

# Numerička analiza strujanja u mreži vodovodnog sustava za višestruke lokacije oštećenja

---

**Hušnjak, Dario**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:954521>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-27**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA**

Preddiplomski stručni studij strojarstva

Završni rad

**NUMERIČKA ANALIZA STRUJANJA U MREŽI  
VODOVODNOG SUSTAVA ZA VIŠESTRUKU LOKACIJU  
OŠTEĆENJA**

Rijeka, rujan 2022.

Dario Hušnjak

0069080622

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA**

Preddiplomski stručni studij strojarstva

Završni rad

**NUMERIČKA ANALIZA STRUJANJA U MREŽI  
VODOVODNOG SUSTAVA ZA VIŠESTRUKU LOKACIJU  
OŠTEĆENJA**

Mentor: Prof.dr.sc. Zoran Čarija, dipl. ing

Rijeka, rujan 2022.

Dario Hušnjak

0069080622

Rijeka, 11. ožujka 2021.

Zavod: **Zavod za mehaniku fluida i računarsko inženjerstvo**  
Predmet: **Hidraulički strojevi**  
Grana: **2.15.04 mehanika fluida**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Dario Hušnjak (0069080622)**  
Studij: **Preddiplomski stručni studij strojarstva**

Zadatak: **Numerička analiza strujanja u mreži vodovodnog sustava za višestruke lokacije oštećenja / Numerical analysis of flow in the water supply network system with multiple leak locations**

### Opis zadatka:

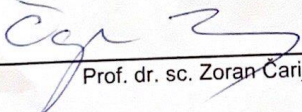
U radu je potrebno analizirati strujanje fluida u vodovodnom sustavu upotrebom alata za 1D numeričku analizu toka fluida. Numerički model analiziranog sustava mora obuhvatiti sve bitne elemente sustava koji utječu na tok fluida. Numeričkom analizom potrebno je utvrditi padove tlakova i pojedinačne protoke u sustavu za različite scenarije višestrukih oštećenja u sustavu.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

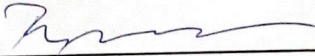
*Dario Hušnjak*

Zadatak uručen pristupniku: 15. ožujka 2021.  
Rok za predaju rada: 8. srpnja 2021.

Mentor:

  
Prof. dr. sc. Zoran Čarija

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
Prof. dr. sc. Robert Basan

## **IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA**

Izjavljujem da sam završni rad s naslovom Numerička analiza strujanja u mreži vodovodnog sustava za višestruke lokacije oštećenja izradio samostalno pod mentorstvom prof.dr.sc Zorana Čarije i asistentice Ivane Lučin, mag.ing.mech, te sam u radu koristio samo literaturu koja je navedena na kraju završnog rada.

---

Dario Hušnjak

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se svom mentoru prof.dr.sc Zoranu Čariji koji mi je omogućio izradu ovog rada te na izdvojenom vremenu i prenesenom znanju. Zahvaljujem se asistentici Ivani Lučin mag.ing.mech na pomoći i savjetima tijekom pisanja ovog završnog rada.

Zahvaljujem se obitelji, kolegama i prijateljima koji su me podupirali tijekom studiranja.

# Sadržaj

1.	UVOD.....	1
2.	VODOOPSKRBNI SUSTAV .....	2
2.1	Vodozahvati.....	2
2.2	Postrojenje za obradu vode.....	3
2.3	Crpna stanica .....	3
2.4	Vodosprema .....	4
2.5	Vodovodna mreža .....	5
3.	MJERENJE PROTOKA.....	8
4.	GUBITCI VODE U VODOVODNOM SUSTAVU .....	9
4.1	Oštećenja uzrokovana korozijom .....	9
4.2	Oštećenja uzrokovana tlakom .....	10
4.3	Oštećenja uzrokovana temperaturom.....	10
4.4	Oštećenja zbog pomicanja tla.....	11
5.	METODE DETEKCIJE OŠTEĆENJA CJEVOVODA .....	12
5.1	Detektor i korelator .....	12
5.2	In-line inspekcija.....	14
5.3	Termografija .....	14
5.4	Detekcija zapisivačima buke .....	15
5.5	Detekcija pametnom kuglom .....	15
6.	SOFTVERSKA SIMULACIJA STRUJANJA U MREŽI CJEVOVODA .....	17
6.1	Epanet .....	17
6.2	Mreža cjevovoda .....	17
6.3.	Odabir čvorova za promatranje.....	20
6.4	Koeficijent emitera .....	22
6.5	Rezultati simulacije.....	23
7.	ZAKLJUČAK .....	34
8.	LITERATURA.....	35
9.	SAŽETAK .....	36
10.	SUMMARAY .....	37

## 1. UVOD

Vodoopskrbni sustav je sustav objekata koji služe za opskrbu vodom. Njime se voda zahvaća, pročišćava, dovodi do mjesta potrošnje i raspodjeljuje. Za opskrbu potrošača vodom potrebnih tlakova i protoka, sve komponente sustava trebaju biti pravilno dizajnirane i raditi na optimalnoj razini. Ako bilo koja komponenta ne funkcionira pravilno, sustav u cjelini može imati lošije performanse. Gubitci vode u cjevovodu često se pojavljuju zbog starih i dotrajalih cijevi ,a do toga dovodi ne učestala kontrola oštećenja cjevovoda.

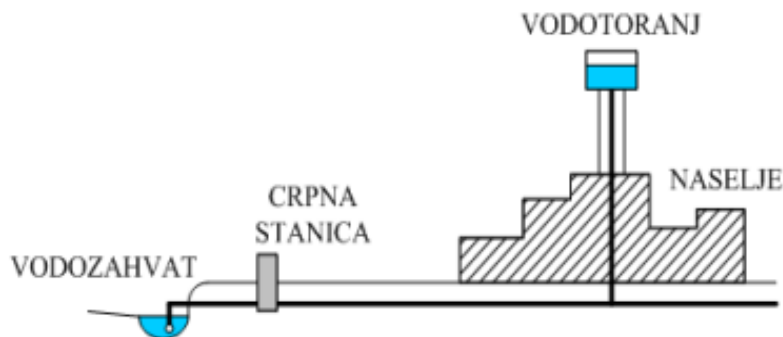
U prvom dijelu ovog rada ćemo se upoznat sa sastavnim dijelovima vodovodnog sustava kao što su vodozahvati, crpne stanice, vodospreme. Problemima zbog kojih nastaju oštećenja u sustavu te načinima njihovog pronalaska, kako bi se spriječili i smanjili gubitci vode.

U drugom dijelu analizirat ćemo strujanje fluida u vodovodnom sustavu upotrebom alata za 1D numeričku analizu toka fluida. Numerički model analiziranog sustava obuhvaća sve bitne elemente sustava koji utječu na tok fluida. Utvrdit ćemo padove tlakova i pojedinačne protoke u sustavu za različita višestruka oštećenja u sustavu. Analizu strujanja dobivenog vodovodnog sustava ćemo izvršiti u programu Epanet. On nam omogućava uređivanje mrežnih ulaznih podataka, pokretanje simulacije te pruža informacije o tokovima u cijevima, pritiscima u spojevima Odabrat ćemo mjesto na kojem ćemo simulirati oštećenje te promatrati kako ono djeluje na ostatak mreže.



## 2. VODOOPSKRBNI SUSTAV

Vodoopskrbni sustav se uglavnom sastoji od vodozahvatnih građevina, odakle se voda glavnim cjevovodom dovodi do uređaja za poboljšanje njezine kvalitete i do vodosprema za uskladištenje, zatim se vodovodnom mrežom s pripadnim objektima dovodi do krajnjih korisnika.



*Slika 2.1. Vodoopskrbni sustav*

Vodoopskrbnog sustava mora zadovoljiti sve potrebe potrošača. Mora osigurati potreban tlak vode. Prema načinu pogona, tj. ostvarivanju potrebnog tlaka vode, vodovod može biti gravitacijski, tlačni ili kombinacija gravitacijskog i tlačnog [1].

### 2.1 Vodozahvati

Vodozahvati su temeljni objekti vodoopskrbnog sustava, objekti kojima se zahvaća voda iz izvorišta i odvodi prema potrošačima. Zadatak je zahvaćanje prirodne vode radi obrade i raspodjele krajnjim korisnicima.

Dijelimo ih na : zahvate površinskih voda, zahvate podzemnih voda, zahvate oborinskih voda, zahvate izvora [7].



*Slika 2.2. Vodozahvat*

## 2.2 Postrojenje za obradu vode

Postrojenje za obradu sirove vode najvažniji je objekt sustava iz zdravstvenog aspekta i svrha mu je obrada sirove vode u vodu standarda vode za piće. Mora biti pouzdan jer od njegovog rada ovisi uporabljivost cjelokupnog vodoopskrbnog sustava. Od postrojenja do krajnjim potrošača transportira se čista voda te zbog toga vodoopskrbni sustav mora biti zatvoren i bez kontakta s ljudima i okolišem a to osiguravamo stalnim tlakom u sustavu [1].

## 2.3 Crpna stanica

Crpna stanica je postrojenje za podizanje tekućina s niže razine na višu. Služi za crpljenje vode iz izvora te potiskivanje u vodospremnik.



*Slika 2.3. Crpna stanica za vodovod*

Za crpljenje tekućina najviše se koriste centrifugalne crpke, a za crpljenje iz većih dubina vertikalne višestupanjske crpke.

## 2.4 Vodosprema

Vodosprema je građevina za spremanje i pričuvu vode u sklopu vodovodne mreže. Svrha joj je izjednačivanje dnevnih oscilacija potrošnje i ostvarivanje pogonskih tlakova u mreži. U većini slučajeva se izvode s najmanje dvije vodena komore, pogonski povezane potrebnim cjevovodima da mogu djelovati posebno i zajedno.

S obzirom na položaj površine tla vodospreme su najčešće ukopane ili visinske.



*Slika 2.4. Vodotoranj*

Vodotoranj je visinska vodosprema izgrađena na vrhu tornja. Gradi se u nizinskim područjima gdje nije moguće izgraditi ukopanu vodospremu na povišenom položaju iz koje bi voda tekla prirodnim padom [1].

## 2.5 Vodovodna mreža

Vodovodna mreža obuhvaća cijevi i pridružene funkcionalne elemente kojima se voda iz vodospreme razvodi do krajnjih potrošača. Uz cijevi nalaze se još ventili, vodomjeri, hidranti, manometri koji osigurava potrebnu količinu i tlakove vode. Cijevi su okruglog presjeka, od lijevanog željeza, čelika, armiranog betona, ili polimernih materijala ovisno o uvjetima i tlaku za koji su predviđene.



*Slika 2.5. Cjevovod*

Ventili služe za isključivanje pojedinih dijelova mreže zbog raznih izmjena ili popravaka. Zračni ventili postavljaju se na najvišu točku cjevovoda kako bi kontinuirano ispuštali neželjeni zrak radi zaštite ode neželjenih prenapona i održavanja performansi sustava. Hidranti služe za uzimanje vode u većim količinama prilikom gašenja požara, polijevanja ulica ili nasada, a postavljaju se podzemno ili nadzemno uz rubove cesta i u većim zgradama [2].



*Slika 2.6 Zaporni ventil*

Ventilom se regulira, usmjerava ili kontrolira protok fluida kako se on otvara ili zatvara. U otvorenom ventilu tekućina teče od višeg tlaka prema nižem.



*Slika 2.7 Zračni ventil*

Višak zraka u cijevima može uzrokovati sporiji protok, oštećenje cijevi, izazvati turbulencije i povećati stopu korozije. Zračni ventil dopušta da višak zraka izađe iz cjevovoda dok tokom rad zadržava tekućinu unutar cjevovoda. Omogućuje izlazak zraka iz cijevi tijekom punjenja, mogu i ubrizgati zrak u cijevi dok se sustav prazni da spriječe stvaranje vakuuma [8].



*Slika 2.8. Vodomjer*

Za mjerenje količine potrošene vode najčešće upotrebljavamo mehanički vodomjer. Noviji mjerači mogu prikazati i brzinu protoka uz ukupni volumen. Za mjerenje velike količine protoka koriste se mjerači protoka.



*Slika 2.9 Hidrant*

Hidrant je izlaz iz glavnog cjevovoda, a sastoji se od uspravne cijevi s ventilima za pričvršćivanje. Služi kao spojna točka vatrogascima prilikom gašenja požara. Može se koristiti i za točenje vode kada je opskrba prekinuta.

### **3. MJERENJE PROTOKA**

Mjerenje protoka važna je stavka u industriji, kućanstvu, proizvodnji koja osigurava glatko, sigurno i ekonomično odvijanje procesa. Mjerači protoka postavljaju se na više mjesta unutar vodovodne mreže kako bi pratili učinkovitost sustava. Protok je najčešće osnovna veličina čijom se promjenom upravlja procesom proizvodnje. Najlakše je mjeriti tekućine jer su one nestlačive, dok mjerenje plinova zahtjeva dodatnu korekciju koristeći tlakove i temperature jer plinovi imaju svojstvo stlačivosti.

Možemo mjeriti volumni i maseni protok, a mediji mogu biti plin ili tekućina.. Volumnim protokom mjerimo obujam fluida koji prolazi kroz neku točku u jedinici vremena, a masenim protokom masu fluida koja prolazi kroz neku točku u jedinici vremena [2].

## 4. GUBITCI VODE U VODOVODNOM SUSTAVU

Gubitak vode određuje se kao razlika zahvaćene i obračunate vode u sustavu. Gubitci nastaju u svakom sustavu raspodjele vode tijekom njegovog radnog vijeka. To izaziva dodatne troškove kao i negativne društvene i ekološke učinke. Na globalnoj razini se gubi 25-50% sve distribuirane vode i to zbog dotrajalosti priključaka, tlaku u cijevima, o kvaliteti materijala, nestručnom radu službe za održavanje.

Čimbenici koji najčešće utječu na skraćenje radnog vijeka cjevovoda su korozija i mehanička oštećenja, konstrukcijske pogreške te pogreške kod popravaka. Zato je važno redovito pregledavati i održavati cjevovod te evidentirati stanje i podatke kako bi se u svakom trenutku bili dostupni osobama zaduženim za upravljanje cjevovodom [3].

### 4.1 Oštećenja uzrokovana korozijom

Kako cijevi stare, one s vremenom korodiraju ili se troše, što ih čini osjetljivim na curenje ili pucanje. Oštećenje vodovodnih cijevi od korodiranih cijevi može se dogoditi bez upozorenja ili započeti polaganim curenjem koje se s vremenom pogoršava. Problem predstavlja rupičasta korozija koja je teško uočljiva, a najčešće se otkriva tek kad dođe do puknuća stijenke [4].



*Slika 4.1 Rupičasta korozija na cijevi*



## 4.2 Oštećenja uzrokovana tlakom

Oštećenje cjevovoda može uzrokovati i visoki tlak. Ako sama cijev može izdržati prekomjernu silu iznutra, spojevi i ventili se mogu pomaknuti s mjesta i uzrokovati curenje. Stalne promjene u brzini vode mogu uzrokovati tlačni udar. On se dogodi kada se ventil iznenada zatvori, što uzrokuje snažno lupanje vode, a može se čuti kao glasno kucanje ili lupanje. Kontinuirana sila može oštetiti ventile i cijevi te se zbog toga ugrađuju regulatori tlaka ili zračne komore [4].



*Slika 4.2. Oštećenje cjevovoda zbog tlačnog udara*

## 4.3 Oštećenja uzrokovana temperaturom

Pojavljaju se i oštećenja cijevi zbog temperature jer ne mogu sve cijevi podnijeti ekstremne razine vrućine i hladnoće. Prilikom niskih temperatura voda unutar cijevi se može zamrznuti i dovesti do začepljenja. Ako pokušamo povećati protok povećat će se i tlak koji dovodi do oštećenja. Previše topline ili sunčeve svjetlosti može oslabiti PVC cijevi jer one ne podnose visoke temperature. Izvana može izgledati normalno no kod povećanja brzine vode može doći do iskrivljenja i deformiranja a na kraju i puknuća cijevi. Kako bi osigurali maksimalnu učinkovitost i dugotrajnost sustava potrebno je odabrati odgovarajuću izolaciju i pravu vrstu za različite primjene [4].



*Slika 4.3. Puknuće cijevi zbog smrzavanja vode*

#### **4.4 Oštećenja zbog pomicanja tla**

Prirodne pojave kao što je potres, pritisak zbog rasta korijenja drveća čak i pritiskom građevinskih strojeva prilikom kopanja tla može uzrokovati oštećenje cijevi. Cjevovodi su izgrađeni da budu nepomični, bez puno dopuštenog kretanja. Zbog svoje krutosti može doći do pucanja stijenki prilikom pomicanja tla [4].

## 5. METODE DETEKCIJE OŠTEĆENJA CJEVOVODA

### 5.1 Detektor i korelator

U slučajevima oštećenja cjevovoda gdje voda ne dođe do površine se pomoću opreme za makro mjerenje ispituju neispravne dionice te se pojedini dijelovi dionice zatvaraju kako bi se lakše pronašla lokacija oštećenja. Postoji indirektan način otkrivanja gubitaka koji se sastoji od uspoređivanja proizvedene vode i obračunate potrošnje vode u određenom razdoblju koji je obično mjesec dana. Provodi se najčešće noću kada je smanjena potrošnja, a mjere se gubitci na relaciji vodozahvat-vodosprema gdje se koriste mjerači protoka na vodozahvatu i ulazu u vodospremu. Evidentira razina punjenja u jedinici vremena. Drugi način mjerenja je gubitak od vodozahvata do distribucijske mreže koja mjeri razinu pražnjenja u jedinici vremena.

Osim indirektnog načina otkrivanja gubitaka u cjevovodu postoji i direktni koji se sastoji od obilaženja i otkrivanja vode na površini, mjerenja tlaka na pojedinim dionicama, te traženja kvarova zbog koji dolazi do gubitaka vode pomoću posebnih uređaja.



*Slika 5.1. Traženje šumova kod istjecanje vode iz cijevi vodovodne mreže*

Detektorom koji reagira na šum vode koja izlazi iz mreže otkrivaju se oštećenja mreže, a radi tako da se instrument objesi na vrat radnika, a slušalica se stavlja po terenu te se traži šum korak po korak. Najčešće se koristi noću kada nema toliko buke i omogućen je nesmetan rad instrumenta.

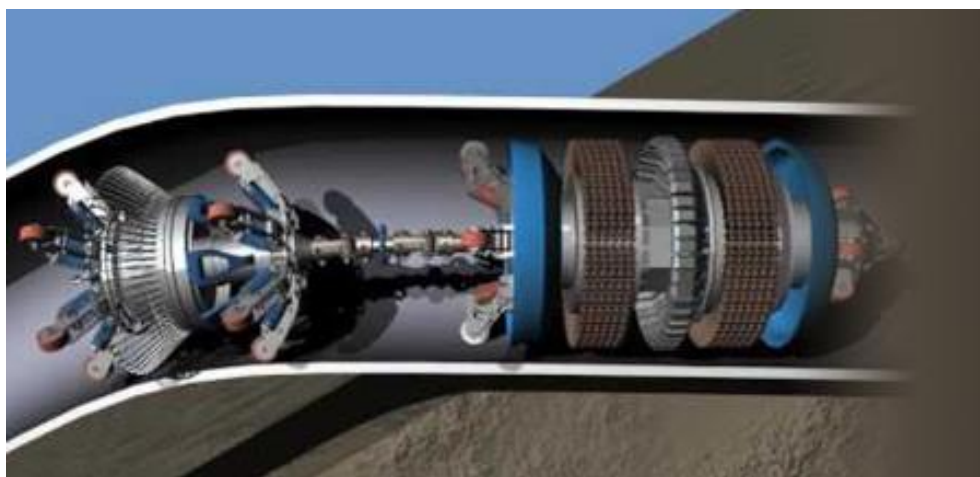
Prisluškivanje korelatorom mnogo je preciznije jer je sastavljen od dva akustična senzora s pretpojačalom i radiopredajnika koji otkriveni šum prenose do korelatora koji stvara signal i tako određuje mjesto istjecanja vode iz cijevi. Zvučni signal se prenosi kabelom ili radiovezom. Postavlja se jedan senzor na svaku stranu moguće dionice kvara s razmakom do 100 metara. Kvalitetnije detekciji može pridonijeti i sustav pametne loptice koja se ubacuje u cjevovod, a kreće se zajedno s vodom te ostvaruje poseban zvuk pri nailasku na mjesto istjecanja [5].



*Slika 5.2 Prisluškivanje korelatorom*

## 5.2 In-line inspekcija

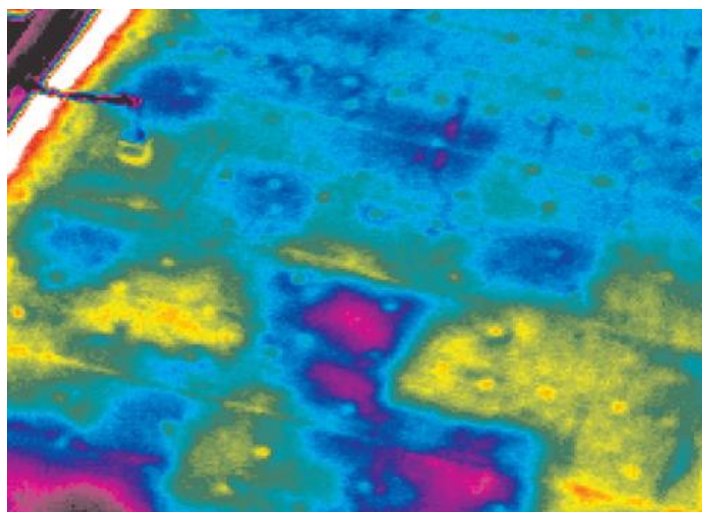
In-line inspekcija je tehnika koja se koristi za procjenu stanja oštećenja unutar cjevovoda s ciljem utvrđivanja pojave korozije, erozije, pukotina cijevi ili udubljenja. Za inspekciju se koriste pametni čistači (eng. Intelligent pigs) koji prolazom kroz cjevovod snimaju stijenke cjevovoda, uočavaju gubitke metala uzrokovanog korozijom i pronalaze mjesta propuštanja ili puknuća cjevovoda [9].



*Slika 5.3 In-line inspekcija*

## 5.3 Termografija

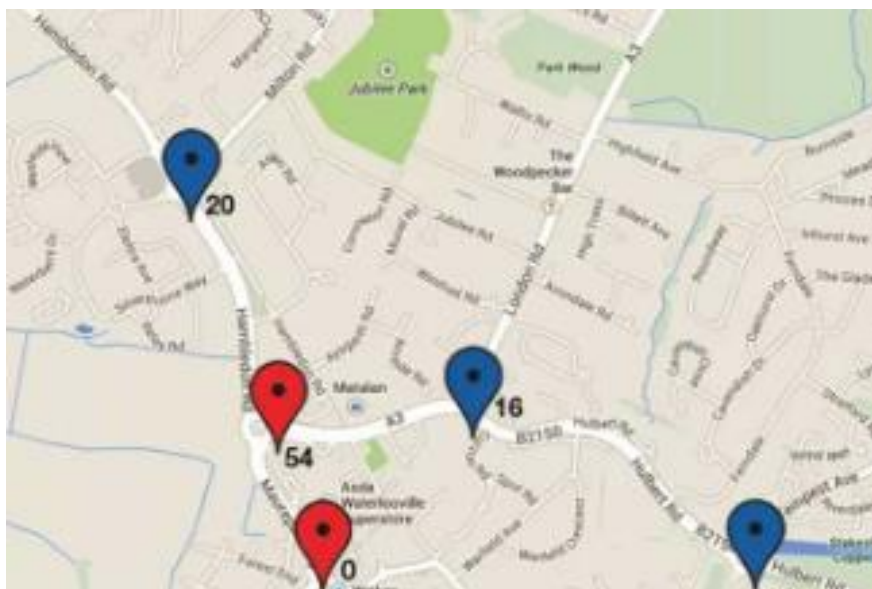
Termografskom kamerom se prikazuje infracrveno zračenje iz objekta. Testirana je na nemetalnim cijevima i pokazala točne rezultate no ne toliko točni kao rezultati koji su dobiveni akustičnom tehnologijom. U slučaju oštećenog cjevovoda su nepouzdana kao i u slučaju promjene temperature.



*Slika 5.4 Termografska slika*

## 5.4 Detekcija zapisivačima buke

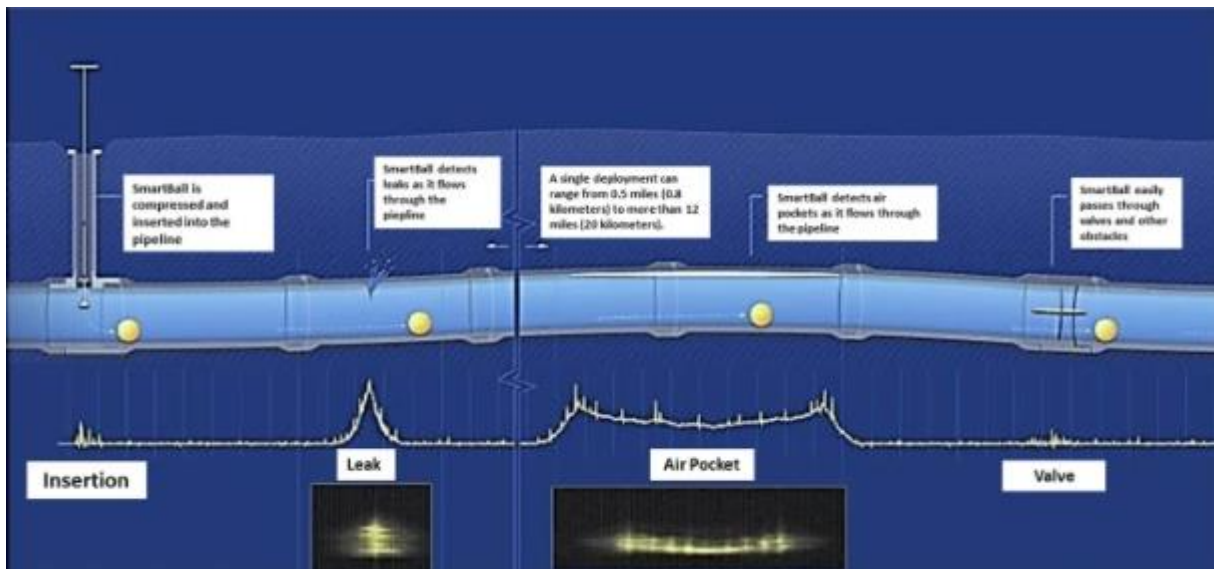
Rade koristeći napredne algoritme za prepoznavanje zvuka koji ispuštaju svakodnevne radnje i uspoređuju se sa zvukom curenja vode iz cjevovoda te se curenje ustanovi čim se pojavi. Koriste se za rano otkrivanje curenja. Raspoređuju se oko vodovodne mreže gdje pratimo razinu buke na samim cijevima. Promjene u zvuku ukazuju na pojavu curenja. Za pronalaženje točne lokacije curenja koriste korelator [10].



*Slika 5.5 Višestruke lokacije zapisivača buke*

## 5.5 Detekcija pametnom kuglom

Detekcija pametnom kuglom koristi sustav slobodnog plivanja i plutajući kroz sustav detektira oštećenja. Pruža visoki stupanj točnosti, otkriva curenje i plinske džepove koji mogu negativno utjecati na protok cjevovoda ili dovesti do degradacije stijenki cijevi. Pametna kugla sadrži visoko osjetljivi akustični senzor koji može detektirati jako mala puštanja.



Slika 5.6 Kretanje pametne kugle u cjevovodu

## 6. SOFTVERSKA SIMULACIJA STRUJANJA U MREŽI CJEVOVODA

### 6.1 Epanet

Epanet je softverski program za modeliranje sustava distribucije vode u javnoj domeni. Omogućuje uređivanje mrežnih ulaznih podataka, pokretanje simulacija te pregled rezultata u različitim formatima. Podržava simulaciju prostorno i vremenski promjenjive potražnje za vodom, pumpe konstantne ili promjenjive brzine i manje gubitke visine za koljena i spojeve. Modeliranje pruža informacije o tokovima u cijevima, pritiscima na spojevima, a moguće je i modeliranje raznih vrsta ventila, uključujući zatvaranje, provjeru regulacije tlaka i kontrolu protoka [6].

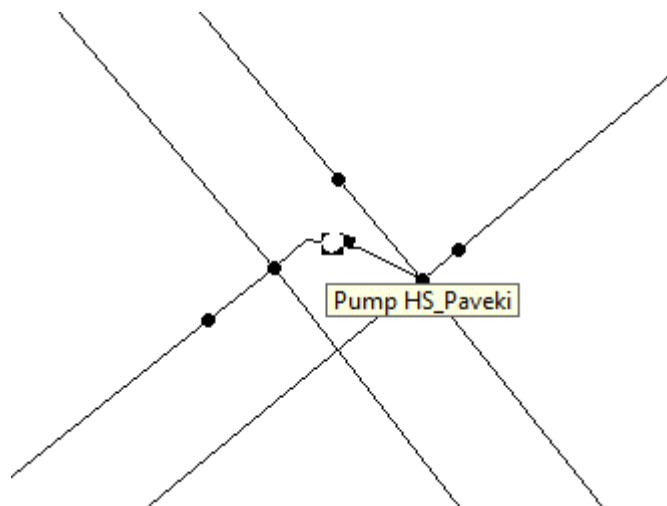
### 6.2 Mreža cjevovoda

Ova slika prikazuje mrežu u kojoj će se simulirati oštećenja i analizirati kako utječu na tok fluida. Mreža se sastoji od spremnika vode koji služi za dobavu vode, crpke koje služe za podizanje pritiska u sustavu, ventila s pomoću kojih se isključuju pojedini dijelovi mreže te cijevi i čvorova kojima je cijela mreža povezana.



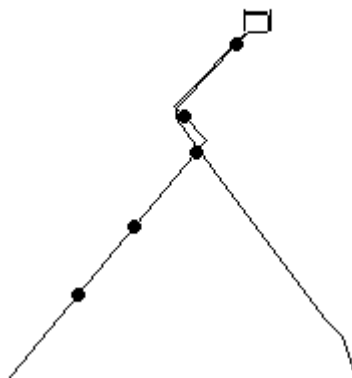
*Slika 6.1. Mreža cjevovoda*





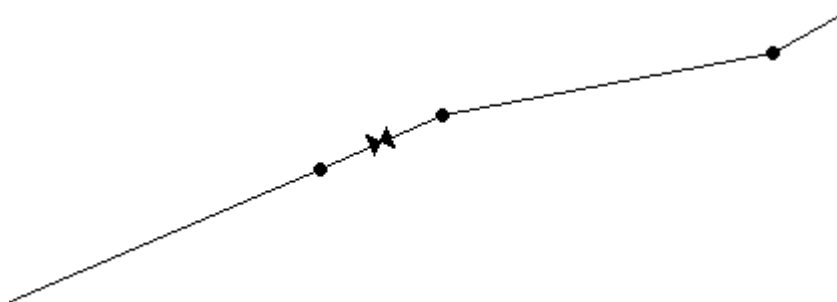
*Slika 6.2 Crpka*

Crpka služi za podizanje tlaka u sustavu.

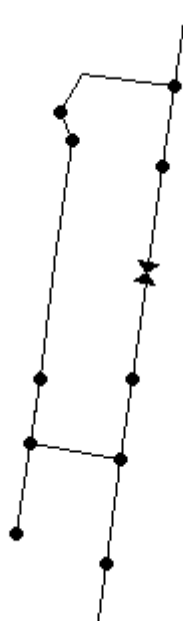


*Slika 6.3 Spremnik za vodu*

Spremnik služi za sakupljanje i pričuvu vode dok ne bude spremna za korištenje. Spremnici pod tlakom istiskuju vodu prema potrebi, dok atmosferski zahtijevaju pumpu za povišenje tlaka.

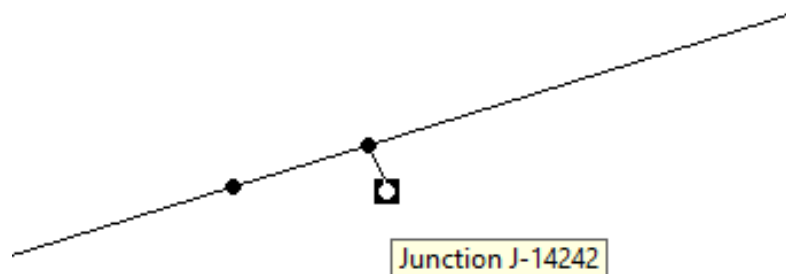


*Slika 6.4 Ventil 1 u mreži*



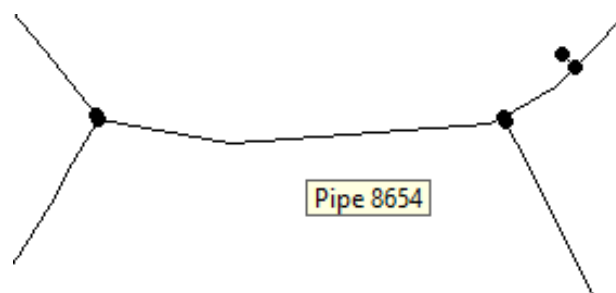
6.5 Ventil 2 u mreži

Ventil služi za reguliranje, usmjeravanje ili kontrolu protok fluida dok se otvara ili zatvara. Služe i za odvajanje pojedinih dijelova cjevovoda od mreže.



Slika 6.6 Čvor u mreži

Čvorovi služe kao senzori u cjevovodu te se njima prate tlakovi i protoci u cjevovodu.

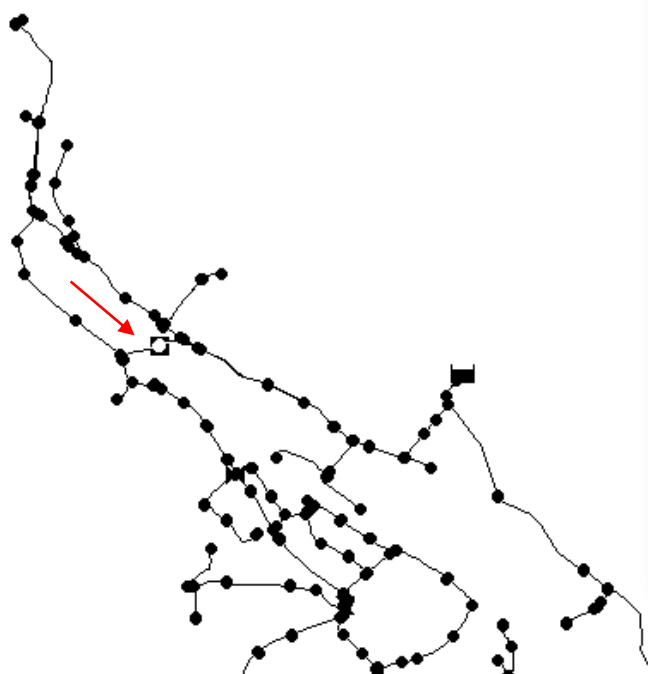


Slika 6.7 Cijev u mreži

Cijevi služe za transport vode do potrošača. Materijal koji se obično koristi za izradu vodovodnih cijevi je lijevano željezo, PVC ili bakar.

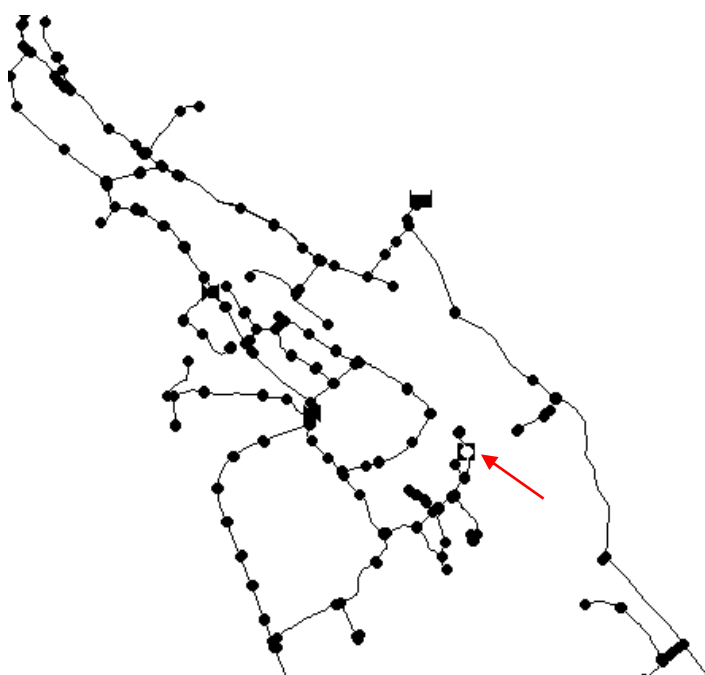
### 6.3. Odabir čvorova za promatranje

Kako bi pratili promjene odabrali smo tri čvora koji će nam predstavljati senzore, lokacije u kojima ćemo mjeriti padove tlakove i protoke za različite veličine oštećenja. Odabrali smo čvorove J-14242, J-20827 i J-19660.



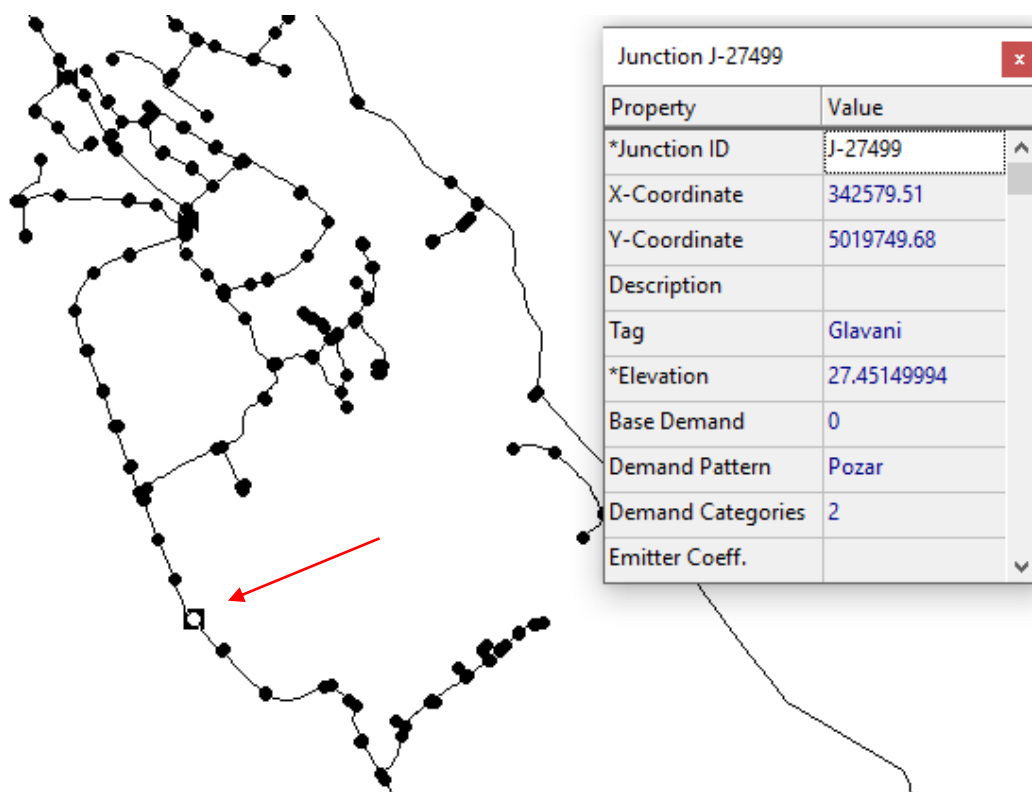
Junction J-14242	
Property	Value
Tag	Glavani
*Elevation	59.79769135
Base Demand	0
Demand Pattern	Pozar
Demand Category	2
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Slika 6.2. Čvor J-14242



Junction J-20827	
Property	Value
Tag	Glavani
*Elevation	62.71829987
Base Demand	0
Demand Pattern	Pozar
Demand Category	2
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

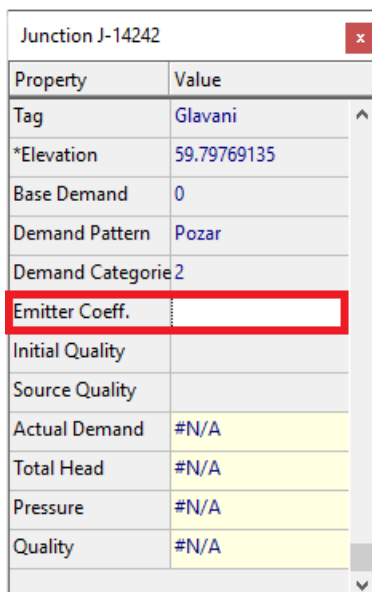
Slika 6.3. Čvor J-20827



*Slika 6.4. Čvor J-27499*

## 6.4 Koeficijent emitera

Pomoću emiter koeficijenta (eng. Emitter coefficient) nakon što odredimo mjesto oštećenja, promjenom njegove vrijednosti simulirat ćemo oštećenje na tom čvoru. Nakon pokretanja simulacije dobit ćemo padove tlakova koji će biti veći za veća oštećenja.



Property	Value
Tag	Glavani
*Elevation	59.79769135
Base Demand	0
Demand Pattern	Pozar
Demand Category	2
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Slika 6.5. Emitter coefficient

## 6.5 Rezultati simulacije

Rezultati simulacije prikazani su u tablicama 6.1 do 6.9 u kojima smo mijenjali koeficijent emitera i zapisali promjene za 4 stanja. Prvo je zapisano stanje kada je koeficijent emitera nula te su prikazani rezultati stanja kada je vodovod bez oštećenja. Zatim su prikazani rezultati kada je vodovod oštećen te smo mijenjali koeficijent emitera od 1, 5 i na kraju 10 koji simulira veće oštećenje što je koeficijent emitera veći, tj. veće je ispuštanje vode iz vodovoda. Rezultati su uzimani za prva tri sata rada simulacije.

Iz rezultata vidimo kako se nastankom i povećanjem oštećenja tlak smanjuje ali se prolaskom vremena tlak gotovo i ne mijenja. Kod čvora J-14242 vidimo kako u početnom stanju kada je sustav bez oštećenja tlak iznosi 44,91 m, kada simuliramo oštećenje tlak počinje opadati te u ovom slučaju kod najvećeg oštećenja kada emiter koeficijent iznosi 10 tlak padne na 22,14 m što je više od polovice početnog tlaka. Kod ostala dva čvora taj pad tlaka još je veći. Osim promjene tlaka mijenja se i protok no za razliku od tlaka on se povećava kako se povećava i oštećenje.

Tablica 6.1 Čvor J-14242

Emitter coefficient =0			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	104,80	44,91
2:00	0,01	104,81	44,92
3:00	0,01	104,80	44,92
Emitter coefficient =1			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	6,65	103,87	43,98
2:00	6,65	103,89	43,99
3:00	6,65	103,88	43,99
Emitter coefficient =5			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	29,60	94,87	35,00
2:00	29,62	94,92	35,05
3:00	29,61	94,89	35,03
Emitter coefficient =10			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	47,07	81,98	22,14
2:00	47,12	82,03	22,19
3:00	47,09	82,00	22,16

Tablica 6.1 za čvor J-14242 prikazuje različite rezultate zbog promjene emiter koeficijenta

Tablica 6.2 Čvor J-20827

Emitter coefficient =0			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	103,95	41,15
2:00	0,01	104,00	41,20
3:00	0,01	103,97	41,17
Emitter coefficient =1			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	5,85	96,81	34,02
2:00	5,86	96,92	34,13
3:00	5,85	96,86	34,08
Emitter coefficient =5			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	14,71	71,37	8,64
2:00	14,76	71,43	8,70
3:00	14,73	71,40	8,67
Emitter coefficient =10			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	16,21	65,35	2,62
2:00	16,27	65,36	2,64
3:00	16,24	65,36	2,63

Tablica 6.2 za čvor J-20827 prikazuje različite rezultate zbog promjene emiter koeficijenta



Tablica 6.3 Čvor J-27499

Emiter coefficient =0			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	103,87	76,27
2:00	0,01	103,93	76,33
3:00	0,01	103,90	76,30
Emiter coefficient =1			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	7,96	90,73	63,15
2:00	7,97	90,89	63,31
3:00	7,97	90,81	63,23
Emiter coefficient =5			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	19,69	42,96	15,48
2:00	19,74	43,04	15,56
3:00	19,71	43,00	15,52
Emiter coefficient =10			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	21,57	32,11	4,65
2:00	21,64	32,14	4,68
3:00	21,61	32,12	4,66

Tablica 6.3 za čvor J-27499 prikazuje različite rezultate zbog promjene emiter koeficijenta

Kod čvora J-14242 možemo vidjeti da se pad tlaka prilikom povećanja oštećenja manje smanjuje za razliku od ostalih čvorova zato što je bliže spremniku vode. Druga dva čvora J-20827 i J-19660 udaljenija su od spremnika te je pad tlaka znatno veći. Tako kod čvora J-20827 tlak bez oštećenja iznosi 41.15 m ,a za najveće oštećenje kada je koeficijent emitera 10, tlak iznosi 2,62 m. Kod čvora J-27499 pad tlaka je najveći jer je on najudaljeniji od spremnika vode.

Tablica 6.4 rezultati za čvor J-20827 promjenom u J-14242 čvoru

Emitter coefficient =0			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	103,95	41,15
2:00	0,01	104,00	41,20
3:00	0,01	103,97	41,17
Emitter coefficient =1			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	103,09	40,29
2:00	0,01	103,16	40,36
3:00	0,01	103,12	40,32
Emitter coefficient =5			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	95,45	32,56
2:00	0,01	95,56	32,77
3:00	0,01	95,50	32,72
Emitter coefficient =10			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	84,89	22,13
2:00	0,01	85,01	22,24
3:00	0,01	84,95	22,19

Tablica 6.4 prikazuje rezultat za čvor J-20827 kad se mijenja emiter koeficijent u J-14242 čvoru

Tablica 6.5 rezultati za čvor J-27499 promjenom u J-14242 čvoru

Emitter coefficient =0			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	103,87	76,27
2:00	0,01	103,93	76,33
3:00	0,01	103,90	76,30
Emitter coefficient =1			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	103,01	75,41
2:00	0,01	103,08	75,48
3:00	0,01	103,05	75,45
Emitter coefficient =5			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	95,38	67,79
2:00	0,01	95,49	67,90
3:00	0,01	95,43	67,84
Emitter coefficient =10			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	84,82	57,25
2:00	0,01	84,94	57,37
3:00	0,01	84,88	57,31

Tablica 6.5 prikazuje rezultat za čvor J-27499 kad se mijenja emiter koeficijent u J-14242 čvoru

Tablica 6.6 rezultati za čvor J-14242 promjenom u J-20827 čvoru

Emitter coefficient =0			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	104,80	44,91
2:00	0,01	104,81	44,92
3:00	0,01	104,80	44,92
Emitter coefficient =1			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	104,11	44,23
2:00	0,01	104,13	44,25
3:00	0,01	104,12	44,24
Emitter coefficient =5			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	102,19	42,31
2:00	0,01	102,21	42,33
3:00	0,01	102,20	42,32
Emitter coefficient =10			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	101,76	41,88
2:00	0,01	101,78	41,90
3:00	0,01	101,77	41,89

Tablica 6.6 prikazuje rezultat za čvor J-14242 kad se mijenja emiter koeficijent u J-20827 čvoru

Tablica 6.7 rezultati za čvor J-27499 promjenom u J-20827 čvoru

Emitter coefficient =0			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	103,87	76,27
2:00	0,01	103,93	76,33
3:00	0,01	103,90	76,30
Emitter coefficient =1			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	98,97	71,38
2:00	0,01	99,10	71,50
3:00	0,01	99,04	71,44
Emitter coefficient =5			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	84,23	56,67
2:00	0,01	84,37	56,81
3:00	0,01	84,30	56,74
Emitter coefficient =10			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	80,88	53,32
2:00	0,01	81,00	53,44
3:00	0,01	80,94	53,38

Tablica 6.7 prikazuje rezultat za čvor J-27499 kad se mijenja emiter koeficijent u J-20827 čvoru

Tablica 6.8 rezultati za čvor J-14242 promjenom u J-27499 čvoru

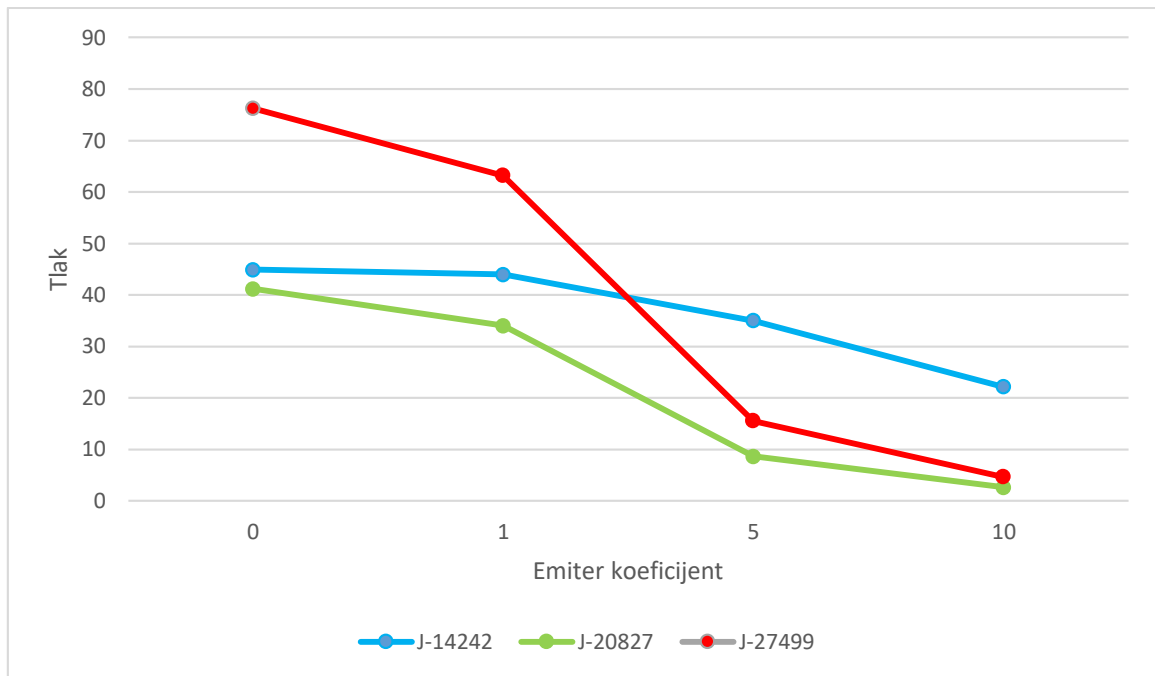
Emitter coefficient =0			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	104,80	44,91
2:00	0,01	104,81	44,92
3:00	0,01	104,80	44,92
Emitter coefficient =1			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	103,75	43,87
2:00	0,01	103,77	43,89
3:00	0,01	103,76	43,88
Emitter coefficient =5			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	100,64	40,76
2:00	0,01	100,67	40,79
3:00	0,01	100,66	40,78
Emitter coefficient =10			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	99,97	40,09
2:00	0,01	100,00	40,12
3:00	0,01	99,98	40,10

Tablica 6.8 prikazuje rezultat za čvor J-14242 kad se mijenja emiter koeficijent u J-27499 čvoru

Tablica 6.9 rezultati za čvor J-20827 promjenom u J-27499 čvoru

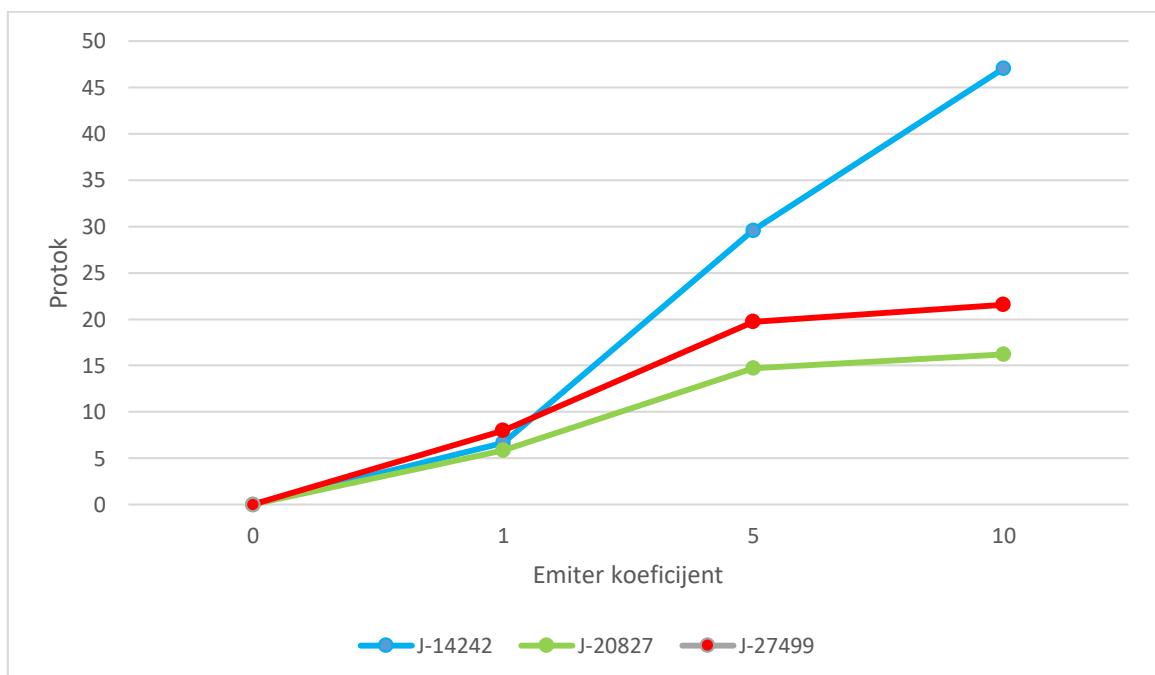
Emitter coefficient =0			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	103,95	41,15
2:00	0,01	104,00	41,20
3:00	0,01	103,97	41,17
Emitter coefficient =1			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	96,59	33,80
2:00	0,01	96,73	33,94
3:00	0,01	96,66	33,87
Emitter coefficient =5			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	73,16	10,42
2:00	0,01	73,31	10,57
3:00	0,01	73,23	10,49
Emitter coefficient =10			
Time (h)	Demand (LPS)	Head (m)	Preassure (m)
1:00	0,02	67,98	5,25
2:00	0,01	68,12	5,39
3:00	0,01	68,05	5,32

Tablica 6.9 prikazuje rezultat za čvor J-20827 kad se mijenja emiter koeficijent u J-27499 čvoru



Graf 6.1. Prikaz pada tlaka s promjenom emiter koeficijenta

Iz grafa je vidljivo kako je u čvoru J-27499 pad tlaka puno veću od pada tlaka u druga dva čvora jer je on najudaljeniji od spremnika vode.



Graf 6.1. Prikaz porasta protoka s promjenom emiter koeficijenta



## 7. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu obrađena je numerička analiza strujanja u mreži vodovodnog sustava za višestruke lokacije oštećenja. Numerička analiza dobivenog vodovodnog sustava provedena je u programu Epanet koji omogućava uređivanje mrežnih ulaznih podataka, pokretanje simulacije te pruža informacije o tokovima u cijevima, pritiscima u spojevima i dr.

Odabrani su čvorovi koji predstavljaju senzore u kojima se mjere tlakovi i protoci te njihove promjene. Nakon toga odabrano je jedno mjesto oštećenja gdje se mijenjanjem emiter koeficijenta simuliralo oštećenje na tom čvoru, te se pratile promjene koje su utjecale na cijeli sustav cjevovoda. Tako se vidi da tlak s povećanje oštećenja pada, a što je mjesto oštećenja udaljenije od spremnika vode pad tlaka će biti veći. Za razliku od pada tlaka, protok je za veća oštećenja veći.

## 8. LITERATURA

- [1] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=65164>
- [2] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Mjerenje\\_protoka](https://hr.wikipedia.org/wiki/Mjerenje_protoka)
- [3] <https://feromihin.hr/hr/sto-je-in-line-inspekcija-i-zasto-je-vazna-u-zivotnom-ciklusu-cjevovoda/>
- [4] <https://supremepipe.com/blog/causes-pipe-failure/>
- [5] Užar, J. (2012). Gubici vode u vodoopskrbnom sustavu. *Tehnički glasnik*, 6 (2), 213-218.  
<https://hrcak.srce.hr/file/139612>
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/EPANET>
- [7] [https://www.pmf.unizg.hr/\\_download/repository/POuPP\\_2.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/POuPP_2.pdf)
- [8] <https://instrumentationtools.com/air-valve-purpose-types-advantages-disadvantages/>
- [9] <https://feromihin.hr/hr/sto-je-in-line-inspekcija-i-zasto-je-vazna-u-zivotnom-ciklusu-cjevovoda/>
- [10] <https://d-nb.info/1198871229/34>

## 9. SAŽETAK

U ovom završnom radu obrađena je numerička analiza strujanja u mreži vodovodnog sustava za višestruke lokacije oštećenja. U prvom dijelu smo se upoznali sastavnim dijelovima vodovoda, problemima nastanka oštećenja u vodovodnom sustavu te načinima njihovog pronalaska. U drugom dijelu smo analizirali strujanje fluida upotrebom 1D alata za numeričku analizu toka fluida. Simulacija dobivenog vodovodnog sustava napravljena je u programu Epanet.

**Ključne riječi:** vodovodni sustav, 1D numerička analiza, Epanet

## **10.SUMMARAY**

In this final paper is processed the numerical analysis of the flow in the network of the water supply system for multiple damage locations. In the first part, we got acquainted with the constituent parts of the water supply system, problems with the occurrence of damage in the water supply system, and ways to find them. In the second part, we analyzed fluid flow using 1D tools for numerical analysis of fluid flow. The simulation of the received water supply system was made in the Epanet program.

**Keywords:** water supply system, 1D numerical analysis, Epanet