

Redukcija gubitaka vode vodoopskrbnih mreža primjenom redukcije tlaka (primjena na vodoopskrbnu mrežu Sveučilišnog kampusa u Rijeci)

Tomas, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:157:470033>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**



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**

Filip Tomas

**Redukcija gubitaka vode vodoopskrbnih mreža primjenom redukcije
tlaka (primjena na vodoopskrbnu mrežu Sveučilišnog kampusa u Rijeci)**

Diplomski rad

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni Diplomski Studij
Hidrotehnika
Računarska hidraulika**

**Filip Tomas
JMBAG: 0114030079**

**Redukcija gubitaka vode vodoopskrbnih mreža primjenom redukcije
tlaka (primjena na vodoopskrbnu mrežu Sveučilišnog kampusa u Rijeci)**

**Reduction of water losses in water supply networks by applying
pressure reduction (application to the water supply network of the
University campus in Rijeka)**

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2022

IZJAVA

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

Filip Tomas

U Rijeci, 14. rujna 2022.

Zahvala!

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Vanji Travašu i komentoru doc.dr.sc. Danku Holjeviću na podršci i znanju pruženom tijekom izrade ovog diplomskog rada. Zahvaljujem se i kolegama iz Siemens Energy na ustupljenim komponentama bez kojih izrada ovog rada ne bi bila moguća.

SAŽETAK

Ovim diplomskim radom analiziraju se mogućnosti redukcije tlakova u vodoopskrbnoj mreži koja se proteže kroz Sveučilišni kampus u Rijeci na Trsatu. Analiza se provodi na temelju rezultata provedenih mjerenja tlaka vode u vremenskom razdoblju od četrnaest dana u tri nekolinearne točke vodoopskrbne mreže. Korištenjem programa EPANET izveden je hidraulički model predmetne vodoopskrbne mreže kojemu su zadane vrijednosti potrošnje vode po čvorovima. Budući da potrošnja po čvorovima nije poznata, ista je pretpostavljena temeljem ukupnog protoka u sustavu. Vrijednost protoka promatrane vodoopskrbne mreže za isto vremensko razdoblje preuzeta je od strane lokalnog komunalnog društva. Komparativnom analizom između izmjerenih i modeliranih tlakova određen je tlak na ulaznom mjestu mreže. Provođene su računalne simulacije toka u okviru kojih se utvrđeni tlak na ulazu u mrežu progresivno reducira u svrhu smanjenja gubitaka vode, pri čemu je praćena promjena tlaka u karakterističnim točkama kako bi se očuvali uvjeti protupožarne zaštite.

Ključne riječi: *gubici vode, vodoopskrbni sustav, tlak vode, mjerenje tlaka vode, mjerenje protoka vode, smanjenje gubitaka*

ABSTRACT

This thesis analyzes the possibilities of pressure reduction in the water supply network that extends through the University campus in Rijeka on Trsat. The analysis is carried out based on the results of water pressure measurements carried out in the period of the fourteen days in three non-collinear points of the water supply network. Using the EPANET program, a hydraulic model of the water supply network in question was created, which has given values of water consumption per node. Since consumption per node is not known, it is assumed based on the total flow in the system. The flow value of the observed network for the same period was taken over by the local utility company. The pressure at the network inlet was determined by comparative analysis between the measured and modeled pressures. Computer simulations of the flow were carried out, in which the pressure at the entrance to the network is determined to be progressively reduced to reduce water losses, while the pressure change at characteristic points is monitored to preserve fire protection conditions.

Key words: water losses, water supply system, water pressure, water pressure measurement, water flow measurement, loss reduction

Sadržaj

1 UVOD	12
1.1 Vodoopskrbni sustavi	13
1.1.1 Osnovni elementi vodoopskrbnog sustava	20
1.1.2 Gubici vode	21
1.1.3 Dnevni obrazac potrošnje vode	27
1.1.4 Raspon tlakova	28
1.1.5. Hidraulička analiza	31
1.2 DMA zone	33
1.2.1 Određivanje DMA zona	34
1.2.2 Mjerenje tlakova unutar DMA zone	38
2 UREĐAJI ZA MJERENJE TLAKA	39
2.1 Vrste uređaja za mjerenje tlaka	41
2.2 Manometri	42
2.3 Potrebne i ostvarene tehničke karakteristike uređaja za mjerenje tlaka	50
2.4 Protokol izrade mjernog uređaja	51
2.4.1 PLC programibilni logički kontroler	51
2.4.2 Simatic TP700 Comfort	52
2.4.3 STD700 digitalni mjerač tlaka	53
2.4.4 Kontrolni Norgren manometar	54
3 VODOOPSKRBNI SUSTAV GRADA RIJEKE	55
3.1 Vodni resursi grada Rijeke	55
3.2 Razvoj vodoopskrbe grada Rijeke	57
3.3 Gubici vode u Rijeci	59

4	ANALIZA MOGUĆNOSTI REDUKCIJE TLAKA.....	60
4.1	Izbor DMA zone.....	60
4.2	Mjerenje tlakova unutar hipotetske DMA zone	60
4.3	Rezultati provedenih mjerenja	65
4.4	Izrada hidrauličkog modela hipotetske DMA zone	68
4.5	Kalibracija modela hipotetske DMA zone Sveučilišnog kampusa	78
4.6	Analiza mogućnosti redukcije tlaka	82
5	ZAKLJUČAK	83
6	LITERATURA	84

POPIS SLIKA

Slika 1. Vodoopskrbni sustav [2]

Slika 2. Definijska shema vodoopskrbnog sustava [1]

Slika 3. Distribucijska mreža

Slika 3. Prikaz uzroka nenaplaćene vode odnosno prvidne gubitke vode [7]

Slika 4. Gubici vode [7]

Slika 5. Prikaz 4 osnovne interventne metode za borbu protiv gubitaka vode [14]

Slika 7. Prikaz minimalne noćne potrošnje, stvarnje potrošnje i stvarnih gubitaka. Gubitak vode može se prikazati formulom: NNF (gubitak vode) = MNF (minimalna noćna potrošnja) - LNF (stvarnja potrošnja) [6]

Slika 6. Relacije i veze između različitih vrsta tlakova [11]

Slika 7. Prikaz promjene visina manometarske tekućine u manometru uslijed promjene tlakova [11]

Slika 8. Manometar sa spremnikom [11]

Slika 9. Cjevasti manometar sa kosim otvorom [10]

Slika 10. Plutajući manometar [10]

Slika 11. Barometar [10]

Slika 14. Simatic TP700 Comfort

Slika 15. STD700 digitalni mjerač tlaka

Slika 16. Kontrolni Norgren manometar 0-12 bara

Slika 17. Prikaz sva tri uređaja za mjerenje tlaka

Slika 18. Karta sljevova i crpilišta riječkog područja [12]

Slika 19. Prikaz vodoopskrbe mreže Kampus

Slika 20. Mjerenje tlaka u laboratoriju građevinskog fakulteta Rijeka, Ulica Radmile Matejčić 3

Slika 21. Mjerenje tlaka u podzemnoj garaži učiteljskog i filozofskog fakulteta, Ulica Sveučilišna avenija 6 Rijeka

Slika 22. Mjerenje tlaka u prostoru radionice studentskog paviljona br4, Ulica Radmile Matejčić 5

Slika 23. Prikaz raspodjele potrošača s pripadajućim nadmorskim visinama

Slika 24. Prikaz širina cijevi

Slika 25. Prikaz dužina cijevi

Slika 26. Potrošnja vode raspoređena po potrošačima

Slika 27. Prikaz raspodjele tlakova pri visini vode u vodospremi od 204m

Slika 28. Prikaz vrijednosti protoka u mreži pri visini vode u vodospremi od 204 m

Slika 29. Prikaz brzina vode u mreži pri visini vode u vodospremi od 204 m

Slika 30. Prikaz raspodjele tlakova pri visini vode u vodospremi od 181m

Slika 31. Prikaz vrijednosti protoka u mreži pri visini vode u vodospremi od 181 m

Slika 32. Prikaz brzina vode u mreži pri visini vode u vodospremi od 181 m

Slika 33. Mjerodavni čvor potrošača, najkritičnija točka u mreži

POPIS TABLICA

Tablica 1. Potrošnja vode I ostali parametri za gašenje požara u naseljima.

Tablica 2. Potrebna količina vode za gašenje požara vanjskom hidrantskom mrežom [1].

Tablica 3. Kriteriji koji određuju dizajniranje DMA zona.

Tablica 4. Minimalne, srednje, maksimalne zabilježene vrijednosti tlaka na mjernim mjestima.

POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1. Prikaz promijene tlaka u vremenu na mjernom mjestu Građevinski fakultet.

Dijagram 2. Prikaz promijene tlaka u vremenu na mjernom mjestu studentski paviljon.

Dijagram 3. Prikaz promijene tlaka u vremenu na mjernom mjestu podzemna garaža.

Dijagram 4. Komparacija izmjerenih tlakova na sva tri mjerna mjesta.

1 UVOD

Pojam vodoopskrba predstavlja sustav objekata i mjera koje služe osiguranju potreba potrošača za vodom. Odmakom vremena u svijetu ima sve manje čiste i pitke vode pa je vrlo važna zaštita voda od zagađenja, ali i nepotrebnih gubitaka. Upravljanje vodoopskrbnim sustavima jedan je od najizazovnijih problema u hidrotehničkoj praksi. Održavanje vodovodnih distribucijskih mreža dobilo je posebnu važnost i u svjetlu sve veće pozornosti po pitanju očuvanja okoliša i strategija održivog razvoja. Godinama se teži poboljšanju učinkovitosti distribucijske mreže, posebice u pogledu smanjenja potrošnje energije i rasipanja vode. Djelomično je taj problem smanjen primjenom DMA zona. Ovaj diplomski rad bavi se temom redukcije gubitaka vode na temelju smanjenja tlaka vode u vodoopskrbnom sustavu.

1.1 Vodoopskrbni sustavi

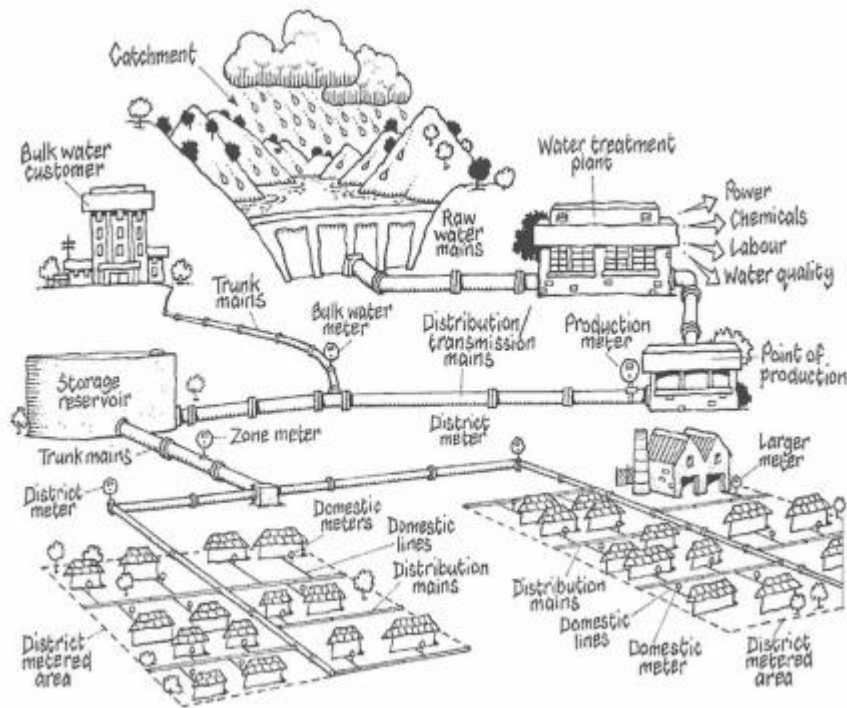
Vodoopskrba općenito predstavlja komunalnu djelatnost čija je primarna svrha dovodnja i raspodjela određene količine vode od njenog izvorišta do krajnjeg potrošača. Vodoopskrba se općenito zasniva na vodoopskrbnom sustavu odnosno na skupu građevina i naprava koji najčešće obuhvaćaju izvorište, glavni dovodni cjevovod, razdjelnu mrežu, objekte koji služe poboljšanju i obradi vode, vodospremu te glavni opskrbeni cjevovod. Sustav se općenito razlikuje prema načinu dovoda vode do potrošača, stoga se razlikuju:

- gravitacijski vodoopskrbni sustav – voda u sustav dotječe isključivo pod tlakom zbog djelovanja sile teže,
- tlačni vodoopskrbni sustav – uspostavlja se tlakom izravno iz crpki što je uobičajeno za nizinske krajeve,
- kombinirani vodoopskrbni sustav – uključuje oba prethodno navedena sustava.

Pojam vodoopskrbni sustav označava sustav objekata i mjera koje osiguravaju dovod dovoljne količine vode uz što manje gubitke. Njime se vode zahvaćaju, pročišćavaju, dovode do mjesta potrošnje i raspodjeljuju. Opskrba stanovništva čistom i kvalitetnom vodom, prvenstveno ima higijensku važnost čime se sprečavaju epidemijska oboljenja koja se mogu prenijeti vodom. Kako bi se valjano definirao utrošak i potreba količine vode, nužno je što uspješnije uzeti u obzir sve moguće potrošače te gubitke koji se ostvaraju unutar jedne vodoopskrbne mreže. Tri osnovne kategorije kojima se može definirati potrošnja vode su:

- potrošnja vode za kućanske potrebe,
- potrošnja vode za industrijske potrebe,
- potrošnja vode za gašenje požara i za vlastite potrebe vodovoda [1].

Cilj je svakog vodoopskrbnog sustava dovesti vodu do krajnjeg korisnika te zadovoljiti potrošače koji zahtijevaju stalnu i stabilnu opskrbu vodom na što ekonomičniji način [1]. Kod svakog sustava postoje izvori vode i korisnici vode koji su povezani cijevima (Slika 1).



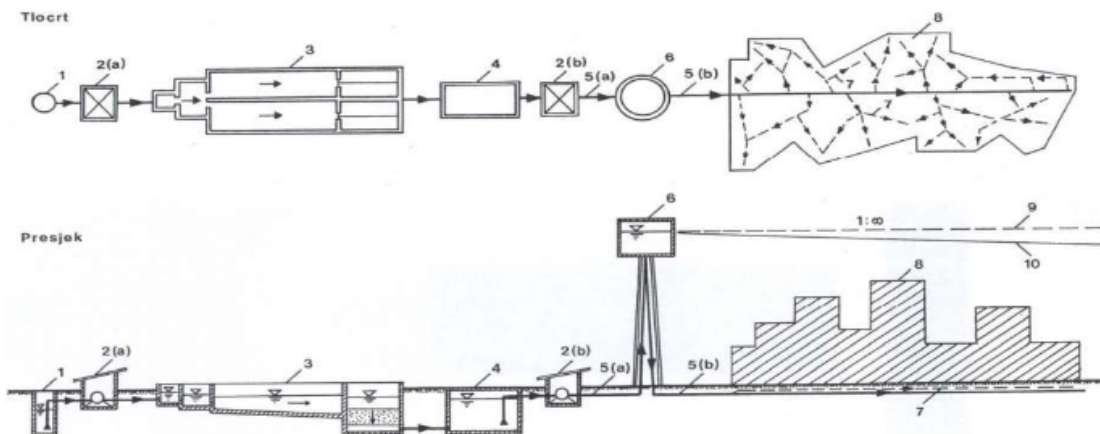
Slika 1. Vodoopskrbni sustav [2].

Prilično je teško opisati tipičan sustav distribucije vode budući da svaki od njih ima neke jedinstvene karakteristike. Cijevi mogu biti izrađene od brojnih različitih materijala, primjerice od lijevanog željeza, čelika, betona, i mogu se spojiti u više konfiguracija [3].

Osnovni elementi vodoopskrbnog sustava su (Slika 2):

- vodozahvati (njima se voda zahvaća iz prirodnih izvorišta),
- crpne stanice ili pumpne stanice (njima se voda crpi i potiskuje od izvorišta do mjesta njenog kondicioniranja, spremanja, potrošnje ili sl. ili između pojedinih objekata vodoopskrbnog sustava),
- uređaji za kondicioniranje (njima se postiže tražena kvaliteta vode),
- vodospreme ili rezervoari (uloga regulacijskih i pospremnih objekata u sustavu vodoopskrbe),
- magistralana i distributivna vodoopskrbna ili vodovodna mreža s pratećim objektima (njima se voda transportira između pojedinih objekata vodoopskrbnog sustava (magistralna mreža) i distribuira potrošačima (distributivna mreža)).

Cjevovodi glavne mreže mogu biti dovodni (između izvorišta i uređaja za kondicioniranje vode ili između uređaja i vodospreme) i opskrbni (između vodospreme i naselja, odnosno distributivne mreže) te dovodno – opskrbni.

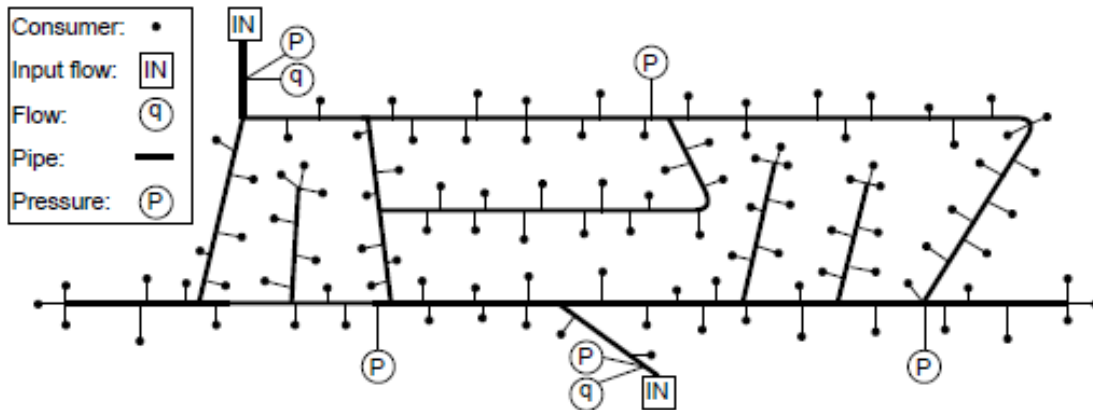


Slika 2.1 Definijska shema vodoopskrbnog sustava [4]

1 – vodozahvat; 2(a) – niskotlačna crpna stanica; 2(b) – visokotlačna crpna stanica; 3 – uređaj za kondicioniranje vode; 4 – sabirni bazen; 5(a) – glavni dovodni cjevovod; 5(b) – glavni opskrbeni cjevovod; 6 – vodosprema; 7 – razdjelna mreža; 8 – potrošači; 9 – linija hidrostatičkog tlaka; 10 – linija hidrodinamičkog ili pogonskog tlaka

Slika 2. Definijska shema vodoopskrbnog sustava [1].

Na Slici 2 su prikazani osnovni elementi generičnog vodoopskrbnog sustava. Sami redoslijed objekata u sustavu može biti drugačiji od prikazanog. Također, neke od navedenih objekata moguće je izostaviti ako izvorišna voda zadovoljava tražene standarde kvalitete [1]. Glavna mreža transportira vodu između objekata vodoopskrbnog sustava, a distributivna mreža distribuira vodu potrošačima. Magistralna mreža obično je zadužena za transport velikih količina voda iz uređaja za kondicioniranje za opskrbu niza vodovodnih distribucijskih mreža. Primjer distribucijske mreže vidi se na Slici 3 [4].



Slika 3. Distribucijska mreža [4].

Postoji samo jedan izvor kao što je centralna crpna stanica ili se, pak, voda može dovoditi iz određenog broja bunara. Iako su crpke uobičajena komponenta mnogih sustava, postoje mreže koje nemaju crpljenje i voda se opskrbljuje iz nekih izvora na velikoj nadmorskoj visini.

Većina vodoopskrbnih sustava sadrži određeni kapacitet pohrane u obliku spremnika koji su spojeni izravno na sustav, iz kojih se voda mora crpiti ili koji drže vodu pod pritiskom [3]. Glavni čimbenici koji određuju vodoopskrbni sustave se navode u nastavku:

- pogonske osobine sustava: gravitacijski, potisni i kombinirani,
- vrsta vodoopskrbe: sustavi s otvorenom vodoopskrbom (sustavi s jednokratnim korištenjem vode) i sustavi sa zatvorenom vodoopsrbom (sustavi s višekratnim korištenjem vode) [1].

U svrhu projektiranja vodoopskrbne mreže nekog područja, prvi je korak definiranje nacрта iste. Za krajnji odabir i plan potrebno je provesti detaljnu analizu uzimajući u obzir sve čimbenike određenog područja koji mogu utjecati na završno tehničko rješenje.

Tečenje vode kod gravitacijskih vodoopskrbnih sustava odvija se djelovanjem sile gravitacije. Najčešće se tlačni režim primjenjuje kod glavnih opskrbnih i razdjelnih cjevovoda, a kod glavnih dovodnih cjevovoda tečenje vode može se odvijati i slobodnih vodnim licem. Međutim, ako se radi o otvorenim kanalima, takav način iz sanitarnih razloga nije poželjan.

Pouzdanost i ekonomičnost su prednosti gravitacijskog sustava. Pozicija uređaja za kondicioniranje određena je topografskim značajkama. Njegovu instalaciju potrebno je provesti obvezno prije rezervoara čiste vode. Ovisno o visinskim odnosima unutar sustava mogu se postaviti i prekidne komore. Prekidne komore nalaze se između vodozahvata i vodospreme ili između potrošača i vodospreme. Tako se dobije sustav s više visinskih zona, tzv. zonirani vodoopsrbni sustav [1].

Potisni sustavi funkcioniraju tako da se voda crpkama izravno iz izvorišta potiskuje potrošačima. Zbog većih pogonskih troškova nego kod gravitacijskih sustava, ovakvi se sustavi uglavnom primjenjuju za manja naselja [1]. Kombinirani vodoopsrbni sustavi uvijek podrazumijevaju tečenje vode pod tlakom, ali unutar tog sustava mogući su različiti podsustavi.

U praksi se često poseže za rješenjem kombiniranjem potisnog i gravitacijskog sustava s vodotornjem. U tom slučaju naselje se nalazi na višim kotama od vodozahvata. Pouzdanost vodotornja dolazi do izražaja u slučaju kvara crpke gdje se, zahvaljujući konstruktivnim rješenjem same vodospreme, osigurava kratkotrajna vodoopskrba do uklanjanja zastoja. Još je jedna prednost i jeftiniji rad ovakvog sustava jer se zbog djelomičnog izjednačavanja potrošnje vode iz vodotornja smanjuje potrebni kapacitet crpne stanice te se omogućuje ekonomičniji pogon u fazama jeftine električne energije.

Drugi tip kombiniranog sustava kombinacija je gravitacijskog i potisnog sustava. Dotok vode u naselje moguć je s objiju strana, istovremeno ili odvojeno. Ovisi o varijacijama potrošnji i režimu rada crpne stanice. Treći tip kombiniranog sustava koji se u praksi koristi kombinirani je indirektni vodoopsrbni sustav. Vodozahvat je odvojen od potrošača prirodnom preprekom, npr. viši teren, na koju se postavlja vodosprema, a opskrba dalje teče pod silom gravitacije. Ovisno o visinskim odnosima postoje opcije interpolacije crpnih stanica na potisnom dovodnom cjevovodu ili prekidnih komora na opskrbnom cjevovodu [1].

Kod sustava s otvorenom vodoopskrbom, tj. s jednokratnim korištenjem vode, voda samo jednom ulazi u sustav. Ovakav se tip sustava najčešće koristi za vodoopsrbu stanovništva i uporabu vode za kućanske potrebe. Za razliku od toga, u industrijskim pogonima češće se koriste cirkulacijski sustavi.

Sustavi s zatvorenom vodoopskrbom koriste cirkulaciju iskorištene vode, a nova voda iz vodozahvata koristi se samo za nadoknadu izgubljene vode. Zatvoreni sustavi upotrebljavaju se prvenstveno u industriji iz više razloga. Nedovoljna je iskoristivost izvorišta za neprekidnu opskrbu velikim količinama vode. Primjerice, kod potrebe velike količine tehnološke vode u svrhe rashlađivanja, izvorišta jednostavno ne mogu osigurati dovoljnu količinu vode. Kvaliteta vode koja cirkulira ne može se konstantno kontrolirati, a ponekad je prihvatljivije ponovno kondicionirati korištenu vodu, nego je kondicionirati do zadanih kriterija po kojima se može ispustiti u prijemnik.

Posljednji, ekonomski razlog korištenja cirkulacijskih sustava u industriji odnosi se na činjenicu da je često jeftinije kondicioniranje korištene vode nego stalno crpljenje nove vode iz izvorišta budući da bi pogonski troškovi bili veći nego troškovi kondicioniranja [1].

1.1.1 Osnovni elementi vodoopskrbnog sustava

Sustavi za distribuciju vode sastoje se od velikog broja cijevi, pumpi, ventila, spremnika i rezervoara. Cjevovodi postavljeni na nekom javnom području koriste se za transport vode unutar distribucijskog sustava. Vodovod velikog promjera koristi se za povezivanje uređaja za kondicioniranje vode i uslužnih područja. Distributerima se opisuju vodovodi koji se nalaze u blizini korisnika vode koje opskrbljuju vodom. Servisna linija je cijev malog promjera koja se koristi za spajanje iz vodovoda kroz male ventile do vodomjera korisnika. Ventili su potrebni za zatvaranje vodova, suzbijanje prenapona, ispuštanje zraka, odvodnih cijevi ili kontrolu tlaka [3].

Dodatni tlak za potiskivanje vode može biti potreban za osiguravanje odgovarajućeg tlaka u određenim dijelovima sustava, gdje postoje značajne varijacije u visini ili stopi korištenja. Razlikuju se podzemni rezervoari, nepokriveni rezervoari i površinski rezervoari. Vodeni toranj zapravo predstavlja povišeni spremnik za vodu.

U okviru upravljanja vodoopskrbnih sustava se može prepoznati trend da se teži što većem broju senzora tlaka. Razlog je tomu gubitak vode i lokalizacija istog. To je ujedno i jedan od najvećih izazova kod vodoopskrbnih sustava [4].

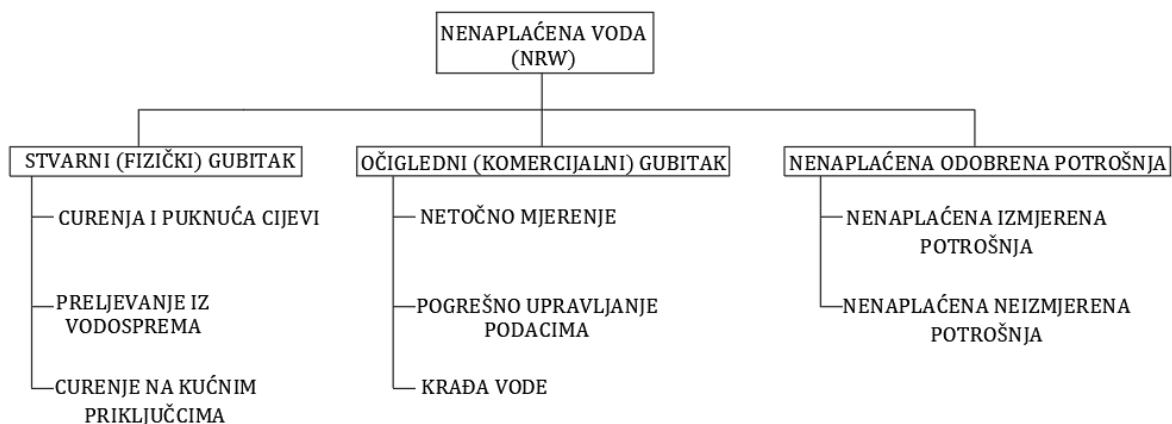
1.1.2 Gubici vode

Gubitak vode općenito se koristi za označavanje razlike između ukupne količine isporučene vode u određenoj vodoopskrbnoj mreži i zbroja količine vode koja odgovara potrošnji kupaca (engl. *waste of water*) [5].

Navedenom definicijom omogućava se isticanje različitog značenja pojma rasipanja vode čime se opisuje nemarno korištenje navedenog resursa te neučinkovitost kućnih vodovodnih instalacija sustava. Obično se gubici vode svrstavaju u dvije skupine:

- prividni gubici vode,
- stvarni gubici vode.

Prividni gubici vode opisuju se količinama vode koje su stvarno potrošene, ali nisu uračunate, odnosno nisu naplaćene dok su stvarni gubici uglavnom uzrokovani velikim štetama koje su se mogle dogoditi unutar mreže cijevi te propadanjem spojeva cijevi. Slika 4 prikazuje prividne gubitke vode te njene uzroke.



Slika 4. Prikaz uzroka nenaplaćene vode odnosno prividne gubitke vode [7].

Za primjer prividnih gubitaka mogu se navesti nezabilježene količine vode koje se koriste unutar javne funkcije u što se svrstava čišćenje cesta i urbanih površina, zalijevanje zelenih površina, rad javnih fontana i vatrogasnih službi, količine vode potrebne za ispravan rad vodovodne usluge, odnosno čišćenje cijevi te održavanje samog sustava. Pojave gubitaka vode moguće su i zbog nepravilnog rada mrežnih postrojenja te ovlaštena potrošnja na koju utječu pogreške mjerenja. Prividni gubici u prosjeku iznose oko 30% ukupnih gubitaka te su od vrlo velike važnosti s financijskog i društvenog gledišta.

Stvarni gubici su fizički gubici vode iz distribucijskog sustava koji se nazivaju propuštanjem vode. Ovi gubici opterećuju opskrbu vodom i s time se povećava cjelokupni trošak komunalnog poduzeća. Odnose se na fizičke gubitke vode iz sustava pod tlakom do mjesta mjerenja potrošača i opisuju se volumenom vode izgubljenog kroz sve vrste curenja. Stvarni gubici mogu se podijeliti na:

- Pozadinski gubici koji se odnose na manja curenja vode, koja se ne mogu otkriti bez vizualnog pregleda. Raspršeni tok pri radnom tlaku od 50 m ne prelazi granicu od 500 litara na sat.
- Prijavljena pucanja, odnosno veliki kvarovi cijevi, koji se lako otkrivaju po značajnim štetama koje će vjerojatno uzrokovati na cestama, zgradama i drugoj infrastrukturi.
- Neprijavljena pucanja koja imaju smanjenu veličinu u odnosu na prijavljena pucanja. Otkrivaju se obično instrumentalnim kampanjama koje se uglavnom temelje na proizvedenoj buci [5].

U većini slučajeva manja curenja vode proizlaze iz neučinkovite hidraulike brtvljenja spojeva ili malih pukotina na cijevima što duže vrijeme može biti nezamjetno. Velika curenja je lakše uočiti jer u većini slučajeva dolazi do oštećenja cijevi (Slika 5).



Slika 5. Gubici vode [7].

Mnogo je čimbenika koji doprinose nastanku gubitaka vode. Među njima treba uzeti u obzir mehanička svojstva tla za polaganje cijevi jer njihova elektrokemijska interakcija s cijevima utječe na učestalost pucanja cijevi tijekom vremena. To također ovisi i o tehnologiji koja je usvojena za izgradnju vodovodnih mreža, kako u pogledu tehnike građenja, tako i u pogledu materijala cijevi.

Očuvanje vodovodne mreže tijekom vremena uvjetovano je i duljinom cijevi te brojem cijevnih spojnica i regulacijskih uređaja (npr. ventila) jer oni određuju broj potrebnih spojeva, a time se povećava osjetljivost cjelokupnog sustava.

Ukupna starost cjevovoda, učestalost sanacije i zamjene cijevi pokazali su se kao presudni čimbenici za nastanak curenja vode. Zbog toga je održavanje vodovodnih mreža iznimno bitno i direktno utječe na veličinu i nastanak stvarnih gubitaka vode [5].

Cijevi mogu biti postavljene na dubinama koje nisu projektirane ili su, pak, unutar zone smrzavanja prema čemu su cijevi dodatno izložene naprezanjima koja proizlaze iz prometa. Povećanjem dubine ugradnje cijevi smanjuje se naprezanje istih, ali se povećava trošak investicije.

Pomoću BABE (*Burst and Background Estimate*) metode može se izračunati količina vode izgubljena kroz jedno propuštanje. Izračunava se kao umnožak između brzine toka na mjestu pucanja i prosječnog trajanja curenja.

Lambert je 1999. godine uveo pojam “neizbježni godišnji stvarni gubitci” (engl. Unavoidable Annual Real Losses index, UARL). Naime, postoji minimalna granica gubitaka vode koja se ne može prevladati [5].

U nastavku jednadžbom (1) prikazan je način procijene gubitka vode:

$$\text{UARL} = (18 \cdot L_m + 0.8 \cdot N_c + 25 \cdot L_p) \cdot P \quad (1)$$

gdje je:

UARL izražen u litra/dan,

L_m je ukupna duljina mreže izražena u kilometrima,

N_c je broj priključaka korisnika,

L_p je prosječna duljina privatnih cijevi (između granice ulice i mjerača protoka korisnika) izražena u kilometrima,

P je prosječni radni tlak izražen u metrima [5].

Gubitak vode može se lokalizirati. Tehnike otkrivanja curenja dijele se u dvije metode: vanjske i unutarnje. Vanjske metode uključuju otkrivanje radarom, hidrofonom i akustičnim snimanjem. To su dugotrajne tehnike i gubitci se mogu tražiti samo lokalno. Unutarnje metode podijeljene su u četiri glavne kategorije:

- metode koje se temelje na prijelaznim pojavama,
- pristupi temeljeni na kalibraciji,
- metode temeljene na podacima,
- tehnike temeljene na modelu [5].

Prema istraživanju iz 2019. godine na razini zemalja Europske Unije, gubici vode u Norveškoj su procijenjeni na 7,29%, dok najveći gubitak bilježi Bugarska s zabrinjavajućih 60%. Nastoji se gubitak vode svesti na minimum i na taj način adekvatno ustupiti vodu na korištenje krajnjem potrošaču. [4].

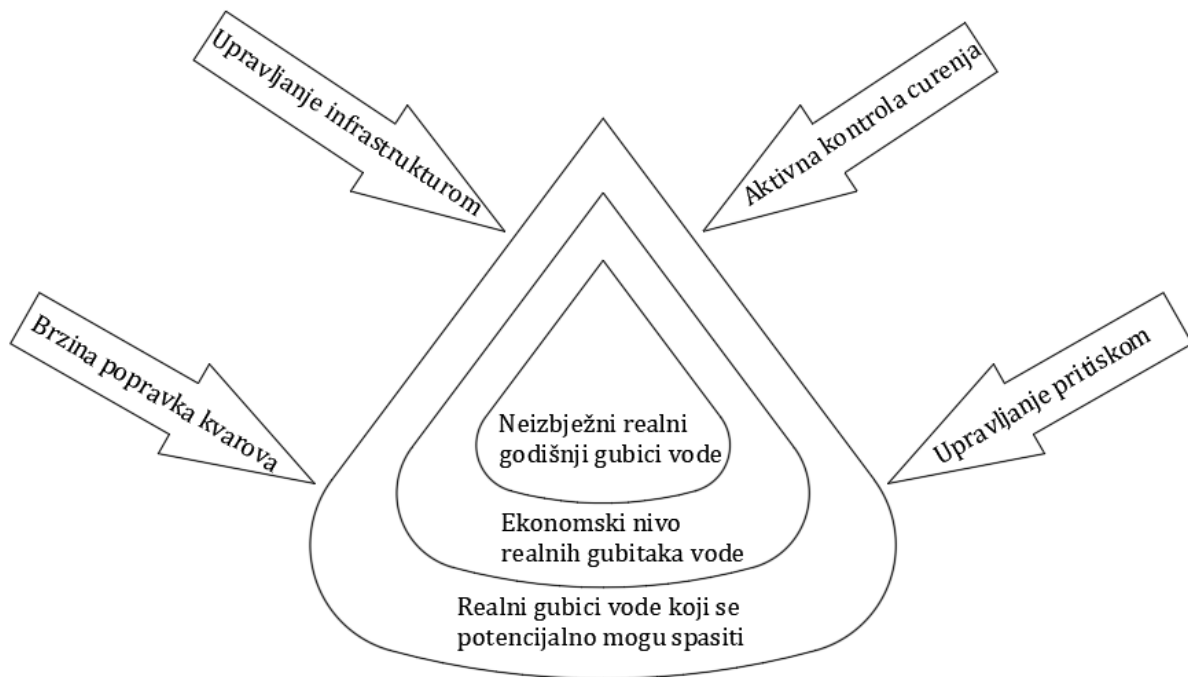
Hrvatski javni vodovodi gube približno 190 milijuna kubičnih metara vode godišnje, odnosno prosječnih 50 % ukupno isporučene količine vode.

Kako bi se spriječio veći gubitak vode prema standardima EU, planirana je modernizacija nadzorno-upravljačkog sustava, čija će svrha biti podijeliti vodoopskrbnu mrežu na veću količinu manjih samostalnih jedinica, kojima će se lokalizirati praćenje gubitaka unutar vodoopskrbne mreže. Predviđa se formiranje 70 DMA zona koje će u narednom poglavlju biti detaljnije objašnjene.

Ključno je spriječiti cjelokupne gubitke vode u vodoopskrbnoj mreži. Razlozi tome su razni ekološki, zdravstveni i ekonomski aspekti u što se svrstava prodaja vode i troškovi proizvodnje te sigurnost opskrbe. Mjere za upravljanje smanjenja gubitaka i curenja vode, predložila je IWA-WLSG grupa.

Četiri osnovne strategije za smanjenje stvarnih gubitaka su sljedeće (Slika 6):

- upravljanje tlakom,
- aktivna kontrola curenja,
- upravljanje infrastrukturom i imovinom,
- brzina i kvaliteta popravaka kvara – zaustavljanje curenja.



Slika 6. Prikaz 4 osnovne interventne metode za borbu protiv gubitaka vode.

Svaka pojava gubitaka vode nije slučajna, već se javlja kao rezultat pogrešaka u cijelom procesu životnog ciklusa infrastrukture. Iz tih razloga nužno je voditi brigu o mogućoj pojavi gubitaka i njihovom smanjenju, te voditi računa pri planiranju, projektiranju, izvođenju, upravljanju i održavanju.

1.1.3 Dnevni obrazac potrošnje vode

Osnovni podaci za određivanje potrošnje vode u kućanstvu su specifična potrošnja vode i broj stanovnika. Specifična potrošnja vode označava potrošnju vode po stanovniku u jednom danu [1].

Srednja dnevna potrošnja vode određuje se na temelju podataka o specifičnoj potrošnji vode i broja stanovnika pomoću jednadžbe (2):

$$\bar{Q} = q_{sp} \cdot N_K \quad (2)$$

gdje je:

\bar{Q} – srednja dnevna potrošnja vode,

q_{sp} – specifična potrošnja vode,

N_K – broj stanovnika.

Međutim, za hidrauličko dimnezioniranje nije dovoljno poznavati samo srednju potrošnju vode, već i režim potrošnje vode. Dnevni obrazac potrošnje vode prikazuje oscilaciju u potrošnji vode tijekom dana. Ovisi o nizu čimbenika, režimu života i djelatnosti ljudi, krajnjih potrošača vode. U manjim su gradovima oscilacije u potrošnji veće. Potrošnja je manja noću, a veća danju. U danu je najveća ujutro, a najmanja u ranim dopodnevним i ranim popodnevnim satima. U većim su gradovima te oscilacije manje [1].

1.1.4 Raspon tlakova

Kod hidrauličkog proračuna vodovodnih mreža potrebno je voditi računa o dozvoljenim tlakovima u mreži. Maksimalni tlak odnosi se na najveću dopuštenu vrijednost hidrostatskog tlaka koji je dozvoljen u najnižim točkama vodovodne mreže, dok se minimalni tlak odnosi na osiguranje najveće potrošnje u satu na najvišim izljevnim mjestima u zgradama.

Bitno je razlikovati načelo određivanja potrebne količine vode za gašenje požara od načela normiranja prethodno analiziranih potrošnji vode. Gašenje požara u suvremenim sustavima predviđa se unutarnjom i vanjskom hidratanskom mrežom čiji su zahtjevi propisani Pravilnikom o hidratanskoj mreži za gašenje požara (NN RH, broj 8/06). Tehničke značajke svih inačica hidratanske mreže koje su propisane prethodno navedenim Pravilnikom moraju se provjeravati u vremenu i načinu propisanim Pravilnikom za obavljanje ispitivanja stabilnih sustava za gašenje požara i dojavu.

Također, ovim pravilnikom propisuju se tri temeljna parametra za gašenje požara pomoću hidratanske mreže, a to su:

- (A) potrošnja vode za gašenje požara, ($l s^{-1}$)
- (B) broj istovremenih požara na teritoriju grada ili industrijskog pogona, (1)
- (C) minimalno trajanje gašenja požara, (h)

Pravilnikom propisana potrošnje vode, minimalno trajanje gašenja požara i broj istovremenih požara s obzirom na veličinu naselja nalaze se u Tablici 1.

Tablica 1. Potrošnja vode I ostali parametri za gašenje požara u naseljima.

Veličina naselja (broj stanovnika)	Broj istovremenih požara (1)	Minimalno trajanje gašenja požara (h)	Potrošnja vode po jednom požaru ($l s^{-1}$)
sela ispod 1 000	1	2	5
manja naselja do 5 000	1		10
naselja od 6 000 do 10 000	1		15
gradovi od 11 000 do 25 000	2		15
gradovi od 26 000 do 50 000	2		25
gradovi od 51 000 do 100 000	2		35
gradovi od 101 000 do 200 000	3		40
gradovi od 201 000 do 300 000	3		50
gradovi od 301 000 do 400 000	3		60
gradovi od 401 000 do 500 000	3		70
gradovi od 501 000 do 600 000	3		75
gradovi od 601 000 do 700 000	3		80
gradovi od 701 000 do 800 000	3		85
gradovi od 801 000 do 1 000 000	3		90
gradovi od 1 001 000 do 2 000 000	4		90

Potrebna količina vode za gašenje požara hidrantskom mrežom mora se osigurati neovisno o drugim potrošačima koji se opskrbljuju vodom iz istog izvora, odnosno vodospreme.

Za zaštitu građevine i/ili prostora vanjskom hidrantskom mrežom za gašenje požara potrebno je osigurati najmanji protok, ovisno o specifičnom požarnom opterećenju i tlocrtnoj površini objekta koji se štiti, čije su vrijednosti prikazane u Tablici 2.

Tablica 2. Potrebna količina vode za gašenje požara vanjskom hidrantskom mrežom [1].

Specifično požarno opterećenje u MJ/m ² , do	Potrebna količina vode u l/min, ovisno o površini objekta koji se štiti u m ²							
	do 100	101 do 300	301 do 500	501 do 1000	1001 do 3000	3001 do 5000	5001 do 10000	više od 10000
200	600	600	600	600	600	600	600	900
500	600	600	600	600	900	1200	1200	1500
1000	600	600	600	900	1200	1200	1500	1800
2000	600	600	900	1200	1500	1800	2100	*
>2000	600	900	1200	1800	1800	2100	*	*

Specifično požarno opterećenje, P_{sp} ($J m^{-2}$), izraženo je toplinom koja se može razviti u nekoj elementarnoj jedinici (prostoriji), svedeno na 1 m² tlocrtno površine te prostorije. Određuje se sukladno HRN U.J1.030, ovisno o osobinama gorivih materijala od kojih je izvedena i opremljena građevina te materijala za koje je zgrada namjenski izgrađena.

Vanjska hidrantska mreža za gašenje požara izvodi se izvan građevine i/ili prostora koji se štite, a završava nadzemnim ili podzemnim hidrantom. Unutarnja hidrantska mreža za gašenje požara izvodi se u objektu koji se štiti, a završava bubnjem s namotanim cijevima stalnog presjeka i mlaznicom ili vatrogasnim crijevom.

Na najnepovoljnijem mjestu svakog požarnog sektora unutarnja hidrantska mreža za gašenje požara mora imati protočnu količinu vode najmanje jednaku količini navedenoj u Tablici 2. Najniži tlak na mlaznici kod minimalne protočne količine ne smije biti manji od 2,5 bara.

Za propisani minimalni protok i trajanje najmanji tlak na izlazu iz bilo kojeg nadzemnog ili podzemnog hidranta ne smije biti manji od 2,5 bara. Pri navedenom tlaku i trajanju, za zaštitu naseljenih mjesta vanjskom hidrantskom mrežom za gašenje požara, potrebno je osigurati protok od najmanje 10 l/s. U vanjskoj hidrantskoj mreži za gašenje požara statički tlak ne smije biti veći od 1,2 MPa. Također ne smije doći do propuštanja vode kod ispitnog tlaka od 1,6 MPa, niti do pucanja kod tlaka od 2,4 MPa

1.1.5. Hidraulička analiza

Učinkovita kontrola sustava distribucije vode zahtijeva točne informacije o njegovom radnom polju tlaka. Trenutno se u industriji vode instaliraju moderni telemetrijski hardverski i softverski sustavi kako bi se zadovoljile te potrebe. Nažalost, zbog financijskih ograničenja nije praktično mjeriti sve varijable toka.

Ako se posjeduju informacije o statičkim parametrima mreže, sve ostale varijable toka, kao što su protoci i tlakovi vode, mogu se odmah izračunati. Budući da ove informacije nisu u potpunosti dostižne, svaka se napredna operativna kontrola distribucijske mreže mora oslanjati na matematičko modeliranje i naknadnu simulaciju sustava.

Stanje sustava dobiva se rješavanjem skupa jednadžbi koje se definiraju uporabom podataka topologije mreže, izmjerene ili procijenjene potrošnje vode i dotoka u sustav. Za izradu jednadžbi vodovodne mreže mogu se koristiti različiti skupovi nezavisnih varijabli.

Metoda koja prevladava sve nedostatke mjerenja poznata je kao “postupak procjene stanja” i u posljednja dva desetljeća bila je ključna točka za provedbu praćenja i kontrole velikih komunalnih sustava. Ovom metodom obrađuju se sva dostupna mjerenja i formulira se problem u vidu redundantnih jednadžbi.

Redundancija, točnije višak informacija u svrhu točnijeg prijenosa informacije, neophodna je za uspješno izvođenje postupka procjene stanja. U vodnim sustavima stupanj redundancije postiže se kombiniranjem mjernih informacija s pseudomjerenjima (tj. predviđanjima o potrošnji vode). Povećanjem broja mjerenja moguće je poboljšati i pouzdanost i točnost procjene stanja.

Simulacija bilo kojeg složenog inženjerskog sustava uvijek će uključivati stupanj nesigurnosti. Niti jedno mjerenje niti matematički model ne mogu biti potpuno precizni. Sustavi za distribuciju vode nisu iznimka, stoga se i dalje teži pronalasku metode predikcije koja će smanjiti gubitke vode u vodoopskrbnim sustavima. Proces kvantifikacije nesigurnosti u procjenama stanja poznat je u sustavima distribucije vode kao “analiza granica pouzdanosti” [3].

1.2 DMA zone

Sustavi vodoopskrbe vode mogu se podijeliti u sektore tehnikom koja se temelji na korištenju zapornih ventila za uspostavu kontroliranih podzona, obično nazvanih “područna mjerena područja” (eng. *District Metered Areas* (DMAs)) [5].

Voda koja utječe u DMA zone i otječe izvan zone strogo se kontrolira i mjeri kako bi se izračunala točna bilanca vode za svaki DMA. Sektorizacije mreže omogućuju učinkovitije održavanje vodoopskrbne mreže i lokalizaciju gubitaka vode. DMA će omogućiti optimizaciju distribucije vode u smislu potrošnje energije, upravljanja pritiskom i kvalitetom vode [6].

Glavni je cilj sektorizacije osiguranje povećane kontrole sustava, što se prvenstveno postiže kontinuiranim praćenjem protoka vode u svakom dijelu mreže. To također omogućuje komunalnim društvima da procijene trenutnu razinu curenja u svakom sektoru i, posljedično, da daju prioritet aktivnostima otkrivanja curenja [6]. Važno je da sve zone budu učinkovito izolirane i da nema nekontroliranih curenja između DMA zona. Po primjeru grada Al Aina (UAE), koji je 2014. uveo DMA zone, smanjili su gubitke vode sa 19% na 8% [6].

DMA pristup je široko prepoznat kao jedna od najuspješnijih i najisplativijih metoda za optimizaciju vodoopskrbnih sustava. Među brojnim prednostima koje se mogu postići sektorizacijom, najzanimljiviji su učinci povećana kontrola sustava i poboljšanje u smanjenju gubitaka vode [5].

1.2.1 Određivanje DMA zona

Sektorizacija mreže za distribuciju vode sastoji se od podjele cijelog sustava na DMA zone. Ovu tehniku oteo je Cheong 1993. godine, a predstavlja alternativni pristup konvencionalnim tehnikama u projektiranju vodnih sustava. Stariji pristup prvenstveno je orijentiran na izradu jako umreženog sustava koji karakterizira jaka redundantnost [5].

Ključni je princip DMA zona uporaba protoka za određivanje razina propuštanja unutar definiranog područja vodovodne mreže. Ključ upravljanja DMA zonama je ispravna analiza toka kako bi se utvrdilo postoji li višak curenja i identificira prisutnost novih curenja [8]. Preporuke za razdvajanje mreža:

- zatvaranje mrežnih cijevi pomoću zapornih ventila,
- ugrađivanje mjerača protoka,
- DMA zone ne bi trebale uključivati magistralnu mrežu,
- izbjegavanje veza između različitih DMA zona.

Kada izbjegavanje povezivanja različitih DMA zona nije moguće, moraju se ugraditi mjerači protoka kako bi se mjerio dovod i odvod vode [5]. Ovisno o karakteristikama mreže, DMA zone mogu biti:

- opskrbljene iz jednog ili više izvora,
- diskretno područje, tj. nema dotoka u susjedne DMA zone,
- područje koje se ulijeva u susjednu zonu [5].

Planiranje DMA zona subjektivno je i malo je vjerojatno da bi dva inženjera izradila jednak projekt za određeno područje. Zbog toga postoje određene smjernice koje olakšavaju proces planiranja. Prema IWA (*International Water Association*) smjernicama pri dizajniranju i određivanju DMA zona trebaju se uzeti u obzir određeni faktori (Tablica 3).

Tablica 3. Kriteriji koji određuju dizajniranje DMA zona [6].

Kriteriji	Opis
Troškovi postavljanja VMA	Troškovi postavljanja DMA ovisit će prvenstveno o trošku potrebne izolacije i mjerne opreme. U svrhu izolacije koriste se standardni izolacijski ventili, dok se za mjerenje koriste mjerači protoka. DMA moraju biti oblikovani na takav način da je za postizanje željenih rezultata potreban minimalni broj ventila i mjerača protoka.
Minimalne varijacije u nivou terena preko mjerne zone	U idealnom slučaju, DMA bi se trebao sastojati od jednoličnog terena. Ako DMA ima mnogo varijacija terena, snabdijevanje vodom za sve korisnike pod uniformnim pritiskom bilo bi teško.
Veličina (Geografsko područje i broj korisnika ili veza)	Jedan DMA obično ima između 1000 do 2500 priključaka. Za DMA veće od ovoga, otkrivanje neoprihodovanih gubitaka bilo bi teško, dok će za DMA manje od ovoga troškovi opreme i troškovi održavanja i funkcioniranja nadići ekonomsku izvedivost. Sa druge strane manja zona će omogućiti da se: <ul style="list-style-type: none"> • Osigura lakši i precizniji monitoring curenja u zoni, • Jednostavnije i efikasnije pronalaženje nelegalnih priključaka.
Topografija	Preporučuje se korištenje normalno dostupnih topografskih karakteristika kao što su rijeke, jezera, varijacije terena, pa čak i glavne ceste za formiranje DMA-a, jer će oni osigurati lako izoliranje.
Izolacijai međusobno povezivanje	Iako bi DMA trebali biti dobro izolirani jedni od drugih DMA-i radi preciznosti mjerenja, oni bi trebali biti međusobno povezani pomoću izolacijskih ventila (u početku su postavljeni kao zatvoreni i mogu se otvoriti dok reagiraju na neke slučajeve puknuća / prekida cijevi) tako da se voda iz jedne DMA može dovoditi u drugu radi bolje distribucije.

Neki od njih prikazuju infrastrukture, geografsko područje, broj i vrste krajnih korisnika, tip građevine koja se opskrbljuje, varijacije u nadmorskoj visini, kvaliteta vode, tlak i sposobnost gašenja požara, broj ventila koji se zatvaraju i broj mjerača koji se koriste za praćenje protoka [5,6].

Sektorizaciju u mrežama treba provoditi vrlo pažljivo kako bi se provjerio hidraulički odziv sustava. Dok se ne ustvrde svi neočekivani faktori u projektiranju, ne određuje se definitivna granica DMA zona. Preporuka je da se DMA zone razgraniče zatvaranjem cijevi, a ne njihovim rezanjem [5].

Za podjelu velikog otvorenog sustava na serije DMA-ova bitno je zatvoriti ventile kako bismo izolirali određeno područje i ugradili mjerače protoka vode. DMA sustav sastoji se od: ventila (ulaz), cijevi većeg i manjeg promjera, graničnih ventila koji su zatvoreni [6].

Može se izraditi računalna simulacija protoka i tlaka vode za koju je potreban poseban računalni sustav. Hidraulički model je također bitan alat za dizajniranje “područja kontroliranja tlakova” (engl. *Pressure Management Areas*, PMA) čija je svrha poboljšani rad i ušteda energije za pumpanje. Na temelju proračuna iz modela postavljaju se ventili za smanjenje tlaka.

Nova pucanja cijevi mogu se lako prepoznati analizom minimalne noćne potrošnje (engl. *Minimum night flow*, MNF). Analiza MNF-a temelji na sljedećoj pretpostavci: iako uvijek postoji određena potražnja za vodom noću, najveći dio otkrivenih protoka zasigurno se može pripisati curenju vode, čija je količina u ovom razdoblju povećana zbog viših tlakova koji se stvaraju u vodoopskrbnoj mreži [5]. MNF je grafički prikazan na Slici 7.



Slika 7. Prikaz minimalne noćne potrošnje, stvarne potrošnje i stvarnih gubitaka. Gubitak vode može se prikazati formulom: NNF (gubitak vode) = MNF (minimalna noćna potrošnja) - LNF (stvarna potrošnja).

Postavljanje DMA zona doprinosi pametnom upravljanju tlakovima u vodoopskrbnoj mreži. Projektiranje sektora može se provesti kako bi se dobila područja sa sličnim hidrauličkim zahtjevima tako da mreža može raditi na optimalnoj razini tlaka. Međutim, sektorizacija se sama po sebi može smatrati tehnikom upravljanja tlakom. Zatvaranje cijevi smanjuje broj petlji u mreži i može uzrokovati pad tlaka koji se može prikladno iskoristiti za smanjenje količine pozadinskog curenja. DMA zone olakšavaju prikupljanje vode kod potrebe za toksikološko-kemijskim ispitivanjima koje lakše izoliraju eventualno kontaminirana područja [5].

1.2.2 Mjerenje tlakova unutar DMA zone

Nakon što se dogodi curenje, senzori za praćenje reagirat će u isto vrijeme stvarajući sinkronizirane promjene tlaka i prikaz prostorne korelacije. Osim toga, promjene će često trajati neko vrijeme, a postoji autokorelacija u vremenu.

Test nultog tlaka (engl. *zero pressure test, ZPT*) izvodi se na način da se zatvore svi mjereni ulazi i provjerava se pada li tlak vode unutar DMA na nulu. Ako tlak ne padne na nulu, onda je vjerojatno da druga cijev dopušta uljevanje vode u to područje i tada se to curenje treba sanirati.

Propuštanje vode proporcionalno je tlaku u sustavu. Manji protok i manja brzina u cijevima rezultiraju manjem propuštanjem i gubitku vode. Obrnuto proporcionalno toku vode u DMA, prosječni tlak DMA mijenjat će se tijekom 24-satnog razdoblja. Kada DMA ima najniže dotoke, tlak će biti najveći.

Količina izgubljene vode unutar DMA može se izračunati oduzimanjem zabilježene (fakturirane) potrošnje uzrokovane preljevom [9].

2 UREĐAJI ZA MJERENJE TLAKA

Mjerenje tlaka je mjerenje sile koju tekućina (tekućina ili plin) primjenjuje na površinu. Tlak se mjeri u jedinici sile po jedinici površine. Razvijene su mnoge tehnike za mjerenje tlaka i vakuuma. Instrumenti koji se koriste za mehaničko mjerenje i prikazivanje tlaka nazivaju se tlakomjeri, vakuumometri ili složeni mjerači (vakuum i tlak). Naširoko korišteni Bourdonov mjerač mehanički je uređaj koji i mjeri i pokazuje, i vjerojatno je najpoznatiji tip mjerača.

Vakuumetar se koristi za mjerenje tlakova nižih od atmosferskog tlaka okoline, koji je postavljen kao nulta točka, u negativnim vrijednostima (na primjer, -1 bar ili -760 mmHg jednako je ukupnom vakuumu). Većina mjerača mjeri tlak u odnosu na atmosferski tlak kao nultu točku pa se ovaj oblik očitavanja jednostavno naziva "mjerni tlak". Međutim, sve što je veće od potpunog vakuuma tehnički je oblik pritiska. Za vrlo niske tlakove mora se koristiti mjerač koji koristi ukupni vakuum kao referentnu točku nulte točke, dajući očitavanje tlaka kao apsolutni tlak.

Druge metode mjerenja tlaka uključuju senzore koji mogu prenijeti očitavanje tlaka na daljinski indikator ili kontrolni sustav (telemetrija).

Tlak je fizikalna veličina i jedna od najvažnijih varijanti procesa koja je definirana djelovanjem sile po jedinici površine (3).

$$p = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{F}{A} \quad (3)$$

gdje je:

p – tlak [N/m²; Pa; kPa; psi...],

F – sila [kg; N; dyne...],

A – površina [m²; cm²...].

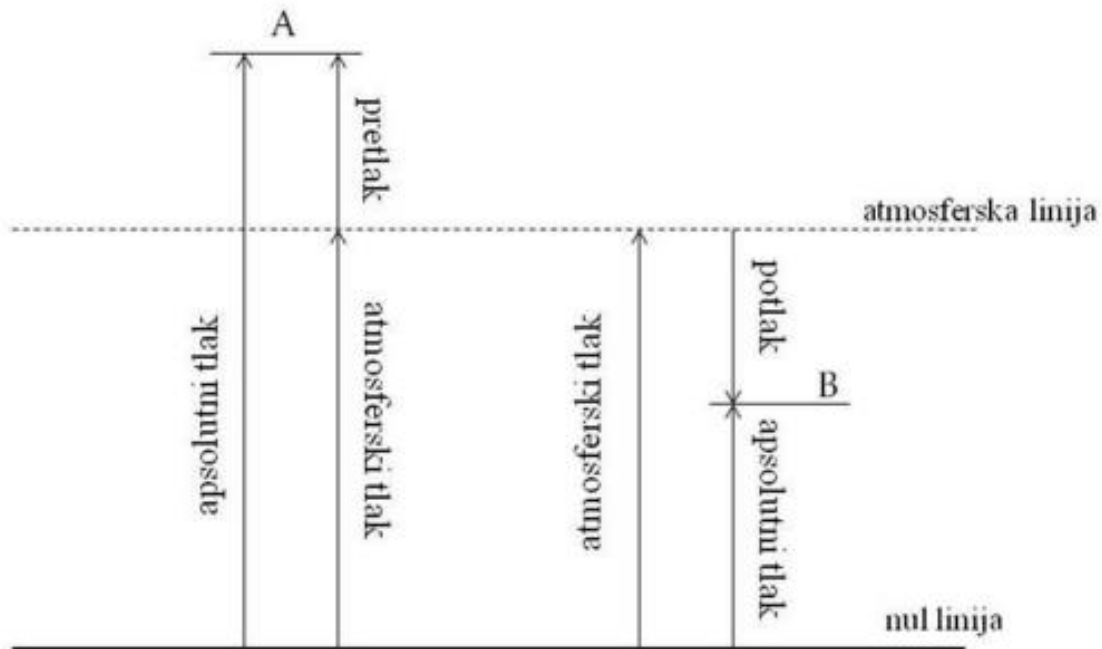
Tlak u vodoopskrbnoj mreži najčešće varira između 3 i 15 bara ($\approx 21 - 105$ kPa). Mjerne jedinice za izražavanje tlaka mogu se povezati sljedećim relacijama prikazanim jednadžbama (4) i (5) :

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 10 \text{ dynes/cm}^2 \quad (4)$$

$$1 \text{ atm} = 1,01325 \text{ bara} = 75,97 \text{ cmHg} = 29,92 \text{ Hg} = 10322 \text{ kg/m}^2 \quad (5)$$

Tlakovi na koje se nailazi u prirodi mogu se podijeliti na četiri vrste (Slika 8):

- 1) relativni tlak – pozitivan manometarski tlak
- 2) vakuumski tlak – negativan manometarski tlak
- 3) apsolutni tlak – mjeren iz savršenog vakuuma
- 4) diferencijalni tlak



Slika 8. Relacije i veze između različitih vrsta tlakova [15].

2.1 Vrste uređaja za mjerenje tlaka

Instrumenti za mjerenje tlakova dijele se na tri kategorije u ovisnosti o veličini tlaka koja se mjeri:

1) Mjerenje umjerenog tlaka:

- Manometri
- Tipovi instrumenata za mjerenje mehaničkog pomaka
 - Prstenasti manometar
 - Zvonasti manometar
- Elastični pretvornici tlaka
 - Tlakomjer s Bordonovom cijevi
 - Dijafragma (tlačni mjerač)
 - Tlakomjer
- Električni pretvornik tlaka
 - Otpornički pretvornici
 - Potencimetri
 - Induktivni pretvornici
 - Kapacitivni pretvornici
 - Piezoelektrični pretvornici

-

2) Mjerenje vrlo visokog tlaka

- Električni tlakomjer bazirani na promjeni otpora na zlatno-brončane žice

3) Mjerenje vrlo niskog tlaka ili vrlo visokog vakuuma

- McLeod-ov vakuumometar
- Mjerač toplinske vodljivosti
- Mjerač ionizacije
- Knudsen-ov vakuumometa

Indikacijski raspon instrumenata za mjerenje tlaka je:

1) Ispod 1 mmHg

- Manometri i mjerači vrlo niskog tlaka

2) Između 1 mmHg – 1000 atm

- Bourdonova cijev
- Dijafragme
- Tlakomjeri

3) Visoki vakuum (do 10^{-9} torr-a)

- McLeod
- Mjerači toplinske vodljivosti
- Ionizacija

4) Visoki tlak (> 1000 atm)

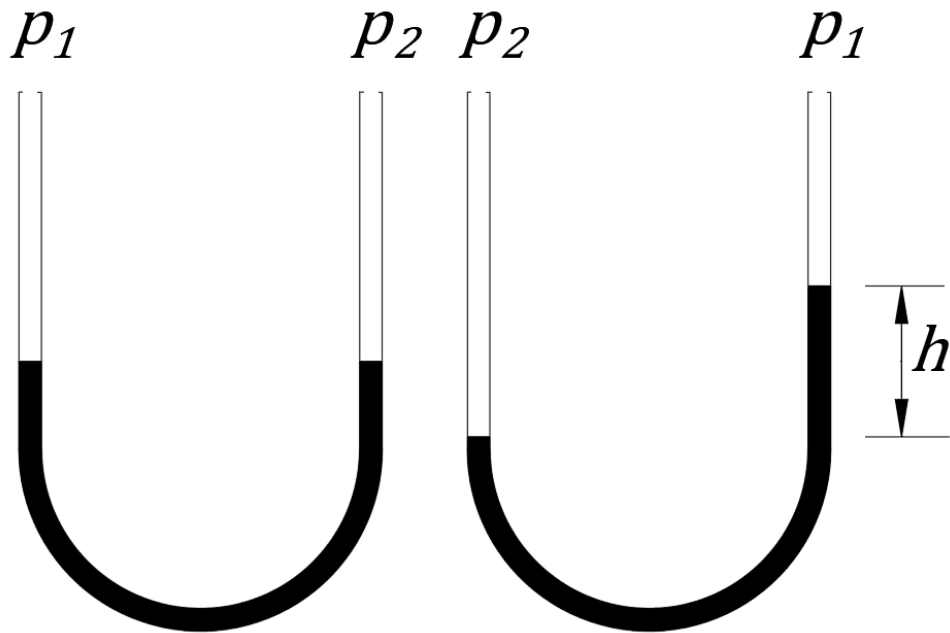
- Tipovi mjerača na električni otpor [10]

2.2 Manometri

Manometri su najstariji instrumenti pomoću kojih se može izmjeriti tlak. Koriste se za mjerenje manometarskog (relativnog) tlaka, diferencijalnog tlaka i apsolutnog tlaka. Takvi instrumenti rade koristeći se tzv. manometarskom tekućinom (najčešće živa ili voda) čijim se pomakom u tubi (posudi) mjeri tlak. Manometarska tekućina mora zadovoljavati sljedeće uvjete:

- 1) ne smije se lijepiti na stijenke manometra,
- 2) ne smije apsorbirati plinove,
- 3) ne smije imati kemijske reakcije,
- 4) mora imati niski parni tlak,
- 5) mora imati sposobnost slobodnog kretanja.

Princip rada manometara može se ukratko objasniti na sljedeći način. Služeći se staklenom tubom U oblika, napunjenom odabranom manometarskom tekućinom poznate gustoće, prati se razina vode u otvorima spomenute cijevi. Ako su oba otvori spojeni na isti izvor tlaka, razina vode u njima će biti jednaka. Ukoliko su spojeni na različite izvore tlaka, razine vode ili žive u njima neće biti jednake. Mjerenjem promjene visine h u otvorima, uz poznatu gustoću manometarske tekućine, dobije se tlak p (Slika 9) [11].



Slika 9. Prikaz promjene visina manometarske tekućine u manometru uslijed promjene tlakova [11].

Odnosi tlaka prikazanog na Slici 10 prikazani su jednadžbom (6) i (7):

$$p_2 - p_1 = \rho \cdot h \quad (7)$$

gdje je:

p_1, p_2 – tlakovi,

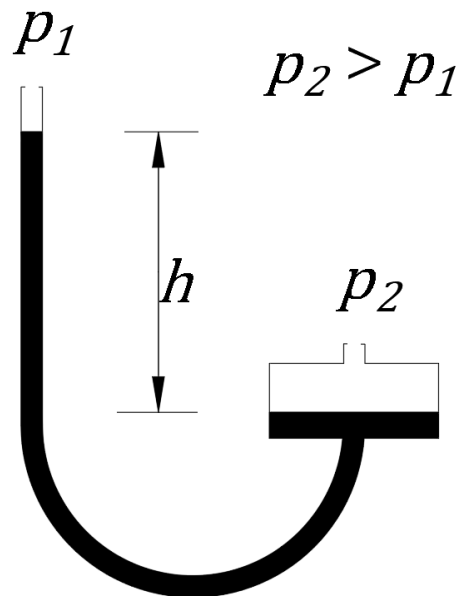
ρ – gustoća manometarske tekućine,

h – razlika visine tekućine u otvorima manometra.

Postoje različiti tipovi manometara, od kojih su najrelevantniji:

- U- cijev,
- manometar sa spremnikom (well type manometer),
- kosi manometar,
- plutajući manometar (modificirani manometar sa spremnikom).

Razlika je između manometra sa spremnikom i klasičnog manometra s U – cijevi je u tome što ovakav manometar umjesto jedne cjevaste noge ima mali zdenac kružnog presjeka velikog promjera. Slika 10 prikazuje manometar sa spremnikom.



Slika 10. Manometar sa spremnikom [11].

Princip rada ovakvog manometra sličan je principu rada manometra sa U – cijevi, no jedina je razlika u razini manometarske tekućine koja se podiže u ravnoj strani cijevi u odnosu na razinu koja se spušta u zdencu. Upravo zbog puno većeg promjera kod zdenca u odnosu na promjer cijevi, tekućina će se u njemu neznatno spustiti ispod razine referentne ravnine (početne razine tekućine), dok će se u cijevi manjeg promjera razina tekućine znatno podići.

Stoga se tlak može definirati samo preko razlike visine u otvorima (8).

$$P_2 - P_1 = \rho \cdot \left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right) \cdot h \quad (8)$$

gdje je:

P_1 – tlak u otvoru manjeg promjera,

P_2 – tlak u zdencu većeg promjera,

A_1 – površina presjeka otvora manjeg promjera,

A_2 – površina presjeka zdenca većeg promjera,

h – razlika visine tekućine u cijevi otvoru i zdencu,

ρ – gustoća manometarske tekućine.

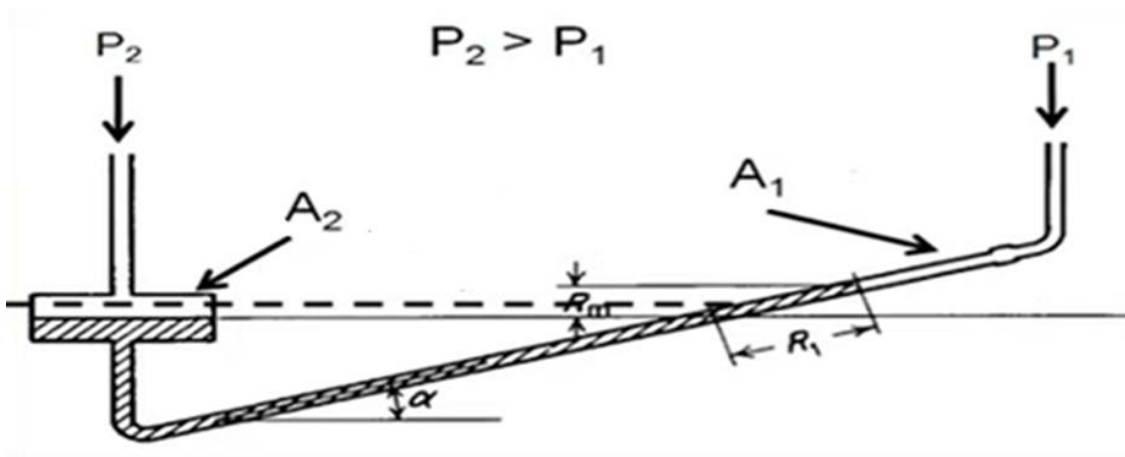
Ako vrijedi (9):

$$\frac{A_1}{A_2} \ll 1 \quad (9)$$

Onda se može koristiti (10):

$$P_2 - P_1 = \rho \cdot h \quad (10)$$

Kod vrlo malih razlika tlakova, razlika visine tekućine u dvama suprotnim otvorima obično je toliko malena da ju je gotovo nemoguće iščitati. Kao rješenje problema moguće je naginjanje jednog otvora manometra pa bi se takva mala visinska razlika mogla puno lakše očitati. Takva vrsta manometara nazivaju se cjevasti manometri s kosim otvorom (Slika 11).



Slika 11. Cjevasti manometar s kosim otvorom [10].

Jednadžba (11) prikazuje proračun tlaka kod manometra s kosim otvorom.

$$P_2 - P_1 = \rho \cdot \left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right) \cdot R_1 \cdot \sin \alpha \quad (11)$$

gdje je:

P_1 – tlak u kosom otvoru,

P_2 – tlak u uspravnom otvoru,

ρ – gustoća manometarske tekućine,

A_1 – površina presjeka kosog otvora,

A_2 – površina presjeka zdenca na uspravnom otvoru,

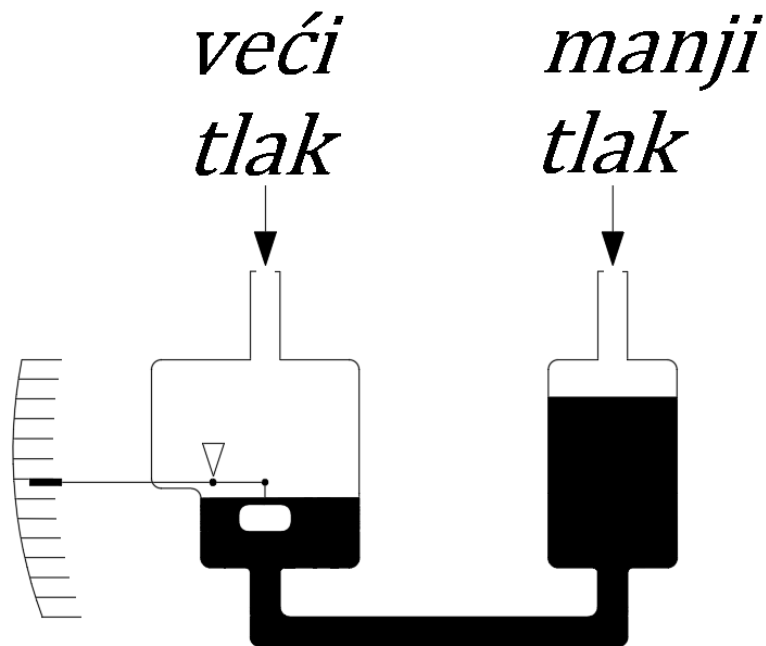
R_1 – dužina na kosom otvoru između osi razine tekućine u zdencu i razine tekućine u kosom otvoru,

α – kut zakošenosti kosog otvora.

Problem manometra s kosim otvorom povećanje je osjetljivosti na vanjske utjecaje, stoga se pokus u takvom manometru mora provoditi izrazito pažljivo [10].

Plutajući manometar (Slika 12) još je jedna varijanta manometra sa spremnikom. Sastoji se od dvaju zdenaca međusobno spojenih fleksibilnom cijevi od kojih jedan ima veći promjer poprečnog presjeka. Razlika u promjerima nije toliko znatna koliko kod manometra sa spremnikom. Zdenac većeg promjera mora biti dovoljno veliki da plutajući manometar može stati na površinu tekućine.

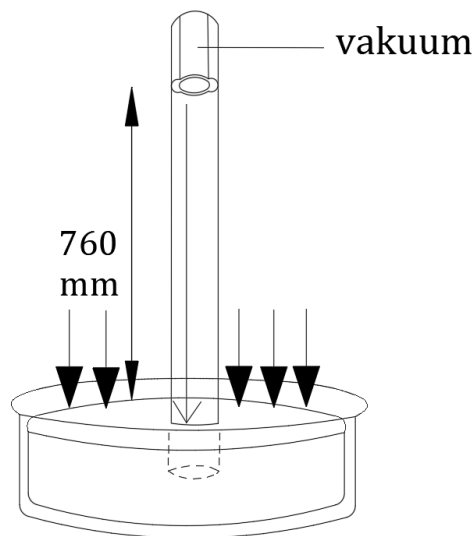
Zdenac većeg poprečnog presjeka izložen je većem tlaku dok je zdenac manjeg poprečnog presjeka izložen manjem tlaku. Kako manometarska tekućina uslijed promjene tlaka mijenja svoj položaj, tako i plutajući manometar mijenja svoj položaj. Sila pomaka mora biti dovoljno velika da plutajući manometar pomakne ručicu na mjerачu tlaka koja pokazuje promjenu istoga. Također, moguće je mjeriti različite redove veličina tako da se po potrebi mijenja radijus poprečnog presjeka manjeg zdenca.



Slika 12. Plutajući manometar [10].

Prvenstveno, barometri služe za određivanje atmosferskog tlaka zraka. Iako konstrukcije manometra mogu biti različite, najjednostavnija izvedba je izvedba staklene cjevčice zatvorene na vrhu (ispunjene vakuumom), postavljene na rezervoaru punom tekućine (Slika 13).

U suvremenim uređajima moguće je električno ili elektorničko mjerenje pretvaranjem tlaka u električne veličine i takvi barometri ulaze u skupinu pretvornika.



Slika 13. Barometar [10].

Atmosferski tlak zraka u barometru mjeri se pomicanjem žive, odnosno visine stupca žive u staklenoj cjevčici. Kada je atmosferski tlak 1 atm, visina stupca žive je 760 mm (na 20°C) [11].

Elastični pretvornici se mogu definirati kao uređaji koji pretvaraju signale iz jednog oblika u neki drugi (npr. iz analognog u digitalni), uz poznat odnos ulaznog i izlaznog signala. Značajke pretvornika opisuju se nizom parametra:

- mjerno područje,
- osjetljivost,
- razlučivost,
- selektivnost,
- točnost,
- preciznost,
- stabilnost,
- linearnost,
- histereza,
- brzina odziva i sl.

Veliku skupinu pretvornika čine mjerni pretvornici, a oni su ulazni elementi mjernog sustava koji mjerenu veličinu pretvaraju u oblik pogodan za obradu. Mjernim osjetnikom naziva se dio mjernoga pretvornika koji dolazi u izravan dodir s mjerenom veličinom.

Bourdonova cijev naziv je dobila po svom izumitelju, Eugenu Bourdonu (Francuska, 1849.) Ovaj aparat za mjerenje tlaka ima prilično veliku primjenu zato što daje konzistentne rezultate, a pritom je i jeftin. Koristi se za tlakove više od 1 bara, s gornjom granicom od 4000 bara.

Bourdonova cijev sastoji se od šuplje cijevi C oblika eliptičnog poprečnog presjeka, koja je na jednom kraju zatvorena, dok s druge strane propušta tekućinu i prihvaća pritisak, te također od priključka, poluge, nazubljenog dijela i kazaljke.

Ovaj tlakomjer priključuje se na mjerno mjesto cijevnim priključkom i u potpunosti se napuni fluidom. Porastom tlaka u cijevi poprečni presjek prelazi iz eliptičnog u kružni, što nastoji samu cijev izravnati, stoga se njen slobodni kraj pomiče. Uz pomoć poluge i nazubljenog dijela gibanje slobodnog dijela cijevi prenosi se na kazaljku te se tako promjena tlaka u cijevi pretvara u odgovarajući otklon kazaljke.

Kod pretvornika s elastičnim elementima, kao što je Bourdonova cijev, tlak se mjeri deformacijom savijenih cijevi (i sličnih elemenata u drugim uređajima). Elastično osjetilo deformirano za ΔL razvija silu P na način prikazan jednadžbom (12) [11].

$$P = E \cdot \frac{A}{L} \cdot \Delta L \quad (12)$$

gdje je:

P – sila [N, kN],

E – Youngov modul elastičnosti,

L – dužina bez opterećenja [m, cm],

ΔL – apsolutno produženje [m, cm].

2.3 Potrebne i ostvarene tehničke karakteristike uređaja za mjerenje tlaka

Tehničke karakteristike uređaja za mjerenje tlaka u odabranom području vodoopskrbnog sustava grada Rijeke moraju zadovoljiti sljedeće:

- osjetljivost promjene tlaka na minimalno dvije decimale preciznosti,
- otpornost na atmosferske uvjete,
- energetska samostalnost u svrhu mobilnosti na terenu,
- preglednost izmjerenih podataka u trenutku,
- sistematiziran memorijski zapis na frekvenciju uzorkovanja u petominutnom vremenskom intervalu,
- raspon mjerenja tlaka od 2,5 do 12 bara s obzirom na predviđene tlakove u sustavu.

S obzirom na nestašicu potraživanih komponenti na tržištu u vrijeme konfiguracije mjernog uređaja, karakteristike poput energetske samostalnosti i otpornosti na atmosferske utjecaje kompenzirani su pojačanim tehničkim osobinama poput transmitera tlaka s točnošću na devet decimala. Ostvaren je sistematiziran memorijski zapis na frekvenciju uzorkovanja tlaka vode u jednominutnom vremenskom intervalu kroz razdoblje od 14 dnevnog ispitivanja.

2.4 Protokol izrade mjernog uređaja

Definiranjem potrebnih i ostvarivih tehničkih karakteristika, djelatnici tvrtke SIEMENS ENERGY izradili su mjerni uređaj koji se sastoji od navedenih odabranih komponenti:

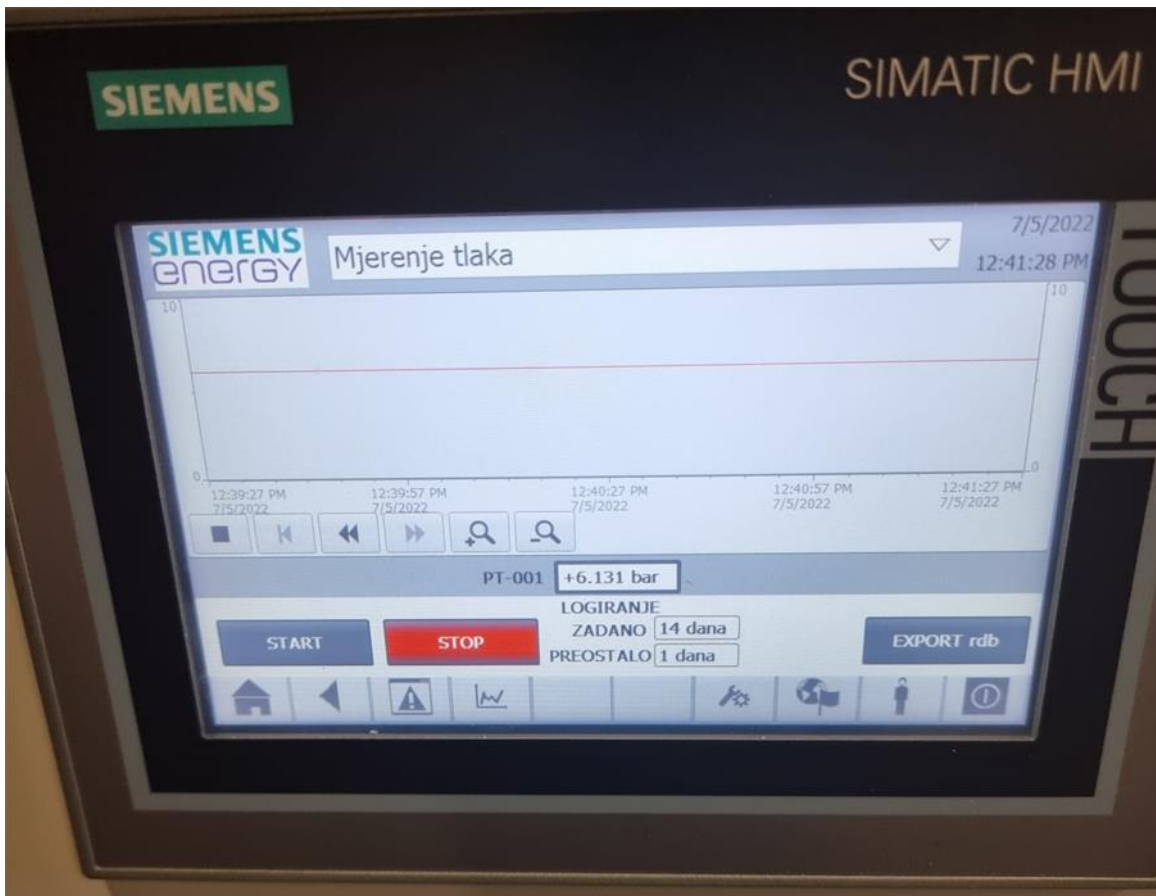
- PLC programibilni logički kontroler
- Operaterski panel Simatic TP700 Comfort osjetljiv na dodir
- Simatic HMI memorijska kartica
- STD700 digitalni mjerač tlaka
- Kontrolni Norgren manometar 0-12 bara

2.4.1 PLC programibilni logički kontroler

Definiranje programa vrši se preko nadređenog PC računala na kojem je instaliran program za korištenje PLC. PC računalo služi za unos programa u memoriju procesora putem programskog jezika. Da bi se programiranje uspješno obavilo, program se mora ispitati. Ispitivanje se vrši tako da na ulaze PLC-a stavimo stanja veličina iz realnih uvjeta u procesu. Potrebno je koristiti simulator stanja.

2.4.2 Simatic TP700 Comfort

Preglednost izmjerenih podataka u trenutku mjerenja odvija se uz pomoć operatorskog panela osjetljivim na dodir, Simatic TP700 Comfort (Slika 14). Sustav je zatvorenog tipa što znači da njime može upravljati samo matična kompanija, odnosno SIEMENS. Navedeni panel predviđen je za vanjsku i unutarnju upotrebu.



Slika 14. Simatic TP700 Comfort.

2.4.3 STD700 digitalni mjerač tlaka

Predviđanje maksimalne i minimalne vrijednosti tlaka u svrhu pravilnog odabira mjerača tlaka odvija se u suradnji s komunalnim društvom Vodovod I kanalizacija d.o.o. Rijeka. Pametni transmiteri tlaka, modularni su transmiteri diferencijalnog tlaka namijenjeni ekonomičnim primjenama u industrijskim procesima. Slika 15 prikazuje STD700 digitalni mjerač tlaka.



Slika 15. STD700 digitalni mjerač tlaka.

2.4.4 Kontrolni Norgren manometar

Kontrolni Norgren manometar (Slika 16) koristi se prilikom spajanja uređaja za mjerenje tlaka na hidrantsku mrežu u svrhu spriječavanja mogućeg oštećenja STD700 digitalnog mjerača tlaka. Na Slici 17 prikazana su sva tri navedena uređaja za mjerenje tlaka.



Slika 16. Kontrolni Norgren manometar 0-12 bara.



Slika 17. Prikaz sva tri uređaja za mjerenje tlaka.

3 VODOOPSKRBNI SUSTAV GRADA RIJEKE

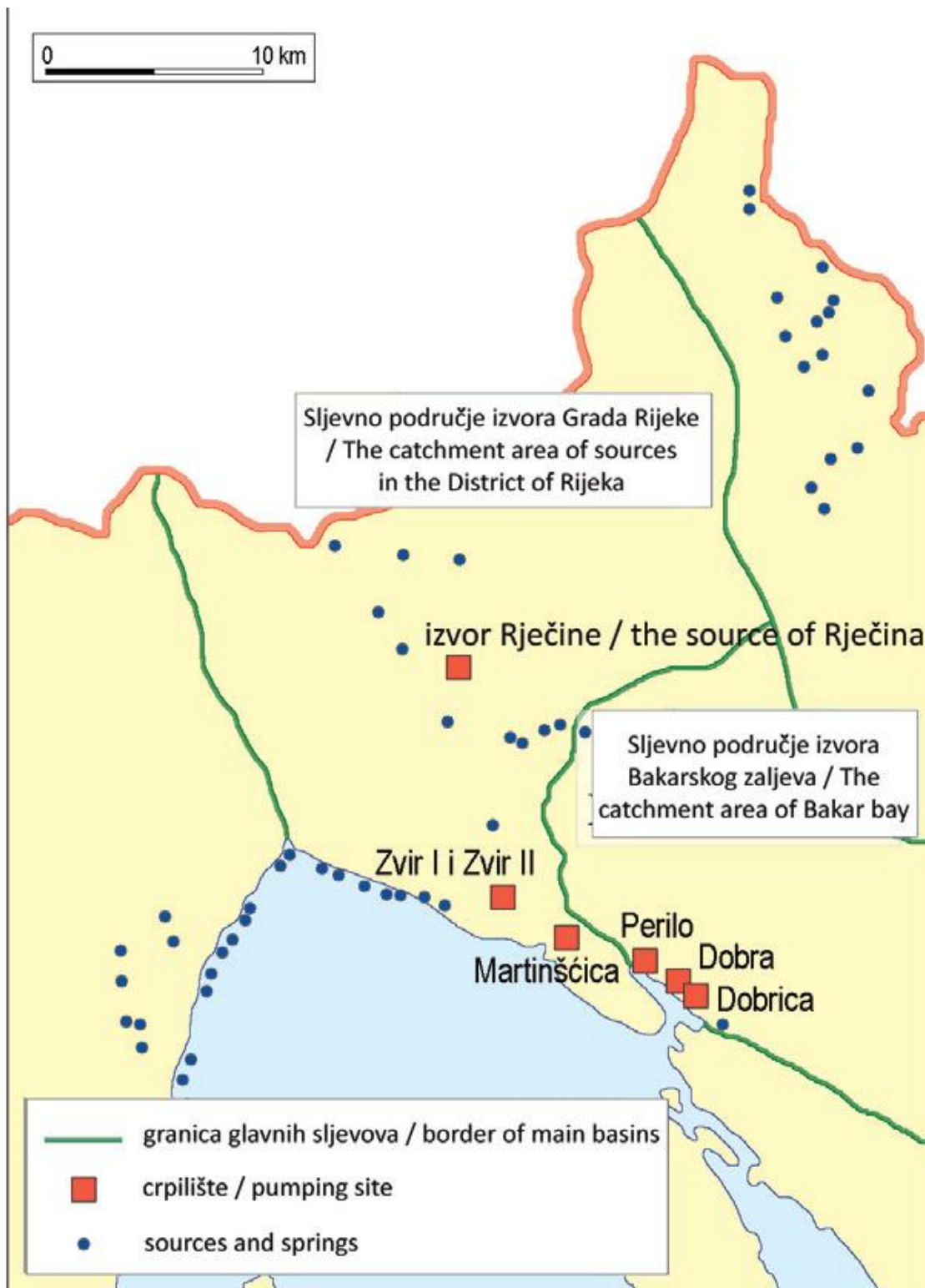
3.1 Vodni resursi grada Rijeke

Vodopostroba riječkog područja i grada Rijeke zasniva se na sustavu komunalnog društva Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka. Riječko područje dio je krškog slijevnog područja bogatog vodom u podzemnim vodonosnicima [12].

Rječina je najveća tekućica ovog područja. Izvor Rječine nalazi se blizu grada na 325 metara nadmorske visine i na taj se način gravitacijom odvija vodopostroba Rijeke koja zadovoljava potrebe potrošača čak i za vrijeme turističke sezone [13].

Riječko područje je bogato vodom zahvaljujući klimatskim i hidrogeološkim obilježjima prostora. Zbog blizine Alpi i Jadranskog mora područje obiluje padalinama, što godišnje iznosi prosječno 1530 mm. Zahvaljujući tome površinski vodotoci imaju bujični karakter. Istjecanje vode na izvorima u priobalju također je ovisno o obilnim padalinama budući da je vodna bilanca proporcionalna količini padalina. Tijekom ljetnih mjeseci i sušnih razdoblja te hladnih zimskih razdoblja manja su istjecanja na priobalnim izvorima.

Hidrogeološka obilježja prostora olakšavaju vodopostrobu u tim periodima. Desetak kilometara od priobalja reljef se penje do 1500 metara nadmorske visine. Slijevna područja iz planinskog zaleđa obnavljaju rezerve slatke vode. Visoke planine u blizini Rijeke imaju važnu ulogu u prihranjivanju izvora. Dolomiti i vapnenci, koji su glavni vodonosnici i karakteristike kršnog reljefa, čine najveći dio riječkog područja. Velika površina od 465 km² pripada slijevnom području grada Rijeke. Na Slici 18 prikazana je karta sljevova i crpilišta riječkog područja [12].



Slika 18. Karta sljevova i crpilišta riječkog područja [12].

Izvor Rječine zbog povoljnog visinskog položaja gravitacijski je povezan s vodoopskrbnim sustavom grada cjevovodom kapaciteta 110 l/s. Ovaj je izvor prvi puta korišten 1913. godine u svrhu vodoopskrbe Rijeke. Kad izvor Rječine nema dovoljno vode, izvor Zvir postaje osnova vodoopskrbe. Ovaj izvor nikada ne presušuje, istječe iz potopljenih špiljskih kanala formiranih uzduž pukotina u vapnencima. Koristi se za vodoopskrbu još od 1894. Uz njega, krajem 70-ih godina, izgrađen je kaptažni objekt Zvir 2. Zvir 1 i Zvir 2 zajedno čine 80% ukupnih minimalnih resursa za vodoopskrbu riječkog područja. U slijevno područje Rijeke ubrajaju se još i izvorište Martinščica te izvori u Bakarskom zaljevu Perilo, Dobra i Dobrica [12]. Iz navedenoga zaključujemo da riječko područje obiluje izvorima vode visoke kvalitete.

3.2 Razvoj vodoopskrbe grada Rijeke

1885. godine počeo se formirati prvi vodoopskrbi sustav za predio Sušaka, a 1894. godine za područje grada Rijeke napravljen je prvi vodovod [12]. Prvo spajanje sušačkog vodovoda s riječkim zbilom se 1906. godine, nakon što su zdravstvene vlasti Sušaka zabranile upotrebu izvorišta na lijevoj obali Rječine zbog bakteriološkog zagađenja. Uvođenjem prvih vodomjera 1911. godine prestaje se s ubiranjem paušalne pristojbe za potrošenu vodu. Izrazito rano se na ovom području prepoznala prednost ugrađivanja vodomjera. Uz pomoć njih otkriva se prekomjerna potrošnja vode te se kontrolira stanje vodovodne infrastrukture (moguća puknuća) [14].

Od 1970. do 1985. godine putem programa Vode 1 i Vode 2 izgrađena je većina današnjih kapaciteta vodoopskrbnog sustava. Vodospreme i crpne stanice povezane su s potrošačima vodovodnom mrežom dugačkom 783 km. Danas se voda iz 7 izvorišta koja opskrbljuju Rijeku prepumpava u ukupno 28 crpnih stanica koje imaju ukupni kapacitet 8735 l/s i 56 vodosprema obujma 118 490 m³. Od 1995. godine do danas traje program Vode 3, tj. projektiranje, priprema i izgradnja novih odnosno produženje postojećih ogranaka [12,14].

Na području Sušaka, u početku razvoja vodoopskrbe, vodosprema je imala zapremninu 200 m³. Današnja najveća vodosprema ima 100 puta veći kapacitet [14]. Streljana 2 jedna je od najvećih vodosprema u hrvatskoj, obujma 20 000 m³. Ova je vodosprema povezana s crpnom stanicom Kozala tlačnim cjevovodom dugačkim 2500 m. Izgradnjom vodospreme Streljana 2 i crpne stanice Kozala osigurana je kontinuirana vodoopskrba područja na kojima Komunalno društvo Rijeka pruža uslugu. Ona su od posebne važnosti kada izvor Rječine presuši pa se voda ne može gravitacijski slijevati s izvora Rječine, već se tlačnim cjevovodima iz izvorišta i crpne stanice Zvir I preko prepumpne stanice Kozala I, uz pomoć crpki, prepumpava do vodospreme Streljana 2. Vodoopskrbni sustav Rijeke iziskuje pažljivu organizaciju jer se jedne strane nalazi more, a s druge planine te se na malom području nalaze velike visinske razlike. Vodoopskrba je stanovništva viših područja nešto teža budući da se svi izvori osim izvora Rječine nalaze u razini mora [14].

Rijeka bilježi konstantan pad u prodaji i potrošnji vode, čemu najviše pridonosi pad potrošnje u gospodarstvu, kao rezultat zatvaranja brojnih industrijskih pogona. Unatoč smanjenju prodaje vode, Rijeka bilježi porast broja kućnih priključaka što upućuje na razvoj grada (podatci iz 2008. godine). Dok sam grad Rijeka gubi stanovništvo, u susjednim općinama i gradovima broj raste, a taj razvoj prati i vodoopskrbni sustav.

Grad Rijeka ima najlošiji odnos broja priključaka i broja stanovnika, a to je rezultat velikog broja višestambenih zgrada koje imaju samo jedan priključak za cijelu zgradu. Novija izgradnja podrazumijeva ugradnju zasebnog priključka za svaki stan [12].

3.3 Gubici vode u Rijeci

Prema podacima za period od 1990. do 2008. godine došlo je do značajnog pada u gubitcima vode. Gubici su pali sa 40,8% na 18,7%. Smanjenje gubitaka tada je nastalo zbog ulaganja u suvremenu opremu. Godine 2007. prosječni gubici vode u Hrvatskoj iznosili su 40%, a u Europskoj uniji 15-20%, što ukazuje da vodoopskrbi sustav Rijeke prati standarde EU.

Na gubitke vode u Rijeci prvenstveno utječu konfiguracije terena na kojem je izgrađen, zahtjevnost održavanja i njegova starost. Izgradnja je nakon 1970. godine tekla vrlo brzo, ali je bila i relativno loše kvalitete. Često je dolazilo do puknuća cjevovoda.

Krški teren omogućuje brže ispiranje pješćane podloge cjevovoda, što dovodi do lomova, ali i teže lokalizacije gubitaka zbog propusnosti terena. Neki dijelovi cjevovoda u centru grada stari su i 120 godina, vodospreme su postavljene na visinskoj razlici od 80 m što dovodi do prevelikih tlakova u vodovodnoj mreži. Javljaju se tlakovi i do 10 bara koji izazivaju hidraulične udare i pucanje cijevi te uzrokuju gubitke [12].

Ulaganjem u vodoopskrbni sustav došlo je i do smanjenja gubitaka. Ugrađeno je oko 250 uređaja, kontrolnih mjerača tlaka i protoka vode. Podatci o gubicima analiziraju se pomoću Programa za automatsku obradu podataka u sklopu Integralnog informacijskog sustava (VIKING). Pomoću programa analiziraju se mjesečna, kvartalna i godišnja izvješća o gubitcima po zonama i na taj se način otkrivaju mjesta oštećenja i planiraju se saniranja tih mjesta.

4 ANALIZA MOGUĆNOSTI REDUKCIJE TLAKA

4.1 Izbor DMA zone

Promatrano područje Sveučilišnog kampusa u svrhu diplomskog rada usvaja se kao hipotetska DMA zona (Slika 19). Razlog je nastavak cjevovoda van promatranog područja, na kojemu nisu dostupni mjereni podatci zbog nedostatka mjernih uređaja. U interesu je proračuna da ukupan protok ostane unutar promatrane zone.

Kontrolni vodomjeri S. Krautzek i Bože Kafadar omogućavaju uvid u satnu potrošnju vode za odabrano područje. Podatci protoka vode koji se koriste u proračunu preuzeti su od komunalnog društva Vodovod i kanalizacija grada Rijeke. Podatci prikazuju satnu potrošnju vode za zadano područje mjereni na već spomenutim kontrolnim vodomjerima unutar 14 dana, koliko traje i istovremeno mjerenje tlaka vode.

Uz navedene izvore podataka za izradu Epanet modela koristi se i cijevna infrastruktura vodoopskrbne mreže za promatrano područje. Mreža je preuzeta od komunalnog društva Vodovod i kanalizacija grada Rijeke i daje detaljan prikaz dimenzija ugrađenih cijevi, njihov položaj kao i položaj potrošača.

Kampus na Trsatu ima kapacitet 666 ležajeva. Na promatranom području, gdje živi oko 1100 stanovnika, najniža nadmorska visina iznosi 111 metara, dok najviša nadmorska visina iznosi 155 metara.

4.2 Mjerenje tlakova unutar hipotetske DMA zone

Osim satne potrošnje vode izvršeno je mjerenje promjene tlakova vode u vodoopskrbnom sustavu. Mjerenje tlaka izvedeno je simultano unutar zgrade Građevinskog fakulteta, Ulica Radmile Matejčić 3, studentskog paviljona broj 4, Ulica Radmile Matejčić 5 i u podzemnoj garaži Učiteljskog i Filozofskog fakulteta, Sveučilišna avenija 6. Koordinate mikrolokacija mjernih mjesta su nekolinearne, što

znači da ne leže na istom pravcu. Razlog nekolinearnih koordinata je prikaz piezometarske plohe tlaka koja bi u suprotnom slučaju bila fiksirana. Koordinate mjernih uređaja:

- Laboratoriji građevinskog fakulteta: 45°19'43" N, 14°28'04" E, nadmorska visina 146,4 metara.
- Podzemna garaža Učiteljskog i Filozofskog fakulteta: 45°19'41" N, 14°27'56" E, nadmorska visina 135 metara.
- Studentski paviljon broj 4: 45°19'39" N, 14°28'12" E, nadmorska visina 143,2 metara.

Piezometarska visina koja se određuje u nastavku, a koja je sastavni dio piezometarske kote vode, definirana je jednačbom (13) [11].

$$H = z + \frac{p}{\rho_g} \quad (13)$$

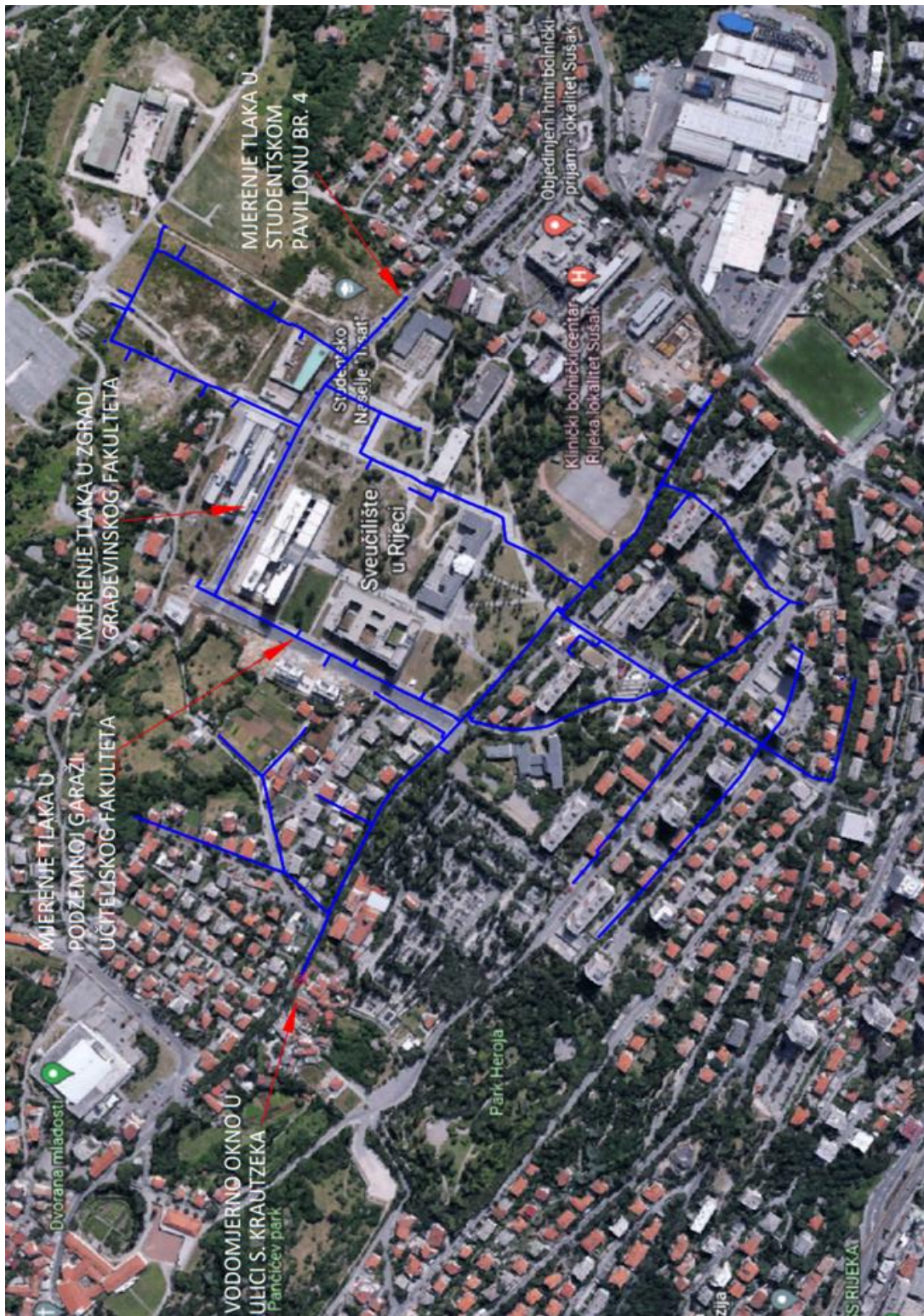
gdje je:

H – piezometarska kota vode (m n.m.)

z – geodetska visina (m n.m.),

$\frac{p}{\rho_g}$ – visina piezometarskog pritiska (m).

Infrastruktura vodoopskrbnog cjevovoda za hipotetsku DMA zonu Sveučilišnog kampusa s označenim položajima mjernih uređaja, prikazana je na Slici 19.



Slika 19. Prikaz vodoopskrbne mreže Kampus.

Uređaji koji su korišteni pri mjerenju tlaka vode, prikazani su na Slikama 20, 21 i 22.



Slika 20. Mjerenje tlaka vode u laboratoriju građevinskog fakulteta Rijeka, Ulica Radmile Matejčić 3, Rijeka.



Slika 21. Mjerenje tlaka vode u podzemnoj garaži Učiteljskoh I Filozofskog fakulteta, Sveučilišna avenija 6, Rijeka.

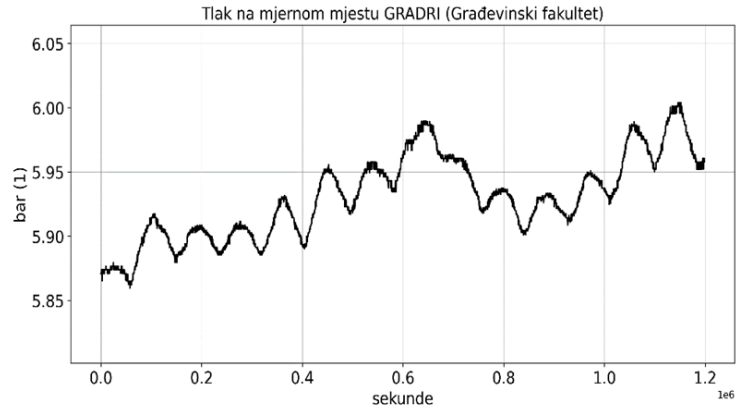


Slika 22. Mjerenje tlaka vode u prostoru studentskog paviljona br. 4, Ulica Radmileatejčić 5, Rijeka.

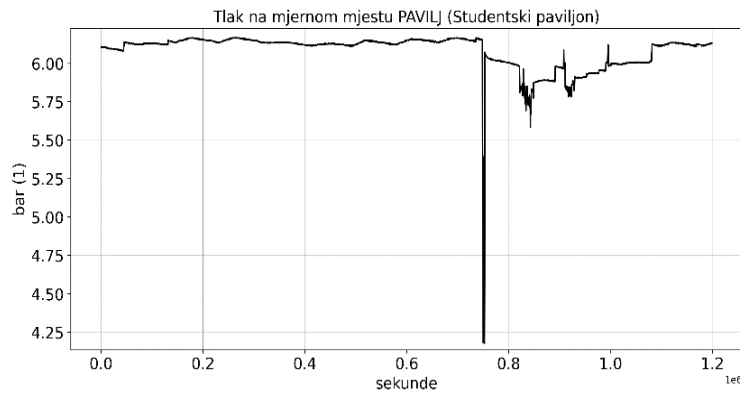
4.3 Rezultati provedenih mjerenja

Izmjereni tlakovi na već spomenutim lokacijama prikazani su koristeći se pripremljenim kodom u programskom jeziku Python. Dijagrami dobiveni mjerenjem prikazuju oscilaciju tlaka u vremenu na sve tri lokacije. Oscilacije tlaka na mjernim mjestima Građevinski fakultet i studentski paviljon prikazani su dijagramima 1 i 2 .

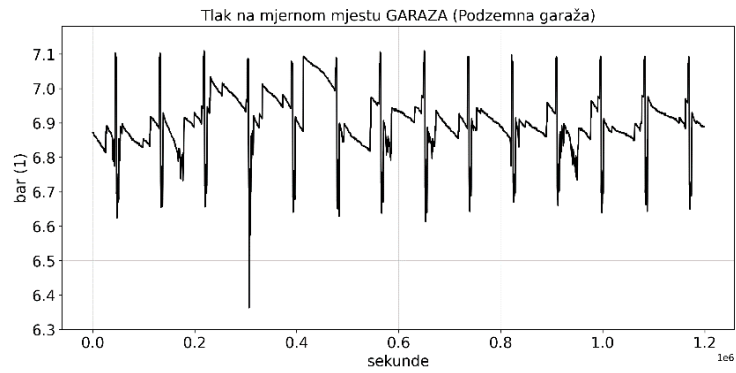
Tlakovi prikazani dijagramima su relativno slični po iznosu. Razlog te sličnosti je nadmorska visina, oba mjerna mjesta smještena su na približno sličnoj nadmorskoj visini. Na oba dijagrama zabilježen je kontinuirani rast tlaka, sve dok u nekom trenutku ne dođe do poremećaja tlaka na mjernom mjestu studentski paviljon. Ovakav poremećaj karakterizira se kao hidraulički udar. Nakon naglog poremećaja potrebno je određeno vrijeme da se tlak vrati u normalu. Na dijagramu 3 prikazan je tlak izmjeren na mjernom mjestu garaže Učiteljskog i Filozofskog fakulteta.



Dijagram 1. Prikaz promijene tlaka u vremenu na mjernom mjestu Građevinski fakultet.



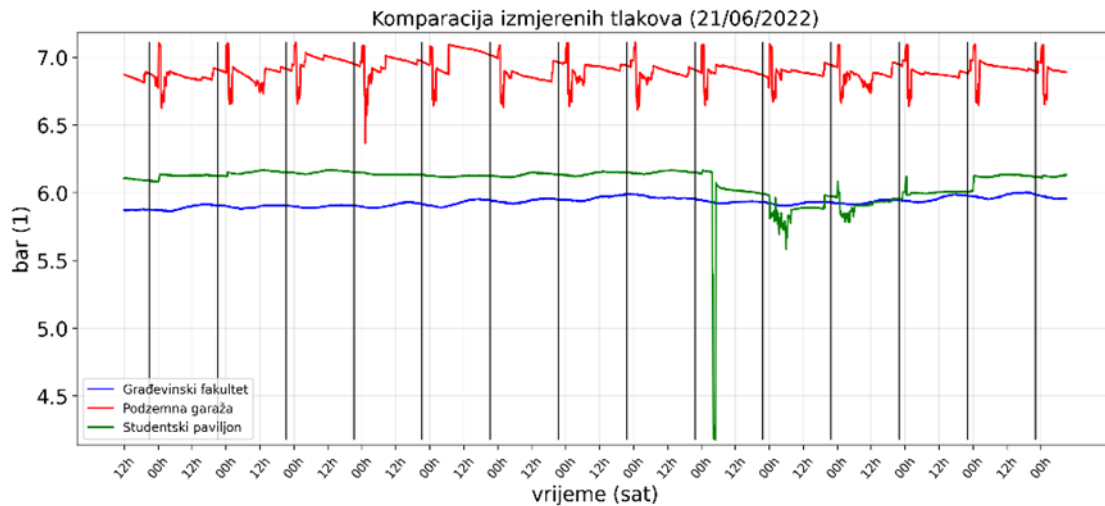
Dijagram 2. Prikaz promijene tlaka u vremenu na mjernom mjestu studentski paviljon.



Dijagram 3. Prikaz promijene tlaka u vremenu na mjernom mjestu podzemna garaža.

U usporedbi s prethodna dva dijagrama, dijagram tlaka izmjenog na mjernom mjestu garaža prikazuje veće oscilacije u tlaku. Njegova vrijednost je nešto veća nego kod prethodnih mjerenja. Na dijagramu 4 prikazana je usporedba izmjerenih tlakova na sve tri lokacije.

Poremećaj u tlaku koji je zabilježen na lokaciji studentski paviljon nije zabilježen ni na jednoj drugoj lokaciji. Ovakav prikaz poremećaja daje do znanja da je riječ o hidrauličkom udaru. Udar se ponavlja tijekom svih 14 dana mjerenja u isto vrijeme svakog dana (00:00 h). S obzirom da bi polje tlaka trebalo biti kontinuirano, neobično je da udar nije zabilježen na ostale dvije lokacije.



Dijagram 4. Komparacija izmjerenih tlakova na sva tri mjerna mjesta.

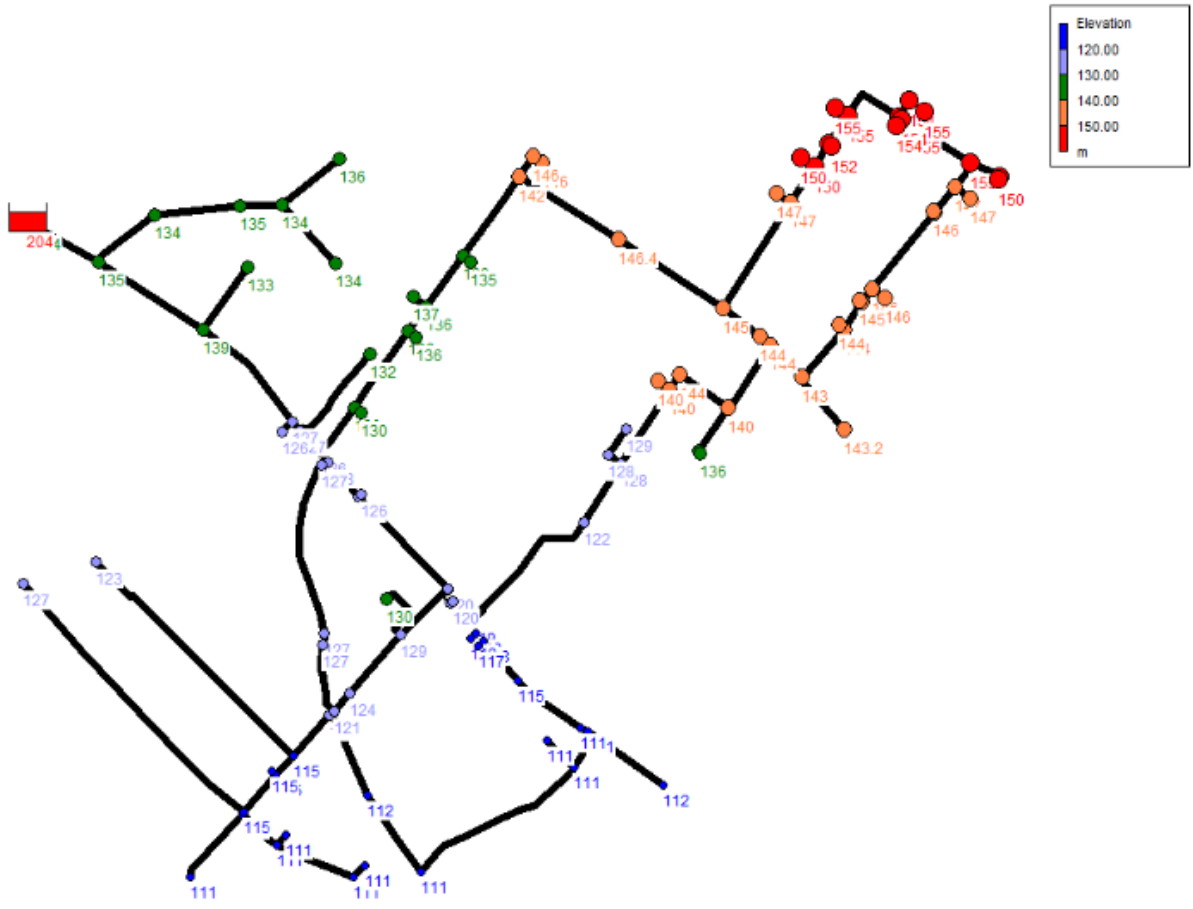
4.4 Izrada hidrauličkog modela hipotetske DMA zone

Prilikom izrade Epanet modela korišteni su svi preuzeti i izmjereni podatci. Podaci dimenzija i položaja cijevi i potrošača iz dwg formata prebačeni su u Epanet. Zadana je nadmorska visina svakog od 117 potrošača, čije su visinske kote preuzete iz programa Google Earth.

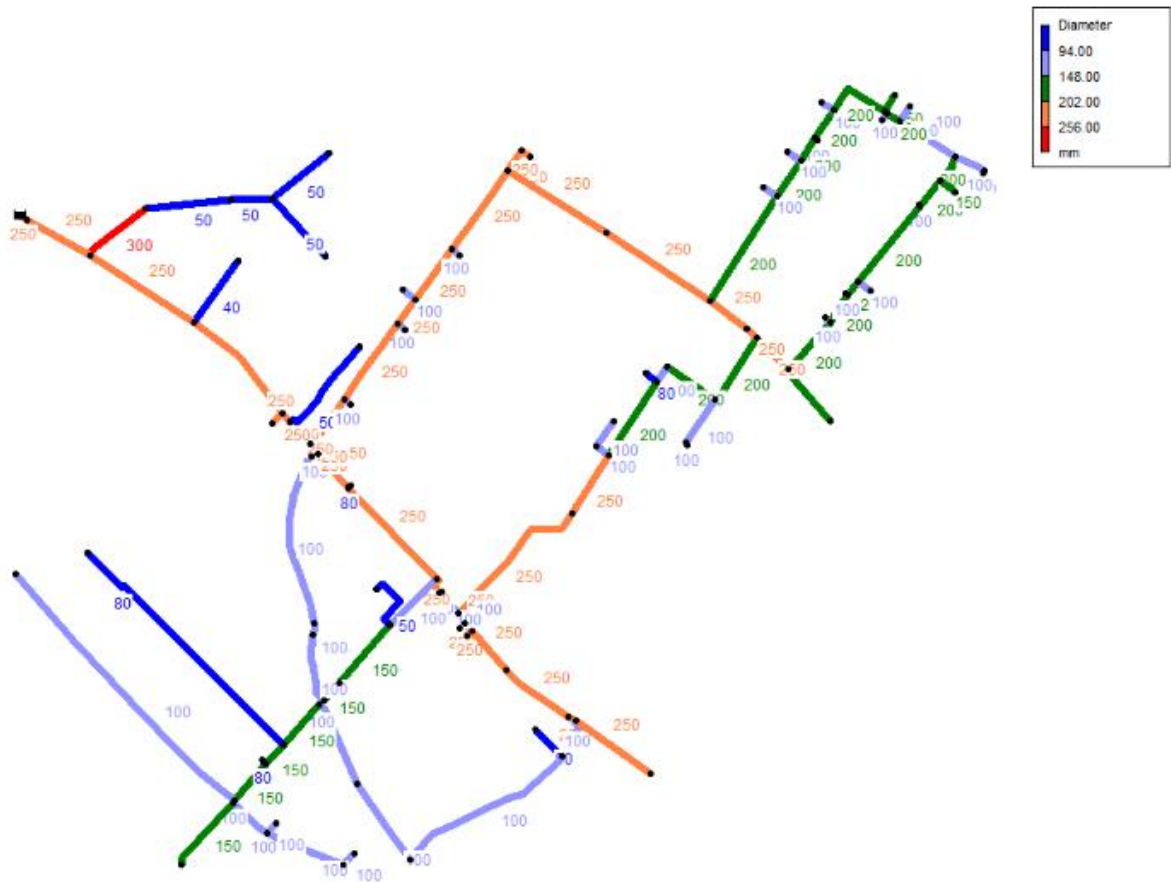
Prikaz potrošača s označenim nadmorskim visinama dan je na Slici 23. Na Slici 24. prikazana je mreža cijevi s pripadajućim promjerima cijevi u vodoopskrbnoj mreži. Ukupna dužina vodoopskrbnog cjevovoda područja Kampus iznosi 4907,50 m. Hipotetska mreža DMA zone cijevi s označenim dužinama u metrima prikazana je na Slici 25

Fiktivna vodosprema je smještena na područje kontrolnog vodomjernog okna u Ulici Slavka Krautzeka. Nakon definiranja lokacije potrošača, vodospreme i dimenzija cijevi svakom od potrošača zadana je prosječna potrošnja vode. Zbroj ukupne potrošnje vode svakog potrošača je jednak ukupnom protoku vode dobivenog mjerenjima kontrolnih vodomjera komunalnog društva Rijeka. Mjerenja kontrolnih vodomjera prikazuju satnu potrošnju za odabrano područje unutar 14 dana.

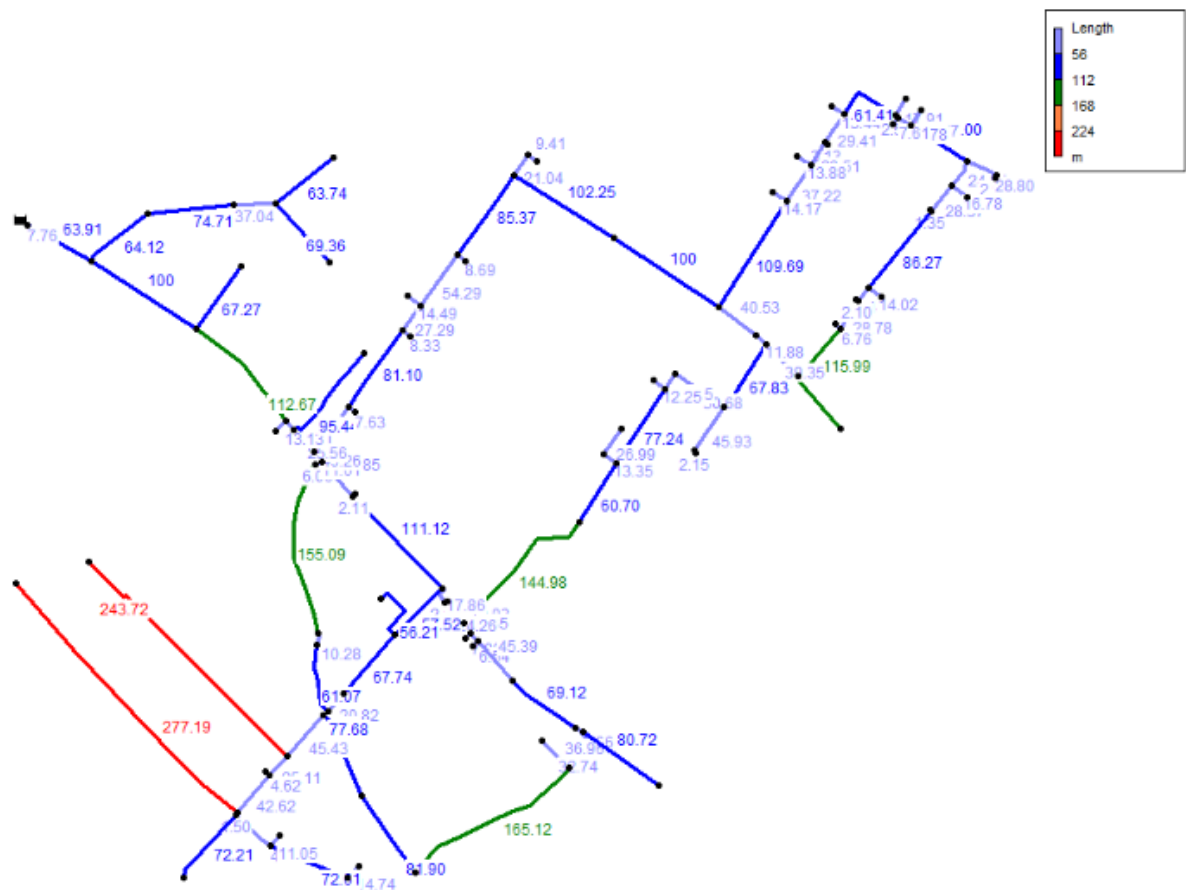
Ukupan protok dobiven je kao prosječna vrijednost ukupne potrošnje svih 14 dana, te iznosi 2,65 l/s. Ukupna potrošnja vode raspoređena je po potrošačima s težinskim koeficijentima u svrhu izvedbe proračuna ovog diplomskog rada. Raspoređena potrošnja vode prikazana je na Slici 26.



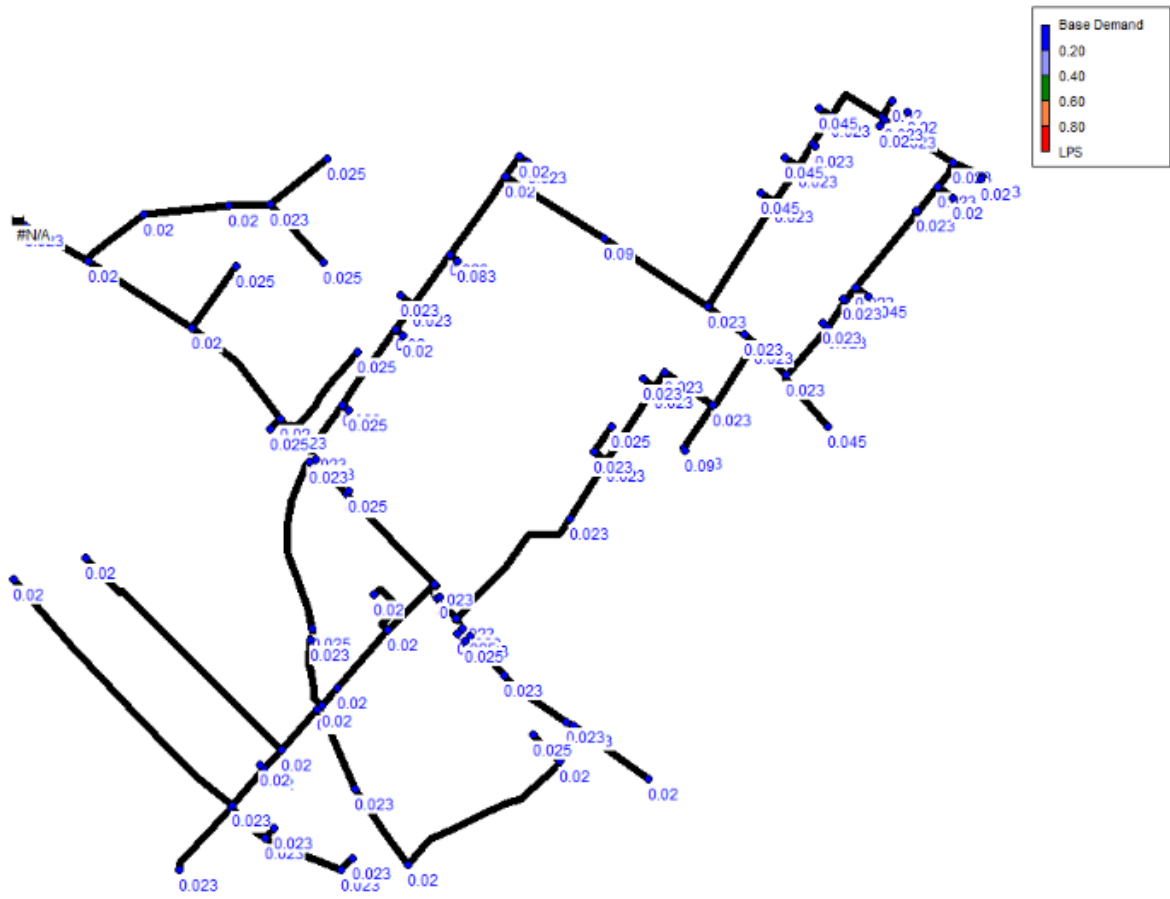
Slika 23. Prikaz raspodjele potrošača s pripadajućim nadmorskim visinama.



Slika 24. Prikaz promjera cijevi.



Slika 25. Prikaz dužina cijevi.



Slika 26. Potrošnja vode raspoređena po potrošačima.

Mjerenja tlaka vode koja su izvedena unutar zgrade Građevinskog fakulteta, studentskog paviljona broj 4 i u podzemnoj garaži Učiteljskog i Filozofskog fakulteta rezultirala su vrijednostima tlaka vode na mjerenom području. Za potrebe proračuna uzete su prosječne vrijednosti tlaka mjerene unutar 14 dana. Vrijednost prosječnog tlaka vode na području Građevinskog fakulteta iznosi 5,93 bara , za područje podzemne garaže Učiteljskog i Filozofskog fakulteta iznosi 6,9 bara, a za područje paviljona 6,08 bara. Minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti izmjerenog tlaka na pojedinim mjernim mjestima nalaze se u Tablici 4.

Tablica 4. Minimalne, srednje, maksimalne zabilježene vrijednosti tlaka na mjernim mjestima.

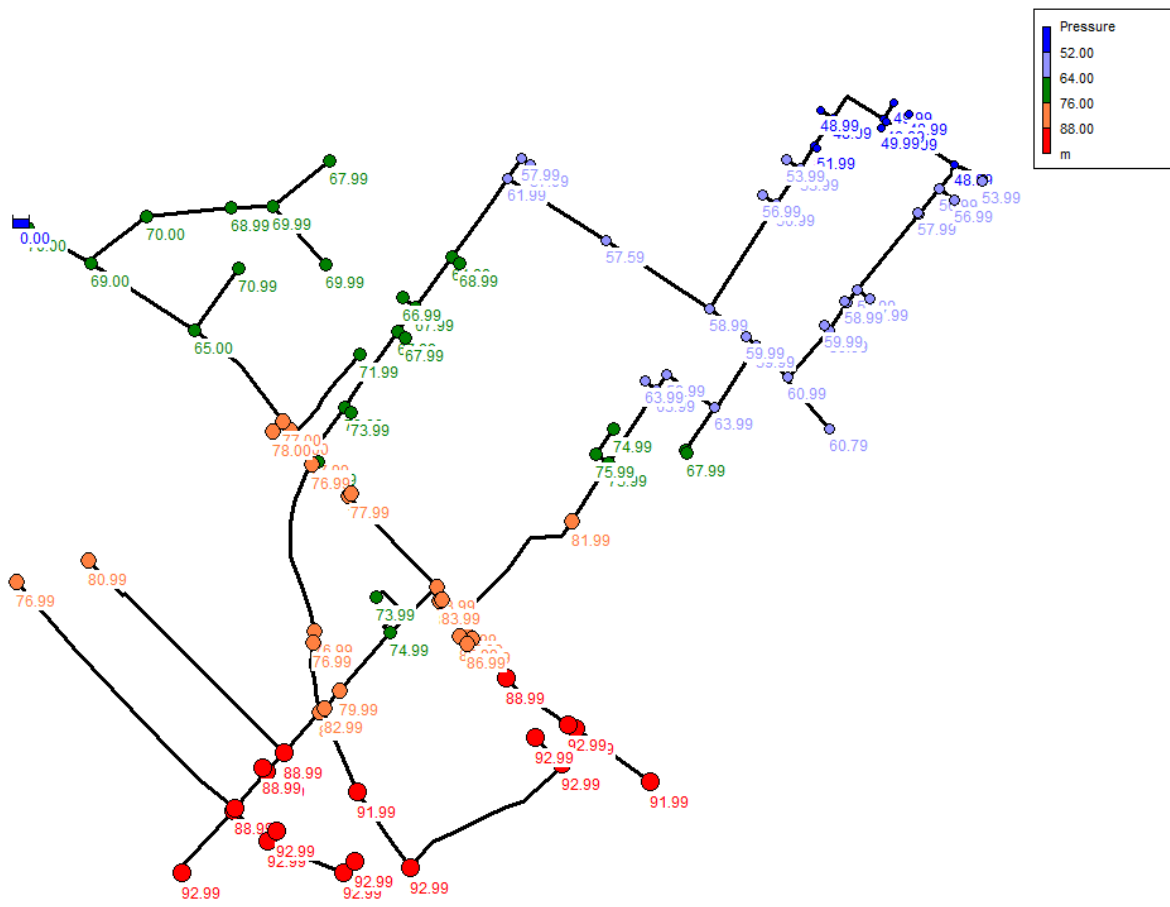
Vrijednosti tlaka vode	Građevinski fakultet	Studentski paviljon br. 4	Podzemna garaža učiteljskog fakulteta
Minimalna vrijednost tlaka (bar)	5,8593750	4,140625	5,83622694
Srednja vrijednost tlaka (bar)	5,930314677	6,078474116	6,903773916
Maksimalna vrijednost tlaka (bar)	6,004050732	6,168981552	7,144097328

S obzirom da su poznati stvarni tlakovi u vodoopskrbnoj mreži potrebno je ostvariti njihovu približnu vrijednost uz pomoć Epanet modela.

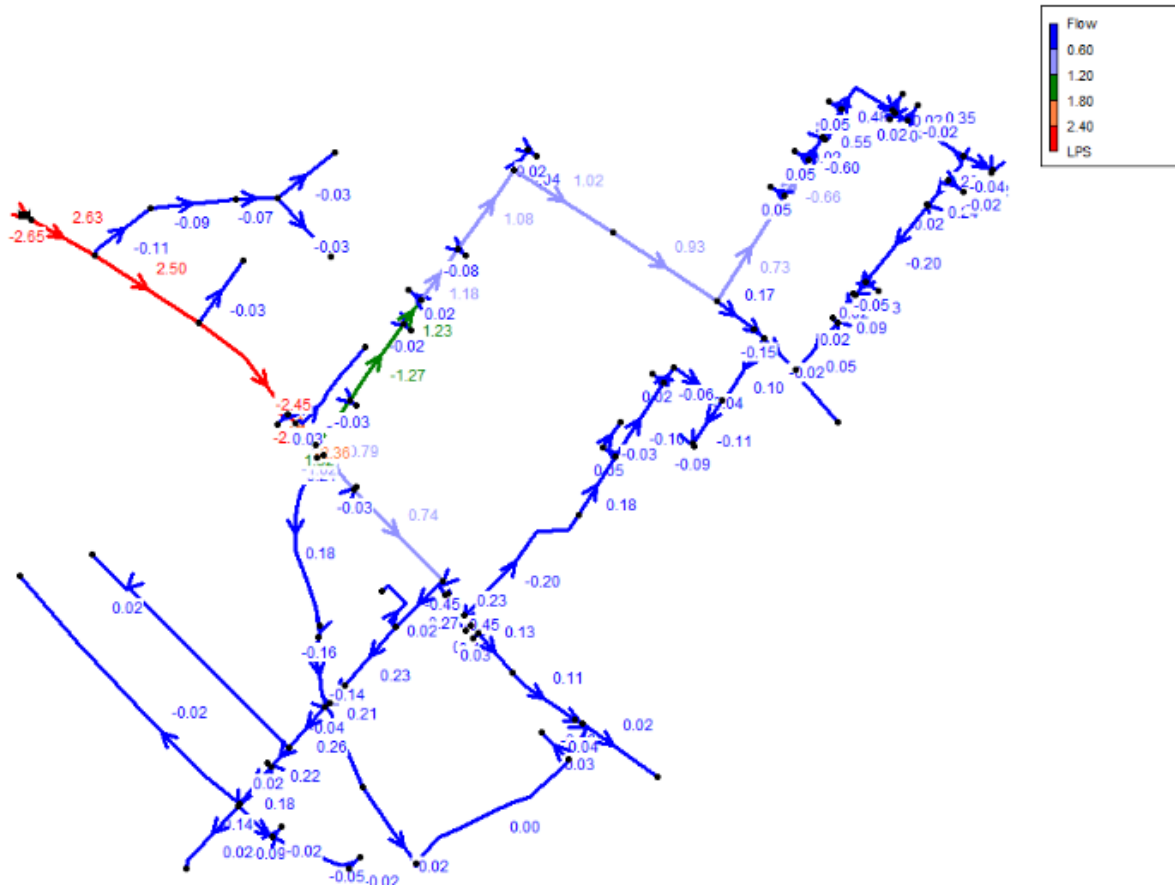
U svrhu postizanja stvarnih tlakova vrijednosti razina vode u fiktivnoj vodospremi se „prilagođava“. Nakon postizanja približnih srednjih vrijednosti tlakova na lokacijama mjerenja tlaka, dobivena je piezometarska kota vode u vodospremi od 204 metara nadmorske visine. Na Slici 27 prikazana je raspodjela tlakova pri 204 metra nadmorske visine vode u vodospreme.

Približne vrijednosti tlaka iznose 6,9 bara za područje Učiteljskog i Filozofskog fakulteta i 6,08 bara za područje paviljona što predstavlja uspješne rezultate modela sa stvarnim vrijednostima. Vrijednost dobivenog tlaka na području Građevinskog fakulteta iznosi 5,76 bara što je odstupanje od 3%, čime se model smatra kalibriran.

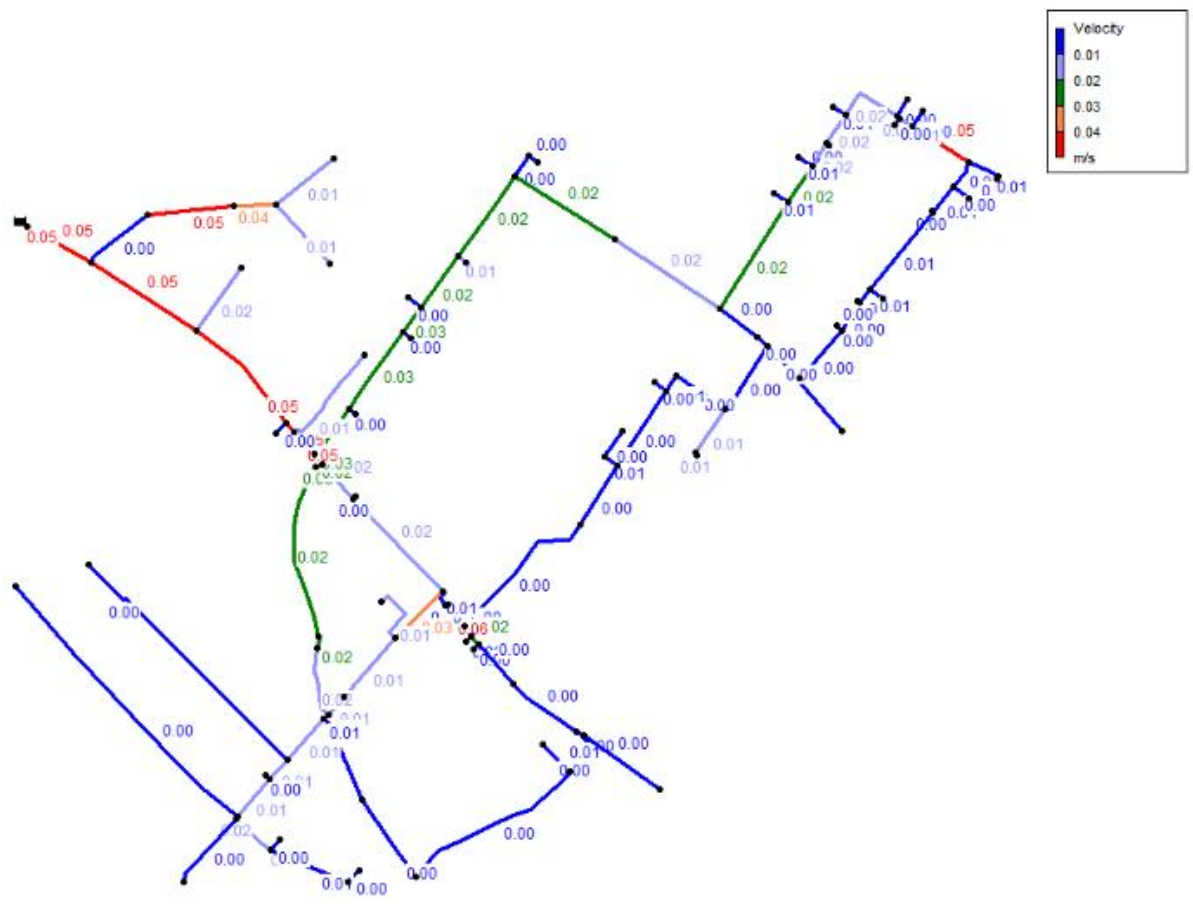
Na Slikama 28 i 29 prikazane su vrijednosti protoka i brzine vode u cijevima s označenim smjerom toka vode pri razini vode u vodospremi na 204 metara nadmorske visine.



Slika 27. Prikaz raspodjele tlakova pri visini vode u vodospremi od 204 m n.m.



Slika 28. Prikaz vrijednosti protoka u mreži pri visini vode u vodospremi od 204 m n.m.

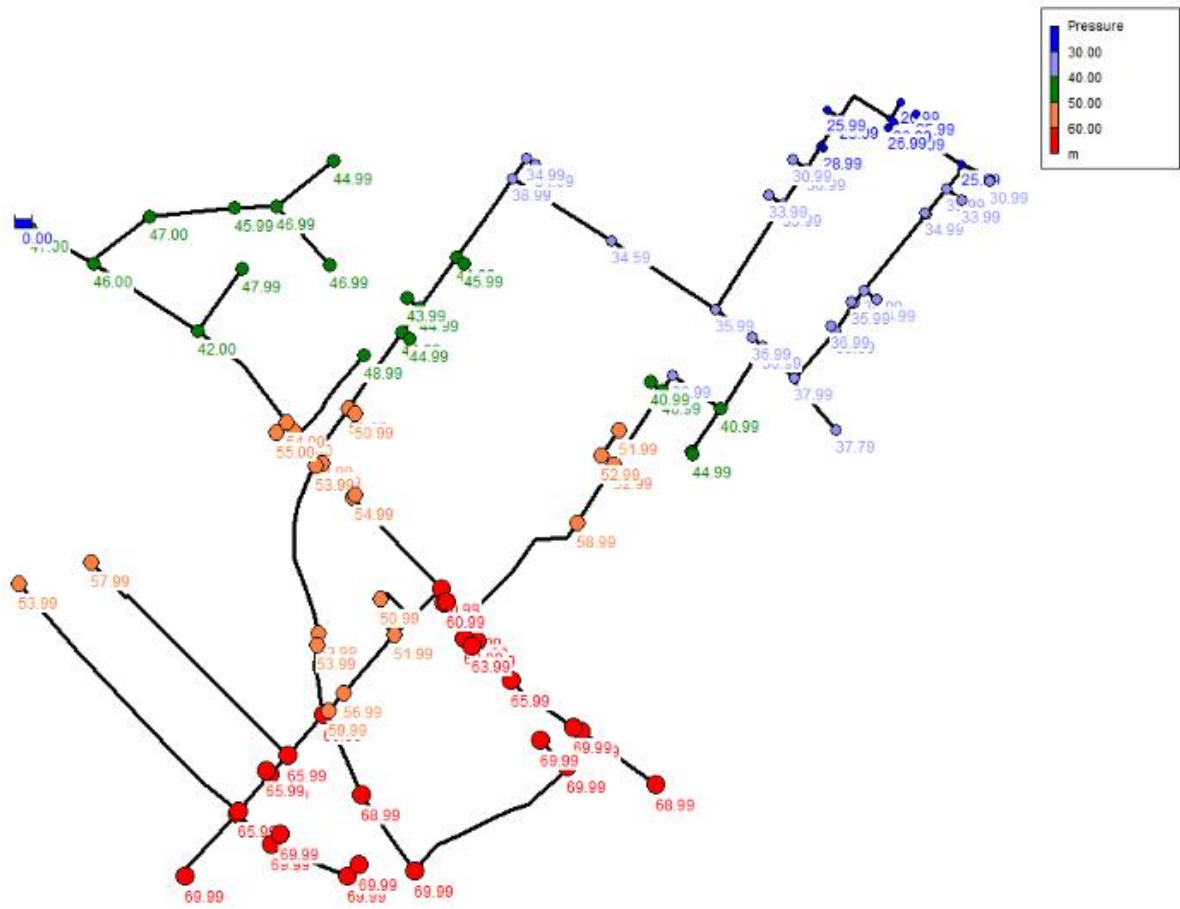


Slika 29. Prikaz brzina vode u mreži pri visini vode u vodospremi od 204 m n.m.

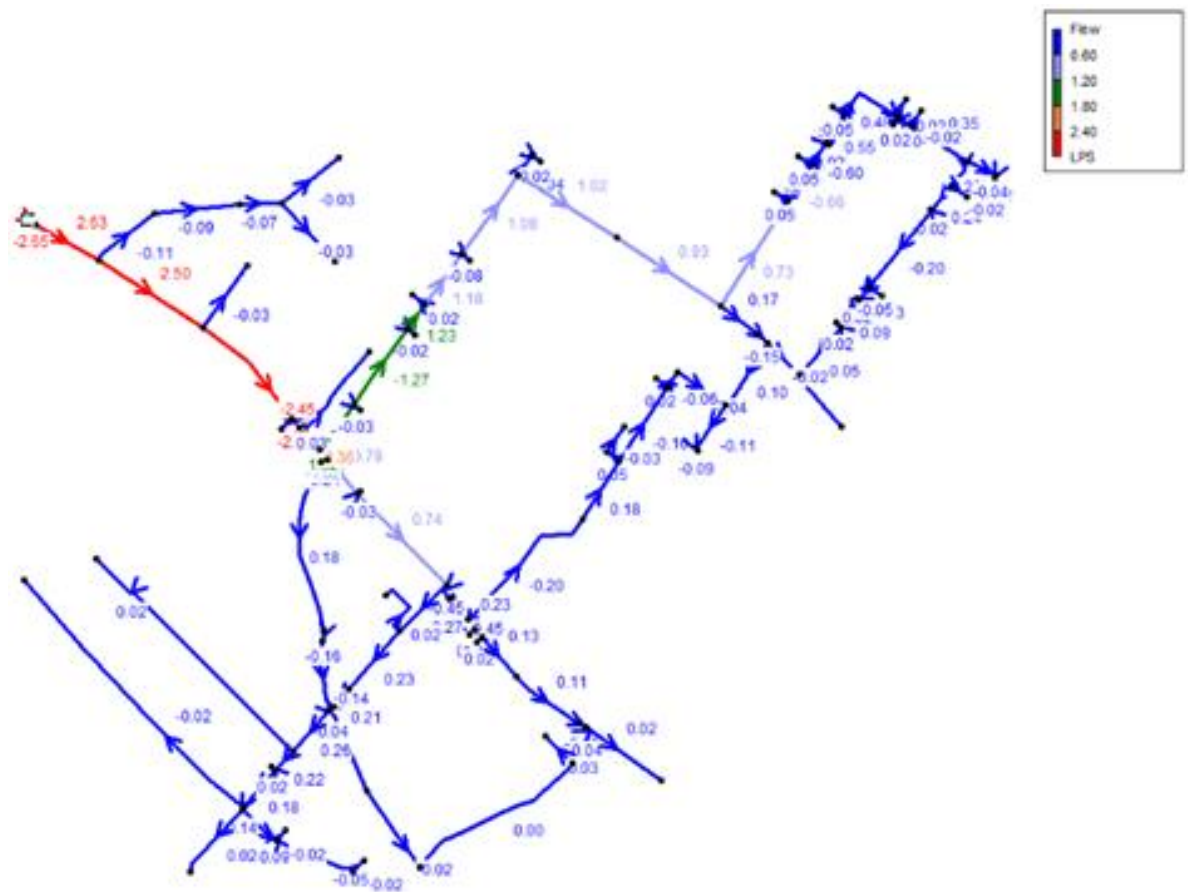
4.5 Kalibracija modela hipotetske DMA zone Sveučilišnog kampusa

Po uspješnosti proračuna stvarne vrijednosti tlaka u vodospremi potrebno je smanjivati tlak u sustavu u svrhu postizanja dozvoljene vrijednosti od 2,5 bara na mjestu mjerodavnih potrošača s najvećom visinskom kotom kako bi se smanjili gubici. Prilikom promjene tlaka dimenzije cijevi i potrošnja vode ostaju nepromijenjene. Vrijednost minimalnog tlaka prikazana na dijagramu postignuta je pri piezometarskoj koti vode u vodospremi od 181 metara nadmorske visine. Da bi se ostvario minimalan tlak od 2,5 bara kod jednog od mjerodavnog potrošača potrebno je smanjiti piezometarsku kotu vodospreme za 23 metra. Prikaz raspodjele tlakova pri piezometarskoj koti vode u vodospremi od 181 metara nadmorske visine dan je na Slici 30.

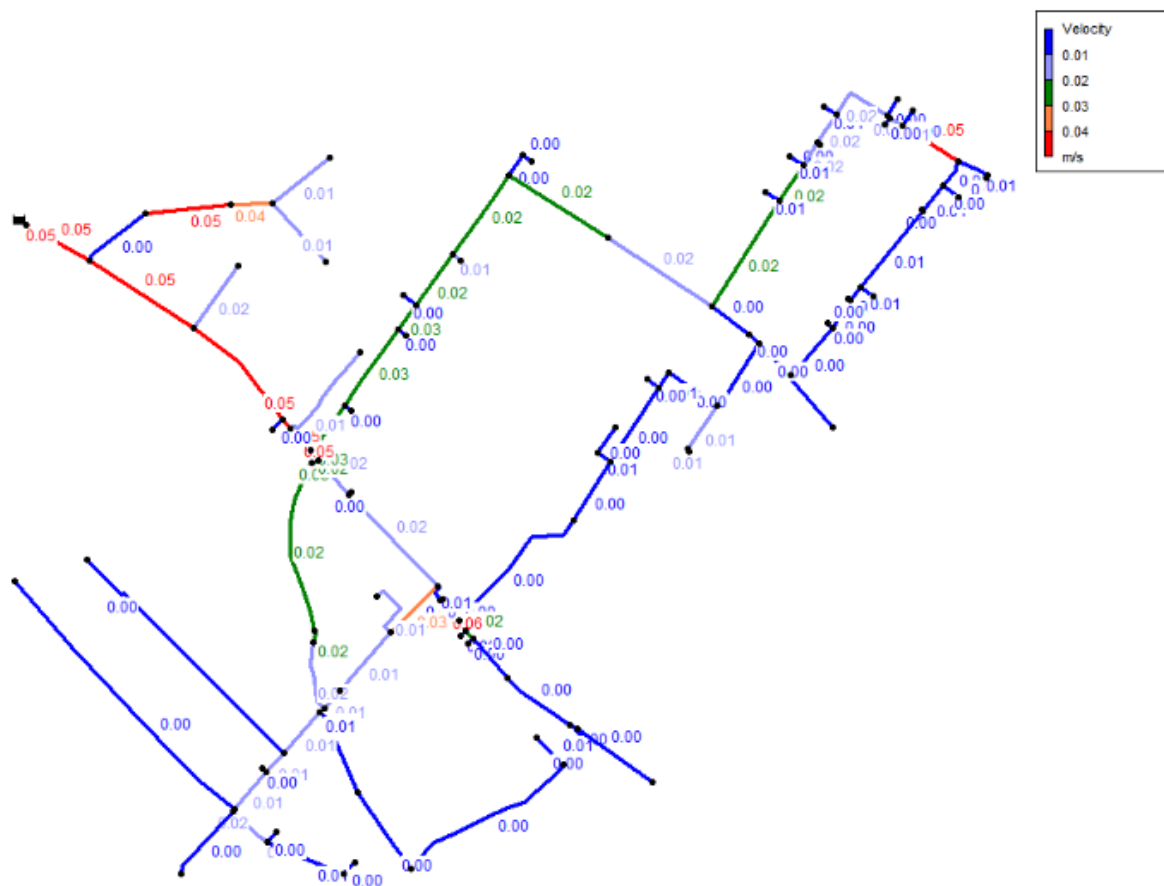
Na Slikama 31 i 32 prikazane su vrijednosti protoka i brzine vode u cijevima s označenim smjerom protoka pri razini vode u vodospremi na 181 metara nadmorske visine.



Slika 30. Prikaz raspodjele tlakova pri visini vode u vodospremi od 181 m n.m.



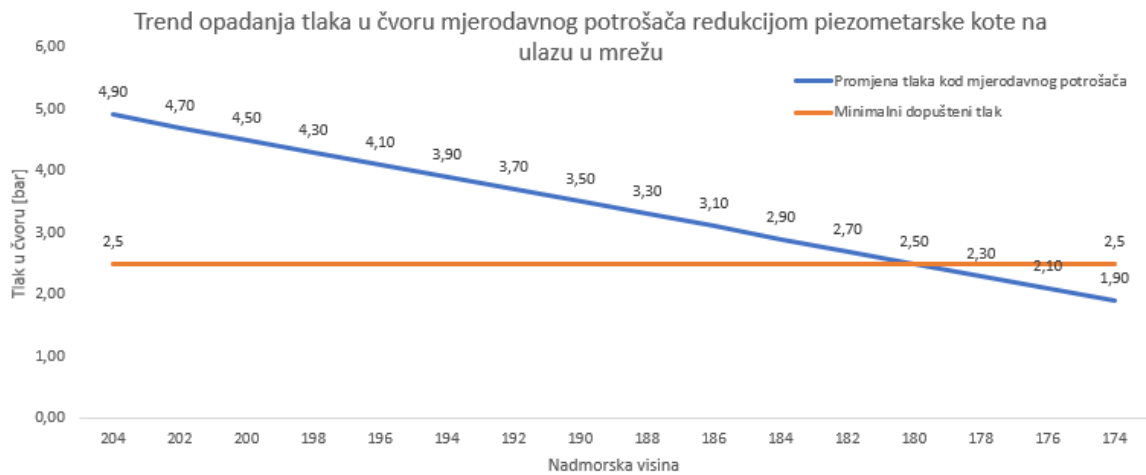
Slika 31. Prikaz vrijednosti protoka u mreži pri visini vode u vodospremi od 181 m n.m.



Slika 32. Prikaz brzina vode u mreži pri visini vode u vodospremi od 181 m n.m.

4.6 Analiza mogućnosti redukcije tlaka

Spuštanje piezometarske kote vode na ulazu u mrežu rezultira opadanjem tlaka u čvorovima potrošača. Budući da mjerodavni potrošač predstavlja čvor na najvišoj nadmorskoj visini, upravo na tom čvoru doći će do prvog dostizanja minimalne granične vrijednosti koja iznosi 2,5 bara. Trend opadanja tlaka u čvoru mjerodavnog potrošača redukcijom piezometarske kote prikazan je na Slici 33.



Slika 33. Čvor mjerodavnog potrošača, najkritičnija točka u mreži.

5 ZAKLJUČAK

U slučaju oštećenja cijevi, gubitak vode moguće je reducirati na način da se smanji tlak vode, rezultirajući smanjenjem protoka. Tlak vode u mreži moguće je smanjiti do minimalne Pravilnikom propisane vrijednosti prema krajnjem potrošaču, dok mora biti zadovoljen uvjet protupožarne zaštite. Za navedeni slučaj piezometarska kota vode u vodospremi može se smanjiti s početnih 20,4 bara na, proračunom dokazanih 18,1 bar. **Navedeni podatak se oslanja na ranije uvedenim pretpostavkama, te kao takav ima prvenstveno akademski, a ne stručni značaj.** Smanjenje piezometarske kote vode u vodospremi za odabranu vodoopskrbnu mrežu Kampus, rezultirat će smanjenjem gubitka vode dok su uvjeti minimalnog dopuštenog tlaka zadovoljeni. Kako bi rezultati proračuna lokalizacije i smanjenja gubitaka vode bili uspješni, nužno je detaljno poznavati vodoopskrbnu mrežu na kojoj se proračun provodi. Mikrolokacije terenskog mjerenja tlaka u vodoopskrbnom sustavu potrebno je pažljivo odabrati na temelju izvedene infrastrukture. U konkretnom primjeru proračuna ovog diplomskog rada, to znači da treba znati iz kojeg razloga se tlakovi ne prenose s mjernog mjesta studentskog paviljona na ostatak mreže. Mjerenje protoka vode, poželjno je provesti na što je moguće više mjesta kako bi rezultati bili što učinkovitiji.

6 LITERATURA

- [1] Vuković Ž. Osnove hidrotehnike. Akvamarine, Zagreb, 1995.
- [2] Welcome to pacificwater, www.pacificwater.org, pristup 18. 8.2022
- [3] Corneliu T.C. Arsene. Operational decision support in the presence of uncertainties, Water distribution system. 2011.
- [4] Esben H. Nielsen, Mark Christensen, Simon N. Gnap. Leakage detection and localization in water distribution networks with multiple inlets. Aalborg University, 2021.
- [5] Galdiero E. Multi-objective design of district metered areas in water distribution networks. Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of Naples Federico II, Naples, Italy, 2015.
- [6] Optimising water solutions. AVK.
- [7] Non-revenue water management, the challenge facing water and sewage companies, <https://www.openintl.com/non-revenue-water-management-the-challenge-facing-water-and-sewage-companies/>, preuzeto 21.8.2022.
- [8] Hamilton S. When is a DMA not a DMA?. In: Proceedings of IWA Special Conference Water Loss. 2007.
- [9] NON Revenue Water, <https://shaabanibrahim.wordpress.com/module-3/lesson-10-understanding-district-meter-area/>, (15.kolovoza 2022)
- [10] Vukmirović, L.; „Projekt sustava za umjeravanje atmosferskog tlaka“ Završni rad, Zagreb, 2015.
- [11] Malarić, R.; „Mjerenja u tehnološkim procesima“ Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015.
- [12] Grbac Žiković R., Orešić D., Čanjevac I. Suvremena vodoopskrba riječkog područja. Geoadria 14.2 (2009): 201-220.
- [13] Biondić, B. i sur. Hydrogeological Exploration of the Rjecina River Spring in the Dinaric Karst. Geologia Croatica 50.2 (1997): 279-288.
- [14] 1885. – 2005. Vodoopskrba i odvodnja kroz vrijeme. Informativni materijal. Komunalno društvo Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka. 2005.
- [15] Zvizdić, D., Grgec Bermanec, L.: Podloge za predavanja iz kolegija Toplinska i procesna mjerenja, 2015.

[16] Midžić Kurtagić S., Mahmutović Š., Muhamed A., Koldžo Đ.: Standardne operativne procedure za smanjenje gubitaka vode i očuvanje energije u vodovodnim preduzećima, 2020.