

Hidraulički proračun vodoopskrbne mreže korištenjem EPANET-a

Rosanda, Livio

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:157:828327>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-11**



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**

Livio Rosanda

Hidraulički proračun vodoopskrbne mreže korištenjem EPANET-a

Završni rad

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij
Osnove Hidrotehnike**

**Livio Rosanda
JMBAG: 0114033114**

Hidraulički proračun vodoopskrbne mreže korištenjem EPANET-a

Završni rad

Rijeka, srpanj 2023.

SAŽETAK

Zadatak ovog završnog rada je modeliranje vodoopskrbne mreže zadanog naselja korištenjem računalnog programa EPANET. Izrađen je hidraulički model vodoopskrbne mreže kojemu su zadane vrijednosti potrošnje vode u čvorovima. Provedene su različite računalne simulacije kojima se optimizira tlak u čvorovima, što predstavlja problem s kojim se susrećemo pri projektiranju vodoopskrbne mreže. U potrazi za optimalnim rješenjem analizirane su različite varijante vodoopskrbne mreže na način da se mijenjao profil cijevi, postavljaju se redukcijski ventili i crpke. Također je simulirana pojava požara u različitim čvorovima mreže. Provedenim simulacijama dobiveno je rješenje koje zadovoljava potrebe za vodom stanovništva i turista kao i potrebe za vodom za gašenje požara.

KLJUČNE RIJEČI: cijevi, čvorovi, EPANET, hidraulički model, protok, redukcija tlakova, vodoopskrba

ABSTRACT

The task of this final paper is to model the water supply network of the given settlement using the computer program EPANET. A hydraulic model of the water supply network was created, with values of water consumption in the nodes. Various computer simulations were carried out to optimize the pressure in the nodes, which is a problem we face when designing a water supply network. In search of an optimal solution, different variants of the water supply network were analyzed in such a way that the pipe profiles were changed, reduction valves and pumps were installed. The occurrence of fire in different nodes of the network was also simulated. Through simulations, a solution was obtained that meets the water needs of the population and tourists, as well as the needs for water for extinguishing fires.

KEY WORDS: pipes, junctions, EPANET, hydraulic model, flow, pressure reduction, water network

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. UVODNO O VODOOPSKRBI ZADANOG NASELJA	1
3. PRORAČUN KOLIČINE VODE ZA VODOOPSKRBU	4
3.1. Ukupan broj stanovnika	4
3.2. Broj turista u privatnom smještaju.....	4
3.3. Specifična potrošnja vode	4
3.4. Proračun mjerodavnih količina vode.....	5
4. HIDRAULIČKI PRORAČUN VODOOPSKRIBNE MREŽE	9
4.1. Granasta vodoopskrbna mreža	9
4.2. Određivanje mjerodavnih protoka.....	9
4.3. Lijevano - željezne cijevi	10
4.4. Dimenzioniranje granaste vodoopskrbne mreže	11
4.5. Provjera tlakova u čvorovima vodoopskrbne mreže.....	14
5. MODELIRANJE VODOOPSKRIBNOG SUSTAVA U PROGRAMU EPANET	16
5.1. Mogućnosti programa EPANET	16
5.2. Osnovni elementi simulacijskog modela	17
5.3. Primjena programa EPANET za analizu vodoopskrbne mreže	18
5.4. Analiza vodoopskrbne mreže u slučaju požara	21
5.5. Promjena profila cijevi.....	28
5.6. Postavljanje crpki.....	28
5.7. Analiza vodoopskrbne mreže nakon promjena promjera cijevi i dodane crpke.....	30
5.8. Postavljanje redukcijskih ventila	34
5.9. Analiza funkcioniranja vodoopskrbne mreže u slučaju kad nema požara	35
6. ZAKLJUČAK.....	38
LITERATURA	40
POPIS SLIKA	41
POPIS TABLICA.....	42

1. UVOD

U ovom završnom radu prikazano je modeliranje vodoopskrbne mreže zadanog naselja korištenjem računalnog programa EPANET. Rad obuhvaća proračun potrebnih količina vode za opskrbu stanovništva i turista, zadovoljenje potreba za gašenje požara te postavljanje zadane vodoopskrbne mreže i provedbu simulacija u EPANET-u.

Izrađen je hidraulički model vodoopskrbne mreže kojemu su zadane vrijednosti potrošnje vode u čvorovima. Provedene su različite računalne simulacije kojima se optimizira tlak u čvorovima, što predstavlja problem s kojim se susrećemo pri projektiranju vodoopskrbne mreže. U potrazi za optimalnim rješenjem analizirane su različite varijante vodoopskrbne mreže na način da se mijenjao profil cijevi, postavljali redukcijski ventili i crpke. Također je simulirana pojava požara u različitim čvorovima mreže. Provedenim simulacijama dobiveno je rješenje koje zadovoljava potrebe za vodom stanovništva i turista kao i potrebe za vodom za gašenje požara.

2. UVODNO O VODOOPSKRBI ZADANOG NASELJA

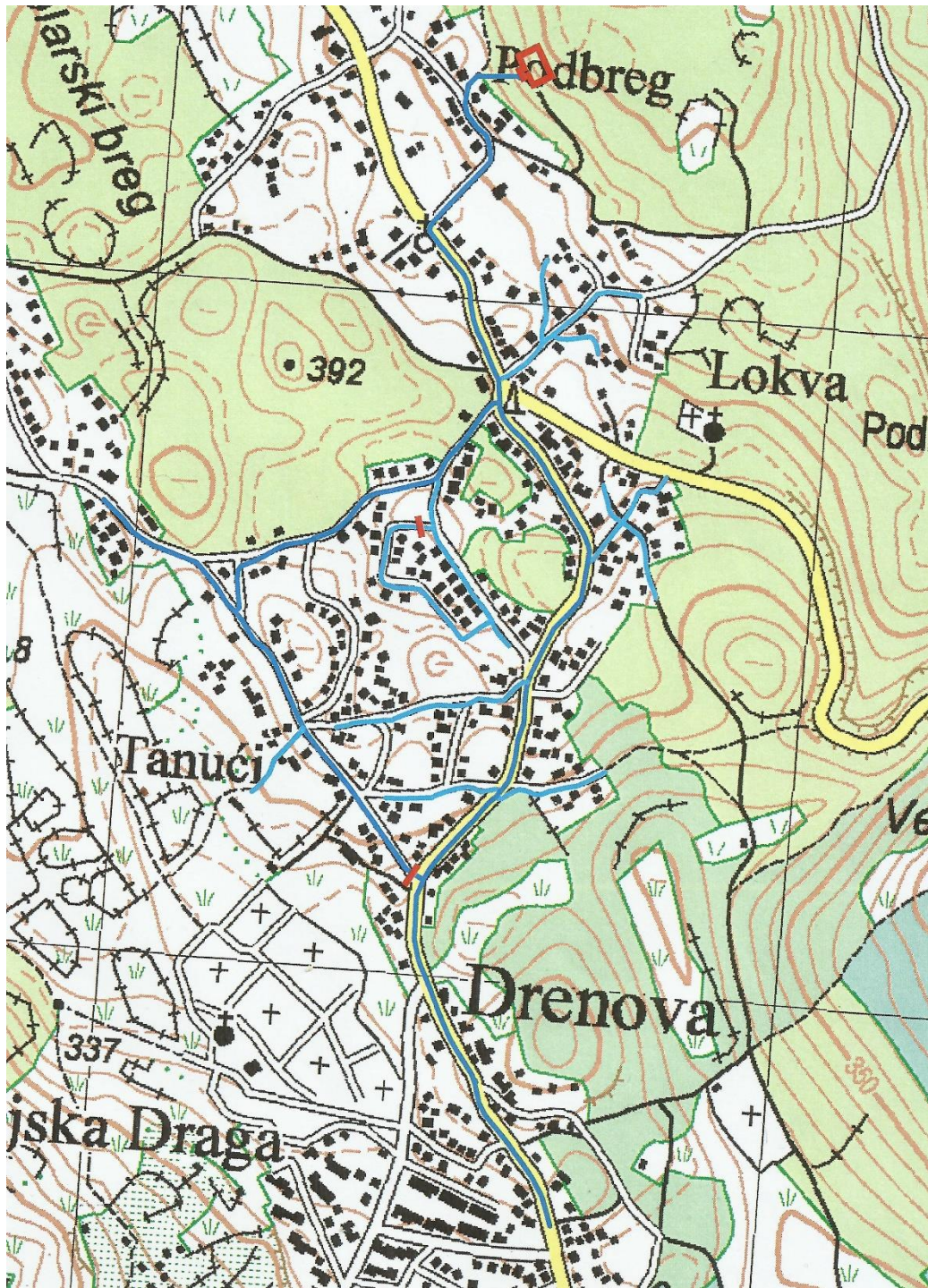
Za potrebe analiza mogućnosti korištenja računalnog programa EPANET izabran je dio naselja Gornja Drenova (Općina Viškovo). Općina Viškovo sastavni je dio vodoopskrbnog sustava Rijeka. Na području obuhvata plana postoje dva dijela vodoopskrbnog sustava. Vodosprema Podbreg sastavni je dio drugog dijela tog vodoopskrbnog sustava koji povezuje vodospreme Streljana – Podbreg – Saršoni – Marčelji – Klana. Zadana vodoopskrbna mreža nalazi se na području Gornje Drenove koje je spojeno na vodospremu Podbreg. Vodosprema je situirana na visini od 439 m n.m. dok je volumen vodospreme 1500 m³. Iz ove vodospreme gravitacijskim cjevovodom puni se vodosprema Kastav i napajaju crpke u CS Saršoni za dizanje vode u VS Saršon. [4]

Treba napomenuti da je za potrebe proračuna i simulacija provedenih u ovom radu analizirano osiguravanje potrebnih količina vode samo za dio naselja u označenom području (slika 1). Nisu se uzimale u proračun tranzitne količine koje samo prolaze kroz promatrano područje (putem vodoopskrbne mreže) kako bi se opskrbila vodom područja izvan označenog obuhvata.

Na Slici 1 prikazana je digitalna ortofoto podloga područja Gornje Drenove u uvećanom prikazu kako bi se bolje vidjelo promatrano područje za koje se rješava vodoopskrba. Na slici 2 vidljiva je zadana vodoopskrbna mreža koja će kasnije biti simulirana u softveru EPANET.



Slika 1: Digitalna ortofoto podloga dijela Gornje Drenove [3]



Slika 2: Zadana vodoopkrbna mreža

3. PRORAČUN KOLIČINE VODE ZA VODOOPSKRBU

Proračun količina vode proveden je prema literaturi [8].

3.1. Ukupan broj stanovnika

Prema Prostornom planu uređenja grada Rijeke [4], broj stanovnika 2001. godine na području prostorne cjeline Drenova iznosi 8 281, dok prema Generalnom urbanističkom planu uređenja grada Rijeke [5], broj stanovnika u prostornoj cjelini Drenova za 2001. godinu iznosi 6 352. Treba napomenuti da, zadana mreža ne pokriva cijelo područje naselja, već samo dio. (slika 1)

Uzevši u obzir sve navedeno, usvojeno je da je broj korisnika vodospreme Podbreg za potrebe analiza provedenih u ovom radu 4000. Nije se analiziralo povećanje broja stanovnika u budućnosti.

Broj stanovnika označen je s N_k .

3.2. Broj turista u privatnom smještaju

Podatak o broju turista u naselju usvojen je na osnovi podataka Turističkog informativnog centra grada Rijeke preuzetih osobnom komunikacijom. Na analiziranom području nalazi se 6 smještajnih objekata, prema čemu se zaključuje da je broj turista $N_{\text{turista}} = 25$ (broj kreveta u turističkim smještajnim jedinicama područja koje je opskrbljeno vodom iz vodospreme Podbreg). Struktura turista isključivo je u obliku privatnih smještaja, s obzirom da u naselju ne postoje hoteli i kampovi.

3.3. Specifična potrošnja vode

Na osnovu analize dosadašnjih podataka o potrošnji vode u općini Drenova, usvojene su količine dnevne potrošnje vode. Specifična potrošnja vode stanovništva je $q_{\text{sp.stan}}$, a $q_{\text{sp.t.SP}}$ je specifična potrošnja vode turista u privatnom smještaju (l/dan).

$$q_{\text{sp.stan.}} = 150 \text{ l/stan/dan}$$

$$q_{\text{sp.t.SP.}} = 150 \text{ l/tur/dan}$$

3.4. Proračun mjerodavnih količina vode

Srednja dnevna potrošnja vode

Srednja dnevna potrošnja vode $Q_{sr.dn.}$ izračunava se na temelju srednje potrošnje vode stanovnika tijekom godine.

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

$$Q_{sr.dn.stan.} = q_{sp.stan.} \times N_k = 150 \times 4000 = 600\,000 \text{ l/dan} = 6,94 \text{ l/s}$$

$$Q_{sp.t.P.S.} = q_{sp.stan.} \times N_k = 150 \times 25 = 3\,750 \text{ l/dan} = 0,04 \text{ l/s}$$

$Q_{sr.dn.}$ označava srednju dnevnu potrošnju vode za stanovništvo ili turiste (l/s)

Ukupna srednja dnevna potrošnja vode

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

$$Q_{uk.sr.dn.} = Q_{sr.dn.stan.} + Q_{sp.t.P.S.} = 600\,000 + 3\,750 = 603\,750 \text{ l/dan} = 6,98 \text{ l/s}$$

$Q_{uk.sr.dn.}$ označava ukupnu dnevnu potrošnju vode stanovništva i turista zajedno (l/s).

Maksimalna dnevna potrošnja vode

Maksimalna dnevna potrošnja $Q_{max.dn.}$ računa se prema izrazu:

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

$$Q_{max.dn.stan.} = K_{max.dn.stan.} \times Q_{sr.dn.stan.} = 1,6 \times 600\,000 = 960\,000 \text{ l/dan} = 11,11 \text{ l/s}$$

$$Q_{max.dn.t.P.S.} = K_{max.dn.t.P.S.} \times Q_{sr.dn.t.P.S.} = 1,6 \times 3\,750 = 6\,000 \text{ l/dan} = 0,07 \text{ l/s}$$

Gdje je: $Q_{max.dn.}$ maksimalna dnevna potrošnja vode za stanovništvo ili turiste (l/s) dok je

$K_{max.dn.}$ = koeficijent neravnomjernosti najveće dnevne potrošnje (određuje se iz tablice 1).

S obzirom da je mali broj turista u privatnom smještaju, uzet je jednak koeficijent kao za stanovništvo.

Tablica 1. Određivanje koeficijenta neravnomjernosti najveće dnevne i satne potrošnje[8]

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

Ukupna maksimalna dnevna potrošnja vode

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

$$Q_{\text{uk.max.dn.}} = Q_{\text{max.dn.stan}} + Q_{\text{max.dn.t.P.S.}} = 960\ 000 + 6\ 000 = 966\ 000 \text{ l/dan} = 11,18 \text{ l/s}$$

Gdje je $Q_{\text{uk.max.dn.}}$ ukupna maksimalna dnevna potrošnja vode stanovništva i turista zajedno (l/s).

Maksimalna satna potrošnja vode

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

Koeficijent $K_{\max.\text{h.}}$ označava koeficijent neravnomjernosti najveće satne potrošnje za sela i manja naselja i iznosi $K_{\max.\text{h.}} = 2$ (tablica 1)

$Q_{\max.\text{sat.}}$ je maksimalna satna potrošnja vode stanovništva ili turista (l/h).

$$Q_{\max.\text{sat.}\text{stan.}} = \frac{K_{\max.\text{h.}} \times Q_{\max.\text{dn.}}}{24} = \frac{2,0 \times 960\,000}{24} = 80\,000 \text{ l/h}$$

$$Q_{\max.\text{sat.}\text{t.P.S.}} = \frac{K_{\max.\text{h.}} \times Q_{\max.\text{dn.}}}{24} = \frac{2,0 \times 6\,000}{24} = 500 \text{ l/h}$$

Ukupna maksimalna satna potrošnja vode

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

$$Q_{\text{uk.}\max.\text{sat.}} = Q_{\max.\text{sat.}\text{stan.}} + Q_{\max.\text{sat.}\text{t.P.S.}} = 80\,000 + 500 = 80\,500 \text{ l/h} = 22,36 \text{ l/s}$$

Gdje je $Q_{\text{uk.}\max.\text{sat.}}$ ukupna maksimalna satna potrošnja vode stanovništva i turista zajedno (l/s).

Ukupna maksimalna dnevna potrošnja vode

S obzirom da u naselju ne postoji industrija, ukupna dnevna potrošnja vode jednaka je ukupnoj maksimalnoj dnevnoj potrošnji vode.

$$Q_{\text{uk.}\text{dn.}} = Q_{\text{uk.}\max.\text{dn.}} + Q_{\text{ind}} = 966\,000 \text{ l/dan} = 11,18 \text{ l/s}$$

Potrošnja vode za vlastite potrebe

Potrošnja vode za vlastite potrebe predstavlja 5-10% količine ukupne maksimalne dnevne potrošnje, ili 1-2% količine ukupne dnevne potrošnje:

$$Q_{\text{vl.}\text{potr.}} = 5 - 10 \% \times Q_{\text{uk.}\max.\text{dn.}} = 1 - 2 \% (Q_{\text{uk.}\text{dn.}})$$

Drugi slučaj uzima se kao mjerodavan s obzirom da se radi o malim količinama vode:

$$Q_{\text{vl.}\text{potr.}} = 0,02 \times 966\,000 = 19\,320 \text{ l/dan} = 0,22 \text{ l/s}$$

Potrošnja vode za gašenje požara

Zahtjevi za hidrantske mreže za gašenje požara i slučajevi u kojima se za zaštitu požara obavezno primjenjuje hidrantska mreža za gašenje požara propisano je Pravilnikom o hidrantskoj mreži za gašenje požara (NN 8/06).

“Udaljenost bilo koje vanjske točke građevine ili neke točke štice prostora i najbližeg hidranta ne smije biti veća od 80 m, niti manja od 5 m. Udaljenost između dvaju susjedna vanjska hidranta smije iznositi najviše 150 m, ako posebnim propisom nije drugačije određeno. U naseljima sa samostojećim obiteljskim kućama 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 odnosno 10 l/s.”

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

Gubici vode u vodovodnoj mreži

Gubici vode uzimaju se u odnosu na ukupnu maksimalnu dnevnu potrošnju vode, a se kreću u granicama:

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

U ovom slučaju, pretpostavljaju se izvrsni uvjeti vodovoda (novoizgrađena mreža):

$$Q_{\text{gubitci}} = 0,2 \times Q_{\text{uk.dn.}} = 0,2 \times 966\,000 = 193\,200 \text{ l/dan} = 2,24 \text{ l/s}$$

4. HIDRAULIČKI PRORAČUN VODOOPSKRBNE MREŽE

4.1. Granasta vodoopskrbna mreža

Granastu mrežu karakterizira tečenje samo u jednom smjeru, od vodospreme prema potrošačima. U hidrauličkom pogledu prednost je ovakve mreže što su podloge za njen proračun jednoznačno određene. Mane su joj sadržane u većim tlačnim gubicima i pojavi ustajale vode na krajevima, te u prekidu dotoka u slučaju kvara za sve potrošače iza mjesta kvara. [8]

Zadana vodoopskrbna mreža podijeljena je pomoću čvorova koji su povezani dionicama. Čvorovi su dijelovi vodoopskrbne mreže u kojima su, zbog jednostavnosti proračuna, raspoređeni stanovnici i turisti vidljivi u tablici 2.

4.2. Određivanje mjerodavnih protoka

Mjerodavne protoke određujemo tako da zbrojimo vlastite, tranzitne i protoke potrebne za gašenje požara u čvorovima.

S obzirom da je opskrbna norma za stanovništvo i turiste u privatnom smještaju ista, kao i koeficijent neravnomjernosti potrošnje, mjerodavne količine određuju se zajedno. Stanovništvo te turisti zajedno se raspoređuju po čvorovima, a njihov ukupan zbroj mora biti jednak zbroju konačnog broja stanovništva i turista ($N_k + N_{\text{turista}}$).

Specifičnu potrošnju vode po stanovniku, odnosno turistu računamo prema formuli:

$$q'_{\text{spec.st. + t.P.S.}} = \frac{Q_{\text{max.sat.stan.}} + Q_{\text{max.sat.t.P.S.}}}{N_k + N_{\text{turista}}}$$

$$q'_{\text{spec.st. + t.P.S.}} = \frac{22,36}{4000+25} = 0,0056 \text{ l/stanovnik (turist) /s}$$

Vlastiti protok stanovnika i turista ($Q_{\text{vl.st.+ t.P.S.}}$) predstavlja umnožak specifične potrošnje vode i broja stanovnika i turista u pojedinom čvoru. Suma vlastitog protoka svih dionica mora biti jednaka ukupnoj maksimalnoj satnoj potrošnji koja iznosi $Q_{\text{uk.max.sat.}} = 22,36 \text{ l/s}$.

Tranzitni protok je protok koji obuhvaća svu vodu koja protječe kroz čvor za potrebe daljnjih čvorova mreže.

Ukupni protok za pojedinu dionicu predstavlja zbroj vlastitog i tranzitnog protoka te dionice. Također, ukupni protok dionice od vodospreme do prvog čvora ($Q_{uk.V-1}$) mora biti jednak ukupnoj maksimalnoj satnoj potrošnji $Q_{uk.max.sat} = 22,36 \text{ l/s}$.

4.3. Lijeвано - željezne cijevi

Lijeвано - željezne cijevi koje se danas najviše koriste proizvode se tzv. duktilnim lijevom. Stoga se nazivaju duktilne cijevi ili cijevi od nodularnog lijeva. Prednosti ovih cijevi su veća otpornosti prema vanjskim utjecajima (udarcima, koroziji) i unutarnjim utjecajima (tlaku), te trajnost cijevi. Duktilne cijevi unutarnjeg su promjera od 50 do 1800 mm i uobičajene duljine 5-6 m. Fazonski komadi koji se najčešće koriste, proizvode se od lijevanog željeza.

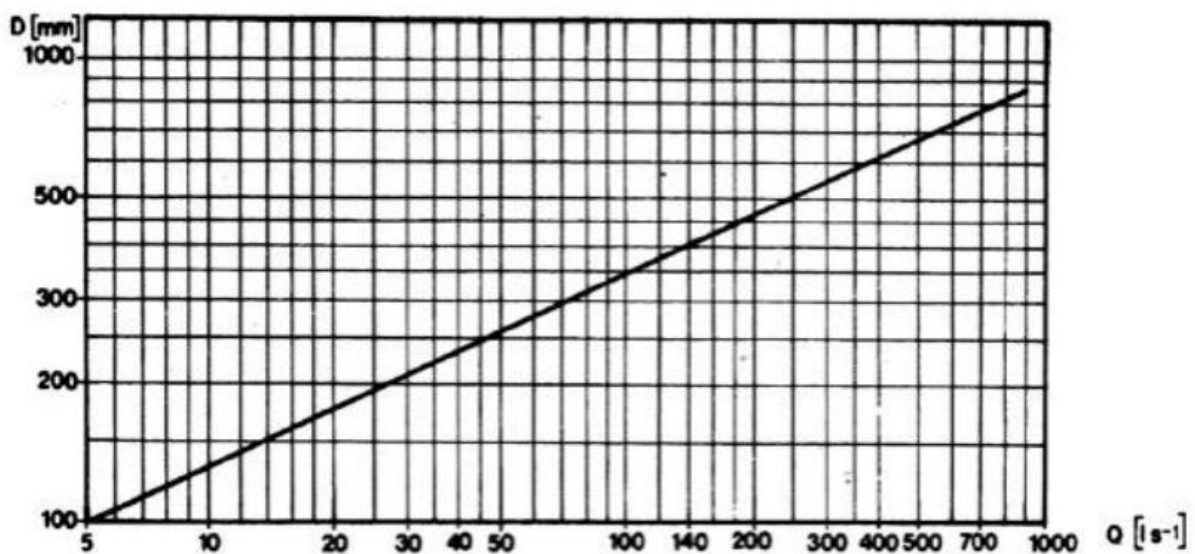
Prilikom izvedbe vodoopskrbne mreže potrebno je svladati promjene pravca, profila i vrste spojeva, te izvesti ogranke. To se izvodi korištenjem posebnih komada: oblikovnih ili fazonskih komada. Vodovodne armature su u pravilu od lijevanog željeza i čelika, istih nazivnih promjera i tlakova kao i vodovodne cijevi. [6]



Slika 3: Lijeвано – željezne cijevi [7]

4.4. Dimenzioniranje granaste vodoopskrbne mreže

Dimenzioniranje početne granaste vodoopskrbne mreže je provedeno pomoću nomograma, nakon čega će se koristiti program EPANET za daljnju analizu mreže. Iz dijagrama ovisnosti unutarnjeg promjera cjevovoda i protoka (slika 4) određuje se promjer cjevovoda za prethodno izračunate mjerodavne protoke u dionicama cjevovoda. Podaci o zadanoj vodoopskrbnoj mreži, odnosno duljine dionica, broj stanovnika i turista, potrošnja te mjerodavni protoci prikazani su u tablici 2. Također, u tablici 3 prikazani su očitani parametri dimenzioniranja vodoopskrbne mreže.



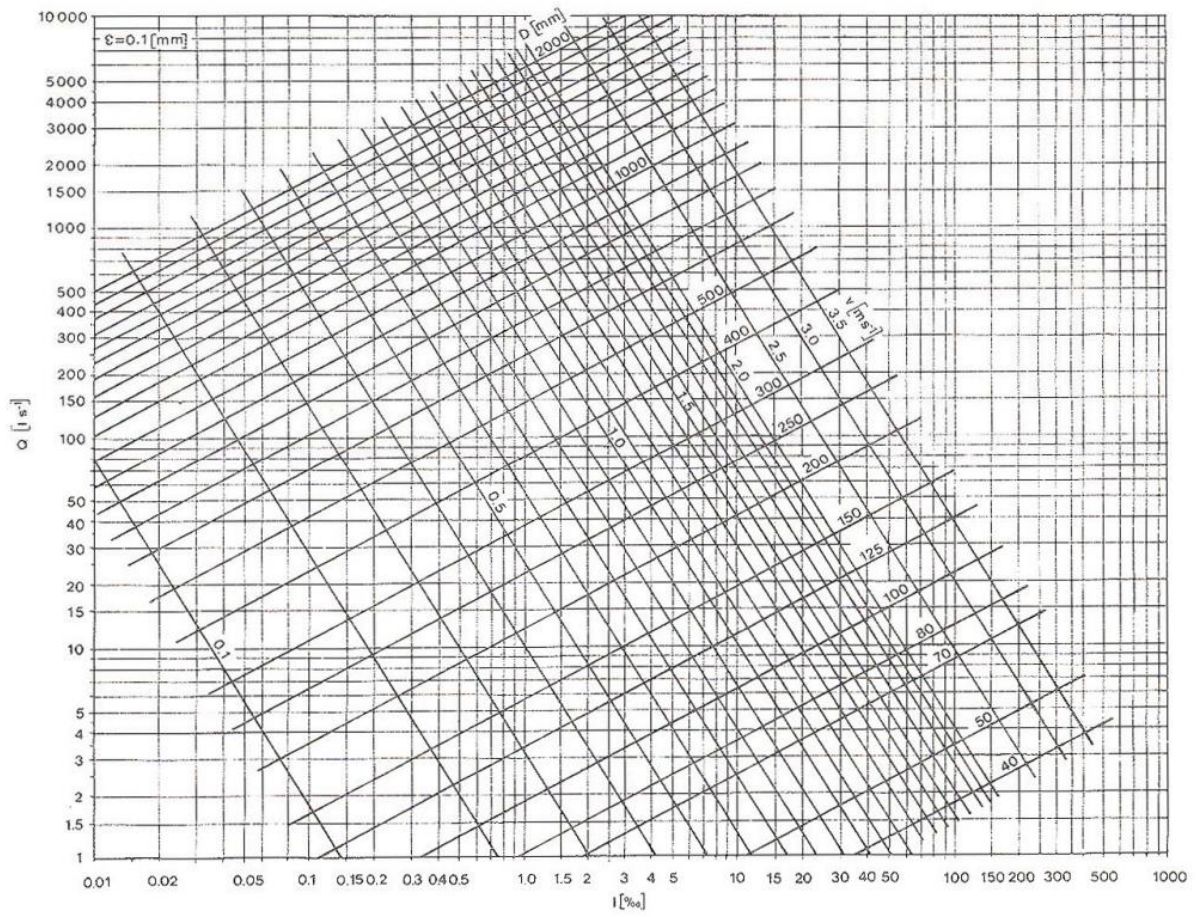
Slika 4: Dijagram ovisnosti unutarnjeg promjera cjevovoda i protoka [8]

Nakon što su određeni unutarnji promjeri cjevovoda, očitava se brzina vode u cijevima i pad piezometarske linije pomoću nomograma (slika 5).

Linijski gubitci za pojedine dionice računaju se prema formuli [8]:

$$\Delta h_{tr} = I \times \frac{L}{1000} \text{ (m)}$$

Gdje I označava pad piezometarske linije (‰), a L duljinu dionice (m)



Slika 5: Nomogram hidrauličkih parametara za okrugle cijevi [8]

Tablica 2: Mjerodavni protoci u mreži

ODREĐIVANJE MJERODAVNIH PROTOKA										
Oznaka dionice		Dužina dionice [m]	Čvor	Broj stan. + turista u P.S.	q spec stan. + P.S.	Qvl stan. + P.S.	Qvl.uk. [l/s]	Qtr [l/s]	Quk [l/s]	Qmj [l/s]
V	1	482	1	0	0,0056	0,00	0,00	22,54	22,54	22,54
1	2	272	2	220	0,0056	1,23	1,23	21,31	22,54	22,54
2	3	103	3	90	0,0056	0,50	0,50	1,40	1,90	1,90
3	4	129	4	70	0,0056	0,39	0,39	0,00	0,39	0,39
3	5	174	5	110	0,0056	0,62	0,62	0,00	0,62	0,62
3	6	91	6	70	0,0056	0,39	0,39	0,00	0,39	0,39
2	7	50	7	35	0,0056	0,20	0,20	19,21	19,40	19,40
7	8	141	8	110	0,0056	0,62	0,62	7,22	7,84	7,84
8	9	243	9	180	0,0056	1,01	1,01	1,93	2,94	2,94
9	10	41	10	55	0,0056	0,31	0,31	0,00	0,31	0,31
9	11	355	11	290	0,0056	1,62	1,62	0,00	1,62	1,62
8	12	411	12	220	0,0056	1,23	1,23	3,05	4,28	4,28
12	13	154	13	90	0,0056	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50
12	14	214	14	145	0,0056	0,81	0,81	1,74	2,55	2,55
14	15	84	15	80	0,0056	0,45	0,45	0,00	0,45	0,45
14	16	288	16	230	0,0056	1,29	1,29	0,00	1,29	1,29
7	17	278	17	300	0,0056	1,68	1,68	9,69	11,37	11,37
17	18	82	18	55	0,0056	0,31	0,31	1,74	2,04	2,04
18	19	78	19	55	0,0056	0,31	0,31	0,00	0,31	0,31
18	20	93	20	70	0,0056	0,39	0,39	0,00	0,39	0,39
18	21	126	21	185	0,0056	1,04	1,04	0,00	1,04	1,04
17	22	195	22	220	0,0056	1,23	1,23	6,41	7,64	7,64
22	23	298	23	270	0,0056	1,51	1,51	0,00	1,51	1,51
22	24	178	24	220	0,0056	1,23	1,23	3,67	4,90	4,90
24	25	154	25	145	0,0056	0,81	0,81	0,00	0,81	0,81
24	26	195	26	180	0,0056	1,01	1,01	0,00	1,01	1,01
24	27	362	27	330	0,0056	1,85	1,85	0,00	1,85	1,85
UKUPNO				4025			22,54		22,54	

Tablica 3: Dimenzioniranje vodoopskrbne mreže

DIMENZIONIRANJE MREŽE							
Oznaka dionice	Dužina dionice [m]	Qmjerodav no [l/s]	Profil cijevi D [mm]	Brzina vode [m/s]	Pad piez. Linije I [%]	Linijski gubitci [m]	
V	1	482	22,54	200	0,78	3,4	1,64
1	2	272	22,54	200	0,78	3,4	0,92
2	3	103	1,90	100	0,27	1	0,10
3	4	129	0,39	100	0,15	0,35	0,05
3	5	174	0,62	100	0,15	0,35	0,06
3	6	91	0,39	100	0,15	0,35	0,03
2	7	50	19,40	200	0,62	2,4	0,12
7	8	141	7,84	125	0,7	4,8	0,68
8	9	243	2,94	100	0,78	4,8	1,17
9	10	41	0,31	100	0,15	0,35	0,01
9	11	355	1,62	100	0,22	0,75	0,27
8	12	411	4,28	100	0,6	4,8	1,97
12	13	154	0,50	100	0,15	0,35	0,05
12	14	214	2,55	100	0,35	1,75	0,37
14	15	84	0,45	100	0,15	0,35	0,03
14	16	288	1,29	100	0,18	0,5	0,14
7	17	278	11,37	150	0,65	3,4	0,95
17	18	82	2,04	100	0,29	1,2	0,10
18	19	78	0,31	100	0,15	0,35	0,03
18	20	93	0,39	100	0,15	0,35	0,03
18	21	126	1,04	100	0,15	0,35	0,04
17	22	195	7,64	125	0,68	4,5	0,88
22	23	298	1,51	100	0,12	0,7	0,21
22	24	178	4,90	100	0,68	6	1,07
24	25	154	0,81	100	0,15	0,35	0,05
24	26	195	1,01	100	0,15	0,35	0,07
24	27	362	1,85	100	0,15	0,9	0,33

4.5. Provjera tlakova u čvorovima vodoopskrbne mreže

Nadmorske visine za svaki pojedini čvor prikazane su u tablici 4, a očitane su iz softvera Google Earth Pro. Kota piezometarske linije izračunata je na način da se od visine vode u vodospremi Podbreg (439 m n.m.) oduzmu svi linijski gubitci na pravcu od vodospreme do određenog čvora. Tlak u svakom čvoru je vrijednost koja predstavlja kotu piezometarske linije umanjenu za nadmorsku visinu čvora.

U mreži moraju biti osigurani tlakovi u čvoru od 25 m v.st. do 60 m v.st, odnosno od 2.5 do 6 bara. U tablici 4 crvenom bojom označeni su tlakovi koji su niži od 2.5 bara ili prelaze 6 bara i ne zadovoljavaju uvjet: $25 \text{ m v.st.} < p < 60 \text{ m v.st.}$

Tablica 4: Tlakovi u vodoopskrbnoj mreži

PROVJERA TLAKOVA U VODOOPSKRBJNOJ MREŽI						
Oznaka dionice		Čvor	Linijski gubitci [m]	Nadmorska visina [m n.m.]	Kota piezometarske linije [m n.m.]	Tlak u čvoru [m v.st.]
V	1	1	1.64	394	437.36	43.36
1	2	2	0.92	389	436.44	47.44
2	3	3	0.10	394	436.33	42.33
3	4	4	0.05	410	436.29	26.29
3	5	5	0.06	418	436.27	18.27
3	6	6	0.03	392	436.30	44.30
2	7	7	0.12	388	436.32	48.32
7	8	8	0.68	386	435.64	49.64
8	9	9	1.17	381	434.47	53.47
9	10	10	0.01	378	434.46	56.46
9	11	11	0.27	390	434.21	44.21
8	12	12	1.97	362	433.67	71.67
12	13	13	0.05	364	433.61	69.61
12	14	14	0.37	360	433.29	73.29
14	15	15	0.03	353	433.26	80.26
14	16	16	0.14	340	433.15	93.15
7	17	17	0.95	375	435.37	60.37
17	18	18	0.10	375	435.27	60.27
18	19	19	0.03	384	435.25	51.25
18	20	20	0.03	378	435.24	57.24
18	21	21	0.04	358	435.23	77.23
17	22	22	0.88	374	434.49	60.49
22	23	23	0.21	368	434.29	66.29
22	24	24	1.07	351	433.43	82.43
24	25	25	0.05	340	433.37	93.37
24	26	26	0.07	357	433.36	76.36
24	27	27	0.33	335	433.10	98.10
				25	MINIMALNI TLAK	18.27
				60	MAKSIMALNI TLAK	98.10

Zbog nezadovoljavajućih tlakova, potrebna je redukcija te povećanje tlakova u čvorovima označenima crvenom bojom. Povećanje tlakova provodi se postavljanjem crpke dok se redukcija tlakova postiže smanjenjem promjera cijevi te pomoću redukcijskih ventila.

5. MODELIRANJE VODOOPSKRBNOG SUSTAVA U PROGRAMU EPANET

5.1. Mogućnosti programa EPANET

EPANET je računalni program koji se koristi diljem svijeta za modeliranje sustava distribucije vode. Razvijen je od strane EPA-e (Američka Agencija za Zaštitu Okoliša) 1990-ih kojoj je bio potreban kako bi bolje razumjela procese prijenosa kvalitete vode u vodoopskrbnim sustavima pitke vode. Koristi se kao alat za razumijevanje kretanja pitke vode unutar distribucijskih sustava i može se koristiti za mnoge različite vrste aplikacija u analizi distribucijskih sustava. Danas se koristi za projektiranje i dimenzioniranje nove vodne infrastrukture, rekonstrukciju postojeće infrastrukture, optimiziranje rada spremnika i crpki, smanjenje potrošnje energije, istraživanje problema s kvalitetom vode i pripremu za hitne slučajeve. Također, može se koristiti za modeliranje prijetnji onečišćenja i procjenu otpornosti na sigurnosne prijetnje ili prirodne katastrofe.

Koristeći EPANET, korisnici mogu izvesti simulaciju hidrauličkog ponašanja i kvalitete vode u produljenom razdoblju unutar mreža cijevi pod tlakom. Mreža se sastoji od vodospreme, čvorova, cijevi koje spajaju čvorove, crpki te redukcijskih ventila. EPANET prati protok vode u svakoj cijevi, tlak na svakom čvoru, visinu vode u svakom spremniku i koncentraciju kemijske tvari u cijeloj mreži. Program je dostupan za preuzimanje s stranice EPA-e te besplatan za korištenje a u ovom radu korišten je EPANET verzije 2.2.

Korisničko sučelje EPANET-a pruža vizualni uređivač mreže koji pojednostavljuje proces izgradnje modela cijevne mreže i uređivanje njihovih svojstava i podataka. Različiti alati za izvješćivanje podataka i vizualizaciju koriste se kao pomoć u tumačenju rezultata analize mreže, uključujući mrežne karte označene bojama, podatkovne tablice, potrošnju energije, reakciju, kalibraciju, grafikone vremenskih nizova te dijagrame profila i kontura. [9]

5.2. Osnovni elementi simulacijskog modela

Pri samoj izvedbi vodoopskrbne mreže u EPANET-u postoje određeni elementi koji definiraju kako bi se mogla provesti simulacija. Elementi simulacije vodoopskrbne mreže koje je potrebno definirati navedeni su u nastavku.

Čvorovi (eng. Junctions) koji predstavljaju mjesta potrošnje vode unutar vodoopskrbne mreže. Definirani su pomoću sljedećih parametara:

- Redni broj
- Kota terena (apsolutna visina)
- Vrijednost potrošnje vode korisnika mreže

Cijevi (eng. Pipes) koje povezuju čvorove mreža. Definirane su sljedećim parametrima:

- Redni broj
- Dužina cijevi [m]
- Promjer cijevi [mm]
- Koeficijent hrapavosti [mm]

Vodosprema (eng. Reservoir) definirana je:

- Energetskom visinom
- Dijagramom koji određuje promjenu tlačne visine u vremenu

Crpke (eng. Pumps) koje su definirane pomoći sljedećih parametara:

- Početni i krajnji čvor
- Snaga crpke [kW]

Redukcijski ventili (eng. Valves) definirani su parametrima:

- Početni i krajnji čvor
- Vrijednost tlaka u čvoru za koji se postavlja ventil

5.3. Primjena programa EPANET za analizu vodoopskrbne mreže

Za potrebe ovog završnog rada u programu EPANET nacrtana je zadana vodoopskrbna mreža. Mreža se sastoji od vodospreme u kojoj je pohranjena voda, cijevi kojima voda teče do krajnjih korisnika te čvorova. Kako bi izračunali tlakove, potrebno je prikupiti podatke o protocima u čvorovima mreže, geometrijske podatke o cijevima kao što su promjer cijevi, materijal cijevi, duljina cijevi, trenje, pad nivelete i slično. Podatci koji se koriste za određivanje projektiranih tlakova nemaju u sebi uključene gubitke koji se mogu javljati zbog propuštanja vode na spojevima, ne ispravnosti cijevi, ilegalnog korištenja vode iz sustava i slično.

Zadaju se visinske kote terena i potrošnja vode u čvorovima, dok se za cijevi zadaju promjeri i hrapavost. Korišteni su isti podaci koji su prethodno korišteni u proračunu metodom nomograma. Duljine cijevi program EPANET automatski računa nakon što se povežu dionice između čvorova. Nakon što su upisane odgovarajuće vrijednosti, program omogućuje pregled pritiska u čvorovima. Na slici 7 prikazana je početna vodoopskrbna mreža u programu EPANET. Ako se usporede prikazani tlakovi s tlakovima koji su dobiveni metodom nomograma, vidljivo je da su vrijednosti identične. Legenda koja je priložena uz samu vodoopskrbnu mrežu na slici 7 prikazuje kako su raspoređeni pritisci u čvorovima, u različitim rasponima s pripadajućim bojama.

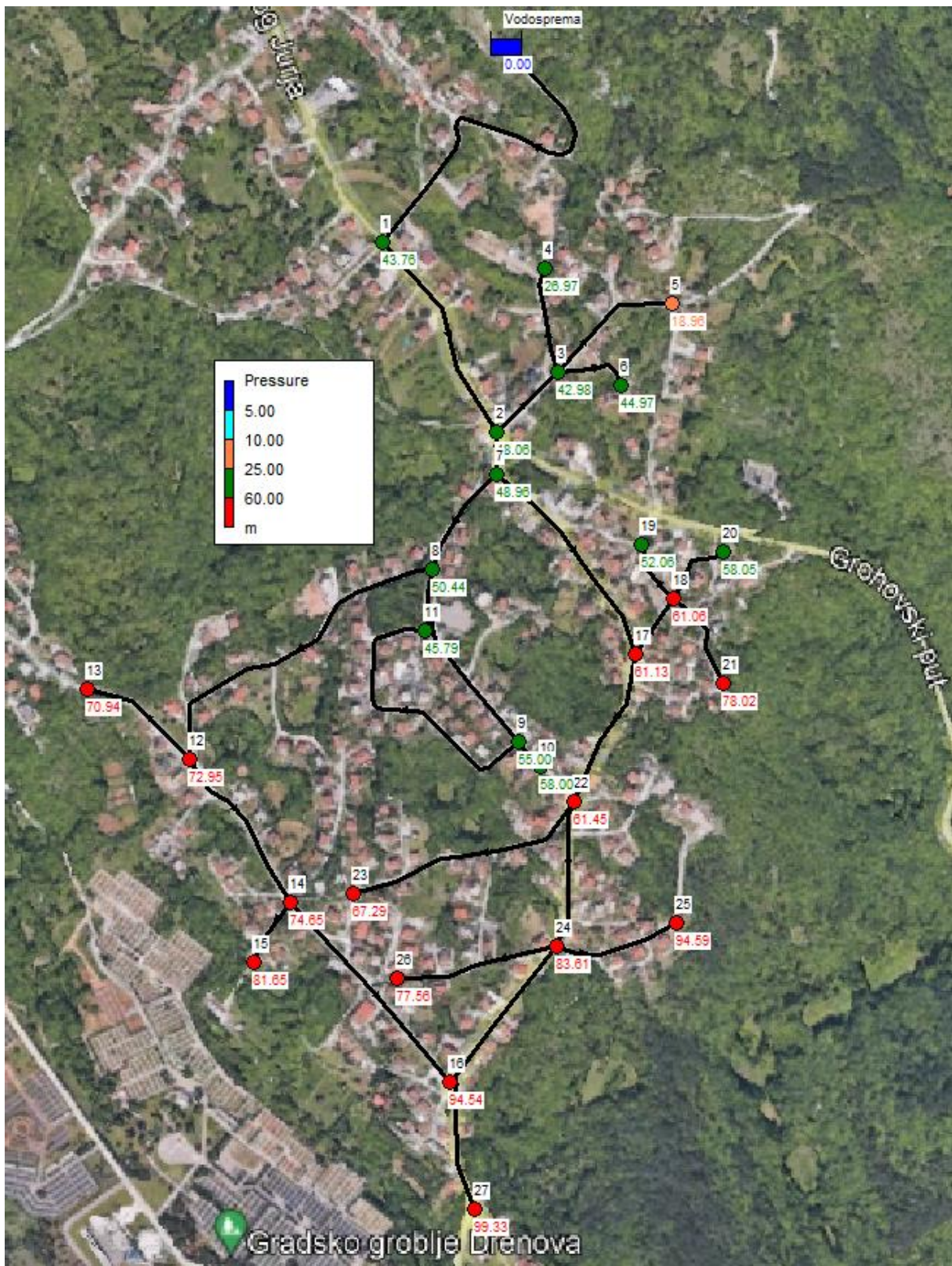
U nastavku je izvršena simulacija vodoopskrbnog sustava u dva slučaja:

- Analiza vodoopskrbne mreže s zadanom proračunatom potrošnjom vode stanovništva i turista za svaki pojedini čvor uz dodatak zahtjeva za zaštitu od požara koji iznosi 10 l/s
- Analiza vodoopskrbne mreže samo sa zadanom proračunatom potrošnjom vode stanovništva i turista za svaki pojedini čvor bez dodatka zahtjeva za zaštitu od požara

Na slici 6 prikazano je na koji način se zadaju karakteristike čvorova i cijevi vodoopskrbne mreže u EPANET-u.

Junction 2		Pipe 1-2	
Property	Value	Property	Value
*Junction ID	2	*Pipe ID	1-2
X-Coordinate	455186.894	*Start Node	1
Y-Coordinate	5023320.816	*End Node	2
Description		Description	
Tag		Tag	
*Elevation	389	*Length	272.16
Base Demand	1.232	*Diameter	200
Demand Pattern		*Roughness	0.1
Demand Category	1	Loss Coeff.	0
Emitter Coeff.		Initial Status	Open
Initial Quality		Bulk Coeff.	
Source Quality		Wall Coeff.	
Actual Demand	1.23	Flow	22.54
Total Head	437.06	Velocity	0.72
Pressure	48.06	Unit Headloss	2.57
Quality	0.00	Friction Factor	0.020
		Reaction Rate	0.00

Slika 6: Upisivanje karakteristika čvorova i cijevi

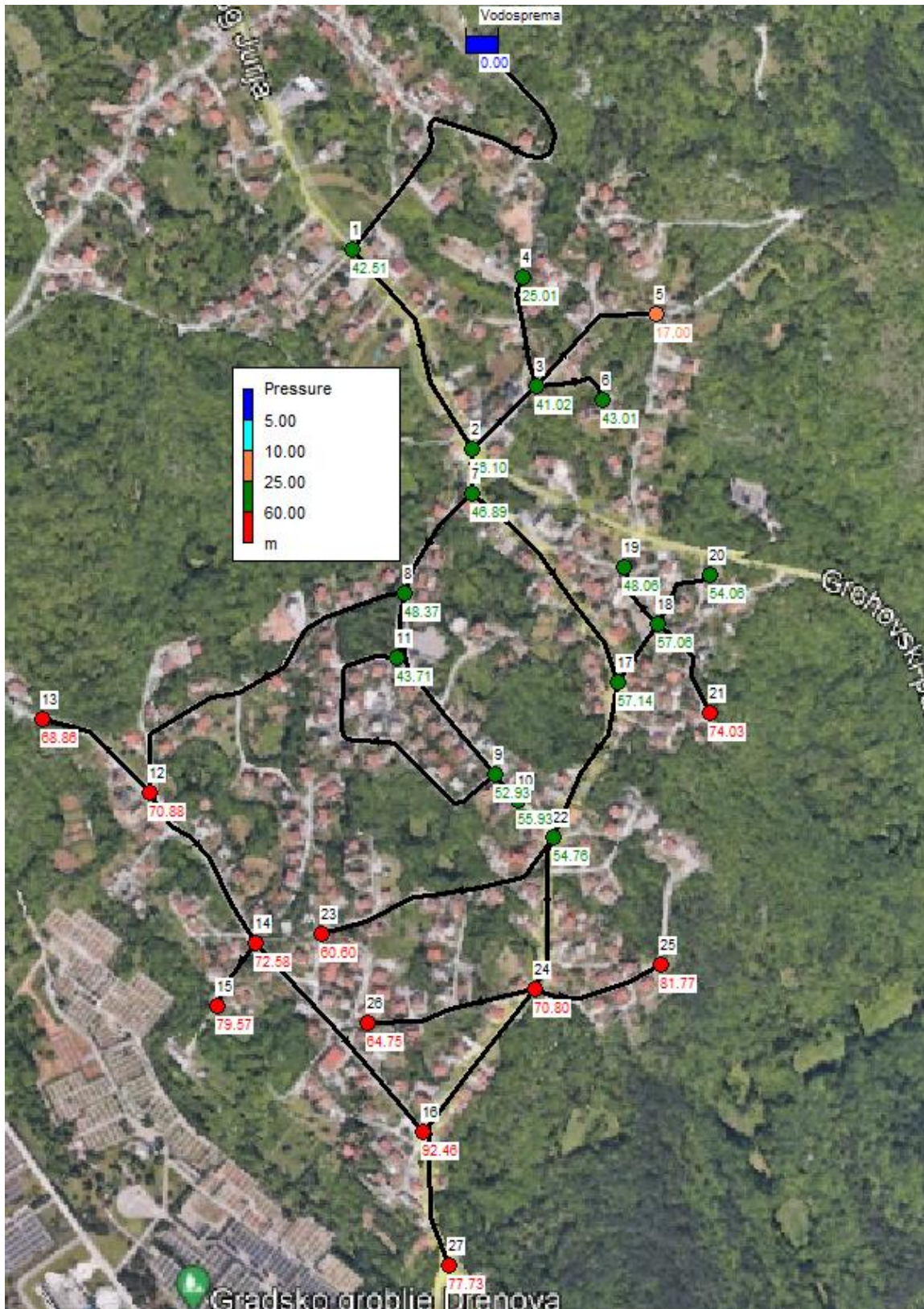


Slika 7: Početna vodoopskrbna mreža s pritiscima

Nakon što su zadane vrijednosti, na slici 7 vidljivi su pritisci u čvorovima. Simulacijom je potvrđen zaključak da je potrebna redukcija tlakovima u čvorovima označenima crvenom bojom gdje su tlakovi preniski te povećanje tlaka u čvoru 5 koji je označen narančastom bojom. Već ovdje jasno je da vodoopskrbna mreža ne zadovoljava tražene zahtjeve te se u optimizaciju kreće odmah sa osiguravanjem količina i pritiska za potrebe gašenja požara.

5.4. Analiza vodoopskrbne mreže u slučaju požara

Nakon što su određeni promjeri cijevi te tlakovi u mreži za situaciju koja ne uzima u obzir zahtjeve za požar, potrebno je testirati krajnje čvorove mreže na požarnu situaciju od $Q = 10$ l/s. Kako bi točnije odredili koliko je moguće smanjiti cijevi te tlakove u samim cijevima dodajemo zahtjev od 10 l/s u čvorove 27, 16, 11, 20, 5, 25 gdje radimo svaku simulaciju posebno. Požarne simulacije prikazane su na slikama 8 - 13. Za požarne situacije u čvorovima 27 i 16 priložene su tablice 5 i 6 u kojima su prikazane dobivene vrijednosti protoka i brzine vode u cijevima te potrošnja i pritisci u čvorovima.



Slika 8: Požarna situacija u čvoru 27

Tablica 5: Tlakovi u vodoopskrbnoj mreži za požarnu situaciju u čvoru 27

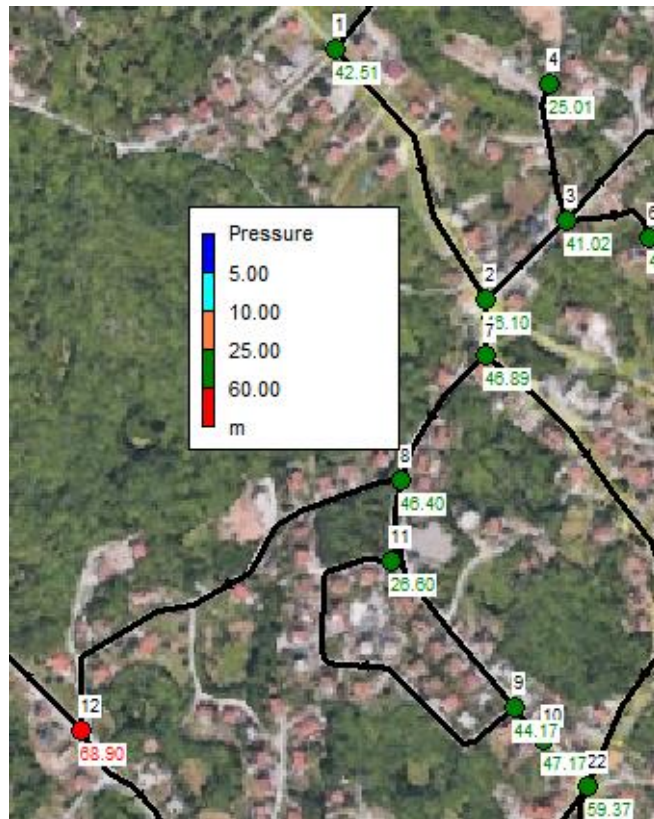
CIJEVI					ČVORVI			
Oznaka dionice		Qmjerodavno [l/s]	Profil cijevi D [mm]	Brzina vode [m/s]	Čvor	Nadmorska visina [m n.m.]	Potrošnja [l/s]	Tlak u čvoru [m v.st.]
V	1	32.54	200	1.04	1	394	0.00	42.51
1	2	32.54	200	1.04	2	389	1.23	46.10
2	3	1.90	100	0.24	3	394	0.50	41.02
3	4	0.39	100	0.05	4	410	0.39	25.01
3	5	0.62	100	0.08	5	418	0.62	17.00
3	6	0.39	100	0.05	6	392	0.39	43.01
2	7	29.40	200	0.94	7	388	0.20	46.89
7	8	7.84	125	0.64	8	386	0.62	48.37
8	9	2.94	100	0.37	9	381	1.01	52.93
9	10	0.31	100	0.04	10	378	0.31	55.93
9	11	1.62	100	0.21	11	390	1.62	43.71
8	12	4.28	100	0.55	12	362	1.23	70.88
12	13	0.50	100	0.06	13	364	0.50	68.86
12	14	2.55	100	0.32	14	360	0.81	72.58
14	15	0.45	100	0.06	15	353	0.45	79.57
14	16	1.29	100	0.16	16	340	1.29	92.46
7	17	21.37	150	1.21	17	375	1.68	57.14
17	18	2.04	100	0.26	18	375	0.31	57.06
18	19	0.31	100	0.04	19	384	0.31	48.06
18	20	0.39	100	0.05	20	378	0.39	54.06
18	21	1.04	100	0.13	21	358	1.04	74.03
17	22	17.64	125	1.44	22	374	1.23	54.76
22	23	1.51	100	0.19	23	368	1.51	60.60
22	24	14.90	100	1.90	24	351	1.23	70.80
24	25	0.81	100	0.10	25	340	0.81	81.77
24	26	1.01	100	0.13	26	357	1.01	64.75
24	27	11.85	100	1.51	27	335	11.85	77.73
						25	MINIMALNI TLAK	17.00
						60	MAKSIMALNI TLAK	92.46



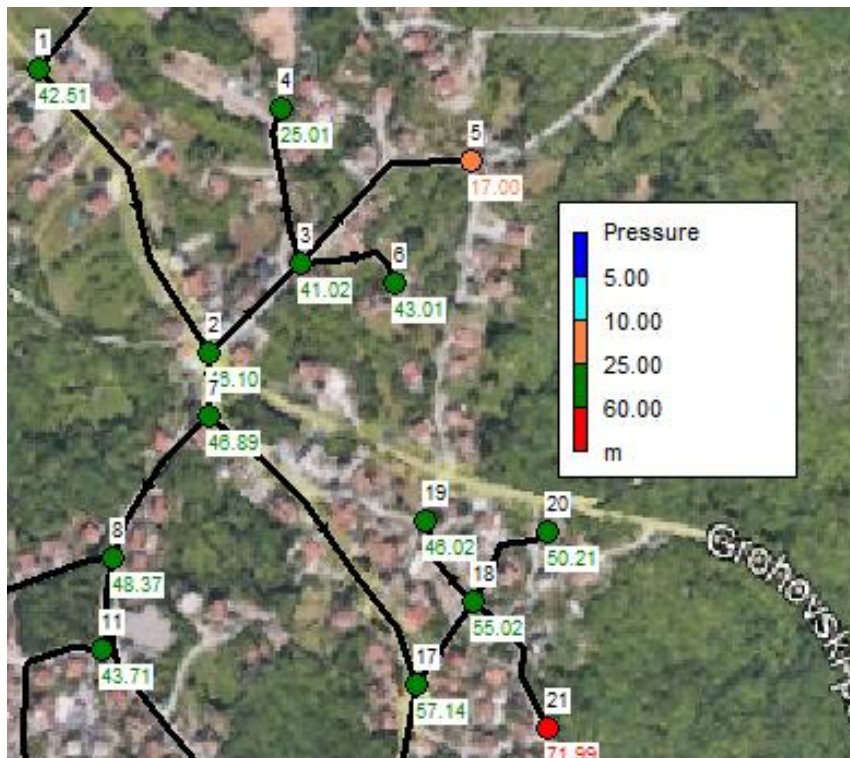
Slika 9: Požarna situacija u čvoru 16

Tablica 6: Tlakovi u vodoopskrbnoj mreži za požarnu situaciju u čvoru 16

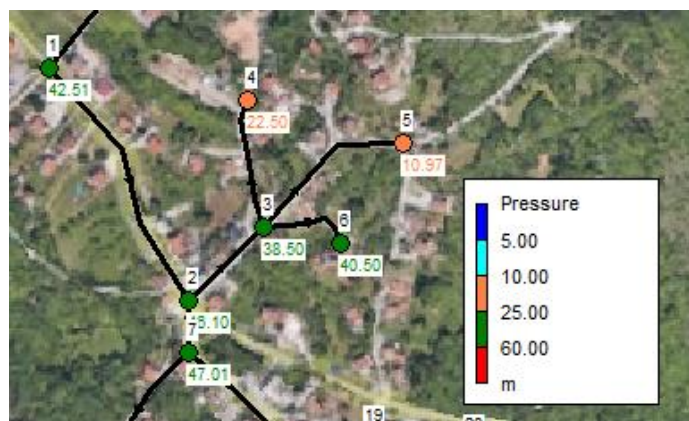
CIJEVI					ČVOROVI			
Oznaka dionice		Qmjerodavno [l/s]	Profil cijevi D [mm]	Brzina vode [m/s]	Čvor	Nadmorska visina [m n.m.]	Potrošnja [l/s]	Tlak u čvoru [m v.st.]
V	1	32.54	200	1.04	1	394	0.00	42.51
1	2	1.9	100	0.24	2	389	1.23	46.10
2	3	0.39	100	0.05	3	394	0.50	41.02
3	4	0.39	100	0.05	4	410	0.39	25.01
3	5	0.62	100	0.08	5	418	0.62	17.00
3	6	0.45	100	0.06	6	392	0.39	43.01
2	7	0.81	100	0.1	7	388	0.20	46.89
7	8	1.01	100	0.13	8	386	0.62	46.40
8	9	4.9	100	0.62	9	381	1.01	50.96
9	10	0.31	100	0.04	10	378	0.31	53.96
9	11	0.39	100	0.05	11	390	1.62	41.74
8	12	1.04	100	0.13	12	362	1.23	55.61
12	13	2.04	100	0.26	13	364	0.50	53.60
12	14	7.64	125	0.62	14	360	0.81	51.61
14	15	1.51	100	0.19	15	353	0.45	58.61
14	16	17.84	125	1.45	16	340	11.29	65.04
7	17	11.37	150	0.64	17	375	1.68	59.06
17	18	29.4	200	0.94	18	375	0.31	58.99
18	19	12.55	100	1.6	19	384	0.31	49.98
18	20	14.28	100	1.82	20	378	0.39	55.98
18	21	32.54	200	1.04	21	358	1.04	75.95
17	22	0.31	100	0.04	22	374	1.23	59.37
22	23	0.5	100	0.06	23	368	1.51	65.21
22	24	11.29	100	1.44	24	351	1.23	81.54
24	25	1.85	100	0.24	25	340	0.81	92.51
24	26	1.62	100	0.21	26	357	1.01	75.49
24	27	2.94	100	0.37	27	335	1.85	97.26
						25	MINIMALNI TLAK	17.00
						60	MAKSIMALNI TLAK	97.26



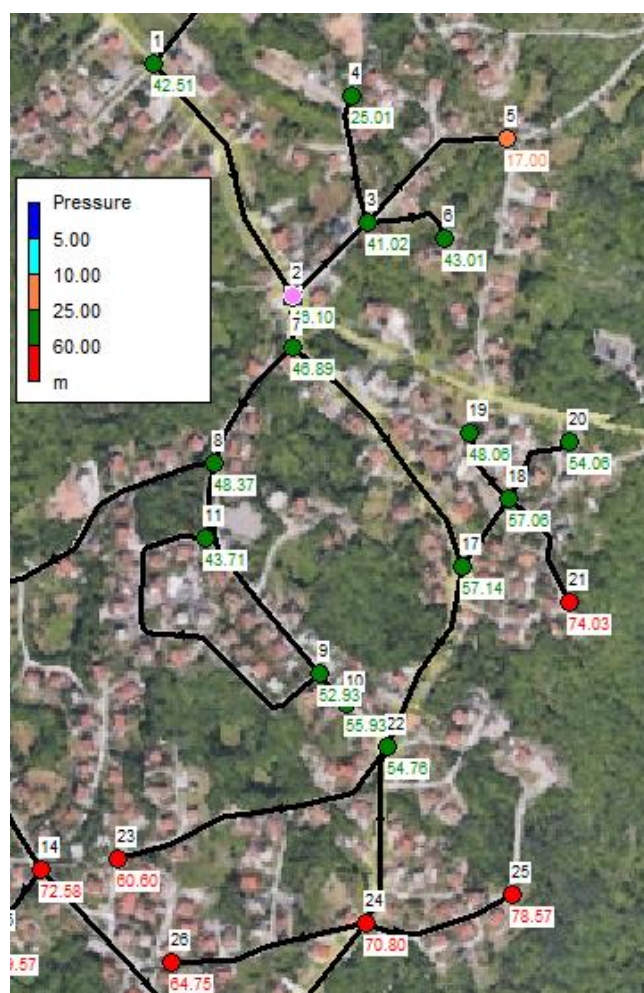
Slika 10: Požarna situacija u čvoru 11



Slika 11: Požarna situacija u čvoru 20



Slika 12: Požarna situacija u čvoru 5



Slika 13: Požarna situacija u čvoru 25

Vidljivo je da se primjenom zahtjeva za požar povećavaju protoci u cijevima koje povezuju vodospremu i sam čvor u kojem je dodana potrošnja od 10 l/s. Osim toga, smanjeni su tlakovi u pojedinim čvorovima. Primjena požarnog zahtjeva u čvorovima 27 i 16 uzrokovala je promjenu tlaka u najvećem broju čvorova. To se događa iz razloga što sama dionica od vodospreme do čvora 27, to jest 16 obuhvaća najveći broj cijevi. S obzirom da brzine vode u cijevima ne prelaze 2m/s moguće je smanjiti profile cijevi što uzrokuje nešto veće brzine protoka, ali također smanjuje tlakove u mreži jer linijski gubici rastu.

5.5. Promjena profila cijevi

Metodom smanjenja profila cijevi moguće je na jednostavan način reducirati tlakove u mreži bez korištenja prekidnih objekata ili redukcijskih uređaja. Smanjenjem profila cijevi, brzina vode i pad piezometarske linije su veći čime rastu i linijski gubici. Samim povećanjem linijskih gubitaka, tlakovi u čvorovima padaju. Postupak dimenzioniranja ponovljen je sa smanjenim profilima cijevi u određenim čvorovima.

Moguće je smanjiti određene promjere cijevi s obzirom da brzina vode u cijevima ne prekoračuje brzinu od 2 m/s. Isto se primjenjuje za mrežu bez požara i s požarom.

Cijevi promjera:

- 200 mm smanjenje su na promjer od 150 mm za dionice V-1, 1-2, 2-7
- 150 mm smanjenje su na promjer od 125 mm za dionicu 7-17
- 125 mm smanjenje su na promjer od 100 mm za dionicu 17-22

5.6. Postavljanje crpki

Crpke se koriste za transport fluida pretvorbom rotacijske kinetičke energije u hidrodinamičku energiju protoka fluida. Tekućina ulazi u rotor crpke duž ili blizu rotirajuće osi i ubrzava ga rotor, teče radijalno prema van spiralnu komoru (kućište), iz koje izlazi.

Uobičajena uporaba uključuje vodoopskrbne sustave, kanalizaciju, poljoprivredu, naftu i petrokemijsko crpljenje. Centrifugalne crpke često se biraju zbog svojih mogućnosti velikog protoka, kompatibilnosti s abrazivnom otopinom, potencijala miješanja, kao i relativno jednostavnog inženjeringa. [11]

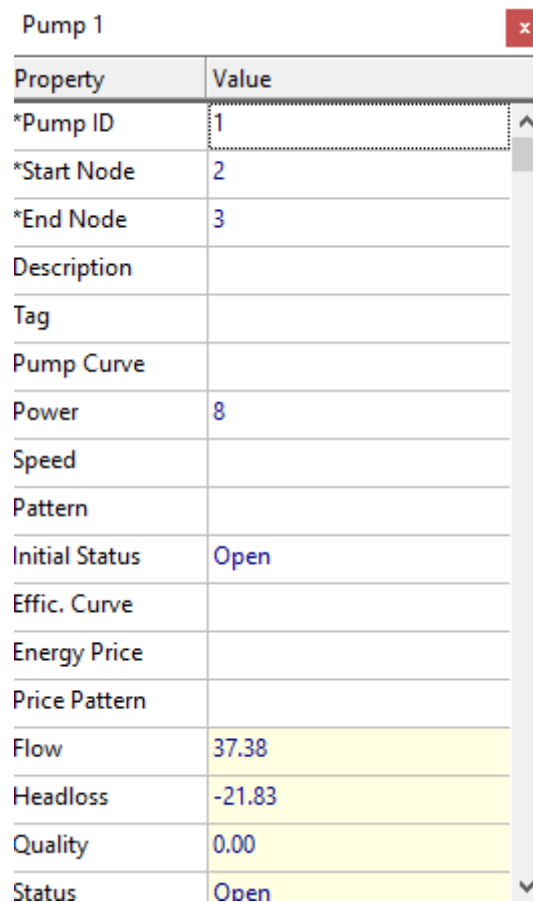


Slika 14: Tlačna pumpa [10]

5.7. Analiza vodoopskrbne mreže nakon promjena promjera cijevi i dodane crpke

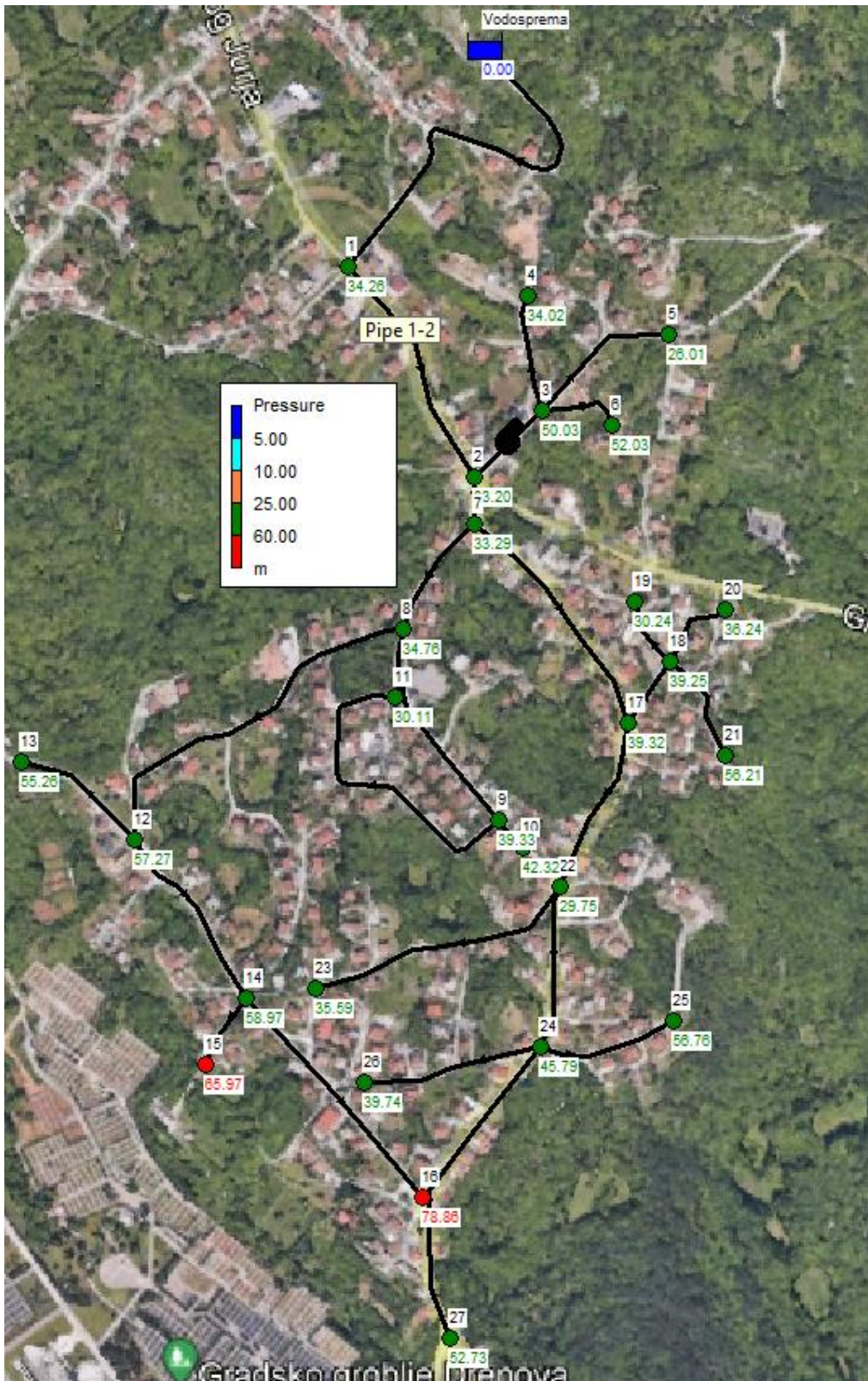
Nakon što je testirano odabranih 6 krajnjih čvorova mreže, vidljivo je da primjenom požara u čvorovima 27 i 16 dolazi do situacije u kojoj cijela mreža osim čvora 5 ima odgovarajuće tlakove. Potreban tlak u čvoru 5 biti će zadovoljen pomoću crpke. Na dionicu 2-3 dodajemo crpku snage 8 kW.

Navedene situacije vidljive su na slikama 16 i 17. Ovdje su također priložene tablice; 7 i 8 u kojima su prikazane dobivene vrijednosti protoka i brzine vode u cijevima te potrošnja i pritisci u čvorovima. Smanjenjem promjera cijevi, pritisci u čvorovima značajno su smanjeni. Vidljivo je da požarna situacija u čvoru 27 dovodi do odgovarajućih tlakova na cjelokupnoj dionici od vodospreme do čvora 27 dok požarna situacija u čvoru 16 uzrokuje isto za dionicu od vodospreme do čvora 16.



Property	Value
*Pump ID	1
*Start Node	2
*End Node	3
Description	
Tag	
Pump Curve	
Power	8
Speed	
Pattern	
Initial Status	Open
Effic. Curve	
Energy Price	
Price Pattern	
Flow	37.38
Headloss	-21.83
Quality	0.00
Status	Open

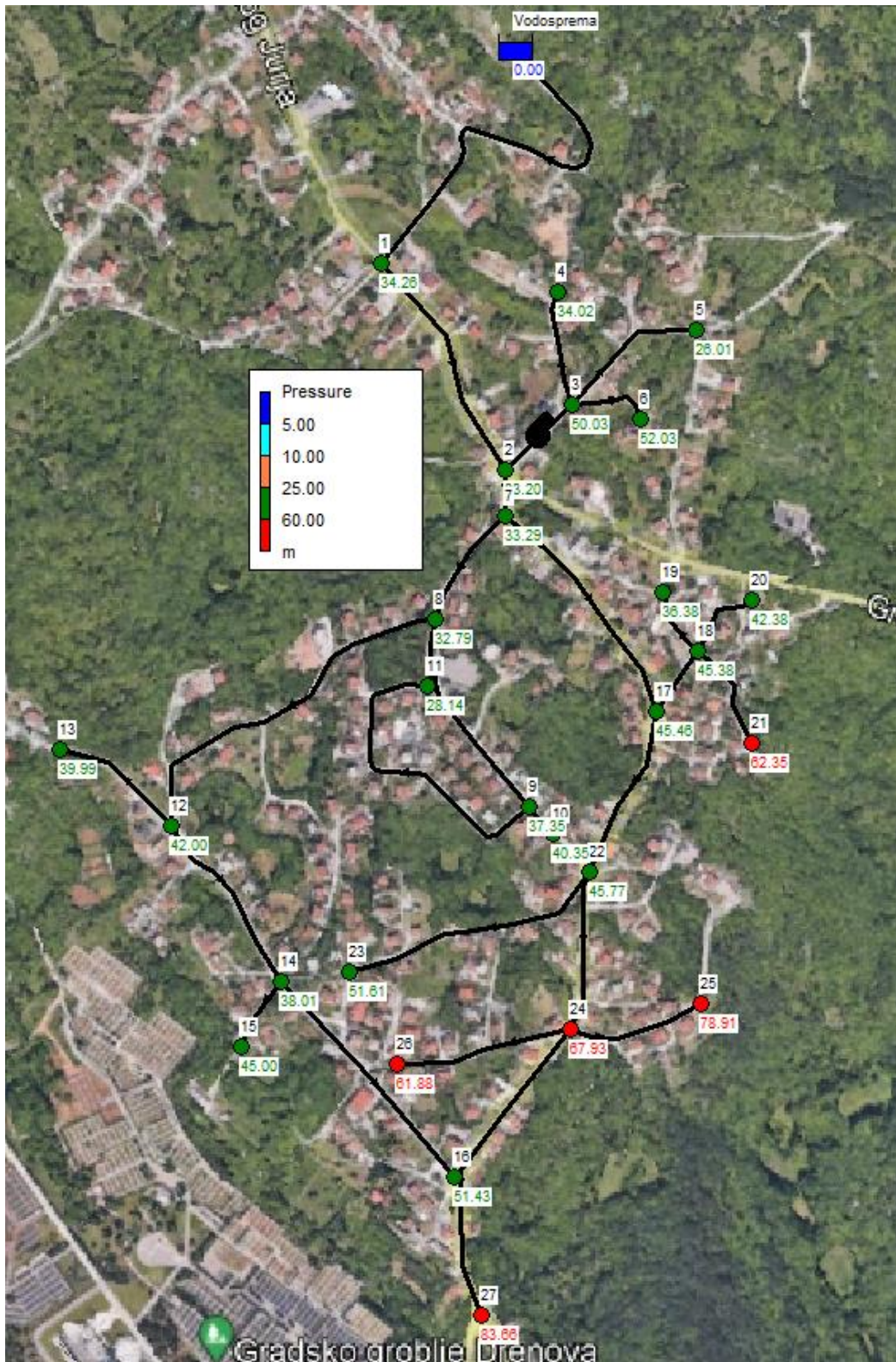
Slika 15: Upisivanje karakteristika crpke



Slika 16: Dodana crpka i smanjene dimenzija cijevi s požarom u 27

Tablica 7: Tlakovi u vodoopskrbnoj mreži nakon smanjenja cijevi i požarnom situacijom u čvoru 27

CIJEVI					ČVOROVI			
Oznaka dionice		Qmjerodav no [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	32.54	150	1.84	1	394	0	34.26
1	2	32.54	150	1.84	2	389	1.23	33.2
2	3	35.48	100	2.52	3	394	0.5	50.03
3	4	0.39	100	0.05	4	410	0.39	34.02
3	5	0.62	100	0.08	5	418	0.62	26.01
3	6	0.39	100	0.05	6	392	0.39	52.03
2	7	29.4	150	1.66	7	388	0.2	33.29
7	8	7.84	125	0.64	8	386	0.62	34.76
8	9	2.94	100	0.37	9	381	1.01	39.33
9	10	0.31	100	0.04	10	378	0.31	42.32
9	11	1.62	100	0.21	11	390	1.62	30.11
8	12	4.28	100	0.55	12	362	1.23	57.27
12	13	0.5	100	0.06	13	364	0.5	55.26
12	14	2.55	100	0.32	14	360	0.81	58.97
14	15	0.45	100	0.06	15	353	0.45	65.97
14	16	1.29	100	0.16	16	340	1.29	78.86
7	17	21.37	125	1.74	17	375	1.68	39.32
17	18	2.04	100	0.26	18	375	0.31	39.25
18	19	0.31	100	0.04	19	384	0.31	30.24
18	20	0.39	100	0.05	20	378	0.39	36.24
18	21	1.04	100	0.13	21	358	1.04	56.21
17	22	17.64	100	2.25	22	374	1.23	29.75
22	23	1.51	100	0.19	23	368	1.51	35.59
22	24	14.9	100	1.9	24	351	1.23	45.79
24	25	0.81	100	0.1	25	340	0.81	56.76
24	26	1.01	100	0.13	26	357	1.01	39.74
24	27	11.85	100	1.51	27	335	11.85	52.73
						25	MINIMALNI TLAK	26.01
						60	MAKSIMALNI TLAK	78.86



Slika 17: Dodana pumpa i smanjene dimenzija cijevi s požarom u 16

Tablica 8: Tlakovi u vodoopskrbnoj mreži nakon smanjenja dimenzija cijevi i požarnom situacijom u čvoru 16

Oznaka dionice		CIJEVI			Čvor	ČVOROVI		
		Qmjerodav no [l/s]	Profil cijevi D [mm]	Brzina vode [m/s]		Nadmorska visina [m n.m.]	Potrošnja [l/s]	Tlak u čvoru [m v.st.]
V	1	32.54	150	1.84	1	394	0	34.26
1	2	32.54	150	1.84	2	389	1.23	33.2
2	3	35.48	100	2.52	3	394	0.5	50.03
3	4	0.39	100	0.05	4	410	0.39	34.02
3	5	0.62	100	0.08	5	418	0.62	26.01
3	6	0.39	100	0.05	6	392	0.39	52.03
2	7	29.4	150	1.66	7	388	0.2	33.29
7	8	17.84	125	1.45	8	386	0.62	32.79
8	9	2.94	100	0.37	9	381	1.01	37.35
9	10	0.31	100	0.04	10	378	0.31	40.35
9	11	1.62	100	0.21	11	390	1.62	28.14
8	12	14.28	100	1.82	12	362	1.23	42
12	13	0.5	100	0.06	13	364	0.5	39.99
12	14	12.55	100	1.6	14	360	0.81	38.01
14	15	0.45	100	0.06	15	353	0.45	45
14	16	11.29	100	1.44	16	340	11.29	51.43
7	17	11.37	150	0.64	17	375	1.68	45.46
17	18	2.04	100	0.26	18	375	0.31	45.38
18	19	0.31	100	0.04	19	384	0.31	36.38
18	20	0.39	100	0.05	20	378	0.39	42.38
18	21	1.04	100	0.13	21	358	1.04	62.35
17	22	7.64	125	0.62	22	374	1.23	45.77
22	23	1.51	100	0.19	23	368	1.51	51.61
22	24	4.9	100	0.62	24	351	1.23	67.93
24	25	0.81	100	0.1	25	340	0.81	78.91
24	26	1.01	100	0.13	26	357	1.01	61.88
24	27	1.85	100	0.24	27	335	1.85	83.66
						25	MINIMALNI TLAK	26.01
						60	MAKSIMALNI TLAK	83.66

5.8. Postavljanje redukcijskih ventila

Redukcijski ventili osiguravaju da tlak u mreži ne prekorači maksimalnu vrijednost. Ovi uređaji rade na principu stvaranja umjetnog tlačnog otpora u sustavu, te na taj način snižavaju tlak u mreži. Njihov zadatak je održavanje približno konstantne zadane razine sniženog izlaznog tlaka uz povišen ulazni tlak. U ventilu se podešava sila u opruzi njenim produženjem ili skraćanjem. Takva sila pritišće tlačnu ploču koja se zatim suprotstavlja vodnom tlaku u ulaznom cjevovodu, te samim time smanjuje tlak. Na taj način osiguran je kontroliran i

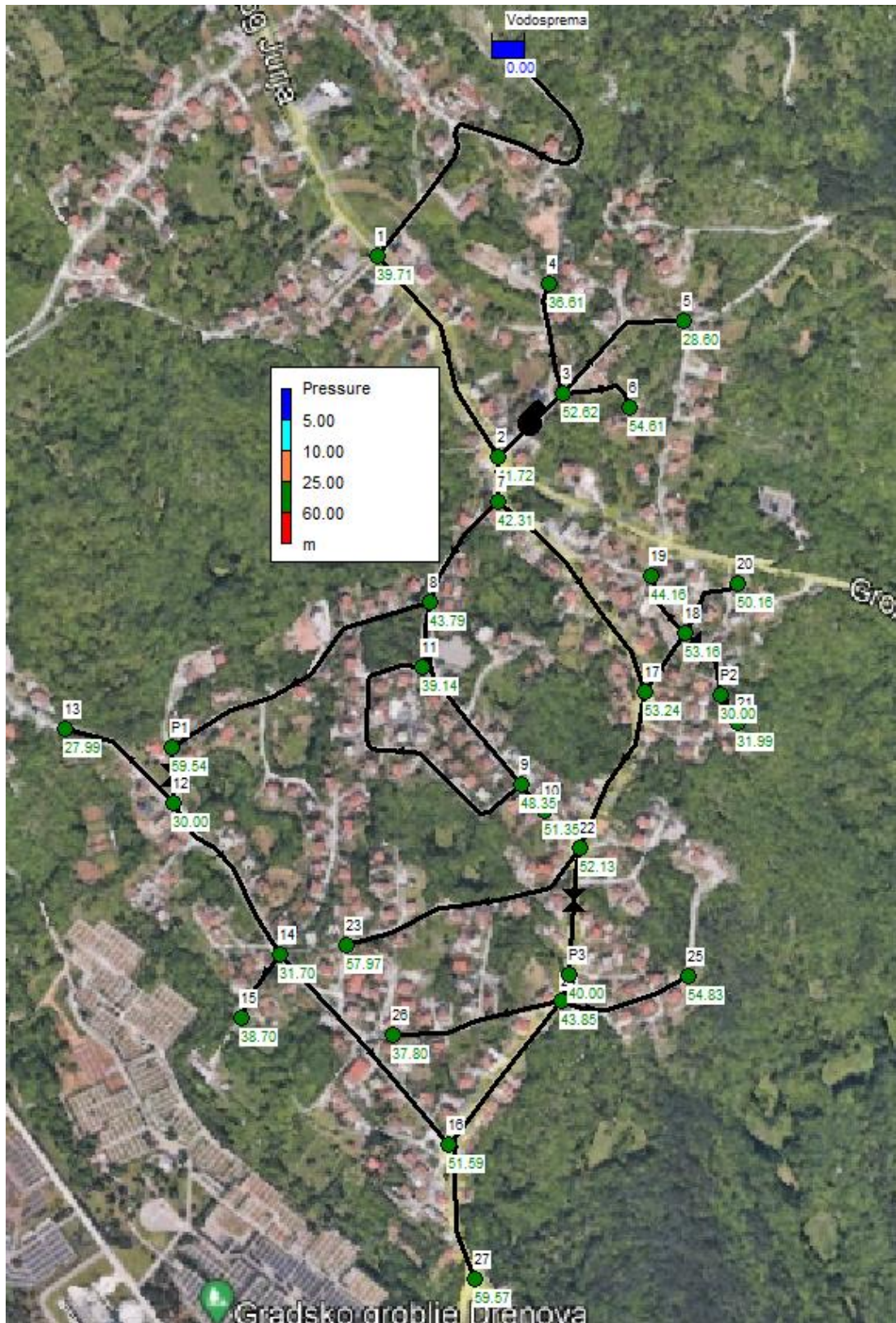
konstantan vodeni tlak. Redukcijski ventili ugrađuju se u vodovodu na mjestima povišenih tlakova kako bi se ostvarili tlakovi unutar dopuštenih granica. [12]



Slika 18: Redukcijski ventil[12]

5.9. Analiza funkcioniranja vodoopskrbne mreže u slučaju kad nema požara

Također, testirana je početna situacija sa zahtjevima bez požarne količine te su dodani redukcijski ventili na dionicama kod kojih je potrebno reducirati tlakove u čvorovima. Redukcijski ventili dodani su na dionicama 8-12, 18-21 i 22-24. Osim toga, na dionicu 2-3 dodajemo tlačnu pumpu snage 8 kW. Na slici 19 prikazan je situacioni plan mreže sa svim postavljenim ventilima. Vrijednosti koje su dobivene u EPANET-u prikazane su u tablici 9. Prethodnim smanjenjem promjera cijevi te postavljanjem redukcijskih ventila i crpke postignuto je rješenje gdje su svi tlakovi u propisanim granicama. Samim time, rješenje je zadovoljavajuće u oba slučaja, bez požarnog zahtjeva i s požarnim zahtjevom.



Slika 19: Mreža bez požarnog zahtjeva s redukcijским ventilima i crpkom

Tablica 9: Tlakovi u vodoopskrbnoj mreži bez požarnog zahtjeva

		CIJEVI				ČVOROVI		
Oznaka dionice		Qmjerodav no [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	22.54	150	1.28	1	394	0	39.71
1	2	22.54	150	1.28	2	389	1.23	41.72
2	3	30.18	100	3.84	3	394	0.5	52.62
3	4	0.39	100	0.05	4	410	0.39	36.61
3	5	0.62	100	0.08	5	418	0.62	28.6
3	6	0.39	100	0.05	6	392	0.39	54.61
2	7	19.4	150	1.1	7	388	0.2	42.31
7	8	7.84	125	0.64	8	386	0.62	43.79
8	9	2.94	100	0.37	9	381	1.01	48.35
9	10	0.31	100	0.04	10	378	0.31	51.35
9	11	1.62	100	0.21	11	390	1.62	39.14
8	12	4.28	100	0.55	12	362	1.23	30
12	13	0.5	100	0.06	13	364	0.5	27.99
12	14	2.55	100	0.32	14	360	0.81	31.7
14	15	0.45	100	0.06	15	353	0.45	38.7
14	16	1.29	100	0.16	16	340	1.29	51.59
7	17	11.37	125	0.93	17	375	1.68	53.24
17	18	2.04	100	0.26	18	375	0.31	53.16
18	19	0.31	100	0.04	19	384	0.31	44.16
18	20	0.39	100	0.05	20	378	0.39	50.16
18	21	1.04	100	0.13	21	358	1.04	31.99
17	22	7.64	100	0.97	22	374	1.23	52.13
22	23	1.51	100	0.19	23	368	1.51	57.97
22	24	4.9	100	0.62	24	351	1.23	43.85
24	25	0.81	100	0.1	25	340	0.81	54.83
24	26	1.01	100	0.13	26	357	1.01	37.8
24	27	1.85	100	0.24	27	335	1.85	59.57
						25	MINIMALNI TLAK	27.99
						60	MAKSIMALNI TLAK	59.57

6. ZAKLJUČAK

Na početku ovog završnog rada opisano je područje u kojem se nalazi zadana vodoopskrbna mreža koju je potrebno analizirati koristeći računalni program EPANET. Prikazana je digitalna podloga zadanog obuhvata (područje Gornje Drenove) u uvećanom prikazu kako bi se jasno vidjelo promatrano područje. Ulazni podaci o stanovništvu usvojeni su na osnovi podataka Prostornog te Generalnog Urbanističkog plana grada Rijeke su dok su podaci o turistima u privatnom smještaju preuzeti iz Turističkog informativnog centra grada Rijeke. Pomoću tih podataka provodi se proračun količina vode za vodoopskrbu. Provodi se hidraulički proračun zadane vodoopskrbne mreže pomoću kojeg se određuju mjerodavni protoci za svaku dionicu. Cijevi koje su korištene su lijevano-željezne, čija je prednost veća otpornosti prema vanjskim utjecajima (udarcima, koroziji) i unutarnjim utjecajima (tlaku), te trajnost cijevi. Dimenzioniranje granaste vodoopskrbne mreže provedeno je prvo pomoću nomograma, nakon čega se koristi program EPANET za daljnju analizu sustava. Kod provjere tlakova u čvorovima zaključuje se da tlakovi nisu u dopuštenim granicama (2,5 do 6 bara), te je potrebno primijeniti određene metode kojima će tlakovi biti smanjeni, odnosno povećani. Povećanje tlakova u nastavku provodi se postavljanjem crpke dok se redukcija tlakova postiže smanjenjem promjera cijevi te pomoću redukcijskih ventila. Prije provedbe samih metoda za reguliranje tlakova, vodoopskrbna mreža modelira se u programu EPANET te se daljnji proračuni zasnivaju na različitim simulacijama sustava. Pomoću EPANET-a moguće je izvesti simulaciju hidrauličkog ponašanja i kvalitete vode u produljenom razdoblju unutar mreže cijevi pod tlakom. U EPANET-u su zadane nadmorske visine te potrošnja vode u čvorove, dok su za cijevi zadani promjeri i hrapavost. Koriste se isti ulazni podaci koji su prethodno korišteni u proračunu metodom nomograma. Nakon što je unesena početna vodoopskrbna mreža u EPANET kako bi tlakovi u čvorovima bili jasno vidljivi, prelazi se na simulaciju uz požarni zahtjev. Provodi se analiza vodoopskrbne mreže uz požarni zahtjev, gdje se testira 6 odabranih krajnjih čvorova, u kojima je dodana potrošnja od 10 l/s koja predstavlja zahtjev za zaštitu od požara. Primjenom takvog zahtjeva, protoci u cijevima su povećani dok je pritisak u čvorovima reduciran. S obzirom da brzine vode u cijevima ne prelaze 2m/s smanjeni su profili cijevi. Smanjenjem profila cijevi, brzina vode i pad piezometarske linije su veći čime rastu i linijski gubitci. Nakon toga, sljedeće simulacije ponovljene su sa smanjenim profilima cijevi u određenim dionicama. Osim smanjenja tlakova u čvorovima, u određenim čvorovima bilo je

potrebno povećati tlak. Povećanje se provodi pomoću tlačne pumpe koja pretvorbom rotacijske kinetičke energije u hidrodinamičku energiju protoka fluida povisuje pritisak u čvoru. Nakon što je provedena simulacija sustava koji uključuje požarne zahtjeve, simulirana je mreža bez požarnog zahtjeva te su protoci u takvoj mreži nešto manji. Samim time, tlakovi u čvorovima su povišeni pa je potrebno dodati redukcijske ventile. Redukcijski ventili ugrađuju se u vodovodu na mjestima povišenih tlakova kako bi se ostvarili tlakovi unutar dopuštenih granica. Redukcijski ventili dodani su na 3 dionice vodoopskrbne mreže. S obzirom da ovakav sustav nema veliki broj potrošača, a tlakovi su prilagođeni dozvoljenim granicama, mala je vjerojatnost da će doći do prekida mreže ili puknuća cijevi.

LITERATURA

- [1] Turistički informativni centar grada Rijeke, <https://visitrijeka.hr/> Osobna komunikacija
- [2] Državni zavod za statistiku, <https://www.dzs.hr/>, pristup 14.04.2023.
- [3] Geoportal DGU, <https://geoportal.dgu.hr/>, pristup 14.04.2023
- [4] Prostorni plan uređenja općine Viškovo, <https://opcina-viskovo.hr/sites/default/files/datoteke/51/51feebfa-b13f-41b1-99f8-ec7164118876.pdf>, pristup 20.04.2023.
- [5] Generalni urbanistički plan grada Rijeke, <https://www.rijeka.hr/mjesni-odbori/drenova/>, pristup 20.04.2023.
- [6] Sichem d.o.o., Lijevano-željezni fazonski komadi i armature <https://sichem.hr/katalog1.html>, pristup 13.05.2023.
- [7] Lijevano-željezne cijevi, <https://www.plastechsouthern.co.uk/product/ductile-iron-pressure-pipelines/>, pristup 13.05.2023.
- [8] Vuković, Ž.: Osnove hidrotehnike, Akvamarine, Zagreb, 1994.
- [9] EPANET softver, <https://www.epa.gov/water-research/epanet> pristup 23.06.2023.
- [10] Katalog vertikalnih pumpi, <https://www.etal.hr/etal-proizvod-detalj/lowara-e-sv-vertikalne-pumpe> pristup 28.06.2023.
- [11] Tlačna pumpa, <https://pumpsolutions.com.au/vertical-multistage-pumps/> pristup 28.06.2023.
- [12] Redukcijski ventili, Wikipedia, https://hr.wikipedia.org/wiki/Tla%C4%8Dni_ventil pristup 20.06.2023.

POPIS SLIKA

Slika 1: Digitalna ortofoto podloga dijela Gornje Drenove [3]	2
Slika 2: Zadana vodoopskrbna mreža	3
Slika 3: Lijevano – željezne cijevi [7]	10
Slika 4: Dijagram ovisnosti unutarnjeg promjera cjevovoda i protoka [8]	11
Slika 5: Nomogram hidrauličkih parametara za okrugle cijevi [8]	12
Slika 6: Upisivanje karakteristika čvorova i cijevi	19
Slika 7: Početna vodoopskrbna mreža s pritiscima	20
Slika 8: Požarna situacija u čvoru 27	22
Slika 9: Požarna situacija u čvoru 16	24
Slika 10: Požarna situacija u čvoru 11	26
Slika 11: Požarna situacija u čvoru 20	26
Slika 12: Požarna situacija u čvoru 5	27
Slika 13: Požarna situacija u čvoru 25	27
Slika 14: Tlačna pumpa [10]	29
Slika 15: Upisivanje karakteristika tlačne crpke	30
Slika 16: Dodana crpka i smanjene dimenzija cijevi s požarom u 27	31
Slika 17: Dodana pumpa i smanjene dimenzija cijevi s požarom u 16	33
Slika 18: Redukcijski ventil[12]	35
Slika 19: Mreža bez požarnog zahtjeva s redukcijskim ventilima i crpkom	36

POPIS TABLICA

Tablica 1. Određivanje koeficijenta neravnomjernosti najveće dnevne i satne potrošnje[8]	6
Tablica 2: Mjerodavni protoci u mreži	13
Tablica 3: Dimenzioniranje vodoopskrbne mreže	14
Tablica 4: Tlakovi u vodoopskrbnoj mreži	15
Tablica 5: Tlakovi u vodoopskrbnoj mreži za požarnu situaciju u čvoru 27	23
Tablica 6: Tlakovi u vodoopskrbnoj mreži za požarnu situaciju u čvoru 16	25
Tablica 7: Tlakovi u vodoopskrbnoj mreži nakon smanjenja cijevi i požarnom situacijom u čvoru 27. 32	
Tablica 8: Tlakovi u vodoopskrbnoj mreži nakon smanjenja dimenzija cijevi i požarnom situacijom u čvoru 16.....	34
Tablica 9: Tlakovi u vodoopskrbnoj mreži bez požarnog zahtjeva	37