

Smanjenje vodnih gubitaka na vodoopskrbnom sustavu Dugo Selo kroz optimizaciju tlakova

Kovačić, Vid

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:237:991178>

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

Vid Kovačić

**SMANJENJE VODNIH GUBITAKA NA
VODOOPSKRBNOM SUSTAVU DUGO SELO
KROZ OPTIMIZACIJU TLAKOVA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Vid Kovačić

**SMANJENJE VODNIH GUBITAKA NA
VODOOPSKRBNOM SUSTAVU DUGO SELO
KROZ OPTIMIZACIJU TLAKOVA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Domagoj Nakić

Zagreb, 2024



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Vid Kovačić

**REDUCTION OF WATER LOSSES IN THE WATER
SUPPLY SYSTEM DUGO SELO THROUGH
PRESSURE OPTIMIZATION**

MASTER THESIS

Supervisor: doc. dr. sc. Domagoj Nakić

Zagreb, 2024



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Student/ica :

Vid Kovačić	0082062807
(Ime i prezime)	(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu diplomskog rada pod naslovom:

Smanjenje vodnih gubitaka na vodoopskrbnom sustavu Dugo Selo kroz optimizaciju tlakova
(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

Reduction of water losses in the water supply system Dugo Selo thorough pressure optimization
(Naslov teme diplomskog rada na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum:

18. 09. 2024.

Mentor:

doc. dr. sc. Domagoj Nakić

Potpis mentora:

Komentor:



Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja:

Vid Kovačić, 0082062807

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio diplomskog rada pod naslovom:

SMANJENJE VODNIH GUBITAKA NA VODOOPSKRBNOM SUSATVU DUGO SELO KROZ OPTIMIZACIJU TLAKOVA

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

19.09.2024.

Potpis:

Vid Kovačić



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Ja :

Vid Kovačić, 40418582011

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela diplomskog rada i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela diplomskog rada pod naslovom:

SMANJENJE VODNIH GUBITAKA NA VODOOPSKRBNOM SUSATVU DUGO SELO KROZ OPTIMIZACIJU TLAKOVA

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom diplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

Domagoj Nakić

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

26.09.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio diplomskog rada u cijelosti bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

18.09.2024

Potpis:

Vid Kovačić

ZAHVALE

Zahvaljujem svom mentoru, doc.dr.sc. Domagoju Nakiću, na stručnim savjetima i smjernicama tijekom izrade ovog diplomskog rada, kao i na ukazanom povjerenju i podršci u svim fazama rada.

SAŽETAK

U radu je provedena analiza postojećeg stanja vodoopskrbnog sustava Dugo Selo s primarnim osvrtom na količinu vodnih gubitaka i zabilježene tlakove na sustavu. Predložene su mjere optimizacije sustava s osnovnim ciljem smanjenja vodnih gubitaka kroz smanjenje tlakova, a koje se uglavnom odnose na ugradnju ili zamjenu ventila za regulaciju tlaka, uvođenje frekventne regulacije na pojedinim crpnim stanicama ili smanjenje izlazne vrijednosti tlaka na postojećim ventilima za regulaciju tlaka. Predložene mjere analizirane su s tehničko-ekonomskog stajališta. Za sve provedene mjere izrađen je troškovnik mjera, te je dana procjena vremena povrata investicije kroz ostvarene uštede.

Ključne riječi: vodni gubici, Dugo Selo, vodoopskrbni sustav, optimizacija tlakova, ventil za regulaciju tlaka, frekventna regulacija

SUMMARY

The paper analyses the current state of the Dugo Selo water supply system with a primary focus on the amount of water losses and recorded pressures on the system. System optimization measures have been proposed with the basic goal of reducing water losses through pressure reduction, which mainly relate to the installation or replacement of pressure regulation valves, the introduction of frequency regulation at individual pumping stations or the reduction of the pressure output value of existing pressure regulation valves. The proposed measures were analysed from a technical and economic point of view. A cost list of the measures was created for all the implemented measures, and an estimate of the investment return time through realized savings was given.

Key words: water losses, Dugo Selo, water supply system, pressure optimization, pressure regulation valve, frequency regulation

POPIS KRATICA

„ILI“ pokazatelj (*engl. Infrastructure Leakage Indeks*)

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

„NGSG“ (neizbježni godišnji stvarni gubici)

„ViOŽŽ“ (Vodoopskrba i odvodnja Zagrebačke županije d.o.o., Zagreb)

„PRV“ (*engl. Pressure reduction valve*)

„FAVAD“ (*engl. Fixed and Variable Area Discharges*)

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

„JIVU-I“ (javni isporučitelji vodnih usluga)

„NPOO“ (Nacionalni plan oporavka i otpornosti)

SADRŽAJ

ZAHVALE	
SAŽETAK	
SUMMARY	
POPIS KRATICA	
SADRŽAJ	
1. UVOD	1
2. METODE I TEHNIKE RADA.....	3
3. ULAZNI PODACI I PODLOGE	4
3.1. Opis lokacije i kretanje stanovništva	4
3.2. Analiza potreba	8
3.2.1. Trenutna potrošnja vode u kućanstvima	8
3.2.2. Trenutna potrošnja vode u privredi.....	8
3.3. Predviđanje buduće potrošnje vode	9
3.3.1. Predviđanje buduće potrošnje vode kućanstva	10
3.3.2. Predviđanje buduće potrošnje vode u privredi	11
3.4. Model postojećeg stanja	12
4. ANALIZA VODNIH GUBITAKA.....	13
4.1. Postupak analize vodnih gubitaka u praksi.....	13
4.2. Analiza vodnih gubitaka u postojećem stanju	15
4.3. Provedene mjere unapređenja.....	16
4.4. Analiza vodnih gubitaka nakon provedenih mjera	31
4.4.1. Vodni gubici nakon provedenih mjera.....	31
4.4.2. Proračun „ILI“ pokazatelja	32
5. TROŠKOVNIK I EKONOMSKA ANALIZA OSTVARENIH UŠTEDA.....	35
5.1. Troškovnik.....	35
5.2. Ekonomska analiza ostvarenih ušteta.....	37
6. ZAKLJUČAK	41
POPIS LITERATURE	42
POPIS SLIKA	43
POPIS TABLICA.....	45
PRILOZI	

1. UVOD

Ulaskom Hrvatske u Europsku uniju otvaraju se brojne mogućnosti za napredak, a europske direktive potiču Hrvatsku na značajna ulaganja u infrastrukturu. Konkretno, ovaj rad će se baviti optimizacijom vodoopskrbne infrastrukture odnosno mreže sustava Dugo Selo. Naime, cilj ulaganja u vodoopskrbnu infrastrukturu jedan je od koraka prema održivom razvoju koji u ovom slučaju omogućava korištenje vodnih resursa na način da ih održava za buduće generacije. Trenutno najznačajniji problem svih vodoopskrbnih sustava na području Republike Hrvatske svakako su vodni gubici, stoga je osnovni korak prema optimizaciji sustava vodne infrastrukture upravo smanjenje istih. Smanjenje vodnih gubitaka može značajno utjecati na poboljšanje kvalitete života potrošača u vidu ekonomske situacije (smanjenje određene količine vode koja se gubi prilikom dolaska na krajnji cilj, a na njen put je također potrebno potrošiti energiju odnosno novac), ekološke situacije te društvene situacije (smanjenje u nejednakosti dostave, smanjenje rizika miješanja kanalizacije s vodom pri niskom tlaku u cjevovodima).

Dosadašnja praksa analize gubitaka podrazumijevala je iskazivanje gubitaka prema količini vode koja ulazi u sustav, odnosno ukupnoj količini zahvaćene i/ili preuzete vode, prema formuli [1]:

$$\text{Gubitak vode} = \frac{\text{Neprihodovana količina vode}}{\text{Uvedena količina vode}}$$

Taj postotak praktično je određivao količinu nenaplaćene vode (*eng. NRW – Non Revenue Water*) [1]. Drugim riječima gubici, tj. nenaplaćena voda, predstavljali su razliku između uvedenih (zahvaćenih i preuzetih) i naplaćenih količina. U skladu s takvom definicijom gubitaka, prosječna vrijednost vodnih gubitaka u Hrvatskoj iznosi oko 45 % (ujedno i svjetski prosjek), s time da kod pojedinih sustava udio vodnih gubitaka iznosi i više od 80 % [1]. Razlozi postojanja velikih vodnih gubitaka u Hrvatskoj leže u staroj i lošoj infrastrukturi i nedovoljnim ulaganjima.

Prema procjeni Svjetske banke (*engl. World Bank*) iz 2006. godine, godišnja količina ukupno ne prihodovane vode vodoopskrbnih sustava u svijetu iznosila je 48.6 milijardi kubičnih metara ili u monetarnoj jedinici američkog dolara, 14.6 milijardi. U razvijenim zemljama se danas (2016. godina) „gubi“ približno 45 milijuna kubičnih metara vode dnevno, čime se generira i ekonomski gubitak koji se procjenjuje na oko 3 milijarde američkih dolara godišnje. Ova količina izgubljene vode procjenjuje se dovoljnom za redovitu vodoopskrbu oko 200 milijuna potrošača kućanske kategorije [2].

Prva sustavna rješavanja problematike gubitaka vode počinju 90-tih godina prošlog stoljeća u Velikoj Britaniji, pokretanjem nacionalnog projekta (engl. „*The National Leakage Initiative*“), čiji je cilj bio unificiranje kriterija i pokazatelja iznosa veličine gubitka, kao i ekonomskih ušteda provedenih sanacija te definiranje aktivnosti i metodologije s ciljem smanjenja gubitaka. U Londonu 1999. godine, međunarodno udruženje za vode (engl. *International Association on Water Pollution Research and Control* skraćeno: IWAPRC) mijenja naziv u Međunarodno udruženje za vode (engl. *International Water Association*, skraćeno: IWA). Jedan od primarnih ciljeva bilo je podizanja svijesti o svim aspektima vode, kao i definiranje najboljih postupaka upravljanja s ciljem održivog vodnog gospodarenja [1]. „IWA“ je, uz određena unaprjeđenja, u potpunosti preuzela definiranu britansku metodologiju kontrole gubitaka. Ista metodologija prihvaćena je i od strane američkog udruženja za vode (engl. *American Water Works Association* skraćeno: AWWA), uz modifikaciju na američki sustav mjera, a priznale su je i vodeće svjetske institucije kao što su Svjetska zdravstvena organizacija (skraćeno: WHO), Svjetska banka, Europska asocijacija za vode (skraćeno: EWA) i mnoge druge [1].

Prema „IWA“ metodologiji, gubici vode predstavljaju razliku između ulazne količine vode u sustav i ovlaštene potrošnje, a dijele se na prividne i stvarne gubitke. Stvarni gubici su ona količina vode koja je uistinu izgubljena i to na putu od ulaza u sustav do krajnjeg korisnika. Stvarni se gubici najčešće dijele u tri potkategorije: propuštanja u vodoopskrbnoj mreži (istjecanja, tj. curenja), prelijevanja iz vodosprema i propuštanja vode na kućnim priključcima. Prividni gubici predstavljaju one količine vode koje su najčešće i potrošene od strane krajnjeg korisnika ali se ne mogu pouzdano odrediti. Dodatno se dijele na neovlaštenu potrošnju i gubitke uvjetovane netočnosti mjernih instrumenata [1]. Cilj ovog rada biti će smanjenje stvarnih vodnih gubitaka.

U svjetskoj praksi, sukladno „IWA“ metodologiji koriste se razni načini iskazivanja vodnih gubitaka. Neki od načina iskazivanja vodnih gubitaka su: „ILI“ pokazatelj (engl. *Infrastructure Leakage Indeks*), „NGSG“ (neizbježni godišnji stvarni gubici) te ekonomska vrijednost vodnih gubitaka. U Hrvatskoj, najčešće se koriste „ILI“ pokazatelj i ekonomska vrijednost vodnih gubitaka. Konkretnije o ILI pokazatelju i ekonomskoj analizi vrijednosti vodnih gubitaka govorit će se kasnije u radu.

2. METODE I TEHNIKE RADA

Za izradu ovog rada korištena je uobičajena metodologija pri izradi projektne dokumentacije na razini idejnih rješenja i studijskih analiza. Pritom su korišteni sljedeći računalni programi: „Microsoft excell“, „AutoCad“ te „Epanet“.

„AutoCad“ je korišten za izradu nacрта okna s ugrađenim „PRV“ (*engl. pressure relief valve*) i „bypassom“, te za izradu vodoopskrbne mreže sa pripadajućim DMA (*engl. District Metered Area*) zonama.

„Microsoft Excel“ korišten je za analizu potreba, odnosno analizu kretanja broja stanovnika, analizu potrošnje, kasnije troškovnik i ekonomsku analizu.

Računalni program „Epanet“ razvila je američka Agencija za zaštitu okoliša (*engl. Environmental Protection Agency*, skraćeno: EPA). Model je dostupan u slobodnom obliku te ne zahtjeva posebnu komercijalnu licencu. „Epanet“ pruža mogućnost provođenja simulacija različitih stacionarnih i dinamičkih (kvazi-nestacionarnih) stanja fluida unutar mreže tlačnih sustava. Dakle, osim vode, unošenjem vrijednosti fizikalnih karakteristika kao što su gustoća i relativna viskoznost moguće je modelirati i druge fluide [1]. Mreža se sastoji od cijevi, čvorova (cijevnih spojeva), pumpi, ventila i skladišta (rezervoara) [4]. „Epanet“ prati protok vode u svakoj cijevi, tlak u svakom čvoru, visinu vode u svakom spremniku i koncentraciju kemijske vrste u cijeloj mreži tijekom provedbe simulacije koja se sastoji od više vremenskih inkremenata [4]. Uz mogućnost hidrauličkog proračuna program može analizirati i parametre kvalitete vode. Tako je moguće izvršiti prostorno i vremensko modeliranje nereaktivnih (konzervativan model) i reaktivnih tvari (nekonzervativan model) u vodoopskrbnoj mreži, pritom uključujući i analizu starosti vode te miješanje vode u vodospremama. Program omogućuje i proračun pripadnog utroška električne energije crpke i cijene koštanja crpljenja vode u jedinici vremena. Također je moguće pratiti i istjecanja vode u cijelom vodoopskrbnom sustavu. Vodne gubitke moguće je analizirati i kao konstantne vrijednosti ili promjenjive u vremenu te je pri tome moguće modelirati njihove stvarne iznose ovisno o trenutnim tlakovima u vodoopskrbnoj mreži. Sučelje „Epanet“-a maksimalno je prilagođeno korisnicima te je znatno pojednostavljen unos podataka i ubrzana izrada modela [1]. Konkretno u ovom radu, „Epanet“ je korišten za optimizaciju tlakova na mreži nadogradnjom postojećeg sustava novim mjerama (ugradnja ventila za regulaciju tlaka, izvedbe prespoja, zamjena postojećih opružnih ventila za regulaciju tlakova novim hidrauličkim). Nakon implementiranja mjera u „Epanet“, provode se simulacije nadograđenog sustava.

3. ULAZNI PODACI I PODLOGE

3.1. Opis lokacije i kretanje stanovništva

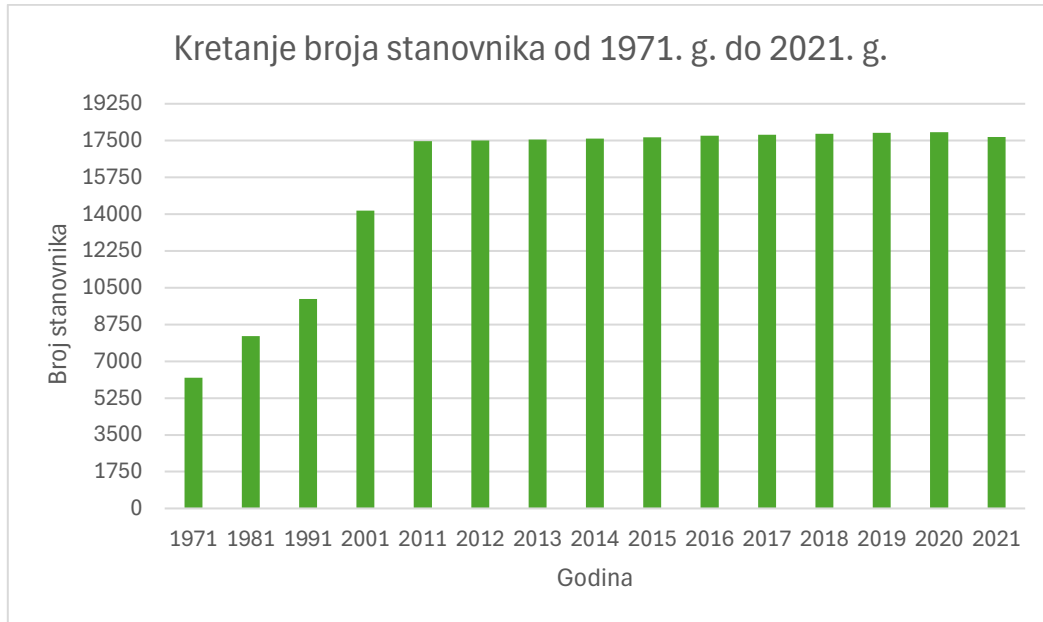
Područje ovog projekta obuhvaća teritorije Grada Dugo Selo i Općine Brckovljani. Grad Dugo Selo i Općina Brckovljani nalaze se u istočnom djelu Zagrebačke županije, točnije 20-ak km od istočno od Zagreba. Isporučitelj vodnih usluga za projektno naselje je Vodoopskrba i odvodnja Zagrebačke županije d.o.o., Zagreb. Vodoopskrbni sustav Dugo Selo obuhvaća: Grad Dugo Selo, Općinu Brckovljani i Općinu Rugvica, a dio je većeg sustava koji se sastoji od 4 manja vodoopskrbna sustava: Vodoopskrbni sustav Sv. Ivan Zelina, Vodoopskrbni sustav Dugo Selo, Vodoopskrbni sustav Vrbovec, Vodoopskrbni sustav Ivanić Grad.



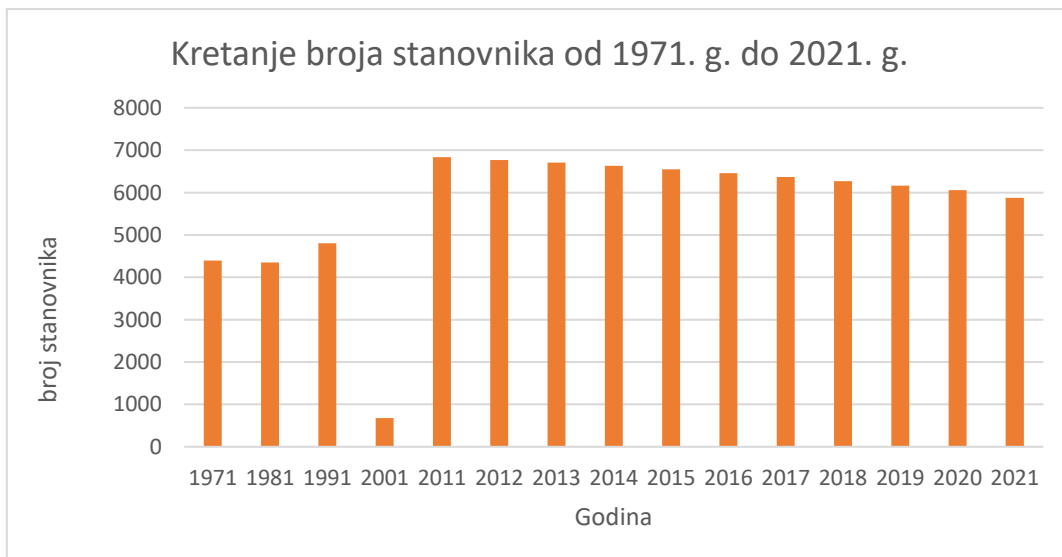
Slika 1. Prikaz mikro lokacije grada Dugo Selo i Općine Brckovljani označeni krugom, u odnosu na Zagrebačku županiju obojanu u crveno [5]

Za potrebe izrade projekta vodoopskrbni sustav Dugo Selo podijeljen je na zone prema prikazu u tablici 1.

U periodu od 1857. godine do 2011. godine odvija se kontinuirani porast stanovništva cijele županije. Od 1857. godine do 1931. godine dogodio se porast od 90.000 stanovnika, dok nakon toga, od 1931. godine do 1971. godine., dolazi do pada broja stanovnika zbog 2. svjetskog rata. Od 1971. godine do 1991. godine, započinje porast broja stanovnika, što je suprotno trendu u Hrvatskoj. Od 2001. godine do 2011. godine također je prisutan porast broja stanovnika izražen na području grada Dugo Selo.

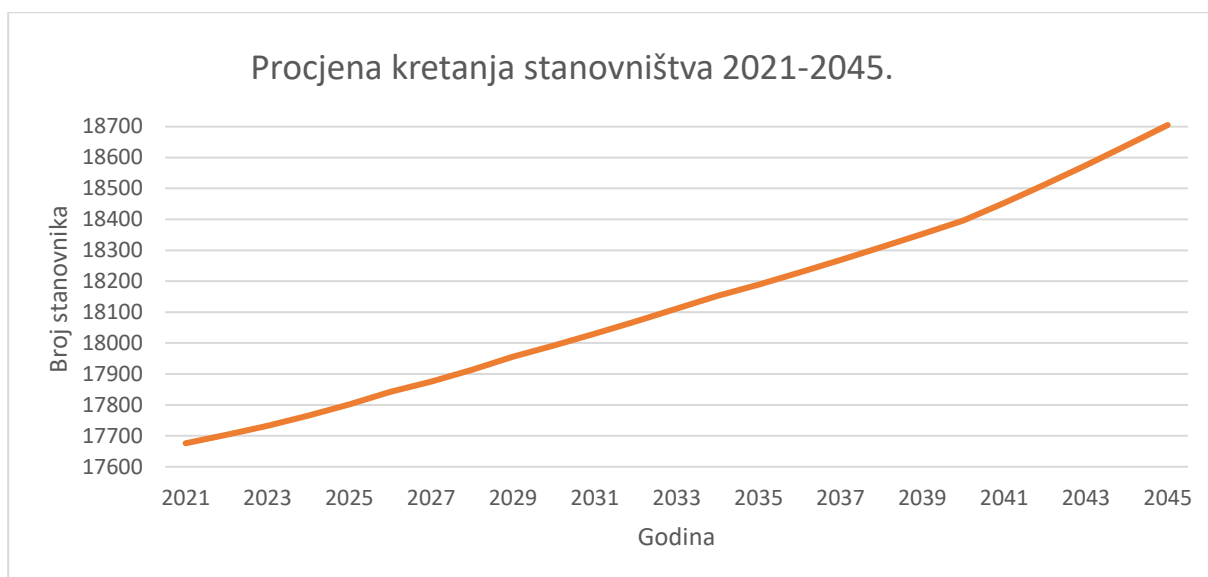


Slika 3. Kretanje broja stanovnika Grada Dugo Selo od 1971. g. do 2021. g.

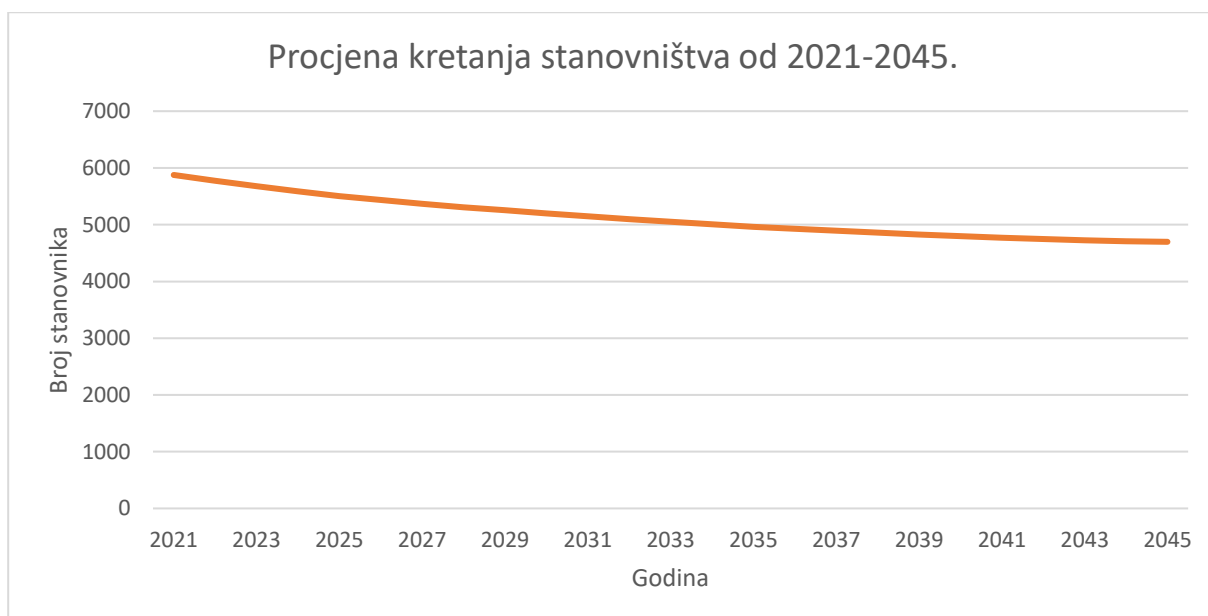


Slika 4. Kretanje broja stanovnika općine Brckovljani od 1971. g. do 2021. g.

Za potrebe daljnjeg proračuna analize potreba potrebno je napraviti procjenu kretanja stanovništva u projektom razdoblju od 30 godina. Na temelju postojećih podataka kretanja broja stanovnika u razdoblju od 2011. do 2021. godine pretpostavlja se kretanje broja stanovnika u narednom periodu.



Slika 5. Procjena kretanja broja stanovnika Grada Dugo Selo za period 2021-2045.



Slika 6. Procjena kretanja broja stanovnika Općine Brckovljani za period 2021-2045.

U procjeni kretanja broja stanovnika za Grad Dugo Selo predviđa se kontinuirani rast broja stanovnika kroz projektno razdoblje, konkretno, očekuje se porast broja stanovnika za 1000. U Općini Brckovljani predviđa se kontinuirani pad broja stanovnika. Za projektno razdoblje očekuje se pad broja stanovnika za 1000.

3.2. Analiza potreba

3.2.1. Trenutna potrošnja vode u kućanstvima

Prema posljednjim podacima dobivenim od „ViOŽŽ“ (Vodoopskrba i odvodnja Zagrebačke županije d.o.o., Zagreb), potrošnja vode za 2021. godinu sastoji se od potrošnje kućanstva i potrošnje privrede. Analiza potrošnje kućanstava na području projekta temelji se na podacima naplate za 2021. godinu (poslovna baza zaprimljena od „ViOŽŽ“) i rezultatima Popisa stanovništva za 2021. godinu (broj stanovnika i prosječan broj stanovnika po domaćinstvu). U tablici niže prikazana je potrošnja vode kućanstva u Gradu Dugo Selo i Općini Brckovljani.

Tablica 2.: Potrošnja vode u kućanstvima 2021. g.

	potrošnja kućanstva 2021. [m ³]	broj aktivnih kućnih priključaka	postotak ukupne potrošnje kućanstva	postotak ukupnog broja aktivnih priključaka	postotak priključenosti stanovništva	norma potrošnje 2021. [l/st/d]
Grad Dugo Selo	731,016	5,153	26.80%	25.20%	94%	120
Općina Brckovljani	229,726	1,405	8.40%	6.90%	80%	135

U tablici u nastavku prikazane su stvarne fakturirane količine vode kućanstvima za razdoblje od 2017. do 2021. godine dostavljene od ViOŽŽ .

Tablica 3.: Stvarne fakturirane količine vode od 2011. g. do 2021. g.

	2011.	2012.	2014.	2015.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	PROSJEK
Grad Dugo Selo	787,555	738,907	636,272	644,391	625,992	640,035	671,518	732,421	731,016	681,438
Općina Brckovljani	304,526	246,302	226,991	228,983	224,767	212,602	215,536	234,064	229,726	234,438

3.2.2. Trenutna potrošnja vode u privredi

Podaci za potrošnju vode u privredi također su proizašli od strane „ViOŽŽ“. Tablica u nastavku prikazuje potrošnju privrede u Gradu Dugo Selo i Općini Brckovljani za 2021. godinu.

Tablica 4.: Potrošnja vode u privredi 2021. g.

	Potrošnja vode
Grad Dugo Selo	161,390
Općina Brckovljani	75,242
UKUPNO	236,632

Turizam u ovoj županiji nije razvijen, tako da će se potrošnja vode postojećih hotela svrstati u potrošnju privrede.

3.3. Predviđanje buduće potrošnje vode

Kod predviđanja buduće potrošnje vode uzeti su u proračun svi projekti koji bi mogli dodatno povećati količinu vode koja prolazi kroz sustav, te predviđeno kretanje broja stanovnika do 2045. godine. Ova analiza pruža uvid u očekivanu potrošnju vode i omogućava planiranje odgovarajuće infrastrukture za održiv razvoj zajednice. Za procjenu potrošnje vode, provedena je analiza potrošnje vode u 2 sektora: u kućanstvu i privredi. Potrošnja vode od hotela analizirat će se kao potrošnja u privredi jer turizam u projektnom naselju nije zastupljen u dovoljnoj mjeri da bi se analizirao kao zaseban sektor. Potrošnja se iskazuje u m^3 /godina.

Tablica 5.: Vrijednosti koeficijenta neravnomjernosti potrošnje vode [1]

Veličina naselja (potrošača)	Koeficijenti neravnomjernosti	
	K_D	K_H
Ljetovalište i toplice	1.6 do 1.7	2.5
Sela i manja naselja	1.5 do 1.6	2
Gradovi ispod 25 000 stanovnika	1.4 do 1.3	1.6
Gradovi od 25 000 do 50 000 stanovnika	1.3 do 1.4	1.4
Gradovi od 50 000 do 100 000 stanovnika	1.3	1.3
Gradovi preko 100 000 stanovnika	1.2	1.2

Srednja dnevna količina vode računa se po formuli:

$$q_{sr} = \frac{\text{Potrošnja vode } m^3/\text{godina}}{365} = [m^3/d]$$

Maksimalna dnevna količina vode s koeficijentom dnevne neravnomjernosti računa se po formuli:

$$Q_{max,dn} = q_{sr} * K_D = [m^3/d]$$

Maksimalna satna količina vode s koeficijentom satne neravnomjernosti K_H računa se po formuli:

$$Q_{max,sat} = \frac{Q_{max,dn} * K_H}{24} = [m^3/h]$$

3.3.1. Predviđanje buduće potrošnje vode kućanstva

Tablica 6.: Prikaz predviđene potrošnje vode kućanstva

	2022.	2025.	2028.	2030.	2035.	2040.	2043.	2045.
Vodoopskrbni sustav Dugo Selo	1,196,660	1,235,478	1,255,675	1,235,054	1,187,463	1,146,048	1,125,778	1,113,990
Grad Dugo Selo	704,503	719,541	727,351	721,061	705,068	688,996	681,154	676,164
Općina Brckovljani	221,061	236,515	244,525	236,464	218,722	204,489	197,534	193,718

Tablica 7.: Prikaz opterećenja po zonama

Naselje	$Q_{sr,dn}$ [m ³ /d]	$Q_{max,dn}$ [m ³ /d]	$Q_{max,dn}$ (l/s)
Andrilovac	25.7	37.27	0.43
Donje Dvorišće	12.54	18.19	0.21
Dugo Selo*	1206.54	1749.48	20.25
Kopčevac	109.66	159.01	1.84
Kozinščak	133.73	193.91	2.24
Lukarišće	91.13	132.14	1.53
Prozorje	34.97	50.71	0.59
Puhovo	74.83	108.5	1.26
Božjakovina	22.12	32.07	0.37
Brckovljani	133.9	194.16	2.25
Gornja Greda	49.99	72.48	0.84
Gornje Dvorišće	6.95	10.08	0.12
Gračec	63.06	91.43	1.06
Hrebinec	35.68	51.73	0.6
Kusanovec	5.34	7.74	0.09
Lupoglav	72.86	105.65	1.22
Prečec	12.06	17.49	0.2
Prikraj	41.32	59.91	0.69
Stančić	53.67	77.82	0.9
Štakorovec	29.13	42.24	0.49
Tedrovec	4.66	6.76	0.08
UKUPNO:	2,219.83	3,218.76	37.25

Hidraulički matematički model planiranog stanja opterećen je planiranom potrošnjom od stanovništva i privrede te vodnim gubitkom, sve na osnovi rezultata kreirane Analize potreba.

Sve krivulje satne neravnomjernosti proizašle su iz provedene mjerne kampanje i kalibracije modela postojećeg stanja. Planirana srednja dnevna potrošnja korigirana je koeficijentom

maksimalne dnevne potrošnje (definiranom u sklopu Analize potreba s iznosom $k_d=1.45$) kako bi se odredila maksimalna dnevna potrošnja sustava.

U tablici 6. prikazano je hidrauličko opterećenje modela postojećeg stanja za kraj projektnog razdoblja, 2045. godinu, za kategoriju kućanstva (stanovništva).

3.3.2. Predviđanje buduće potrošnje vode u privredi

Tablica 8.: Prikaz predviđene potrošnje vode privrede

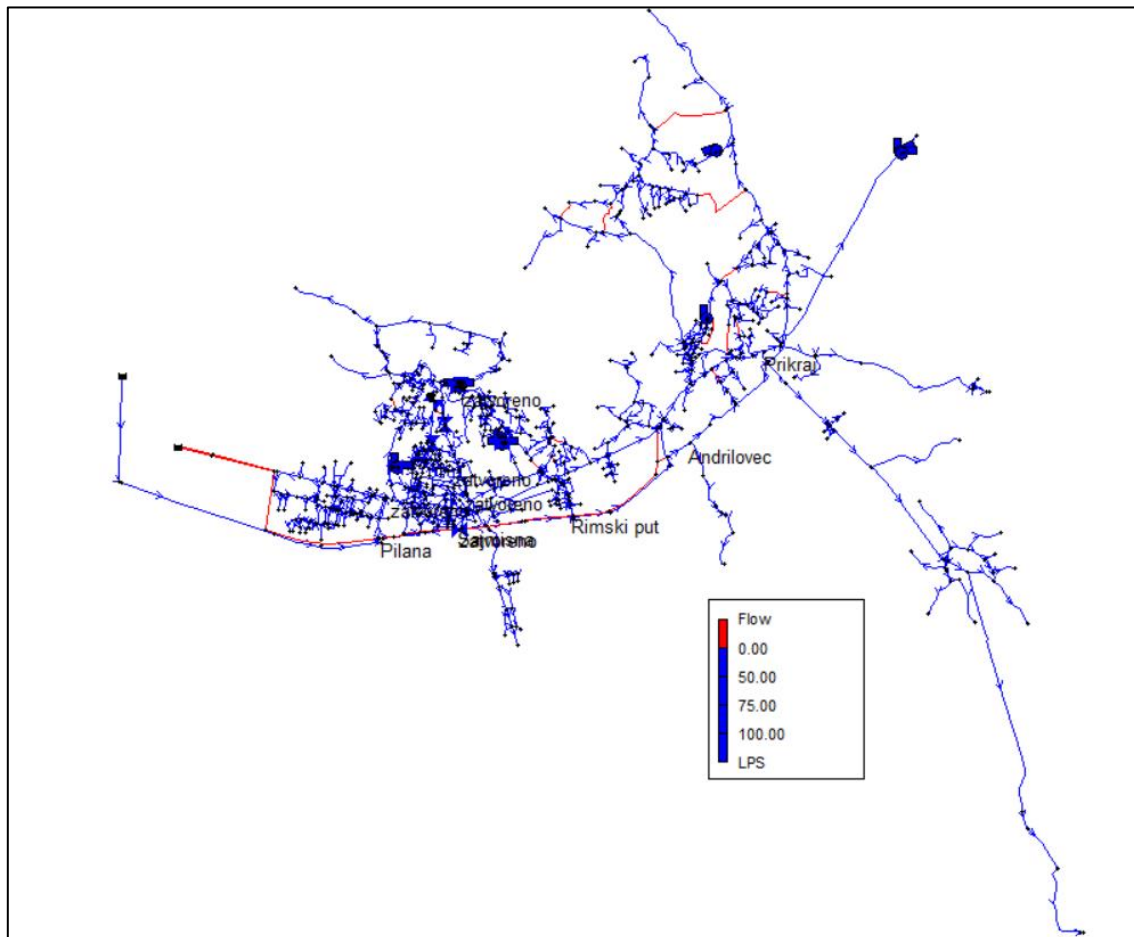
	2022.	2025.	2028.	2030.	2035.	2040.	2043.	2044.	2045.
Dugo Selo i Općina Brckovljani	236,750	250,185	256,479	276,296	305,053	311,154	330,199	336,803	336,803

Na vodoopskrbnom sustavu Dugo Selo ne ističu se značajni (veliki) privredni potrošači. Potrošnja privrede za kraj projektnog perioda, odnosno na razini 2045. godine, definirana je Analizom potreba na razini cijelog vodoopskrbnog sustava Dugo Selo u iznosu 336,803 m³/god, od čega je na modelu koji se odnosi na podsustav Ivanić-Grad obuhvaćen manji administrativni dio Dugog Sela za koji je procijenjena potrošnja vode od privrede u iznosu 91,836 m³/god. Razlika je implementirana na modelu planiranog stanja sustava Dugo Selo u iznosu od 244,967 m³/god, odnosno $Q_{sr,dn}=671.14$ m³/d.

Primjenom istog prethodno usvojenog koeficijenta dnevne neravnomjernosti ($k_d=1.45$) dobiva se iznos maksimalne dnevne potrošnje od industrije $Q_{max,dn}=973.16$ m³/d, odnosno $Q_{max,dn,ind}=11.26$ l/s. Dobivene vrijednosti ravnomjerno su raspoređene u desetak čvorova modela koji su procijenjeni s najizraženijim privrednim potrošačima.

3.4. Model postojećeg stanja

Kako bi se kalibrirao model postojećeg stanja vodoopskrbne mreže bilo je potrebno izvesti mjerenja protoka i tlaka direktno na cjevovodima u postojećim oknima ili su na lokacijama, gdje nije bilo dostupnih okana, rađeni iskopi. Postojeći model sastoji se od 701 čvorova, 14 crpnih stanica, 771 cijevi, 8 ventila za regulaciju tlaka.



Slika 7. Prikaz postojećeg stanja mreže

4. ANALIZA VODNIH GUBITAKA

4.1. Postupak analize vodnih gubitaka u praksi

Definiranje kvalitetnih mjera unaprjeđenja postojećih vodoopskrbnih sustava u velikoj mjeri ovisi o sadržajnom i temeljitom opisu postojećeg stanja, koje mora uključivati realan prikaz svih relevantnih čimbenika i to: karakteristike cjevovodne mreže (trasa, profili, materijali, hrapavost, starost), karakteristike pratećih objekata (vodospreme, crpne stanice, regulacijska oprema), analiza vodnih gubitaka unutar sustava [3]. Tek na osnovu sveobuhvatne analize prikupljenih podataka predmetnog sustava, uključivo i vodne gubitke, moguće je donijeti kvalitetne zaključke, koji će u okviru definiranja mjera prema održivom gospodarenju sustavom (optimizacije rada te nadogradnje u smislu poboljšanja) rezultirati racionalnom potrošnjom raspoloživih financijskih sredstva. U tom kontekstu potrebnim se smatra sagledavanje problematike vodnih gubitaka i njihova analiza s jednog šireg aspekta [3].

Nakon prikupljanja raspoloživih podloga i opisa postojećeg stanja izgrađenosti razmatranog vodoopskrbnog sustava, predlaže se izrada što detaljnijeg preliminarnog matematičkog modela postojećeg stanja. Modeliranjem vodoopskrbnih sustava omogućen je prikaz hidrauličko-pogonskih uvjeta tečenja, odnosno prikaz realnih stanja protoka i tlakova unutar vodoopskrbne mreže. Važnost primjene matematičkih modela kod opisivanja i analize postojećeg stanja osobito je istaknuta u slučajevima kada nedostaju kvalitetne podloge o postojećem stanju izgrađenosti. Primjerice, u Hrvatskoj su problematični vodoopskrbni sustavi koji su u tijekom Domovinskog rata okupiranim područjima zagubili projektnu dokumentaciju ili je ista većim dijelom nestala. U tom slučaju koriste se isključivo podaci dobiveni od osoblja koje trenutno radi na održavanju sustava i upitna je točnost takvih podataka. Dosadašnja iskustva pokazuju da je dio potrebnih ulaznih podataka (trasa cijevi, veličine profila, cijevni materijal, regulacijske armature) često u potpunosti nepoznat [3].

Za potvrdu kvalitete matematičkog modela potrebno je poduzeti dodatne mjere, a te mjere podrazumijevaju provođenje terenskih mjerenja protoka i tlakova u karakterističnim kontrolnim točkama. Terensko mjerenje protoka i tlakova je proces u kojem se mjernom opremom mjere stvarni protoci i tlakovi u sustavu, a vrši se na način da se sustav podijeli u manje zone, te se na ulazu i izlazu svake zone postave mjerači protoka kako bi se dobio jasan uvid, kako u potrošnju, tako i u stvarne gubitke te zone. Rezultati ovako provedenih mjerenja dalje se koriste kako za analizu prostorne raspodjele i iznosa vodnih gubitaka, tako i za kalibraciju matematičkog modela postojećeg stanja, a kako bi isti sa zadovoljavajućom točnosi opisivao realne hidrauličko-pogonske uvjete tečenja u sustavu i mogao služiti kao kvalitetna podloga za donošenje zaključaka o stanju postojećeg sustava te polazište za predlaganje mjera optimizacije sustava u planiranom stanju.

Kao što je navedeno u uvodu, u praksi postoje stvarni i prividni gubici. Ukupne gubitke čini zbroj stvarnih i prividnih gubitaka [8]:

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

Stvarni gubici pokrivaju curenja iz cijevi, spojeva i oblikovnih komada, curenja kroz dno i stijenke vodosprema, kao i kroz preljeve vodosprema. Stvarni gubici mogu biti izrazito veliki i mogu ostati neotkriveni tijekom nekoliko mjeseci ili čak nekoliko godina. Izgubljeni volumen vode može značajno ovisiti o značajkama cjevovodne mreže i metodologiji otkrivanja kvarova koje provodi „JIVU“ (Javni isporučitelj vodnih usluga). Konkretno, izgubljeni volumen ovisi o tlaku u mreži, učestalosti i intenzitetu novih curenja i puknuća, vremenima spoznavanja i lociranja kvarova, razini pozadinskih curenja. Uz smanjenje tlakova na vodovodnoj mreži, najučinkovitije mjere smanjenja stvarnih gubitaka su zamjene postojećih cjevovoda i aktivna kontrola curenja [8]. Zamjenom oštećenih cjevovoda se direktno i najučinkovitije smanjuju stvarni gubici. Nerealno je očekivati, a time i razmatrati cjelovito provođenje ove aktivnosti u kratkoročnom periodu, jer je zamjena cijevi tehnički, vremenski i financijski izuzetno zahtjevna. Stoga se postavlja pitanje kojom dinamikom obavljati zamjenu cijevi, odnosno koje dionice cjevovodne mreže imaju prioritet u tome. Da bi učinkovitost zamjene cijevi u smanjenju vodnih gubitaka bila maksimalna, potrebno je izraditi kvalitetan plan zamjene cjevovoda i prednost dati onim dionicama za koje se prethodnim ispitivanjem utvrdi da su u lošijem stanju, a što se utvrđuje u ovisnosti o većem broju utjecajnih čimbenika (broj kvarova, materijal cijevi, starost cijevi, vrsta spojeva, postoji li katodna zaštita) [8]. U ovom radu stvarni gubici nisu smanjivani zamjenom oštećenih cjevovoda, već su stvarni gubici smanjeni isključivo kroz optimizaciju tlakova, odnosno mjerama koje su uključivale ugradnju novih ventila za regulaciju tlaka ili zamjenu postojećih te implementaciju frekventne regulacije na postojećim crpnim stanicama. dodavanjem hidrauličkih ventila za regulaciju tlaka.

Iako se uz vodne gubitke najčešće veže loše stanje infrastrukture (starost cjevovodne mreže, neodgovarajuće održavanje i servisiranje, visoki tlakovi, učestali i intenzivni vodni udari), važno je naglasiti da nisu svi gubici vode posljedica lošeg stanja infrastrukture i curenja na cjevovodnoj mreži. Prividni vodni gubici u mreži koji se vežu uz neovlašteno korištenje vode (neovlaštenu potrošnju) i netočnost mjerenja potrošnje vode mogu predstavljati značajan udio u ukupnoj vodnoj bilanci, a također ulaze u kategoriju vodnih gubitaka i neprihodovane vode [8]. Neke od mjera za rješavanje prividnih gubitaka su analiza točnosti vodomjera i izrada plana zamjene, terenska kontrola kućnih priključaka, zamjena vodomjera, hidraulička analiza mogućnosti daljinskog smanjenja tlaka na ventilima i mogućnosti isključivanja zona u slučaju neovlaštene potrošnje vode [8]. Ovaj rad se neće fokusirati na smanjenje prividnih vodnih gubitaka.

4.2. Analiza vodnih gubitaka u postojećem stanju

Glavni cilj ovoga rada je smanjiti vodne gubitke na postojećem vodoopskrbnom sustavu Dugo Selo. Vodoopskrbni sustav Dugo Selo, u odnosu na druge sustave u Hrvatskoj i prosječne iznose vodnih gubitaka koji u njima prevladavaju, ima značajno manje vodne gubitke, ali oni i dalje nisu zanemarivi i moguće ih je dodatno smanjiti. U tablici 9. prikazani su srednji dnevni gubici vode po zonama u kojima će biti izvršene mjere za optimizaciju tlakova i smanjenje vodnih gubitaka.

Tablica 9.: Prikaz vodnih gubitaka po zonama prije mjera

	Postojeće stanje vodnih gubitaka [l/s]	Prosječni tlak u zoni prije mjera [H ₂ O]	Prosječni tlak u zoni prije mjera [bar]
Zona Andrilovac	0.091802	58.33	5.72
Zona Prikraj	0.198905	57.68	5.66
Zona Istočno od Prikraja	0.566114	58.34	5.72
Zona Puhovo	0.290707	47.8	4.69
Zona Prozorje	0.306007	52.77	5.18
Zona Kopčevac	1.193429	60.05	5.89
Zona sjeverno od Rimskog puta	0.290707	57.91	5.68
Zona Brckovljani	0.367209	66	6.48
Zona Lukarišće	0.306007	57.31	5.62
Zona južno od Lukarišća	0.076502	55.74	5.47
Zona Sajmišna cesta	0.39781	47.99	4.71
Zona Stančić	0.612015	66.08	6.48
Zona Kozinščak	0.183604	76.07	7.46
Zona središnji dio Dugo Selo	1.68738	44.23	4.34

Ukupni vodni gubici svih zona u kojima će biti izvršene mjere za optimizaciju tlakova i smanjenje vodnih gubitaka, iznose 6.56 [l/s]. Prosječni tlak u zonama iznosi 57.59 [mH₂O] što je poprilično iznad minimalno potrebne vrijednosti od 25 [mH₂O] za zadovoljenje uvjeta iz Pravilnika o hidrantskoj mreži za gašenje požara (NN 8/2006) .

Na ostatku sustava („zona ostatak“) nisu predlagane mjere unapređenje jer zbog koncepcije sustava i terenskih prilika one nisu izvedive.

4.3. Provedene mjere unapređenja

Kao ulazna podloga korišten je kalibrirani hidraulički matematički model postojećeg stanja, na temelju kojeg je izrađen model planiranog stanja koji obuhvaća sve planirane nadogradnje i proširenja sustava, a na kojem su implementirane potrošnje mjerodavne za planirano stanje, pri čemu su „patterni“ (neravnomjernosti u oscilacijama dnevne potrošnje) preuzeti s kalibriranog modela postojećeg stanja.

Model s implementiranim mjerama sastoji se od 714 čvorova, 774 cijevi, 14 crpnih stanica i 19 ventila za regulaciju tlaka.

Korištene mjere unapređenja su: zamjena postojećih opružnih ventila za regulaciju tlaka s hidrauličkim, dodavanje hidrauličkih ventila za regulaciju tlaka, izvedbe prespoja cjevovoda te dodavanje frekventne regulacije tlaka na već postojeće crpne stanice.

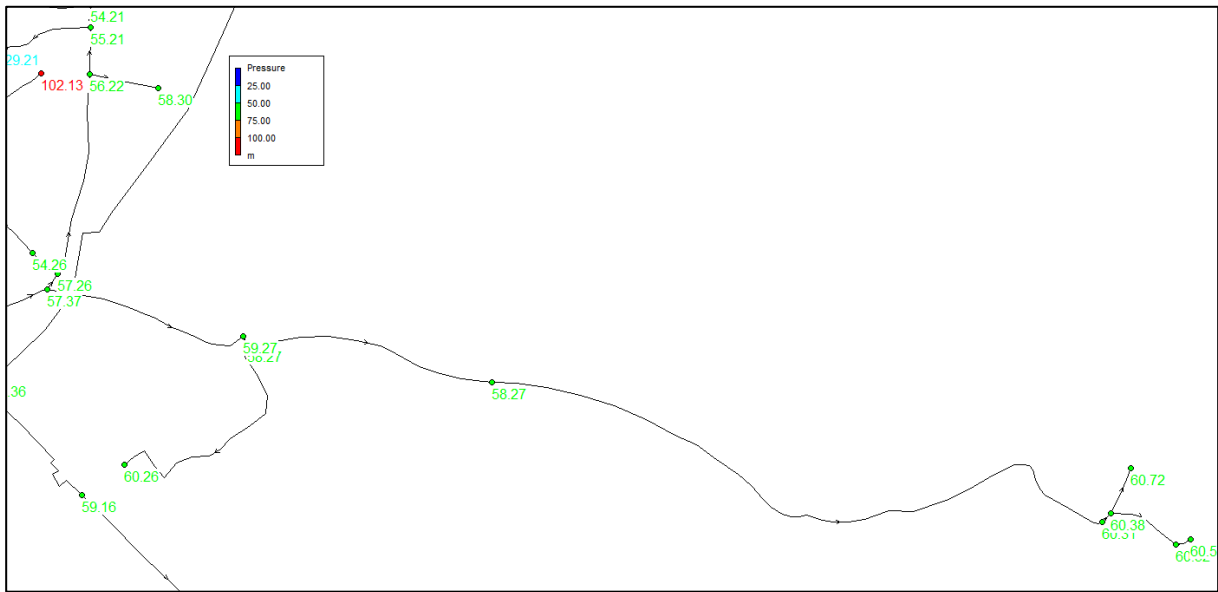


Slika 8. Prikaz ventila za regulaciju tlaka [6]

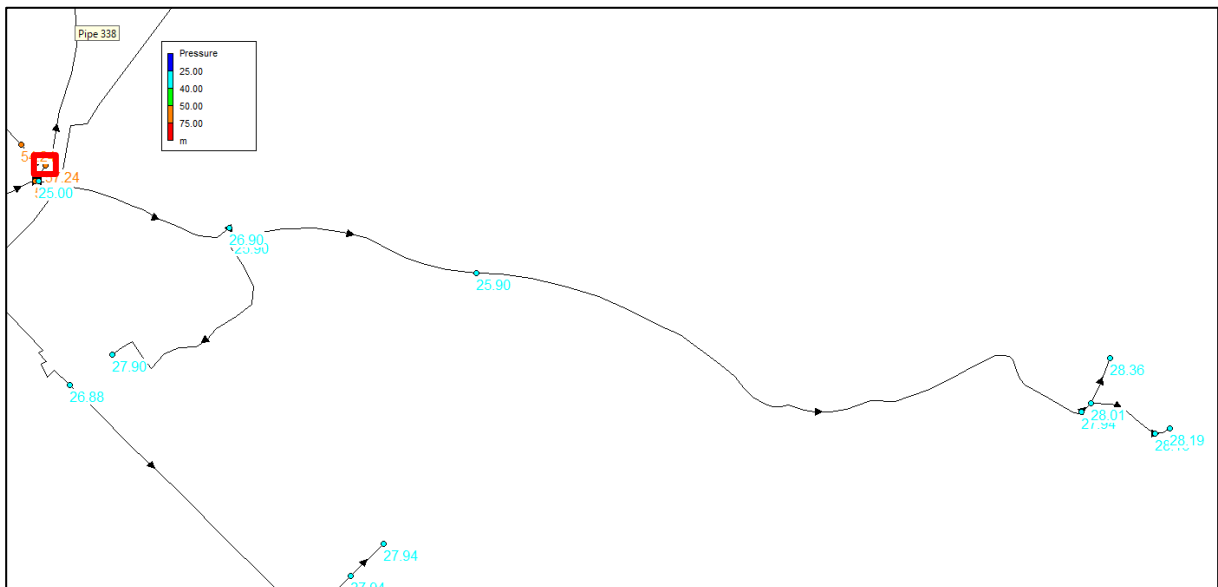
U vodoopskrbi se najčešće koriste dvije vrste ventila za smanjenje tlaka: mehanički (opružni) i hidraulički ventili. Sami ventili za regulaciju tlaka mogu se podesiti da daju konstantnu izlaznu vrijednost tlaka, takvi ventili su hidraulički (za sve vrijednosti tlaka veće od podešene izlazne vrijednosti) ili da, ovisno o protoku, prilagođavaju izlaznu vrijednost tlaka tako da tlak uvijek smanjuju za istu vrijednost (za isti Δp), takvi ventili su mehanički. Ventili za smanjenje tlaka ugrađuju se u regulacijska okna. U objekt za smanjenje, tj. kontrolu tlaka obično se instalira i mjerač protoka pa se takav objekt zove redukcijsko-vodomjerna komora. Od ostale opreme može se ugraditi i stanica za uzorkovanje, tj. mjerenje rezidualnog klora te doziranje klornog (dezinfekcijskog) sredstva, hvatač nečistoća, te oprema koja će omogućiti telemetrijsko praćenje, tj. nadzor hidrauličkih parametara i parametara ostale ugrađene opreme, uz

eventualno upravljanje pojedinim vodovodnim armaturama [3]. Na nekim dijelovima vodoopskrbnog sustava tlakovi su smanjeni na 25 m ili su iznosom jako blizu 25 m. Stoga, kada se na model doda još minimalno 10 l/s nizvodno (dodaje se u slučaju požara) tlakovi nizvodno neće iznositi potrebnih 25 m. Kako bi se ovaj problem riješio, u okno PRV-a, dodaje se mimovod. U situaciji kada nema požara, voda teče normalno kroz PRV, a kada se pojavi požar voda se pušta u mimovod i nizvodno se ostvaraju veći tlakovi.

U nastavku su prikazane sve provedene mjere unapređenja sustava.

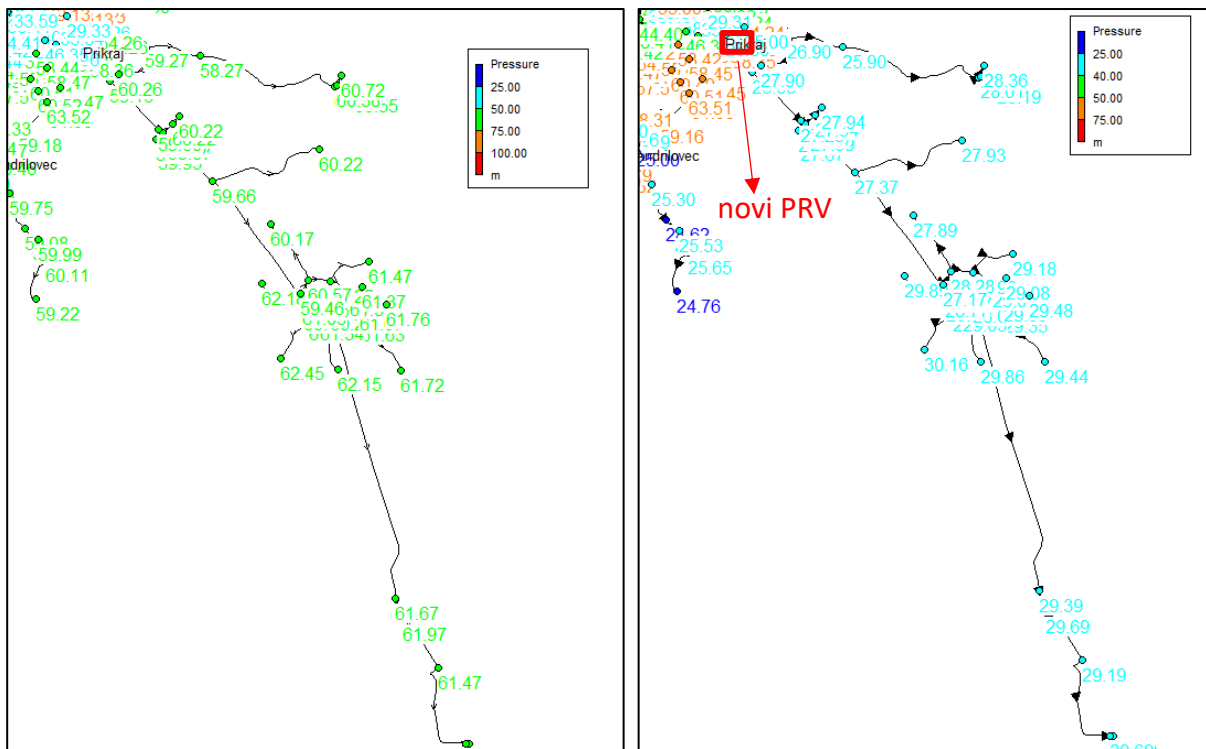


Slika 9. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Prikraj u planiranom stanju bez implementacije bilo kakvih mjera unapređenja sustava

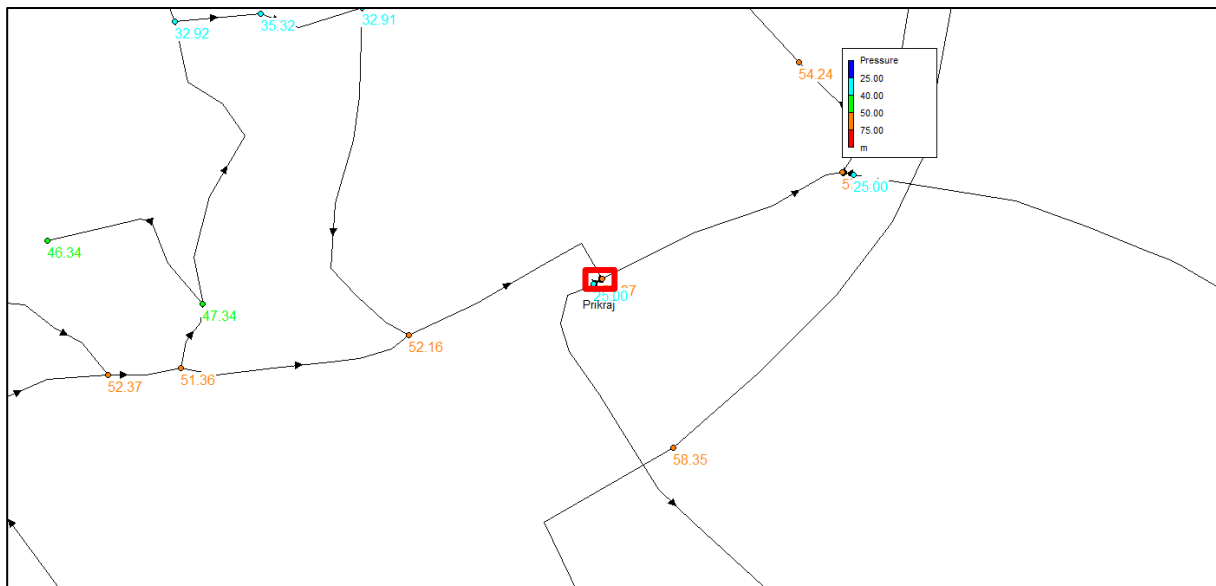


Slika 10.: Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Prikraj u planiranom stanju nakon ugradnje PRV-a „valve 31“

Ventil je postavljen na ulasku vodovodne mreže u naselje Prikraj. Ventil je označen na slici pravokutnikom. Odaбран promjer ventila je DN 200, a postavke su na 2.5 bara, što smanjuje tlakove na nekim dijelovima za oko 3,3 bara.

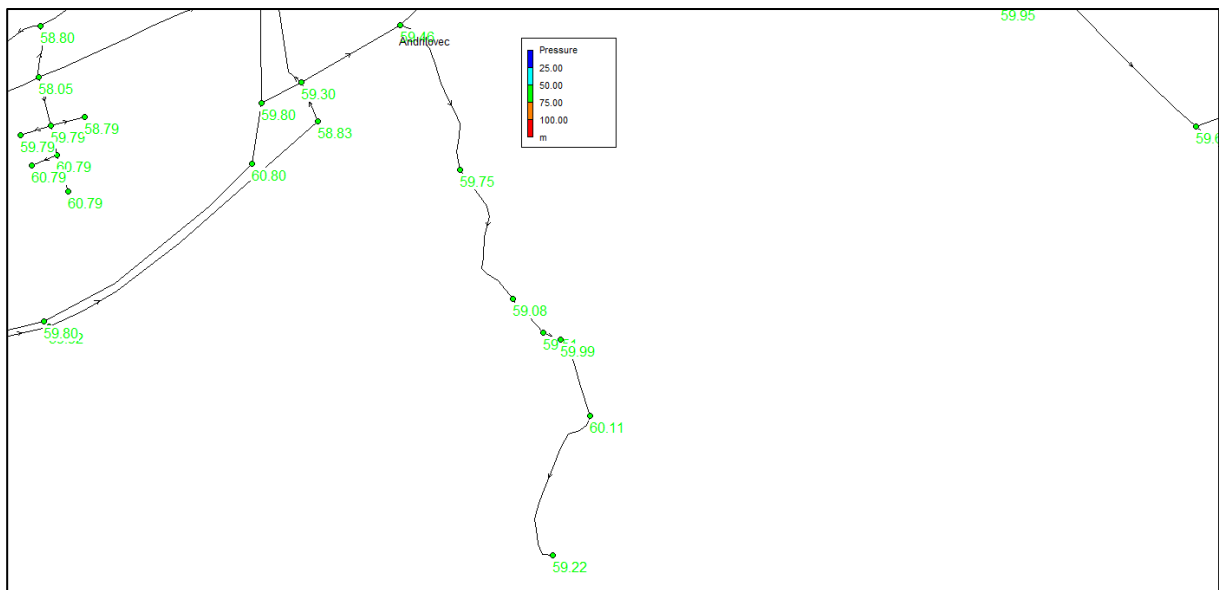


Slika 11. Prikaz raspodjele tlakova na području istočnog dijela naselja Prikraj u planiranom stanju: lijevo – bez dodatnih mjera i desno: uz predloženu mjeru ugradnje novog PRV-a „valve 25“

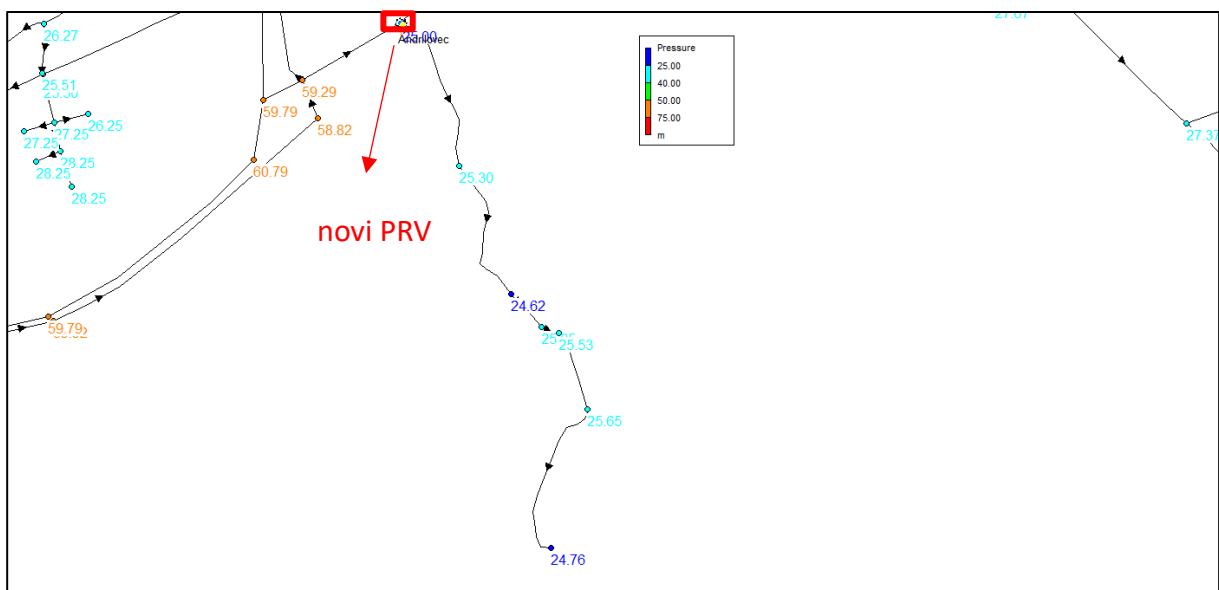


Slika 12.: Uvećani prikaz postavljenog ventila „valve 25“

PRV „valve 25“ označen pravokutnikom na slici 12. postavljen je na početku vodoopskrbne mreže Prikraj i značajno smanjuje tlakove cijelog istočnog dijela naselja Prikraj . Promjera je DN 200, a postavke su mu na 2.5 bara

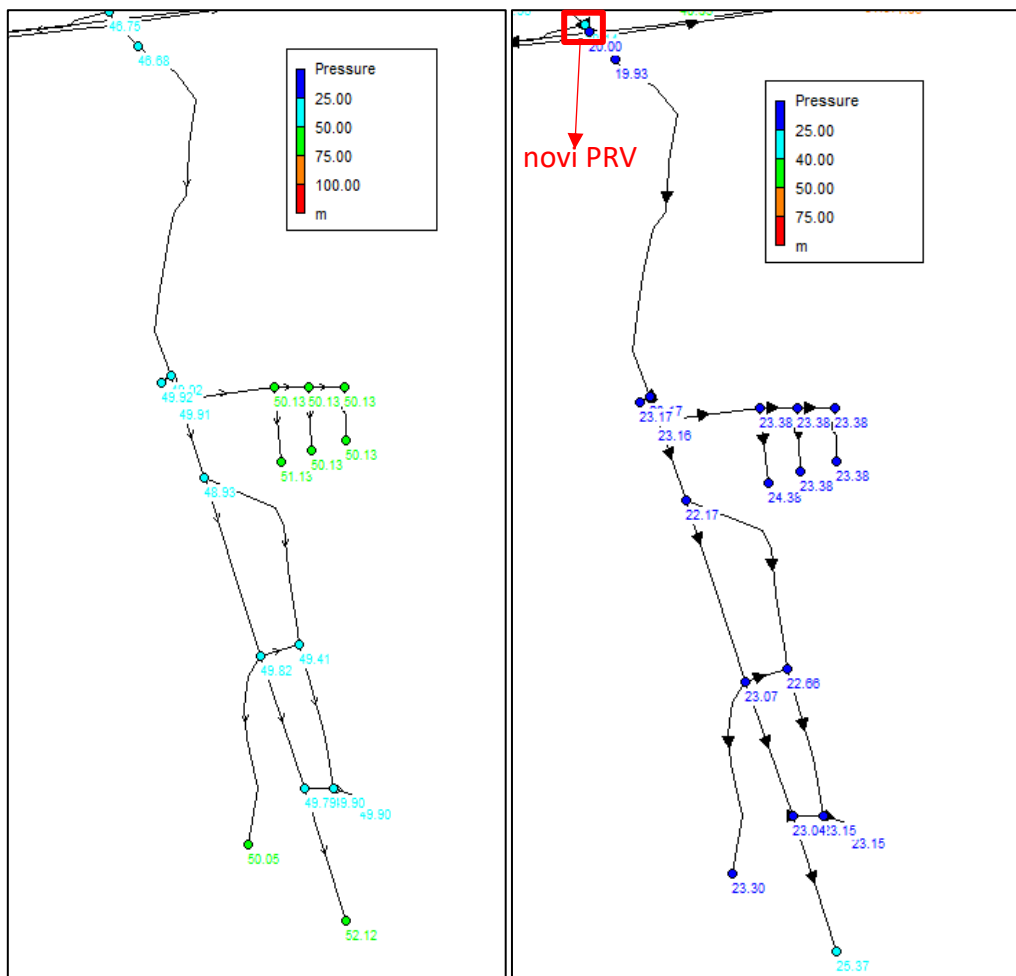


Slika 13. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Andrilovec u planiranom stanju bez implementacije bilo kakvih mjera unapređenja sustava



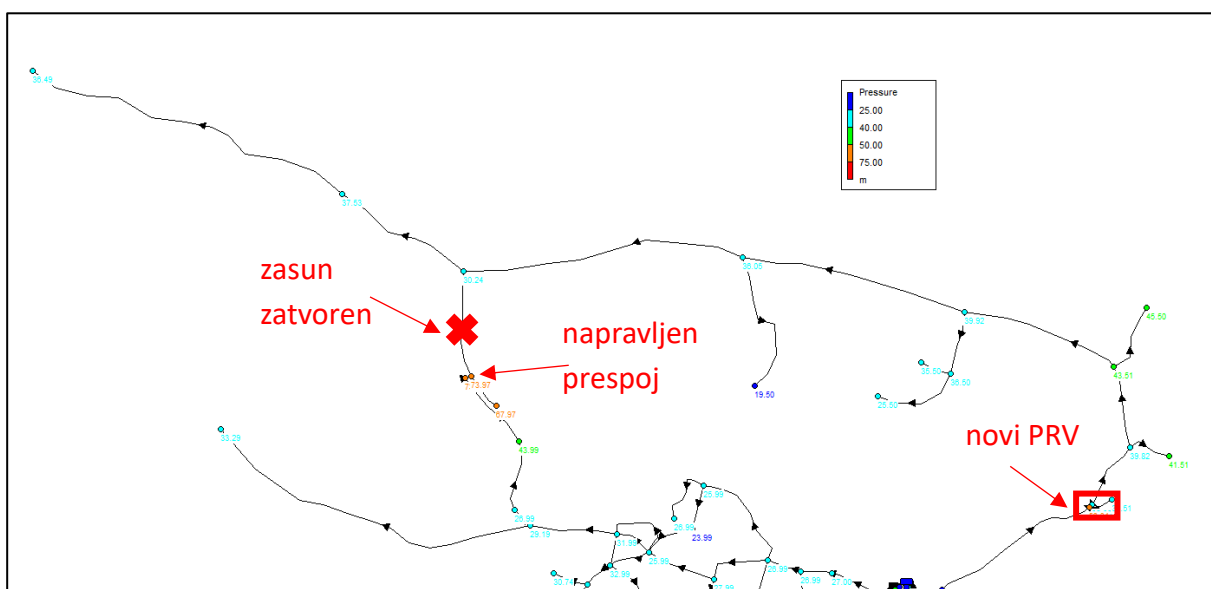
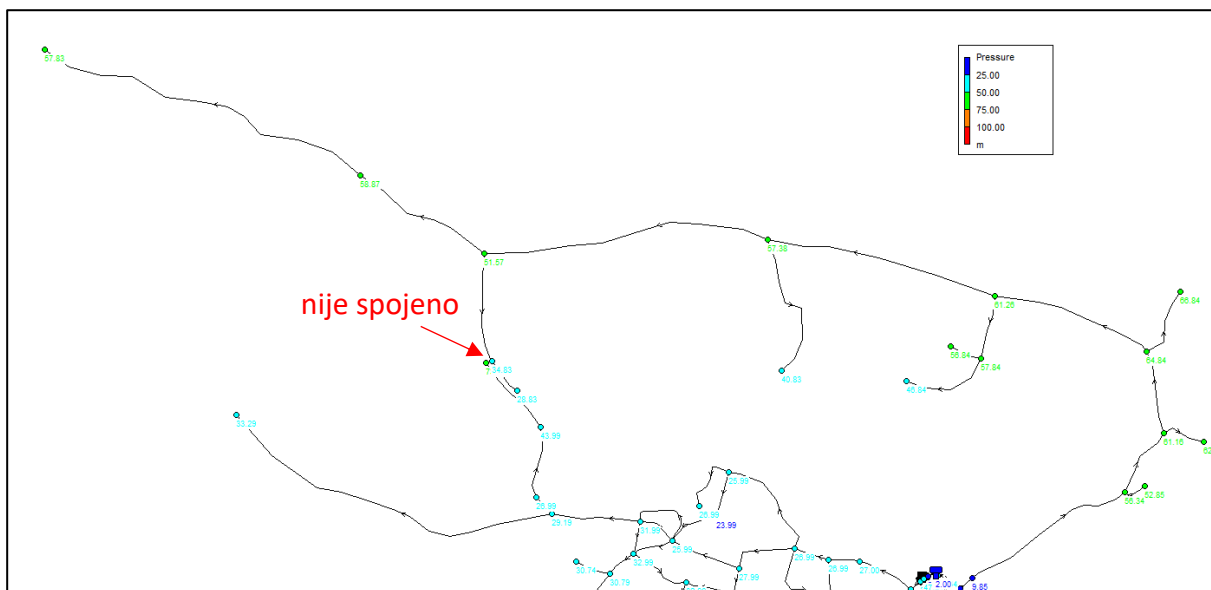
Slika 14. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Andrilovec u planiranom stanju nakon ugradnje PRV „valve 26“

Naselje Andrilovec predstavlja manji dio vodoopskrbne mreže, ali postavljanjem PRV „valve 26“ dobiva se izraženo smanjenje tlakova za naselje Andrilovec. Ventil „valve 26“ promjera je DN 100 a postavke su mu na 2.5 bara.



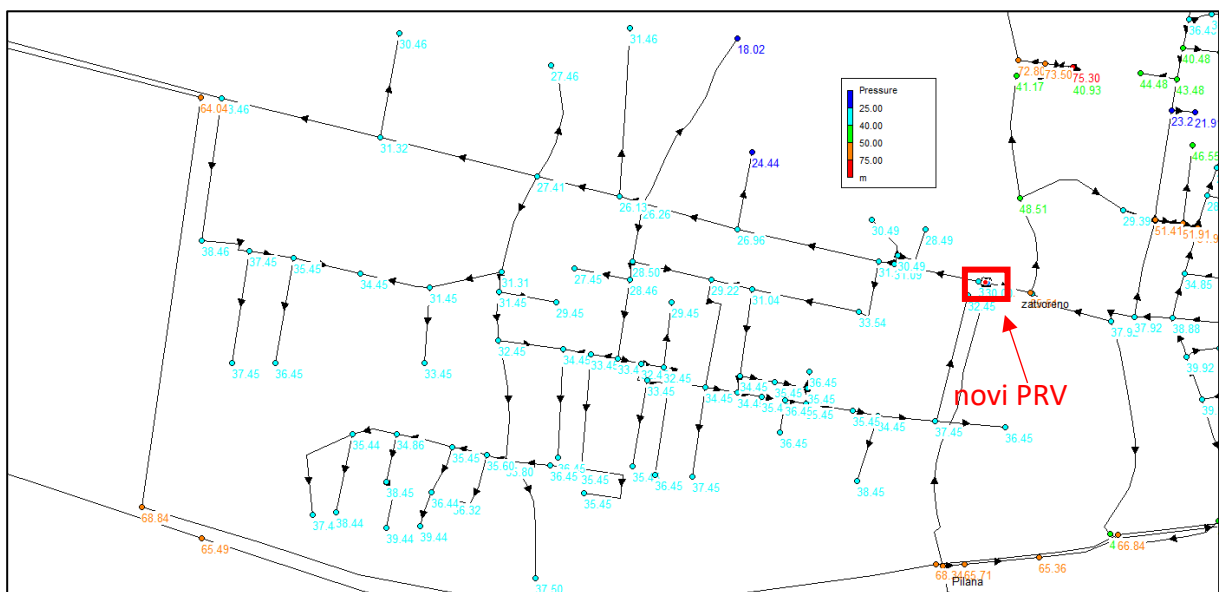
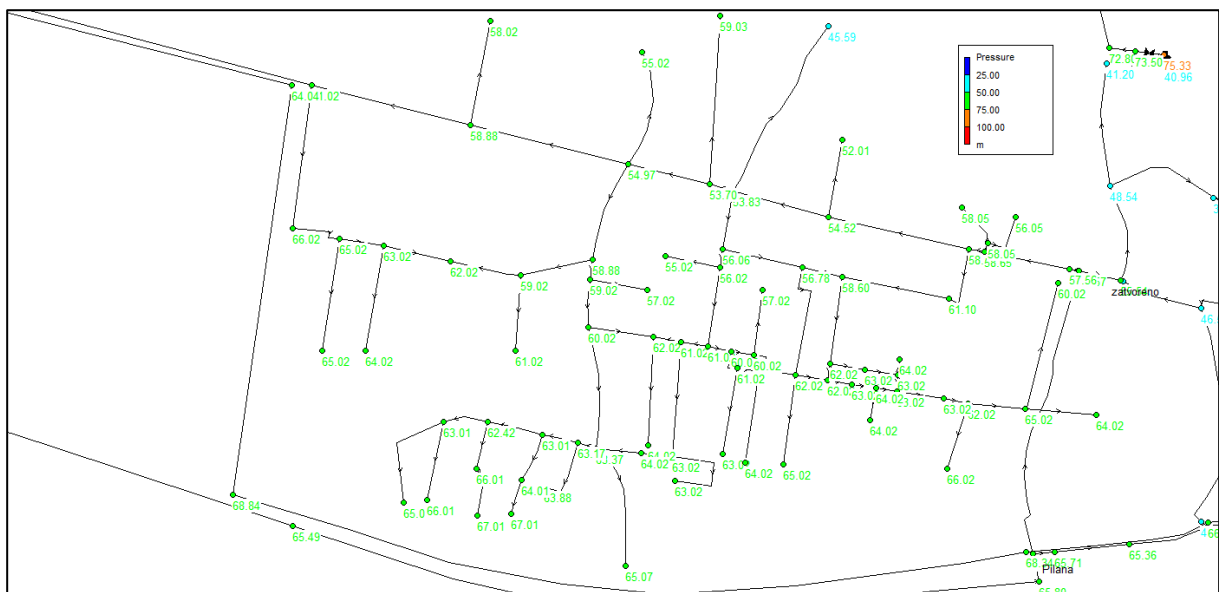
Slika 15. Prikaz raspodjele tlakova naselja Puhovo u planiranom stanju: lijevo – bez dodatnih mjera i desno: uz predloženu mjeru ugradnje novog PRV-a

Na samom ulasku vodoopskrbne mreže u naselje Puhovo predviđena je ugradnja PRV-a „valve 27“ promjera DN 100, a postavke rada su mu izlazni tlak na 2 bara.



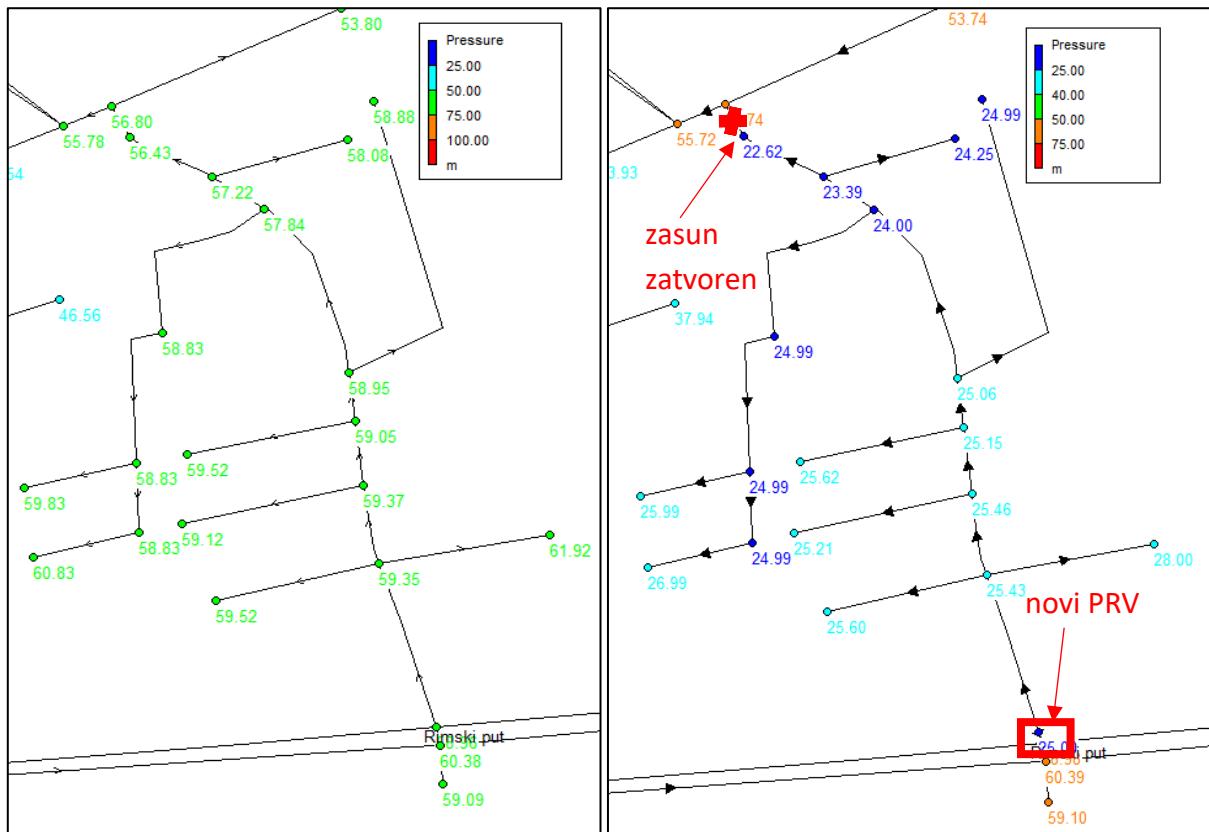
Slika 16. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Prozorje u planiranom stanju: slika gore bez dodatnih mjera i slika dolje s dodatnim mjerama

Za naselje Prozorje nije bilo dovoljno optimizirati tlak ugradnjom PRV-a „valve 28“ promjera DN 150, već je bilo potrebno napraviti kraći prespoj („pipe 489“ DN 110 te zatvoriti zasun na cijevi „pipe 664“) kako bi se osiguralo normalno funkcioniranje i minimalno potrebne tlakove na čitavom području obuhvata ove mjere.



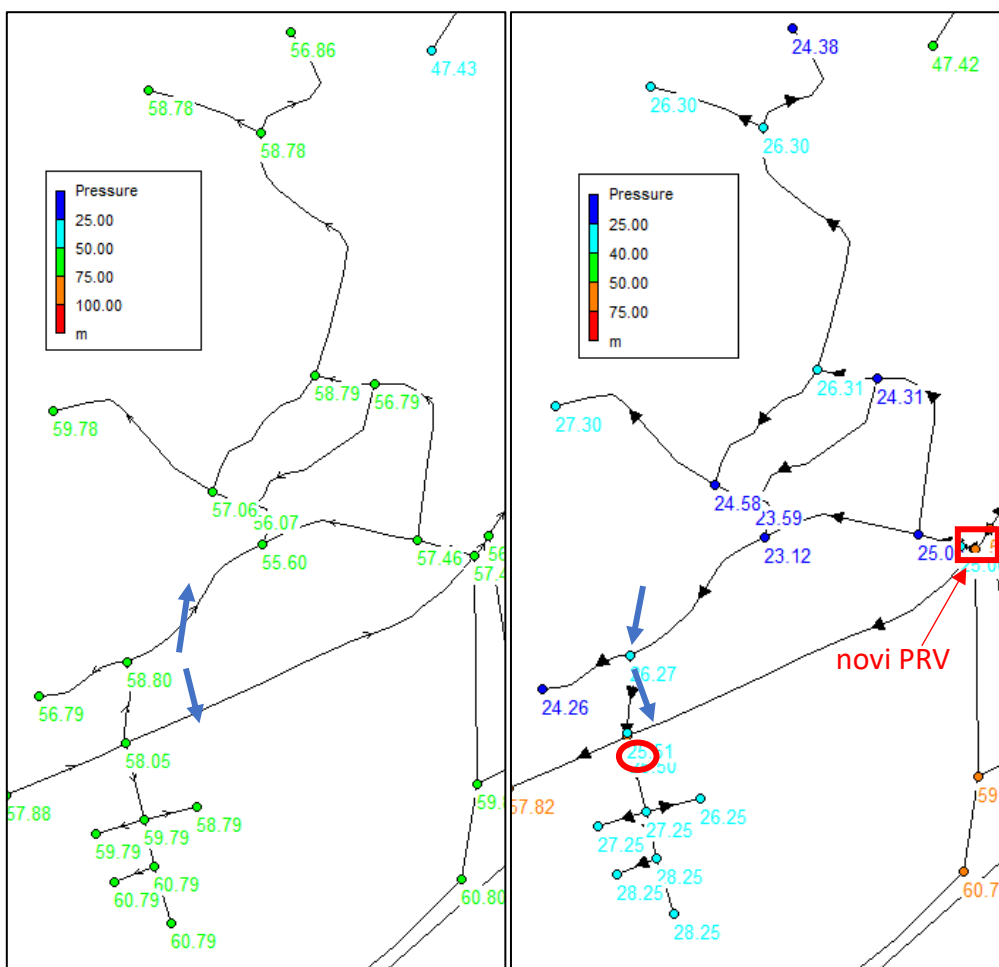
Slika 17. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Kopčevac u planiranom stanju: slika gore bez dodatnih mjera i slika dolje s dodanim PRV-om

Na samom ulazu vodoopskrbnog sustava u naselje Kopčevac dodan je PRV „valve 29“ promjera DN 200. Postavke dodanog ventila u odnosu na vrijednost izlaznog tlaka su na 3 bara.



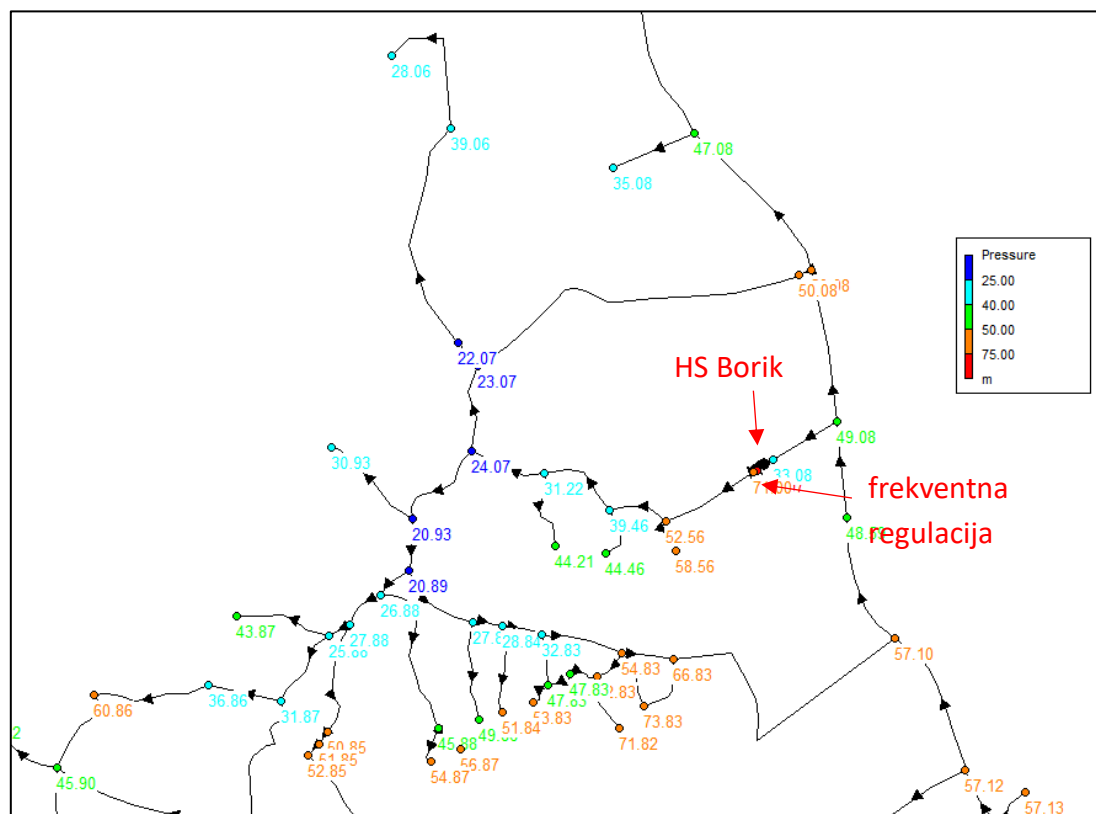
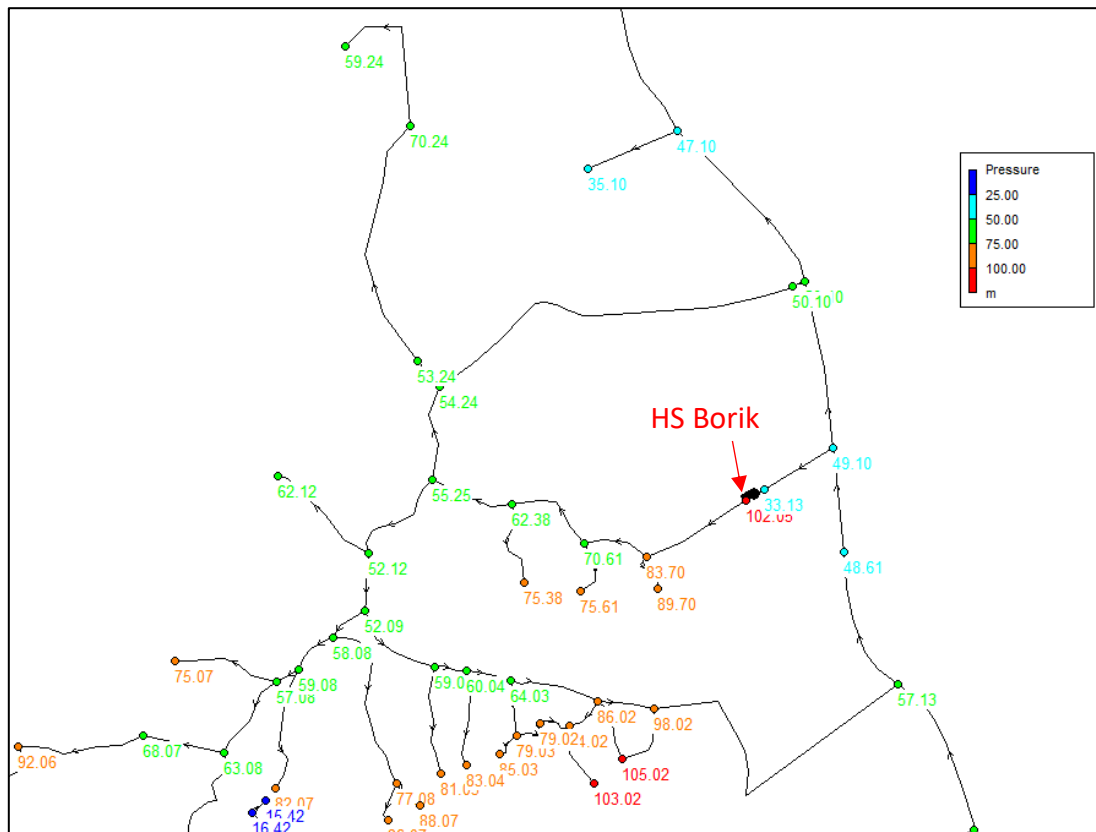
Slika 18. Prikaz raspodjele tlakova sjeverno od lokacije Rimski put u planiranom stanju : slika lijevo bez dodatnih mjera i slika desno s dodanim mjerama

Sjeverno od lokacije Rimski put dodan je PRV „valve 30“ promjera DN 200, a postavke su mu na 2.5 bara izlaznog tlaka. Dodatno je u sklopu ove mjere predloženo zatvaranje zasuna na spoju s magistralnim cjevovodom („pipe 675“), a kako bi se osiguralo optimalno funkcioniranje sustava na mjerom obuhvaćenom području.



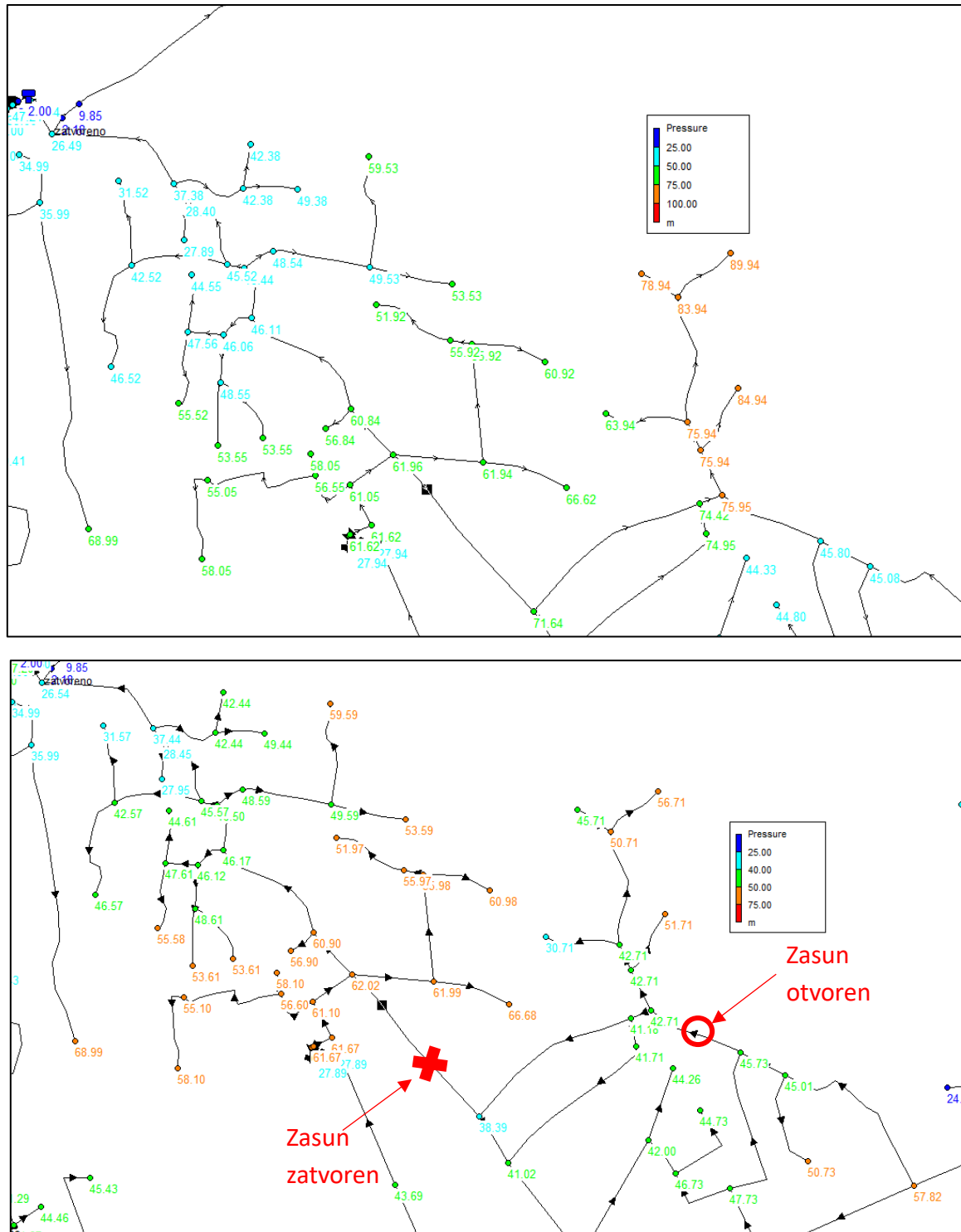
Slika 20. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Lukarišće u planiranom stanju: slika lijevo bez dodatnih mjera i slika desno nakon predloženih mjera

Predloženim prespojem (označen crvenim kružićem na slici 20 desno) i dodanim PRV-om "valve 32" potpuno se mijenja smjer tečenja vode u naselju Lukarišće i znatno se smanjuju tlakovi u cijelom naselju.



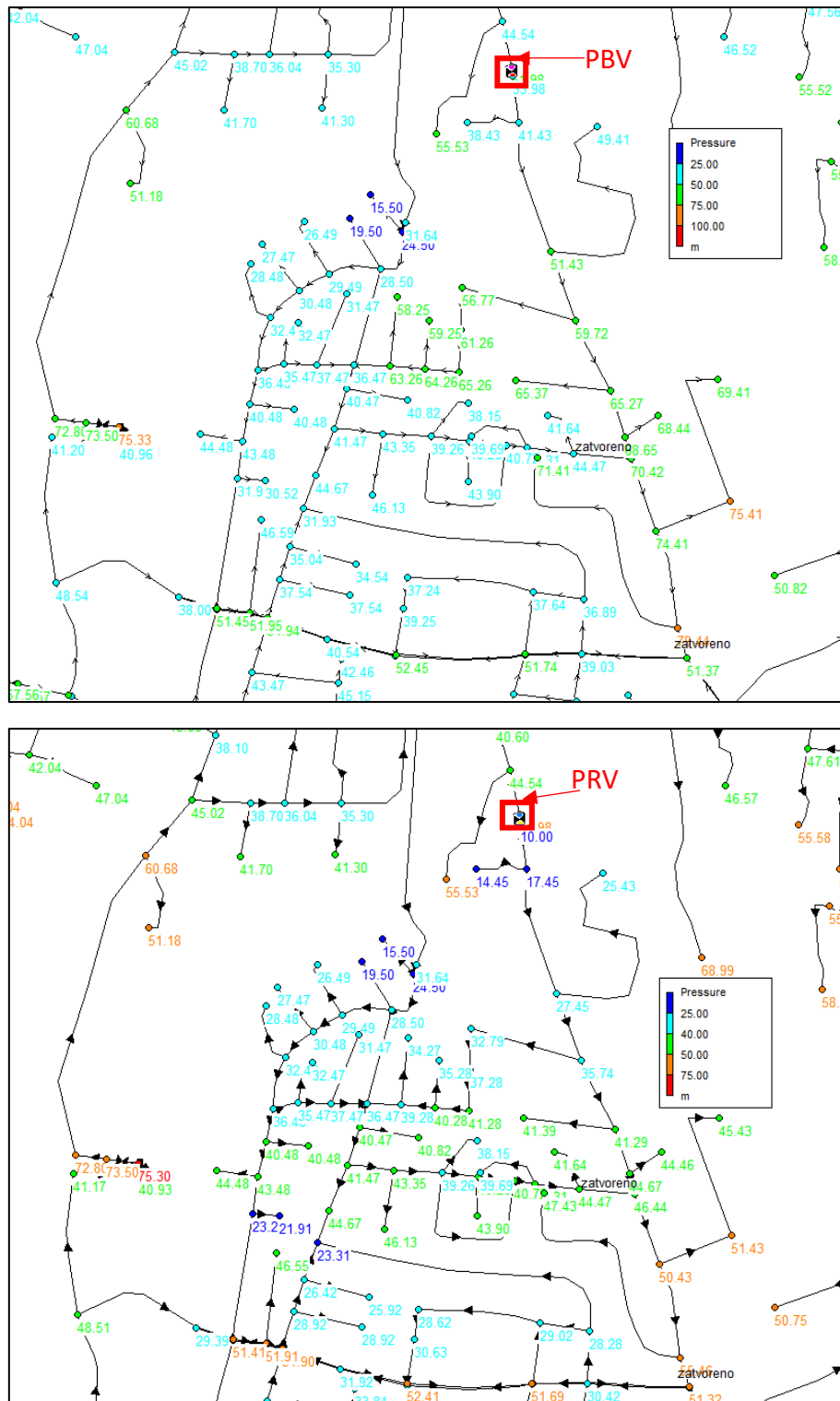
Slika 23. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Stančić te dijelu naselja Hrebinec i Štakorovec u planiranom stanju: slika gore bez dodatnih mjera i slika dolje uz ugrađenu frekventnu regulaciju u sklopu HS Borik

Frekventna regulacija je uređaj koji se ugrađuje u sklopu crpne stanice. Funkcija frekventne regulacije je prilagođavanje broja okretaja elektromotora raznim varijacijama protoka. Frekventna regulacija, na nekim dijelovima naselja Hrebinec i Štakorovec, smanjuje tlakove za 3 bara.



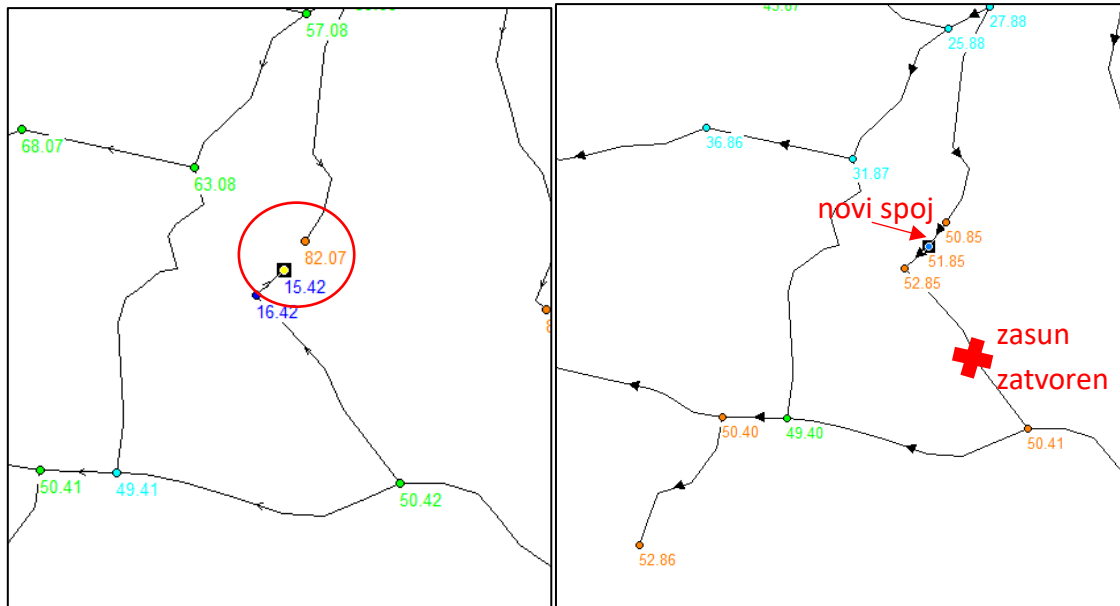
Slika 24. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Kozinščak u planiranom stanju: slika dolje prikazuje predložene mjere

Predložena mjera ne predstavlja trošak izvedbe i neće biti navedena u troškovniku jer se radi samo o otvaranju/zatvaranju zasuna. Na cijevi "pipe 661" označenoj crvenim znakom "x" na slici dolje zasun je zatvoren, a na cijevi "pipe 205" označenoj crvenim krugom na slici dolje zasun je otvoren.



Slika 25. Prikaz raspodjele tlakova u središnjem dijelu naselja Dugo Selo na dionici Šaškovečka ulica u planiranom stanju

Predložena mjera na slici 25. je zamjena postojećeg opružnog PBV-a sa hidrauličkim PRV-om. Postavke rada također su promijenjene sa 18 m izlaznog tlaka na 10 m izlaznog tlaka.



Slika 26. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Hrebinec uz predloženu mjeru optimizacije sustava izvedbom spoja na lokaciji Božjakovečki put duljine 50 m, DN 65 i zatvaranje zasuna na cjevovodu u Funtekovej ulici “pipe 123”

4.4. Analiza vodnih gubitaka nakon provedenih mjera

4.4.1. Vodni gubici nakon provedenih mjera

Nakon provedenih mjera dolazi do značajnog smanjenja prosječnih tlakova po zonama, a time i smanjenje srednjih dnevnih vodnih gubitaka po zonama. U tablici 10. prikazani su prosječni tlakovi po zonama nakon provedenih mjera, te srednji dnevni vodni gubici po zonama.

Tablica 10.: Prikaz vodnih gubitaka po zonama prije mjera

	Postojeće stanje vodnih gubitaka [l/s]	Prosječni tlak u zoni prije mjera [m H ₂ O]	Prosječni tlak u zoni prije mjera [bar]	Prosječni tlak u zoni nakon mjera [m H ₂ O]	Prosječni tlak u zoni nakon mjera [bar]	N_1	Vodni gubitak nakon mjera [l/s]
Zona Andrilovac	0.091802	58.33	5.72	25.11	2.46	1.5	0.025929
Zona Prikraj	0.198905	57.68	5.66	32	3.14	1.5	0.082206
Zona Istočno od Prikraja	0.566114	58.34	5.72	29.55	2.9	1.5	0.204145
Zona Puhovo	0.290707	47.8	4.69	23.47	2.3	1.5	0.100031
Zona Prozorje	0.306007	52.77	5.18	38.78	3.81	1.5	0.1928
Zona Kopčevac	1.193429	60.05	5.89	33.6	3.3	1.5	0.499471
Zona sjeverno od Rimskog puta	0.290707	57.91	5.68	28.31	2.78	1.5	0.099385
Zona Brckovljani	0.367209	66	6.48	38.69	3.8	1.5	0.164798
Zona Lukarišće	0.306007	57.31	5.62	28.95	2.84	1.5	0.109843
Zona južno od Lukarišća	0.076502	55.74	5.47	25.9	2.54	1.5	0.024225
Zona Sajmišna cesta	0.39781	47.99	4.71	40.8	4	1.5	0.311778
Zona Stančić	0.612015	66.08	6.48	43.26	4.25	1.5	0.324183
Zona Kozinščak	0.183604	76.07	7.46	42.73	4.19	1.5	0.077299
Zona središnji dio Dugo Selo	1.68738	44.23	4.34	36.85	3.62	1.5	1.282889
PROSJEK	6.56	57.59		33.42			3.49
	Ukupni gubici prije mjera unutar obuhvaćenih zona						Ukupni gubici nakon mjera unutar obuhvaćenih zona

Prosječni tlak u zonama smanjen je za 24.17 [m H₂O] te iznosi 33,42 [m H₂O], a srednji dnevni vodni gubici smanjeni su za 3.07 [l/s], te iznose 3.49 [l/s]. Za proračun vodnih gubitaka nakon mjera potrebno je odrediti „N₁“ eksponent. „N₁“ eksponent ovisi o materijalu cijevi, a u ovom sustavu korištene su „PVC“ cijevi i „N₁“ eksponent iznosi 1.5. Proračun vodnih gubitaka nakon mjerenja računa se po „FAVAD“ (*engl. Fixed and Variable Area Discharges*) metodi. „FAVAD“ metoda opisuje utjecaj promjene tlaka na promjenu istjecanja vode, a računa se po formuli [2]:

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

L₂- srednji dnevni vodni gubici nakon provedenih mjera [l/s]

L₁- srednji dnevni vodni gubici nakon provedenih mjera [l/s]

P₁- prosječni tlak u zoni prije mjera [m H₂O]

P₂- prosječni tlak u zoni nakon mjera [m H₂O]

N₁- N₁ eksponent (koeficijent materijala)

4.4.2. Proračun „ILI“ pokazatelja

„ILI“ pokazatelj je relativno pouzdani način iskazivanja vodnih gubitaka. „ILI“ pokazatelj predstavlja odnos trenutnih godišnjih stvarnih gubitaka (*engl. Current Annual Real Losses, CARL*) i neizbježnih godišnjih stvarnih gubitaka (*engl. Unavoidable Annual Real Losses, UARL*). „UARL“ predstavlja količinu stvarnih gubitaka koja uključuje i utjecaj hidrodinamičkog tlaka unutar vodoopskrbne mreže. Računa se po formuli [2]:

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

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 H₂O]

Formula za ILI pokazatelj [3]:

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

Na temelju dosad navedenog, može se zaključiti da pristup analizi gubitaka koji uključuje „ILI“ pokazatelj pruža bolji uvid u uspješnost rješavanja stvarnih gubitaka vode unutar sustava. „ILI“ pokazatelj je puno realniji od jednostavnog prikaza postotnog udjela ukupnih stvarnih gubitaka jer omogućuje precizniju procjenu učinkovitosti upravljanja sustavom. Primjerice, neki sustavi

moгу imati nizak postotak stvarnih gubitaka, ali istovremeno i nisku uspješnost u njihovom smanjenju. Veća vrijednost ILI pokazatelja sugerira lošije stanje sustava i manju uspješnost u rješavanju problema gubitaka vode.

Tablica 11.: Procjena stanja vodoopskrbnih sustava u odnosu na ILI pokazatelj [3]

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

ILI pokazatelj pomaže u analizi efikasnosti sustava i može se koristiti za identificiranje područja koja zahtijevaju poboljšanja ili investicije. Međutim, praksa pokazuje da ovaj pokazatelj ne igra značajnu ulogu u određivanju prioriteta za smanjenje vodnih gubitaka ili u izradi investicijskih planova u Hrvatskoj. Razlozi za to navedeni su u nastavku.

Da bi se izračunao ILI pokazatelj, potrebno je prikupiti opsežan set terenskih podataka. To uključuje podatke o potrošnji, tlaku u mreži, gubicima vode i druge relevantne informacije. Ovi podaci omogućuju točno određivanje količine vode koja se gubi i omogućuju analizu učinkovitosti sustava.

U praksi, mnogi isporučitelji vodnih usluga u Hrvatskoj nemaju sve potrebne podatke. Razlozi mogu uključivati nedostatak modernih mjernih instrumenata, ograničenja u prikupljanju podataka ili nedostatak resursa za održavanje i ažuriranje sustava za prikupljanje podataka.

Projekti analize vodnih gubitaka često ne uključuju sredstva za prikupljanje svih potrebnih podataka. Troškovi za instalaciju novih mjernih uređaja, obuku osoblja ili analizu podataka mogu biti visoki. Stoga, mnogi isporučitelji vodnih usluga ne mogu uložiti potrebna sredstva u

prikupljanje i analizu podataka, što može dovesti do nedostatka informacija za izračun ILI pokazatelja.

Čak i ako su podaci dostupni, njihovo pravilno prikupljanje i analiza mogu biti složeni i zahtijevati specijaliziranu opremu i stručnost. Ove poteškoće mogu dovesti do toga da ILI pokazatelj ne bude korišten u praksi, jer se preferiraju jednostavniji i izvodljiviji pristupi za upravljanje vodnim gubicima.

Iako ILI pokazatelj može biti koristan alat u teoriji, u praksi njegova primjena u Hrvatskoj nailazi na prepreke zbog nedostatka potrebnih podataka i financijskih ograničenja. Stoga, „ILI“ pokazatelj ne bi trebao biti jedini mjerodavan za donošenje konačnih mjera i odluka u projektiranju vodoopskrbnih sustava.

Tablica 12.: Proračun ILI pokazatelja

	Uk. broj priključaka [-]	Uk. duljina cjevovoda [km]	CARL [m^3/h]	UARL [m^3/h]	Potencijal uštede [m^3/h]	ILI [-]	CARL nakon mjera [m^3/h]	UARL nakon mjera [m^3/h]	ILI nakon mjera [-]
Zona Andrilovac	92	3.86	0.33	0.04	0.29	9.2	0.09	0.02	6.1
Zona Prikraj	628	24.34	0.72	0.23	0.48	3.1	0.3	0.13	2.3
Zona Istočno od Prikraja	118	4.97	2.04	0.05	1.99	44.3	0.73	0.02	31.6
Zona Puhovo	123	2.58	1.05	0.03	1.02	34.8	0.36	0.01	24.4
Zona Prozorje	200	7.13	1.1	0.07	1.04	16.8	0.69	0.05	14.4
Zona Kopčevac	1526	13.59	4.3	0.39	3.91	11.1	1.8	0.22	8.3
Zona sjeverno od Rimskog puta	2281.4	14.68	1.05	0.54	0.51	2	0.36	0.26	1.4
Zona Brckovljani	542	10.5	1.32	0.18	1.14	7.4	0.59	0.1	5.7
Zona Lukarišće	332	10.38	1.1	0.11	0.99	9.8	0.4	0.06	7
Zona južno od Lukarišća	25	2.2	0.28	0.01	0.26	19.7	0.09	0.01	13.4
Zona Sajmišna cesta	2684	17.27	1.43	0.52	0.91	2.7	1.12	0.44	2.5
Zona Stančić	434	15.05	2.2	0.18	2.03	12.5	1.17	0.12	10.1
Zona Kozinščak	210	4.1	0.66	0.08	0.58	8.3	0.28	0.04	6.2
Zona središnji dio Dugo Selo	216	5.01	6.07	0.05	6.02	120	4.62	0.04	109.8

„ILI“ pokazatelj znatno je smanjen, ali i dalje je u nekim zonama visok, iako su smanjenja vodnih gubitaka u tim zonama bila značajna. Stoga, „ILI“ pokazatelj ne bi trebao biti jedini mjerodavan za donošenje konačnih mjera i odluka u projektiranju vodoopskrbnih sustava.

5. TROŠKOVNIK I EKONOMSKA ANALIZA OSTVARENIH UŠTEDA

5.1. Troškovnik

U ovom poglavlju dan je aproksimativni troškovnik svih predloženih mjera unapređenja.

Tablica 13.: Troškovnik

PLANIRANI RADOVI		KOLIČINA	JEDINIČNA CIJENA (€/jed.mj.)	PROCJENA TROŠKOVA RADOVA (€)	TROŠKOVI POGONA I ODRŽAVANJA (€/god)
Ugradnja ventila za regulaciju tlaka					
Prikraj (valve 31) DN 200					
	građevinski radovi	1	13,200	13,200	132
	elektrostrojarska oprema i radovi	1	22,050	22,050	661.5
Prikraj lijevo (valve 25) DN 200					
	građevinski radovi	1	13,200	13,200	132
	elektrostrojarska oprema i radovi	1	22,050	22,050	661.5
Andrilovec (valve 26) DN 100					
	građevinski radovi	1	11,000	11,000	110
	elektrostrojarska oprema i radovi	1	19,425	19,425	582.8
Puhovo (valve 27) DN 100					
	građevinski radovi	1	11,000	11,000	110
	elektrostrojarska oprema i radovi	1	19,425	19,425	582.8
Prozorje (valve 28) DN 150					
	građevinski radovi	1	12,000	12,000	120
	elektrostrojarska oprema i radovi	1	21,000	21,000	630
Kopčevac (valve 29) DN 200					
	građevinski radovi	1	13,200	13,200	132
	elektrostrojarska oprema i radovi	1	22,050	22,050	661.5
Sjeverno od Rimski put (valve 30) DN 200					
	građevinski radovi	1	13,200	13,200	132

	elektrostrojarska oprema i radovi	1	22,050	22,050	661.5
Lukarišće (valve 32) DN 200					
	građevinski radovi	1	13,200	13,200	132
	elektrostrojarska oprema i radovi	1	22,050	22,050	661.5
Južno od Lukarišće (valve 35) DN 150					
	građevinski radovi	1	12,000	12,000	120
	elektrostrojarska oprema i radovi	1	21,000	21,000	630
Izvedba prespoja					
Prespoj Prozorje DN 110					
	građevinski radovi	17.00 m	250	4,250	21.3
Prespoj Hrebinec DN 65					
	građevinski radovi	50.00 m	250	12,500	62.5
Modifikacije postojećih crpnih stanica					
Ugradnja modula za frekventnu regulaciju HS Brckovljani					
	elektrostrojarska oprema i radovi	1	12,000	12,000	360
Ugradnja modula za frekventnu regulaciju HS Borik					
	elektrostrojarska oprema i radovi	1	12,000	12,000	360
Zamjena postojećih PBV ventila s PRV ventilima					
Modifikacije na Sajmišnoj cesti (PRV valve 46) DN 200					
	elektrostrojarska oprema i radovi	1	22,050	22,050	661.5
Modifikacije na Šaškovečka ulica (PRV valve 2) DN 100					
	elektrostrojarska oprema i radovi	1	19,425	19,425	582.8
				385,325	8,901.00

Kod ugradnje ventila za regulaciju tlaka stavkom su obuhvaćeni građevinski radovi i radovi potrebni za ugradnju elektrostrojarske opreme. Također, osim cijene samih radova, obuhvaćena je cijena ugrađene opreme i trošak pogona i održavanja. U troškovniku je uračunata ugradnja i održavanje 5 ventila DN 200, 2 ventila DN 150, 2 ventila DN 100.

Osim ugradnje novih ventila, u troškovnik je uračunata zamjena postojećih opružnih ventila (PBV) s hidrauličkim (PRV). Vrijednost zamjene odgovara vrijednosti elektrostrojarske opreme i radova novopostavljenog PRV-a s uračunatim troškovima pogona i održavanja.

U troškovnik su uračunate ugradnje modula za frekventnu regulaciju i popratni troškovi pogona i održavanja na dvjema crpnim stanicama: HS Borik i HS Brckovljani.

Kod izvedbe prespoja stavkom su obuhvaćeni samo građevinski radovi. Ukupni trošak izvedbe prespoja raste povećanjem duljine samog prespoja. U troškovniku su navedene dvije izvedbe prespoja.

Godišnji materijalni troškovi održavanja određeni su u postotku investicijskog troška objekta (za cjevovode 0,5%, za građevinske dijelove objekata 1,0%, za elektro-strojarski dio 3,0%).

Potrebno je naglasiti da su u projektu provedene mjere koje nisu navedene u troškovniku jer za njihovo provođenje nisu potrebne dodatne investicije. Jedna od takvih mjera je zatvaranje zasuna na spoju s magistralnim cjevovodom sjeverno od Rimskog puta. Navedena mjera ne predstavlja dodatni investicijski trošak za naručitelja budući da se ista ostvaruje u okviru radnog vremena osoblja za održavanje sustava.

5.2. Ekonomska analiza ostvarenih ušteda

U fizikalnom pogledu vodni gubitak je količina vode koja istječe iz vodoopskrbnog sustava (na različitim lokacijama - cijevi, zasunska okna, vodospreme, hidranti, kućni priključci, kućne instalacije i dr.). Pritom, „JIVU-I“ pokazuju izrazito slab interes za rješavanje problema vodnih gubitaka na kućnim priključcima i kućnim instalacijama (od vodomjera do izljevniha mjesta korisnika). Razlog tome je što trošak za te gubitke pokrivaju krajnji korisnici. Primarni interes „JIVU-a“ su vodni gubici koji se generiraju od vodozahvata do vodomjera krajnjih korisnika. Može se, primjerice, analizirati potpuno gravitacijski sustav kod kojeg je vodozahvat smješten na obližnjoj uzvisini, a zahvaćena je voda odlične kakvoće te je izvorište neograničenog kapaciteta. Svaka litra vodnog gubitka na bilo kojem dijelu takvog sustava za „JIVU“ bila bi potpuno irelevantna zbog toga što taj vodni gubitak ne predstavlja dodatni trošak. U suprotnom slučaju, kod sustava gdje je vodozahvat visinski smješten niže od mjesta potrošnje, te je zahvaćenu vodu potrebno crpiti i tlačiti do krajnjih potrošača (kod potisnih sustava) ili do vodosprema (kod kombiniranog potisno-gravitacijskih sustava), svaka litra vodnog gubitka postaje relevantna iz razloga što rezultira nepotrebnim povećanjem ukupnih troškova

poslovanja nadležnog „JIVU-a“. Iz navedenog proizlazi da je vodni gubitak u praktičnom pogledu ništa drugo nego "novac" [3].

Vodne gubitke je stoga preporučljivo izražavati kao ekonomske gubitke koji predstavljaju financijski gubitak, primjerice na godišnjoj razini (EUR/godišnje), koji „JIVU“ konstantno plaća bilo u obliku direktnih troškova (cijena dobave vode – električna energija na crpnim stanicama, kondicioniranje, osoblje i dr.) ili indirektnih troškova (sanacija gubitaka - popravci na cjevovodima, kućnim priključcima i dr.) [3]. U tablici 10. prikazane su prosječne vrijednosti vodnih gubitaka po zonama u postojećem i planiranom stanju. Razlika između vrijednosti vodnih gubitaka postojećeg stanja i planiranog iznosi 3.07 l/s. Kada se ta vrijednost izrazi u [m^3 /god], dobiva se količina vode uštedena na godišnjoj razini i ona iznosi 96.791 [m^3 /god]. Ušteda na smanjenju vodnih gubitaka prikazana je u eurima i izražena je u tablici 14. Računata je po jediničnoj cijeni dobave vode u iznosu od 0,3 [EUR/ m^3]. U jediničnu cijenu dobave vode uračunati su isključivo direktni troškovi vezani uz crpljene i pripremu te vode (trošak električne energije i kemikalija za kondicioniranje vode).

Tablica 14.: Ekonomska analiza ostvarenih ušteda

TROŠKOVI		
IZRAČUN NETO SADAŠNJE VRIJEDNOSTI		
	NPV	IZNOS TROŠKA
Investicijski troškovi građ. radova	119,037 EUR	128,750 EUR
Investicijski troškovi el.-stro. opreme	358,999 EUR	256,575 EUR
Troškovi održavanja	139,767 EUR	8,901 EUR/god
OSTATAK VRIJEDNOSTI	37,519 EUR	
	580,284 EUR	Diskontna stopa: 4%

	NPV	IZNOS UŠTEDA
Uštede na smanjenju vodnih gubitaka	455,954 EUR	29,037 EUR/god
Uštede na smanjenju broja kvarova	706,608 EUR	45,000 EUR/god
	1,162,562 EUR	Diskontna stopa: 4%

USPOREDBA UKUPNIH TROŠKOVA (INVESTICIJA I ODRŽAVANJE) TE OSTVARENIH UŠTEDA ZA PROJEKTI PERIOD OD 30 GODINA	TROŠKOVI	UŠTEDE
	580,284 EUR	1,162,562 EUR

U postojećem stanju sustava zabilježeno je prosječno 90 kvarova godišnje. U planiranom stanju, nakon implementacije mjera, predviđa se smanjenje broj kvarova za 40 %, odnosno predviđa se da će se broj kvarova u planiranom stanju smanjiti za prosječno 36 kvarova

godišnje. Naveden je rezultat analize u odnosu na očekivano smanjenje tlakova na sustavu s predloženim mjerama unapređenja. U postojećem stanju tlak na sustavu iznosi oko 52 [m H₂O], dok se na predloženim mjerama on smanjuje na oko 39 [m H₂O], odnosno postignuto je smanjenje prosječnog tlaka za oko 25%. Navedene mjere implementirane su na dijelovima sustava gdje su gubitci i tlakovi bili uglavnom veći od prosjeka pa je za očekivati da je upravo na tim dijelovima sustava bio i veći broj kvarova (puknuća) u postojećem stanju. Prosječni trošak sanacije puknuća iznosi 1250 EUR, što znači da ušteda na smanjenju broja kvarova iznosi prosječno 45,000 EUR/god.

Investicijski troškovi građevinskih radova jednokratni su trošak, odnosno kada se sustav izgradi ne planiraju se dodatni troškovi od građevinskih radova. Ukupni trošak građevinskih radova prikazan je u tablici 14. i iznosi 119,037 EUR. Investicijski trošak elektro-strojarske opreme prikazan je u tablici 14. i iznosi 358,999 EUR s uračunatom redovnom zamjenom elektro-strojarske opreme nakon 15 godina rada sustava. Troškovi održavanja sustava iznose 8,901 EUR/god.

Uštede na smanjenju vodnih gubitaka ukupno iznose 455,954 EUR, dok na godišnjoj razini iznose 29,037 EUR/god. Uštede na smanjenju broja kvarova ukupno iznose 706,608 EUR, dok na godišnjoj razini iznose 45,000 EUR/god.

Na temelju iznosa ušteda na smanjenju vodnih gubitaka i smanjenju broja kvarova izračunata je ukupna ušteda za projektni period od 30 godina i iznosi 1,162,562 EUR, dok trošak izvedbe i održavanja investicije iznosi 580,284 EUR. Pritom je za izračun neto sadašnje vrijednosti (NPV) korištena diskontna stopa od 4% godišnje.

Uredbom o izmjenama i dopunama Uredbe o visini naknade za korištenje voda („Narodne novine“, broj 32/20.) propisani su novi modeli obračuna i naplate naknade za korištenje voda (NKV) u javnoj vodoopskrbi korištenjem korekcijskih koeficijenata kojima se umanjuje iznos naknade za korištenje voda onim javnim isporučiteljima vodne usluge javne vodoopskrbe koji svoje gubitke svedu na prihvatljivu razinu odnosno niže od 25 %. Navedeni modeli naplate trebali su se primjenjivati od 1. siječnja 2023. , međutim primjenjivat će se tek od 1. siječnja 2025. [7].

U skladu sa zahtjevima Direktive (EU) 2020/2184 Europskog parlamenta i Vijeća od 16. prosinca 2020. o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju (preinaka) (SL L 435, 23.12.2020.) koji su preneseni u Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o vodama („Narodne novine“, broj 47/23.) uvedena je obveza procjene gubitaka vode u sustavima javne vodoopskrbe korištenjem metode ocjenjivanja „infrastrukturni indeks istjecanja“ (ILI indikator) u svrhu smanjenja gubitaka na prihvatljivu razinu. Sukladno navedenoj Direktivi, delegiranim aktom Europske komisije utvrdit će se prag prihvatljivog gubitka na razini Europske unije, a one države članice čiji će prosječni gubici biti veći od toga praga morat će donijeti nacionalne akcijske planove za smanjenje gubitaka do 2030. godine [7].

Jedna od najvažnijih mjera iz Nacionalnog plana je ugradnja mjerača protoka, odnosno vodomjera na svim vodozahvatima vode za ljudsku potrošnju u Republici Hrvatskoj. Naime, u

svrhu dobivanja pouzdanih podataka o izmjerenim količinama zahvaćene vode, na vodozahvatima vode koja se koristi u javnoj vodoopskrbi ugrađeno je 656 vodomjera koji su sufinancirani iz sredstava NPOO-a (Nacionalni plan oporavka i otpornosti). Na taj način se uspostavlja kvalitetan i pouzdan sustav upravljanja gubicima s ciljem njihovog značajnog smanjenja. Provedbom te mjere odnosno ulaganjem u projekt vrijednosti cca 13 milijuna eura (od toga 8,5 milijuna eura bespovratnih EU sredstava iz NPPO-a) uspostavljen je sustav mjerenja zahvaćenih količina vode koji omogućava kontrolu od strane Hrvatskih voda u realnom vremenu [7].

Na taj način je provedena obveza iz članka 5. Uredbe o izmjenama i dopunama Uredbe o visini naknade za korištenje voda iz 2020. godine te je vidljivo da su provedene nužne predradnje za smanjenje gubitaka. Međutim, kako bi došlo do značajnijih smanjenja razine gubitaka u samim vodoopskrbnim sustavima potrebno je realizirati osigurana ulaganja u izgradnju novih i rekonstrukciju postojećih vodoopskrbnih sustava odnosno dovoljno vremena za konačnu realizaciju projekata i stavljanje u funkciju novoizgrađenih i rekonstruiranih sustava [7].

Javni isporučitelji koji imaju velike gubitke u sustavima javne vodoopskrbe kao i veliku potrošnju vode, a koji nisu učinili konkretne značajne pomake u smanjenju gubitaka u svom vodoopskrbnom sustavu plaćali bi veći iznos naknade za korištenje voda [7].

Nakon stupanja na snagu ove uredbe uštede na vodnim gubicima ovog projekta biti će još izraženije i implementirane mjere još isplativije. Ovime se nastoji komunalna poduzeća, zadužena za brigu o vodoopskrbnim sustavima, potaknuti na održivije i odgovornije upravljanje istima.

6. ZAKLJUČAK

Stvarni gubici vode karakteriziraju svaki vodoopskrbni sustav i predstavljaju neizbježan dio njegovog rada. Vodni gubici nastaju zbog različitih faktora kao što su curenja na cijevima i kvarovi na ventilima. Iako potpuno eliminiranje gubitaka nije moguće, čak ni u novim i modernim sustavima, uvijek postoji potreba za konstantnim unapređenjem u smanjenju gubitaka. Novi sustavi mogu imati minimalne gubitke, ali zbog stalnog starenja infrastrukture i prirodne istrošenosti, gubici se s vremenom povećavaju ako se ne poduzimaju odgovarajuće mjere održavanja sustava.

U usporedbi s ostalim vodoopskrbnim sustavima u Hrvatskoj, sustav Dugo Selo ima relativno niske vodne gubitke, no unatoč tome, postoji prostor za daljnje poboljšanje. Bitno je iskoristiti taj prostor za daljnje poboljšanje jer male optimizacije mogu dovesti do značajnih ušteda u dugoročnom razdoblju. Kroz detaljnu analizu trenutnog stanja sustava u Dugom Selu i implementaciju predloženih mjera optimizacije, smanjenje vodnih gubitaka postalo je očito. Ključni pristup bio je smanjenje tlaka unutar sustava kao jedna od najjednostavnijih i ekonomski najisplativijih mjera kontrole vodnih gubitaka, čime su smanjeni stvarni gubici koji često nastaju zbog visokog tlaka u cjevovodima. Manji tlak znači manje opterećenje na cijevima, što dodatno smanjuje i mogućnost puknuća i pojave novih curenja.

Jedan od glavnih pokazatelja koji se koristi za procjenu učinkovitosti smanjenja vodnih gubitaka je ILI pokazatelj koji mjeri učinkovitost upravljanja stvarnim gubicima vode. Nakon provedbe optimizacijskih mjera, ILI pokazatelj u Dugom Selu znatno je poboljšán u odnosu na početno stanje, što ukazuje na napredak u smanjenju gubitaka. Međutim, unatoč poboljšanju, ILI u nekim zonama sustava i dalje nije zadovoljavajući. Za dodatna unapređenje sustava potrebno je napraviti zoniranje sustava, odnosno, u zonama gdje je najviše gubitaka potrebno je provesti detaljna terenska ispitivanja geofonima i koleratorima za otkrivanje mikrolokacija propuštanja. Nakon zoniranja, potrebno je sanirati otkrivene mikrolokacije, što zahtjeva dodatan trošak, ali će se ostvariti i dodatne uštede.

Analiza je pokazala da ILI pokazatelj sam po sebi nije dovoljan za potpunu procjenu učinkovitosti smanjenja gubitaka. Iako je koristan, potrebno je koristiti i druge metode, poput ekonomske analize, koja može pružiti cjelovitiju sliku. Ekonomska analiza u Dugom Selu pokazala je značajne uštede kroz projektno razdoblje, koje se manifestiraju ne samo kroz smanjenje vodnih gubitaka, nego i kroz smanjenje troškova održavanja sustava. Manji vodni gubici znače manju potrebu za popravcima, manje troškove za hitne intervencije i dulji vijek trajanja infrastrukture.

Sve u svemu, dugoročne uštede postižu se kombinacijom tehničkih i ekonomskih mjera. Ulaganje u održavanje i optimizaciju sustava kroz smanjenje tlaka, modernizaciju infrastrukture i praćenje pokazatelja kao što je ILI ključni su koraci prema stvaranju učinkovitijeg i održivijeg vodoopskrbnog sustava.

POPIS LITERATURE

- [1] Predavanja iz Opskrba i odvodnja 2 , Sveučilište u zagrebu, Građevinski fakultet, 2024.
- [2] Vouk D., Martinac T., Nakić D.,: Usporedba različitih načina iskazivanja vodnih gubitaka uz osvrt na hrvatsku praksu, 2017.
- [3] Halkijević I., Vouk D.,: Skripta iz Opskrba i odvodnja 2, Sveučilište u zagrebu, Građevinski fakultet, 2024.
- [4] Lewis A. Rossman, Hyoungmin Woo, Michael Tryby, Feng Shang, Robert Janke, Terranna Haxton: Epanet 2.2 user manual
- [5] Wikipedia, https://hr.wikipedia.org/wiki/Zagrebačka_županija
- [6] Cla-Val Control Valves <https://www.cla-val.com/waterworks/pressure-control-valves/pressure-reducing-valves/90-01-690-01>
- [7] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja,: Prijedlog uredbe o izmjenama Uredbe o visini naknade za korištenje voda, 2023.
- [8] Nacionalni akcijski plan smanjenja gubitaka vode u Republici Hrvatskoj, Lipanj, 2024.

POPIS SLIKA

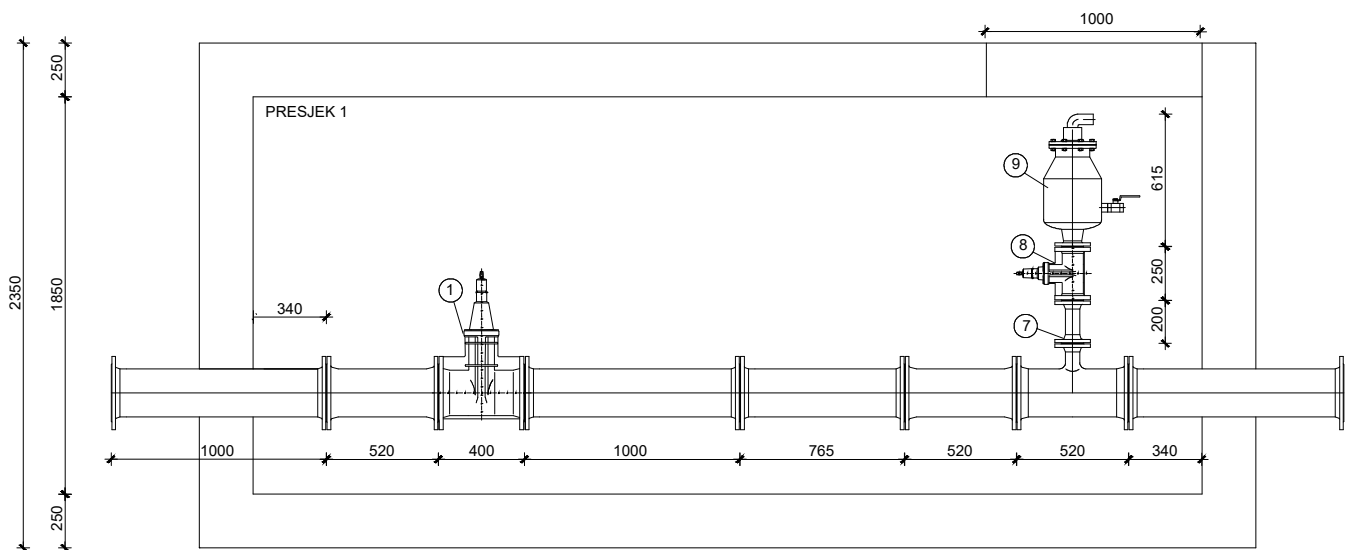
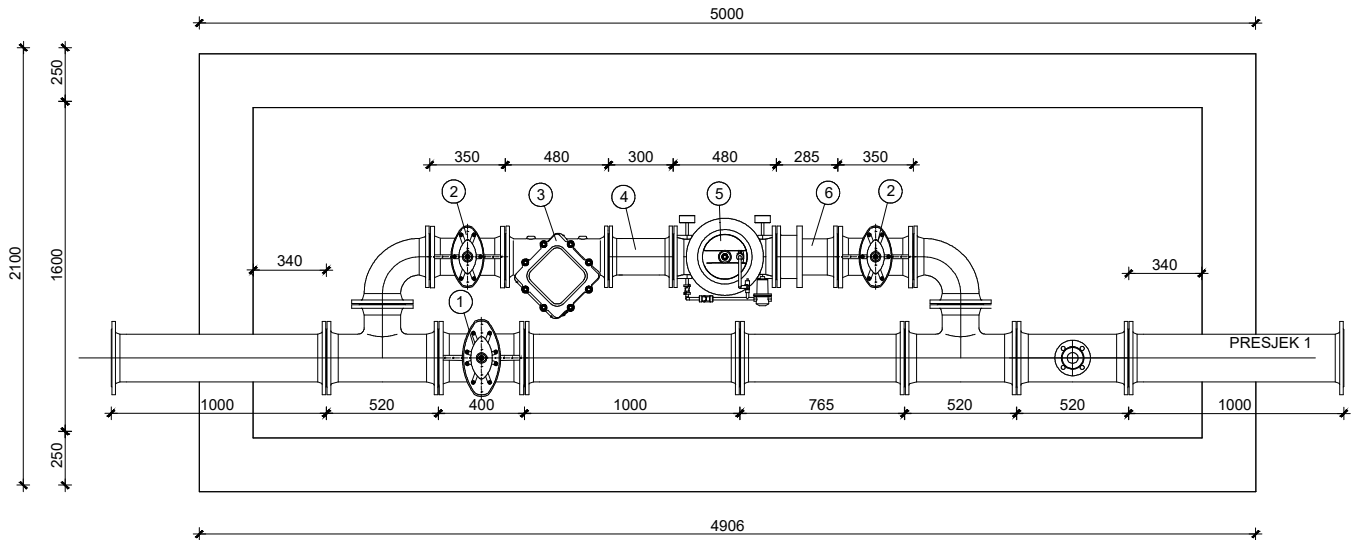
Slika 1. Prikaz mikro lokacije grada Dugo Selo i Općine Brckovljani označeni krugom, u odnosu na Zagrebačku županiju obojano u crveno [5].....	4
Slika 2. Prikaz podjele sustava na DMA zone.....	5
Slika 3. Kretanje broja stanovnika grada Dugo Selo od 1971. g. do 2021. g.	6
Slika 4. Kretanje broja stanovnika Općina Brckovljani od 1971. g. do 2021. g.	6
Slika 5. Procjena kretanja broja stanovnika Grada Dugo Selo za period 2021-2045.....	7
Slika 6. Procjena kretanja broja stanovnika Općine Brckovljani za period 2021-2045.....	7
Slika 7. Prikaz postojećeg stanja mreže.....	12
Slika 8. Prikaz ventila za regulaciju tlaka.....	16
Slika 9. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Prikraj u planiranom stanju bez implementacije bilo kakvih mjera unapređenja sustava.....	17
Slika 10. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Prikraj u planiranom stanju nakon ugradnje PRV-a „valve 31“	17
Slika 11. Prikaz raspodjele tlakova na području istočnog dijela naselja Prikraj u planiranom stanju: lijevo – bez dodatnih mjera i desno: uz predloženu mjeru ugradnje novog PRV-a „valve 25“	18
Slika 12.: Uvećani prikaz postavljenog ventila „valve 25“	18
Slika 13. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Andrilovec u planiranom stanju bez implementacije bilo kakvih mjera unapređenja sustava.....	19
Slika 14. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Andrilovec u planiranom stanju nakon ugradnje PRV „valve 26“	19
Slika 15.: Prikaz raspodjele tlakova naselja Puhovo u planiranom stanju: lijevo – bez dodatnih mjera i desno: uz predloženu mjeru ugradnje novog PRV-a.....	20
Slika 16. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Prozorje u planiranom stanju: slika gore bez dodatnih mjera i slika dolje s dodanim mjerama.....	21
Slika 17 Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Kopčevac u planiranom stanju: slika gore bez dodatnih mjera i slika dolje s dodanim PRV-om.....	22
Slika 18. Prikaz raspodjele tlakova sjeverno od lokacije Rimski put u planiranom stanju : slika lijevo bez dodatnih mjera i slika desno s dodanim mjerama.....	23
Slika 19. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Brckovljani u planiranom stanju: slika gore bez dodatnih mjera i slika dolje uz ugrađenu frekventnu regulaciju u sklopu HS Brckovljani.....	24

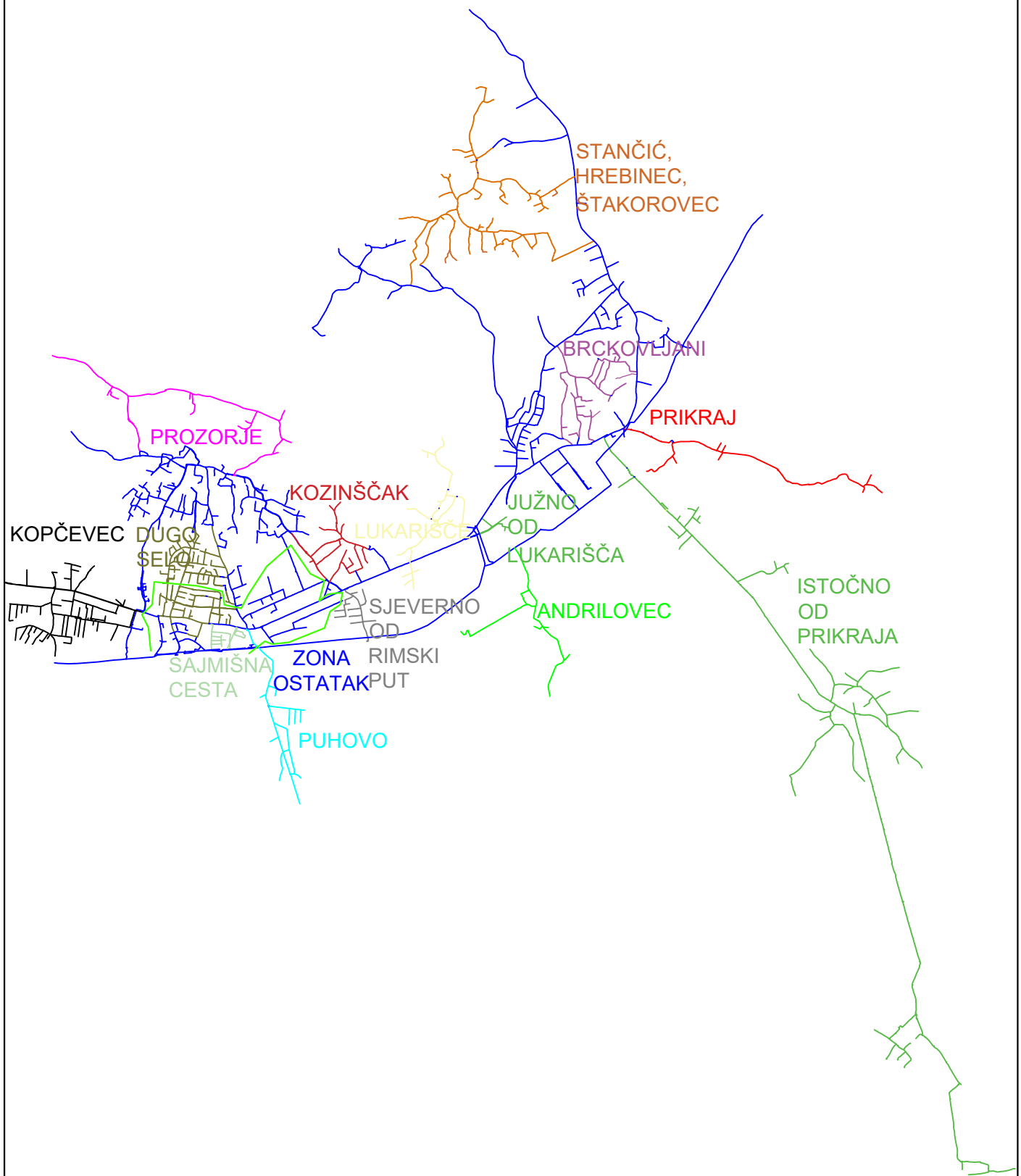
Slika 20. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Lukarišće u planiranom stanju: slika lijevo bez dodatnih mjera i slika desno nakon predloženih mjera.....	25
Slika 21. Prikaz raspodjele tlakova na području južno od naselja Lukarišće u planiranom stanju: slika lijevo bez dodatnih mjera i slika desno nakon dodavanja PRV-a “valve 35”	26
Slika 22. Prikaz raspodjele tlakova na Sajmišnoj cesti, slika lijevo: postojeći PBV “valve 46”, slika desno: ventil “valve 46” promjenjen u PRV	26
Slika 23. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Stančić te dijelu naselja Hrebinec i Štakorovec u planiranom stanju: slika gore bez dodatnih mjera i slika dolje uz ugrađenu frekventnu regulaciju u sklopu HS Borik.....	27
Slika 24. Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Kozinščak u planiranom stanju: slika dolje prikazuje predložene mjere.....	28
Slika 25 Prikaz raspodjele tlakova u središnjem dijelu naselja Dugo Selo na dionici Šaškovečka ulica u planiranom stanju.....	29
Slika 26 Prikaz raspodjele tlakova na području naselja Hrebinec uz predloženu mjeru optimizacije sustava izvedbom spoja na lokaciji Božjakovečki put duljine 50 m, DN 65 i zatvaranje zasuna na cjevovodu u Funtekovoju ulici “pipe 123”	30

POPIS TABLICA

Tablica 1.: Podjela vodoopskrbnog sustava na DMA zone.....	5
Tablica 2.: Potrošnja vode u kućanstvima 2021.g.....	8
Tablica 3.: Stvarne fakturirane količine vode od 2017. g. do 2021. g.....	8
Tablica 4.: Potrošnja vode u privredi 2021.g.....	8
Tablica 5.: Vrijednosti koeficijenta neravnomjernosti potrošnje vode [1].....	9
Tablica 6.: Prikaz predviđene potrošnje vode kućanstva.....	10
Tablica 7.: Prikaz opterećenja po zonama.....	10
Tablica 8.: Prikaz predviđene potrošnje vode privrede.....	11
Tablica 9.: Prikaz vodnih gubitaka po zonama prije mjera.....	15
Tablica 10.: Prikaz vodnih gubitaka po zonama prije mjera.....	31
Tablica 11.: Procjena stanja vodoopskrbnih sustava u odnosu na ILI pokazatelj [3].....	33
Tablica 12.: Proračun ILI pokazatelja.....	34
Tablica 13.: Troškovnik.....	35
Tablica 14.: Ekonomska analiza ostvarenih ušteda.....	38

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	DIPLOMSKI RAD
Ak godina 2023/2024	Mjerilo: 1:5000
Situacijski prikaz DMA zona	PRILOG B
VID KOVAČIĆ 0082062807	