od 0,25 MPa, kod propisanog protoka vode. Za zaštitu naseljenih mjesta vanjskom hidrantskom mrežom za gašenje požara, potrebno je osigurati najmanje protočnu količinu vode od 600 l/min.“ [10]*

Prema tome, potrošnja vode za gašenje požara iznosi:

$$Q_{\text{pož.}} = 600 \text{ l/min} = 10 \text{ l/s}$$

#### **4.4.9. Gubici vode u vodovodnoj mreži ( $Q_{\text{gubici}}$ )**

Gubici vode u vodovodnoj mreži proračunavaju se u odnosu na ukupnu maksimalnu dnevnu potrošnju vode i kreću se u granicama:

- < 20% - za izvrstan vodovod
- od 20% do 40% - za dobar vodovod
- > 40% - za loš vodovod

U ovom proračunu pretpostavljeni su izvrsni uvjeti vodovoda (za novoizgrađenu mrežu)

$$Q_{\text{gubici}} = 0,2 \times 935\,424 = 1\,870\,844,8 \text{ l/dan} = 2,17 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{gubici}}^{\text{S}} = 108\,864 \text{ l/dan} = 1,26 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{gubici}}^{\text{M}} = 235\,872 \text{ l/dan} = 2,73 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{gubici}}^{\text{D}} = 429\,408 \text{ l/dan} = 4,97 \text{ l/s}$$



## 5. HIDRAULIČKI PRORAČUN GRANASTE VODOOPSKRBNE MREŽE

### 5.1. Granasta vodoopskrbna mreža

U ovom radu korišten je model granaste vodoopskrbne mreže u kojoj se proticanje vode kroz mrežu interpretira kao tečenje u samo jednom smjeru. Prednost ovakvog modela mreže predstavlja jednostavan hidraulički proračun koji je jednoznačno određen. Kao glavni nedostaci mreže, pojavljuju se problemi ustajale vode na njenim krajevima ali i prekid dotoka vode na svim mjestima nizvodno od mjesta kvara i/ili oštećenja. Poseban problem ovog modela predstavlja pojava tlačnih gubitaka unutar mreže.

Definirana mreža ovog završnog rada razdvojena je čvorovima koji povezuju dionice u cjelovitu vodoopskrbnu mrežu.

Čvorovima smatramo dijelove vodoopskrbne mreže u kojima su, zbog pojedostavljenja proračuna, smješteni potrošači- stanovnici i turisti u privatnom smještaju.

### 5.2. Definiranje mjerodavnih protoka

Mjerodavnim protokom smatramo zbroj vlastitog protoka, tranzitnog protoka i protoka potrebnog za gašenje požara u razmatranom čvoru.

Stanovništvo i turisti u privatnom smještaju se zajedno raspoređuju po čvorovima, a njihov konačan broj mora biti jednak ukupnom zbroju stanovništva ( $N_k$ ) i turista ( $N_{turista}$ ).

Raspoređivanje potrošača po čvorovima vršeno je prema podacima gustoće naseljenosti, što je vidljivo i na kartografskim prikazima dostupnih na mrežnoj stranici GeoPortala.

S toga će mjerodavne količine protoka biti zajedno određene obzirom na jednake koeficijente neravnomjernosti za stanovništvo i turiste kao i jednake opskrbne norme.

Specifičnu potrošnju vode po stanovniku/turistu određujemo formulom:

$$q_{\text{spec.stan.+t.P.S.}} = \frac{Q_{\text{max.sat.stan}} + Q_{\text{max.sat.t.P.S.}}}{N_k + N_{\text{turista}}}$$

$$q_{\text{spec.stan.+t.P.S.}} = \frac{21,65}{3200+48} = 0,0066 \text{ l/stanovnik(turist)/s}$$

Vlastitim protokom stanovnika i turista ( $Q_{vl.stan.+t.P.S.}$ ) smatramo umnožak specifične potrošnje vode i broja stanovnika i turista u razmatranom čvoru.

Zbroj vlastitih protoka svih dionica mora biti jednak ukupnoj maksimalnoj satnoj potrošnji koja je ranije izračunata i iznosi  $Q_{uk,max,sat} = 21,65$  l/s.

Pomenutoj maksimalnoj satnoj potrošnji od 21,65 l/s moramo pribrojiti i maksimalne satne potrošnje za naselja Saršoni (12,6 l/s), Marinići (27,3 l/s) i Drenova (49,7 l/s). Uzimajući navedene protoke u obzir, zbroj maksimalnih satnih potrošnja vode iznosi 111,04 l/s.

### **5.3. Dimenzioniranje granaste vodoopskrbne mreže**

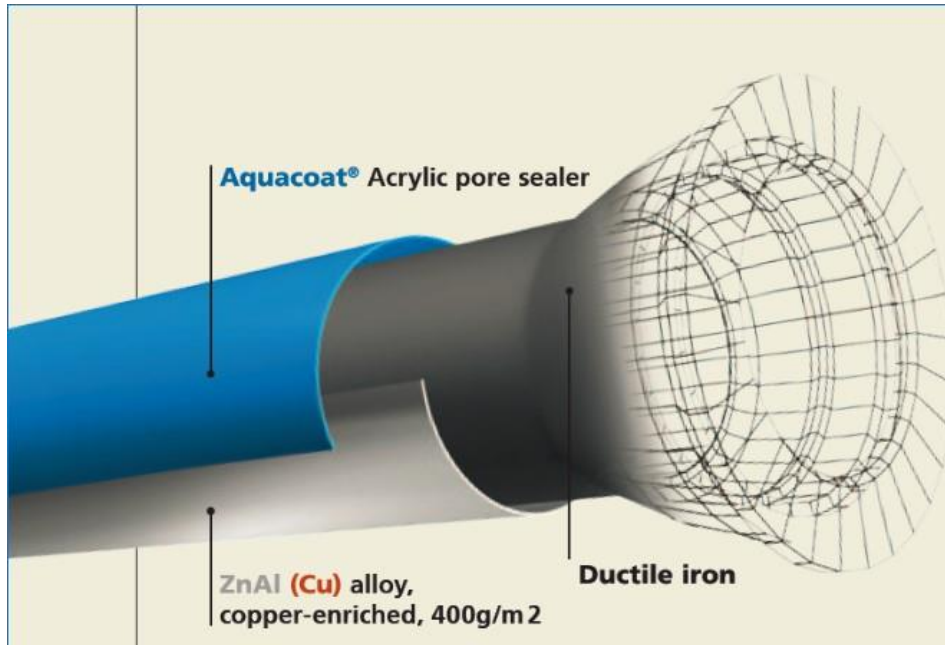
Da bi započeli s dimenzioniranjem početne granaste mreže metodom nomograma, nužno je odrediti vrstu cijevi koju karakterizira apsolutna hrapavost ( $\epsilon$ ).

#### **5.3.1. Lijevano-željezne cijevi**

U ovom radu su odabrane lijevano-željezne cijevi, nazivane još i duktilnim cijevima ili cijevima od nodularnog lijeva čija apsolutna hrapavost iznosi  $\epsilon = 0,1$  mm. U njihov lijev se dodaju male količine magnezija čime se pospješuje izdvajanje ugljika zrnatog oblika (tzv. Sferolit). Upravo zbog toga su lijevano-željezne cijevi izrazito otporne na pojavu lomova i puknuća, te se danas zbog svoje izdržljivosti i dugovječnosti često primijenjuju u vodoopskrbi.

Karakteriziraju ih izuzetna mehanička svojstva kao što su velika vlačna čvrstoća, čvrstoća na istezanje, granica razvlačenja, tvrdoća, udarna čvrstoća te otpornost na dinamička opterećenja. Promjeri cijevi variraju između 80 i 2000 mm, a dužine su oko 6 m. Jednostavno se montiraju i imaju izrazitu vodonepropusnost kao i otpornost na koroziju. Također, imaju unutarnju i vanjsku oblogu koja služi za zaštitu od agresivnih tvari iz okoline u kojoj se cijevi postavljaju što dodatno osigurava njihovu kvalitetu.

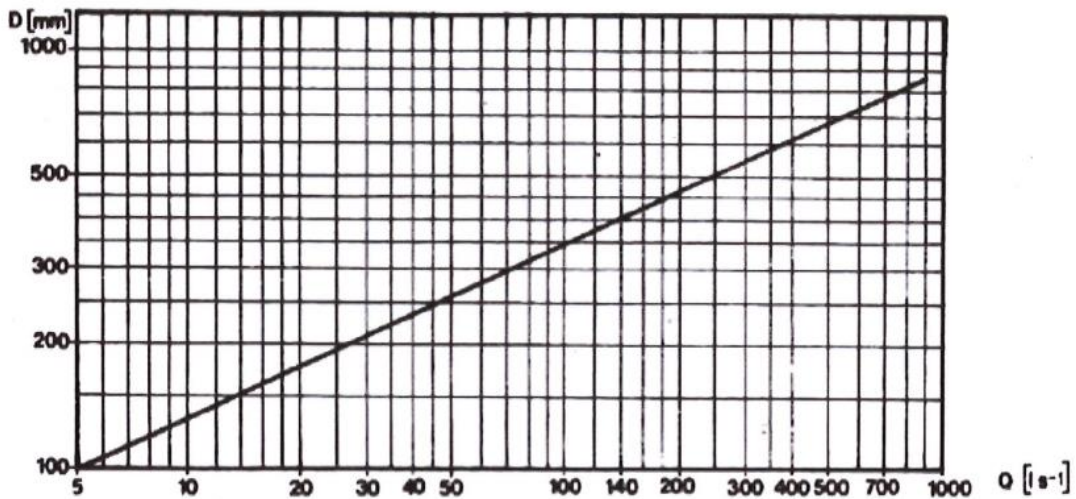
Cijevi se spajaju fazonskim komadima kojima se savladavaju promjene visine i smjera. [11]



Slika 5 Lijeвано-željezne cijevi [11]

### 5.3.2. Određivanje početnog promjera cijevi metodom nomograma

Početni promjer cjevovoda za prethodno definirane mjerodavne protoke, određen je iz dijagrama ovisnosti unutarnjeg promjera cjevovoda i protoka.



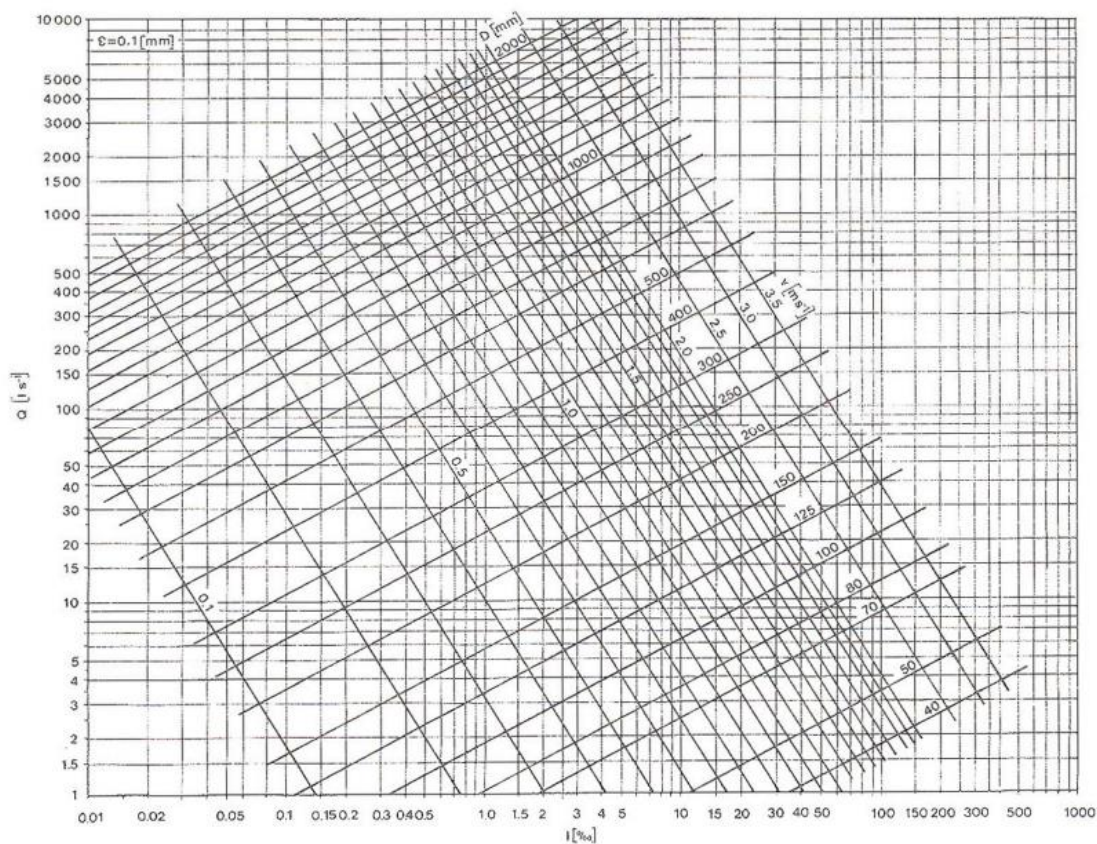
Slika 6 Dijagram ovisnosti unutarnjeg promjera cjevovoda i protoka [3]

Nakon što smo definirali unutarnje promjere cjevovoda, očitavaju se brzine strujanja vode u cijevima i padovi piezometarske linije preko nomograma.

Linijske gubitke određenih dionica izračunavamo formulom:

$$\Delta h_{tr} = I \times \frac{L}{1000} \text{ [m]},$$

Gdje je I pad piezometarske linije [‰], a L duljina dionice [m].



Slika 7 Nomogram hidrauličkih proračuna za okrugle cijevi [3]

U tablici 3 prikazani su rezultati proračuna mjerodavnih protoka mreže, a u proračun su u čvorovima 3, 6 i 24 u obzir uzeti i tranzitni protoci za vodoopskrbu Saršona, Marinića i Drenove.

| ODREĐIVANJE MJERODAVNIH PROTOKA |    |                    |      |                             |                     |                              |                           |                       |                       |                       |
|---------------------------------|----|--------------------|------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Oznaka dionice                  |    | Dužina dionice [m] | Čvor | Broj stan. + turista u P.S. | q spec stan. + P.S. | Q <sub>vl</sub> stan. + P.S. | Q <sub>vl.uk.</sub> [l/s] | Q <sub>tr</sub> [l/s] | Q <sub>uk</sub> [l/s] | Q <sub>mj</sub> [l/s] |
| V                               | 1  | 123,4              | 1    | 0                           | 0,0066              | 0,00                         | 0,00                      | <b>111,04</b>         | 111,04                | 111,04                |
| 1                               | 2  | 180,99             | 2    | 170                         | 0,0066              | 1,12                         | 1,12                      | 54,39                 | 55,51                 | 55,51                 |
| 2                               | 3  | 204,49             | 3    | 180                         | 0,0066              | 1,19                         | 1,19                      | 12,60                 | 13,79                 | 13,79                 |
| 2                               | 4  | 254,48             | 4    | 80                          | 0,0066              | 0,53                         | 0,53                      | 0,00                  | 0,53                  | 0,53                  |
| 1                               | 5  | 534,74             | 5    | 213                         | 0,0066              | 1,41                         | 1,41                      | 54,12                 | 55,53                 | 55,53                 |
| 5                               | 6  | 499,71             | 6    | 160                         | 0,0066              | 1,06                         | 1,06                      | 49,70                 | 50,76                 | 50,76                 |
| 5                               | 7  | 1332,39            | 7    | 510                         | 0,0066              | 3,37                         | 3,37                      | 0,00                  | 3,37                  | 3,37                  |
| 2                               | 8  | 769,83             | 8    | 230                         | 0,0066              | 1,52                         | 1,52                      | 38,55                 | 40,07                 | 40,07                 |
| 8                               | 9  | 232,17             | 9    | 90                          | 0,0066              | 0,59                         | 0,59                      | 0,00                  | 0,59                  | 0,59                  |
| 8                               | 10 | 62,68              | 10   | 90                          | 0,0066              | 0,59                         | 0,59                      | 37,37                 | 37,96                 | 37,96                 |
| 10                              | 11 | 184,32             | 11   | 130                         | 0,0066              | 0,86                         | 0,86                      | 36,51                 | 37,37                 | 37,37                 |
| 11                              | 12 | 101,48             | 12   | 150                         | 0,0066              | 0,99                         | 0,99                      | 1,65                  | 2,64                  | 2,64                  |
| 12                              | 13 | 110,65             | 13   | 110                         | 0,0066              | 0,73                         | 0,73                      | 0,00                  | 0,73                  | 0,73                  |
| 12                              | 14 | 253,29             | 14   | 140                         | 0,0066              | 0,92                         | 0,92                      | 0,00                  | 0,92                  | 0,92                  |
| 11                              | 15 | 211,92             | 15   | 110                         | 0,0066              | 0,73                         | 0,73                      | 0,00                  | 0,73                  | 0,73                  |
| 11                              | 16 | 697,17             | 16   | 100                         | 0,0066              | 0,66                         | 0,66                      | 32,48                 | 33,14                 | 33,14                 |
| 16                              | 17 | 67,3               | 17   | 80                          | 0,0066              | 0,53                         | 0,53                      | 1,06                  | 1,58                  | 1,58                  |
| 17                              | 18 | 43,5               | 18   | 70                          | 0,0066              | 0,46                         | 0,46                      | 0,00                  | 0,46                  | 0,46                  |
| 17                              | 19 | 119,7              | 19   | 90                          | 0,0066              | 0,59                         | 0,59                      | 0,00                  | 0,59                  | 0,59                  |
| 16                              | 20 | 185,22             | 20   | 120                         | 0,0066              | 0,79                         | 0,79                      | 30,11                 | 30,90                 | 30,90                 |
| 20                              | 21 | 171,43             | 21   | 90                          | 0,0066              | 0,59                         | 0,59                      | 0,00                  | 0,59                  | 0,59                  |
| 20                              | 22 | 119,88             | 22   | 95                          | 0,0066              | 0,63                         | 0,63                      | 28,88                 | 29,51                 | 29,51                 |
| 22                              | 23 | 160,42             | 23   | 100                         | 0,0066              | 0,66                         | 0,66                      | 0,00                  | 0,66                  | 0,66                  |
| 22                              | 24 | 248,71             | 24   | 140                         | 0,0066              | 0,92                         | 0,92                      | 27,30                 | 28,22                 | 28,22                 |
| <b>UKUPNO</b>                   |    |                    |      | <b>3248</b>                 |                     |                              | <b>21,4368</b>            |                       |                       |                       |

Tablica 2 Mjerodavni protoci zadane mreže

Vlastitim protocima mreže ( $Q_{vl.uk.}$ ) smatramo protoke koji su potrebni za vodoopskrbu određene dionice, dok tranzitnim protocima ( $Q_{tr}$ ) smatramo zbroj protoka koji prolaze određenom dionicom kako bi opskrbili druge dijelove vodoopskrbne mreže, nakon te dionice. Mjerodavan protok dionice ( $Q_{mj}$ ) predstavlja zbroj njenih vlastitih i tranzitnih protoka.

|                |    | DIMENZIONIRANJE MREŽE |                   |                      |                   |                        |                       |
|----------------|----|-----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|
| Oznaka dionice |    | Dužina dionice [m]    | Qmjerodavno [l/s] | Profil cijevi D [mm] | Brzina vode [m/s] | Pad piez. Linije l [%] | Linijski gubitci [mm] |
| V              | 1  | 123,4                 | 111,04            | 350                  | 1,19              | 3,6                    | 0,44                  |
| 1              | 2  | 180,99                | 55,51             | 275                  | 1,19              | 4,8                    | 0,87                  |
| 2              | 3  | 204,49                | 13,79             | 200                  | 0,76              | 3,2                    | 0,65                  |
| 2              | 4  | 254,48                | 0,53              | 150                  | 0,64              | 3,35                   | 0,85                  |
| 1              | 5  | 534,74                | 55,53             | 250                  | 1,35              | 6,8                    | 3,64                  |
| 5              | 6  | 499,71                | 50,76             | 275                  | 1,11              | 4,2                    | 2,10                  |
| 5              | 7  | 1332,39               | 3,37              | 150                  | 0,75              | 4,2                    | 5,60                  |
| 2              | 8  | 769,83                | 40,07             | 225                  | 1,31              | 7,6                    | 5,85                  |
| 8              | 9  | 232,17                | 0,59              | 150                  | 0,65              | 3,4                    | 0,79                  |
| 8              | 10 | 62,68                 | 37,96             | 250                  | 0,98              | 3,8                    | 0,24                  |
| 10             | 11 | 184,32                | 37,37             | 250                  | 0,96              | 3,7                    | 0,68                  |
| 11             | 12 | 101,48                | 2,64              | 150                  | 0,68              | 3,8                    | 0,39                  |
| 12             | 13 | 110,65                | 0,73              | 150                  | 0,68              | 3,45                   | 0,38                  |
| 12             | 14 | 253,29                | 0,92              | 150                  | 0,7               | 3,5                    | 0,89                  |
| 11             | 15 | 211,92                | 0,73              | 150                  | 0,68              | 3,45                   | 0,73                  |
| 11             | 16 | 697,17                | 33,14             | 225                  | 1,17              | 3,4                    | 2,37                  |
| 16             | 17 | 67,3                  | 1,58              | 150                  | 0,66              | 3,9                    | 0,26                  |
| 17             | 18 | 43,5                  | 0,46              | 150                  | 0,63              | 5,3                    | 0,23                  |
| 17             | 19 | 119,7                 | 0,59              | 150                  | 0,65              | 3,4                    | 0,41                  |
| 16             | 20 | 185,22                | 30,90             | 225                  | 1,11              | 5,2                    | 0,96                  |
| 20             | 21 | 171,43                | 0,59              | 150                  | 0,65              | 3,4                    | 0,58                  |
| 20             | 22 | 119,88                | 29,51             | 225                  | 1,2               | 4,9                    | 0,59                  |
| 22             | 23 | 160,42                | 0,66              | 150                  | 0,67              | 3,4                    | 0,55                  |
| 22             | 24 | 248,71                | 28,22             | 225                  | 1,6               | 3,3                    | 0,82                  |

Tablica 3 Dimenzioniranje zadane vodoopskrbne mreže

S definiranim mjerodavnim protocima i uz pomoć nomograma, određeni su profili cijevi, brzine vode te padovi piezometarskih linija prikazanih u Tablici 4. Dužine dionica su izmjerene u programu EPANET.

#### **5.4. Provjera tlakova u čvorovima vodoopskrbne mreže**

Provjera tlakova u čvorovima zahtjeva podatke o prethodno izračunatim linijskim gubicima, nadmorskim visinama izmjerenih u softveru Google Earth Pro, te kotama piezometarske linije.

Kota piezometarske linije predstavlja razliku visine vode u vodospremi Podbreg (439 m. n. m.) i svih linijskih gubitaka na pravcu od vodospreme do razmatranog čvora.

Na osnovi navedenih podataka izračunati su tlakovi u čvorovima mreže koji predstavljaju razliku kote piezometarske linije i nadmorske visine čvora.

Rezultati provjere tlakova su prikazani u tablici 5.

Nakon proračunavanja tlakova bitno je provjeriti njihove vrijednosti obzirom na uvjet da tlakovi u čvorovima ne smiju biti manji od 25 m v.st. i veći od 60 m v.st., odnosno manji od 2,5 i veći od 6,0 bara.

U tablici 5 crvenom bojom su označeni tlakovi koji ne zadovoljavaju pomenuti uvjet. Istaknute tlakove potrebno je reducirati smanjenjem promjera cijevi kao i pomoću redukcijskih ventila.

| PROVJERA TLAKOVA U VODOOPSKRIBNOJ MREŽI |    |      |                       |                           |                                    |                        |
|---|----|------|-----------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Oznaka dionice                          |    | Čvor | Linijski gubitci [mm] | Nadmorska visina [m n.m.] | Kota piezometarske linije [m n.m.] | Tlak u čvoru [m v.st.] |
| V                                       | 1  | 1    | 0,44                  | 408                       | 438,56                             | 30,56                  |
| 1                                       | 2  | 2    | 0,87                  | 401                       | 437,69                             | 36,69                  |
| 2                                       | 3  | 3    | 0,65                  | 396                       | 437,04                             | 41,04                  |
| 2                                       | 4  | 4    | 0,85                  | 394                       | 436,84                             | 42,84                  |
| 1                                       | 5  | 5    | 3,64                  | 388                       | 434,92                             | 46,92                  |
| 5                                       | 6  | 6    | 2,10                  | 376                       | 432,82                             | 56,82                  |
| 5                                       | 7  | 7    | 5,60                  | 376                       | 429,32                             | 53,32                  |
| 2                                       | 8  | 8    | 5,85                  | 378                       | 431,84                             | 53,84                  |
| 8                                       | 9  | 9    | 0,79                  | 396                       | 431,05                             | 35,05                  |
| 8                                       | 10 | 10   | 0,24                  | 376                       | 431,60                             | 55,60                  |
| 10                                      | 11 | 11   | 0,68                  | 373                       | 430,92                             | 57,92                  |
| 11                                      | 12 | 12   | 0,39                  | 377                       | 430,53                             | 53,53                  |
| 12                                      | 13 | 13   | 0,38                  | 377                       | 430,15                             | 53,15                  |
| 12                                      | 14 | 14   | 0,89                  | 384                       | 429,64                             | 45,64                  |
| 11                                      | 15 | 15   | 0,73                  | 367                       | 430,19                             | 63,19                  |
| 11                                      | 16 | 16   | 2,37                  | 362                       | 428,55                             | 66,55                  |
| 16                                      | 17 | 17   | 0,26                  | 355                       | 428,29                             | 73,29                  |
| 17                                      | 18 | 18   | 0,23                  | 348                       | 428,06                             | 80,06                  |
| 17                                      | 19 | 19   | 0,41                  | 358                       | 427,88                             | 69,88                  |
| 16                                      | 20 | 20   | 0,96                  | 354                       | 427,59                             | 73,59                  |
| 20                                      | 21 | 21   | 0,58                  | 373                       | 427,01                             | 54,01                  |
| 20                                      | 22 | 22   | 0,59                  | 348                       | 427,00                             | 79,00                  |
| 22                                      | 23 | 23   | 0,55                  | 345                       | 426,45                             | 81,45                  |
| 22                                      | 24 | 24   | 0,82                  | 330                       | 426,18                             | 96,18                  |
|   |    |      |                       | 25                        | MINIMALNI TLAK                     | 30,56                  |
|   |    |      |                       | 60                        | MAKSIMALNI TLAK                    | 96,18                  |

Tablica 4 Prikaz proračunatih tlakova vodoopskrbne mreže



## **6. MODELIRANJE VODOOPSKRBNOG SUSTAVA U PROGRAMU EPANET**

### **6.1. Uvodno o EPANET-u**

Epanet je softver čija je primjena rasprostranjena po cijelom svijetu.

Koncipiran je za stvaranje modela sustava za distribuciju vode.

Iza softvera EPANET stoji Američka Agencija za Zaštitu Okoliša (EPA) koja je isti razvila devedesetih godina prošlog stoljeća s ciljem boljeg razumijevanja kretanja pitke vode u distribucijskom sustavu. Danas se uglavnom koristi u svrhu projektiranja distribucijske infrastrukture vode, rekonstrukcije i poboljšanja postojećih vodnih infrastruktura, optimiziranja rada crpnih stanica i vodosprema kao i smanjenja potrošnje energije. Također, bavi se i istraživanjem kvaliteta vode i mogućeg onečišćenja te uz pomoć opcija modeliranja prijetnji (npr. požar i druge prirodne i/ili vještačke katastrofe) pomaže u projektiranju sigurne građevine i procjeni ponašanja projektiranog sustava u slučaju pojave prijetnje.

EPANET omogućava izvođenje simulacija ponašanja vode u hidrauličkom smislu i kvalitete vode u nekom produženom razdoblju u cijevima pod tlakom.

Mreža u softveru Epanet se sastoji od početne vodospreme, čvorova koji su spojeni cijevima, crpnih stanica/vodosprema i redukcijских ventila, te je u softveru moguće pratiti protoke vode za svaku pojedinačnu cijev, tlak u svim čvorovima mreže kao i visinu vode u određenom spremniku i koncentracije pojedinih kemijskih spojeva u cijeloj unaprijed nacrtanoj i zadanoj mreži.

Softver je potpuno besplatan i može se preuzeti u raznim verzijama sa mrežne stranice EPA-e.

Za potrebne simulacije ovog završnog rada korišten je EPANET verzije 2.0.

Prije samog izvođenja simulacija u softveru EPANET, potrebno je odrediti pojedine elemente vodoopskrbne mreže navedene u nastavku:

- Čvorovi (eng. Junctions) koji obilježavaju lokalitete/mjesta potrošnje vode u sklopu vodoopskrbne mreže, a određuju se putem sljedećih parametara
  - Kota terena
  - Redni broj čvora u vodoopskrbnoj mreži

- Podatak o količini potrošnje vode korisnika vodoopskrbne mreže u danom čvoru
- Cijevi (eng. Pipes) koje služe za grupiranje i povezivanje čvorova vodoopskrbne mreže, a definirane su putem sljedećih parametara:
  - Duljina [m] i promjer/radijus cijevi [mm]
  - Koeficijent hrapavosti [mm]
  - Redni broj cijevi u vodoopskrbnoj mreži
- Vodospreme (eng. Reservoir) koje predstavljaju početnu točku iz koje se voda distribuira po čvorovima pomoću cijevi, a određena je:
  - Dijagramom promjena tlačnih visina i vremena
  - Njenom energetsom visinom
- Crpne stanice (eng. Pumps) koje se ugrađuju u sustav na mjestima nižih tlakova od dozvoljenih, a određuju ih:
  - Početni i krajnji čvor mreže
  - Snaga crpne stanice [kW]
- Redukcijski ventili (eng. Valves) koji se postavljaju u sustav na mjestima viših tlakova od dozvoljenih, a određuju ih:
  - Početni i krajnji čvor mreže
  - Iznos tlaka u čvoru za kojeg predviđamo ugradnju redukcijskog ventila

## 6.2. Crtanje mreže u programu EPANET

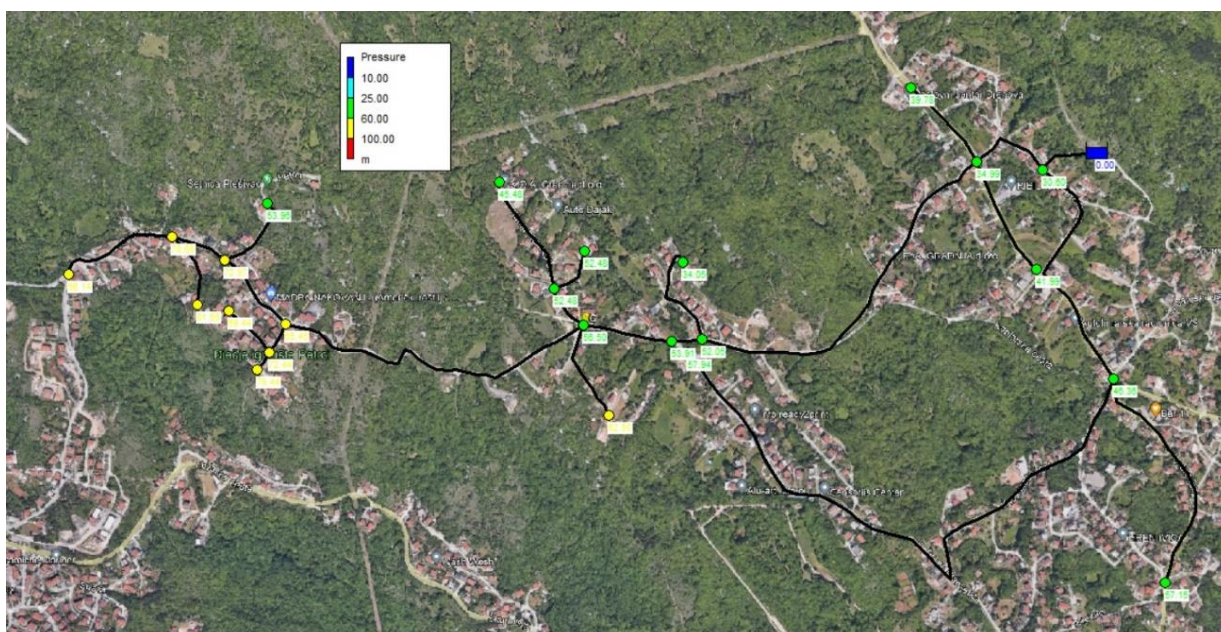
Unaprijed definirana i zadana mreža, nacrtana je i unesena u softver EPANET na način da se prvo postavljaju čvorovi. Zatim se čvorovi spajaju cijevima kojima će proticati potrebna količina vode za opskrbu zadanog naselja. Program EPANET opcijom Auto-length sam proračunava duljine dionica, a samim time olakšava proces proračuna tlakova u cjelokupnoj mreži.

Za daljnji proračun tlakova, nužni su podaci o protocima u čvorovima vodoopskrbne mreže, topografski podaci terena kao i geometrijske značajke cijevi zadane mreže (promjer, materijal od kojih su napravljene cijevi, trenje i drugo).

Gubici koji nastaju zbog popuštanja cijevi na spojnim mjestima, raznim neispravnostima same cijevi ali i nezakonitog korištenja vode iz sustava, nisu uračunati u podatke za određivanje tlakova u zadanoj mreži.

U čvorovima se definiraju ukupne potrošnje vode, a za cijevi se definiraju promjeri cijevi i apsolutna hrapavost. Svi navedeni podaci su preuzeti iz ranije opisanog proračuna korištenjem metode nomograma.

Nakon unošenja svih potrebnih podataka u program EPANET, dobiven je ispis svih početnih tlakova mreže (Tablica 5) koji su gotovo identični tlakovima iz tablice 4 dobiveni metodom nomograma.



Slika 8 Početni tlakovi zadane vodoopskrbne mreže

U zadanoj mreži ne postoje tlakovi manji od 2,5 bara što zadovoljava uvjet minimalnih tlakova. Žutom bojom su označeni čvorovi čiji tlakovi imaju vrijednost veću od 6 bara i samim time ne zadovoljavaju uvjet maksimalnih tlakova, a zelenom bojom su predstavljeni tlakovi koji zadovoljavaju oba navedena uvjeta. Situacija sa slike 6 nam potvrđuje da ćemo smanjenjem promjera cijevi reducirati tlakove u čvorovima označenim žutom bojom. Uzimajući sve navedeno u obzir, možemo zaključiti da zadana mreža ne zadovoljava u potpunosti zahtjevane uvjete. U nastavku proračuna će se analizirati požarne situacije u svrhu osiguravanja potrebnih tlakova i količina vode za gašenje požara.

| CIJEVI         |    |                      |                            |                      | ČVORVI |                                 |                    |                           |
|----------------|----|----------------------|----------------------------|----------------------|--------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Oznaka dionice |    | Qmjerodavno<br>[l/s] | Profil cijevi<br>D<br>[mm] | Brzina vode<br>[m/s] | Čvor   | Nadmorska<br>visina<br>[m n.m.] | Potrošnja<br>[l/s] | Tlak u čvoru<br>[m v.st.] |
| V              | 1  | 111,08               | 350                        | 1,15                 | 1      | 408                             | 0                  | 30,6                      |
| 1              | 2  | 55,54                | 275                        | 1,77                 | 2      | 401                             | 1,12               | 34,99                     |
| 2              | 3  | 13,78                | 200                        | 0,44                 | 3      | 396                             | 13,78              | 39,78                     |
| 2              | 4  | 0,53                 | 150                        | 0,03                 | 4      | 394                             | 0,53               | 41,99                     |
| 1              | 5  | 55,54                | 250                        | 1,4                  | 5      | 388                             | 1,41               | 46,36                     |
| 5              | 6  | 50,76                | 275                        | 0,85                 | 6      | 376                             | 50,76              | 57,15                     |
| 5              | 7  | 3,37                 | 150                        | 0,19                 | 7      | 376                             | 3,37               | 57,94                     |
| 2              | 8  | 40,11                | 225                        | 1,28                 | 8      | 378                             | 1,52               | 52,05                     |
| 8              | 9  | 0,59                 | 150                        | 0,03                 | 9      | 396                             | 0,59               | 34,05                     |
| 8              | 10 | 38                   | 250                        | 0,77                 | 10     | 376                             | 0,59               | 53,91                     |
| 10             | 11 | 37,41                | 250                        | 0,76                 | 11     | 373                             | 0,9                | 56,5                      |
| 11             | 12 | 2,65                 | 150                        | 0,15                 | 12     | 377                             | 1                  | 52,48                     |
| 12             | 13 | 0,73                 | 150                        | 0,04                 | 13     | 377                             | 0,73               | 52,48                     |
| 12             | 14 | 0,92                 | 150                        | 0,05                 | 14     | 384                             | 0,92               | 45,48                     |
| 11             | 15 | 0,73                 | 150                        | 0,04                 | 15     | 367                             | 0,73               | 62,5                      |
| 11             | 16 | 33,13                | 225                        | 2,85                 | 16     | 362                             | 0,66               | 65,45                     |
| 16             | 17 | 1,58                 | 150                        | 0,1                  | 17     | 355                             | 0,53               | 72,44                     |
| 17             | 18 | 0,46                 | 150                        | 0,03                 | 18     | 348                             | 0,46               | 79,44                     |
| 17             | 19 | 0,59                 | 150                        | 0,03                 | 19     | 358                             | 0,59               | 69,44                     |
| 16             | 20 | 30,89                | 225                        | 0,78                 | 20     | 354                             | 0,79               | 72,97                     |
| 20             | 21 | 0,59                 | 150                        | 0,03                 | 21     | 373                             | 0,59               | 53,96                     |
| 20             | 22 | 29,51                | 225                        | 0,74                 | 22     | 348                             | 0,63               | 78,68                     |
| 22             | 23 | 0,66                 | 150                        | 0,04                 | 23     | 345                             | 0,66               | 81,68                     |
| 22             | 24 | 28,22                | 225                        | 0,71                 | 24     | 330                             | 28,22              | 96,14                     |
|                |    |                      |                            |                      |        | 25                              | MINIMALNI T        | 30,60                     |
|                |    |                      |                            |                      |        | 60                              | MAKSIMALNI         | 96,14                     |

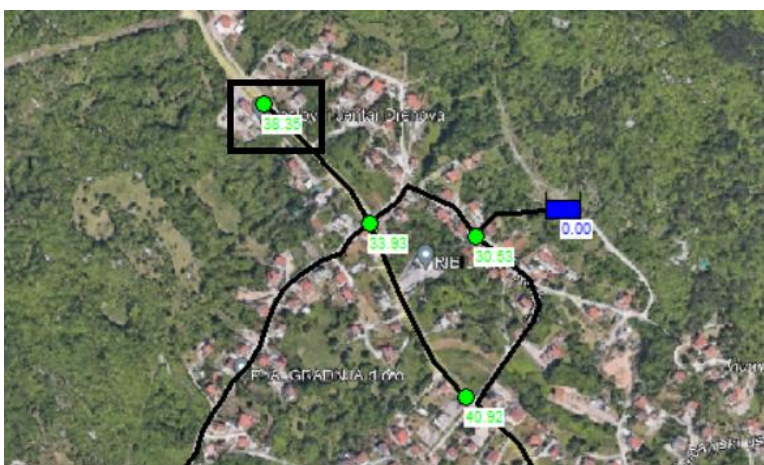
Tablica 5 Početni tlakovi zadane mreže dobiveni u programu EPANET

### 6.3. Simuliranje požarnih situacija u krajnjim čvorovima mreže

Nakon analiziranja početne situacije tlakova u programu EPANET, potrebno je analizirati i ponašanje mreže u požarnim situacijama.

Požarne situacije se analiziraju za krajnje čvorove mreže pojedinačno dodavanjem protoka za gašenje požara (10 l/s) ukupnom protoku tog čvora.

Tako će primjerice protok za požarnu situaciju krajnjeg čvora pod rednim brojem 24 biti jednak zbroju njegovog ukupnog protoka (28,22 l/s) i protoka za gašenje požara (10 l/s) što nam daje vrijednost od 38,22 l/s. Simulacije požarnih situacija će se provoditi za čvorove 3, 4, 6, 7, 9, 15, 19 i 24.



Slika 9 Požarna situacija za čvor 3



Slika 10 Požarna situacija za čvor 4

| CIJEVI         |   |                   |                      |                   | ČVOROVI |                           |                 |                        |
|----------------|---|-------------------|----------------------|-------------------|---------|---------------------------|-----------------|------------------------|
| Oznaka dionice |   | Qmjerodavno [l/s] | Profil cijevi D [mm] | Brzina vode [m/s] | Čvor    | Nadmorska visina [m n.m.] | Potrošnja [l/s] | Tlak u čvoru [m v.st.] |
| V              | 1 | 121,08            | 350                  | 1,26              | 1       | 408                       | 0               | 30,53                  |
| 1              | 2 | 65,54             | 275                  | 2,09              | 2       | 401                       | 1,12            | 33,93                  |
| 2              | 3 | 23,78             | 200                  | 0,76              | 3       | 396                       | 23,78           | 38,35                  |
|                |   |                   |                      |                   |         | 25                        | MINIMALNI TLAK  | 30,53                  |
|                |   |                   |                      |                   |         | 60                        | MAKSIMALNI TLAK | 38,35                  |

Tablica 7 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 3 dobiveni u programu EPANET

| CIJEVI         |   |                   |                      |                   | ČVOROVI |                           |                 |                        |
|----------------|---|-------------------|----------------------|-------------------|---------|---------------------------|-----------------|------------------------|
| Oznaka dionice |   | Qmjerodavno [l/s] | Profil cijevi D [mm] | Brzina vode [m/s] | Čvor    | Nadmorska visina [m n.m.] | Potrošnja [l/s] | Tlak u čvoru [m v.st.] |
| V              | 1 | 121,08            | 350                  | 1,26              | 1       | 408                       | 0               | 30,53                  |
| 1              | 2 | 65,54             | 275                  | 2,09              | 2       | 401                       | 1,12            | 33,93                  |
| 2              | 4 | 10,53             | 150                  | 0,6               | 4       | 394                       | 10,53           | 40,27                  |
|                |   |                   |                      |                   |         | 25                        | MINIMALNI TLAK  | 30,53                  |
|                |   |                   |                      |                   |         | 60                        | MAKSIMALNI TLAK | 40,27                  |

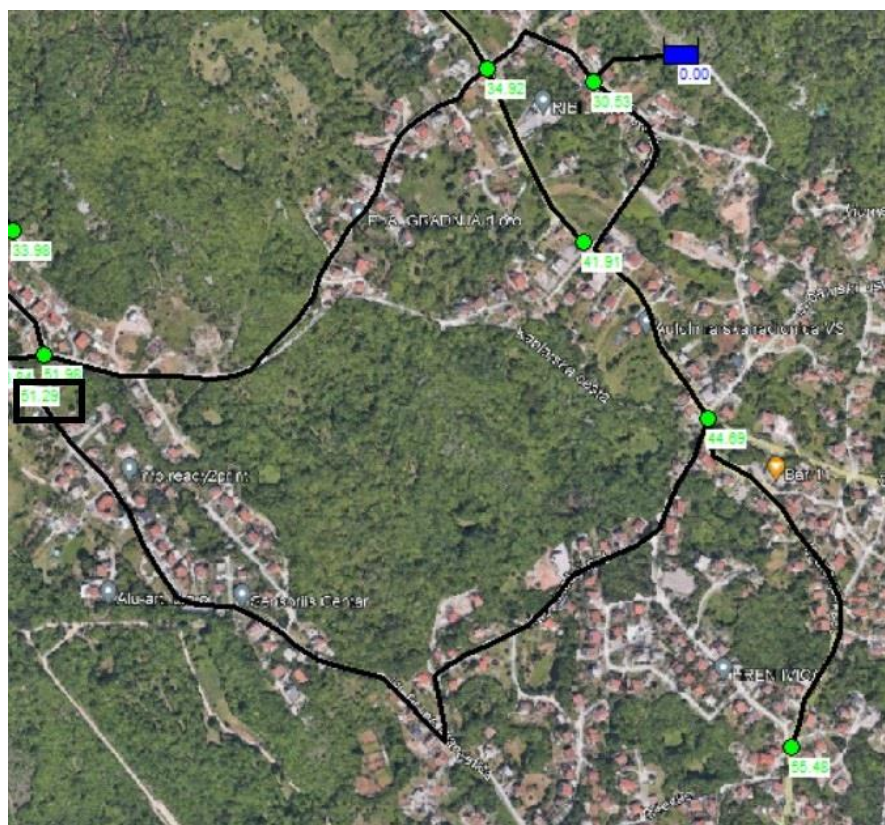
Tablica 6 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 4 dobiveni u programu EPANET



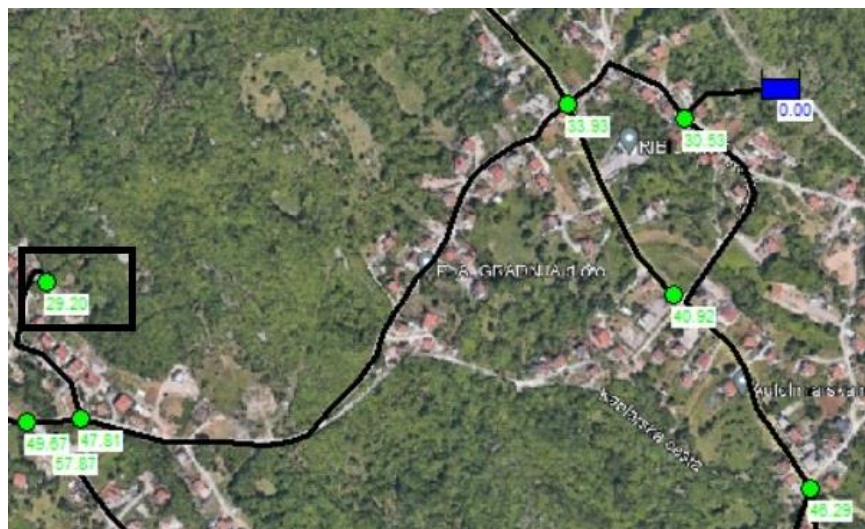
Slika 11 Požarna situacija u čvoru 6

| CIJEVI         |   |                         |                            |                      | ČVORovi |                                 |                    |                           |
|----------------|---|-------------------------|----------------------------|----------------------|---------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Oznaka dionice |   | Qmjerdavn<br>o<br>[l/s] | Profil cijevi<br>D<br>[mm] | Brzina vode<br>[m/s] | Čvor    | Nadmorska<br>visina<br>[m n.m.] | Potrošnja<br>[l/s] | Tlak u čvoru<br>[m v.st.] |
| V              | 1 | 121,08                  | 350                        | 1,26                 | 1       | 408                             | 0                  | 30,53                     |
| 1              | 5 | 65,54                   | 250                        | 1,65                 | 5       | 388                             | 1,41               | 44,69                     |
| 5              | 6 | 60,76                   | 275                        | 1,02                 | 6       | 376                             | 60,76              | 54,98                     |
|                |   |                         |                            |                      |         | 25                              | MINIMALNI TLAK     | 30,53                     |
|                |   |                         |                            |                      |         | 60                              | MAKSIMALNI TLAK    | 54,98                     |

Tablica 8 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 6 dobiveni u programu EPANET



Slika 12 Požarna situacija u čvoru 7



Slika 13 Požarna situacija u čvoru 9

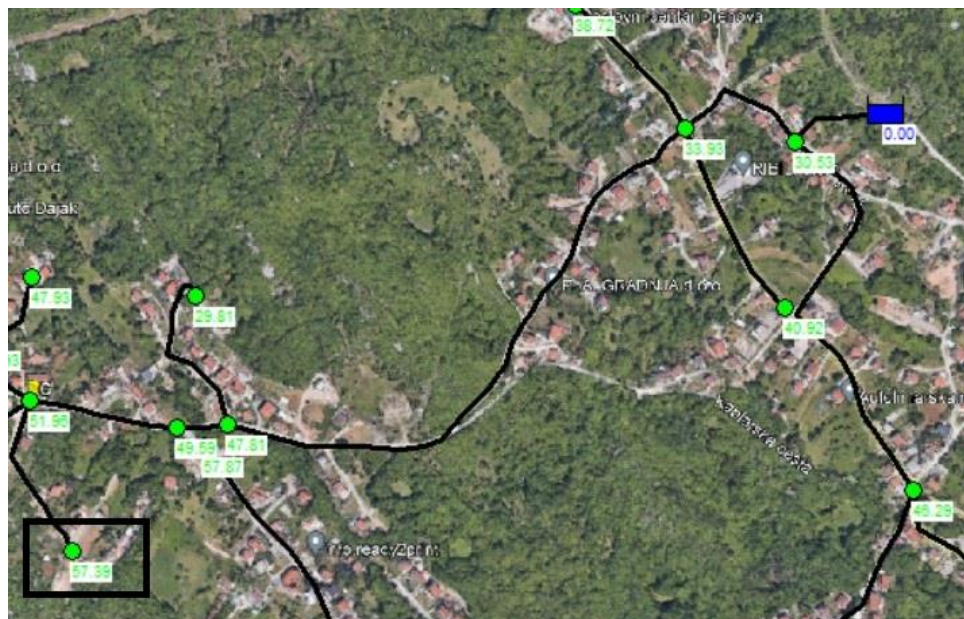
| CIJEVI         |   |                          |                            |                      | ČVOROVI |                                 |                    |                           |
|----------------|---|--------------------------|----------------------------|----------------------|---------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Oznaka dionice |   | Qmjerodavn<br>o<br>[l/s] | Profil cijevi<br>D<br>[mm] | Brzina vode<br>[m/s] | Čvor    | Nadmorska<br>visina<br>[m n.m.] | Potrošnja<br>[l/s] | Tlak u čvoru<br>[m v.st.] |
| V              | 1 | 121,08                   | 350                        | 1,26                 | 1       | 408                             | 0                  | 30,53                     |
| 1              | 5 | 65,54                    | 250                        | 1,65                 | 5       | 388                             | 1,41               | 44,69                     |
| 5              | 7 | 13,37                    | 150                        | 0,76                 | 7       | 376                             | 13,37              | 51,29                     |
|                |   |                          |                            |                      |         | 25                              | MINIMALNI TLAK     | 30,53                     |
|                |   |                          |                            |                      |         | 60                              | MAKSIMALNI TLAK    | 51,29                     |

Tablica 9 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 7 dobiveni u programu EPANET

| CIJEVI         |   |                          |                            |                      | ČVOROVI |                                 |                    |                           |
|----------------|---|--------------------------|----------------------------|----------------------|---------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Oznaka dionice |   | Qmjerodavn<br>o<br>[l/s] | Profil cijevi<br>D<br>[mm] | Brzina vode<br>[m/s] | Čvor    | Nadmorska<br>visina<br>[m n.m.] | Potrošnja<br>[l/s] | Tlak u čvoru<br>[m v.st.] |
| V              | 1 | 121,08                   | 350                        | 1,26                 | 1       | 408                             | 0                  | 30,53                     |
| 1              | 2 | 65,54                    | 275                        | 2,09                 | 2       | 401                             | 1,12               | 33,39                     |
| 2              | 8 | 50,11                    | 225                        | 1,59                 | 8       | 378                             | 1,52               | 47,81                     |
| 8              | 9 | 10,59                    | 150                        | 0,6                  | 9       | 396                             | 10,59              | 29,2                      |
|                |   |                          |                            |                      |         | 25                              | MINIMALNI TLAK     | 29,20                     |
|                |   |                          |                            |                      |         | 60                              | MAKSIMALNI TLAK    | 47,81                     |

Tablica 10 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 9 dobiveni u programu EPANET





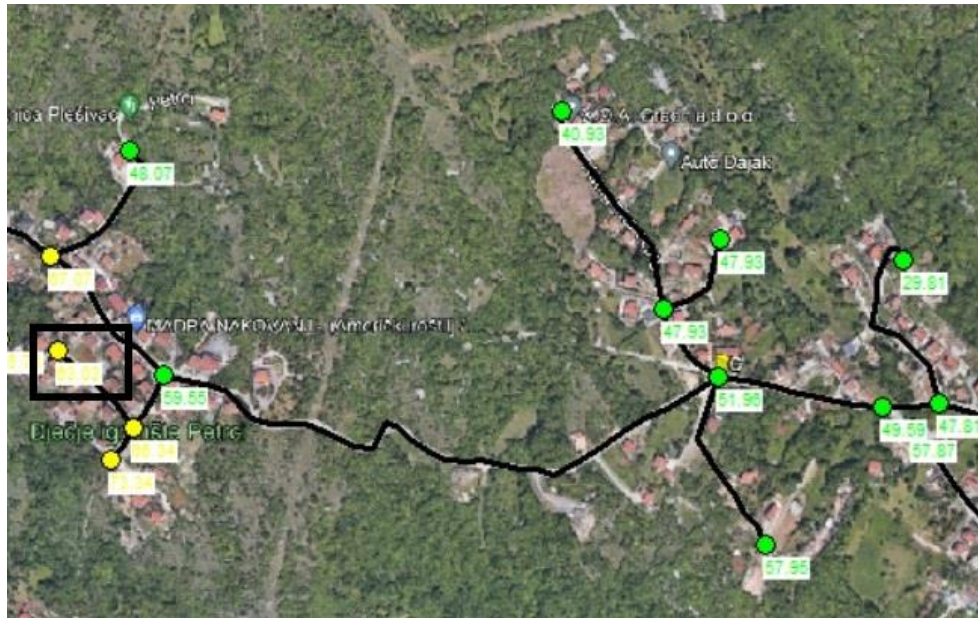
Slika 14 Požarna situacija u čvoru 15

| CIJEVI         |    |                          |                            |                      | ČVORVI |                                 |                    |                           |
|----------------|----|--------------------------|----------------------------|----------------------|--------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Oznaka dionice |    | Qmjerodavn<br>o<br>[l/s] | Profil cijevi<br>D<br>[mm] | Brzina vode<br>[m/s] | Čvor   | Nadmorska<br>visina<br>[m n.m.] | Potrošnja<br>[l/s] | Tlak u čvoru<br>[m v.st.] |
| V              | 1  | 121,08                   | 350                        | 1,26                 | 1      | 408                             | 0                  | 30,53                     |
| 1              | 2  | 65,54                    | 275                        | 2,09                 | 2      | 401                             | 1,12               | 33,93                     |
| 2              | 8  | 50,11                    | 225                        | 1,59                 | 8      | 378                             | 1,52               | 47,81                     |
| 8              | 10 | 48                       | 250                        | 0,98                 | 10     | 376                             | 0,59               | 49,59                     |
| 10             | 11 | 47,41                    | 250                        | 0,97                 | 11     | 373                             | 0,9                | 51,96                     |
| 11             | 15 | 10,73                    | 150                        | 0,61                 | 15     | 367                             | 10,73              | 57,39                     |
|                |    |                          |                            |                      |        | 25                              | MINIMALNI TLAK     | 30,53                     |
|                |    |                          |                            |                      |        | 60                              | MAKSIMALNI TLAK    | 57,39                     |

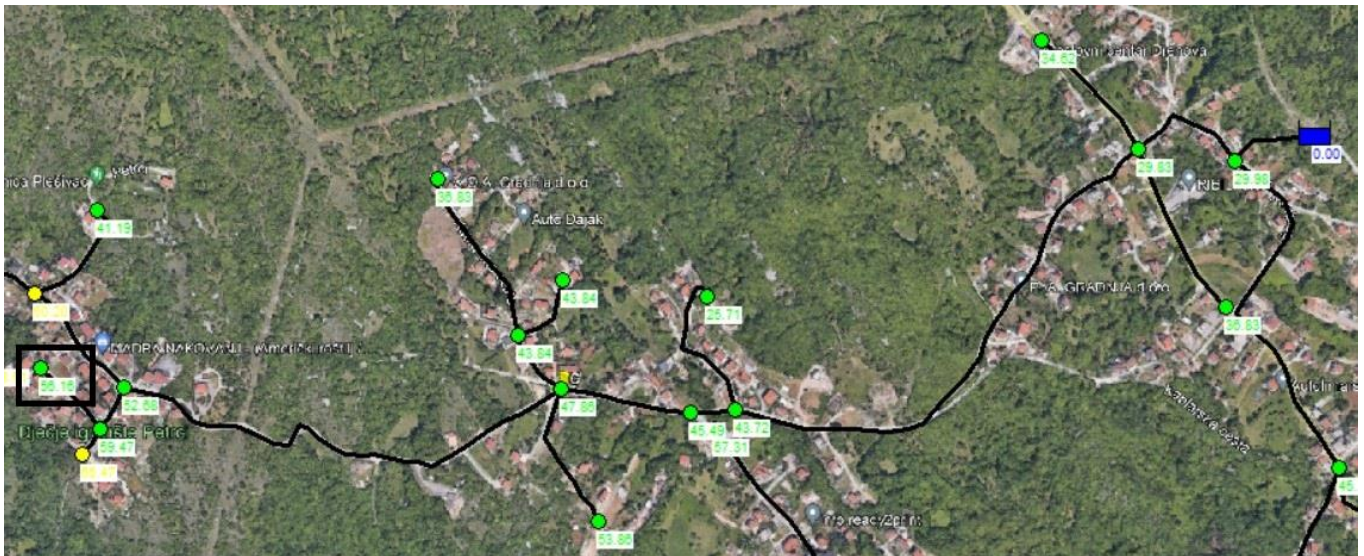
Tablica 11 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 15 dobiveni u programu EPANET

Požarne situacije u čvorovima 3, 4, 6, 7, 9 i 15 imaju zadovoljavajuće tlakove bez promjena promjera cijevi, što je vidljivo na slikama 9-14 i tablicama 6-11.

Po



Slika 16 Požarna situacija u čvoru 19



Slika 15 Požarna situacija u čvoru 19 nakon smanjenja promjera cijevi

Simuliranjem požara u čvoru 19, nisu zadovoljeni propisani tlakovi te ih je nužno reducirati smanjenjem promjera cijevi. Na dionici V-1 promjer cijevi smanjen je sa 350 mm na 300 mm, na dionici 1-2 sa 275 mm na 175 mm, te na dionicama 2-8 i 11-16 sa 225 mm na 200 mm. Na slici 15 vidljivo je da su smanjenjem navedenih promjera cijevi tlakovi reducirani na prihvatljivu razinu.

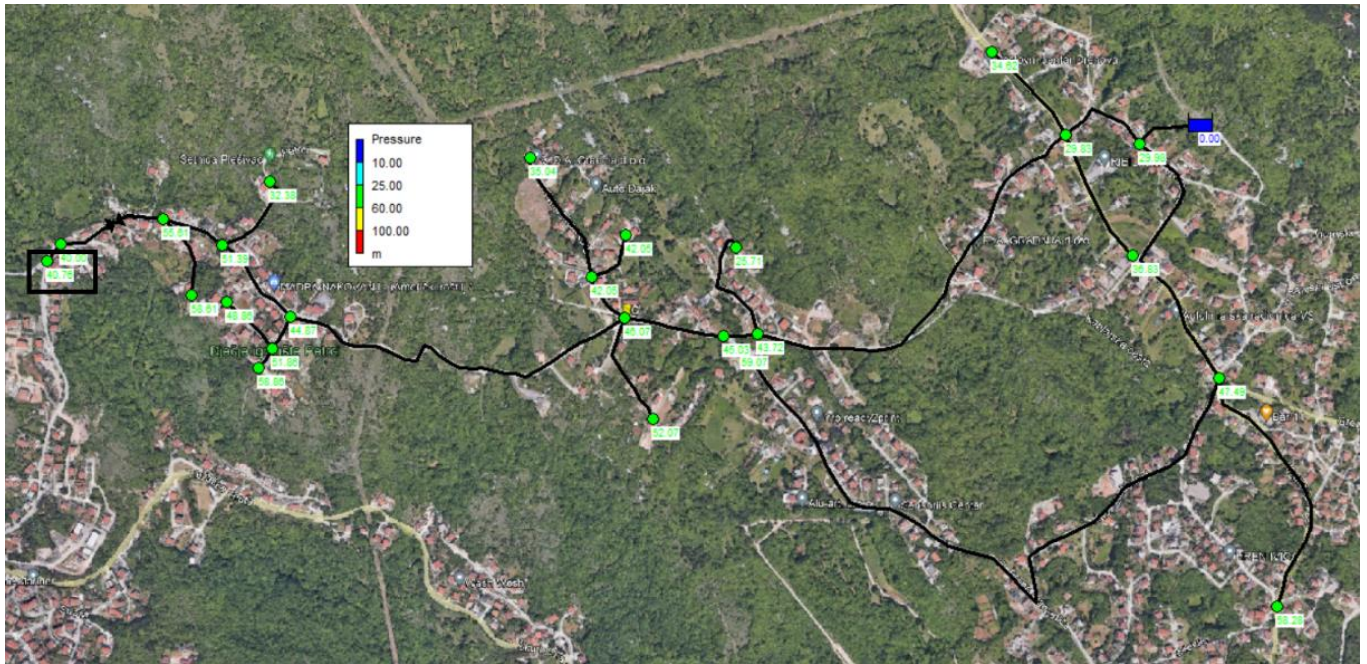
| CIJEVI         |    |                           |                            |                      | ČVORVI |                                 |                    |                           |
|----------------|----|---------------------------|----------------------------|----------------------|--------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Oznaka dionice |    | Qmjerodavno<br>o<br>[l/s] | Profil cijevi<br>D<br>[mm] | Brzina vode<br>[m/s] | Čvor   | Nadmorska<br>visina<br>[m n.m.] | Potrošnja<br>[l/s] | Tlak u čvoru<br>[m v.st.] |
| V              | 1  | 121,08                    | 300                        | 1,71                 | 1      | 408                             | 0                  | 29,98                     |
| 1              | 2  | 65,54                     | 175                        | 2,72                 | 2      | 401                             | 1,12               | 29,83                     |
| 2              | 8  | 50,11                     | 200                        | 1,59                 | 8      | 378                             | 1,52               | 43,72                     |
| 8              | 10 | 48                        | 250                        | 0,98                 | 10     | 376                             | 0,59               | 45,49                     |
| 10             | 11 | 47,41                     | 250                        | 0,97                 | 11     | 373                             | 0,9                | 47,86                     |
| 11             | 16 | 43,13                     | 200                        | 1,37                 | 16     | 362                             | 0,66               | 52,68                     |
| 16             | 17 | 11,58                     | 150                        | 0,66                 | 17     | 355                             | 0,53               | 59,47                     |
| 17             | 19 | 10,59                     | 150                        | 0,6                  | 19     | 358                             | 10,59              | 56,16                     |
|                |    |                           |                            |                      |        | 25                              | MINIMALNI TLAK     | 29,83                     |
|                |    |                           |                            |                      |        | 60                              | MAKSIMALNI TLAK    | 59,47                     |

Tablica 12 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 19 dobiveni u programu EPANET

Čvor 24 je najudaljeniji od vodospreme te ima najveće tlakove neovisno o požarnoj situaciji. Simulacijom požara se tlak u čvoru 24 reducira, no i dalje ostaje previsok te zahtjeva dodatno reduciranje smanjenjem promjera cijevi.

Promjeri cijevi su smanjeni na dionici V-1 sa 350 mm na 300 mm, na dionici 1-2 sa 275 mm na 175 mm, na dionicama 2-8 i 11-16 sa 225 mm na 200 mm, na dionicama 8-10 i 10-11 sa 250 mm na 200 mm, na dionici 16-20 sa 225 mm na 200 mm i na dionici 20-22 sa 225 mm na 175 mm. Na taj način je dobivena zadovoljavajuća vrijednost tlakova u svim čvorovima osim 24. čvora. Daljnje smanjenje cijevi nije moguće zbog porasta brzina i linijskih gubitaka te je nužno postaviti redukcijski ventil na dionici 22-24 kako bi tlak u čvoru 24 bio zadovoljavajući.

Postavljanjem redukcijskog ventila na dionici 22-24, zadovoljeni su tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 24.



Slika 17 Požarna situacija u čvoru 24 nakon postavljanja redukcijskog ventila

U tablici 13 vidljivi su ispisi iz programa EPANET-a sa vrijednostima mjerodavnih protoka, profila cijevi, brzina vode, nadmorskih visina, potrošnje i tlakova za požarnu situaciju u čvoru 24.

U krajnjim čvorovima mreže uočljive su male brzine strujanja vode, što može stvarati probleme ustajale vode na krajevima mreže kao jednog od glavnih problema granaste vodoopskrbne mreže.

| Oznaka dionice |    | CIJEVI                  |                            |                      | Čvor | ČVOROVİ                         |                    |                           |
|----------------|----|-------------------------|----------------------------|----------------------|------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|
|                |    | Qmjerodav<br>o<br>[l/s] | Profil cijevi<br>D<br>[mm] | Brzina vode<br>[m/s] |      | Nadmorska<br>visina<br>[m n.m.] | Potrošnja<br>[l/s] | Tlak u čvoru<br>[m v.st.] |
| V              | 1  | 121,08                  | 300                        | 1,71                 | 1    | 408                             | 0                  | 29,98                     |
| 1              | 2  | 65,54                   | 175                        | 2,72                 | 2    | 401                             | 1,12               | 29,83                     |
| 2              | 3  | 13,78                   | 200                        | 0,44                 | 3    | 396                             | 13,78              | 34,62                     |
| 2              | 4  | 0,53                    | 150                        | 0,03                 | 4    | 394                             | 0,53               | 36,83                     |
| 1              | 5  | 55,54                   | 250                        | 1,13                 | 5    | 388                             | 1,41               | 47,49                     |
| 5              | 6  | 50,76                   | 275                        | 0,85                 | 6    | 376                             | 50,76              | 58,28                     |
| 5              | 7  | 3,37                    | 150                        | 0,19                 | 7    | 376                             | 3,37               | 59,07                     |
| 2              | 8  | 50,11                   | 200                        | 1,59                 | 8    | 378                             | 1,52               | 43,72                     |
| 8              | 9  | 0,59                    | 150                        | 0,03                 | 9    | 396                             | 0,59               | 25,71                     |
| 8              | 10 | 48                      | 200                        | 1,53                 | 10   | 376                             | 0,59               | 45,03                     |
| 10             | 11 | 47,41                   | 200                        | 1,51                 | 11   | 373                             | 0,9                | 46,07                     |
| 11             | 12 | 2,65                    | 150                        | 0,15                 | 12   | 377                             | 1                  | 42,05                     |
| 12             | 13 | 0,73                    | 150                        | 0,04                 | 13   | 377                             | 0,73               | 42,05                     |
| 12             | 14 | 0,92                    | 150                        | 0,05                 | 14   | 384                             | 0,92               | 35,04                     |
| 11             | 15 | 0,73                    | 150                        | 0,04                 | 15   | 367                             | 0,73               | 52,07                     |
| 11             | 16 | 43,13                   | 175                        | 1,79                 | 16   | 362                             | 0,66               | 44,87                     |
| 16             | 17 | 1,58                    | 150                        | 0,09                 | 17   | 355                             | 0,53               | 51,86                     |
| 17             | 18 | 0,46                    | 150                        | 0,03                 | 18   | 348                             | 0,46               | 58,86                     |
| 17             | 19 | 0,59                    | 150                        | 0,03                 | 19   | 358                             | 0,59               | 48,86                     |
| 16             | 20 | 40,89                   | 200                        | 1,3                  | 20   | 354                             | 0,79               | 51,39                     |
| 20             | 21 | 0,59                    | 150                        | 0,03                 | 21   | 373                             | 0,59               | 32,38                     |
| 20             | 22 | 39,51                   | 175                        | 1,64                 | 22   | 348                             | 0,63               | 55,61                     |
| 22             | 23 | 0,66                    | 150                        | 0,04                 | 23   | 345                             | 0,66               | 58,61                     |
| 22             | 24 | 38,22                   | REDUCIR 100                | 2,16                 | 24   | 330                             | 38,22              | 40,76                     |
|                |    |                         |                            |                      |      | 25                              | MINIMALNI T        | 25,71                     |
|                |    |                         |                            |                      |      | 60                              | MAKSIMALNI         | 59,07                     |

Tablica 13 Tlakovi za požarnu situaciju u čvoru 24 dobiveni u programu EPANET

#### 6.4. Redukcijski ventili

Redukcijski ventili, nazivani još i ventilima za ograničavanje tlaka ili reducir ventili, primijenjuju se u vodoopskrbi kako bi se izbjegla neadekvatna i nepoželjna hidraulička i pogonska stanja mreže koji posljedično stvaraju visoke tlakove na mjestima nepovoljnih terenskih situacija. Pojavom visokih tlakova povećavaju se i količine vodnih gubitaka u mreži, kvarovi postaju učestaliji, a vijek trajanja cjevovoda se uveliko smanjuje.

Uloga redukcijskog ventila predstavlja održavanje što manjih dozvoljenih tlakova kako bi se ostvarila funkcionalna distribucija vode u vodoopskrbnoj mreži.

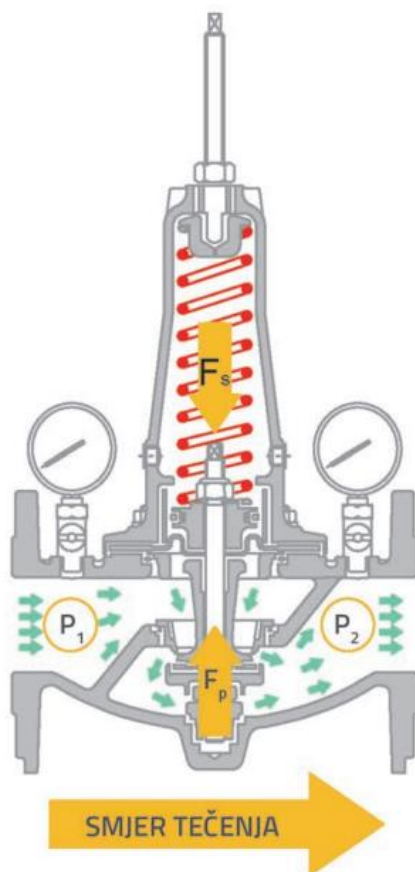
Redukcijski ventili se razlikuju po principu rada i konstrukcijskim značajkama, no mogu se podijeliti na kontrolirane (hidrauličke) i nekontrolirane (opružne) ventile. [12]

### 6.4.1. Nekontrolirani (opružni) reduksijski ventili

Opružni ventili imaju relativno nisku cijenu zbog čega se često primjenjuju u vodoopskrbnim sustavima diljem Hrvatske.

Kroz povijest su razvijeni za regulaciju tlakova u sustavima za navodnjavanje, a zatim su se sve učestalije počeli koristiti i za vodoopskrbne sustave.

Princip rada opružnih ventila opisan je u nastavku:



Slika 18 Presjek opružnog ventila [12]

*„Na postavljenoj vrijednosti sila opruge  $F_s$  je iste vrijednosti kao i sila  $F_p$ . Kada se dolazni tlak  $P_1$  povećava i odlazni tlak  $P_2$  ima tendenciju povećanja, ali se pladanj ventila zatvara i održava konstantnim nizvodni tlak  $P_2$ . Uočljivo je da pri promjeni protoka, a time i promjeni ulaznih tlakova, dolazi i do određene promjene nizvodnih tlakova, što se podudara s vremenom trajanja tih promjena. Znači da se smanjivanje uzvodnih tlakova odražava i na smanjivanje nizvodnih tlakova. Vrijedi i obrnuto pravilo da kada uzvodni tlakovi rastu, rastu*

*i nizvodni tlakovi. Takva stanja utječu na hidrauličke i pogonske uvjete nizvodno u sustavu, gdje se, primjerice, zbog većih protoka (poput požarnog opterećenja), mogu pojaviti nedostatni tlakovi, dok se s druge strane u uvjetima manje potrošnje (noćno razdoblje) mogu pojavljivati nepotrebno visoki tlakovi.“ [12]*

#### **6.4.2. Kontrolirani (hidraulički) redukcijski ventili**

Zbog nedostataka u radu opružnih ventila i razvoja tehnologije, razvijeni su hidraulički ventili. Omogućavaju konstantan nizvodni tlak te optimiziraju hidrauličke parametre u vodoopskrbnim mrežama.

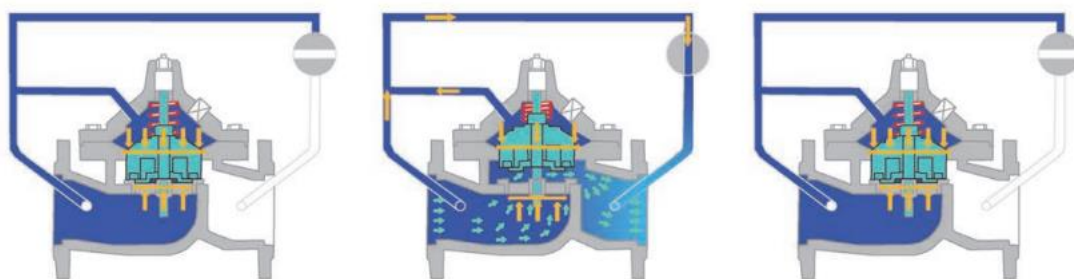
Princip rada hidrauličkih ventila opisan je u nastavku:

*„U početnim su uvjetima izjednačeni tlakovi u dolaznom cjevovodu i membranskoj komori pa je glavni membranski ventil zatvoren. Otvaranjem ventila na obilaznom vodu (uska kontrolna cijev) pokreće se protok u kontrolnoj cijevi i pritom se pojavljuju linijski i lokalni gubitci tlaka koji rezultiraju smanjenjem tlaka u membranskoj komori te se zbog razlike tlakova u dovodnoj cijevi i komori otvara glavni ventil. Kada se pokusni ventil zatvara, prestaje i protok kroz kontrolnu cijev, ne dolazi do gubitaka tlaka, izjednačavaju se tlakovi u dovodnoj cijevi i membranskoj komori pa se zbog veće površine sa strane membranske komore glavni ventil potiskuje i zatvara.“ [12]*

Kako je u ovom radu riječ o manjem naselju sa manjim protocima, odabire se opružni redukcijski ventil.

#### **6.5. Protupožarni hidranti**

Protupožarni hidranti su uređaji hidrantske mreže koji služe za opskrbljivanje vode za vrijeme požarnih situacija. Povezani su na vodoopskrbne mreže pomoću kojih crpe potrebne količine vode za gašenje požara.



Slika 19 Presjeci Hidrauličkog ventila [11]

Razlikujemo dvije vrste hidrantskih mreža:

- Unutarnja hidrantska mreža
- Vanjska hidrantska mreža

Unutarnja hidrantska mreža instalirana je u zatvorenim objektima sa izlaznim sustavom bubnja sa namotanim cijevima i mlaznicom. Takvu vrstu hidranta nazivamo unutarnjim zidnim hidrantom koji je obično smješten u zidni ormarić crvene boje. [13]



Slika 20 Zidni hidrant [13]

Vanjska hidrantska mreža se postavlja duž ulica kao i na drugim javnim mjestima u svrhu olakšanog pristupa vatrogasnim službama u rizičnim situacijama. Razlikujemo dva osnovna tipa izlaznih sustava vanjske hidrantske mreže:

- Nadzemni hidranti
- Podzemni hidranti





Slika 22 Nadzemni hidrant [14]



Slika 21 Podzemni hidrant [14]

Obično su upečatljive boje (plave, crvene i slično) radi lakšeg lociranja samog hidranta u požarnoj situaciji. Također, podzemni hidranti se dodatno obilježavaju pločicama obzirom da nisu vidljivi na površini. [13]

## 7. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj završni rad uvodno su predstavljene podaci cjelokupnog vodoopskrbnog sustava grada Rijeke veoma specifičnog po konfiguraciji terena te se čitatelju nude informacije o samoj vodoopskrbi grada Rijeke dužine od oko 783 km koja funkcionira i distribuira pitku vodu širem području grada i sjevernijim dijelovima otoka Krka. Kroz prvi dio rada specificira se lokalitet vodoopskrbne mreže za koji su određeni potrošači, a koji prostorno pripada naselju Drenova u Rijeci i naselju Marinići, općina Viškovo. Zatim su provedeni proračuni potrebnih količina vode za distribuciju zadanog naselja uzimajući u obzir i potrebne količine vode susjednih naselja Saršona, Marinića i Drenove koje se ne zadržavaju u zadanoj mreži već kroz nju prolaze i opskrbljuju navedena naselja. U obzir su uzete i količine vode za gašenje požara u iznosu od 10 l/s određenih Pravilnikom o hidrantskoj mreži potrebnih za požarne simulacije u krajnjim čvorovima mreže. U sklopu hidrauličkog proračuna vodoopskrbne mreže, odabrane su cijevi nodularnog lijeva čija apsolutna hrapavost iznosi 0,1 mm. Za odabrane cijevi izračunati su profili metodom nomograma za svaku dionicu mreže pojedinačno. S tim informacijama određeni su linijski gubici i brzine strujanja vode u cijevima te su dobivene vrijednosti tlakova svakog čvora mreže. Na osnovu tih podataka nacrtana je vodoopskrbna mreža u programu EPANET, te su računalno provjereni tlakovi mreže koji se podudaraju sa proračunom metode nomograma. U drugom dijelu završnog rada izvršene su simulacije požarnih situacija u programu EPANET za sve krajnje čvorove mreže. Simulacije su se vršile za svaki krajnji čvor pojedinačno. Čvorovi geografski bliži vodospremi Podbreg u simulacijama požarnih situacijama davali su zadovoljavajuće iznose tlakova u čvorovima bez mijenjanja profila cijevi, dok su udaljeniji čvorovi imali veće iznose tlakova u čvorovima koji su kasnije reducirani promjenom promjera cijevi i/ili postavljanjem redukcijskih ventila. Iz informacija geografskog položaja čvorova i njihovih nadmorskih visina u odnosu na vodospremu, može se uočiti ovisnost tlakova vodoopskrbne mreže o brzinama strujanja i linijskim gubicima vode u cijevima koji kao takvi predstavljaju ozbiljan faktor pri projektiranju. Kako rad u fokus stavlja simuliranje požarnih situacija, kroz rad su izučeni sustavi za reduciranje tlaka i hidranti za gašenje požara. Grafičkim priložima su predstavljene prikazi same situacije i uzdužnog presjeka analizirane mreže.

## LITERATURA

- [1] Grbac Živković R., Orešić D., Čanjevaca I., Suvremena vodoopskrba riječkog područja, <https://hrcak.srce.hr/file/68322>
- [2] Geoportal DGU, <https://geoportal.dgu.hr/>, pristup 14.09.2023.
- [3] Vuković, Ž.: Osnove hidrotehnike, Akvamarine, Zagreb, 1994.
- [4] PPUG Rijeka, <https://www.rijeka.hr teme-za-gradane/stanovanje-i-gradnja/urbanisticko-planiranje/prostorni-planovi/prostorni-plan-uredenja-grada-rijeka/>
- [5] GUP Rijeka, <https://www.rijeka.hr teme-za-gradane/stanovanje-i-gradnja/urbanisticko-planiranje/prostorni-planovi/generalni-urbanisticki-plan-grada-rijeka/>
- [6] PPUO Viškovo, <https://www.opcina-viskovo.hr/sidebar/prostorni-plan>
- [7] Državni zavod za statistiku (DZS), <https://dzs.gov.hr/>, pristup 14.09.2023.
- [8] Ured Turističkog informativnog centra grada Rijeka: Osobna komunikacija, 18. kolovoza 2023., Turistički informativni centar grada Rijeka, Rijeka, Hrvatska
- [9] Ured Turističke zajednice općine Viškovo: Osobna komunikacija, 18. kolovoza 2023., Turistička zajednica općine Viškovo, Viškovo, Hrvatska
- [10] Narodne novine, Pravilnik o hidrantskoj mreži za gašenje požara (NN 8/06), članak 16 stavka 1, članak 19 stavka 1 i 4, 18.01.2006.
- [11] Aquapromet d.o.o., Cijevi od nodularnog lijeva, Zagreb, <http://aquapromet.hr/cijevi-od-nodularnog-lijeva/>, pristup: 14.09.2023.
- [12] Vouk D., Poljak V., Kovač J., Jelić L., Utjecaj opružnog ventila na učinkovitost vodoopskrbnih sustava, Stručni rad, 10. 09. 2017 <https://hrcak.srce.hr/file/275070>, pristup 14.09.2023
- [13] Cindrić, D., Unutarnja i vanjska hidrantska mreža za gašenje požara, završni rad, Stručni studij sigurnosti i zaštite veleučilišta u Karlovcu, 2015. <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A109/datastream/PDF/view>, pristup: 14.09.2023.
- [14] Metalska industrija Varaždin d.d., Hidranti, <https://miv.hr/proizvodi/hidranti/>, pristup: 14.09.2023.

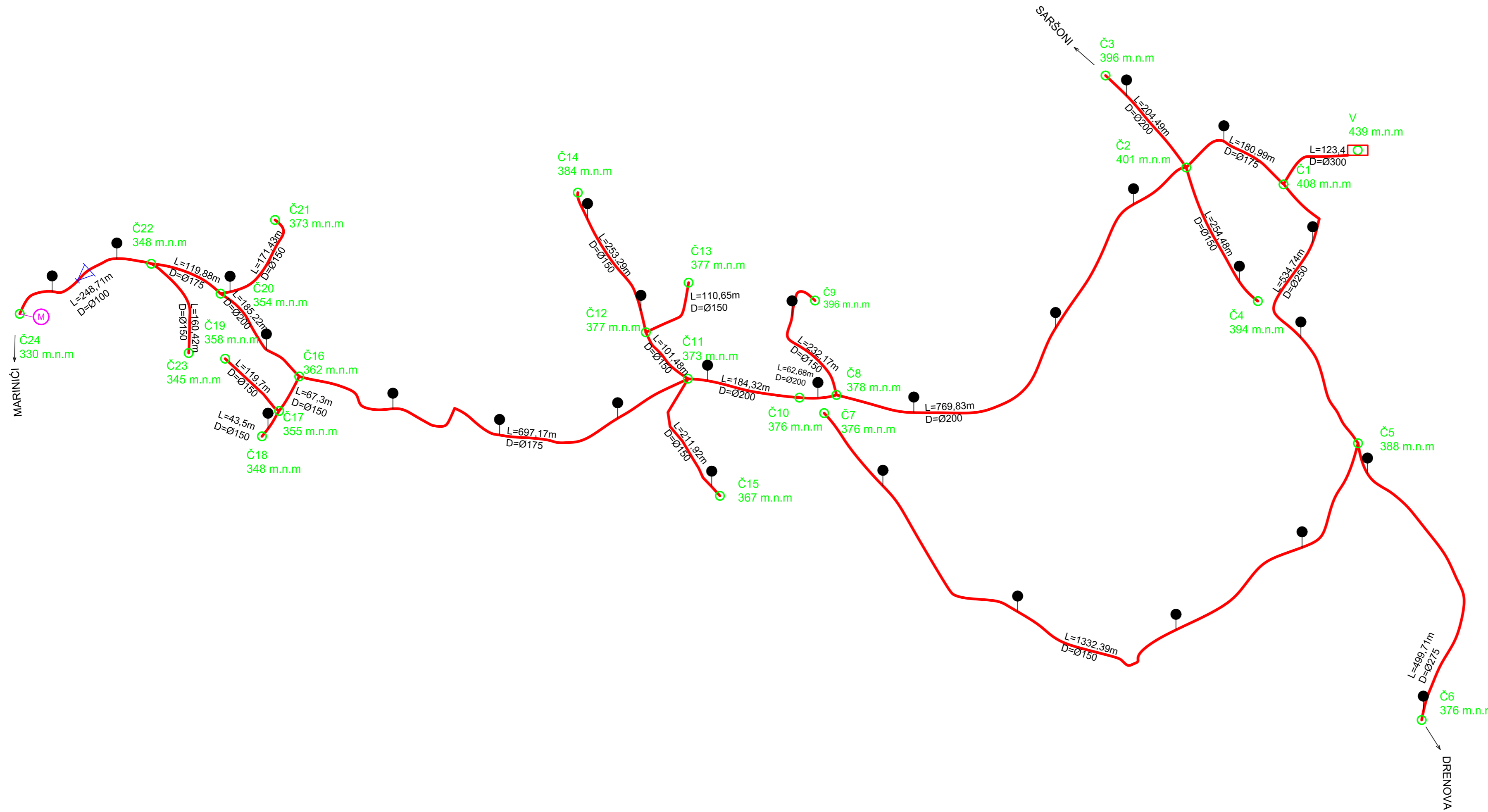
## **PRILOZI**

List 1: Situacijski prikaz vodoopskrbnog sustava, M 1:5000

List 2: Uzdužni presjek glavnog cjevovoda, M 1:500/5000

# SITUACIJSKI PRIKAZ VODOOPSKRBNOG SUSTAVA

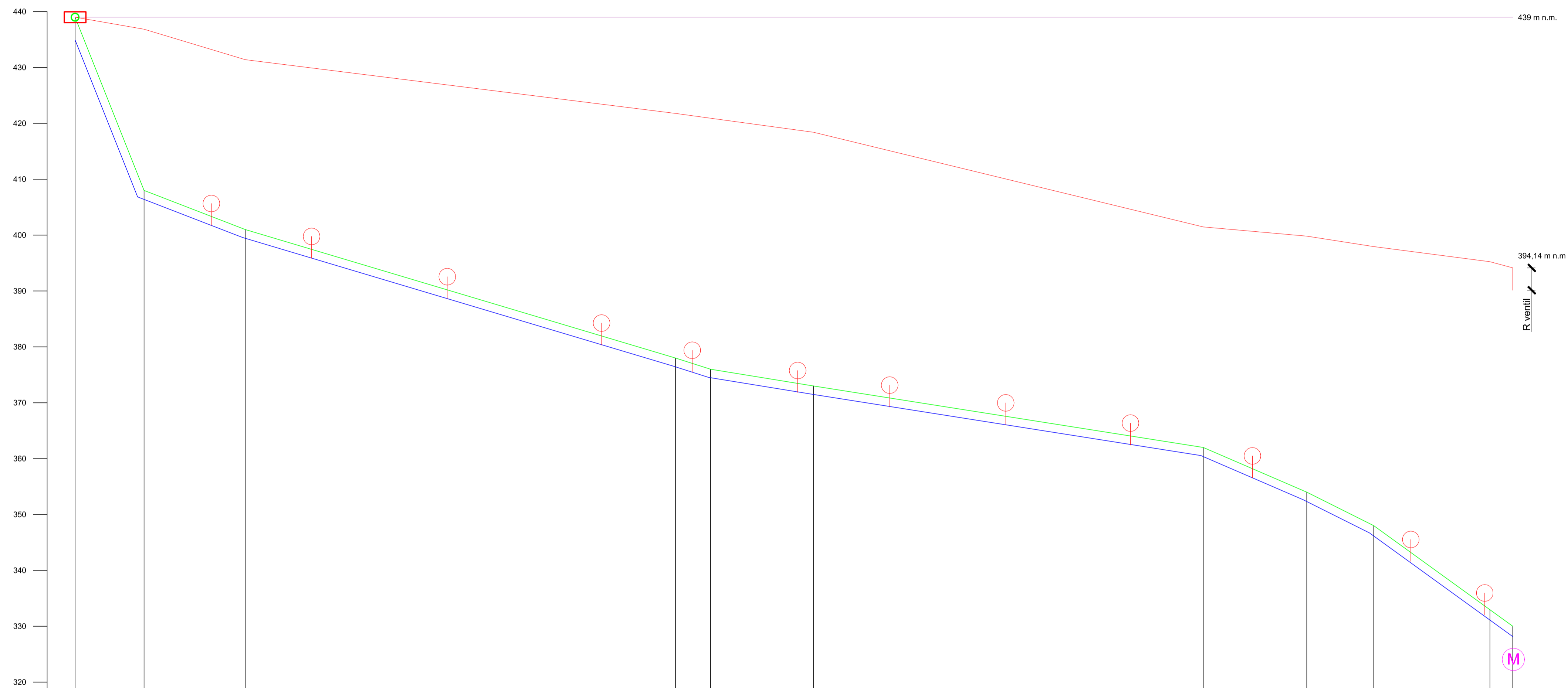
MJERILO 1: 5000



### LEGENDA:

- glavni cjevovod
- vodosprema
- čvor
- nadzemni hidrant
- M muljni ispust
- ▷ reducir ventil

|  |                    |   |            |
|--|--------------------|---|------------|
| GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI   |                    |   |            |
| Završni rad:<br><b>HIDRAULIČKI PRORAČUN<br/>VODOOPSKRIBNE MREŽE<br/>KORIŠTENJEM EPANET-A</b> |                    | Sadržaj nacрта:<br><b>SITUACIJSKI PRIKAZ<br/>VODOOPSKRIBNOG<br/>SUSTAVA</b> |            |
| Student:<br><b>Neira Mušić</b>   |                    | Kolegij:<br><b>Osnove hidrotehnike</b>                                      |            |
| Mentor:<br><b>dr.sc. Barbara Karleuša</b>  | Datum:<br>IX 2023. | Mjerilo:<br>1:5000  | List:<br>1 |



UZDUŽNI PRESJEK GLAVNOG CJEVOVODA  
MJERILO 1:500 / 5000

LEGENDA:

- vodosprema
- M muljni ispust
- hidrant
- hidrostatska linija
- linija tlaka
- linija kote terena
- linija dna rova

| Čvorovi                | vs       | C1       | C2       | C8       | C10      | C11      | C16      | C20      | C22      | CA       | C24      |         |         |        |       |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|--------|-------|
| Duljina dionice (m)    |          | 123,4    | 180,99   | 769,83   |          |          | 62,68    | 184,32   | 697,17   |          |          | 185,22  | 119,88  | 207,82 | 40,89 |
| Stacionaža (m)         | 0+000,00 | 0+123,40 | 0+304,39 | 1+074,22 | 1+136,90 | 1+321,22 | 2+018,39 | 2+203,61 | 2+323,49 | 2+531,31 | 2+572,20 |         |         |        |       |
| Kota terena (m n.m.)   | 439      | 408      | 401      | 378      | 376      | 373      | 362      | 354      | 348      | 332      | 330      |         |         |        |       |
| Kota dna rova (m n.m.) | 437,5    | 406,5    | 399,5    | 376,5    | 374,5    | 371,5    | 360,5    | 352,5    | 346,5    | 330,5    | 328,5    |         |         |        |       |
| Mat. i profil cijevi   |          | LŽ Ø300  | LŽ Ø175  | LŽ Ø200  |          |          | LŽ Ø200  | LŽ Ø200  | LŽ Ø175  | LŽ Ø200  | LŽ Ø175  | LŽ Ø150 | LŽ Ø100 |        |       |
| Dubina rova (m)        |          | 1,5      | 1,5      | 1,5      |          |          | 1,5      | 1,5      | 1,5      | 1,5      | 1,5      | 1,5     |         |        |       |
| Pad nivelete (‰)       |          | 251,22   | 38,68    | 29,88    |          |          | 31,91    | 16,28    | 15,78    |          |          | 43,19   | 50,05   | 72,37  | 72,37 |

GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI

|  |   |
|--|---|
| Završni rad:<br><b>HIDRAULIČKI PRORAČUN<br/>VODOOPSKRBNNE MREŽE<br/>KORIŠTENJEM EPANET-A</b> | Sadržaj nacrta:<br><b>UZDUŽNI PRESJEK<br/>GLAVNOG CJEVOVODA</b> |
|--|---|

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Student:<br><b>Neira Mušić</b> | Kolegij:<br><b>Osnove hidrotehnike</b> |
|--------------------------------|--|

|   |                    |                               |            |
|---|--------------------|-------------------------------|------------|
| Mentor:<br><b>dr.sc. Barbara Karleuša</b> | Datum:<br>IX 2023. | Mjerilo:<br>1:500 /<br>1:5000 | List:<br>2 |
|---|--------------------|-------------------------------|------------|