Simulacija hidrauličkih parametara vodovodne mreže grada Preloga

Novak, Mateo

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:622872

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

University North Digital Repository

Sveučilište
Sjever

Završni rad br. 287/PS/2019

Simulacija hidrauličkih parametara vodovodne mreže grada Preloga

Novak Mateo, 0936/336

Varaždin, srpanj 2019.

Sveučilište Sjever

Odjel za proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 287/PS/2019

Simulacija hidrauličkih parametara vodovodne mreže grada Preloga

Student

Novak Mateo, 0936/336

Mentor

Mađerić Damir, dipl.ing.

Varaždin, srpanj 2019.

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR–42000 Varaždin

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PRISTUPNIK Mateo Novak | MATIČNI BROJ 0936/336

DATUM 27.06.2019. | KOLEGIJ Mehanika fluida

NASLOV RADA Simulacija hidrauličkih parametara vodovodne mreže grada Preloga

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Simulation of hydraulic parameters of water supply pipe network of the town of Prelog

MENTOR Damir Mađerić, dipl. ing. | ZVANJE viši predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA
1. Katarina Pisačić, dipl.ing., viši predavač
2. Damir Mađerić, dipl.ing., viši predavač
3. Marko Horvat, dipl.ing., predavač
4. dr. sc. Zlatko Botak, viši predavač
5.

Zadatak završnog rada

BROJ 287/PS/2019

OPIS

U Završnom radu je potrebno:
- Ukratko opisati vodovodnu mrežu županije Međimurske.
- Opisati osnovne zakone mehanike fluida na kojima se temelji simulacija rada vodovodnog sustava.
- Napraviti simulaciju korištenjem dostupnog računalnog programa i predočiti razultate simulacije vodovodne mreže grada Preloga prema stvarno izvedenom stanju i realno izmjerenoj potrošnji.
- Napraviti sumulaciju i predočiti rezultate odabranog dijela cjevovoda prstenastog sustava, u uvjetima kada je susjedni dio cjevovoda izvan funkcije.
- Napraviti simulaciju i predočiti rezultate za uvjete gdje su promjeri cjevovoda manji od realno izvedenih.
- Napraviti simulaciju i predočiti rezultate za čelični cjevovod te usporediti potrošnju energije pumpi između plastičnog i čeličnog cjevovoda.

ZADATAK URUČEN 27.06.2019. | POTPIS MENTORA

REPUBLIKA HRVATSKA 5 SVEUČILIŠTE SJEVER 40PRIVNICA SVEUČILIŠTE SJEVER

ZAHVALA

Zahvaljujem se tvrtki MEĐIMURSKE VODE d.o.o. na potrebnoj dokumentaciji te svim njenim djelatnicima koji su mi pomogli u izradi rada. Zahvaljujem svojoj djevojci, obitelji, koja je vjerovala u mene i bila mi podrška tokom studija, kao i prijateljima i kolegama na druženju i susretljivosti.

Posebna zahvala mentoru Damiru Mađeriću dipl.ing, na pomoći, susretljivosti i savjetima prilikom izrade završnog rada.

Također, puno hvala svim profesorima, profesoricama te ostalim zaposlenicima Sveučilišta Sjever, koji su nesebično prenijeli svoje znanje i iskustvo te mi pomogli da ovaj studij uspješno privedem kraju.

SADRŽAJ

UVOD **1**
1. VODOOPSKRBNI SUSTAV MEĐIMURJA **3**
1.1. Vodocrpilišta 3
1.2. Vodospremnici 4
1.3. Kvaliteta vode 5
1.4. Precrpnice i hidro stanice 5
1.5. Vodoopskrbna mreža 6
2. HIDRAULIČKA ANALIZA VODOVODNE MREŽE **6**
2.1. Osnovni zakoni mehanike fluida 6
2.2. Sustavi vodovodne mreže 7
2.3. Metoda proračuna 8
3. MODELIRANJE VODOVODNE MREŽE **10**
3.1. Struktura modela postojećeg stanja 14
3.2. Cijevi 17
3.3. Čvorovi 21
4. REZULTATI PRORAČUNA **25**
4.1 Simulacija vodoopskrbne mreže 26
ZAKLJUČAK **34**
LITERATURA **36**

SAŽETAK

Tema ovog završnog rada je Matematičko modeliranje vodoopskrbnog sustava. U radu je opisan postojeći sustav vodoopskrbne mreže Međimurja sa svim građevinama te njihovim karakteristikama. Opisani su osnovni zakoni Mehanike fluida, sustavi vodovodne mreže te metoda proračuna.

Za potrebe proračuna koristimo matematički model EPANET, on nam omogućuje prikaz realnih stanja protoka i tlakova unutar vodoopskrbne mreže. Model je slobodan u obliku i dostupan široj javnosti te ne zahtijeva posebnu licencu.

Analizirane su situacije za vrijeme minimalne i maksimalne potrošnje vode, te provedene simulacije i predočeni rezultati.

Ključne riječi: vodoopskrbni sustav, EPANET, hidraulička analiza, cijevi

SUMMARY

The theme of this final work is the mathematical modeling of the water supply system. This final paper describes the existing water supply system of Međimurje with all structures and their characteristics. The basic laws of fluid mechanics, water supply systems and calculation method are described.

For the purposes of calculation we use the mathematical model EPANET, it allows us to present realistic flow and pressure conditions within the water supply network. The model is free in the form and available to the general public and does not require a special license.

Situations were analyzed during minimum and maximum water consumption, and the simulations implemented and the results presented.

Key words: water supply system, EPANET, hydraulic analysis, pipes

POPIS SLIKA

Slika 1.1 Shematski prikaz vodoopskrbnog sustava Međimurske županije [1]
Slika 1.2 Vodosprema Železna gora [2]
Slika 2.1a Granata shema vodoopskrbnih sustava
Slika 2.1b Prstenasta shema vodoopskrbnih sustava
Slika 2.2 Redukcijska spojnica
Slika 2.3 Račva s više izlaza i ulaza [5]
Slika 3.1 Sučelje programa EPANET 2.0
Slika 3.2 Čvor u EPANET-u
Slika 3.3 Cijev u EPANET-u
Slika 3.4 Izvorište u EPANET-u
Slika 3.5 Crpka u EPANET-u
Slika 3.5.1 Q-H krivulja crpke „PRELOG –P2“
Slika 3.5.2 Q-H krivulja crpke „PRELOG-P1“
Slika 3.6 Faktor trenja
Slika 3.7 Promjeri cjevovoda
Slika 3.8 Hrapavost cjevovoda
Slika 3.9 Tlakovi za vrijeme maksimalne potrošnje
Slika 3.10 Dijagram potrošnje vode za stanovništvo
Slika 4.1 Dijagram promjene protoka
Slika 4.2 Granata mreža prije puknuća cijevi
Slika 4.3 Granata mreža nakon puknuća cijevi
Slika 4.4 Prikaz prstenaste mreže prije puknuća
Slika 4.5 Prikaz prstenaste mreže nakon puknuća
Slika 4.6 Odabrani dio cjevovoda promjera 100 [mm]
Slika 4.7 Odabrani dio cjevovoda promjera 50 [mm]

POPIS TABLICA

Tablica 1.1 Vodocrpilište Nedelišće
Tablica 1.2 Vodocrpilište Prelog
Tablica 1.3 Pričuvno vodocrpilište Sveta Marija
Tablica 1.4. Zapremnina vodospremnika
Tablica 1.5 Tehničke karakteristike precrpnice i hidro stanica
Tablica 3.1 Podatci o cijevima
Tablica 3.2 Podatci o čvorovima
Tablica 4.1 Analiza plastičnih cijevi
Tablica 4.2 Analiza čeličnih cijevi
Tablica 4.3 Rezultati usporedbe hrapavosti cijevi za potrošnju električne energije za vrijeme maksimalne potrošnje

PREGLED OZNAKA, VELIČINA I JEDINICA

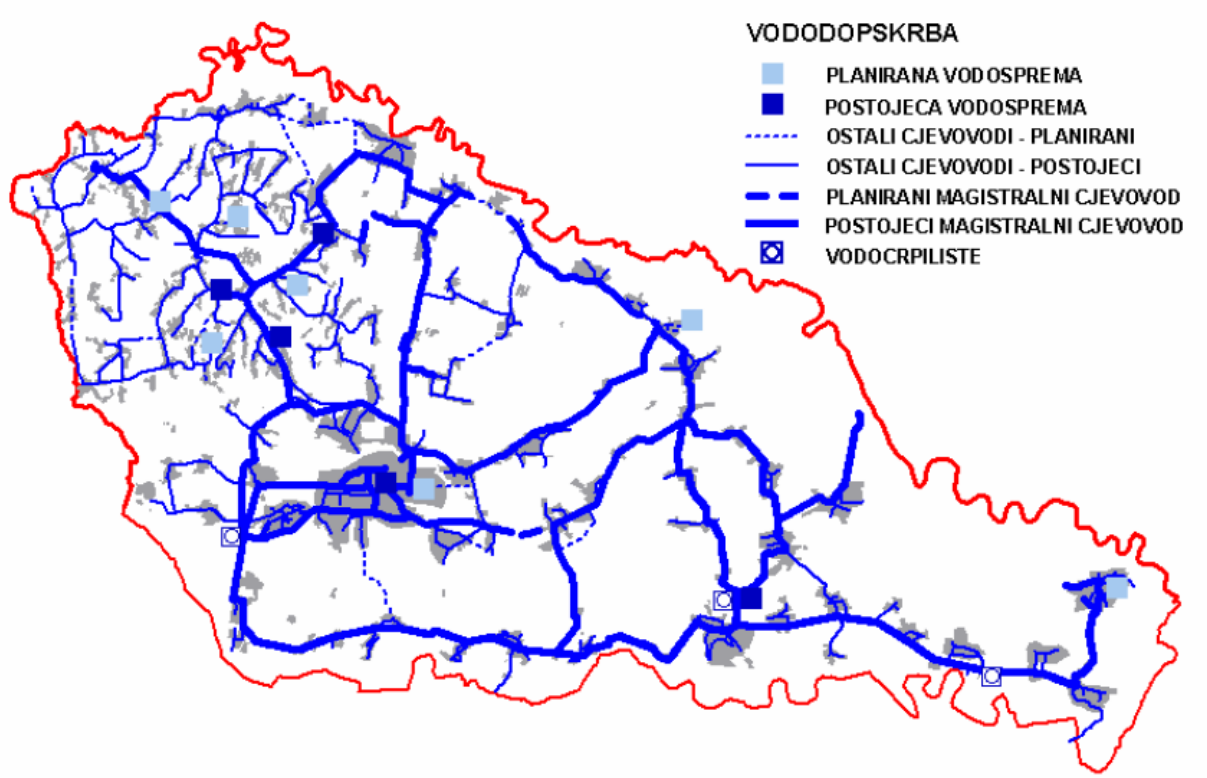
mm	milimetar, mjerna jedinica za dužinu
m	metar, mjerna jedinica za dužinu
v	brzina /m/s
g	gravitacijsko ubrzanje /m/s2
m	masa /kg
Q	stvarni protok /m3/s
A	površina /m2
$p1$	tlak /bar
ρ	gustoća /kg/m3
z	geometrijska visina /m
m n.m.	metara nad morem, nadmorska visina
l/s	litara sekundi, mjerna jedinica za protok
PEHD	polietilen visoke gustoće

UVOD

Međimurska županija je najsjevernija hrvatska županija, a smještena je između rijeka Mure i Drave. Po površini (729,54 km²) je najmanja hrvatska županija. Županiju sa sjevera, sjeveroistoka i juga omeđuju tokovi rijeka Mure i Drave, dok se na zapadu kopnena granica pruža od sjevera ka jugu pobrđem Gornjeg Međimurja. Na zapadu i sjeveru graniči sa Republikom Slovenijom, na sjeveroistoku s Republikom Mađarskom, a na jugu s Varaždinskom i Koprivničko – križevačkom županijom.

Međimurska županija podijeljena je na 25 teritorijalnih jedinica: 3 grada i 22 općine. Prostor Međimurja predstavlja značajan podzemni rezervoar pitke vode koja je izvrsne kvalitete te nadilazi regionalne okvire. To je prostor aluvijalnih nanosa u međuriječju Drave i Mure koji seže od Varaždinskih gorica do preko murskih prostora u Mađarskoj.

Voda je visoke kvalitete i izdašnosti, te predstavlja jednu od najvećih prirodnih vrijednosti ovog kraja. Izgradnja javnog vodoopskrbnog sustava započeta je 1960. godine kada je pušten u pogon vodovod užeg dijela grada Čakovca i najstarije crpilište u Međimurju – Savska Ves. Prema prvobitnoj koncepciji razvoja crpilište je trebalo služiti vodoopskrbi Čakovca i naselja u nizinskom dijelu. Za vodoopskrbu naselja u Gornjem Međimurju, puštanjem u eksploataciju prvog zdenca , 1977. godine otvoreno je crpilište "Nedelišće". Zbog intenzivne urbanizacije, te pogoršanja kvalitete podzemne vode, crpilište u Savskoj Vesi zatvoreno je 1988. godine, te je istovremeno intenzivirana eksploatacija vodocrpilišta "Nedelišce". Vodoopskrbni sustav Međimurja potpuno ili djelomično opskrbljuje 127 od ukupno 128 naselja. [1]



Slika 1.1 *Shematski prikaz vodoopskrbnog sustava Međimurske županije* [1]

1. VODOOPSKRBNI SUSTAV MEĐIMURJA

Vodoopskrbni sustav je sustav objekata povezanih u cjelinu s glavnim zadatkom osiguranja količine kvalitetne vode na što ekonomičniji način.

1.1. Vodocrpilišta

Vodoopskrba Međimurske županije bazirana je na tri postojeća vodocrpilišta, ukupnog kapaciteta 722 l/s, i to kako slijedi: -vodocrpilište „Nedelišće“

- vodocrpilište „ Prelog“
- vodocrpilište „Sv. Marija“

Na vodocrpilištu „Nedelišće“ je u funkciji šest zdenaca iz kojih je moguće crpiti 600 l/s vode. Vodocrpilište „Prelog“ ima mogućnost crpljenja 100 l/s vode putem jednog zdenca, dok je vodocrpilište „Sv.Marija“ pričuvno i ima mogućnost crpljenja 22 l/s.

Tehničke karakteristike vodocrpilišta :

Tablica 1.1 Vodocrpilište Nedelišće

Vodocrpilište Nedelišće				
Zdenac br.	Broj crpki (kom)	N (kW)	Q (l/s)	H (m)
1	2	2 x 75	2 x 70	90
2	2	2 x 75	2 x 70	90
3	2	2 x 60	2 x 60	60
4	1	75	75	60
5	2	2 x 60	2 x 60	60
6	1	90	100	60

Tablica 1.2 Vodocrpilište Prelog

Vodocrpilište Prelog				
Zdenac br.	Broj crpki (kom)	N (kw)	Q (l/s)	H (m)
1	2	2 x 15	2 x 15	50

Tablica 1.3 Pričuvno vodocrpilište Sveta Marija

Pričuvno vodocrpilište Sveta Marija				
Zdenac br.	Broj crpki (kom)	N (kW)	Q (l/s)	H (m)
1	2	2 x 15	2 x 15	50

1.2. Vodospremnici

Ukupna zapremnina vodospremnika vodoopskrbnog sustava „Međimurje“ je 3650 m^3, ista je raspoređena na pet objekata prema tablici u nastavku:

Tablica 1.4. Zapremnina vodospremnika

VODOSPREMNIK	**Zapremnina (m^3)**	**Kora dna (m.n.m)**	**Dubina (m)**
Čakovec (vodotoranj)	700	210,00	4
Lopatinec	750	230,00	4
Mohokos	750	338,41	4
Zebanec	200	220,55	4
Prelog	350	188,70	4
Železna gora	500	260,60	4
Dragoslavec	200	265,80	4
Sv. Urban	200	340,00	6
UKUPNO	**3.650**		



Slika 1.2 *Vodosprema Železna gora* [2]

1.3. Kvaliteta vode

Voda iz vodocrpilišta vodoopskrbnog sustava Međimurske županije koja su trenutačno u eksploataciji visoke kakvoće i distribuira se potrošačima bez posebne dorade. U skladu sa zakonskom regulativom voda se klorira u svrhu sprječavanja pojave naknadnog bakteriološkog zagađenja.

1.4. Precrpnice i hidro stanice

U sljedećoj tablici prezentirani je popis i tehničke karakteristike preceprnica i hidro stanica:

Tablica 1.5 *Tehničke karakteristike precrpnice i hidro stanica*

PRECRPNICA LOPATINEC				
Crpke	Q (l/s)	H (m)	N (kW)	Kota (m.n.m)
1	24	130	45	225,87
2	24	130	45	
2	90	130	110	
HIDRO STANICA SELNIŠČAK				
1	5	29	1,1	264,70
2	5	29	1,1	
HIDRO STANICA BANFI				
1	6	70	1,7	232,68
2	6	70	1,7	
3	6	70	1,7	
4	6	70	1,7	
HIDRO STANICA ROBADJE				
1	5	34,5	1,37	278,82
2	5	43,5	1,37	
3	5	43,5	1,37	
HIDRO STANICA MOHOKOS				
1	6	70	1,7	331,60
2	6	70	1,7	
3	6	70	1,7	
4	6	70	1,7	
5	6	70	1,7	
6	6	70	1,7	

1.5. Vodoopskrbna mreža

Kao što je već navedeno, početkom organizirane vodoopskrbe u Međimurju može se smatrati 1961. godina, kada je osnovano poduzeće „Vodovod“ za gradski vodovod i kanalizaciju Čakovca.

Pojačana investicijska aktivnost na širenju vodoopskrbnog sustava vrši se 1991. godine, od kada se istovremeno širenjem vodoopskrbnog sustava intenzivno radi i na zamjeni dotrajalih vodovodnih cijevi, građenih prvenstveno od PVC cijevnih materijala, čime se povećava sigurnost i kvaliteta vodoopskrbe, te smanjuju gubici u sustavu.

Cijevni materijali koji se u posljednjih 10 godina koriste su polietilen (PEHD) za promjere do 200 mm , te nodularni lijev za promjere veće od 200 mm. [3]

2. HIDRAULIČKA ANALIZA VODOVODNE MREŽE

2.1. Osnovni zakoni mehanike fluida

Hidraulički proračun strujanja fluida u vodovodnoj mreži obuhvaća razmatranje protoka i tlakova koji se temelje na osnovnim zakonima mehanike fluida odnosno fizike:

- zakon održanja mase,
- zakon održanja količine gibanja (II. Newtonov zakon),
- zakon održanja energije (I. zakon termodinamike)

Osnovni zakoni fizike vrijede na materijalni sustav čestica fluida.

Pri proračunu vodovodne mreže se usvajaju slijedeće pretpostavke:

- proračun mreže se najčešće radi za stacionarno strujanje
- potrošnja vode se usvaja kao potrošnja u čvorovima mreže
- prosječne brzine vode u mreži su male pa se lokalni gubici na armaturama mogu zanemariti u odnosu na linijske
- ne stacionarni proračuni se obično rade za potrebe dimenzioniranja vodosprema i optimalizacije crpnog postrojenja
- visina brzina se također može smatrati zanemarivo malom, dok se u EPANETU visina brzina uzima u obzir [7]

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{1}{19{,}62} = 0{,}05\ m$$

2.2. Sustavi vodovodne mreže

Hidraulički proračun vodovodne mreže uvjetovan je sustavom koji se dijeli na :

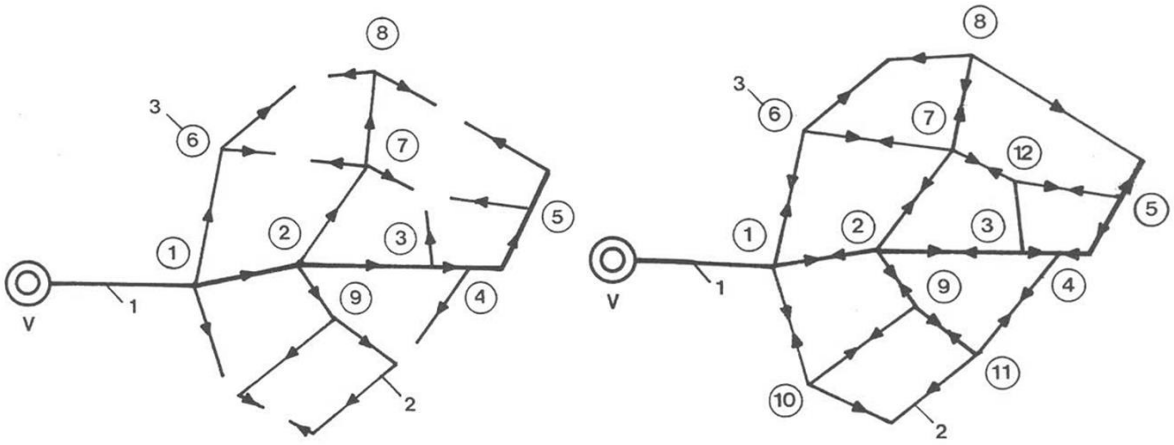
a) Granata
b) Prstenasta

Granatoj mreži (slika 2.1a) glavna karakteristika je tečenje samo u jednom smjeru, od vodospreme prema potrošačima. Pucanje cjevovoda ili neki drugi kvar prekida opskrbu vodom više potrošača.

Prstenasta mreža (slika 2.1b) može u svakoj točki biti opskrbljena barem iz dva smjera, pošto su krajevi cjevovoda međusobno spojeni, prednost prstenaste mreže da se u slučaju kvara može isključiti relativno usko područje potrošača. Mana ove mreže u odnosu na granatu je veća ukupna duljina i nedefiniranost raspodjele protoka u mreži.

Neovisno o shemi mreže, zbog postojanja velikog broja lokalnih kućnih priključaka vrlo je teško definirati stvarno stanje protoka između dva čvora, gdje se pod čvorom podrazumijeva mjesto razdvajanja cjevovoda.

a) Granati b) Prstenasti



Slika 2.1 *Sheme vodoopskrbnih sustava*

V- vodosprema ; 1- glavni opskrbni cjevovod ; 2- razdjelna mreža ; 3- oznaka čvora

2.3. Metoda proračuna

Postoji niz metoda kojima se mogu računati vodovodne mreže, to je sustav diferencijalnih jednadžbi koje opisuju vodoopskrbni sustav.
Osnovne jednadžbe koji moraju biti zadovoljene u svim čvorovima i u svim cijevima vodovodne mreže su:

a) Bernoullijeva jednadžba
b) Jednadžba kontinuiteta

a) Bernoullijeva jednadžba

Bernoullijeva jednadžba je osnovna jednadžba mehanike fluida, prikazuje odnos između brzine, tlaka i gustoće tekućine u kretanju. Bernoullijeva jednadžba predstavlja zakon očuvanju energije koji nam u slučaju stacionarnog strujanja tekućine govori da za vrijeme stacionarnog strujanja jedinca mase ima konstantnu energiju duž cijele strujne cijevi. [4]

Sadržaj Bernoullijeve jedandžbe za neviskozan fluid:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 \tag{2.3}$$

$\frac{v^2}{2g} \rightarrow visina\ kinetičke\ energije$

$\frac{p}{\rho g} \rightarrow visina\ tlaka$

$z \rightarrow geometrijska\ veličina$

$\frac{p}{\rho g} + z \rightarrow piezomterička\ linija$

$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z \rightarrow energetska\ linija = ukupna\ visina\ energije$

Sadržaj Bernoullijeve jedandžbe za viskozan fluid:

Strujanje realnog (viskoznog) fluida rezultira energetskim gubicima. Ako razmatramo stacionarno strujanje nestlačivog fluida onda Bernoulijeva jednadžba za dva odabrana presjeka glasi:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \delta_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \delta_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_i \tag{2.4}$$

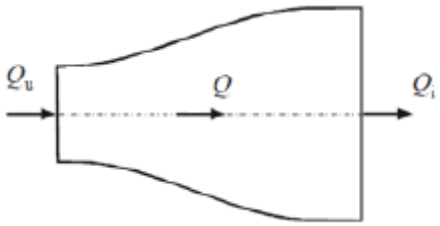
Odatle možemo proračunati gubitak cjevovoda među presjecima 1 i 2:

$$h_i = z_1 - z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + \frac{\delta_1 \cdot v_1^2 - \delta_2 \cdot v_2^2}{2g} \tag{2.5}$$

Ako se radi o horizontalnom cjevovodu jednolikog presjeka onda je zbog horizontalnosti $z_1 = z_2$ a po jednadžbi kontinuiteta $v_1 = v_2$, pa ostaje zaključak da gubici u tom slučaju rezultiraju padom tlaka.

b) Jednadžba kontinuiteta

Protok kroz bilo koji poprečni presjek cijevi mora biti jednak (Slika 2.2)



Slika 2.2 *Redukcijska spojnica*

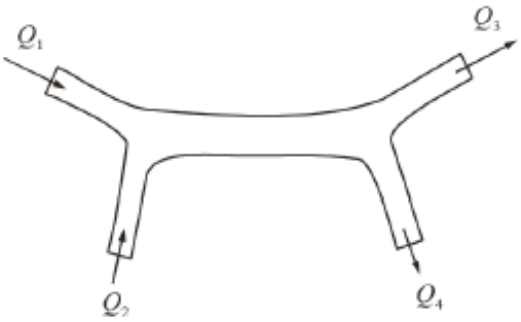
$$Q_u = Q_i = Q = konst.$$

Slučaj da je brzina okomita na presjek i jednolika po presjeku $Q = v \cdot A$, a za slučaj da nije jednolika po presjeku $Q = v_{sr} \cdot A$

za $A = konst.$ → $v = konst.$

za $A \neq konst.$ → $v = \frac{Q}{A}$ → veća površina, manja brzina

Kod račve s više ulaza i izlaza, protok koji ulazi u račvu mora biti jednak protoku koji izlazi iz račve (Slika 2.3) [5]

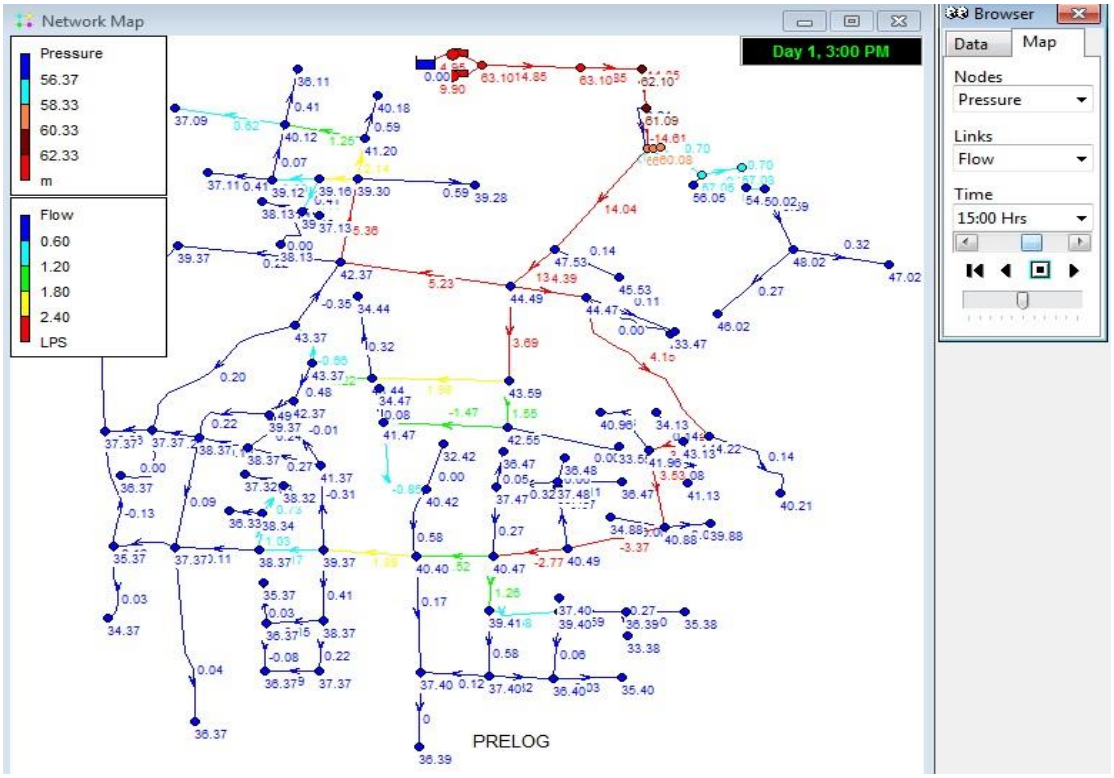


$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$

Slika 2.3 *Račva s više izlaza i ulaza*

3. MODELIRANJE VODOVODNE MREŽE

Za potrebe proračuna hidrauličkih svojstava, koristimo matematički model EPANET, on nam omogućuje prikaz realnih stanja protoka i tlakova unutar vodoopskrbne mreže. Model je slobodan u obliku i dostupan široj javnosti te ne zahtijeva posebnu licencu. [6] Na idućoj slici se može vidjeti matematički model vodoopskrbnog sustava grada Preloga, gdje su prikazane sve cijevi, čvorovi, crpke te rezervoar.



Slika 3.1 *Sučelje programa EPANET 2.0*

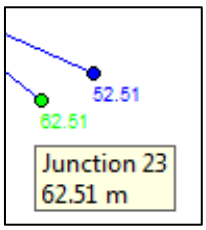
Sučelje EPANET-a maksimalno je prilagođeno korisnicima i pojednostavljen unos podataka i ubrzan proračun hidrauličke simulacije. Program nam pruža pregledan prikaz rezultata (tablice, grafovi, slikovit prikaz mreže). Matematički algoritam omogućuje proračun linijskih gubitaka uz korištenje Darcy- Weisbachove jednadžbe. [7]

Osnovni elementi kojima se definira vodoopskrbna mreža su:

Čvorovi (eng. Junctions)

Čvorovi nam određuju mjesta potrošnje unutar sustava. Definiraju ih sljedeći parametri:

- Kota terena (apsolutna visina)
- Redni broj
- Vrijednost potrošnje vode korisnika
- Dijagram koji određuje raspodjelu potrošnje po satima



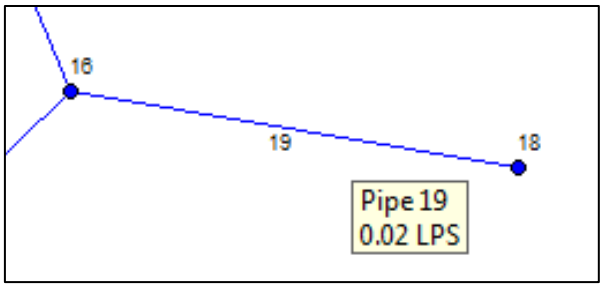
Slika 3.2 *Čvor u EPANET-u*

Vrijednost potrošnje u čvoru najčešće se dobiva metodom linearnog uprosječivanja, na način da se mjerodavni protok koji je dobiven na temelju procjena ili utvrđen mjerenjem razdjeli na ukupnu duljinu mreže na kojoj se vrši potrošnja vode, čime se definira vrijednost specifičnog protoka.
Množenjem vrijednosti specifičnog protoka i polovine vrijednosti duljina dionica koje pripadaju određenom čvoru, definira se potrošnja u pripadnom čvoru.

Cijevi (eng. Pipes)

Cijevi spajaju čvorove mreža. Definiraju ih sljedeći parametri

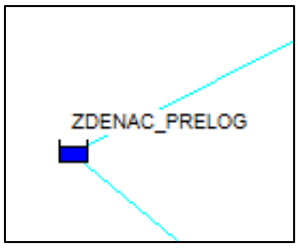
- Redni broj
- Dužina cijevi [m]
- Promjer cijevi [mm]
- Koeficijent hrapavosti [mm]



Slika 3.3 *Cijev u EPANET-u*

Izvorište (eng. Reservorius)

Definira se energetskom visinom i dijagramom koji određuje promjenu tlačne visine u vremenu.



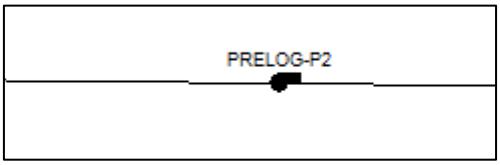
Slika 3.4 *Izvorište u EPANET-u*

Crpke (eng. pumps)

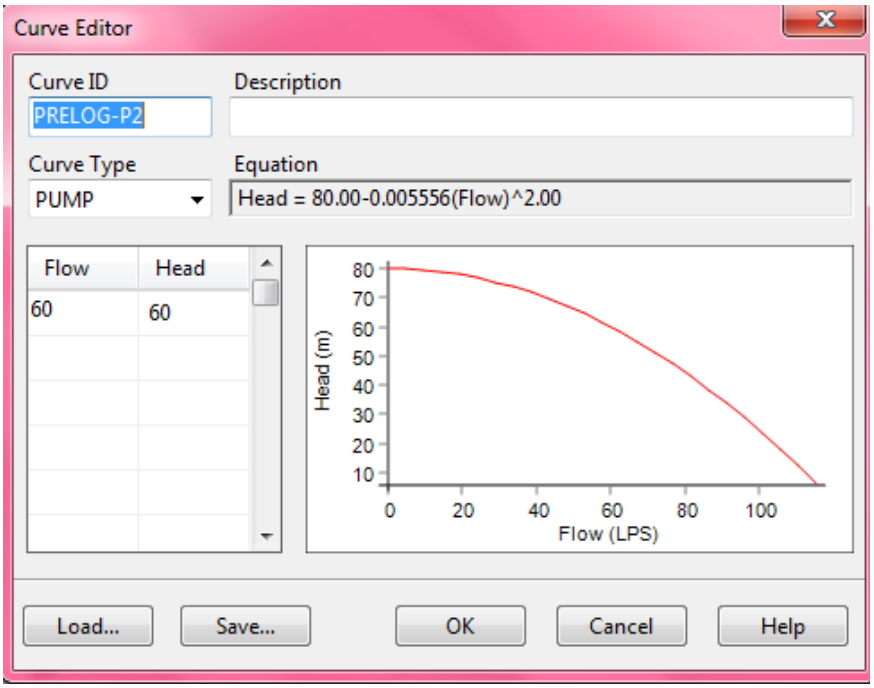
Definiraju ih sljedeći parametri:

- Početni i krajnji čvor
- Q-H krivulja crpke

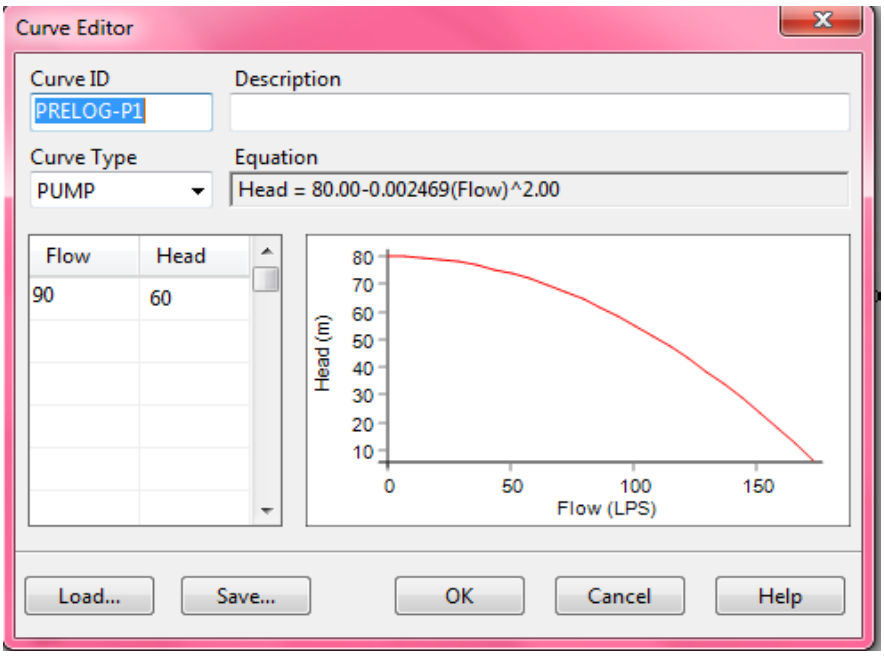
Rezultati proračuna mogu se prikazati grafički i tabelarno. Moguć je odabir izlaznih veličina koje se žele prikazati. [6]



Slika 3.5 *Crpka u EPANET-u*



Slika 3.5.1 *Q-H krivulja crpke „PRELOG –P2“*



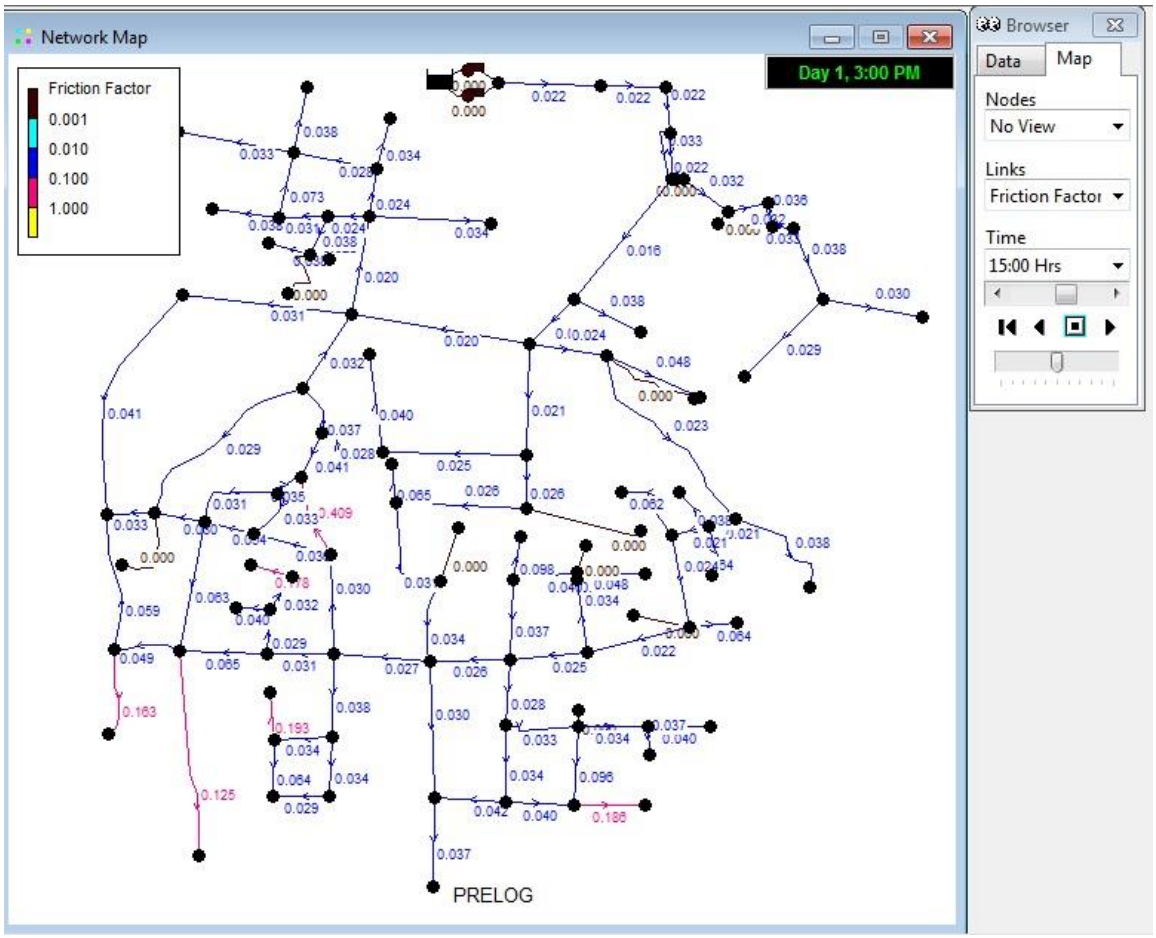
Slika 3.5.2 *Q-H krivulja crpke „PRELOG-P1“*

3.1. Struktura modela postojećeg stanja

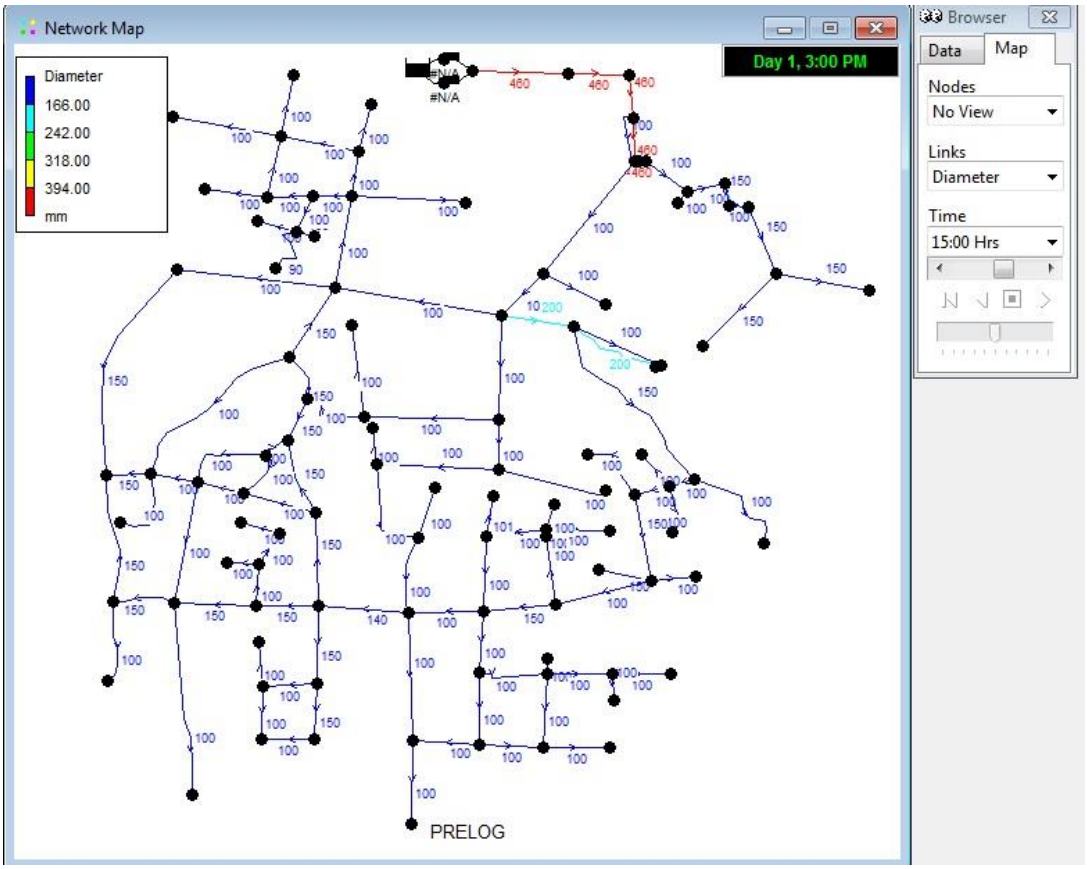
Hidraulički model sadrži cijeli sustav vodoopskrbne mreže grada Preloga. Cijevi su definirane duljinom, promjerom te hrapavosti kao što i jest slučaj u stvarnosti. U čvorove su unesene nadmorske visine i izračunata potrošnja, crpkama definirana Q-H krivulje.

Postojećim modelom obuhvaćen je velik broj čvorova, cijevi , te crpne stanice. Cjelokupna cjevovodna mreža je analizirana na prostoru grada Preloga. Ukupno su obuhvaćeni sljedeći elementi:

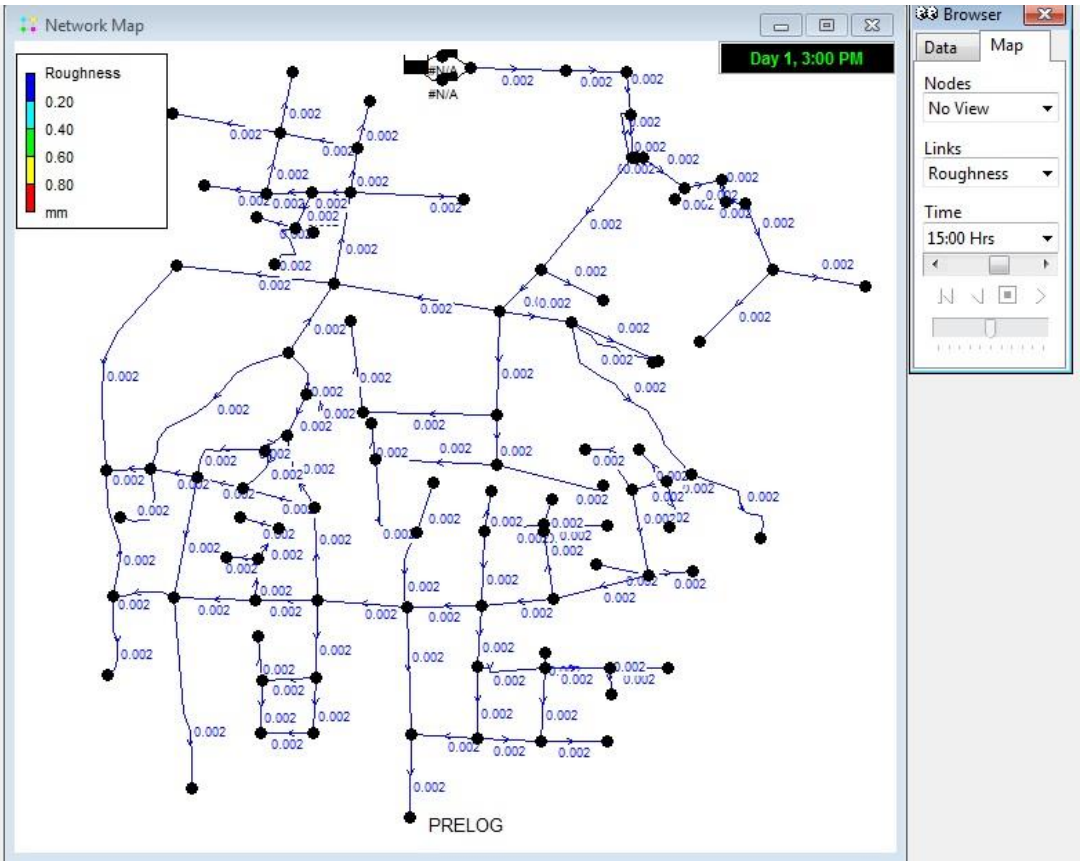
- 107 čvorova
- 125 cijevi
- 1 izvorište
- 2 crpke



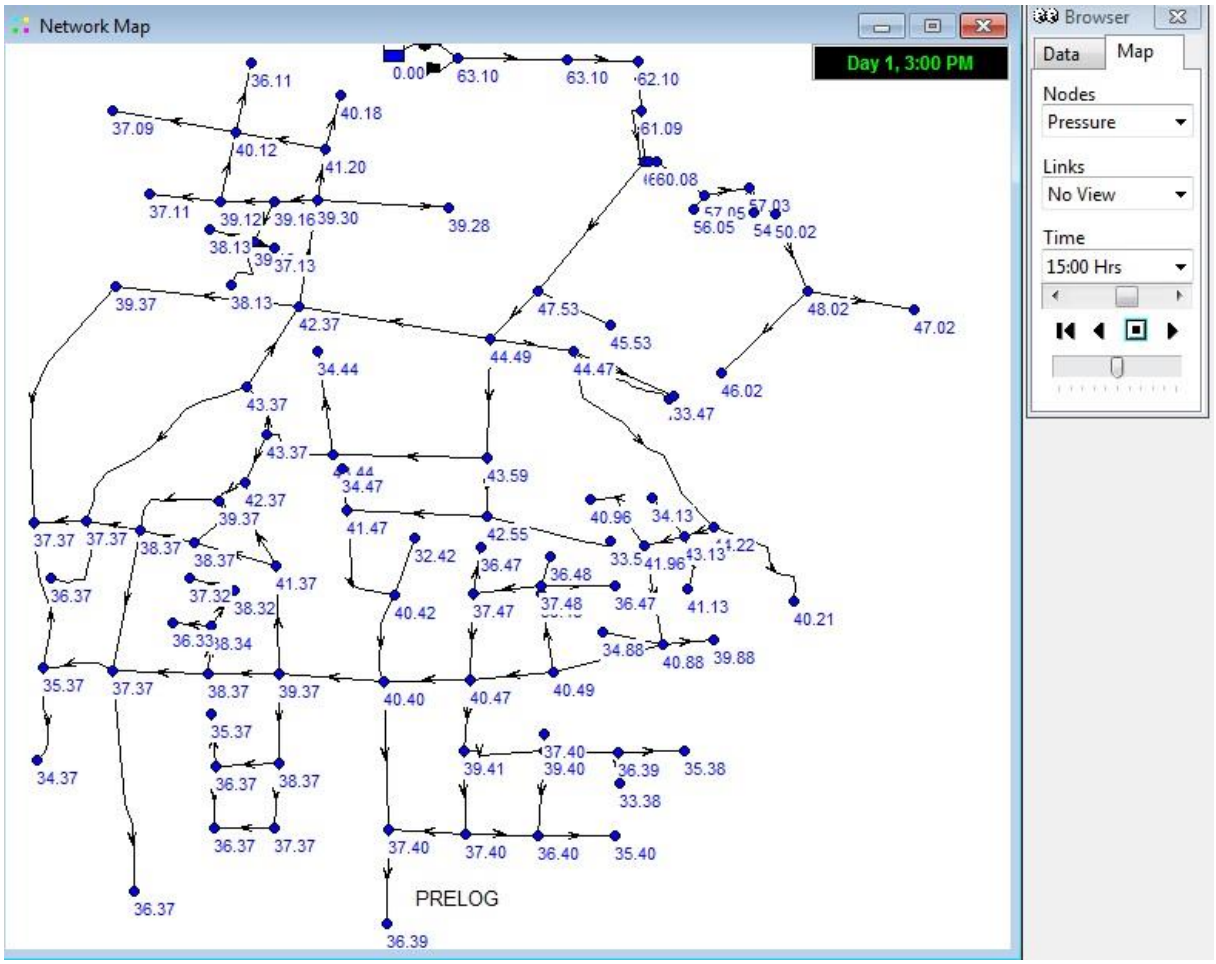
Slika 3.6 *Faktor trenja*



Slika 3.7 *Promjeri cjevovoda*

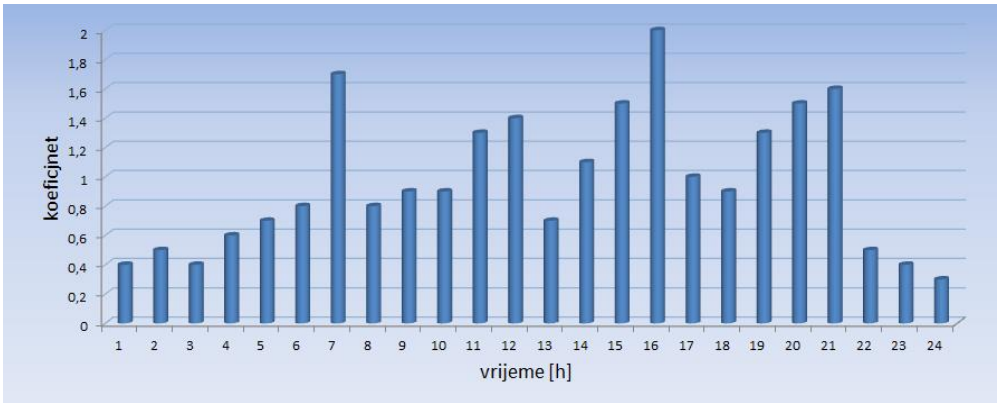


Slika 3.8 *Hrapavost cjevovoda*



Slika 3.9 *Tlakovi za vrijeme maksimalne potrošnje*

Pomoću opcije Pattern za svaki je čvor definirana pripadajuća ne ravnomjerenost. Za svaki je sat izračunat koeficijent kojim se množi maksimalna satna potrošnja da bismo dobili potrošnju tog sata, potrošnja je mjerenja mjeračima protoka.



Slika 3.10 *Dijagram potrošnje vode za stanovništvo*

3.2. Cijevi

Cijevi su elementi vodovodne mreže. Vodovodna mreža sastoji se od 125 okruglih cijevi koje su različitih duljina i promjera. U tablici 3.1 dani su podatci za svaku cijev, njena duljina, promjer i visina hrapavosti.

Tablica 3.1 *Podatci o cijevima*

Broj cijevi	Duljina cijevi [m]	Unutarnji promjer cijevi [mm]	Visina hrapavosti [m]
1	70	460	0.002
2	425	460	0.002
3	100	460	0.002
4	400	460	0.002
5	100	460	0.002
6	30	460	0.002
7	30	460	0.002
8	240	100	0.002
9	20	100	0.002
10	150	100	0.002
11	30	150	0.002
12	20	100	0.002
13	170	150	0.002
14	200	150	0.002
15	210	150	0.002
16	440	100	0.002
17	120	100	0.002
18	140	100	0.002
19	180	200	0.002
20	540	100	0.002
21	550	200	0.002
22	380	100	0.002
23	70	100	0.002
24	200	100	0.002

Tablica 3.1 *Podatci o cijevima (nastavak 2)*

Broj cijevi	Duljina cijevi [m]	Unutarnji promjer cijevi [mm]	Visina hrapavosti [m]
25	600	150	0.002
26	30	100	0.002
27	72	100	0.002
28	110	100	0.002
29	56	100	0.002
30	200	100	0.002
31	292	100	0.002
32	254	150	0.002
33	80	100	0.002
34	88	150	0.002
35	12	100	0.002
36	125	100	0.002
37	65	100	0.002
38	116	100	0.002
39	83	100	0.002
40	172	100	0.002
41	190	100	0.002
42	200	100	0.002
43	121	150	0.002
44	152	100	0.002
45	130	100	0.002
46	132	100	0.002
47	83	100	0.002
48	133	100	0.002
49	12	100	0.002
50	100	100	0.002
51	80	100	0.002
52	55	100	0.002
53	115	100	0.002
54	100	100	0.002
55	240	100	0.002

Tablica 3.1 *Podatci o cijevima (nastavak 3)*

Broj cijevi	Duljina cijevi [m]	Unutarnji promjer cijevi [mm]	Visina hrapavosti [m]
56	131	100	0.002
57	280	100	0.002
58	212	100	0.002
59	250	100	0.002
60	170	100	0.002
61	192	100	0.002
62	252	100	0.002
63	200	100	0.002
64	140	150	0.002
65	90	150	0.002
66	210	150	0.002
67	270	150	0.002
68	180	150	0.002
69	160	150	0.002
70	130	100	0.002
71	160	100	0.002
72	130	100	0.002
73	80	100	0.002
74	185	140	0.002
75	132	150	0.002
76	125	100	0.002
77	100	100	0.002
78	80	100	0.002
79	115	100	0.002
80	15	100	0.002
81	190	100	0.002
82	50	100	0.002
83	120	100	0.002
84	195	100	0.002
86	250	100	0.002
87	420	100	0.002

Tablica 3.1 *Podatci o cijevima (nastavak 4)*

Broj cijevi	Duljina cijevi [m]	Unutarnji promjer cijevi [mm]	Visina hrapavosti [m]
88	170	150	0.002
89	230	100	0.002
90	550	150	0.002
91	110	150	0.002
92	190	100	0.002
93	330	100	0.002
94	110	150	0.002
95	380	150	0.002
96	200	150	0.002
97	450	100	0.002
98	220	100	0.002
99	115	100	0.002
100	180	100	0.002
101	150	100	0.002
102	230	100	0.002
103	120	100	0.002
104	60	100	0.002
105	30	100	0.002
106	80	100	0.002
107	80	100	0.002
108	170	100	0.002
109	215	100	0.002
110	230	100	0.002
111	122	100	0.002
112	180	100	0.002
113	63	100	0.002
114	74	100	0.002
115	120	100	0.002
116	140	100	0.002
117	150	100	0.002
118	210	150	0.002
119	90	150	0.002

Tablica 3.1 *Podatci o cijevima (nastavak 5)*

Broj cijevi	Duljina cijevi [m]	Unutarnji promjer cijevi [mm]	Visina hrapavosti [m]
120	110	100	0.002
121	120	100	0.002
122	70	100	0.002
123	180	100	0.002
125	60	100	0.002

3.3. Čvorovi

Vodovodna mreža sastoji se od 107 čvorova. U tablici 3.2 dati su podatci za svaki čvor, njegova geodetska visina i potrošnja u čvoru.

Tablica 3.2 *Podatci o čvorovima*

Broj čvora	Geodetska visina [m]	Potrošnja u čvoru[l/s]
1	165	0
2	165	0
3	162	0
4	163	0
5	165	0
6	164	0
7	166	0
8	167	0.04
9	166	0
10	167	0
11	158	0
12	158	0
13	158	0
14	161	0.01
15	165	0.03

Tablica 3.2 *Podatci o čvorovima (nastavak 2)*

Broj čvora	Geodetska visina [m]	Potrošnja u čvoru[l/s]
16	167	0
17	167	0.10
18	156	0.12
19	158	0.05
20	158	0.17
21	158	0.05
22	159	0.05
23	157	0
24	167	0
25	156	0.03
26	156	0.03
27	166	0
28	156	0
29	157	0.03
30	166	0.05
31	166	0.04
32	155	0.03
33	155	0.03
34	160	0.05
35	160	0.05
36	158	0.03
37	159	0.03
38	162	0.01
39	157	0
40	162	0.05
41	163	0.04
42	158	0
43	162	0.02
44	160	0
45	155	0.10
46	161	0

Tablica 3.2 *Podatci o čvorovima (nastavak 3)*

Broj čvora	Geodetska visina [m]	Potrošnja u čvoru[l/s]
47	159	0.05
48	160	0.13
49	164	0.01
50	160	0.01
51	162	0
52	163	0.01
53	164	0.10
54	162	0.11
55	161	0.01
56	160	0.10
57	164	0
58	162	0.01
59	161	0.10
60	165	0.20
61	164	0.16
62	165	0.12
63	161	0
64	162	0.04
65	164	0.03
66	165	0
67	160	0.013
68	162	0.01
69	160	0
70	165	0.01
71	162	0.10
72	165	0.016
73	162	0.01
74	163	0.015
75	163	0.015
76	166	0.011
77	162	0

Tablica 3.2 *Podatci o čvorovima (nastavak 4)*

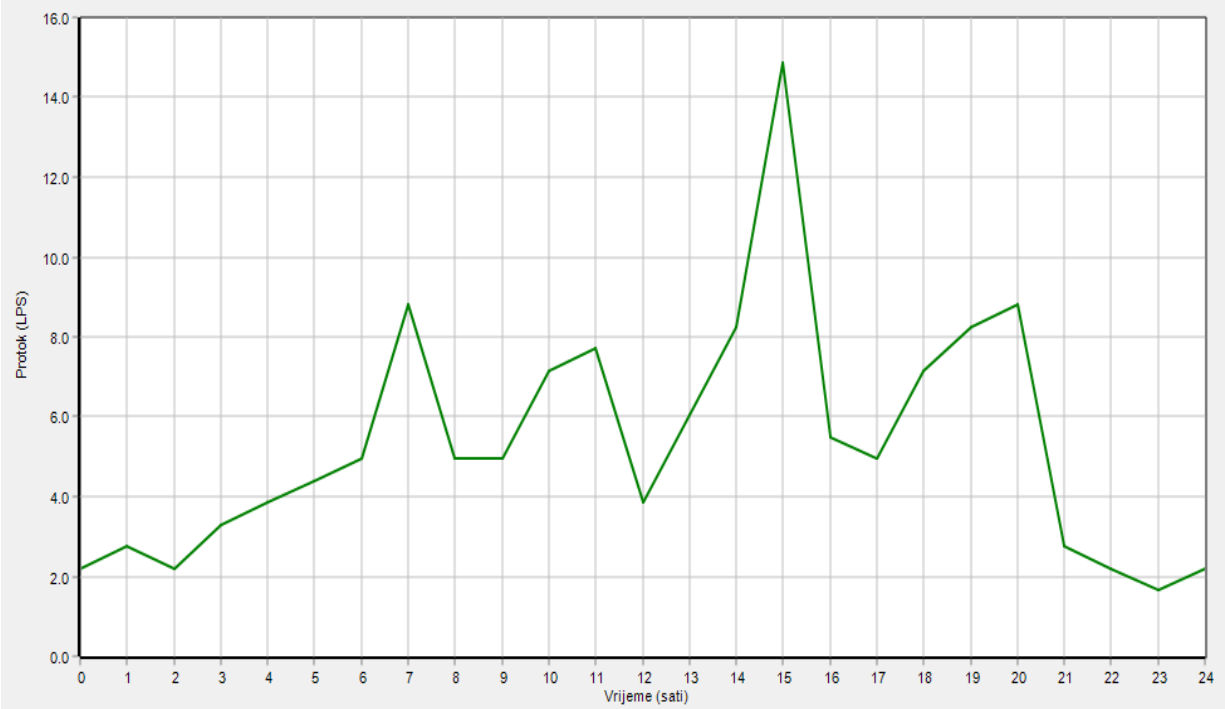
Broj čvora	Geodetska visina [m]	Potrošnja u čvoru[l/s]
78	162	0.26
79	161	0.011
80	162	0.11
81	163	0.15
82	160	0.01
83	160	0.02
84	160	0.02
85	162	0.25
86	161	0.013
87	161	0
88	162	0
89	164	0
90	162	0.015
91	162	0.011
92	161	0.15
93	159	0.22
94	157	0.11
95	158	0.22
96	166	0.11
97	161	0.12
98	157	0.11
99	164	0.15
100	158	0.15
101	160	0
102	165	0.15
103	158	0.15
104	159	0.15
105	161	0.23
106	165	0.03

4. REZULTATI PRORAČUNA

Nakon što su uneseni svi potrebni parametri za proračun mreža EPANET-om je proračunata vodovodna mreža i dobiveni su rezultati za minimalnu i maksimalnu potrošnju. Protok označen negativnim predznakom znači da je protok u suprotnom smjeru u kojem u cijev nacrtana na početku.

Minimalni tlak u vodovodnoj mreži ne smije pasti ispod 2,5 bara, za vrijeme maksimalne potrošnje vode.

Maksimalni tlak u vodovodnoj mreži ne smije prelaziti 6 bara, ponekad 8 bara za vrijeme minimalne potrošnje vode.



Slika 4.1 *Dijagram promjene protoka*

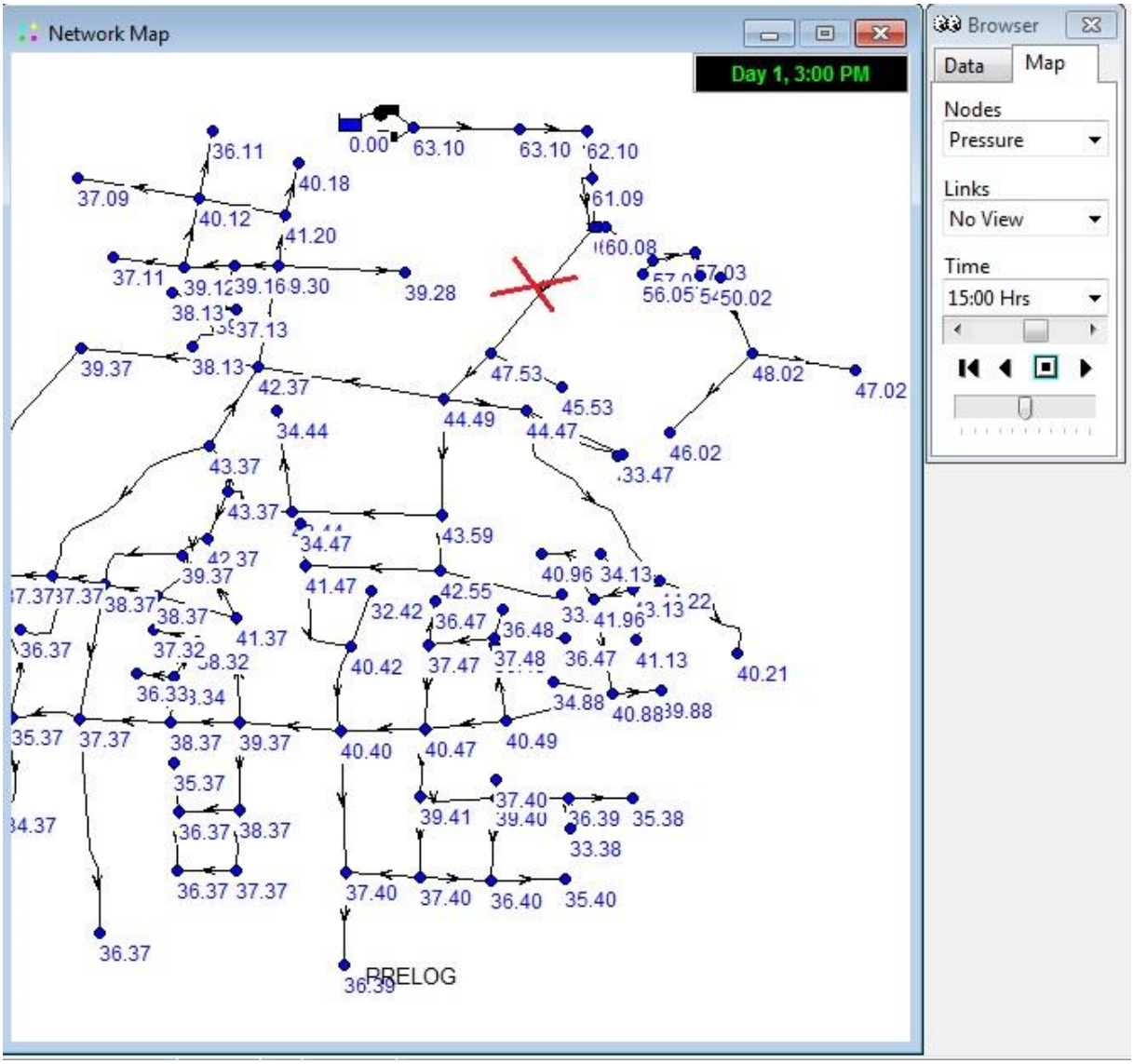
Iz dijagrama je vidljivo da protok varira, i to u periodu između 23 sata pa sve do 4 sata ujutro kada je količina protoka vode najmanja, odnosno u 23 sata iznosi 1.65 l/s. Nadalje dolaskom jutarnjih sati, kada se u pravilo većina stanovništva budi radi obavljanja svakodnevnih obaveza, dolazi do porasta protoka vode, u 7 sati dolazi do porasta protoka vode na 8.80 l/s, zatim je vidljivo da u periodu između 8 sati pa sve do 11 sati ne dolazi do velikih promjena, što je najvjerovatnije povezano s činjenicom da većina stanovništva odlazi iz svojih domova. Maksimalni protok vode iznosi 14.85 l/s dolazi u 15 sati kada se većina stanovništva vraća svojim domovima. Nakon toga dolaskom večernjih sati dolazi do pada protoka vode na 2.75 l/s.

4.1 Simulacija vodoopskrbne mreže

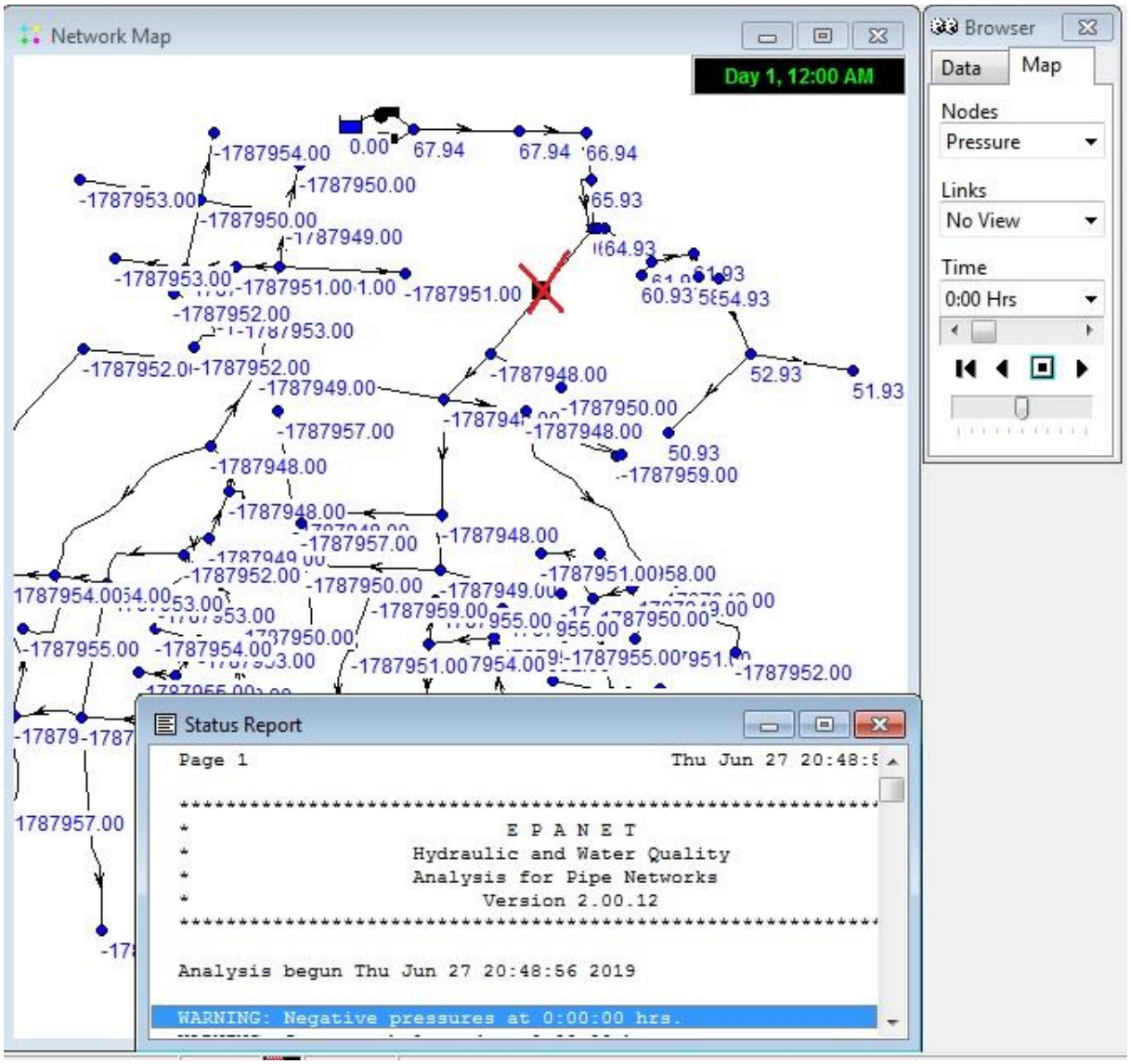
1. Simulacija u slučaju kvara cjevovoda

Simulacije za oba slučaja rađene su za vrijeme maksimalne potrošnje u 15:00 sati.

Prikaz simulacije granate mreže:



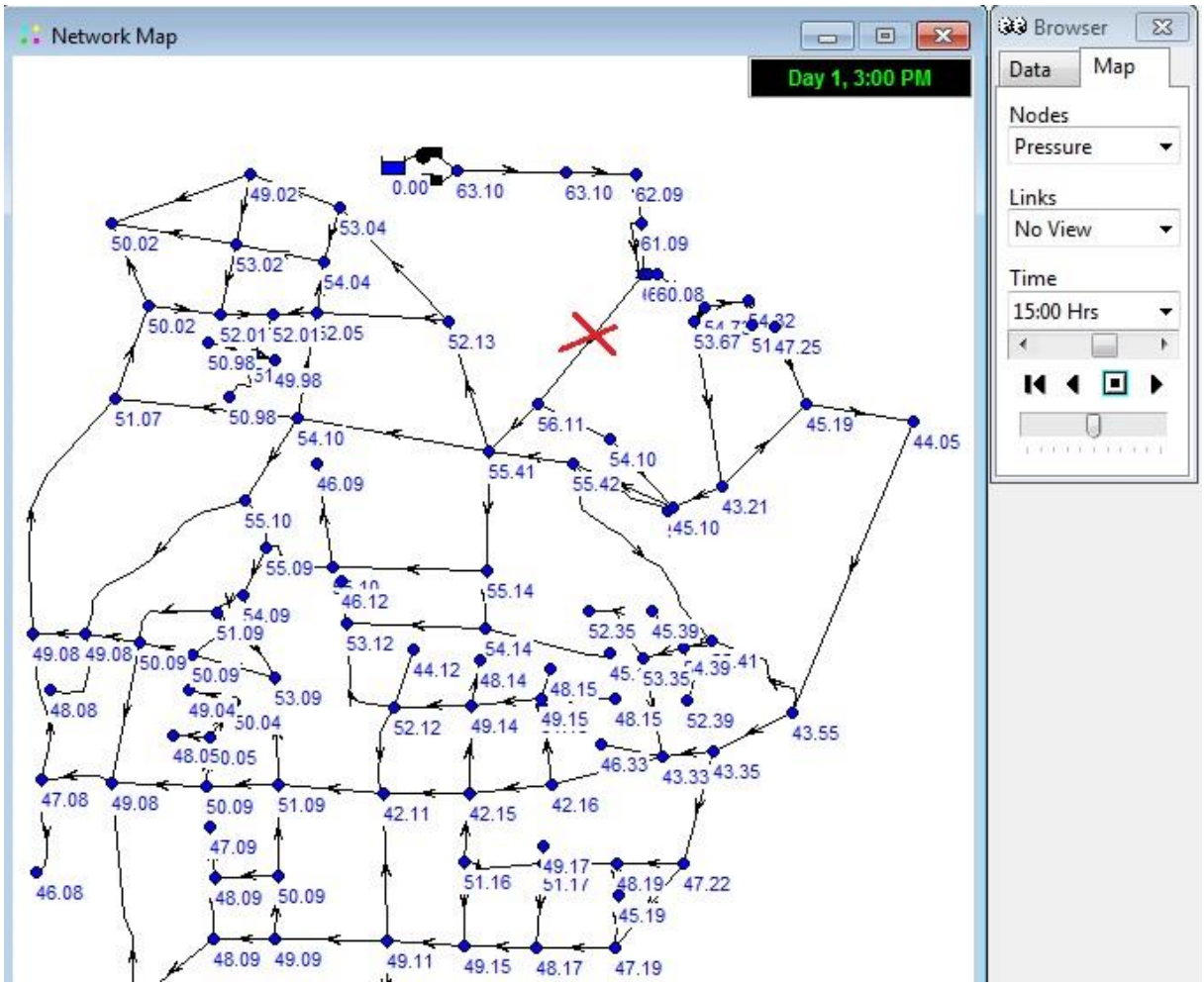
Slika 4.2 *Granata mreža prije puknuća cijevi*



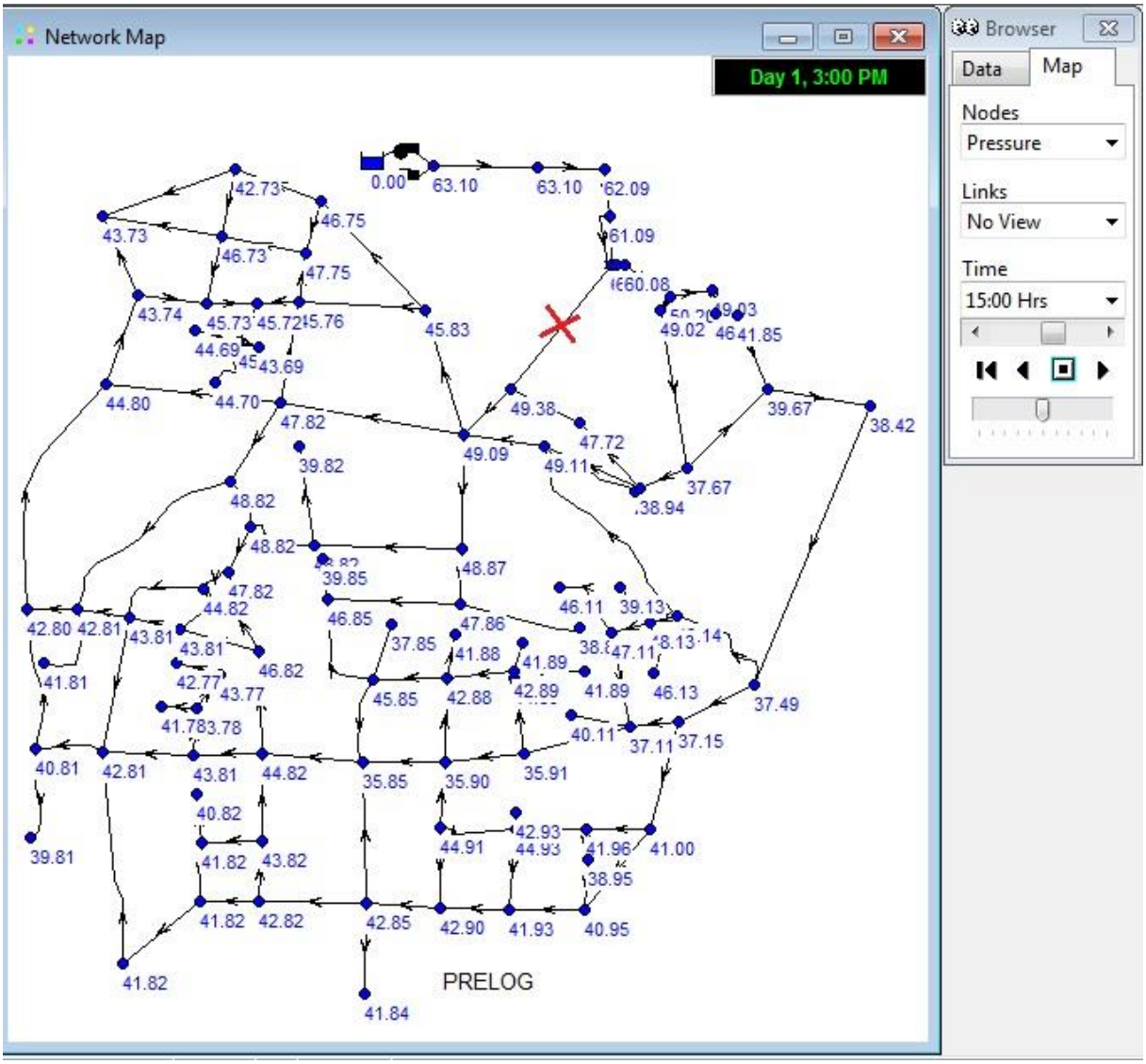
Slika 4.3 *Granata mreža nakon puknuća cijevi*

Na slikama 4.2 i 4.3 uočava se kada je riječ o granatoj mreži da prilikom puknuća cijevi (označeno puknuće sa „X“) dobar dio stanovništva ostaje bez vode. Program EPANET odmah nam daje do znanja da je riječ o greški odnosno u našem slučaju puknuću cijevi. Glavna mana granate mreže je upravo ta da kod puknuća cijevi ili neki drugi kvar dovodi do prekida u opskrbljivanju vodom više potrošača.

Prikaz simulacije prstenaste mreže:



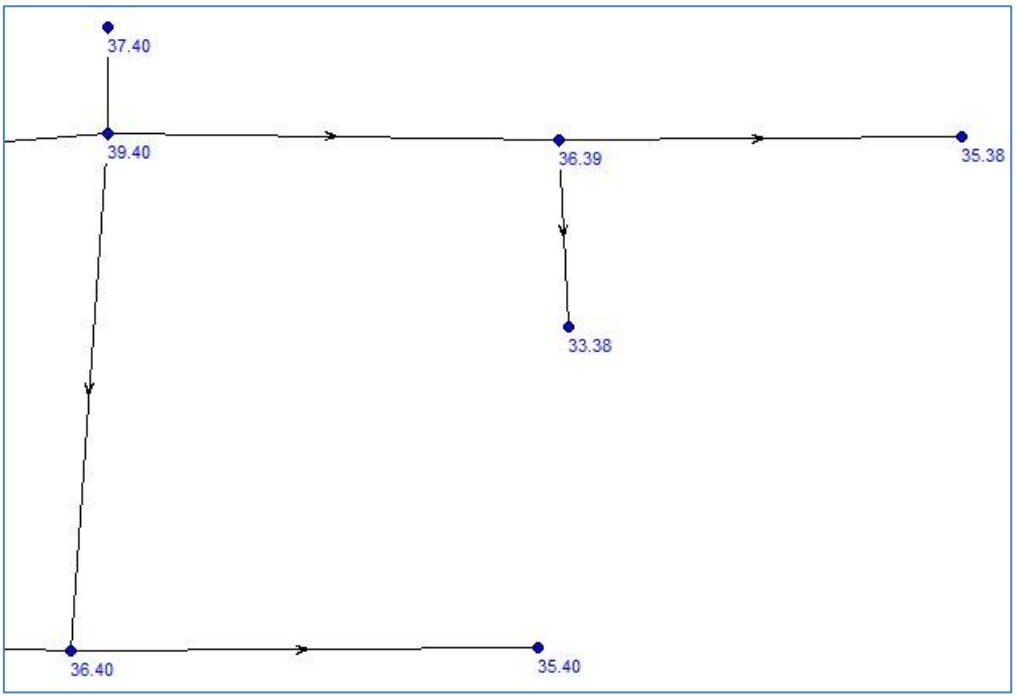
Slika 4.4 *Prikaz prstenaste mreže prije puknuća*



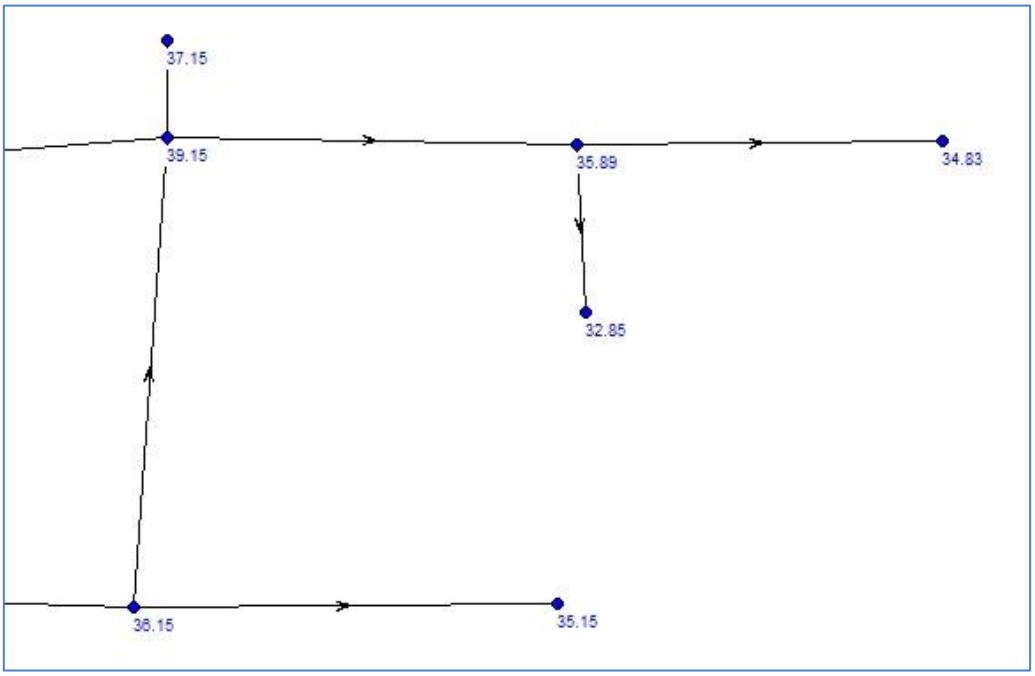
Slika 4.5 *Prikaz prstenaste mreže nakon puknuća*

Prstenasta mreža sastoji se iz niza zatvorenih prstena iz čijih se čvorišta opskrbljuju potrošači. Vodovodna mreža dvosmjerno opskrbljuje potrošače i ne zahtijeva prekid rada cijele mreže pri isključenju pojedine dionice kao što je prikazano u granatoj mreži. Na slikama 4.3 i 4.4 uočavamo da prilikom puknuća cijevi na istoj dionici kao u prethodnom primjeru dolazi do pada tlaka a ostatak potrošača iza mjesta kvara i dalje ima opskrbu vodom. Tlakovi u cijelosti zadovoljavaju parametre vodoopskrbe.

2. Slučaj da se smanji promjer cjevovoda od projektnog



Slika 4.6 *Odabrani dio cjevovoda promjera 100 [mm]*



Slika 4.7 *Odabrani dio cjevovoda promjera 50 [mm]*

U slučaju greške projektanta da se smanji promjer cjevovoda sa 100mm na 50mm, rezultira padom tlaka kao što vidimo na slici 4.6 i 4.7. U vodoopskrbnom sustavu u slučaju greške manjeg promjera može doći do toga da samo dio stanovništva ima vodu dok ostatak ostane bez vode, pogotovo dio koji se nalazi na povišenom kraju a sve to zbog nedovoljnog tlaka.

3. Usporedba hrapavosti čelične i plastične cijevi po potrošnji električne energije pumpe u satima maksimalne potrošnje

Tablica *4.1 Analiza plastičnih cijevi*

Broj cijevi	Q [l/s]	Visina hrapavosti [mm]
P23	4.39	0.002
P26	3.69	0.002
P27	1.55	0.002
P31	3.72	0.002
P36	3.53	0.002
P55	0.30	0.002
P57	0.02	0.002
P65	2.20	0.002
P70	0.22	0.002
P73	0.13	0.002
P78	0.11	0.002
P80	1.11	0.002
P82	0.01	0.002
P86	0.02	0.002
P90	0.32	0.002
P95	0.17	0.002
P97	0.08	0.002
P99	0.59	0.002
P100	2.77	0.002
P105	4.15	0.002
P107	5.36	0.002
P108	0.08	0.002
P109	0.06	0.002
P111	0.32	0.002
P115	0.12	0.002
P117	14.04	0.002
P119	3.69	0.002
P121	0.22	0.002

Tablica 4.2 *Analiza čeličnih cijevi*

Broj cijevi	Q [l/s]	Visina hrapavosti [mm]
P23	4.53	0.045
P26	3.70	0.045
P27	1.58	0.045
P31	3.85	0.045
P36	3.78	0.045
P55	0.30	0.045
P57	0.06	0.045
P65	2.45	0.045
P70	0.42	0.045
P73	0.23	0.045
P78	0.21	0.045
P80	1.67	0.045
P82	0.09	0.045
P86	0.10	0.045
P90	0.52	0.045
P95	0.37	0.045
P97	0.18	0.045
P99	0.79	0.045
P100	2.97	0.045
P105	4.45	0.045
P107	6.10	0.045
P108	0.28	0.045
P109	0.19	0.045
P111	0.58	0.045
P115	0.42	0.045
P117	14.96	0.045
P119	3.99	0.045
P121	0.52	0.045

Tablica 4.3 *Rezultati usporedbe hrapavosti cijevi za potrošnju električne energije za vrijeme maksimalne potrošnje*

Vrsta cijevi	Q[m^3/s]	P[J/s]	Potrošnja [kWh/ m^3]
Plastične	0,05297	32 165,225	32.165
Čelične	0,05929	40 471,688	40.472

Usporedbom visine hrapavosti čeličnih i plastičnih cijevi gdje veliku ulogu ima faktor trenja koji je znatno veći kod čeličnih cijevi naspram plastičnih. S ciljem uštede električne energije došlo se do zaključka da su plastične cijevi dugoročno isplativije u ekonomske svrhe te se njima povećava sigurnost i kvaliteta vodoopskrbe, te smanjuju gubici u sustavu. Napominje se da je analiza vršena u vrijeme maksimalne potrošnje vode.

ZAKLJUČAK

U sklopu ovog završnog rada izrađen je hidraulički matematički model grada Preloga te obuhvaća razmatranje protoka i tlakova. Za proračun matematičkog modela koristimo poseban alat EPANET- besplatan program koji služi za modeliranje vodoopskrbnog sustava te omogućuje hidrauličku analizu koja se temelji na osnovnim zakonima Mehanike fluida.

Hidraulički proračun izvršen je u vremenskom periodu od 24 sata, a nakon analize utvrđeno je da:

- kod predmetnog vodoopskrbnog sustava osigurani su svi potrebni pogonski parametri
- cjevovodi i objekti su optimalno dimenzionirani i u cijelosti zadovoljavaju parametre vodoopskrbe, a slika tlakova i protoka u sustavu je također zadovoljavajuća

Izvršena je simulacija vodoopskrbnog sustava u tri slučaja:

- kod prve simulacije simulirano je puknuće cijevi na određenoj dionici i došlo se do zaključka da kod granate mreže iza kvara potrošači ostaju bez vode, dok kod prstenaste mreže samo na užem djelu potrošača se prekida vodoopskrba dok se ostatku potrošača smanji tlak koji zadovoljava parametre vodoopskrbe, minimalni tlak u vodovodnoj mreži ne smije pasti ispod 2,5 bara, za vrijeme maksimalne potrošnje vode.
- druga simulacija nam daje prikaz ukoliko dođe do greške projektanta ukoliko se smanji promjer cjevovoda na ne propisan način. Cjevovod se smanjio sa promjera 100 mm na promjer 50 mm i uočava se pad tlaka na istim dionicama. Razvodnu mrežu treba postaviti po projektu projektanta da ne bi dolazilo do ovakvih greška i da vodoopskrbni sustav bio zadovoljavajući
- trećom simulacijom uspoređujemo hrapavost između plastičnog i čeličnog cjevovoda s ciljem uštede energije i zaključujemo da su plastične cijevi primaran izbor kod projektiranja razvodne mreže, ne samo zbog ekonomskih razloga već i zbog kvalitete i manjih gubitaka u sustavu

Potrebno je naglasiti da hidraulički model postojećeg stanja treba kontinuirano inovirati unosom svih promjena na terenu.

U Varaždinu, 18. srpnja 2019.



Sveučilište
Sjever

SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, MATEO NOVAK *(ime i prezime)* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~ica~~ završnog/~~diplomskog~~ *(obrisati nepotrebno)* rada pod naslovom SIMULACIJA HIDRAULIČKIH PARAMETARA VODOVODNE MREŽE GRADA PREČOGA *(upisati naslov)* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, MATEO NOVAK *(ime i prezime)* neopozivo izjavljujem da sam suglasan/~~na~~ s javnom objavom završnog/diplomskog *(obrisati nepotrebno)* rada pod naslovom SIMULACIJA HIDRAULIČKIH PARAMETARA VODOVODNE MREŽE GRADA PREČOGA *(upisati naslov)* čiji sam autor/~~ica~~.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

LITERATURA

[1] Tehnička dokumentacija „Međimurske vode“

[2] http://medjimurske-vode.hr/

[3] Mile Beslić, Dario Ban: Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji, stručno – poslovni skup, Revelin d.o.o, Ičići, Hrvatska, 2013.

[4] Mehanika Fluida

URL:https://moodle.vz.unin.hr/moodle/course/view.php?id=111

[5] Prof. dr. sc. Živko Vuković, dipl. ing. građ.: OPSKRBA VODOM I ODVODNJA I.

[6] American Water Works Association: Computer Modeling of Water Distribution Systems

[7] Robert Pitt (UA), Shirley Clark (Penn State-Harrisburg), andAlex Maestre (UA):

A Step-by-StepGuide to EPANET 2.0 Simulations,2014