

# Smanjenje vodnih gubitaka na vodoopskrbnom sustavu Ivanić-Grad kroz optimizaciju tlakova

---

Čipčić, Roberta

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:421140>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-11**

Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Roberta Čipčić

**SMANJENJE VODNIH GUBITAKA NA  
VODOOPSKRBNOM SUSTAVU IVANIĆ-GRAD  
KROZ OPTIMIZACIJU TLAKOVA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Roberta Čipčić

**SMANJENJE VODNIH GUBITAKA NA  
VODOOPSKRBNOM SUSTAVU IVANIĆ-GRAD  
KROZ OPTIMIZACIJU TLAKOVA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Domagoj Nakić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Roberta Čipčić

**REDUCTION OF WATER LOSSES IN THE WATER  
SUPPLY SYSTEM IVANIĆ-GRAD THROUGH  
PRESSURE OPTIMIZATION**

MASTER THESIS

Supervisor: doc. dr. sc. Domagoj Nakić

Zagreb, 2024.

## ZAHVALE

Zahvaljujem svom mentoru, doc. dr. sc. Domagoju Nakiću, na stručnom vodstvu, podršci i korisnim savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada. Njegova predanost, znanje i stručnost bili su od neprocjenjive važnosti u svakom koraku istraživanja i oblikovanja završnog rada. Posebno cijenim njegovu spremnost za dijeljenje iskustva i pružanje povratnih informacija koje su mi pomogle u razvoju kritičkog pristupa i dubljeg razumijevanja obrađene teme. Zahvaljujući njegovom strpljenju i profesionalnom pristupu, stekla sam vrijedna znanja koja će mi koristiti u daljnjem profesionalnom razvoju.

Još jednom, iskrena zahvalnost za sav uloženi trud i podršku koja je omogućila uspješnu realizaciju ovog rada.

## SAŽETAK

U ovom radu analizirano je postojeće stanje vodoopskrbnog sustava Ivanić-Grad s detaljnim osvrtom na stanje vodnih gubitaka, a s osnovnim ciljem smanjenja vodnih gubitaka i optimizacije sustava. Analiza se bazirala na utvrđivanju iznosa vodnih gubitaka i tlakova u postojećem stanju u sustavu kako bi se definirale mjere za poboljšanje učinkovitosti sustava. Predložene mjere uključuju ugradnju novih i zamjenu postojećih ventila za regulaciju tlaka, primjenu frekventne regulacije u crpnim stanicama te dodatno smanjenje izlaznih tlakova na postojećim ventilima za regulaciju tlakova i postojećim crpnim stanicama s ugrađenom frekventnom regulacijom. Sve provedene mjere analizirane su s tehničkog i ekonomskog aspekta, uključujući izradu troškovnika i procjenu povrata investicije kroz uštede u potrošnji vode zbog smanjenja vodnih gubitaka i uštede na sanacijama mreže kao posljedica smanjenog broja kvarova (puknuća) u uvjetima reduciranih tlakova.

**Ključne riječi:** Ivanić-Grad, vodoopskrbni sustav, vodni gubici, optimizacija sustava, tlak, ventil za regulaciju tlaka, frekventna regulacija

## SUMMARY

In this thesis, the current state of the Ivanic-Grad water supply system is analyzed with a detailed focus on water losses, aiming primarily at reducing losses and optimizing the system. The analysis is based on determining the amount of water losses and pressures in the current system to define measures for improving system efficiency. The proposed measures include the installation of new and replacement of existing pressure regulation valves, the application of frequency control in pumping stations, and the additional reduction of outlet pressures on existing pressure regulation valves and pumping stations equipped with frequency control. All implemented measures are analyzed from both technical and economic perspectives, including the preparation of cost estimates and the assessment of the return on the investment through water consumption savings due to reduced water losses and network repair savings as a result of fewer failures (breakages) under reduced pressure conditions.

**Key words:** Ivanic-Grad, water supply system, water losses, system optimization, pressure, pressure regulating valve, frequency regulation

## POPIS KRATICA

„NAPSG“ (*Nacionalni akcijski plan smanjenja gubitaka vode*)

„JIVU“ (*Javni isporučitelj vodnih usluga*)

„VIOZŽ“ (*Vodoopskrba i odvodnja Zagrebačke županije*)

„DMA zona“ (*engl. District Metering Area*)

„IWA“ (*engl. International Water Association*)

„ILI“ (*engl. Infrastructural leakage indeks*)

„TGSG“ (*Trenutni godišnji stvarni gubici*)

„NGSG“ (*Neizbježni godišnji stvarni gubici*)

„CARL“ (*engl. Current Annual Real Losses*)

„UARL“ (*engl. Unavoidable Annual Real Losses*)

„PRV“ (*engl. Pressure Reducing Valve*)

„PBV“ (*engl. Pressure breaker valve*)



---

**SADRŽAJ**

<b>ZAHVALE .....</b>	<b>i</b>
<b>SAŽETAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>iii</b>
<b>POPIS KRATICA .....</b>	<b>iv</b>
<b>SADRŽAJ .....</b>	<b>v</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODE I TEHNIKE RADA.....</b>	<b>4</b>
<b>3. ULAZNI PODACI I PODLOGE .....</b>	<b>6</b>
3.1. Opis lokacije i kretanje stanovništva .....	6
3.2. Analiza potreba .....	10
3.2.1. Trenutna potrošnja vode u kućanstvima .....	10
3.2.2. Trenutna potrošnja vode u privredi.....	11
3.3. Predviđanje buduće potrošnje vode .....	12
3.3.1. Predviđanje buduće potrošnje vode kućanstava tijekom projektnog perioda .....	12
3.3.2. Predviđanje buduće potrošnje vode u privredi tijekom projektnog perioda.....	13
<b>4. ANALIZA VODNIH GUBITAKA.....</b>	<b>14</b>
4.1. Postupak analize vodnih gubitaka u praksi.....	14
4.2. Analiza vodnih gubitaka u postojećem stanju .....	16
4.3. Provedene mjere unapređenja.....	17
4.4. Analiza vodnih gubitaka nakon provedenih mjera unaprjeđenja .....	36
4.4.1. Vodni gubici nakon provedenih mjera.....	36
4.4.2. Proračun „ILI“ pokazatelja .....	37
4.4.3. Proširena bilanca vode prema IWA metodologiji.....	40
<b>5. TROŠKOVNIK I EKONOMSKA ANALIZA OSTVARENIH UŠTEDA.....</b>	<b>43</b>
5.1. Troškovnik.....	43
5.2. Ekonomska analiza ostvarenih ušteda.....	44
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>48</b>
<b>POPIS LITERATURE .....</b>	<b>50</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>51</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>53</b>
<b>PRILOZI.....</b>	<b>54</b>

## 1. UVOD

Prema Nacionalnom akcijskom planu smanjenja vodnih gubitaka (NAPSG, 2024) 2021. godine ukupna količina dobavljene vode u Republici Hrvatskoj iznosila je 479 milijuna m<sup>3</sup>, od toga je 244 milijuna m<sup>3</sup> isporučeno kroz sustav krajnjim korisnicima, a količina neprihodovane vode iznosila je 235 milijuna m<sup>3</sup> što je gotovo polovica dobavljene vode, odnosno 49%. Ovakav iznos gubitaka od gotovo 50% prelazi prag prihvatljivog gubitka kojeg će Europska komisija ubrzo propisati delegiranim aktom. Prema međunarodnim standardima, prihvatljiv postotak neprihodovane vode često se postavlja na 15-20%, što znači da su trenutni gubici u Hrvatskoj daleko iznad tih granica. Zadaća Republike Hrvatske je smanjiti vodne gubitke iz javnih vodoopskrbnih sustava na prihvatljive vrijednosti po uzoru na ostale razvijenije europske zemlje.

Vodni gubici mogu se podijeliti u dvije glavne kategorije: stvarni (ili fizički) gubici i prividni (ili administrativni) gubici. Stvarni gubici nastaju zbog curenja vode kroz dotrajalu ili neodgovarajuću infrastrukturu, dok prividni gubici uključuju gubitke koji nastaju zbog nepreciznog mjerenja, krađe vode ili netočnih podataka u evidenciji korisnika. Kada je riječ o smanjenju vodnih gubitaka, postoje različite metode i alati koji se mogu primijeniti, a koje uključuju modernizaciju infrastrukture, upotrebu naprednih tehnologija za detekciju curenja, optimizaciju tlaka u sustavu te precizno praćenje i kontrolu distribucije vode. Također, značajnu ulogu u smanjenju gubitaka imaju obuke i edukacija stručnog osoblja, kao i unapređenje sustava za mjerenje potrošnje vode (Halkijević i Vouk, 2022.) Stvarni gubici, kojima se ovaj rad bavi, u vodoopskrbnim sustavima mogu biti posljedica nekoliko čimbenika, a najvažniji uključuju starost i lošu tehničku opremljenost sustava. Hrvatska vodovodna mreža omogućuje priključenje za 94% korisnika, što ukazuje na zadovoljavajuću izgrađenost vodoopskrbnog sustava. Međutim brojni dijelovi sustava, naročito u urbanim područjima, izgrađeni su 1970-ih i 1980-ih godina čime je prosječna starost sustava 30 do 40 godina. Cijevi ovako starog sustava sklone su curenju i pucanju kako zbog dotrajalosti, tako i zbog materijala od kojih su napravljene, a koji su bili u razdoblju druge polovine 20. stoljeća dostupni i popularni (lijevano željezo, azbest-cementne cijevi, čelik...). Javni isporučitelji vodnih usluga (JIVU) godišnje zamjene manje od 2% mreže, a utvrđen je i nedostatak opreme za mjerenje i detekciju curenja. Još jedan od problema je i loša općenita tehnička opremljenost JIVU-a te nedostatak stručnih timova za rješavanje problema vodnih gubitaka i sam nedostatak znanja o ovoj problematici (NAPSG, 2024)

Jedan od značajnijih uzroka prevelikih iznosa vodnih gubitaka, a kojima će se ovaj rad baviti su neracionalno visoki tlakovi u mreži. Mnogi isporučitelji vodnih usluga upravljaju vodoopskrbnim sustavima koji funkcioniraju u nepovoljnim uvjetima pretjeranih tlakova, gdje prosječni tlak na nacionalnoj razini iznosi 5.0 bara, dok je regulativom propisani minimalni tlak 2.5 bara, koji je utvrđen Pravilnikom o hidrantskoj mreži za gašenje požara (NN 08/06)

(Narodne novine, 2024.). Na dobivenom početnom modelu vodoopskrbnog sustava Ivanić-Grad, koji obuhvaća područje Grada Ivanić-Grad, Općine Kloštar Ivanić, Općine Križ i Općine Rugvica, područja kojim se ovaj rad bavi, također su zabilježeni tlakovi viši od minimalno potrebnih pa iznosi tlakova na određenim lokacijama prelaze čak 8.0 bara. Prema podacima Hrvatskih voda 2015. godine gubici u sustavu Ivanić-Grad bili su znatno ispod prosjeka gubitaka u Republici Hrvatskoj i iznosili 19% zahvaćene vode. Iz ovog podatka konstatiralo se da vodoopskrbni sustav funkcionira u optimalnim uvjetima korištenja, no odjel za smanjenje gubitaka Vodoopskrbe i odvodnje Zagrebačke županije d.o.o. (ViOZZ) ima cilj do kraja 2024. godine smanjiti taj iznos na 15%. Metode i alati koji su potrebni za provođenje ovakve optimizacije sustava, opisani su detaljno u nastavku rada. Neke od mjera koje je potrebno provesti poput zamjene dotrajalih cjevovoda i postojećih ventila za regulaciju tlaka, novih mjernih uređaja i ostalog, velika su investicija koja se dugoročno gledano ipak "vrati" kroz uštedu na smanjenju količine vodnih gubitaka, ali i posljedično smanjenje broja intervencija na sanacijama kvarova (puknuća) koja se znatno češće javljaju u uvjetima visokih tlakova na mreži.

Svjetska banka (*engl. World Bank*), 2006. godine, donosi procjenu godišnje količine ukupno neprihodovane vode vodoopskrbnih sustava u svijetu koja iznosi 48.6 milijardi metara kubnih, pretvoreno u monetarnu jedinicu američkog dolara, 14.6 milijardi \$. Razvijene zemlje dnevno "gube" približno 45 milijuna metara kubnih vode, što se procjenjuje na godišnji gubitak oko 3 milijarde američkih dolara. Smatra se da je ova količina izgubljene vode dovoljna za redovitu opskrbu gotovo 200 milijuna potrošača kućanske kategorije (Halkijević i Vouk, 2022.).

Kako bi se što točnije odredile količine vodnih gubitaka i stvarno stanje vodovodnih sustava, u praksi su uvedeni novi standardi koji obuhvaćaju izradu vodne bilance prema metodologiji Međunarodne udruge za vodu (*engl. International Water Association - IWA*). U Hrvatskoj, kao i u razvijenim zemljama, koristi se pokazatelj ILI (*engl. Infrastructure Leakage Index, odnosno Infrastrukturni indeks curenja*) koji pruža uvid u učinkovitost upravljanja vodoopskrbnim sustavima. ILI se definira kao omjer trenutnih godišnjih stvarnih gubitaka (TGSG) i neizbježnih godišnjih stvarnih gubitaka (NGSG). Premda je bezdimenzionalan, ILI pokazatelj često ne odražava precizno smanjenje gubitaka jer se može dogoditi da i nakon provođenja mjera smanjenja tlaka u sustavu nema značajne promjene u njegovoj vrijednosti. Uz ILI pokazatelj, sve veći značaj pridaje se ekonomskoj procjeni vodnih gubitaka, koja može poslužiti kao motivacija za smanjenje operativnih troškova. Vodne gubitke se preporuča prikazivati i u ekonomskim terminima (kao iznos EUR/godina) i to u obliku direktnih troškova, kao što su troškovi energije i obrade vode, te indirektnih, koji obuhvaćaju troškove održavanja cjevovoda i smanjenje vijeka trajanja opreme. Pritom se gubitci analiziraju po manjim, prostorno izdvojenim zonama (*engl. District Metering Area -DMA*), što omogućava preciznije upravljanje i brže otkrivanje vodnih gubitaka (Vouk i dr., 2017.).

U svrhu preciznog praćenja i optimizacije gubitaka u sustavu, u radu je izrađena bilanca vode pomoću metodologije Međunarodnog udruženja za vodu (*engl. International Water Association - IWA*). Također, proračunat je pokazatelj ILI za stanje sustava prije i nakon provedenih mjera smanjenja tlakova vodoopskrbnog sustava. Unatoč značajnom smanjenju

prosječnih tlakova i prosječnih dnevnih gubitaka, vrijednost ILI pokazatelja prije i poslije ne razlikuje se previše te je i dalje vrlo visoka. Razlog zbog kojeg nije došlo do značajnog smanjenja ILI pokazatelja je taj da se iznos NGSG-a razlikuje za postojeće i buduće stanje. Ovime je potvrđen jedan od razloga zbog kojeg se pouzdanost ILI pokazatelja dovodi u pitanje. Dosadašnja praksa u Hrvatskoj s izračunima ILI pokazatelja nije rezultirala poduzimanjem aktivnosti smanjenja vodnih gubitaka u značajnoj mjeri. Rezultati mnogih analiza koje se oslanjaju isključivo na izračunu ILI pokazatelja često se pogrešno interpretiraju zbog nedostatka dodatnih saznanja i analize dodatnih parametara sa znatno većim značajem. Ekonomska vrijednost vodnih gubitaka jedan je od najznačajnijih parametara i motivacijskih faktora za poduzimanje konkretnih mjera smanjenja vodnih gubitaka. Naime, potreba za njihovim smanjenjem prvenstveno proizlazi iz nastojanja da se smanje ekonomski gubici, odnosno operativni troškovi određenog vodoopskrbnog sustava. Prikazivanje vodnih gubitaka kao ekonomskih gubitaka (na razini cijelog vodoopskrbnog sustava ili pojedine DMA zone) omogućava kvalitetnije upravljanje vodnim gubicima jer se na razini manjih prostornih jedinica brže uočavaju i uklanjanju kao i potencijalni uzroci njihove pojave (Vouk i dr., 2017.). S obzirom na brojne prednosti ekonomske analize, ista je provedena u ovom radu. Rezultati su prikazani kao (EUR/godina), a njihov iznos govori kako su mjere smanjenja tlakova vodoopskrbnog sustava bile puno uspješnije nego li je to prikazao ILI. U radu je također prikazan i troškovnik koji sadrži troškove provedenih mjera, njihovog izvođenja i održavanja samog sustava, te se na kraju iznos ukupnih troškova uspoređuje s iznosom uštede na vodnim gubicima iz čega je moguće zaključiti da li su mjere ovog projekta uspješne ili ne.

## 2. METODE I TEHNIKE RADA

U ovom poglavlju opisane su metode i tehnike korištene pri razradi teme, dan je pregled kako su provedene istraživačke aktivnosti te koji su programski alati ili aplikacije korišteni za pojedine aktivnosti.

Dakle, u ovom poglavlju navest će se metode i alati korišteni uobičajeno za izradu projektne dokumentacije na razini idejnog rješenja i studijskih analiza, sve s ciljem optimizacije tlakova u vodoopskrbnom sustavu Ivanić-Grad. Korišteni su računalni alati uobičajeni za provođenje analiza i simulacija na sustavima vodoopskrbe: EPANET, Microsoft Excel i AutoCAD.

Računalni program EPANET razvijen je od strane američke Agencije za zaštitu okoliša (*engl. Environmental Protection Agency, skr. EPA*), služi za modeliranje distribucije vode u cjevovodnim sustavima i omogućava dinamičke simulacije hidrauličko-pogonskih uvjeta tečenja (kretanja i ponašanja vode u mrežama). EPANET omogućuje simulaciju različitih stacionarnih i dinamičkih (kvazi-nestacionarnih) stanja fluida u tlačnim sustavima. Iako se primarno koristi za modeliranje vode, unosom fizikalnih svojstava poput gustoće i relativne viskoznosti, moguće je simulirati i druge vrste fluida. Mogućnosti programa su i precizno definiranje svih elemenata tlačnog sustava, kao što su crpne stanice, vodospreme, zasuni i regulacijske armature (Halkijević i Vouk, 2022.). Konkretno u ovom radu EPANET je korišten za simulaciju postojećih uvjeta u vodoopskrbnom sustavu Ivanić-Grada. Pomoću njega analizirana su područja mreže koja su podložna visokim tlakovima, što predstavlja značajan uzrok curenja i gubitaka vode. Vodne gubitke analiziralo se kao konstantne vrijednosti prije i nakon izmjena (definiranja mjera unaprjeđenja) na modelu. Na temelju dobivenih rezultata identificirane su kritične točke sustava te su simulirani scenariji snižavanja tlakova na postojećim frekventnim regulacijama pojedinih crpnih stanica ili uvođenjem novih ventila za regulaciju tlaka. Ovaj program uvelike je olakšao izradu rješenja, a dostupan je u slobodnom obliku te ne zahtjeva posebnu komercijalnu licencu.

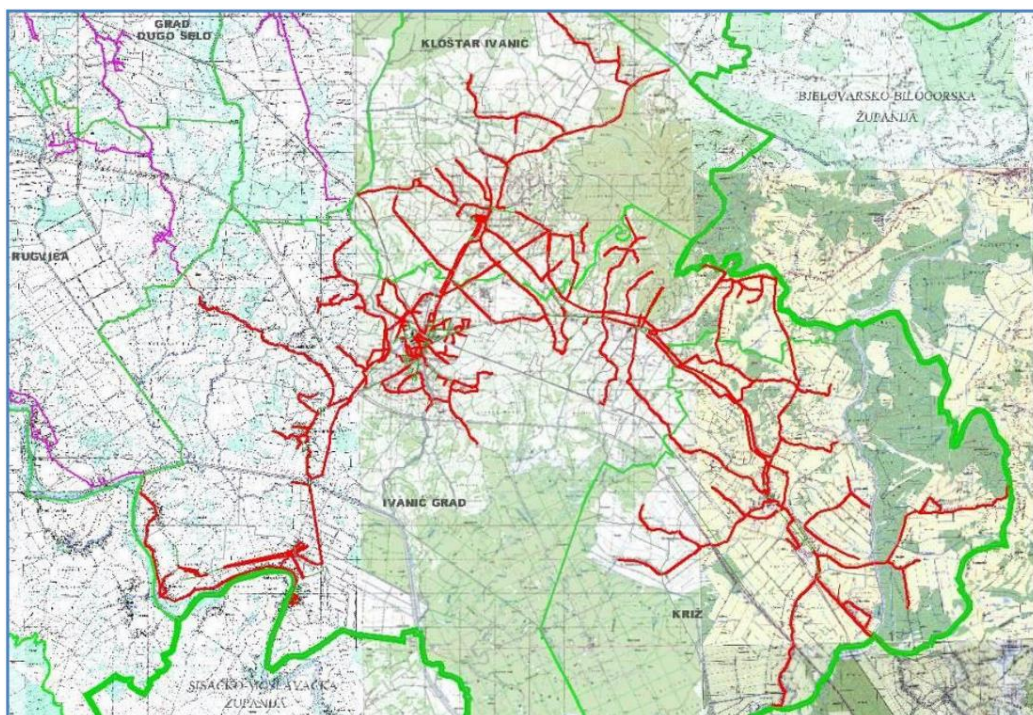
Računalni program Microsoft Excel sastavni je dio programskog paketa Microsoft Office-a, namijenjen proračunskim tablicama i različitim područjima analize podataka. Karakteriziraju ga jednostavno unošenje i organizacija podataka, izvođenje osnovnih statističkih analiza, stvaranje grafova i dijagrama te također provođenje kompleksnih analiza pomoću formula i dodataka (Microsoft, 2024.). Fleksibilnost programa Microsoft Excel-a daje mogućnost obrade velike količine podataka s kojom se često susreće prilikom analiza koje su korištene u ovom radu, a koje će detaljnije biti opisane u drugim poglavljima. Ovaj program je izuzetno koristan alat za analizu podataka o potrošnji vode, protocima, tlakovima i gubicima u sustavima vodoopskrbe. Ovi podaci izvučeni su iz simulacije EPANETA, uneseni i sortirani u tablice Microsoft Excel-a gdje su dalje analizirani i uspoređivani. Program je također poslužio i pri izradi vodne bilance i troškovnika te usporedbi troškova izmjena i izgradnje, na vodoopskrbnom sustavu, s uštedama koja će se postići nakon optimizacije sustava.

AutoCAD jedan je od vodećih softvera za računalno potpomognuto projektiranje (*engl. Computer-Aided Design, CAD*) koji je razvio Autodesk. Ovaj alat omogućuje kreiranje, analizu i modifikaciju detaljnih 2D i 3D tehničkih nacrtā, poznat je po preciznosti i raznim funkcionalnostima za dizajniranje složenih tehničkih projekata u građevini, arhitekturi i drugim tehničkim disciplinama (Autodesk, 2024.). Ključna prednost AutoCAD-a je mogućnost brze izrade točnih nacrtā i geometrijskih prikaza, kao i integracija s drugim programima, što ubrzava procese projektiranja i analize. AutoCAD je u ovom radu korišten prilikom izrade situacijskog prikaza izdvojenih mjerenih zona (*engl. District Metering Area DMA*) u cijelom analiziranom području. Također je korišten i za nacrt regulacijskog okna, a oba nacrtā nalaze se u prilogima na kraju rada.

### 3. ULAZNI PODACI I PODLOGE

#### 3.1. Opis lokacije i kretanje stanovništva

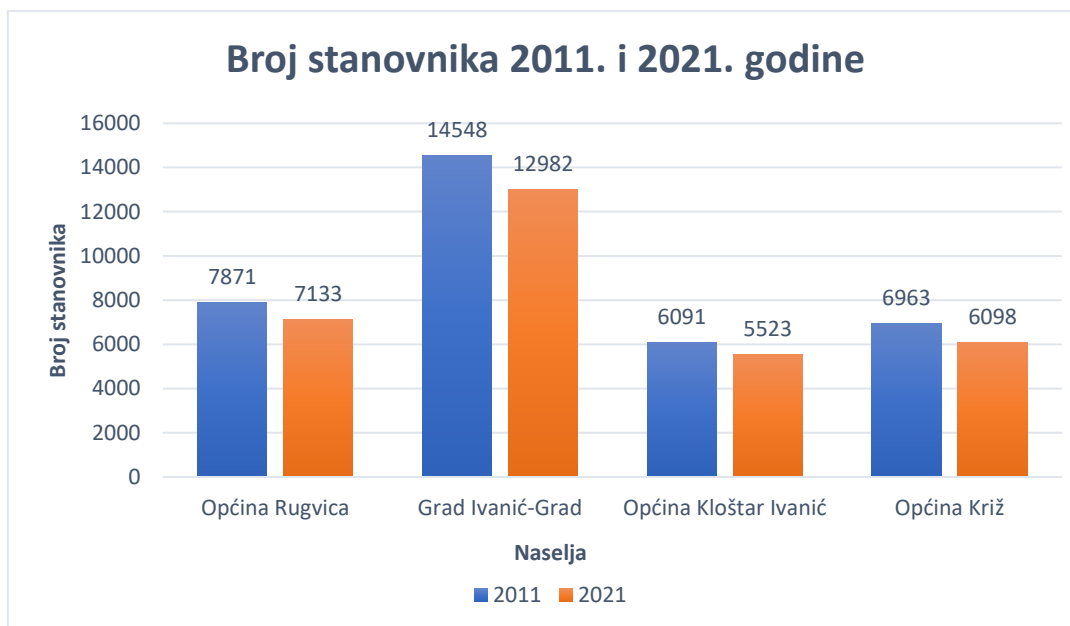
Rad obuhvaća područje teritorija vodoopskrbnog sustava Ivanić-Grad (slika 1) i Općine Rugvica, smještenih u jugoistočnom dijelu Zagrebačke županije, udaljenih oko 30 kilometara od Zagreba. Pod vodoopskrbni sustav Ivanić-Grad spadaju Grad Ivanić-Grad, Općina Kloštar Ivanić i Općina Križ. Ivanić-Grad južnim rubom graniči sa Sisačko-moslavačkom županijom, a manjim dijelom sjeveroistočne granice nalazi se uz Bjelovarsko-bilogorsku županiju. Sastoji se od 22 naselja, teritorijalno zauzima površinu od 173.57 km<sup>2</sup> (Ivanić-Grad web, 2024.). Općina Rugvica nalazi se sjeverozapadno od Ivanić-Grada i površine je 93.73 km<sup>2</sup>, pripada vodoopskrbnom sustavu Dugo selo, a obuhvaćena je ovim radom jer se direktno spaja na vodoopskrbni sustav Ivanić-Grada. Isporučitelj vodnih usluga za oba sustava je Vodoopskrba i odvodnja Zagrebačke županije d.o.o. koje vodu crpi iz vodocrpilišta Kosnica.



**Slika 1** Situacijski prikaz vodoopskrbnog sustava Ivanić-Grad (Hrvatske vode, 2024.)

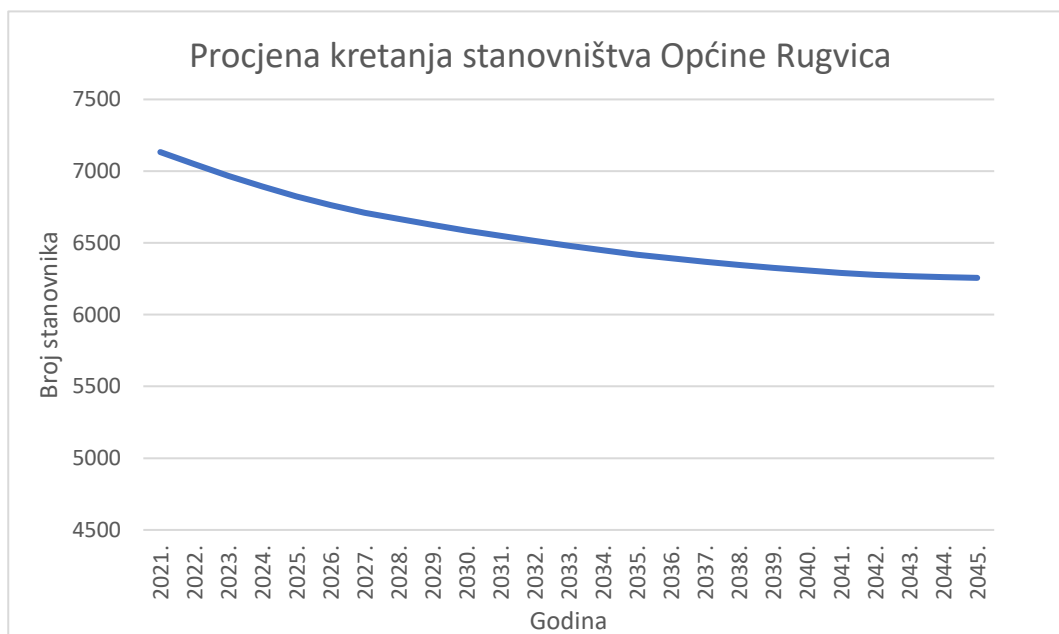
Prema popisu stanovništva iz 2011. i 2021. godine, koje je proveo Državni zavod za statistiku, u Hrvatskoj se bilježi pad broja stanovnika od 9.6% što je rezultat kombinacije negativnog prirodnog prirasta, emigracije i drugih demografskih faktora (DZS,2024). Pad je zabilježen i na područjima koje ovaj rad obuhvaća, tako je u općinama Rugvica i Kloštar Ivanić zabilježen pad broja stanovnika od 9% (738 i 568 stanovnika), Općini Križ 12% (865 stanovnika) što je ujedno

i najveći pad, dok je pad u Ivanić-Gradu 11% (1566 stanovnika). Iz ove analize može se zaključiti da je pad za ukupno područje 11% odnosno 3,737 stanovnika (slika 2).



**Slika 2** Grafički prikaz broja stanovnika Općine Rugvica, Ivanić-Grada, Općine Kloštar Ivanić i Općine Križ za 2011. i 2021. godinu

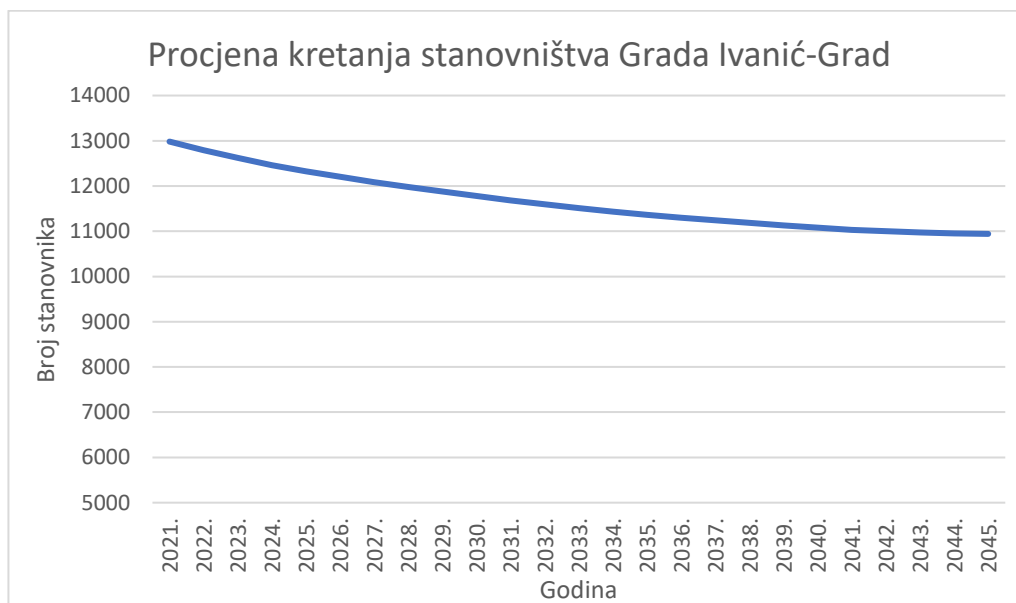
S obzirom da se rad bavi analizama čiji će rezultati utjecati na duži vremenski period, potrebno je provesti procjenu kretanja stanovništva za projektno razdoblje u trajanju od 20-30 godina. Rezultati procjene prikazani su u nastavku.



**Slika 3** Grafički prikaz procjene kretanja stanovništva Općine Rugvica

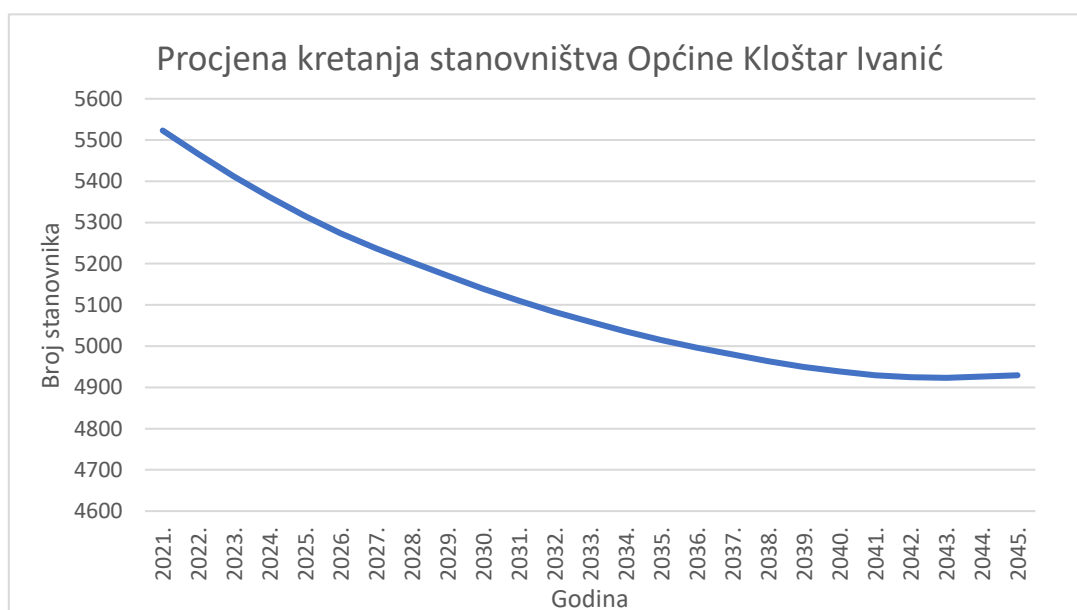


Na slici 3 dan je grafički prikaz procjene broja stanovnika do 2045. godine, u kojoj je predviđen manji broj stanovnika u odnosu na 2021. godinu (7133 stanovnika) i iznosi 6,256 stanovnika, što je pad od 12%. Sljedeći graf (slika 4) odnosi se na Ivanić-Grad gdje je broj stanovnika 2021. godine iznosio 12,982 stanovnika, dok će prema definiranim prognozama 2045. godine iznositi 10,941, odnosno 16% manje.

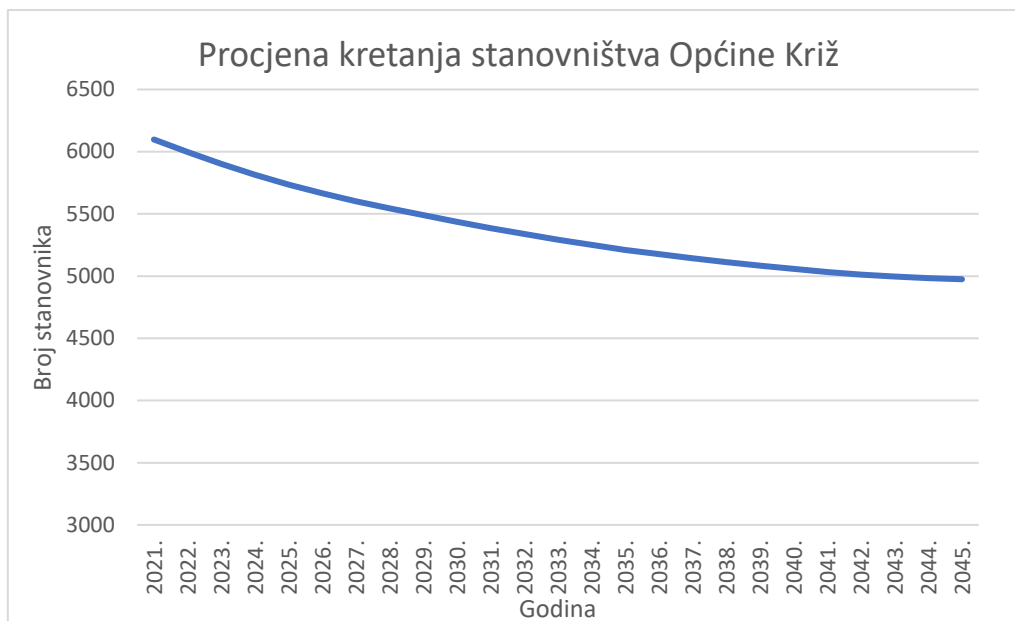


**Slika 4** Grafički prikaz procjene kretanja stanovništva za Grad Ivanić-Grad

Općina Kloštar Ivanić 2021. godine broji 5,523 stanovnika, zatim slijedi pad od 11% do 2045. godine u kojoj se procjenjuje da će biti 4,929 stanovnika (slika 5). Najveći pad procjenjuje se za Općinu Križ i iznosi 18% (slika 6), odnosno broj stanovnika 2021. godine iznosio je 6,098, dok će 2045. iznositi 4,974 stanovnika.

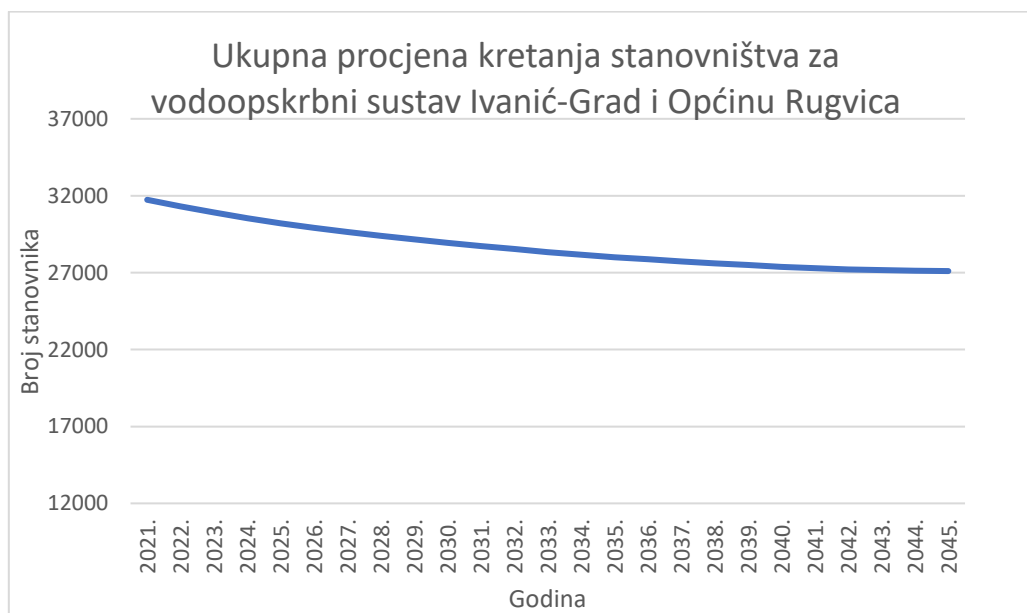


**Slika 5** Grafički prikaz procjene kretanja stanovništva za Općinu Kloštar Ivanić



**Slika 6** Grafički prikaz procjene kretanja stanovništva za Općinu Križ

Ukupna procjena kretanja stanovništva za vodoopskrbni sustav Ivanić-Grad (Grad Ivanić-Grad, Općina Kloštar Ivanić, Općina Križ) i Općinu Rugvica nalazi se na sljedećem grafu (slika 7), gdje generalni trend također ukazuje na pad broja stanovnika. Ukupan broj stanovnika u 2021. godini iznosio je 31,736, a 2045. godine, prema definiranim prognozama, iznosi 27,101, što je pad od 15%, odnosno 4,634 stanovnika manje.



**Slika 7** Grafički prikaz procjene kretanja cjelokupnog stanovništva na području obuhvata

### 3.2. Analiza potreba

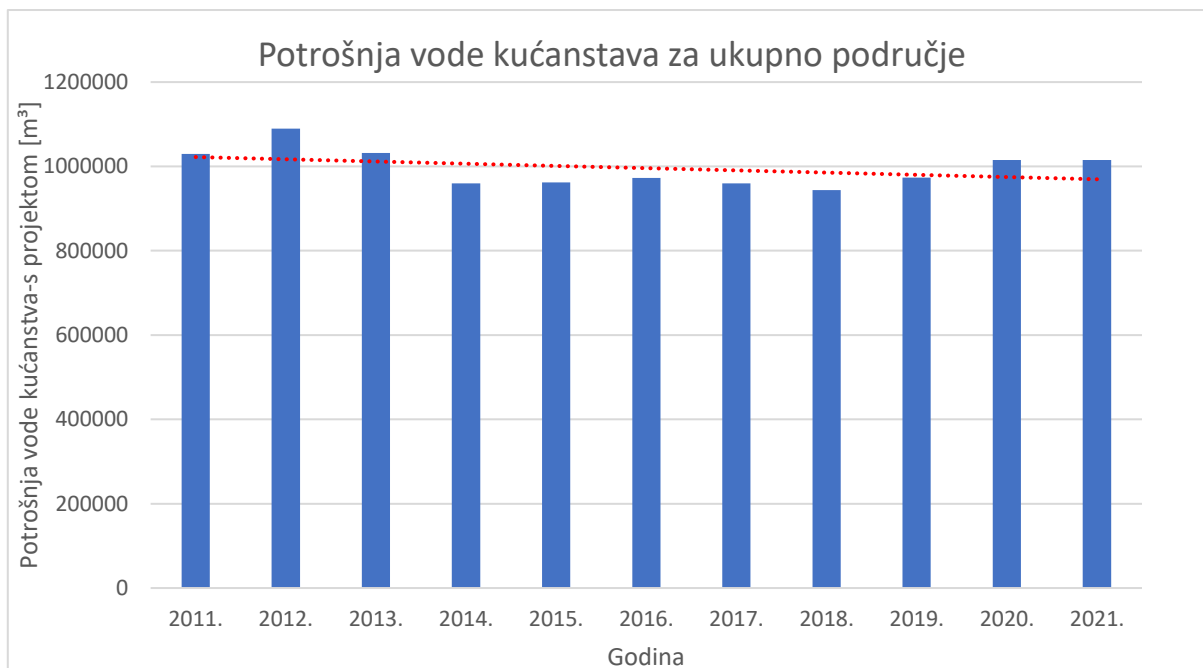
Predviđanje potrošnje vode, koje se temelji na procjeni buduće potražnje za vodom i često naziva analizom potreba, predstavlja ključan korak u određivanju potrebnih ili dovoljnih kapaciteta objekata za vodoopskrbu. Ova prognoza omogućava optimalno planiranje kapaciteta za nove objekte i prilagođavanje postojećih sustava kako bi ispunili potrebe u budućem razdoblju. Predviđena potrošnja vode direktno utječe na troškove realizacije projekata (kapitalne troškove) i na vremenski okvir njihove izgradnje jer određuje veličinu potrebnih kapaciteta. Također, prognoza potrošnje utječe na planiranje sredstava potrebnih za operativne troškove, uključujući troškove rada i održavanja cijelog sustava (Halkijević i Vouk, 2024.). U ovom radu potrošnja vode sastoji se od potrošnje u kućanstvu i potrošnje privrede, a u nastavku će se prikazati njihovo trenutno i predviđeno stanje.

#### 3.2.1. Trenutna potrošnja vode u kućanstvima

**Tablica 1** Tablica 1. Potrošnja vode u kućanstvima za 2021. godinu

	Pokrivenost sustava - s projektom	Broj priključaka kućanstava - s projektom	Priključenost kućanstva - s projektom	Specifična potrošnja vode stanovništvo [l/stan/dan]	Potrošnja vode kućanstva - s projektom [m <sup>3</sup> ]
Vodoopskrbni sustav Ivanić-Grad	98%	5,958	73%	113	735,417
Općina Rugvica	99%	1,838	87%	124	280,083

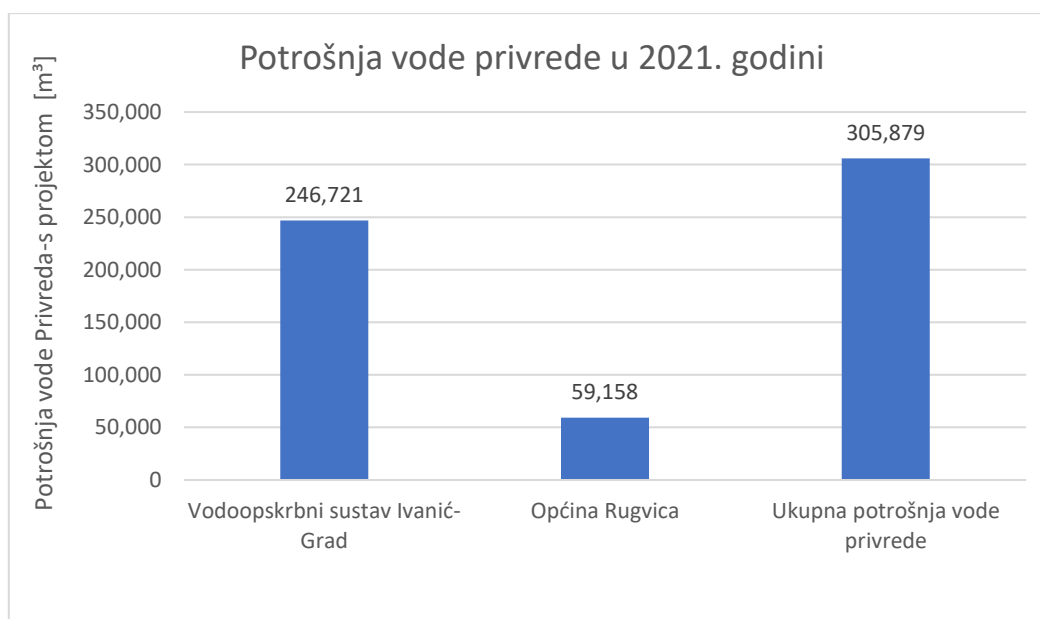
Tablica 1 prikazuje pokrivenost predmetnog područja sustavom vodoopskrbe (koja je vrlo visoka), broj priključaka kućanstava, priključenost kućanstava koja je niža od očekivane i moguće, specifičnu potrošnju vode stanovništva (prosječna količina vode koju stanovnik potroši u jednom danu) te potrošnju vode kućanstava. Podaci su preuzeti od JIVU-a Vodoopskrba i odvodnje Zagrebačke županije (ViOZZ) za 2021. godinu. Na slici 8 nalazi se graf koji prikazuje potrošnju vode kućanstva od 2011. do 2021. godine za cjelokupno promatrano područje.



**Slika 8** Grafički prikaz potrošnje vode za cjelokupno područje obuhvata od 2011. do 2021. godine

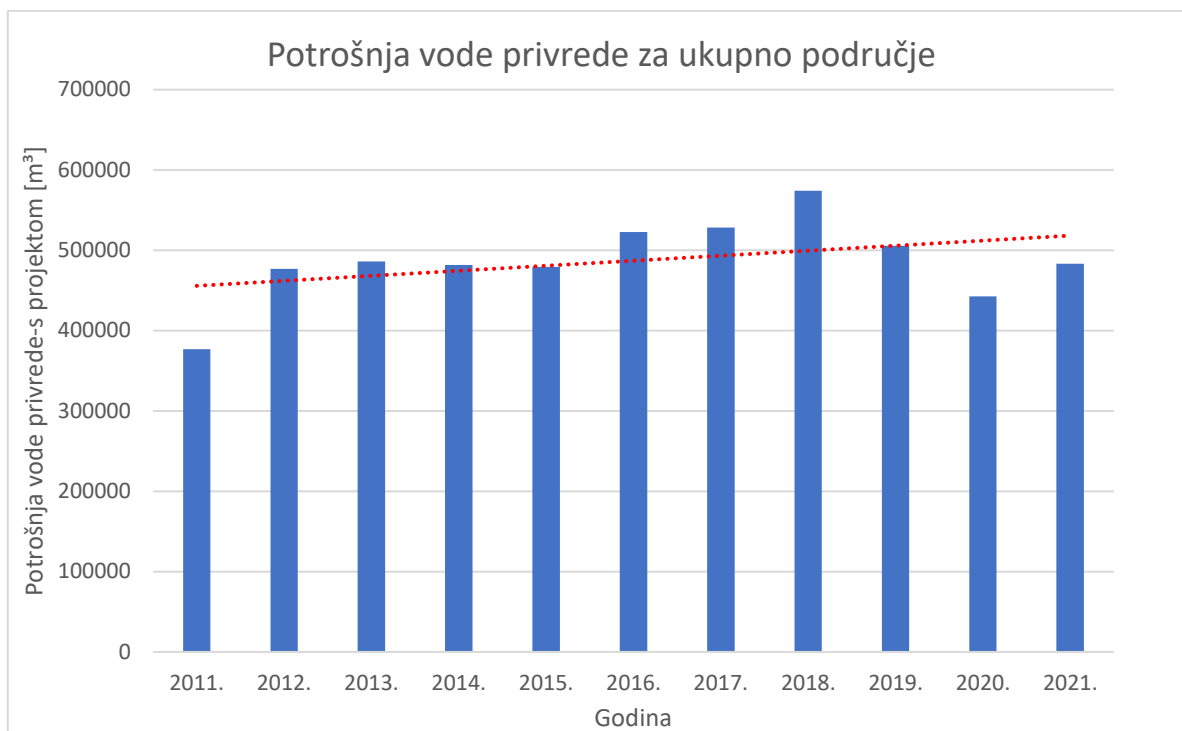
### 3.2.2. Trenutna potrošnja vode u privredi

Podaci potrošnje vode u privredi također su preuzeti od ViOZŽ-a, a čime je obuhvaćena i potrošnja vode hotela jer u promatranom području turizam nije značajnije razvijen pa nema potrebe da ga se analizira zasebno (kao izdvojenu kategoriju potrošnje). Podaci potrošnje vode u privredi za 2021. godinu nalaze se na slici 9.



**Slika 9** Grafički prikaz potrošnje vode privrede za 2021. godinu

Na slici 10 nalazi se grafički prikaz potrošnje vode u privredi za razdoblje 2011.-2021. godine, gdje je crvenom linijom opisan linearni trend porasta potrošnje.



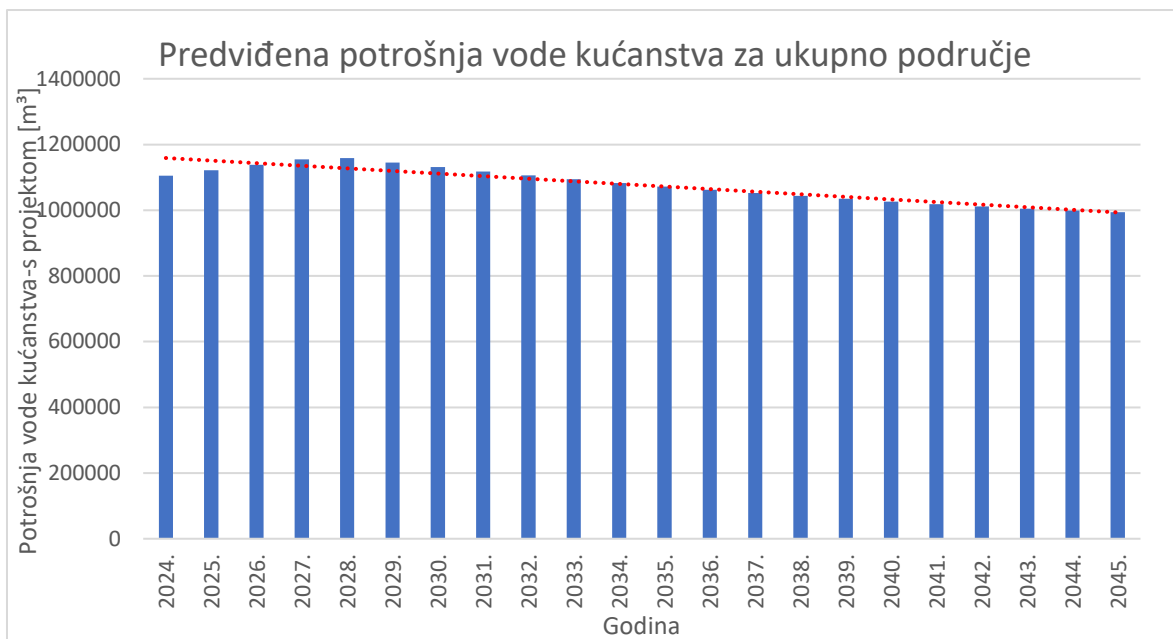
**Slika 10** Grafički prikaz potrošnje vode u privredi cjelokupnog područja obuhvata

### 3.3. Predviđanje buduće potrošnje vode

U nastavku je prikazana dugoročna prognoza potrošnje vode, za koju je uobičajeno primjeniti vremenski raspon 20-30 godina u trajanju od 21 godine (2024.-2045.). Ovakva analiza najčešće se koristi za nacionalne, regionalne ili u ovom slučaju lokalne potrebe projektiranja ili izrade studijskih analiza sustava vodoopskrbe.

#### 3.3.1. Predviđanje buduće potrošnje vode kućanstava tijekom projektnog perioda

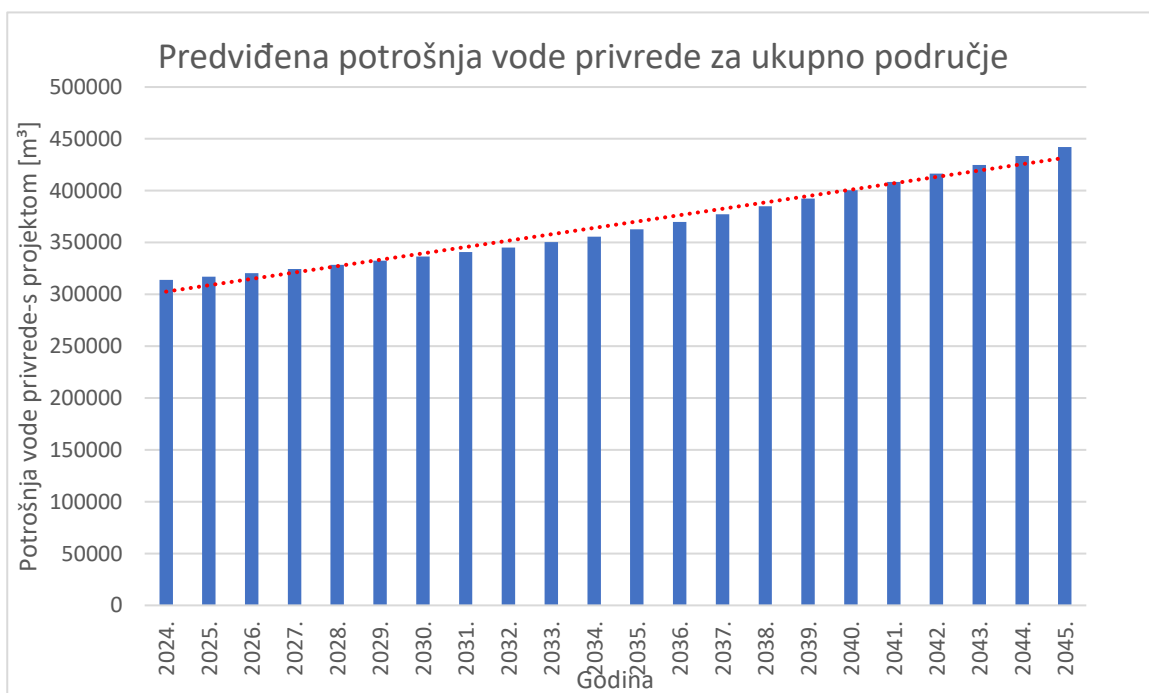
Obzirom da je u prethodnom poglavlju procjena broja stanovnika pokazala padajući trend, očekivano je da će i predviđena potrošnja vode kućanstava do 2045. godine biti manja nego danas (slika 11). Potrošnja vode u kućanstvima, 2045. godine, smanjila se za 111,073 m<sup>3</sup> (10%) u odnosu na 2024. godinu.



**Slika 11** Grafički prikaz predviđene potrošnje vode kućanstva za cjelokupno područje

### 3.3.2. Predviđanje buduće potrošnje vode u privredi tijekom projektnog perioda

Kod procjene buduće potrošnje vode u privredi, u 2045. godini zabilježen je porast od 41% te je iznos potrošene vode veći za 128,058 m<sup>3</sup> u odnosu na 2024. godinu.



**Slika 12** Grafički prikaz predviđene potrošnje vode privrede za cjelokupno područje

## 4. ANALIZA VODNIH GUBITAKA

### 4.1. Postupak analize vodnih gubitaka u praksi

Definiranje učinkovitih mjera za poboljšanje postojećih vodoopskrbnih sustava temelji se na detaljnom opisu i analizi postojećeg stanja, što uključuje temeljito sagledavanje svih relevantnih čimbenika. Među najvažnijim čimbenicima su karakteristike cjevovodne mreže, uključujući trasu, profile, materijale, hrapavost i starost cijevi, kao i karakteristike pratećih objekata poput vodosprema, crpnih stanica i mjerno-regulacijske opreme. Također, nužno je provesti analizu vodnih gubitaka unutar sustava kako bi se dobio sveobuhvatan uvid u stanje sustava (Halkijević i Vouk, 2022.). Ova analiza omogućuje donošenje kvalitetnih zaključaka koji će pomoći u optimizaciji rada sustava i njegovoj nadogradnji, čime se osigurava racionalna potrošnja raspoloživih financijskih sredstava.

Za izradu kvalitetnih mjera unapređenja vodoopskrbnog sustava potrebno je prethodno prikupiti sve raspoložive podatke o postojećem stanju sustava. U tom kontekstu, izrada detaljnog preliminarnog matematičkog modela postojećeg stanja ključna je za precizno modeliranje hidrauličko-pogonskih uvjeta sustava, što omogućuje uvid u stvarne uvjete protoka i tlakova unutar mreže. Modeliranje sustava koristi se kao alat za simulaciju realnih uvjeta, a osobito je važno kada kvalitetni podaci o postojećem stanju nisu dostupni. Takvi slučajevi mogu nastati, primjerice, kada je projektna dokumentacija sustava izgubljena, kao što je bio slučaj u Hrvatskoj tijekom Domovinskog rata, kada su mnogi vodoopskrbni sustavi ostali bez potrebne dokumentacije (Halkijević i Vouk, 2022.). U tim okolnostima podaci koje pruža osoblje na održavanju sustava mogu biti nepouzdana, a informacije o cijevnim trasama, veličinama profila, materijalu cijevi i regulacijskim armaturama često su nepoznate.

Kako bi se potvrdila kvaliteta matematičkog modela, nužno je provesti terenska mjerenja protoka i tlakova u ključnim točkama sustava. Ovaj proces uključuje podjelu sustava u manje zone - DMA zone (engl. *District metered area*), gdje se na ulazu i izlazu svake zone postavljaju mjerači protoka. Time se omogućuje precizno mjerenje stvarnih protoka i tlakova u sustavu, što daje uvid u potrošnju, ali i u stvarne vodne gubitke. Rezultati ovih mjerenja koriste se za analizu prostorne raspodjele vodnih gubitaka i za kalibraciju matematičkog modela. Kalibrirani model sa zadovoljavajućom točnošću opisuje stvarne hidrauličko-pogonske uvjete sustava, čime se stvara temelj za donošenje zaključaka o stanju postojećeg sustava. Ovi podaci omogućuju prijedlog učinkovitih mjera optimizacije sustava, čime se doprinosi njegovoj daljnjoj održivosti i smanjenju gubitaka (Halkijević i Vouk, 2022.).

Smanjenje vodnih gubitaka na prihvatljivi nivo, jedan je od najznačajnijih čimbenika u gospodarenju vodom javnih vodoopskrbnih sustava.

Međunarodno udruženje za vode (*engl. International Water Association - IWA*) razvilo je novi standard za bilanciranje vode kako bi se omogućilo potpunije razumijevanje problematike gubitaka vode. Ovaj standard uključuje izradu "standardne" bilance vode (Standard Water Balance) i "proširene" bilance vode (Extended Water Balance), koja je na globalnoj razini prihvaćena pod nazivom IWA metodologija (NAPSG, 2024.). Ova metodologija vodne gubitke definira kao:

$$\begin{aligned} & \text{Vodni gubici (m}^3/\text{godina)} \\ & = \text{Dobavljena voda (m}^3/\text{godina)} - \text{Ovlaštena potrošnja (m}^3/\text{godina)} \end{aligned}$$

$$\text{Vodni gubici (m}^3/\text{godina)} = \text{Stvarni gubici (m}^3/\text{godina)} + \text{Prividni gubici (m}^3/\text{godina)}$$

Dobavljena voda predstavlja razliku količine vode koja ulazi u sustav i količine vode isporučene drugim JIVU-ima, dok ovlaštena potrošnja predstavlja onu količinu vode za koju se pouzdano zna da je potrošena od strane krajnjeg korisnika.

Stvarni gubici odnose se na količinu vode koja je doista izgubljena na putu od ulaza u sustav do krajnjih korisnika. Oni se obično dijele u tri potkategorije: propuštanja unutar vodoopskrbne mreže (istjecanja, odnosno curenja), prelijevanja iz vodosprema i propuštanja vode na kućnim priključcima. Prividni gubici obuhvaćaju one količine vode koje krajnji korisnici uglavnom potroše, ali ih nije moguće pouzdano izmjeriti. Dodatno se dijele na neovlaštenu potrošnju i gubitke uzrokovane netočnošću mjernih instrumenata. Ovaj rad će se baviti isključivo stvarnim gubicima.

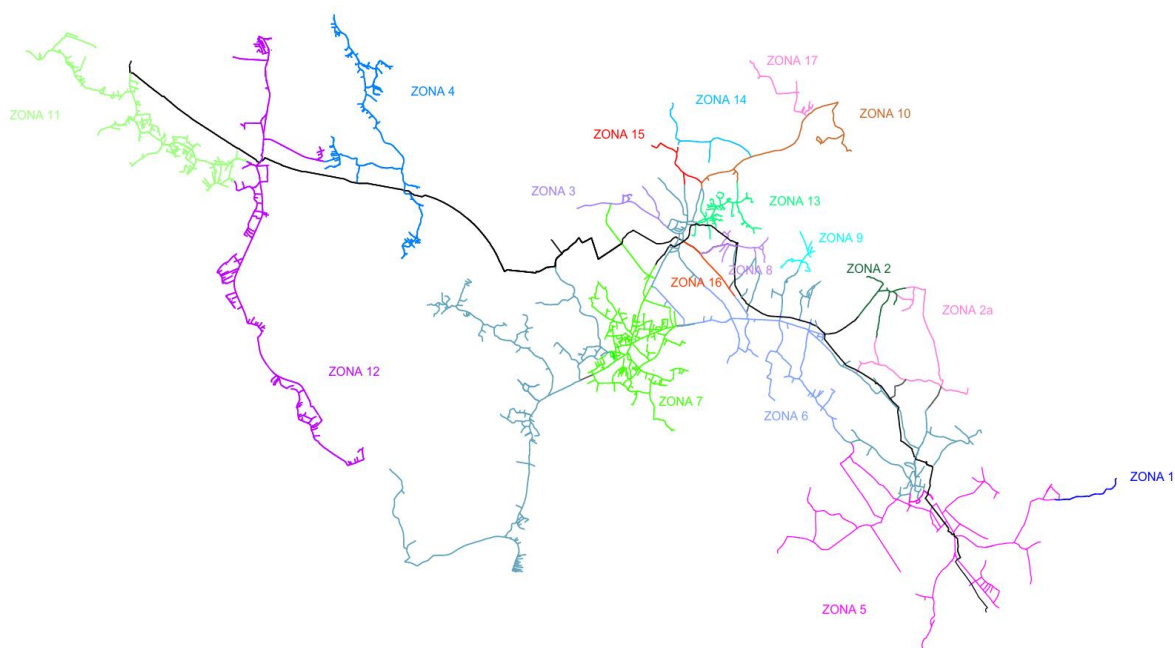
Za kvalitetno razumijevanje problematike i povećanja uspješnosti u upravljanju vodnim gubicima, primjena odgovarajućih pokazatelja gubitaka vode je neizostavan segment. Na globalnoj razini koristi se veliki broj različitih pokazatelja, među kojima se ističe ILI pokazatelj – Infrastrukturni indeks curenja u mreži (*engl. Infrastructure Leakage Indicator*). ILI pokazatelj služi kao temeljni indikator za uspoređivanje stanja stvarnih gubitaka između pojedinih vodoopskrbnih sustava. Prikazuje bolji uvid u učinkovitost upravljanja pojedinim vodoopskrbnim sustavima, odnosno uspješnost JIVU-a u rješavanju problema vodnih gubitaka te je definiran u sklopu IWA metodologije. ILI pokazatelj definiran je izrazom:

$$ILI = \frac{TGSG}{NGSG} = \frac{CARL}{UARL}$$

Predstavlja odnos trenutnih godišnjih stvarnih gubitaka (TGSG, *engl. CARL- Current Annual Real Losses*) i neizbježnih godišnjih stvarnih gubitaka (NGSG, *engl. UARL- Unavoidable Annual Real Losses*). Radi lakšeg prikaza ili usporedbe s drugim sustavima, ove dvije komponente (TGSG i NGSG) izražavaju se jedinično kao m<sup>3</sup>/km/d (broj priključaka <20 po km cjevovoda) ili kao l/priključak/d (broj priključaka >20 po km cjevovoda). Niža vrijednost ILI pokazatelja ukazuje na bolje stanje i povećanu uspješnost rješavanja problema gubitaka vode unutar razmatranog sustava, dok veća vrijednost ukazuje na suprotno (NAPSG, 2024.).



## 4.2. Analiza vodnih gubitaka u postojećem stanju



**Slika 13** Situacijski prikaz definiranih DMA zona vodoopskrbnog sustava Ivanić-Grad

Na slici 13 nalazi se situacijski prikaz DMA zona na koje je podijeljen vodoopskrbni sustav Ivanić-Grad. Sustav je podijeljen na ukupno 17 zona. U cilju smanjenja vodnih gubitaka, za svaku zonu određen je srednji dnevni gubitak vode te prosječni tlak u zoni prije poduzetih mjera usmjerenih na optimizaciju i smanjenje tlakova (tablica 2).

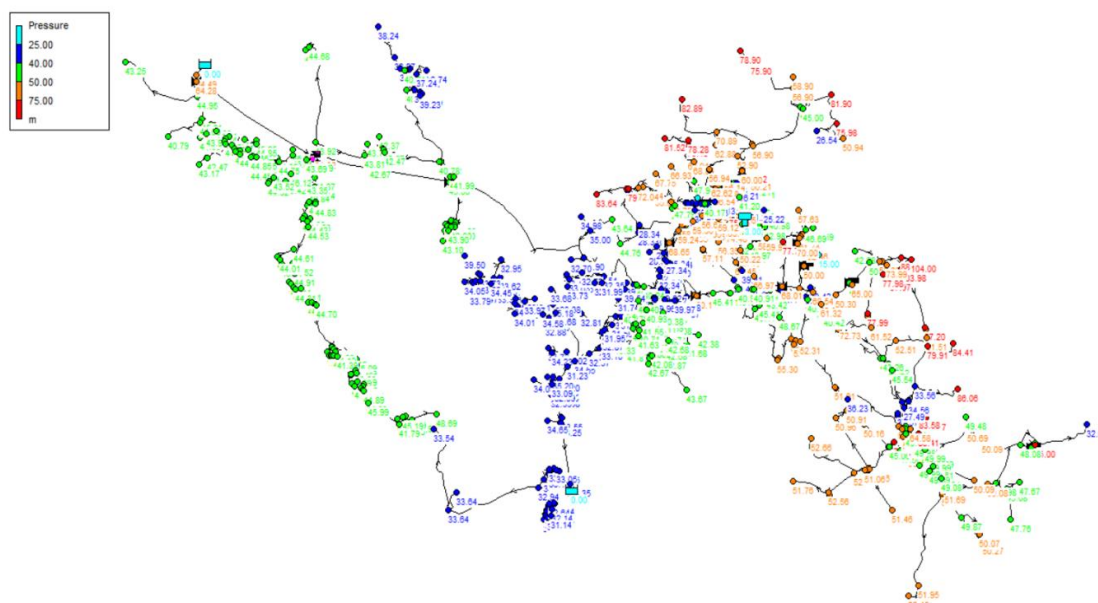
**Tablica 2** Raspodjela vodnih gubitaka po DMA zonama prije provedenih mjera unaprjeđenja s prosječnim tlakovima u zonama temeljem rezultata matematičkog modela (model planiranog stanja bez implementiranih mjera unaprjeđenja)

Naziv DMA zona	Srednji dnevni gubitak prije [l/s]	Prosječni tlak u zoni prije [mH <sub>2</sub> O]	Prosječni tlak u zoni prije [bar]
Zona 1	0.03350	69.00	6.77
Zona 2	0.06700	72.02	7.07
Zona 2a	0.12563	78.18	7.67
Zona 3	0.07538	67.27	6.60
Zona 4	0.38527	40.97	4.02
Zona 5	0.57062	49.09	4.82
Zona 6	0.37690	53.67	5.27
Zona 7	2.52638	38.21	3.75
Zona 8	0.15076	54.23	5.32
Zona 9	0.09213	58.10	5.70
Zona 10	0.11726	64.24	6.30
Zona 11	0.43553	44.89	4.41
Zona 12	0.74542	44.49	4.37
Zona 13	0.49416	41.23	4.05
Zona 14	0.04188	66.16	6.49
Zona 15	0.10051	64.26	6.31
Zona 16	0.07538	54.60	5.36
Zona 17	0.05025	61.29	6.01

Ukupni srednji dnevni gubitak vode prije provođenja mjera iznosi 6.464 [l/s], dok prosječni tlak u svim zonama prije mjera iznosi 4.77 bara.

#### 4.3. Provedene mjere unaprjeđenja

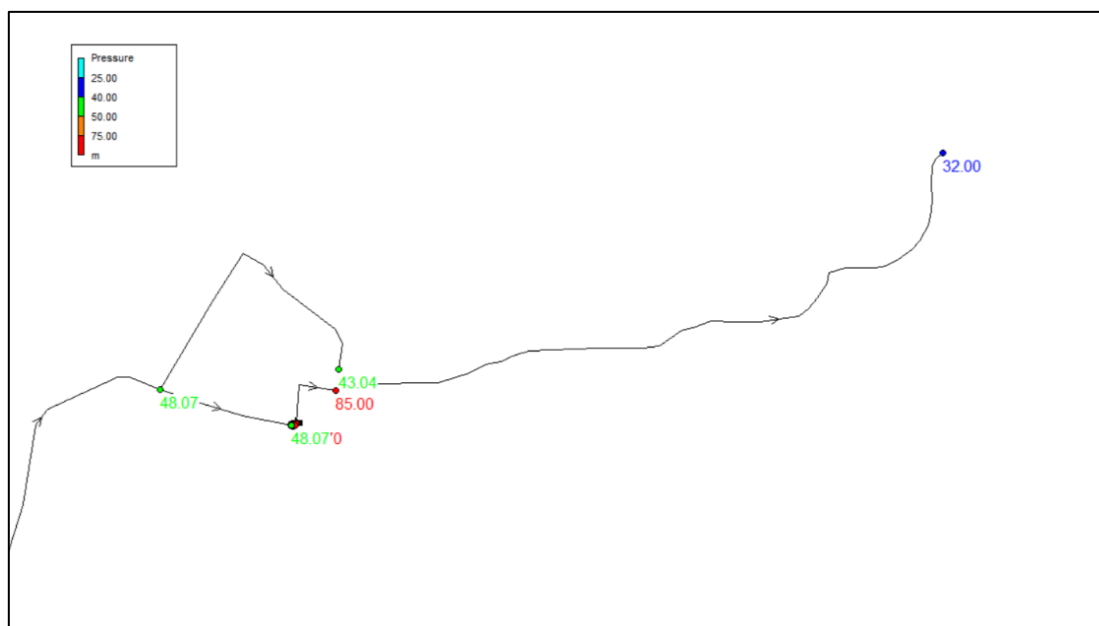
Za ulaznu podlogu korišten je kalibrirani hidraulički matematički model postojećeg stanja (slika 14) na kojem su unesene potrošnje mjerodavne za trenutak maksimalnog opterećenja tijekom projektnog razdoblja. Model se sastoji od ukupno 864 čvora, broj definiranih cijevi iznosi 919, a ukupna duljina cjevovoda je 397.62 km.



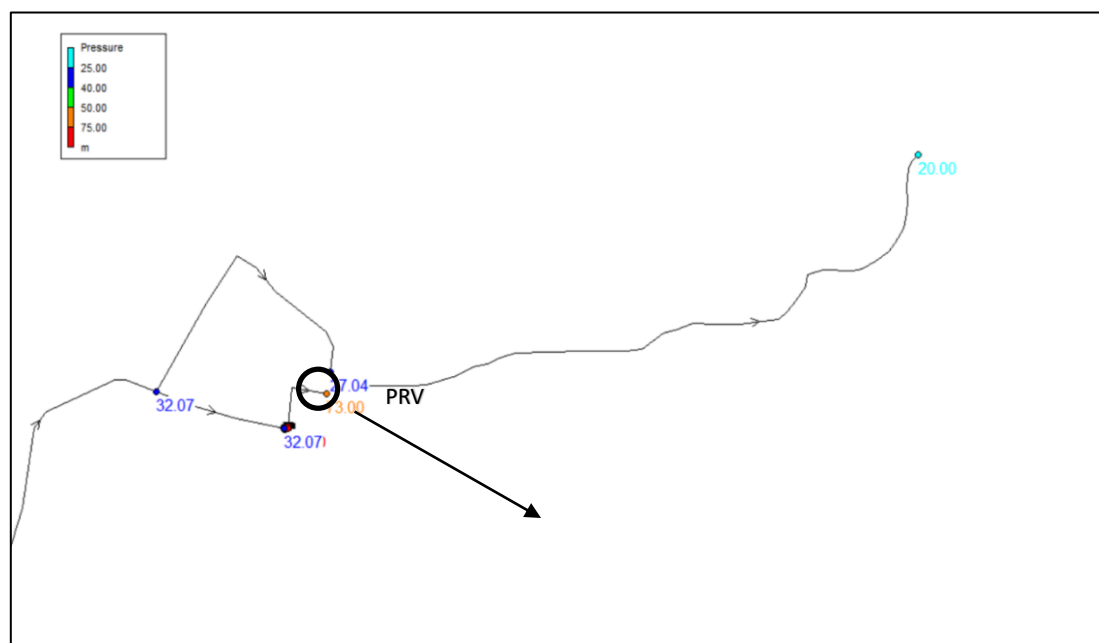
**Slika 14** Prikaz modela u programu EPANET prije provedenih mjera

U programu EPANET provedene su mjere optimizacije sustava koje su za cilj imale smanjiti iznose postojećih tlakova na što bliže propisanih 25 mH<sub>2</sub>O. Provedeno je ukupno 17 mjera od kojih su najčešće bile snižavanje izlazne vrijednosti tlaka na već postojećim frekventnim regulacijama crpnih stanica, na određenim lokacijama dodani su novi ventili za regulaciju tlaka, a jedna od mjera je bila i zamjena postojećeg opružnog ventila za regulaciju tlaka hidrauličkim. Razlika između mehaničkog (opružnog) ventila i hidrauličkog je ta da hidraulički ventil nudi precizniju kontrolu i prilagodljivost u sistemima poput ovog. Hidraulički ventili mogu se podesiti tako da daju konstantnu izlaznu vrijednost tlaka za sve vrijednosti tlaka veće od podešene izlazne vrijednosti, dok mehanički ventili prilagođavaju izlaznu vrijednost tlaka ovisno o protoku, tako da tlak uvijek smanjuju za istu vrijednost (za isti  $\Delta p$ ). Ventili za regulaciju tlaka skraćeno PRV (engl. *Pressure Reducing Valve*) postavljaju se u regulacijska okna, gdje se obično instalira i mjerач protoka kako bi se omogućilo praćenje i kontrola tlaka; takav se objekt naziva redukcijisko-vodomjernom komorom. Uz osnovnu opremu, često se ugrađuje i stanica za uzorkovanje i mjerenje rezidualnog klora, sustav za doziranje dezinfekcijskih sredstava, hvatač nečistoća te oprema za telemetrijski nadzor hidrauličkih parametara i ostalih ugrađenih uređaja, uključujući i upravljanje određenim vodovodnim armaturama (Halkijević i Vouk, 2022.). Na određenim dijelovima vodoopskrbne mreže tlakovi su smanjeni na 25 mH<sub>2</sub>O ili blizu te vrijednosti, što znači da bi dodavanje minimalnog protoka od 10 l/s nizvodno, primjerice u slučaju požara, moglo dovesti do nedovoljnih tlakova nižih od 25 mH<sub>2</sub>O. Kako bi se ovaj problem izbjegao, u okno PRV-a dodaje se mimovod (bypass). U normalnim uvjetima voda prolazi kroz PRV, dok se u slučaju požara preusmjerava kroz mimovod, čime se nizvodno osigurava potrebni tlak.

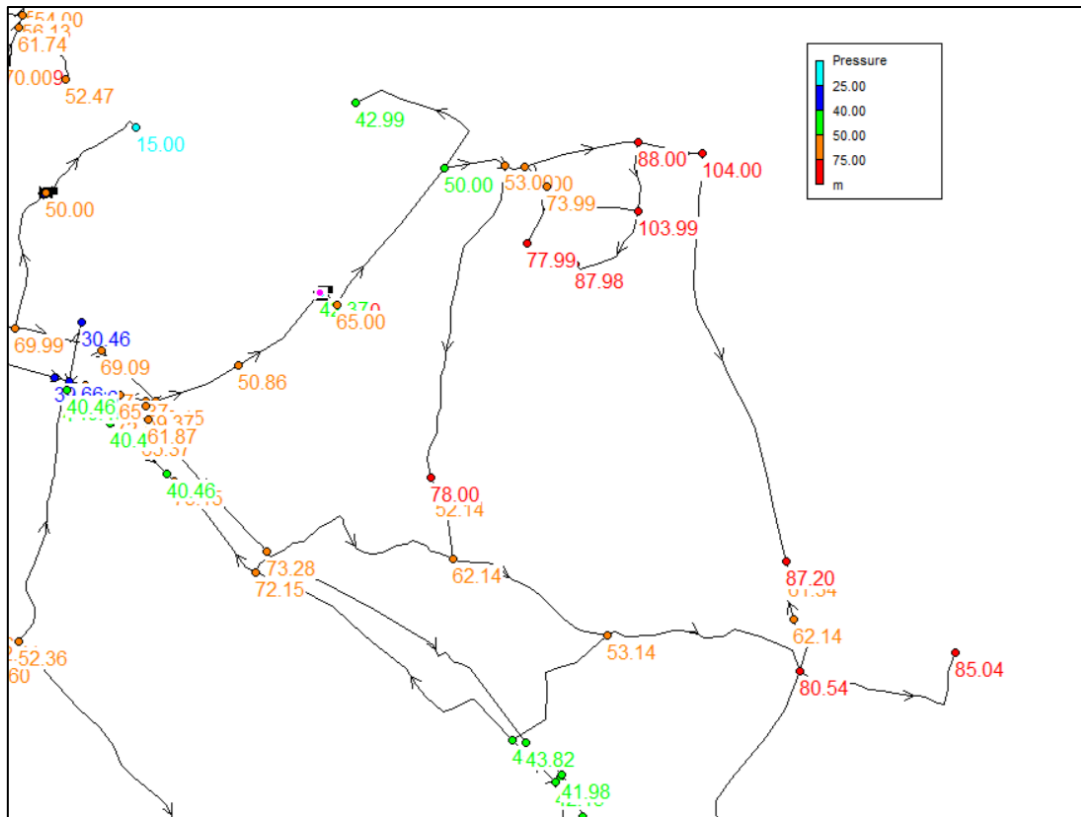
Na slici 15 prikazana je 1. zona prije provedenih mjera unaprjeđenja, dok slika 16 prikazuje istu zonu nakon izvršene prilagodbe frekvencije regulacije na CS (crpna stanica) Rečica, tako da je smanjen izlazni tlak s 90 na 78 mH<sub>2</sub>O .



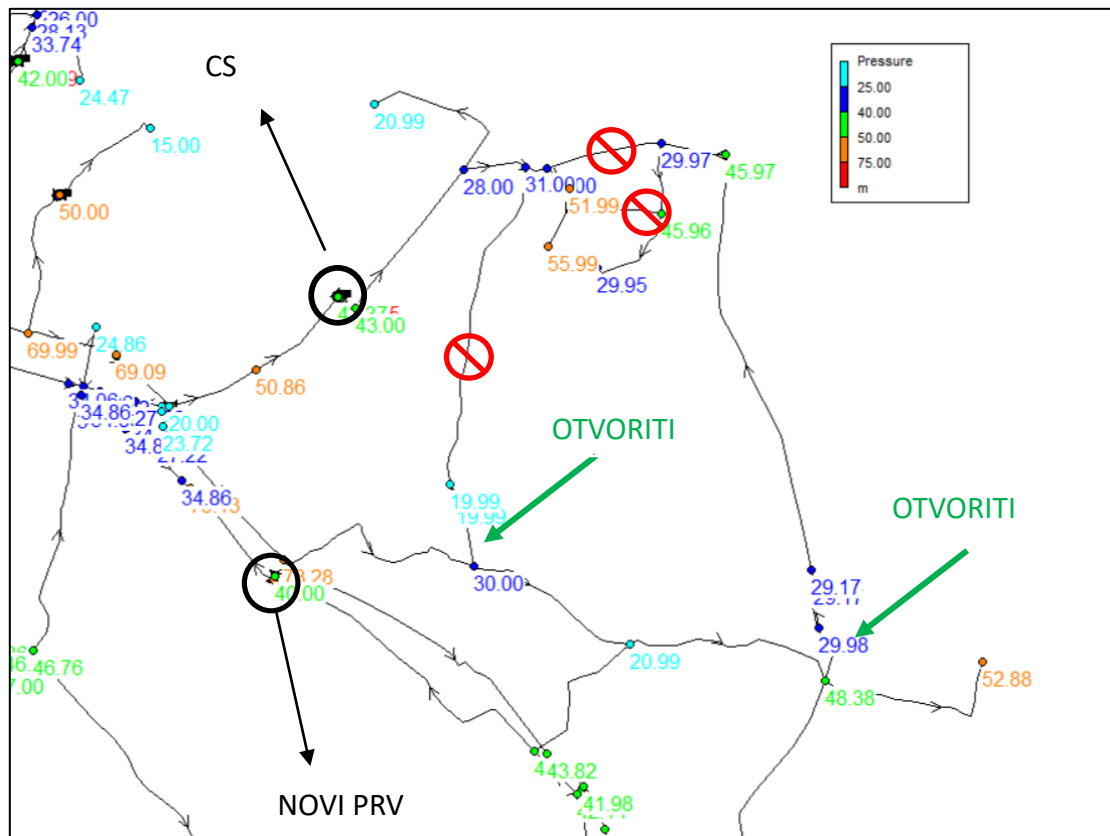
**Slika 15** Prikaz raspodjele tlakova na području 1. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unaprjeđenja



**Slika 16** Prikaz raspodjele tlakova na području 1. zone u planiranom stanju nakon prilagodbe izlazne vrijednosti tlaka u sklopu frekventne regulacije na CS Rečica

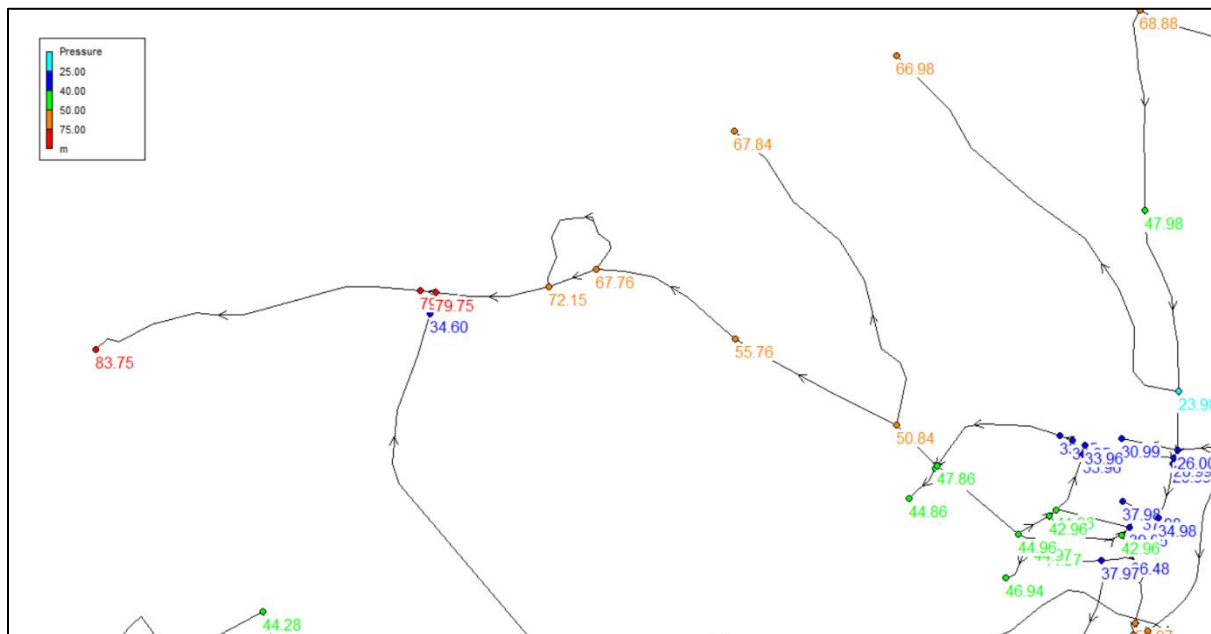


**Slika 17** Prikaz raspodjele tlakova na području 2. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja

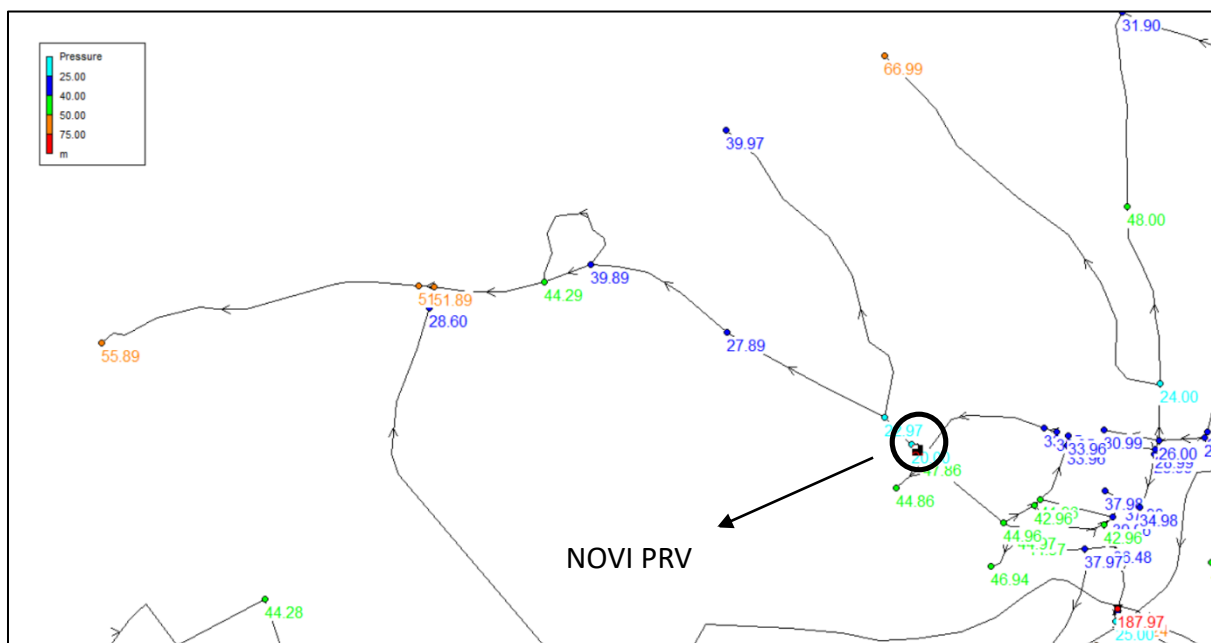


**Slika 18** Prikaz raspodjele tlakova 2. zone nakon provedenih mjera

U 2. zoni, snižen je iznos tlaka na izlazu s postojećih 68 na 46 mH<sub>2</sub>O, postavljen je i novi PRV pod nazivom „Valve 87“ promjera DN 150, i tlaka na izlazu 40 mH<sub>2</sub>O. Odrađeno je i preusmjeravanje toka vode tako što su se određene cijevi otvorile/zatvorile, što je prikazano na slici 18.

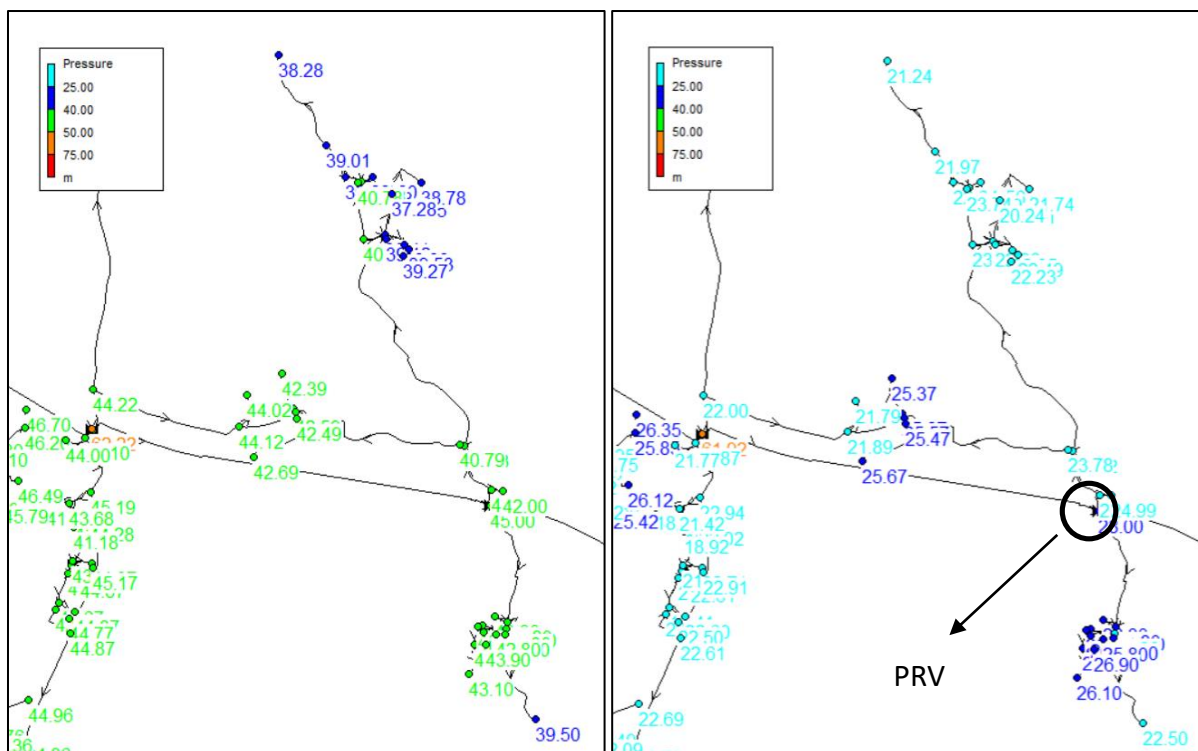


**Slika 19** Prikaz raspodjele tlakova na području 3. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja



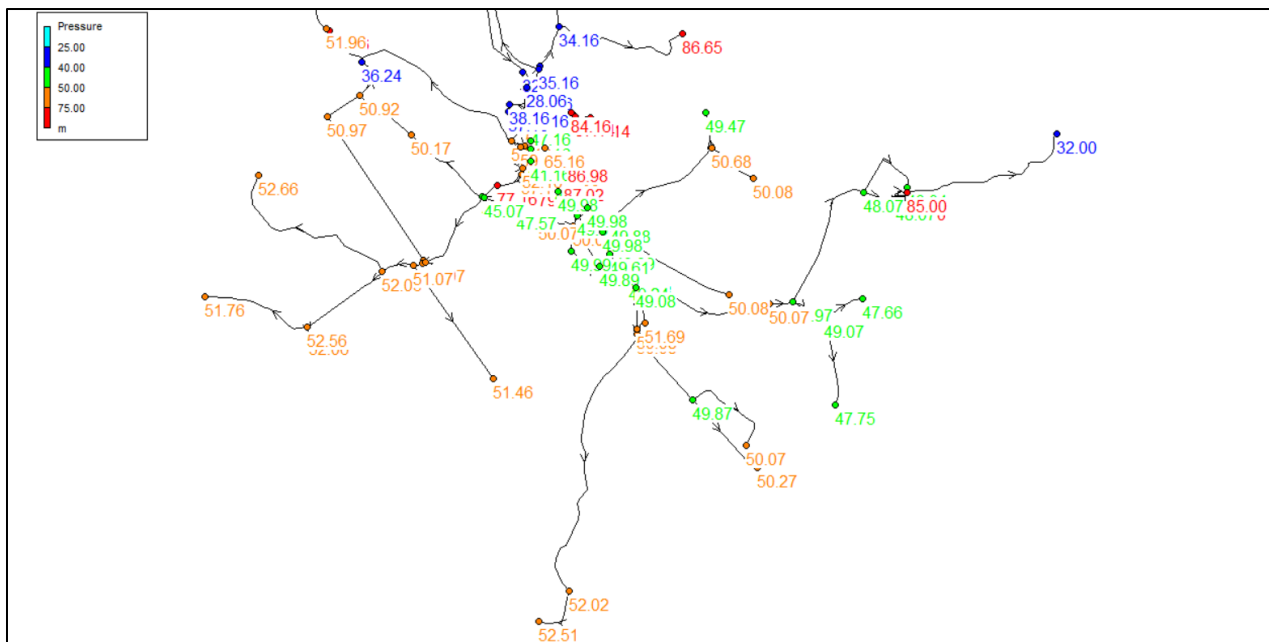
**Slika 20** Prikaz raspodjele tlakova na području 3. zone nakon ugradnje novog PRV-a

U 3. zoni postavljen je novi PRV naziva „Valve 85“, promjera DN 100 i izlaznog tlaka 20 mH<sub>2</sub>O.

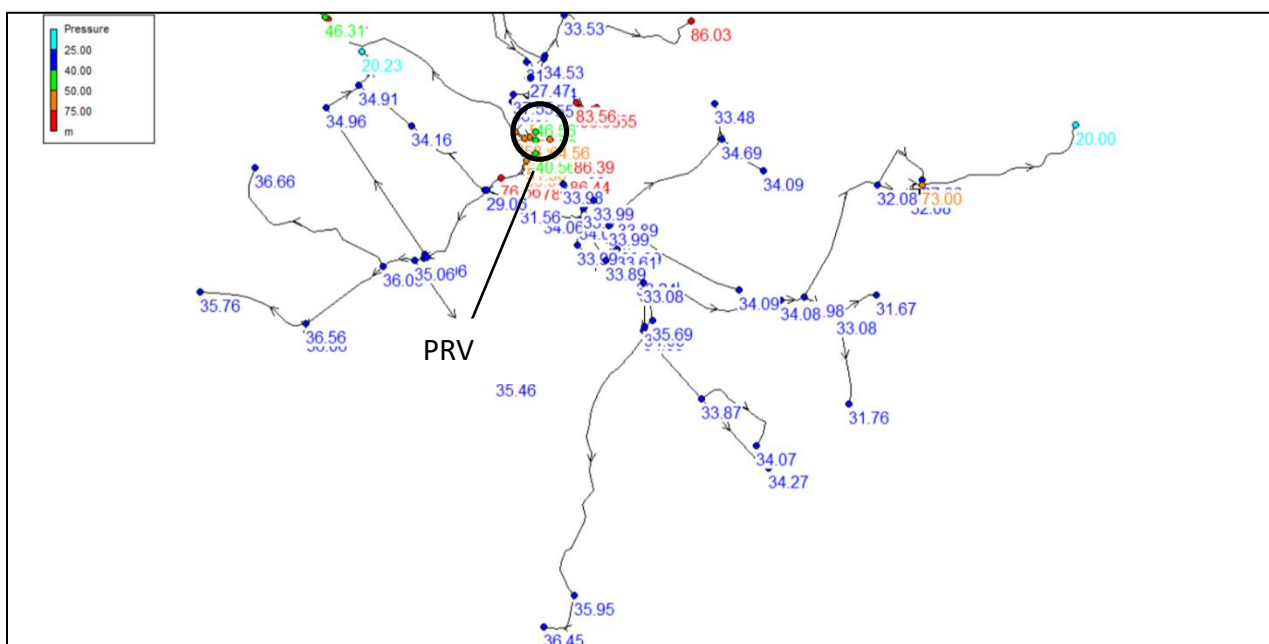


**Slika 21** Prikaz raspodjele tlakova na području 4. zone u planiranom stanju: lijevo – bez dodatnih mjera i desno: uz predloženu mjeru smanjenja izlaznog tlaka na postojećem PRV-u

Na slici 21 prikazana je 4. zona u kojoj je izlaz na postojećem PRV-u smanjen s 45 na 28 mH<sub>2</sub>O.



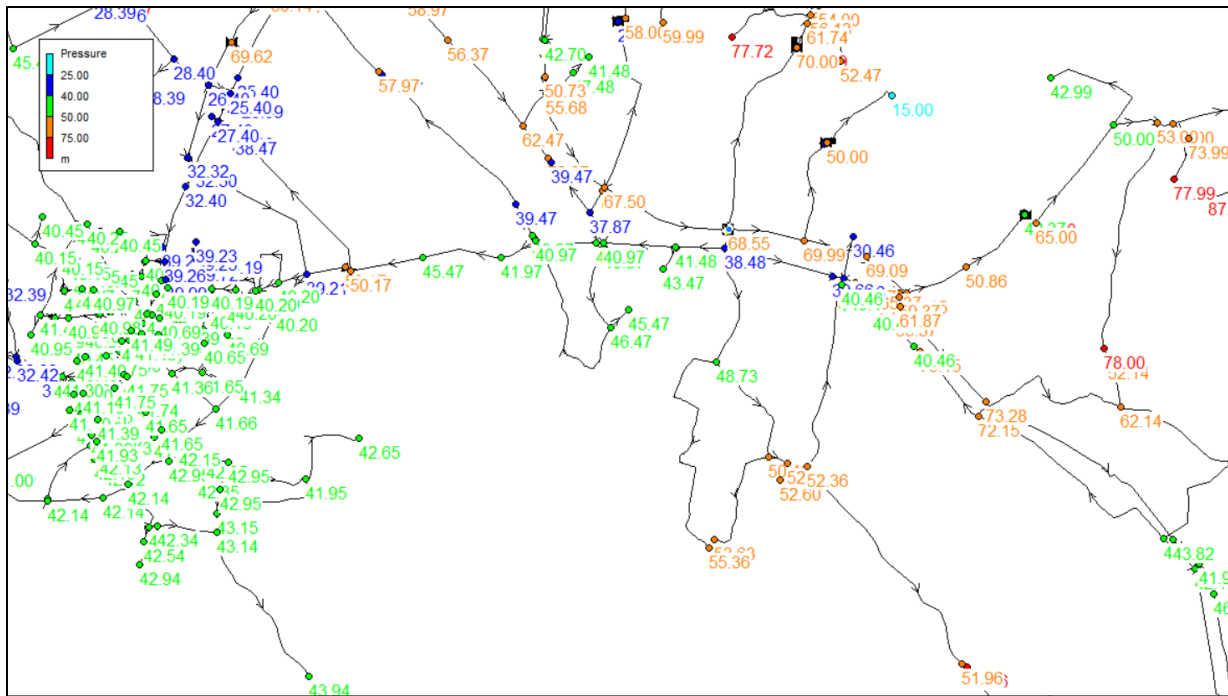
**Slika 22** Prikaz raspodjele tlakova na području 5. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja



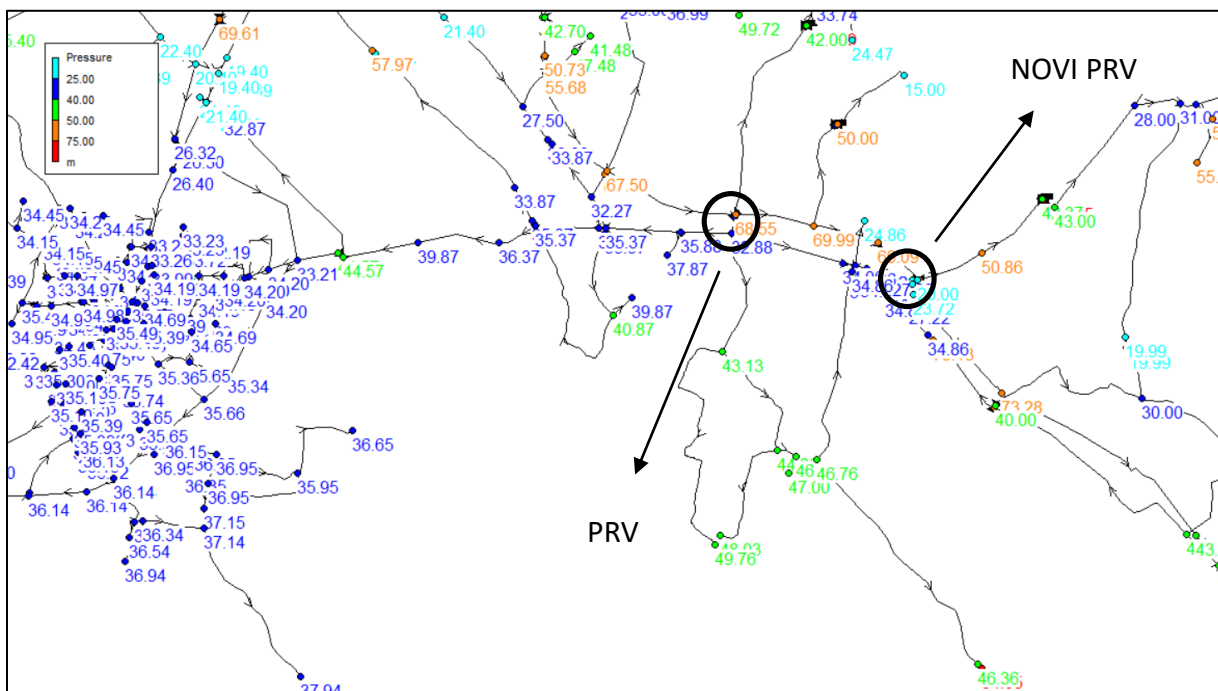
**Slika 23** Prikaz raspodjele tlakova na području 5. zone u planiranom stanju nakon smanjenja izlaznog tlaka na postojećem PRV-u

U 5. zoni izlazna vrijednost tlaka smanjena je s 50 na 34 mH<sub>2</sub>O .



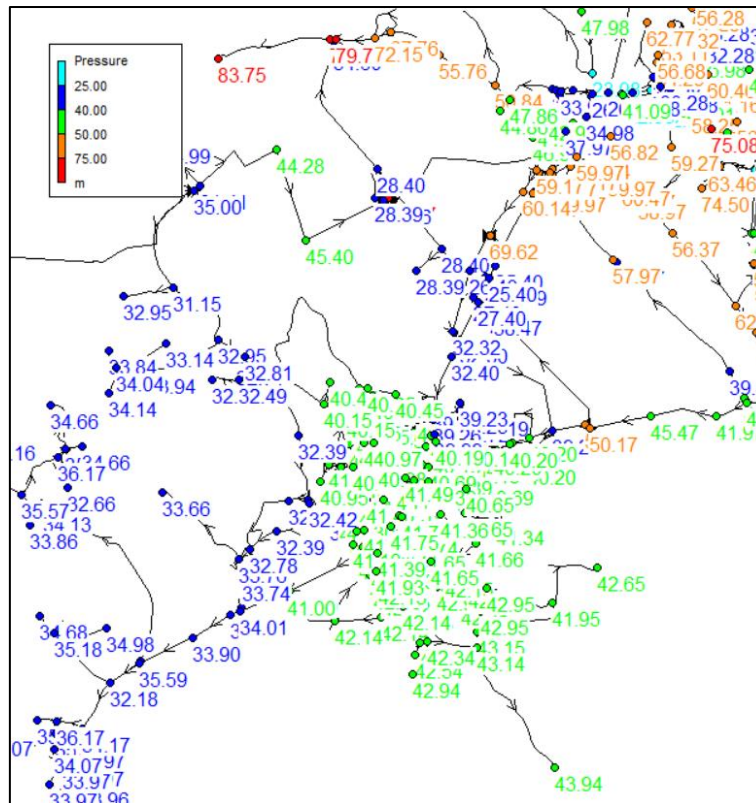


**Slika 24** Prikaz raspodjele tlakova na području 6. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja

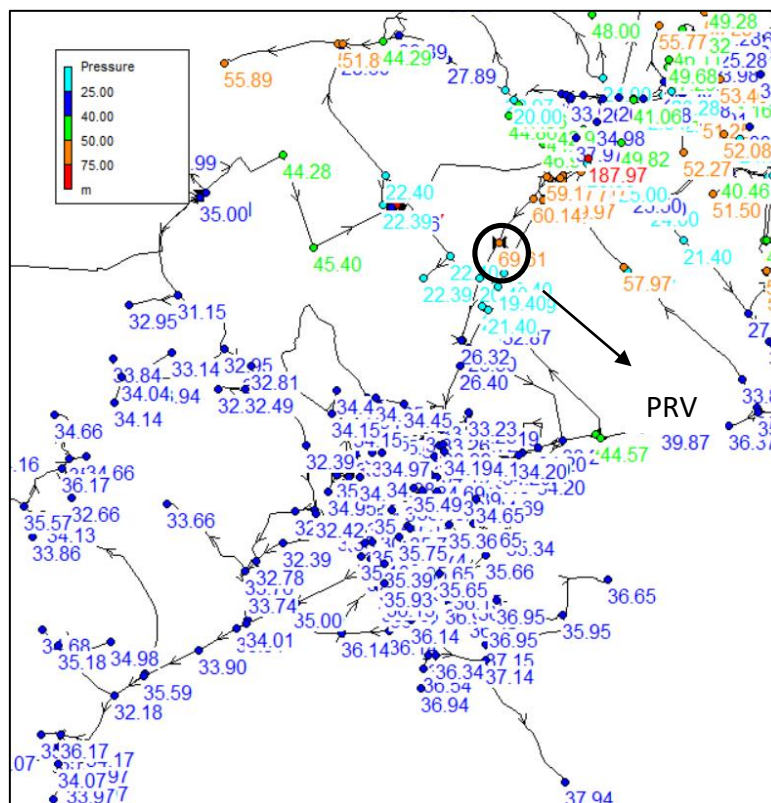


**Slika 25** Prikaz raspodjele tlakova na području 6. zone nakon provedenih mjera

Slika 25 prikazuje 6. zonu u kojoj je na postojećem PRV-u zvanom „Valve 28“ izlazni tlak snižen s 35.6 na 30 mH<sub>2</sub>O . Također je postavljen i novi PRV pod nazivom „Valve 91“ čiji je promjer DN 125, a izlazna vrijednost tlaka 20 mH<sub>2</sub>O .

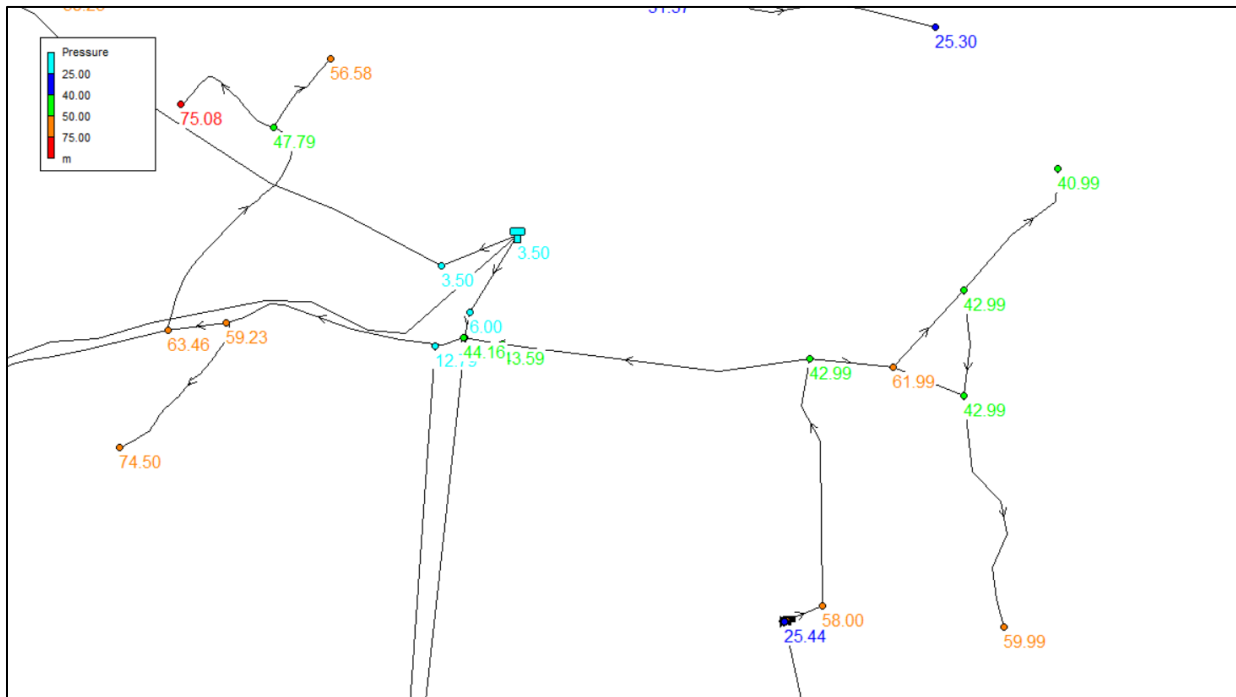


**Slika 26** Prikaz raspodjele tlakova na području 7. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja

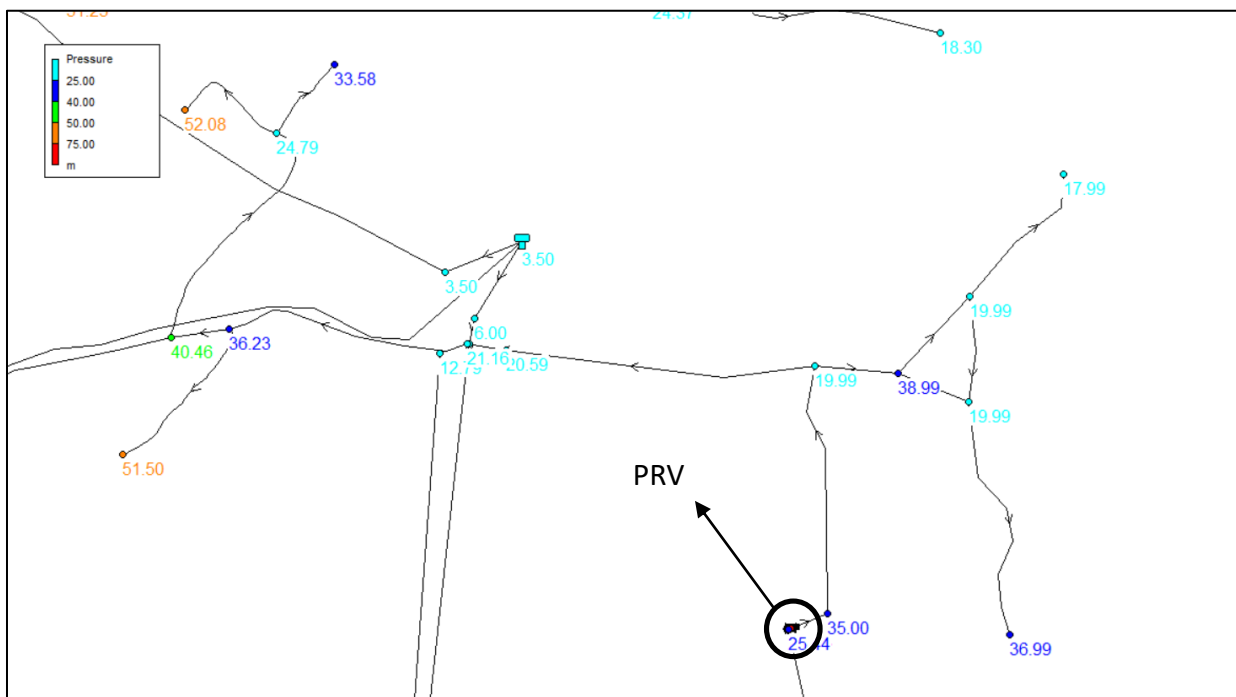


**Slika 27** Prikaz raspodjele tlakova na području 7. zone u planiranom stanju nakon smanjenja tlaka na postojećem PRV-u

U 7. zoni izlazna vrijednost tlaka snižena je s 26 na 20 mH<sub>2</sub>O . na PRV-u pod nazivom „Valve19“.

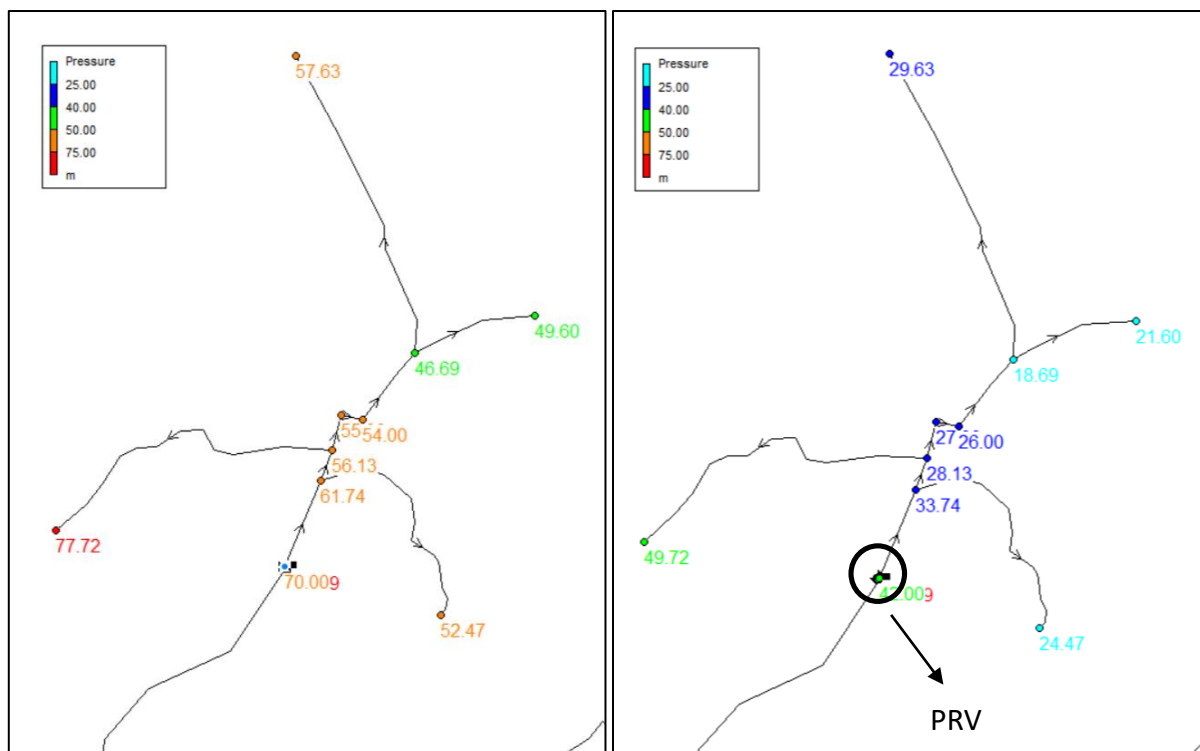


**Slika 28** Prikaz raspodjele tlakova na području 8. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja



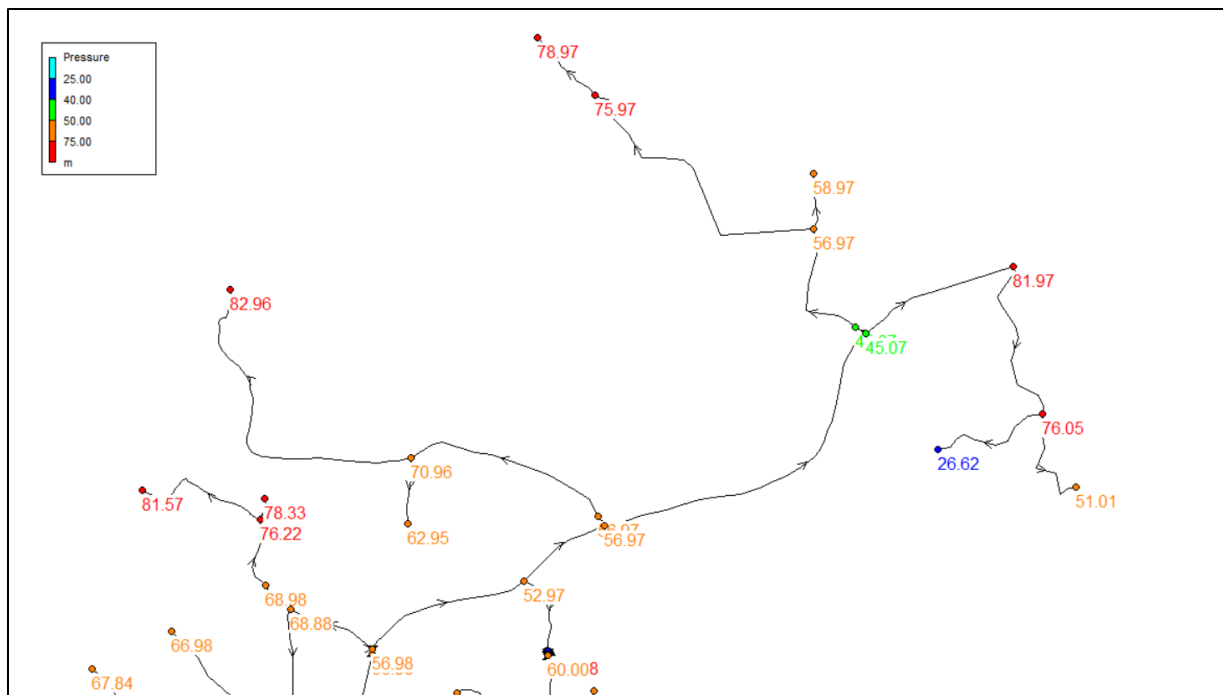
**Slika 29** Prikaz raspodjele tlakova na području 8. zone u planiranom stanju nakon prilagodbe izlazne vrijednosti tlaka u sklopu frekventne regulacije na CS Sobočani

U zoni 8 na postojećem PRV-u snižen je izlazni tlak s 58 na 35 mH<sub>2</sub>O .

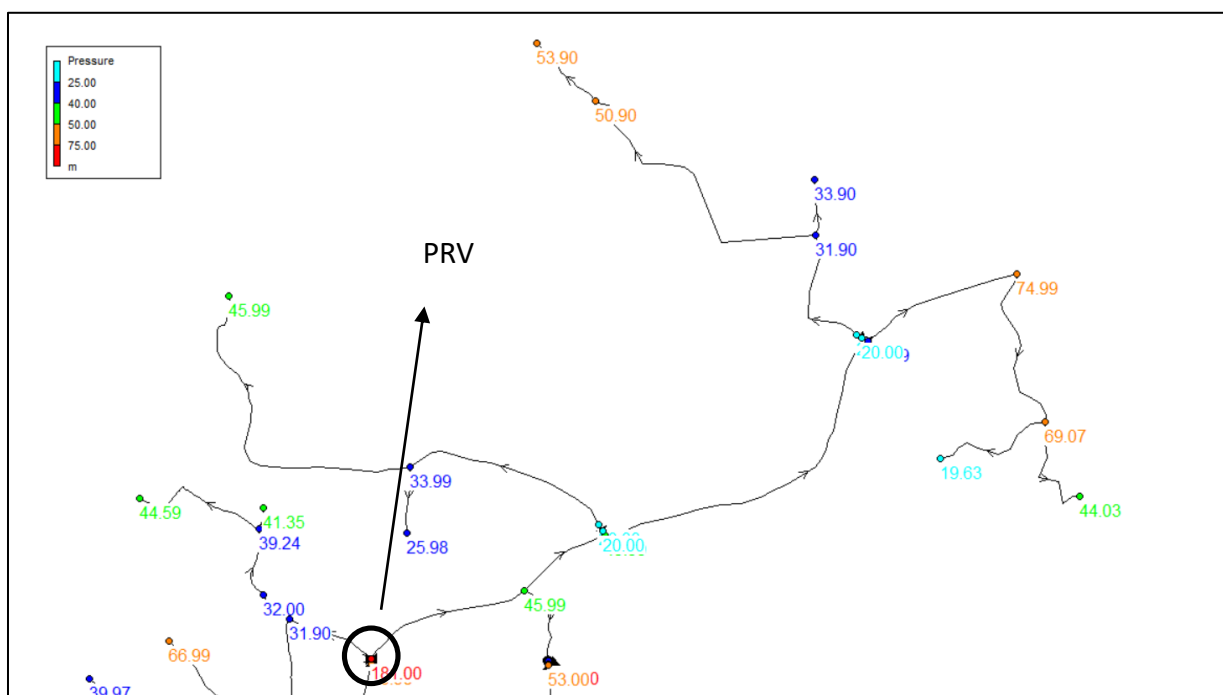


**Slika 30** Prikaz raspodjele tlakova na području 9. zone u planiranom stanju: lijevo – bez dodatnih mjera i desno: uz predloženu mjeru prilagodbe izlazne vrijednosti tlaka u sklopu frekventne regulacije na CS Grabersko brdo

Na području zone 9 provedena je mjera sniženja izlaznog tlaka na postojećem PRV-u „Valve 7“ sa 70 na 42 mH<sub>2</sub>O .

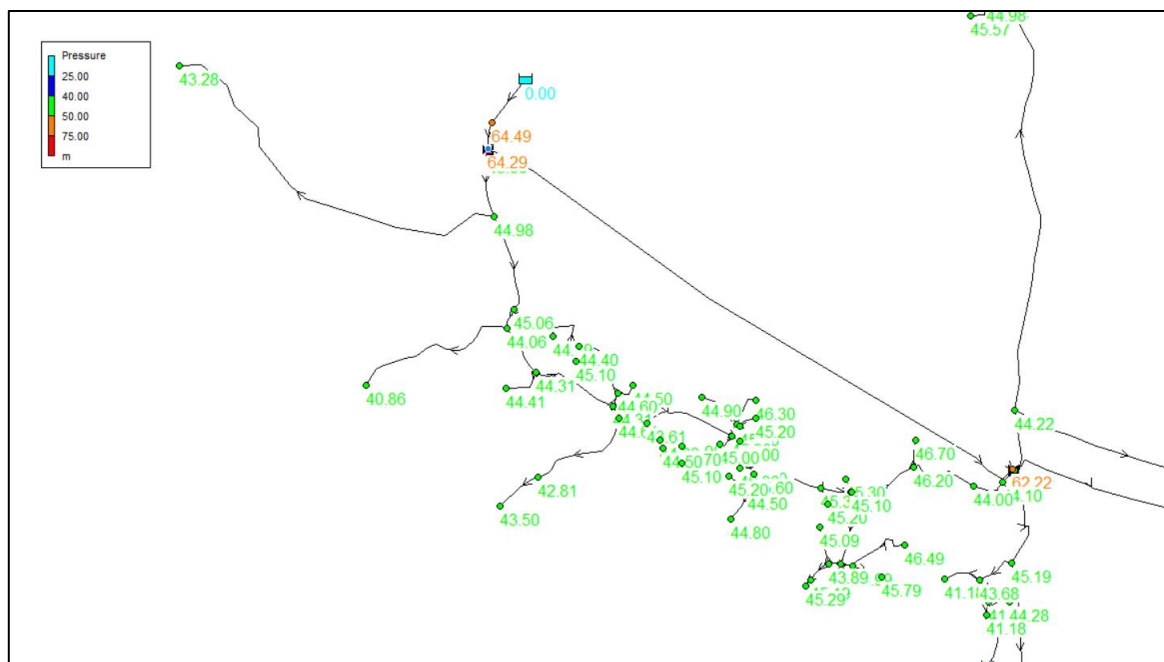


**Slika 31** Prikaz raspodjele tlakova na području 10. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja

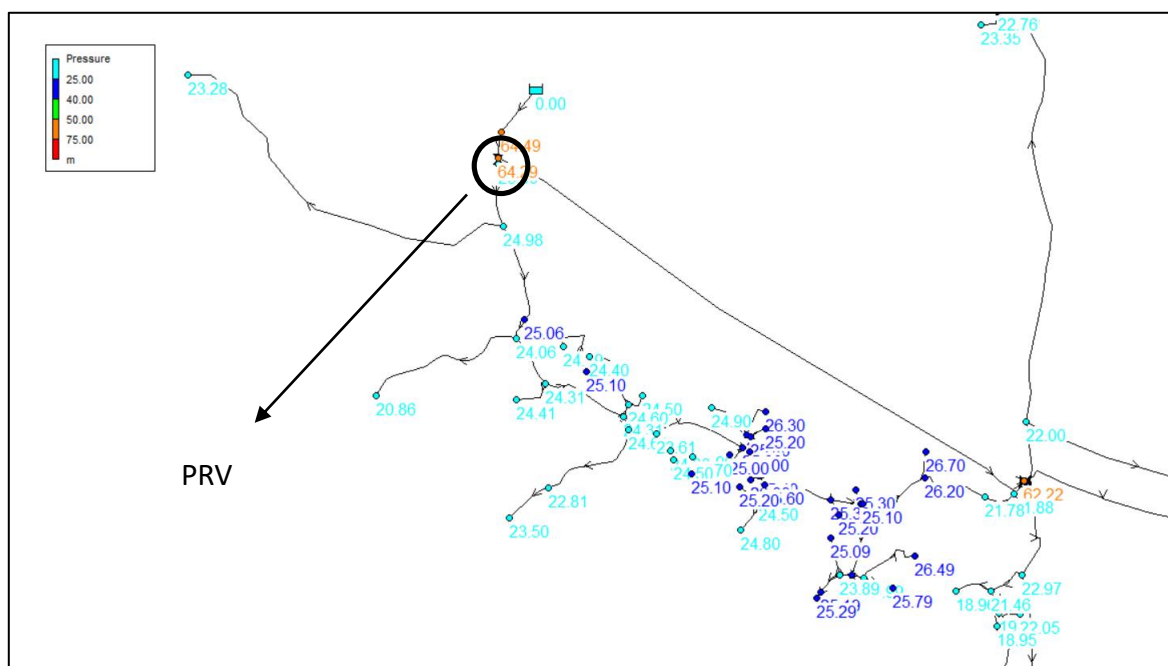


**Slika 32** Prikaz raspodjele tlakova na području 10. zone u pojećem stanju nakon smanjenja tlaka na postojećem PRV-u

Na PRV-u „KLOŠTAR SJEVER“ izlazni tlak snižen je s 58 na 50 mH<sub>2</sub>O .

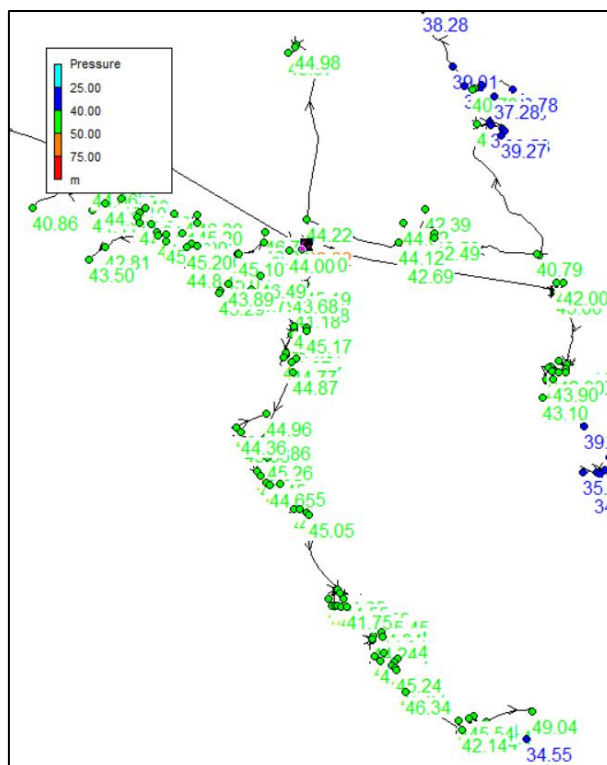


**Slika 33** Prikaz raspodjele tlakova na području 11. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja

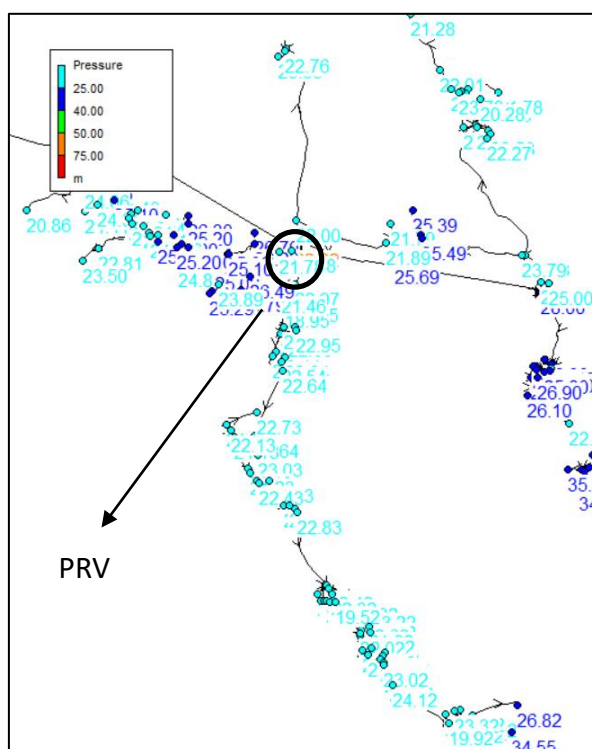


**Slika 34** Prikaz raspodjele tlakova na području 11. zone u planiranom stanju nakon smanjenja izlaznog tlaka na postojećem PRV-u

Slika 34 prikazuje raspodjelu tlakova nakon provedene mjere sniženja tlaka na PRV-u „Valve 64“ s 45 na 25 mH<sub>2</sub>O .



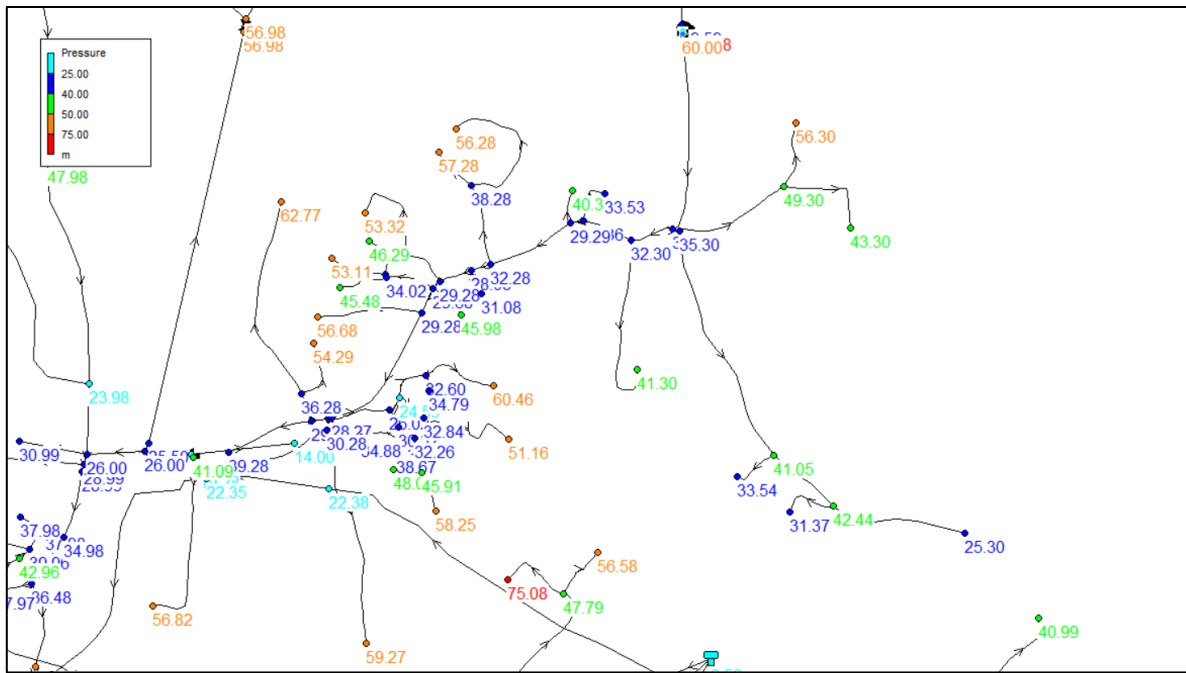
**Slika 35** Prikaz raspodjele tlakova na području 12. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja



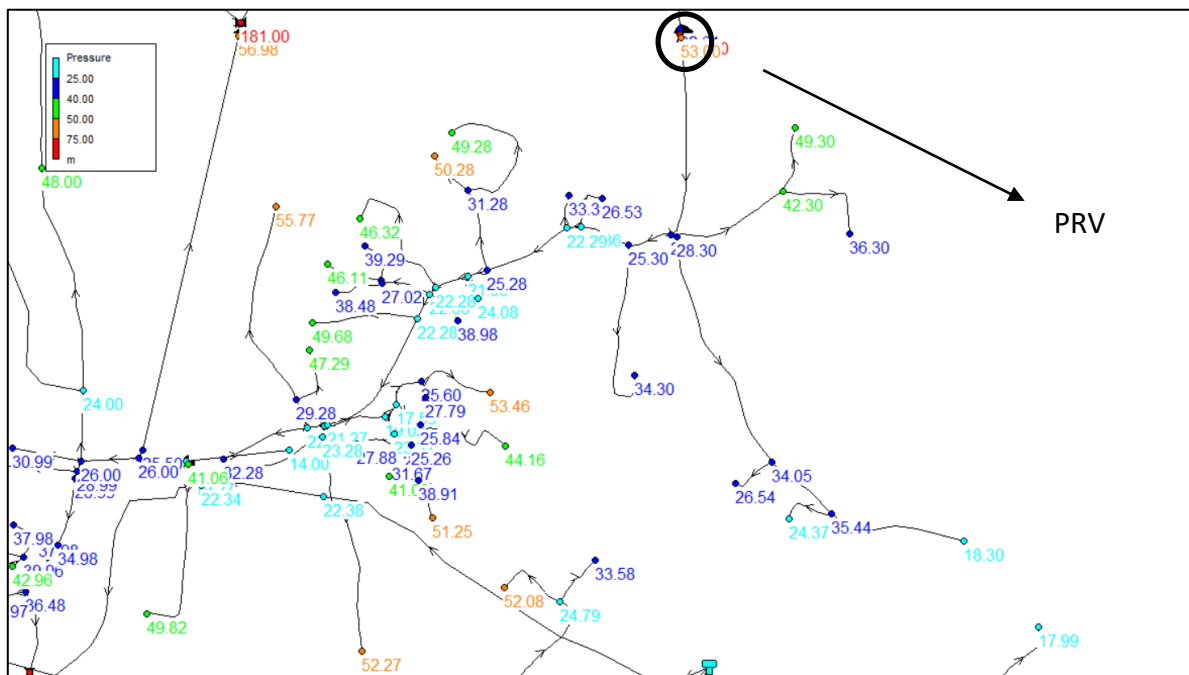
**Slika 36** Prikaz raspodjele tlakova na području 12. zone u planiranom stanju nakon smanjenja izlaznog tlaka na postojećem PRV-u

U zoni 12 zamijenjen je postojeći opružni ventil (PBV) s novim hidrauličkim ventilom (PRV) promjera DN 200, izlaznog tlaka 25 mH<sub>2</sub>O .





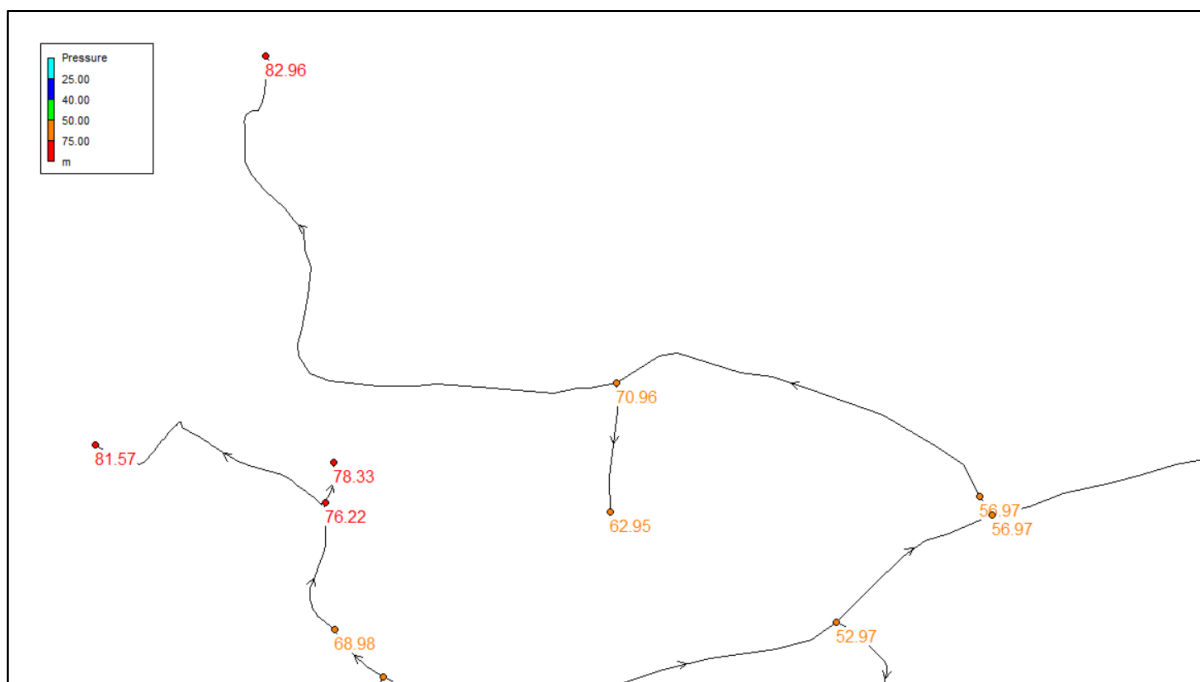
**Slika 37** Prikaz raspodjele tlakova na području 13. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja



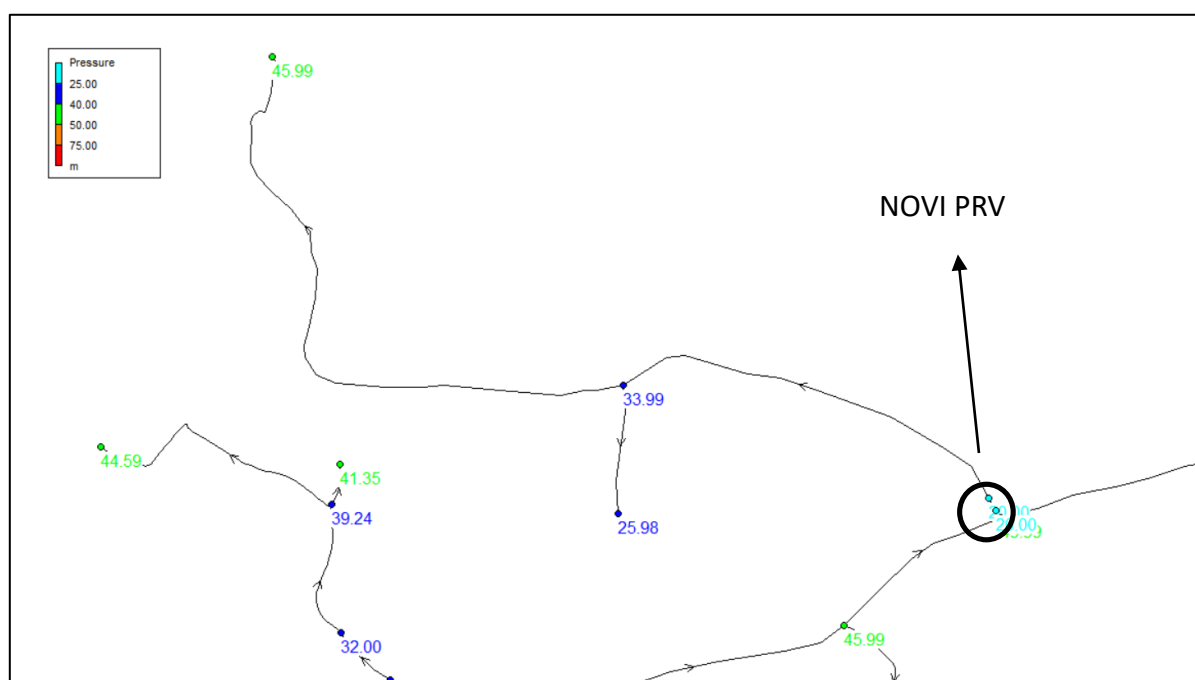
**Slika 38** Prikaz raspodjele tlakova na području 13. zone nakon provedene mjere smanjenja izlaznog tlaka na postojećem PRV-u

U zoni 13 tlak je snižen s 80 na 53 mH<sub>2</sub>O . na postojećem PRV-u „Valve 80“.



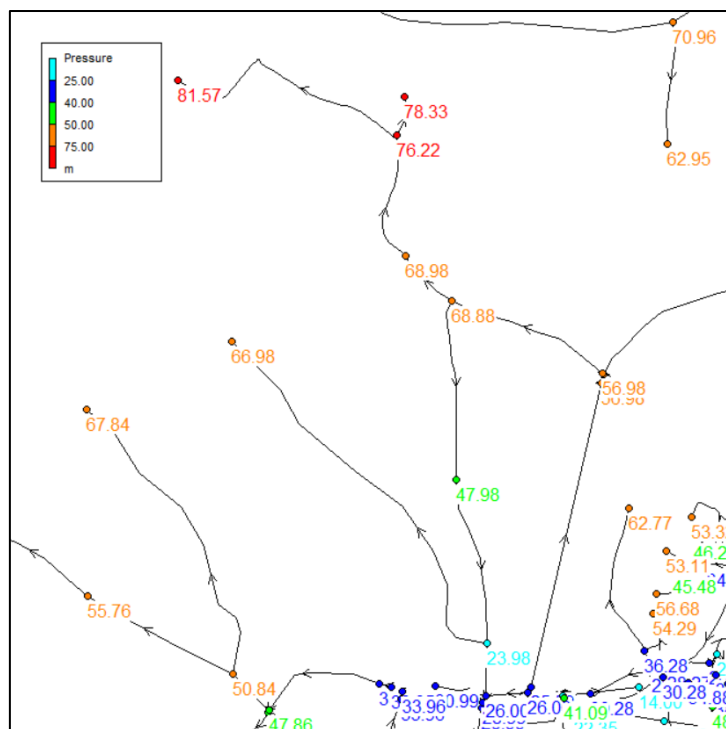


**Slika 39** Prikaz raspodjele tlakova na području 14. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja

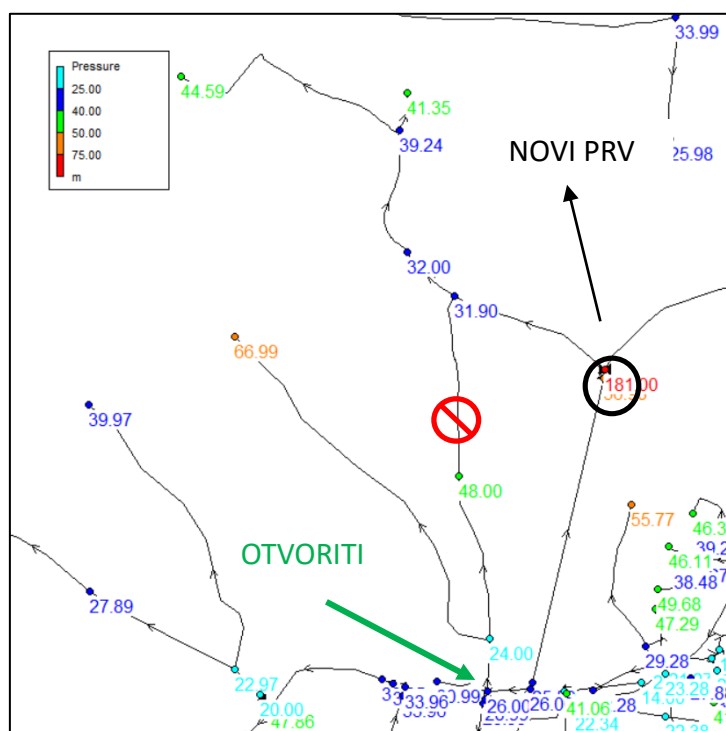


**Slika 40** Prikaz raspodjele tlakova na području 14. zone nakon postavljanja novog PRV-a

Na slici 40 prikazan je novi PRV pod nazivom „Valve 86“ promjera DN 100 izlazne vrijednosti tlaka 20 mH<sub>2</sub>O .

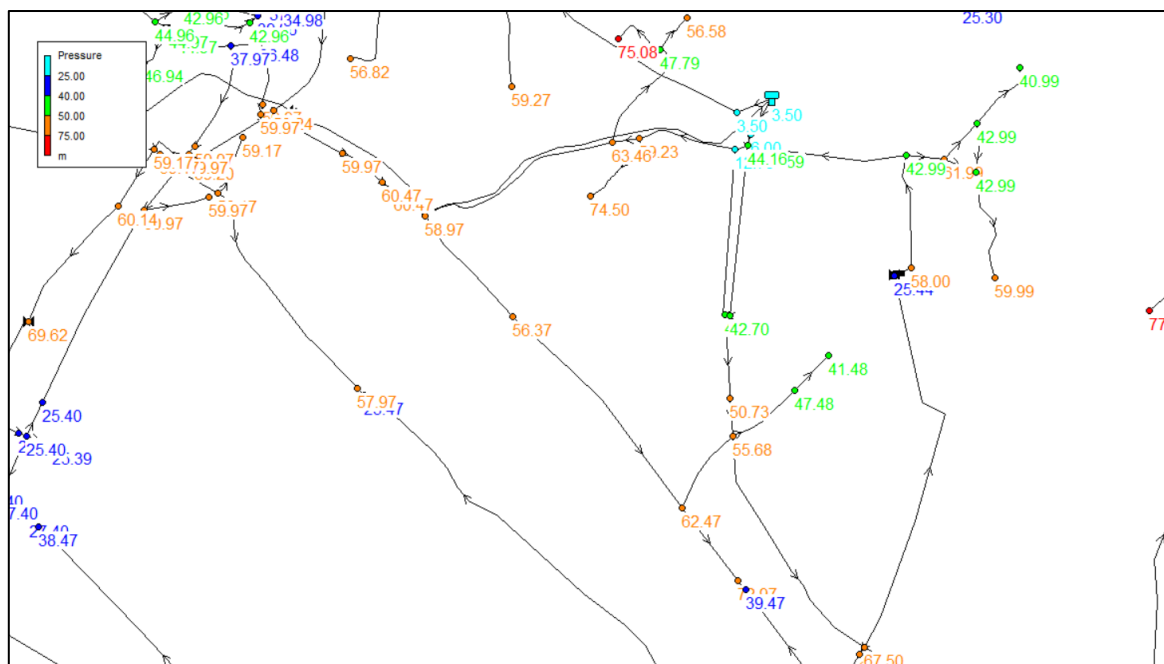


**Slika 41** Prikaz raspodjele tlakova na području 15. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja

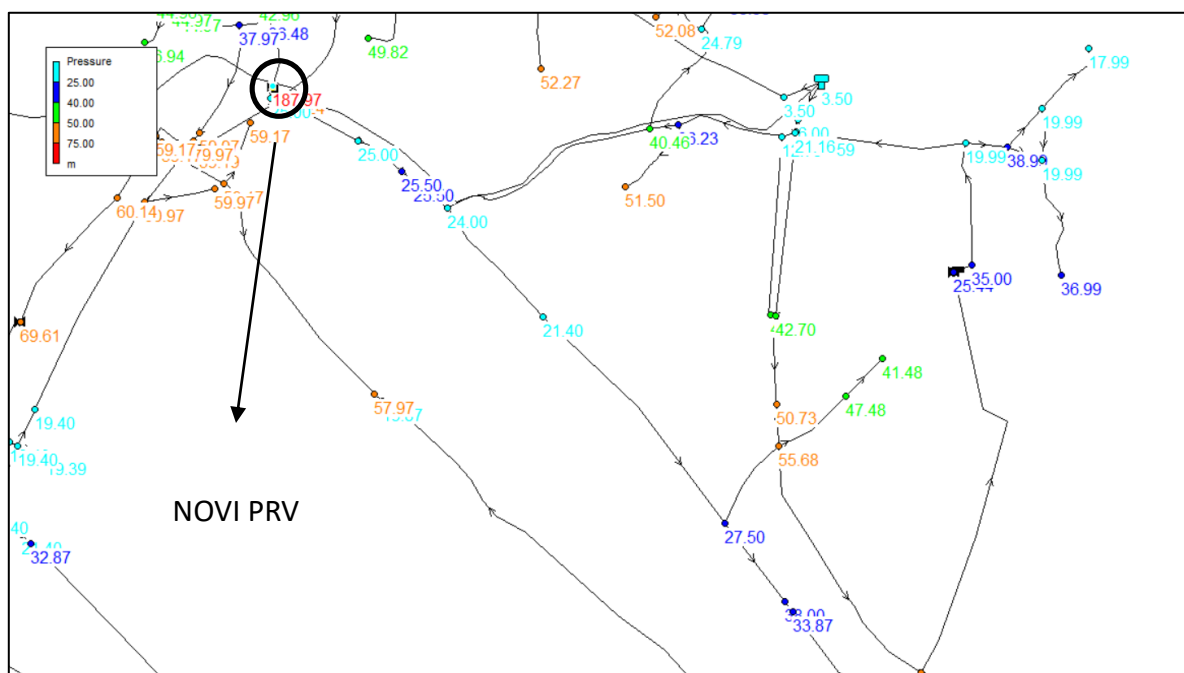


**Slika 42** Prikaz raspodjele tlakova na području 15. zone nakon postavljanja novog PRV-a

U zoni 15 postavljen je novi PRV „Valve 92“ promjera DN 125, izlaznog tlaka 20 mH<sub>2</sub>O .

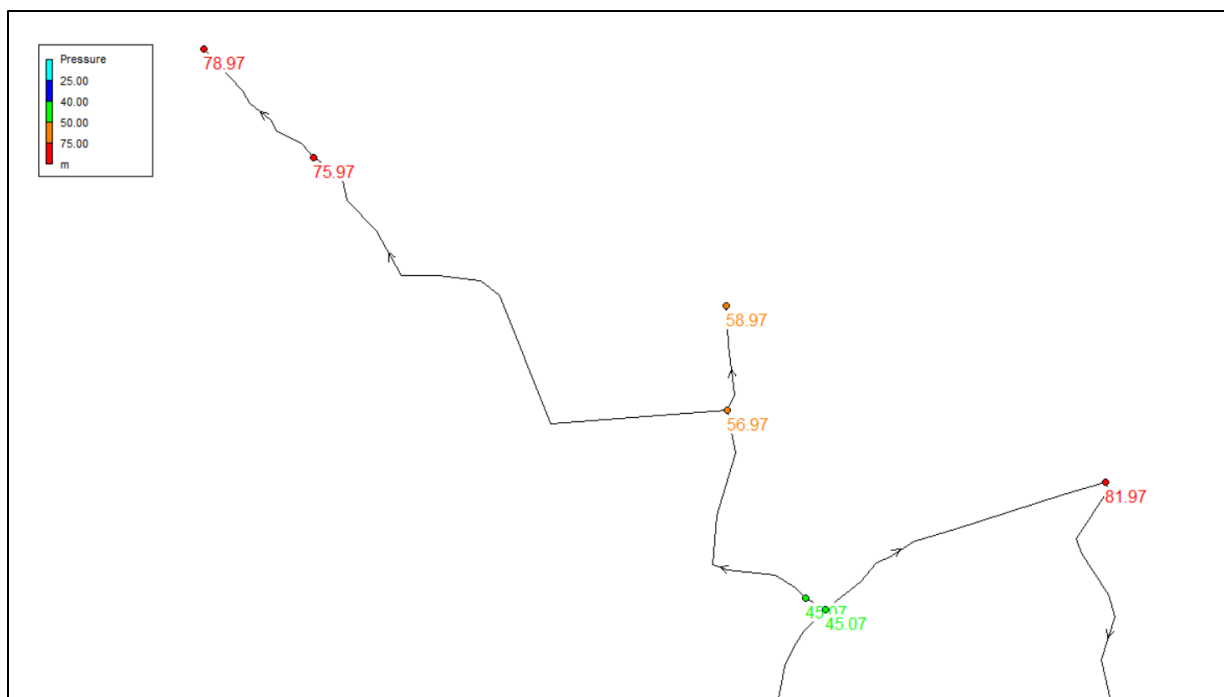


**Slika 43** Prikaz raspodjele tlakova na području 16. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja

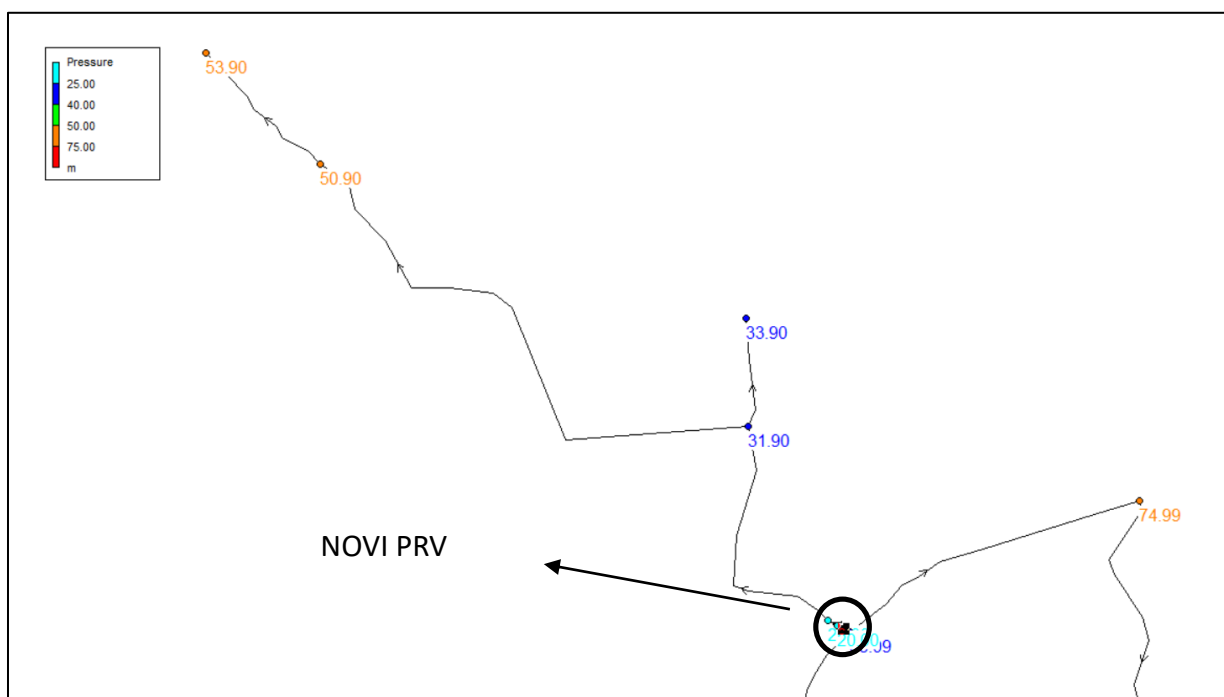


**Slika 44** Prikaz raspodjele tlakova na području 16. zone nakon ugradnje novog PRV-a

U 16. zoni postavljen je novi PRV „Valve 95“ promjera DN 100 izlaznog tlaka 25 mH<sub>2</sub>O .



**Slika 45** Prikaz raspodjele tlakova na području 17. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja



**Slika 46** Prikaz raspodjele tlakova na području 17. zone nakon ugradnje novog PRV-a

U 17. zoni postavljen je novi PRV „Valve 96“ promjera DN 125, izlaznog tlaka 20 mH<sub>2</sub>O .

#### 4.4. Analiza vodnih gubitaka nakon provedenih mjera unaprjeđenja

##### 4.4.1. Vodni gubici nakon provedenih mjera

Provedene mjere rezultirale su značajnim smanjenjem prosječnih tlakova po zonama, što je posljedično dovelo i do smanjenja srednjih dnevnih gubitaka vode u tim zonama.

**Tablica 3** Prikaz mjerenih podataka nakon provedenih mjera

Naziv DMA zona	Srednji dnevni gubitak prije [l/s]	Prosječni tlak u zoni prije [mH <sub>2</sub> O]	Prosječni tlak u zoni prije [bar]	Prosječni tlak u zoni nakon mjera [m H <sub>2</sub> O]	Prosječni tlak u zoni nakon mjera [bar]	N <sub>1</sub>	Srednji dnevni gubitak nakon mjera [l/s]
Zona 1	0.03350	69.00	6.77	57.00	5.59	1.5	0.025154
Zona 2	0.06700	72.02	7.07	36.57	3.59	1.5	0.024248
Zona 2a	0.12563	78.18	7.67	33.74	3.31	1.5	0.035622
Zona 3	0.07538	67.27	6.60	38.30	3.76	1.5	0.032380
Zona 4	0.38527	40.97	4.02	24.20	2.37	1.5	0.174909
Zona 5	0.57062	49.09	4.82	34.22	3.36	1.5	0.332154
Zona 6	0.37690	53.67	5.27	38.13	3.74	1.5	0.225743
Zona 7	2.52638	38.21	3.75	32.43	3.18	1.5	1.974950
Zona 8	0.15076	54.23	5.32	31.67	3.11	1.5	0.067298
Zona 9	0.09213	58.10	5.70	30.10	2.95	1.5	0.034347
Zona 10	0.11726	64.24	6.30	54.87	5.38	1.5	0.092567
Zona 11	0.43553	44.89	4.41	24.56	2.41	1.5	0.176222
Zona 12	0.74542	44.49	4.37	21.98	2.16	1.5	0.258860
Zona 13	0.49416	41.23	4.05	32.49	3.19	1.5	0.345755
Zona 14	0.04188	66.16	6.49	31.49	3.09	1.5	0.013749
Zona 15	0.10051	64.26	6.31	26.11	2.56	1.5	0.026027
Zona 16	0.07538	54.60	5.36	34.84	3.42	1.5	0.038426
Zona 17	0.05025	61.29	6.01	26.48	2.60	1.5	0.014273

Iz tablice 3 vidljivo je da su prosječni tlakovi nakon provedenih mjera niži od prethodnih, te prosjek tlakova svih zona sada iznosi 3.04 bara, što je i dalje veće od propisanih 2.5 bara, ali je smanjeno za gotovo 35%. Ukupni srednji dnevni gubitak nakon mjera iznosi 3.89 [l/s], odnosno 40% manje od početnog iznosa. Za izračun vodnih gubitaka nakon provedenih mjera, potrebno je odrediti „N<sub>1</sub>“ eksponent, koji ovisi o materijalu cijevi. U ovom sustavu korištene su dominantno plastične „PVC“ i „PEHD“ cijevi, što određuje da je vrijednost N<sub>1</sub> eksponenta 1.5. Nadalje za proračun vodnih gubitaka nakon mjera korištena je „FAVAD“ (*engl. Fixed and Variable Area Discharges*) metoda.

Ova metoda opisuje utjecaj promjene tlaka na promjenu istjecanja vode, a izraz za nju glasi:

$$L_2 = L_1 * \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{N_1}$$

gdje je:  $L_2$ - srednji dnevni vodni gubici nakon provedenih mjera [l/s]

$L_1$ - srednji dnevni vodni gubici nakon provedenih mjera [l/s]

$P_1$ - prosječni tlak u zoni prije mjera [m H<sub>2</sub>O]

$P_2$ - prosječni tlak u zoni nakon mjera [m H<sub>2</sub>O]

$N_1$ -  $N_1$  eksponent ( koeficijent materijala)

#### 4.4.2. Proračun „ILI“ pokazatelja

Kako je prethodno navedeno ILI pokazatelj je pouzdan način prikazivanja uspješnosti rješavanja prekomjernih stvarnih vodnih gubitaka vode unutar sustava. Da bi se dobila njegova vrijednost potrebno je izračunati količinu stvarnih gubitaka koja uključuje i utjecaj hidrodinamičkog tlaka unutar vodoopskrbne mreže, odnosno vrijednost UARL, koja se računa prema izrazu:

$$UARL = (18 * L_m + 0.8 * N_c + 25 * L_p) * P$$

gdje je:  $L_m$ - duljina cjevovodne mreže [km]

$N_c$ - broj kućnih priključaka [1]

$L_p$ - ukupna duljina cjevovodne mreže kućnih priključaka - od uličnog voda do vodomjera [km]

$P$ - prosječni tlak u zoni [m H<sub>2</sub>O]

Trenutni godišnji stvarni gubici CARL, dobiveni su analizom podataka iz modela nakon provedenih svih mjera. Omjer CARL-a i UARL-a predstavlja vrijednost ILI pokazatelja. Rezultati su prikazani u tablici ispod.

**Tablica 4** Izračunate vrijednosti ILI pokazatelja po zonama

Naziv DMA zone	Uk. broj priključaka [-]	Uk. duljina cjevovoda [km]	CARL [m <sup>3</sup> /h]	UARL [m <sup>3</sup> /h]	Potencijal uštede [m <sup>3</sup> /h]	ILI prije [-]	CARL nakon mjera [m <sup>3</sup> /h]	UARL nakon mjera [m <sup>3</sup> /h]	ILI nakon mjera [-]
Zona 1	22	3.3	0.12	0.02	0.10	5.4	0.09	0.02	4.9
Zona 2	25	2.50	0.24	0.02	0.22	12.2	0.09	0.01	8.7
Zona 2a	110	12.02	0.45	0.10	0.35	4.5	0.13	0.04	3.0
Zona 3	152	6.50	0.27	0.07	0.20	3.9	0.12	0.04	3.0
Zona 4	618	25.65	1.39	0.17	1.22	8.3	0.63	0.10	6.3
Zona 5	986	45.65	2.05	0.34	1.72	6.1	1.20	0.24	5.1
Zona 6	886	28.53	1.36	0.28	1.07	4.8	0.81	0.20	4.0
Zona 7	3438	52.18	9.09	0.62	8.48	14.7	7.11	0.52	13.6
Zona 8	64	4.60	0.54	0.03	0.51	17.6	0.24	0.02	13.5
Zona 9	22	3.85	0.33	0.02	0.31	15.8	0.12	0.01	11.3
Zona 10	184	10.47	0.42	0.09	0.33	4.6	0.33	0.08	4.3
Zona 11	1137	39.25	1.57	0.31	1.26	5.0	0.63	0.17	3.7
Zona 12	674	49.52	2.68	0.27	2.41	10.0	0.93	0.13	7.0
Zona 13	246	13.05	1.78	0.08	1.70	23.4	1.24	0.06	20.8
Zona 14	62	4.82	0.15	0.04	0.11	4.0	0.05	0.02	2.7
Zona 15	30	2.79	0.36	0.02	0.34	18.0	0.09	0.01	11.5
Zona 16	381	2.50	0.27	0.08	0.19	3.2	0.14	0.05	2.6
Zona 17	31	4.73	0.18	0.03	0.15	6.4	0.05	0.01	4.2

Prosječan ILI pokazatelj prije optimizacije sustava iznosio je 8.6, dok prosječna vrijednost nakon provedenih mjera iznosi 8.4. Manja vrijednost ILI pokazatelja određuje bolje upravljanje sustavom što je ovdje postignuto. Prema tablici 5 koja prikazuje kategorije kontrole stvarnih gubitaka prema vrijednosti ILI pokazatelja, dobivena vrijednost nalazi se u kategoriji slabe kontrole do jako neučinkovite upotrebe resursa. Razlog tomu je što izračun ILI pokazatelja zahtijeva prikupljanje opsežnog seta terenskih podataka koji uključuje podatke o potrošnji, tlaku u mreži, gubicima vode i druge relevantne informacije. Pritom se napominje da se ovdje prikazani prosječni (ukupni) ILI koeficijent ne odnosi na cjelokupni sustav, već samo na mjerama obuhvaćene DMA zone (dakle onaj najproblematičniji dio sustava u kojem je i bila osnovna intencija poboljšati stanje).

**Tablica 5** Kategorizacija ILI indikatora prema Institutu Svjetske banke (Halkijević i Vouk, 2022.)

Zemlje u razvoju i nerazvijene zemlje	Razvijene zemlje	Opći opisi kategorija kontrole stvarnih gubitaka za razvijene zemlje i zemlje u razvoju
<i>ILI raspon</i>	<i>ILI raspon</i>	
manje od 4	manje od 2	Daljnje smanjenje gubitaka možda će biti ekonomski neopravdano osim u slučaju nestašice vode; potrebna je precizna analiza da bi se utvrdila financijski najisplativija poboljšanja
4 do 8	2 do 4	Mogućnosti za navedena poboljšanja; razmisliti o kontroli tlaka, boljoj aktivnoj kontroli curenja i boljem upravljanju i održavanju sustava
8 do 16	4 do 8	Slaba kontrola gubitaka; može se tolerirati jedino ako je voda jeftinija i ima je u izobilju; čak i u tom slučaju analizirati veličinu i prirodu gubitaka te povećati nastojanja za smanjenje gubitaka
16 ili više	8 ili više	Jako neučinkovita upotreba resursa, programi smanjenja gubitaka su neophodni i trebali bi biti prioriteta

Mnogi javni isporučitelji vodnih usluga u Hrvatskoj nemaju sve potrebne podatke, zbog nedostatka modernih mjernih instrumenata, ograničenja u prikupljanju podataka ili nedostatka resursa za održavanje i ažuriranje sustava za prikupljanje podataka. Projekti analize vodnih gubitaka često ne osiguravaju sredstva za prikupljanje svih potrebnih podataka. Troškovi instalacije novih mjernih uređaja, obuke osoblja i analize podataka mogu biti visoki, pa mnogi isporučitelji vodnih usluga nisu u mogućnosti uložiti potrebna sredstva u ove aktivnosti. To može rezultirati nedostatkom informacija potrebnih za točan izračun ILI pokazatelja. Čak i kada su podaci dostupni, njihovo pravilno prikupljanje i analiza mogu biti složeni, zahtijevajući specijaliziranu opremu i stručnost. Ove poteškoće često vode do toga da se ILI pokazatelj u praksi zanemaruje u korist jednostavnijih i izvedivijih metoda za kvantificiranje uspješnosti upravljanja vodnim gubicima.

Iako ILI pokazatelj predstavlja vrijedan alat u teoriji, njegova primjena u Hrvatskoj suočava se s izazovima zbog ograničenih podataka i financijskih resursa. Stoga, ILI pokazatelj ne bi trebao biti jedini kriterij za donošenje odluka u definiranju rješenja za optimizaciju vodoopskrbnih sustava.



#### 4.4.3. Proširena bilanca vode prema IWA metodologiji

IWA metodologija koristi proširenu bilancu vode kao sveobuhvatan alat za precizno praćenje i analizu upravljanja vodnim gubicima u vodoopskrbnim sustavima. Standardna bilanca vode oslanja se na osnovne komponente kao što su "Dobavljena voda" i "Fakturirana ovlaštena potrošnja," koje se preuzimaju iz očevidnika bilance vode (SOV - Sustav očevidnika voda, baza podataka Hrvatskih voda) i koje JIVU-i sami popunjavaju. Međutim, iako je standardna bilanca korisna za osnovno razumijevanje potrošnje i gubitaka, ona ne uključuje sve relevantne komponente, što može dovesti do netočnih izračuna i interpretacija neprihodovane vode. U standardnoj bilanci vode, komponente poput "Dobavljene vode" i "Fakturirane ovlaštene potrošnje" nisu dovoljno jasno definirane niti precizno računane. Pojam "Dobavljena voda" nije uvijek potpuno razumljiv, a način njezinog izračuna može se razlikovati među JIVU-ima. Također, u standardnoj bilanci izostavljena je komponenta "Isporučene vode drugim JIVU-ima." To može biti problematično za JIVU-e koji isporučuju vodu drugima, jer izostavljanje ove komponente rezultira nepravilnim obračunom neprihodovane vode, što može prikazati netočnu količinu gubitaka u sustavu. Naime, neki JIVU-i su neprihodovanu vodu pogrešno računali kao razliku između "Količine vode koja ulazi u sustav" i "Prihodovane vode," čime se isporučena voda drugom JIVU-u nepravilno uključivala u neprihodovanu vodu. Takav izračun može dovesti do netočnih prikaza stvarnih gubitaka vode i pritiska unutar sustava, što onemogućava učinkovito upravljanje i pravilno donošenje odluka (NAPSG, 2024).

Proširena bilanca vode eliminira ove nedostatke pružajući jasniju strukturu komponenti bilance. Njome su obuhvaćene sve ključne komponente, kao što su "Količina vode iz vlastitih izvora," "Preuzeta voda od drugih JIVU-a," "Isporučena voda drugim JIVU-ima" i "Fakturirana ovlaštena potrošnja." Ove informacije preuzimaju se iz očevidnika SOV baze i popunjavaju ih sami JIVU-i, omogućavajući standardiziranu, točniju analizu. Proširena bilanca jasno definira svaku komponentu, smanjujući mogućnost pogrešnih interpretacija i minimizirajući rizik od grešaka u izračunu. Analizom proširene bilance jasno se vidi da se "Količina vode koja ulazi u sustav" računa kao zbroj "Količina vode iz vlastitih izvora" i "Preuzete vode od drugih JIVU-a." "Dobavljena voda" se tada računa kao razlika između "Količine vode koja ulazi u sustav" i "Isporučene vode drugom JIVU-u." Nadalje, neprihodovana voda dobiva se kao razlika "Dobavljene vode" i "Prihodovane vode" (tj. "Fakturirane ovlaštene potrošnje"). Ova struktura omogućava detaljno praćenje toka vode i preciznije obračunavanje neprihodovane vode, što standardna bilanca ne nudi.

Tablica 6 Proširena bilanca vode prema „TOP-DOWN“ metodi – sustav Ivanić-Grad

Količina vode iz vlastitih izvora <b>0 m<sup>3</sup></b>		Isporučena voda drugim JIVU <b>0 m<sup>3</sup></b>		Fakturirana isporučena voda drugim JIVU <b>0 m<sup>3</sup></b>		
Preuzeta voda <b>1.549.568 m<sup>3</sup></b>	Količina vode koja ulazi u sustav (s ispravljenim poznatim pogreškama u mjerenjima) <b>1.549.568 m<sup>3</sup></b>	Dobavljena voda <b>1.549.568 m<sup>3</sup></b>	Ovlaštena potrošnja <b>1.352.370 m<sup>3</sup></b>	Fakturirana ovlaštena potrošnja <b>1.321.379 m<sup>3</sup></b>	Fakturirana mjerena potrošnja <b>1.321.379 m<sup>3</sup></b>	Fakturirana voda (Prihodovana voda) <b>1.321.379 m<sup>3</sup></b>
				Fakturirana nemjerena potrošnja (paušal) <b>0 m<sup>3</sup></b>		
			Gubitci vode <b>197.198 m<sup>3</sup></b>	Nefakturirana ovlaštena potrošnja <b>30.991 m<sup>3</sup></b>	Nefakturirana mjerena potrošnja <b>30.991 m<sup>3</sup></b>	Neprihodovana voda <b>228.189 m<sup>3</sup></b>
					Nefakturirana nemjerena potrošnja <b>0 m<sup>3</sup></b>	
				Prividni gubitci <b>56.067 m<sup>3</sup></b>	Neovlaštena potrošnja <b>15.496 m<sup>3</sup></b>	
				Stvarni gubitci <b>141.131 m<sup>3</sup></b>	Netočnost vodomjera potrošača (i greške obračuna) <b>40.571 m<sup>3</sup></b>	
	Curenja na cjevovodima Prelijevanja i curenja na vodospremama Curenja na kućnim priključcima do vodomjera					

**Tablica 7** Temeljne pojedinosti sustava Ivanić-Grad korištenih u vodnoj bilanci

OPIS KATEGORIJE			Količina vode	Mjerna jedinica
KOLIČINA VODE IZ VLASTITIH IZVORA			0	m <sup>3</sup>
Preuzeta voda u sustavu			1.549.568	m <sup>3</sup>
Isporučena voda iz sustava			0	m <sup>3</sup>
DOBAVLJENA VODA U SUSTAVU			1.549.568	m <sup>3</sup>
Fakturirana mjerena potrošnja			1.321.379	m <sup>3</sup>
Fakturirana nemjerena potrošnja			0	m <sup>3</sup>
NEPRIHODOVANA VODA (NRW)			228.189	m <sup>3</sup>
Nefakturirana ovlaštena potrošnja	2,00%	dobavljene vode	30.991	m <sup>3</sup>
GUBICI VODE			197.198	m <sup>3</sup>
Neovlaštena potrošnja	1,00%	dobavljene vode	15.496	m <sup>3</sup>
Netočnosti vodomjera potrošača	3,00%	fakturirane mjerene potrošnje	40.571	m <sup>3</sup>
PRIVIDNI GUBICI			56.067	m <sup>3</sup>
GODIŠNJI STVARNI GUBICI CARL			141.131	m <sup>3</sup>
NEIZBJEŽNI GODIŠNJI STVARNI GUBICI UARL			-	m <sup>3</sup>
POTENCIJAL SMANJENJA STVARNIH GUBITAKA = CARL - UARL			-	m <sup>3</sup>

Za izradu proširene vodne bilance korišten je pristup zvan „prema dolje“ (engl. *Top-down*), koji podrazumijeva izračun komponenti bilance temeljem raspoloživih podataka koji se odnose na količine prodane vode evidentirane od strane komunalnih tvrtki. Stvarne gubitke predstavlja preostali volumen vode nakon što se oduzme ovlaštena potrošnja i prividni gubici od zahvaćene vode.

Na temelju dobivenih podataka može se zaključiti da je apsolutna vrijednost neprihodovane vode 228,189 m<sup>3</sup>, što čini oko 14.7% ukupno dobavljene vode koja iznosi 1,549,568 m<sup>3</sup>. Vrijednost neprihodovane vode predstavlja sveukupne gubitke vode kroz stvarne i prividne gubitke. Iznos stvarnih gubitaka od 141,131 m<sup>3</sup> čini 9.1% ukupno dobavljene vode, odnosno gotovo 60% neprihodovane vode. Ovaj visok iznos stvarnih gubitaka ukazuje na slabost u upravljanju i održavanju sustava.

## 5. TROŠKOVNIK I EKONOMSKA ANALIZA OSTVARENIH UŠTEDA

### 5.1. Troškovnik

**Tablica 8** Troškovnik predviđenih mjera unaprjeđenja sustava

Mjere	Investicije	Količina	Jedinična cijena (€/jed.mj.)	Procjena investicijskih troškova (€)	Inkrementalni troškovi pogona i održavanja (€/god)
Mjera 1: Mjere optimizacije sustava				260,275.00	6,139.25
1.1 Ugradnja ventila za regulaciju tlaka				236,125.00	5,414.75
1.1-1	PRV (valve 87) - DN 150				
	građevinski radovi	komplet	12,650.00	12,650.00	126.50
	elektrostrojarska oprema i radovi	komplet	22,700.00	22,700.00	681.00
1.1-2	PRV (valve 85) - DN 100				
	građevinski radovi	komplet	11,500.00	11,500.00	115.00
	elektrostrojarska oprema i radovi	komplet	21,275.00	21,275.00	638.25
1.1-3	PRV (valve 86) - DN 100				
	građevinski radovi	komplet	11,500.00	11,500.00	115.00
	elektrostrojarska oprema i radovi	komplet	21,275.00	21,275.00	638.25
1.1-4	PRV (valve 91) - DN 125				
	građevinski radovi	komplet	12,100.00	12,100.00	121.00
	elektrostrojarska oprema i radovi	komplet	22,050.00	22,050.00	661.50
1.1-5	PRV (valve 92) - DN 125				
	građevinski radovi	komplet	121,000.00	12,100.00	121.00
	elektrostrojarska oprema i radovi	komplet	22,050.00	22,050.00	661.50
1.1-6	PRV (valve 95) - DN 100				
	građevinski radovi	komplet	11,500.00	11,500.00	115.00
	elektrostrojarska oprema i radovi	komplet	21,275.00	21,275.00	638.25
1.1-7	PRV (valve 96) - DN 125				
	građevinski radovi	komplet	12,100.00	12,100.00	121.00
	elektrostrojarska oprema i radovi	komplet	22,050.00	22,050.00	661.50
1.2 Zamjena postojećih opružnih ventila za regulaciju tlaka hidrauličkim				24,150.00	724.50
1.2-1	PRV (valve 62) - DN 200				
	elektrostrojarska oprema i radovi	komplet	24,150.00	24,150.00	724.50
Ukupni investicijski troškovi / Ukupno operativni troškovi				260,275.00	6,139.25

Troškovnik obuhvaća sve ključne stavke vezane za ugradnju, zamjenu i održavanje ventila za regulaciju tlaka, kao i dodatnu opremu i građevinske radove potrebne za ispravno

funkcioniranje sustava. Svaka stavka uključuje trošak radova, opreme, te pogonskih aktivnosti i aktivnosti održavanja potrebnih za dugoročno održavanje sustava. Ugradnja ventila za regulaciju tlaka uključuje troškove građevinskih radova, kao i sve potrebne aktivnosti za ugradnju elektrostrojarske opreme i sam trošak opreme. Troškovnik obuhvaća cijenu ugradnje opreme, troškove pogona i održavanja tijekom planiranog perioda. U okviru ove stavke predviđena je ugradnja 7 novih ventila za regulaciju tlaka, od kojih je jedan promjera DN 150, tri ventila promjera DN 125, te tri promjera DN 100. Sljedeća stavka uključuje zamjenu opružnih ventila (PBV) s hidrauličkim ventilima (PRV), što je izvedeno na samo jednom ventilu, a troškovnik obuhvaća trošak nove elektrostrojarske opreme, montaže i rada, uključujući troškove pogona i održavanja (odnosno trošak samog ventila i prateće spojne opreme). Vrijednost zamjene jednaka je trošku opreme i instalacije novopostavljenih hidrauličkih ventila, s uračunatim dodatnim troškovima održavanja. Ostalih devet mjera ne zahtijevaju dodatne investicije jer se odnose na prilagodbu postavki (izlazne vrijednosti tlaka) već ugrađene frekventne regulacije crpnih stanica pa iste niti nisu dio troškovnika, već se predviđa da će prilagodbe odraditi zaposlenici JIVU-a u redovno radno vrijeme u sklopu redovnog održavanja sustava. Okno ventila za regulaciju tlaka ključno je za stabilan rad vodoopskrbnog sustava i sigurno čuva opremu za regulaciju tlaka. Izrađeno je od čvrstih materijala poput armiranog betona ili specijalnih polimera, s debljinom zidova obično između 20 i 30 cm, kako bi izdržalo vanjske pritiske i moguće prometno opterećenje. Dimenzije ovise o potrebama sustava, ali obično su oko 1,5 m za 1,5 m, dok složenija okna mogu biti i veća. Unutar okna nalazi se ventil za regulaciju tlaka, uz dodatne zasune različitih dimenzija (npr., DN150 i DN50) koji omogućuju regulaciju protoka i zatvaranje dijelova sustava. Hvatač nečistoća uklanja čestice iz vode prije nego što uđe u glavni ventil, čime produžuje vijek opreme. Odzračno-dozračni ventil omogućava ispuštanje zarobljenog zraka, čime sprječava stvaranje zračnih džepova i poboljšava učinkovitost. Okno je opremljeno manometrima za praćenje tlaka, a može uključivati i frekventni regulator za optimalnu kontrolu rada pumpi. Za praktičnost i sigurnost pristupa, okno ima čvrsti poklopac, ventilaciju, odvodne sustave i pristupne ljestve. Ovakva oprema omogućava učinkovit nadzor i održavanje vodoopskrbnog sustava, te osigurava pouzdanu i stabilnu regulaciju tlaka.

Godišnji troškovi održavanja određeni su kao postotak ukupnog investicijskog troška objekta: 0.5% za cjevovode, 1.0% za građevinske dijelove objekta te 3.0% za elektro-strojarski dio.

## **5.2. Ekonomska analiza ostvarenih ušteda**

Vodni gubitci u vodoopskrbnom sustavu predstavljaju stvaran financijski trošak, budući da se gubitak vode ne odnosi samo na izgublenu količinu resursa, već i na dodatne operativne troškove koji prate njenu dostavu i pripremu. Naime, iako vodoopskrbni sustavi obuhvaćaju različite lokacije curenja (kao što su cjevovodi, hidranti, kućni priključci i dr.), JIVU-i često pokazuju manji interes za saniranje gubitaka na kućnim priključcima jer taj dio troška snose krajnji korisnici. Glavni fokus leži na gubicima koji nastaju od vodozahvata do točke vodomjera

krajnjih korisnika, jer ovdje sav trošak pada izravno na JIVU-a. U vodoopskrbnim sustavima u kojima je potrebna energija za crpljenje i tlačenje vode, svaki litar izgubljene vode donosi dodatni trošak. Primjerice, u potisnim sustavima ili kombiniranim potisno-gravitacijskim sustavima, svaki vodni gubitak povećava troškove crpljenja i pripreme vode. U tom smislu, vodni gubici postaju više od tehničkog problema — oni se pretvaraju u stvarne ekonomske gubitke, što znači "izgubljen novac".

Iz tog razloga, trošak vodnih gubitaka može se izraziti u ekonomskoj vrijednosti, kao godišnji financijski gubitak (EUR/godišnje) koji JIVU konstantno plaća. Ti troškovi uključuju:

- **Direktne troškove** dobave vode (energija potrebna za crpljenje, kondicioniranje, plaće osoblja i ostale operativne troškove)
- **Indirektne troškove** održavanja (sanacija gubitaka kroz popravke na cjevovodima i priključcima) (NAPSG, 2024)

Primjenom provedenih mjera, ostvarena je značajna ušteda na smanjenju vodnih gubitaka. Analizom postojećih i planiranih stanja, vidljivo je da je razlika u vodnim gubicima između postojećeg i planiranog stanja 2.57 l/s. Kada se ovaj podatak preračuna na godišnju razinu, dobivena količina uštedene vode iznosi 81,087 m<sup>3</sup>/god. Ušteda, izražena u financijskim vrijednostima, izračunata je po jediničnoj cijeni dobave vode od 0.3 EUR/m<sup>3</sup>, što uključuje trošak energije i kemikalija za pripremu vode. Prema toj jediničnoj cijeni, godišnja ušteda na smanjenju vodnih gubitaka izražena u eurima iznosi 28,400 EUR/godišnje.

Tablica 9 Usporedba ukupnih troškova projekta i ostvarenih ušteda

TROŠKOVI		
IZRAČUN NETO SADAŠNJE VRIJEDNOSTI		
	NPV	IZNOS TROŠKA
Investicijski troškovi građ. radova	77,154 EUR	83,450 EUR
Investicijski troškovi el.-stro. opreme	254,262 EUR	176,825 EUR
Troškovi održavanja	96,401 EUR	6,139 EUR/god
Troškovi pogona	EUR	EUR/god
OSTATAK VRIJEDNOSTI	25,597 EUR	
	<b>402,220 EUR</b>	Diskontna stopa: 4%
UŠTEDE		
IZRAČUN NETO SADAŠNJE VRIJEDNOSTI		
	NPV	IZNOS TROŠKA
Uštede na gubitcima vode	445,948 EUR	28,400 EUR
Uštede na smanjenju broja kvarova	686,980 EUR	43,750 EUR
Troškovi održavanja	EUR	EUR/god
Troškovi pogona	EUR	EUR/god
OSTATAK VRIJEDNOSTI	121,913 EUR	
	<b>1,011,015 EUR</b>	Diskontna stopa: 4%
ZAKLJUČAK		
USPOREDBA UKUPNIH TROŠKOVA (INVESTICIJA I POGON I ODRŽAVANJE) ZA PROJEKTNII PERIOD OD 30 GODINA	TROŠKOVI	UŠTEDE
	402,220 EUR	1,011,015 EUR
	<b>1</b>	<b>2</b>

U postojećem sustavu zabilježen je prosječan godišnji broj kvarova od oko 98, dok se nakon implementacije mjera očekuje smanjenje kvarova za oko 36.43%, odnosno 35 kvarova manje godišnje. To smanjenje broja kvarova izravno je povezano s predloženim mjerama za smanjenje tlakova u sustavu, gdje će se srednji tlak u obuhvaćenim zonama s postojećih 56.77 m H<sub>2</sub>O smanjiti na 33.84 m H<sub>2</sub>O, što znači prosječno smanjenje tlaka od oko 40%. Navedeni tlakovi i gubici vode veći od prosjeka uglavnom su prisutni na dijelovima sustava koji su prioritarno unaprijeđeni, a time se predviđa i najveće smanjenje broja kvarova na tim dijelovima sustava. S prosječnim troškom sanacije pojedinačnog kvara od oko 1250 EUR, ostvaruje se godišnja ušteda od približno 43,750 EUR kroz smanjenje broja kvarova. Investicija u građevinske radove predstavlja jednokratni trošak, a nakon izvedbe nema dodatnih troškova građevinskog održavanja. Ukupna vrijednost građevinskih radova prikazana je u tablici i iznosi 77,154 EUR. Investicijski troškovi elektro-strojarske opreme, koji uključuju i redovnu zamjenu opreme nakon 15 godina, iznose 254,262 EUR. Godišnji trošak održavanja sustava procjenjuje se na 6,139 EUR. Na godišnjoj razini, uštede na smanjenju vodnih gubitaka iznose 28,400 EUR, dok uštede ostvarene kroz smanjenje broja kvarova godišnje iznose 43,750 EUR. Za period od 30 godina, procijenjene uštede na smanjenju vodnih gubitaka i kvarova kumulativno sumirane i

svedene na neto sadašnju vrijednost (NPV) iznose 1,011,015 EUR, dok ukupni trošak investicije i održavanja sveden na NPV iznosi 402,220 EUR. Korištenjem diskontne stope od 4% godišnje izračunata je NPV ulaganja, kao i ostvarenih ušteda, čime je dodatno potvrđena opravdanost i isplativost projekta.

Dodatno, prema Uredbi o izmjenama naknade za korištenje voda (NN 82/10,83/12,10/14,32/20,140/22) iz 2020., od 2025. godine predviđena je primjena korekcijskih koeficijenata koji smanjuju iznos naknade za korištenje voda za javne isporučitelje koji uspješno smanje vodne gubitke ispod prihvatljivih razina (ispod 25%). Također, direktiva Europske Unije iz 2020. godine (Direktiva o vodi za piće 2020/2184) nalaže obavezu procjene gubitaka pomoću ILI indikatora te predviđaju prag prihvatljivih gubitaka koji će biti uveden na razini cijele Unije. Države članice s višim prosječnim gubicima od dopuštenog praga bit će obvezne provesti akcijske planove za smanjenje gubitaka do 2030. godine. Jedna od ključnih mjera u Nacionalnom planu uključuje ugradnju mjerača protoka na svim vodozahvatima za ljudsku potrošnju, čime se omogućava bolje praćenje i kontrola količine zahvaćene vode u stvarnom vremenu. Do sada je u javnim vodoopskrbnim sustavima ugrađeno 656 vodomjera, sufinanciranih iz Nacionalnog plana oporavka i otpornosti (NPOO) s ukupnom vrijednošću projekta od oko 13 milijuna EUR, od čega 8,5 milijuna EUR čine bespovratna sredstva EU. Na ovaj način je ispunjena obveza iz Uredbe iz 2020., a provedene mjere predstavljaju preduvjet za dodatno smanjenje vodnih gubitaka. U konačnici, komunalna poduzeća koja ne uspiju smanjiti gubitke na prihvatljive razine suočavaju se s većim troškovima korištenja vode. Stoga, uz provedbu ove Uredbe, očekivane uštede ostvarene kroz ovaj projekt bit će dodatno naglašene, što povećava isplativost implementiranih mjera te motivira komunalna poduzeća na odgovornije i održivije upravljanje vodnim resursima.



## 6. ZAKLJUČAK

Vodni gubici neizostavan su dio svakog vodoopskrbnog sustava, a nastaju zbog različitih čimbenika kao što su propuštanja na cjevovodima i kvarovi na spojnim dijelovima. Iako potpuno uklanjanje gubitaka nije realno, kontinuirano unapređenje upravljanja tlakovima i održavanje infrastrukture ključno je za smanjenje vodnih gubitaka. Na vodoopskrbnom sustavu Ivanić-Grad, kao i u drugim sustavima, vodni gubici s vremenom rastu uslijed starenja i opterećenja sustava, zbog čega je važno pravovremeno poduzimati mjere za smanjenje gubitaka i očuvanje resursa. Iako vodoopskrbni sustav Ivanić-Grada trenutno ima iznos gubitaka dosta manji (19%) od prosječnog u RH (50%), također ima priliku za daljnju optimizaciju kroz mjere smanjenja tlaka koje mogu značajno doprinijeti smanjenju stvarnih gubitaka. Uvođenjem tih mjera ostvareno je smanjenje tlaka unutar mreže, što je jedna od najisplativijih mjera koja omogućava očuvanje infrastrukture i smanjuje rizik od nastanka puknuća i kvarova.

Uz smanjenje tlaka, ključna mjera za procjenu uspješnosti smanjenja gubitaka je infrastrukturni indeks istjecanja (ILI), koji pokazuje učinkovitost upravljanja stvarnim gubicima. Optimizacijske mjere provedene na vodoopskrbnom sustavu Ivanić-Grad doprinijele su poboljšanju ILI pokazatelja, što ukazuje na napredak u kontroli gubitaka vode. Ipak, u određenim zonama sustava ILI pokazatelj i dalje ukazuje na potrebu za dodatnim intervencijama. Detaljnije praćenje zona s najvećim gubicima, korištenjem metoda kao što su geofoni i korelatori, te provedba sanacija na točno određenim mjestima, doprinijeli bi daljnjem smanjenju gubitaka. Iako je ILI indikator značajan za procjenu učinkovitosti, rezultati analize pokazuju da samo tehnički pokazatelji nisu dovoljni za cjelovit uvid u rezultate optimizacijskih mjera. U kombinaciji s ekonomskom analizom, koja prikazuje uštede na godišnjoj razini kroz smanjenje troškova sanacije kvarova i održavanja, moguće je dobiti potpuniju sliku. Na ovaj način smanjenje vodnih gubitaka dovodi do dugoročnih financijskih ušteda, ne samo kroz smanjenje broja kvarova, već i kroz niže operativne troškove, dulji vijek trajanja infrastrukture i smanjenje hitnih intervencija. Srednji dnevni vodni gubici smanjeni su za 60% što na godišnjoj razini iznosi oko 81,088 m<sup>3</sup>, odnosno iskazano financijski oko 28,400 eura uštede. Prosječni tlakovi u zonama smanjeni su za oko 36% što direktno utječe na smanjenje godišnjeg broj kvarova (puknuća) sustava s prethodnih 98 kvarova godišnje na procijenjeni 49. Prosječni trošak sanacije puknuća iznosi oko 1,300 eura pa je godišnja ušteda na smanjenju broju kvarova 63,700 eura. Ovakvi rezultati postignuti su provedbom 17 mjera od kojih se 7 nalazi u troškovniku jer iziskuju investicijsko financiranje. Ukupni trošak građevinskih radova, elektro-strojarske opreme, troškova održavanja i pogona (uz diskontnu stopu 4%) za projektni period od 30 godina iznosi 402,220 eura, dok ušteda na zbog smanjenja vodnih gubitaka i broj kvarova iznosi 1,011,015 eura.

U konačnici, uspjeh projekta temelji se na tehničkim i ekonomskim mjerama optimizacije sustava, uključujući smanjenje tlaka, zoniranje, sanaciju kritičnih točaka i praćenje ILI pokazatelja. Ove mjere zajedno stvaraju temelje za održiviji i efikasniji vodoopskrbni sustav,

čime se osigurava bolja kontrola gubitaka i dugoročna održivost vodnih resursa analiziranog vodoopskrbnog sustava Ivanić-Grad.

## POPIS LITERATURE

Autodesk, dostupno: <https://www.autodesk.com/>, (pristupljeno: studeni, 2024.).

Halkijević I. i Vouk D. (2022) *Opskrba vodom i odvodnja 2*, Zagreb, Građevinski fakultet.

Hrvatske vode, dostupno: <https://voda.hr/hr>, (pristupljeno: studeni, 2024.).

Microsoft, dostupno: <https://www.microsoft.com/hr-hr/>, (pristupljeno: studeni, 2024.).

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (2024) *Nacionalni akcijski plan smanjenja gubitaka vode u Republici Hrvatskoj*, Zagreb.

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (2023) *Prijedlog uredbe o izmjenama Uredbe o visini naknade za korištenje voda*, Zagreb.

Narodne novine, dostupno: <https://www.nn.hr/>, (pristupljeno: studeni, 2024.).

Vodoopskrba i odvodnja Zagrebačke županije d.o.o (2020) *Poslovni plan za razdoblje od 2021.-2024. godine*, Zagreb.

Vouk D., Martinac T., Nakić D. (2017) *Uredba različitih načina iskazivanja vodnih gubitaka uz osvrt na Hrvatsku praksu*, Zagreb, Hrvatske vode

## POPIS SLIKA

Slika 1 Situacijski prikaz vodoopskrbnog sustava Ivanić-Grad (Hrvatske vode, 2024.) .....	6
Slika 2 Grafički prikaz broja stanovnika Općine Rugvica, Ivanić-Grada, Općine Kloštar Ivanić i Općine Križ za 2011. i 2021. godinu .....	7
Slika 3 Grafički prikaz procjene kretanja stanovništva Općine Rugvica.....	7
Slika 4 Grafički prikaz procjene kretanja stanovništva za Grad Ivanić-Grad.....	8
Slika 5 Grafički prikaz procjene kretanja stanovništva za Općinu Kloštar Ivanić .....	8
Slika 6 Grafički prikaz procjene kretanja stanovništva za Općinu Križ.....	9
Slika 7 Grafički prikaz procjene kretanja cjelokupnog stanovništva na području obuhvata .....	9
Slika 8 Grafički prikaz potrošnje vode za cjelokupno područje obuhvata od 2011. do 2021. godine.....	11
Slika 9 Grafički prikaz potrošnje vode privrede za 2021. godinu .....	11
Slika 10 Grafički prikaz potrošnje vode u privredi cjelokupnog područja obuhvata .....	12
Slika 11 Grafički prikaz predviđene potrošnje vode kućanstva za cjelokupno područje.....	13
Slika 12 Grafički prikaz predviđene potrošnje vode privrede za cjelokupno područje .....	13
Slika 13 Situacijski prikaz definiranih DMA zona vodoopskrbnog sustava Ivanić-Grad.....	16
Slika 14 Prikaz modela u programu EPANET prije provedenih mjera.....	18
Slika 15 Prikaz raspodjele tlakova na području 1. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja.....	19
Slika 16 Prikaz raspodjele tlakova na području 1. zone u planiranom stanju nakon prilagodbe izlazne vrijednosti tlaka u sklopu frekventne regulacije na CS Rečica .....	19
Slika 17 Prikaz raspodjele tlakova na području 2. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	20
Slika 18 Prikaz raspodjele tlakova 2. zone nakon provedenih mjera.....	20
Slika 19 Prikaz raspodjele tlakova na području 3. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	21
Slika 20 Prikaz raspodjele tlakova na području 3. zone nakon ugradnje novog PRV-a.....	21
Slika 21 Prikaz raspodjele tlakova na području 4. zone u planiranom stanju: lijevo – bez dodatnih mjera i desno: uz predloženu mjeru smanjenja izlaznog tlaka na postojećem PRV-u .....	22
Slika 22 Prikaz raspodjele tlakova na području 5. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	23
Slika 23 Prikaz raspodjele tlakova na području 5. zone u planiranom stanju nakon smanjenja izlaznog tlaka na postojećem PRV-u.....	23
Slika 24 Prikaz raspodjele tlakova na području 6. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	24
Slika 25 Prikaz raspodjele tlakova na području 6. zone nakon provedenih mjera .....	24

---

Slika 26 Prikaz raspodjele tlakova na području 7. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	25
Slika 27 Prikaz raspodjele tlakova na području 7. zone u planiranom stanju nakon smanjenja tlaka na postojećem PRV-u .....	25
Slika 28 Prikaz raspodjele tlakova na području 8. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	26
Slika 29 Prikaz raspodjele tlakova na području 8. zone u planiranom stanju nakon prilagodbe izlazne vrijednosti tlaka u sklopu frekventne regulacije na CS Sobočani .....	26
Slika 30 Prikaz raspodjele tlakova na području 9. zone u planiranom stanju: lijevo – bez dodatnih mjera i desno: uz predloženu mjeru prilagodbe izlazne vrijednosti tlaka u sklopu frekventne regulacije na CS Grabersko brdo .....	27
Slika 31 Prikaz raspodjele tlakova na području 10. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	28
Slika 32 Prikaz raspodjele tlakova na području 10. zone u pojećem stanju nakon smanjenja tlaka na postojećem PRV-u .....	28
Slika 33 Prikaz raspodjele tlakova na području 11. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	29
Slika 34 Prikaz raspodjele tlakova na području 11. zone u planiranom stanju nakon smanjenja izlaznog tlaka na postojećem PRV-u .....	29
Slika 35 Prikaz raspodjele tlakova na području 12. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	30
Slika 36 Prikaz raspodjele tlakova na području 12. zone u planiranom stanju nakon smanjenja izlaznog tlaka na postojećem PRV-u .....	30
Slika 37 Prikaz raspodjele tlakova na području 13. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	31
Slika 38 Prikaz raspodjele tlakova na području 13. zone nakon provedene mjere smanjenja izlaznog tlaka na postojećem PRV-u .....	31
Slika 39 Prikaz raspodjele tlakova na području 14. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	32
Slika 40 Prikaz raspodjele tlakova na području 14. zone nakon postavljanja novog PRV-a .....	32
Slika 41 Prikaz raspodjele tlakova na području 15. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	33
Slika 42 Prikaz raspodjele tlakova na području 15. zone nakon postavljanja novog PRV-a .....	33
Slika 43 Prikaz raspodjele tlakova na području 16. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	34
Slika 44 Prikaz raspodjele tlakova na području 16. zone nakon ugradnje novog PRV-a .....	34
Slika 45 Prikaz raspodjele tlakova na području 17. zone u planiranom stanju bez implementacije mjera unapređenja .....	35
Slika 46 Prikaz raspodjele tlakova na području 17. zone nakon ugradnje novog PRV-a .....	35

## POPIS TABLICA

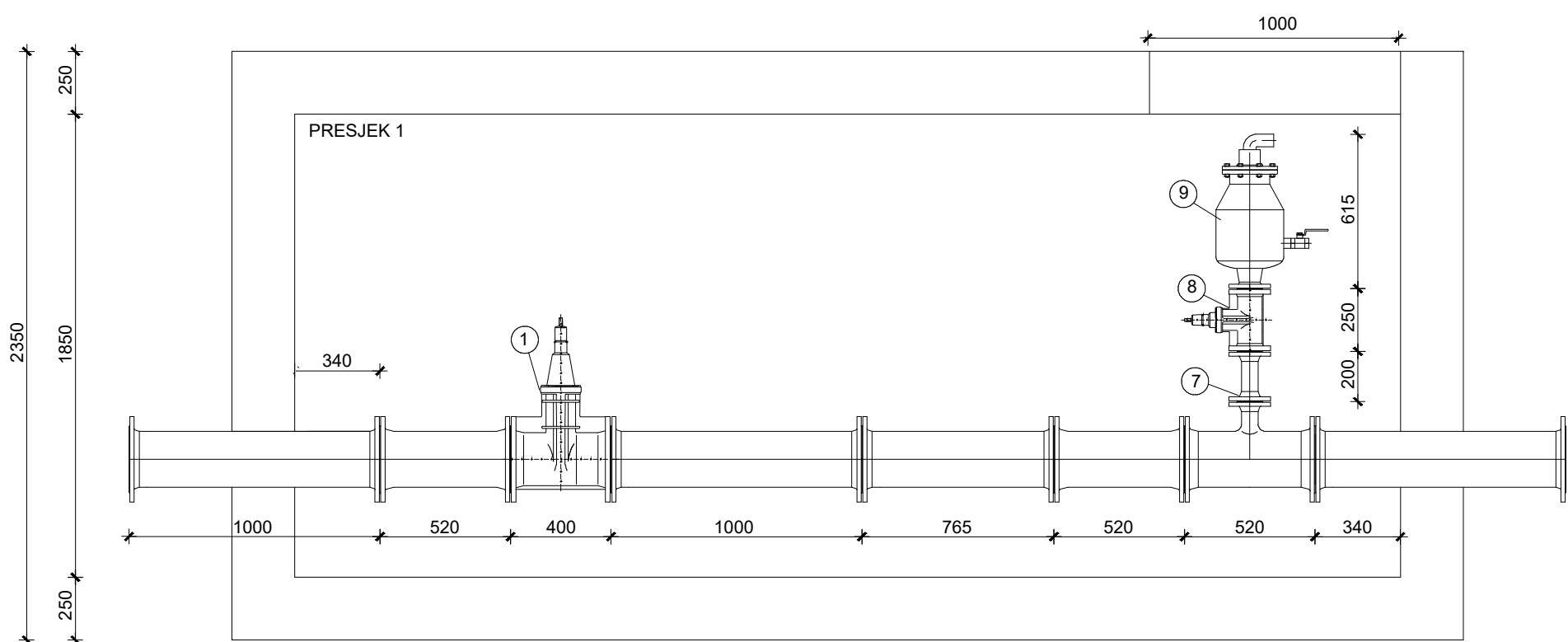
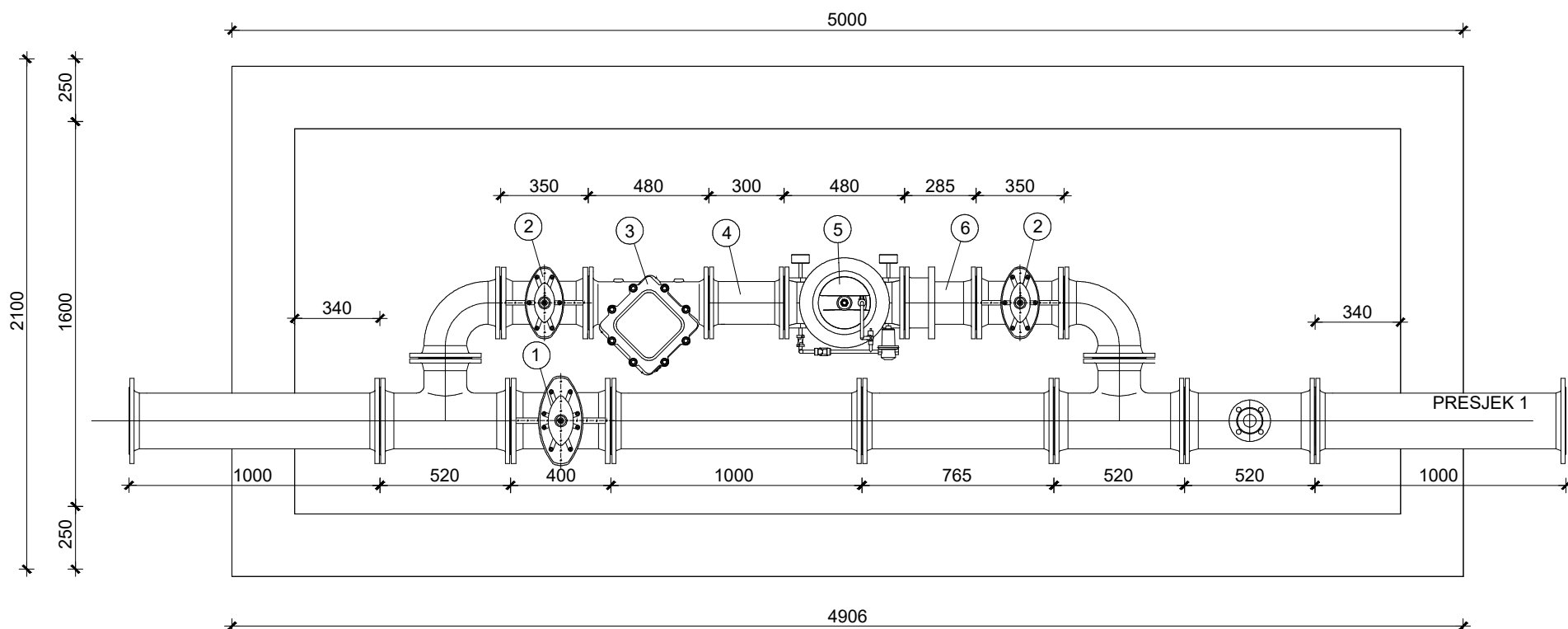
Tablica 1 Tablica 1. Potrošnja vode u kućanstvima za 2021. godinu .....	10
Tablica 2 Raspodjela vodnih gubitaka po DMA zonama prije provedenih mjera unaprjeđenja s prosječnim tlakovima u zonama temeljem rezultata matematičkog modela (model planiranog stanja bez implementiranih mjera unaprjeđenja).....	17
Tablica 3 Prikaz mjerenih podataka nakon provedenih mjera .....	36
Tablica 4 Izračunate vrijednosti ILI pokazatelja po zonama.....	38
Tablica 5 Kategorizacija ILI indikatora prema Institutu Svjetske banke (Halkijević i Vouk, 2022.) .....	39
Tablica 6 Proširena bilanca vode prema „TOP-DOWN" metodi – sustav Ivanić-Grad .....	41
Tablica 7 Temeljne pojedinosti sustava Ivanić-Grad korištenih u vodnoj bilanci.....	42
Tablica 8 Troškovnik predviđenih mjera unaprjeđenja sustava.....	43
Tablica 9 Usporedba ukupnih troškova projekta i ostvarenih ušteta .....	46

## PRILOZI

Prilog A – OKNO VENTILA ZA REGULACIJU TLAKA DN 200 S BYPASSOM

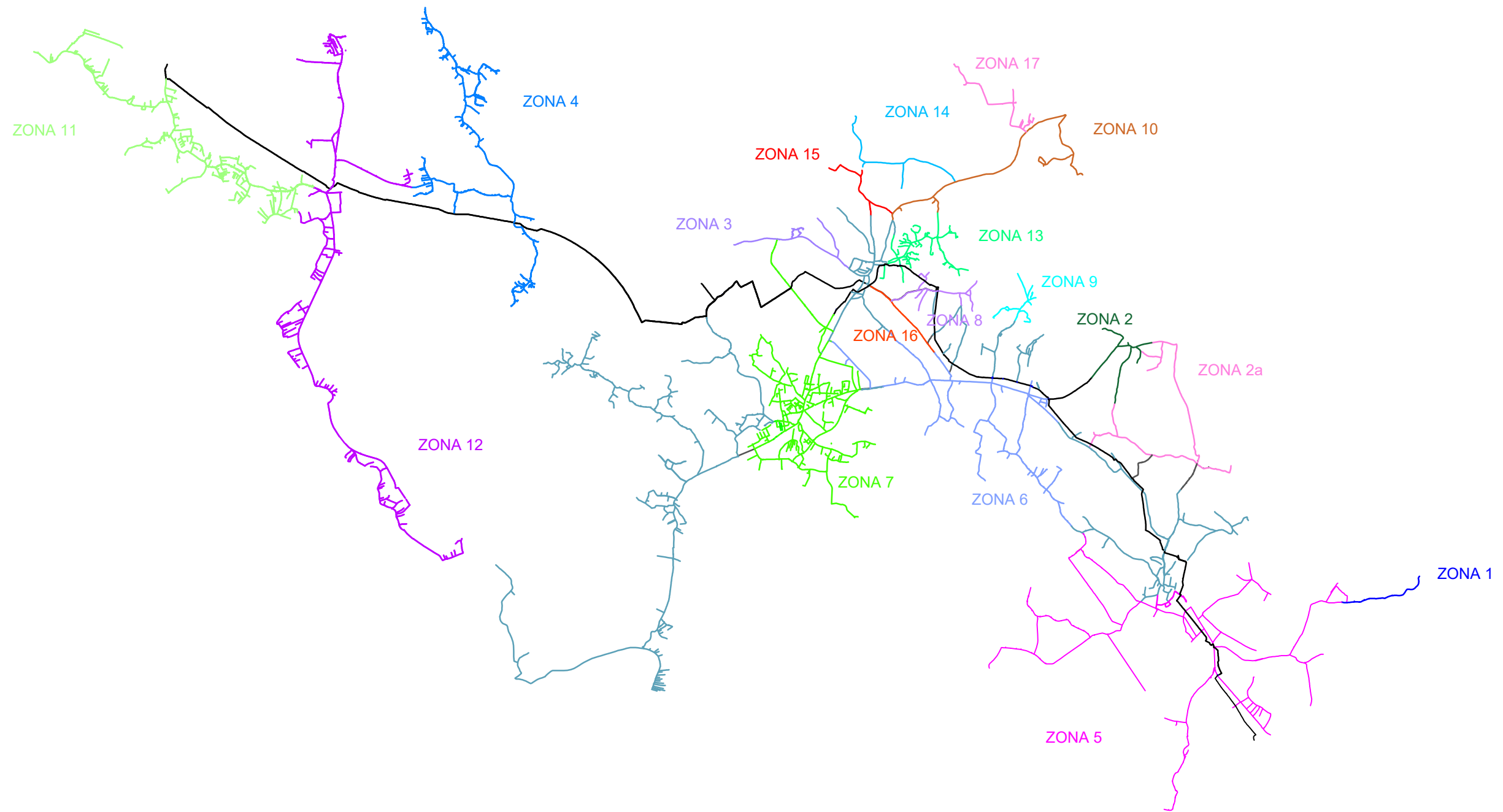
Prilog B - SITUACIJSKI PRIKAZ DMA ZONA

EV zasun DN200	1
EV zasun DN150	2
Hvatač nečistoća DN150	3
FF komad DN150 l=300	4
Ventil za regulaciju tlaka DN200	5
MDK komad DN150	6
FF komad DN50 l=200	7
EV zasun DN50	8
Odzračno -dozračni ventil DN50	9



GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU	
ROBERTA ČIPČIĆ, 0082060454	
NACRT: OKNO VENTILA ZA REGULACIJU TLAKA DN 200 S BYPASSOM	
DATUM: AK. GODINA 2024./2025.	MJERILO NACRTA: 1:25
DIPLOMSKI RAD	OZNAKA NACRTA: PRILOG A





<b>GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU</b>	
<b>ROBERTA ČIPČIĆ, 0082060454</b>	
<b>NACRT:</b> <b>SITUACIJSKI PRIKAZ DMA ZONA</b>	
<b>DATUM:</b> <b>AK. GODINA 2024./2025.</b>	<b>MJERILO NACRTA:</b> <b>1:5000</b>
<b>DIPLOMSKI RAD</b>	<b>OZNAKA NACRTA:</b> <b>PRILOG B</b>