

PROCJENA STVARNIH I NEIZBJEŽNIH GUBITAKA U VODOOPSKRBNIM SUSTAVIMA

ASSESSMENT OF REAL AND INEVITABLE LOSSES IN WATER SUPPLY SYSTEMS

Ivan Jurčević*, Vanja Travaš*

Sažetak

Gubitci vode u vodoopskrbnim sustavima uzrokuju značajne ekonomske i ekološke štete. Pored povećanja troškova distribucije pitke vode, oni nepovoljno utječu i na vodne resurse, što je osobito izraženo u područjima s ograničenim zalihama vode. Unatoč uložnim naporima, u Republici Hrvatskoj gubici i dalje čine značajan udio ukupne potrošnje te prosječno dosežu i do 50 % zahvaćenih količina vode. Procjena gubitaka temelji se na specifičnim pokazateljima stanja vodnogostupne infrastrukture, među kojima se posebno ističe ILI pokazatelj (engl. Infrastructure Leakage Index), predložen od Međunarodne udruge za vodu (engl. International Water Association), definiran kao omjer stvarnih i neizbježnih gubitaka vode. U radu je prikazana teorijska osnova procjene ILI pokazatelja s naglaskom na ključne parametre koji na njega utječu (stvarni i neizbježni gubici, duljina cjevovoda, prosječni tlak u sustavu i broj korisnika). Također je prikazan praktičan primjer procjene ILI pokazatelja temeljen na računalnom modelu određene DMA zone (engl. District Metered Area). Primjenom programa EPANET modelirani su tlakovi unutar zadane DMA zone, a na temelju dobivenih podataka procijenjeni su stvarni i neizbježni gubici vode. Analizom su identificirana područja unutar DMA zone, koja zahtijevaju implementaciju mjera za smanjenje gubitaka vode i poboljšanje operativne učinkovitosti sustava. Zaključeno je da se smanjenje ILI pokazatelja na ciljnu vrijednost može postići isključivo iterativnom primjenom numeričkih analiza i terenskih mjerenja.

Ključne riječi: vodoopskrbni sustavi, gubici, ILI pokazatelj, DMA zona, EPANET

* Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka

E-mail: ijurcevic1@uniri.hr, vanja.travas@uniri.hr

Abstract

Water losses in water supply systems cause significant economic and environmental damage. In addition to increasing the costs of drinking water distribution, they also negatively affect water resources, which is particularly critical in areas with limited water availability. Despite efforts to reduce them, water losses in the Republic of Croatia still account for a significant share of total consumption, averaging up to 50% of abstracted water volumes. The assessment of water losses is based on specific performance indicators of the water utility infrastructure, among which the Infrastructure Leakage Index (ILI), proposed by the International Water Association, is particularly important. ILI is defined as the ratio of current real losses to unavoidable losses. This paper presents the theoretical basis for the assessment of the ILI indicator, with emphasis on the key parameters influencing it (real and unavoidable losses, pipeline length, average system pressure, and the number of consumers). A practical example of ILI assessment was also provided, based on a hydraulic model of a selected District Metered Area (DMA). Using the EPANET software, pressures within the given DMA zone were modeled, and the obtained data were used to estimate real and unavoidable water losses. The analysis identified areas within the DMA zone that require the implementation of measures to reduce water losses and improve the operational efficiency of the system. It was concluded that reducing the ILI indicator to a target value can only be achieved through the iterative application of numerical analyses and field measurements.

Key words: *Water supply systems, losses, ILI indicator, DMA zone, EPANET*

1. Uvod

Učinkovito upravljanje vodoopskrbnim sustavima jedno je od temeljnih obaveza suvremenog društva. Kvalitetna i kontinuirana opskrba pitkom vodom ključna je za zdravlje stanovništva, gospodarski razvoj i očuvanje okoliša. Iako se tehnologije i metode distribucije sanitarno ispravne vode neprestano unapređuju, gubici vode u vodoopskrbnim sustavima i dalje predstavljaju najveći izazov u sektoru vodoopskrbe, čije rješavanje spada u poslovanje isporučitelja vodnih usluga (JIVU), odnosno komunalnih društva.

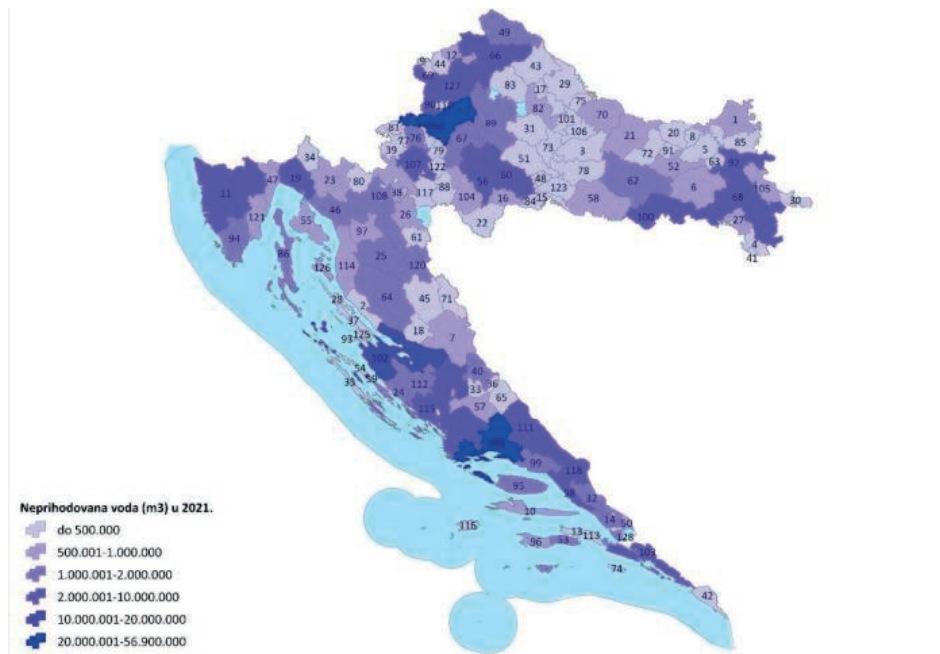
Gubici vode odnose se na razliku između količine vode koja se upušta u distribucijski sustav (zahvaćena voda) i količine vode koja se u konačnici naplaćuje krajnjim korisnicima (prihodovana voda). Na taj način, gubici ne podrazumijevaju samo dio asociran na puknuća cijevi ili spojeva između cijevi, već uključuju i gubitke koji se mogu dovesti u vezu s administrativnim pogreškama, nelegalnim priključcima vode, neispravnim brojila i drugim razlozima koji će uzrokovati neprihodovanu vodu čiji je prostorni raspored za RH prikazan na Slici 1 te je određena razlikom [1]

$$\text{neprihodovana voda} = \text{zahvaćena voda} - \text{prihodovana voda} . \quad (1)$$

Posebno važno je prepoznati kako se potreba za redukcijom gubitaka vode iz vodoopskrbnih sustava može dovesti u vezu s mjerama prilagodbe na klimatske promjene i putem principa racionalnog korištenja vode. Osim toga, treba primijetiti kako je redukcija gubitaka vode iz vodoopskrbnih sustava neophodna i radi održivog razvoja te da isti generiraju relativno velike financijske gubitke koji se onda moraju na neki način kompenzirati. S druge strane, redukcija gubitaka vode iz vodoopskrbnih sustava će isto tako zahtijevati relativno velika financijska sredstva te se za podmirivanje istih nameće ideja da se cijena vode ne postavlja na temelju isporučenih količina, nego na temelju zahvaćenih količina. Istovremeno, treba napomenuti kako se ovakvom mjerom mogu očekivati značajna poskupljenja vode jer danas nije teško naići na vodoopskrbni sustav koji gubi više od 50 % vode, a u nekim slučajevima čak i 80 i više posto. U tom smislu treba napomenuti kako se cijena vode u RH sastoji od: (i) fiksnog i (ii) varijabilnog dijela [1]. Prateći cijene vode kroz proteklih nekoliko godina, prosječna cijena vode koju je plaćalo stanovništvo u 2021. godini iznosila je 2,21 €/m³, a raspon cijena kretao se od 1,26 €/m³ do 4,43 €/m³ [2]. Primjerice, u Rijeci od 1. srpnja 2024. godine fiksni dio iznosi 2,27 €/mjesečno, a varijabilni dio 1,31 €/m³.

Kako bi se dodatno motivirala redukcija vodnih gubitaka, 1. siječnja 2025. godine, nakon što je već nekoliko puta odgođena njena primjena zbog mogućeg negativnog utjecaja na građane i gospodarstvo, stupila je na snagu Uredba o visini vodnog doprinosa i naknade za korištenje voda prema kojoj vodni gubici postaju ključni faktor u obračunu naknade za vodu [1,3].

U cilju smanjenja vodnih gubitaka, novi model obračuna naknada za vodu predviđa diferencirani pristup prema učinkovitosti komunalnih društava. Tako će ona društva koja uspiju smanjiti gubitke ispod 25 % imati pravo na niže naknade, dok će oni s višim gubicima snositi veće troškove, što posljedično može dovesti do rasta cijene vode za krajnje korisnike. Ipak, porast cijene za građane ograničen je na maksimalnih 0,4 €/m³. Model je usmjeren na poticanje ulaganja u infrastrukturu, unapređenje upravljanja sustavima te osiguranje pravednijeg sustava naplate. Ključne mjere uključuju funkcionalno objedinjavanje manjih javnih isporučitelja vodnih usluga (u nastavku: JIVU), i to radi postizanja veće operativne učinkovitosti te uvođenje suvremenih mjernih, nadzornih te telekomunikacijskih sustava.



Slika 1. Prostorni raspored neprihodovalane vode u RH za 2021. godinu [1]

2. Plan upravljanja vodnim gubicima

Plan upravljanja vodnim gubicima je strateško-operativni dokument koji definira ciljeve, mjere i aktivnosti usmjerene na smanjenje gubitaka vode unutar vodoopskrbnog sustava u RH te je njegova izrada i provedba obvezna za sve JIVU u skladu s Zakonom o vodnim uslugama [4].

Esencijalni dio plana upravljanja vodnim gubicima je prethodna izrada tzv. bilance vode koja omogućuje procjenu stvarnih i prividnih gubitaka vode, tj. gubitaka vode nastalih radi netočnog mjerenja, administrativnih pogreški te neovlaštene potrošnje vode. Bilanca vode temelji se na osnovnoj jednadžbi očuvanja mase te je u najopćenitijem obliku određena jednadžbom [1]

$$\sum U - \sum I = \Delta V \quad (2)$$

gdje je $\sum U$ ukupna količina vode koja ulazi u sustav, $\sum I$ količina vode koja se iz sustava isporučuje korisnicima, a ΔV promjena u zalihama vode unutar sustava (npr. akumulacija). Kroz sustavno praćenje ove bilance moguće je identificirati razlike koje ukazuju na gubitke, čime se bilanca ne koristi samo kao analitičko sredstvo, već i kao temelj za planiranje i ocjenjivanje učinkovitosti mjera predviđenih Planom upravljanja vodnim

gubicima. Takav pristup omogućuje prelazak s reaktivnog na proaktivno upravljanje sustavom vodoopskrbe.

S obzirom na to da je cjelovita sanacija vodoopskrbnog sustava u pravilu izuzetno skupa i vremenski zahtjevna [5], u praksi se sve više primjenjuje pristup selektivne prostorne analize gubitaka. U tu svrhu, ključnu ulogu imaju tzv. DMA zone (engl. District Metered Areas) odnosno zatvorene, hidraulički kontrolirane cjeline unutar vodoopskrbne mreže koje imaju poznate ulazne protoke i, po mogućnosti, potpuno poznate izlaze protoke. Primjenom vodne bilance unutar svake DMA zone može se dobiti detaljniji uvid u prostornu raspodjelu gubitaka cijele vodoopskrbne mreže, što predstavlja osnovu za prioritarno i ciljano upravljanje sanacijama u mreži.

Na temelju vodne bilance provedene unutar pojedinih DMA zona moguće je odrediti količinu gubitaka vode u svakom pojedinom dijelu mreže. Međutim, sama vrijednost gubitka, izražena u apsolutnim količinama (npr. m^3/dan), nije dovoljna za donošenje odluka o prioritetima sanacije. Naime, apsolutni gubitak ne uzima u obzir specifične karakteristike DMA zone, pa je za određivanje prioritetne liste sanacije nužno u analizu uključiti i dodatne faktore kao što su: duljina cjevovoda unutar DMA zone, broj korisničkih priključaka, prosječni tlak u sustavu, itd. Upravo zbog toga se sve češće koristi tzv. ILI pokazatelj [1,6] (engl. Infrastructure Leakage Index), odnosno relativni pokazatelj koji omogućuje standardiziranu usporedbu gubitaka između različitih DMA zona unutar sustava. Na taj se način mogu uspostaviti i liste prioritetnih sanacija koje se ne temelje samo na iznosu gubitaka u pojedinim DMA zonama, već je predmetna lista time normirana uvažavajući i druge relevantne faktore (kao što je dužina cjevovoda koja će zasigurno otežati lokalizaciju curenja ili pak broj kućnih priključaka čijim će porastom rasti i važnost sanacije).

Tablica 1. Ocjena sustava prema ILI pokazatelju.

ILI pokazatelj	Ocjena efikasnosti	Opis
< 1,5	Vrlo visoka učinkovitost	Izvrсна kontrola gubitaka, gotovo optimalna razina
1,5 – 3,0	Dobra učinkovitost	Sustav ima relativno dobre prakse upravljanja gubicima
3,0 – 5,0	Umjerena učinkovitost	Postoji prostor za poboljšanje upravljanja gubicima
> 5,0	Niska učinkovitost	Sustav ima visoke stvarne gubitke – potrebna je ozbiljna rekonstrukcija ili optimizacija

2.1 ILI pokazatelj

ILI pokazatelj se računa kao omjer stvarnog (izmjenjenog) gubitka vode i tzv. tehnički minimalnog gubitka, odnosno one razine gubitaka koja se smatra neizbježnom s obzirom na fizičke karakteristike sustava (duljinu cijevi, broj priključaka i prosječne tlakove). Na taj način, ILI pokazatelj ne ukazuje samo koliko vode se gubi, već koliko se učinkovito upravlja gubicima s obzirom na okolnosti pojedine DMA zone. Primjenom ILI pokazatelja u analizi DMA zona dobiva se objektivna podloga za rangiranje područja prema potrebi za intervencijom, pri čemu se sanacijske mjere mogu fokusirati na dijelove mreže s nerazmjerno visokim gubicima u odnosu na njihovu fizičku i operativnu složenost. Temeljem navedenoga, ILI pokazatelj će biti određen omjerom [7]

$$ILI = \frac{\text{stvarni gubici}}{\text{neizbježni gubici}} \quad (3)$$

te se zavisno o njegov iznosu vodoopskrbne mreže mogu kategorizirati kako je prikazano u Tablici 1. Iznalaženje iznosa veličina koje sudjeluju u omjeru je prikazano u nastavku.

2.2 Procjena stvarnih gubitaka

Za izračun ILI pokazatelja (3), neophodno je procijeniti količinu stvarnih gubitaka vode iz vodoopskrbnog sustava. Stvarni gubici obuhvaćaju curenja na cjevovodima, svim spojnim elementima, armaturama i rezervoarima te predstavljaju onu količinu zahvaćene vode koja nije dospjela do korisnika. Osnovu za njihovu procjenu čini standardizirana vodna bilanca prema IWA metodologiji (Međunarodna udruga za vode odnosno International Water. Association), kojom se ukupna količina zahvaćene vode uspoređuje s količinama fakturirane i nefakturirane potrošnje. Razlika će u tom slučaju predstavljati ukupne gubitke, koji se zatim mogu dekomponirati na stvarne i prividne gubitke (netočna očitavanja, neovlaštena potrošnja, itd.).

Procjena stvarnih gubitaka najčešće se temelji na analizi minimalnog noćnog protoka u zatvorenim DMA zonama [8] budući da je tada stvarna legalna potrošnja minimalna, pa se višak protoka može pripisati curenju. Osim toga, koriste se i drugi analitički alati i empirijski modeli koji uključuju duljinu mreže, broj priključaka, prosječne tlakove u sustavu te često i broj zabilježenih kvarova. U slučajevima kada nisu dostupna cjelovita mjerenja, stvarni gubici se procjenjuju i temeljem iskustvenih koeficijenata ili stručne ekspertize, pri čemu se uzima u obzir vrsta cijevi, starost infrastrukture i tehničko stanje mreže. Ovakvim pristupom osigurava se dovoljno pouzdana osnova za proračun ILI pokazatelja (3),

čime se u konačnici omogućuje objektivna usporedba gubitaka između različitih DMA zona ili pak cjelovitih vodoopskrbnih sustava.

2.3 Procjena neizbježnih gubitaka

Procjena neizbježnih gubitaka (engl. Unavoidable Annual Real Losses – UARL) predstavlja procjenu najmanje moguće količine stvarnih gubitaka vode koja se može postići čak i u tehnički vrlo dobro održavanom sustavu. To znači da su ti gubici neizbježni zbog same prirode sustava, materijala, spojeva, priključaka, tlakova i brojnih vanjskih faktora, iako se sve sanacije provode optimalno.

Radi potrebe za kvantitativnim vrednovanjem tih minimalnih, tehnički neizbježnih gubitaka, razvijena je empirijska jednadžba koja omogućuje njihovu procjenu na godišnjoj razini. Jednadžba je rezultat višegodišnjih terenskih istraživanja i analize performansi velikog broja vodoopskrbnih sustava [1,9] te ima oblik

$$\text{neizbježni gubici} = \frac{\bar{p}}{n_c} \cdot (18 l_m + 0,8 n_c + 25 l_p) \quad (4)$$

gdje je $\bar{p}$ srednji tlak u barima, n_c broj kućnih priključaka, l_m duljina tlačne mreže u metrima te l_p duljina priključaka u metrima. Treba prepoznati kako jednadžba nije dimenzionalno homogena te da se članovi u istoj moraju pojaviti u navedenim mjernim jedinicama. U tom slučaju će ishod proračuna biti dan u litrama po priključku u danu. Pritom, predmetna jednadžba se može napisati i u obliku

$$\text{neizbježni gubici} = \frac{\bar{p}}{l_m} \cdot (18 l_m + 0,8 n_c + 25 l_p) \quad (5)$$

pa će u tom slučaju lijeva strana biti dana u litrama po kilometru mreže u danu. Važno je napomenuti kako je prethodna jednadžba modificirana za potrebe primjene na vodoopskrbne sustave u RH [1] te se u tu svrhu koristi model

$$\text{neizbježni gubici} = \bar{p} \cdot (6,57 l_m + 0,256 n_c + 9,13 l_p) \quad (6)$$

u kojem oznaka l_p ima modificirano tumačenje, a odnosi se na dužinu cijevi priključaka koja je u vlasništvu JIVU [1].

3. Numerički primjer

U nastavku je prikazan numerički primjer procjene ILI parametra realne DMA zone koja je sastavni dio vodoopskrbne mreže u Rijeci te je

provedena i analiza promjene ILI pokazatelja za slučaj da se provedu neke intervencije [10] kojima bi se zasigurno djelovalo na postojeće gubitke.

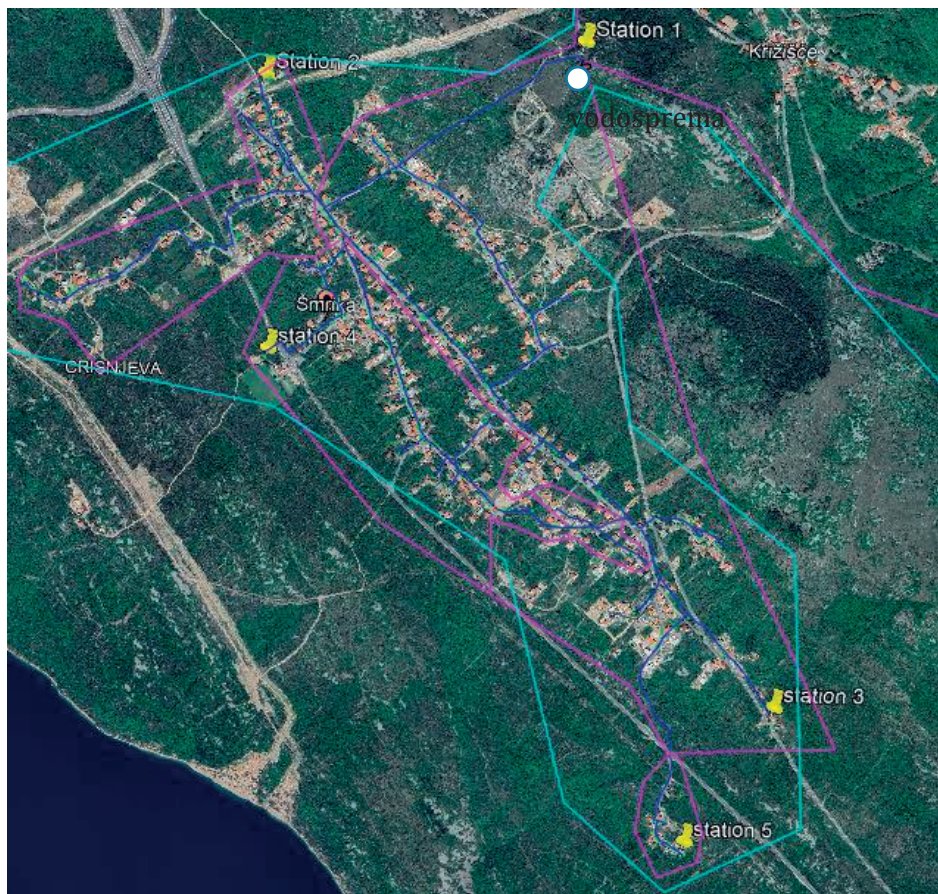
3.1 Pilot područje

Za izradu numeričkog primjera je izabran vodoopskrbni sustav Šmrika, koji je u sastavu komunalno društvo vodovod i kanalizacija Rijeka (u nastavku: KD VIK Rijeka). Dakle, Šmrika je naselje smješteno u Primorsko-goranskoj županiji, unutar područja vodoopskrbnog sustava Kraljevica-Bakar. Radi se o manjem naselju koje karakterizira kombinacija stambenih objekata i sezonskih turističkih kapaciteta, što utječe na promjenjivu potrošnju vode tijekom godine. Vodoopskrba naselja Šmrika osigurana je kroz sustav cjevovoda koji se povezuje s glavnim vodoopskrbnim sustavom Kraljevica-Bakar. Ukupna mreža obuhvaća 184 čvorova i oko 8,5 km cijevi, čime je moguće osigurati pitku vodu svim korisnicima tog naselja. Važno je napomenuti kako upravo u promatranoj mreži dolazi do vodnih gubitaka koji smanjuju učinkovitost sustava i dostupnost vode krajnjim korisnicima. Naselje Šmrika upravo je stoga definirano kao posebna DMA zona unutar šireg sustava.

Prostorni raspored vodoopskrbne mreže Šmrika, zajedno s položajem vodospreme, prikazan je na Slici 2. Ukupna dužina predmetne tlačne mreže (l_m) iznosi 8,48 km dok je na istu priključeno 174 kućnih priključaka (n_c), a prosječna dužina priključka je utvrđena iznosom od 2 metra. Za izračun tlakova u sustavu prema projektiranim potrošnjama, korišten je računalni model mreže izrađen u programu EPANET [11] te je piezometarska kota H tlaka određena s

$$H = z + h \quad (7)$$

gdje je z visinska kota čvora u mreži, a h piezometarska visina u metrima.

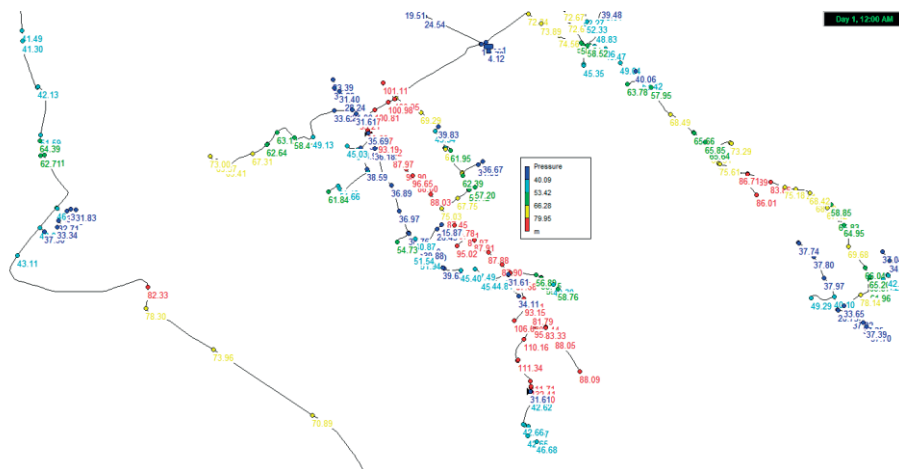


Slika 2. Prikaz vodoopskrbne mreže Šmrika (plava linija prikazuje raspored cjevovoda, a žuti markeri zatvorene krajeve dionica)

3.2 Analiza postojećeg stanja

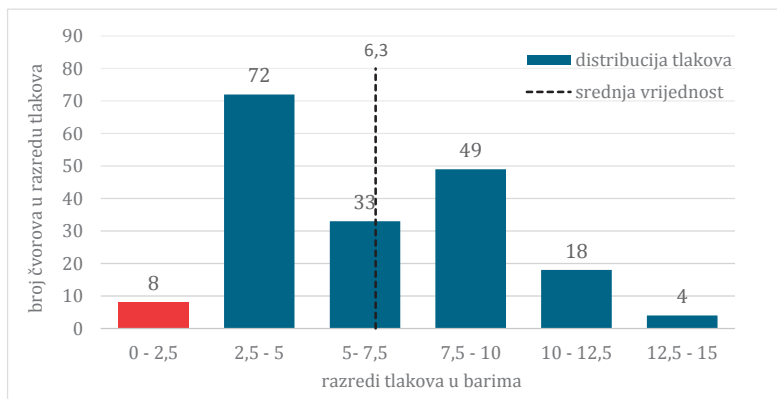
Analiza postojećeg stanja vodoopskrbnog sustava provedena je s ciljem utvrđivanja ključnih karakteristika mreže, funkcionalnosti sustava, razine tlakova te potrošnje vode. Za potrebe izrade računalnog modela predmetne vodoopskrbne mreže korišteni su podaci dobiveni od komunalnog društva VIK Rijeka. Upravo na temelju tih podataka, koji između ostalog uključuju tlakove u čvorovima, duljinu cjevovoda i potrošnju vode za svaki čvor u promatranoj DMA zoni, proveden je proračun ILI pokazatelja. U tu svrhu je bilo neophodno odrediti srednju vrijednost tlakova $\bar{p}$ te je distribucija istih prikazana na Slici 3. Na istoj slici valja primijetiti kako su maksimalni tlakovi grupirani u najnižoj cijevi, ali treba i primijetiti kako se i na ovom prikazu može prepoznati da se radi o

relativno velikoj varijaciji tlakova (kako po iznosu, tako i u prostornom rasporedu).

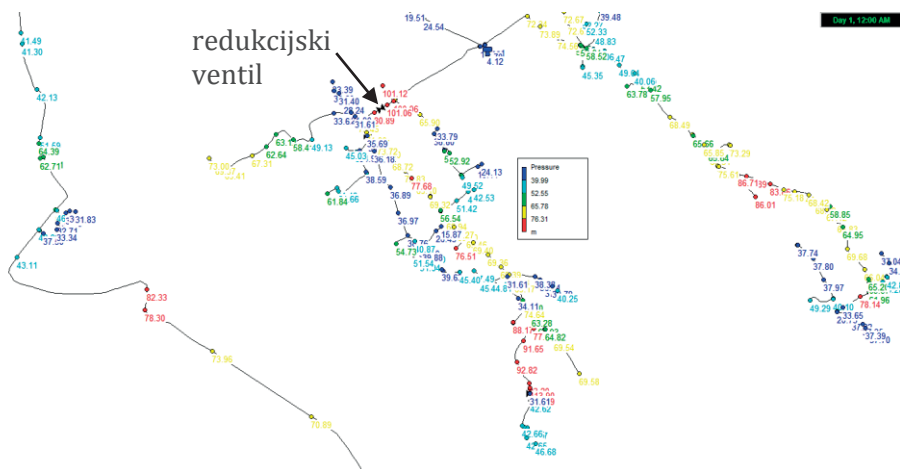


Slika 3. Raspored piezometarskih visina za projektiranu potrošnju u postojećem stanju vodoopskrbne mreže Šmrika

Srednja vrijednost tlakova u sustavu iznosi 6,3 bara (63 mVSt). Pritom, treba primijetiti kako su varijacije tlakova u mreži značajne te se mogu ilustrirati dijagramom prikazanim na Slici 4 u kojoj je učestalost pojavljivanja tlakova prikazana u razredima koji imaju raspon od 2,5 bara. Na taj način, može se prepoznati kako 8 čvorova imaju tlak manji od minimalnih 2,5 te da postoje i čvorovi s relativno visokim tlakovima koji su u predmetnom kontekstu neprihvatljivi. Štoviše, iz razloga koji su navedeni u nastavku, relativno velike varijacije u tlaku će otežati upravljanje sustavom.



Slika 4. Učestalost pojavljivanja tlakova za projektiranu potrošnju u postojećem vodoopskrbnom sustavu Šmrika (crvena boja označava tlakove manje od 2,5 bara)



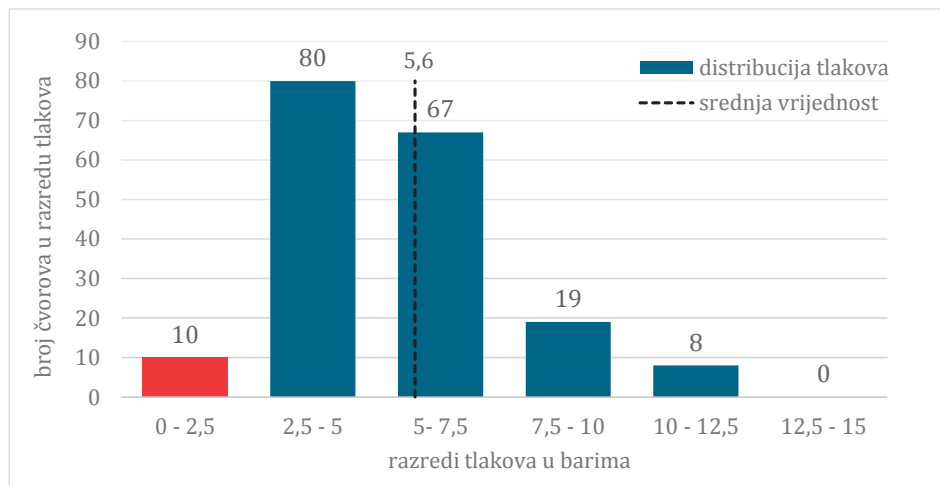
Slika 5. Raspored piezometarskih visina za projektiranu potrošnju u prilagođenom stanju vodoopskrbne mreže Šmrika

Treba primijetiti da će se oštećenjima u vodoopskrbnoj mreži generirati protočne površine kroz koje će se ostvarivati gubici vode, ali da će i protoci curenja vode zavisiti o brzini istjecanja koja je direktno vezana za tlak u sustavu. Dakle, lako se složiti da će veći tlakovi u sustavu generirati i veće gubitke iz sustava, pa se stoga i za redukciju istih često koristi nezahvalna mjera redukcije tlakova (koji se mogu obarati samo do određene granice, odnosno do granice koja neće ugrožavati protupožarnu zaštitu).

Za izračun ILI pokazatelja za postojeće stanje predmetnog vodoopskrbnog sustava potrebno je raspolagati podacima procijenjenih stvarnih gubitaka te su u te svrhe korišteni podaci dostavljeni od strane KD VIK. Dakle, temeljem jednadžbe očuvanja mase odnosno bilance vode (2), terenskim mjerenjima je utvrđeno kako predmetna mreža u prosjeku gubi oko 37,5 % vode koja je ušla u sustav, odnosno oko 35,949 m³ vode (ukupni godišnji ulaz je za 2017. godinu iznosio 95,807 m³, dok se fakturirani iznos vode odnosio na 59,858 m³ vode). Temeljem navedenoga te primjenom jednadžbe (3) i (6) utvrđeno je kako ILI pokazatelj u tom slučaju iznosi 4,9, što prema Tablici 1 označava sustav koji se nalazi na pragu između umjerene i niske učinkovitosti.

3.3 Prijedlog redukcijskih mjera

Kako bi se reducirali gubici u analiziranom sustavu, proveden je niz računalnih simulacija tlakova za različite položaje tzv. redukcijskih ventila [12] kojima se nizvodni tlak reducira do zadanog iznosa. Predloženi položaj za ugradnju redukcijskog ventila je prikazan na Slici 5 koja prikazuje prostorni raspored tlakova dobiven ugradnjom ovakvog ventila kojim se provodi redukcija nizvodnih tlakova za 2 bara.



Slika 6. Učestalost pojavljivanja tlakova za projektiranu potrošnju u prilagođenom vodoopskrbnom sustavu Šmrika (crvena boja označava tlakove manje od 2,5 bara)

Kako bi se ilustrirao učinak ugradnje redukcijskog ventila na predmetnom mjestu, prikladno je prikazati distribuciju tlakova po istim razredima kao i ranije (Slika 4). Naime, kako je prikazano na Slici 6, ugradnjom redukcijskog ventila srednja vrijednost tlaka reducirana je s prethodnih 6,3 bara na 5,6 bara (što predstavlja redukciju od značajnih 0,7 bara), ali je uz to i ostvarena povoljnija preraspodjela tlakova, tako da onih maksimalnih tlakova više nema. Drugim riječima, ovakvom intervencijom će se zasigurno smanjiti postojeći gubici vode te uz to i olakšati upravljanje sustavom. Štoviše, treba primijetiti da predloženom mjerom redukcije tlakova, čije provođenje može ugroziti uvjet od minimalnih 2,5 bara u mreži, isti nije kompromitiran jer se i povećani broj čvorova u tom rasponu tlakova nalazi na višim kotama gdje se i očekuju manji tlakovi (7), a i obzirom na njihov broj, isti se po potrebi mogu lokalno podići hidroforima.

U nastavku će se ispitati kako bi tehničko rješenje ugradnje redukcijskog ventila utjecalo na ILI pokazatelj predmetne vodoopskrbne mreže. Pritom, u tu svrhu treba prepoznati kako će isto utjecati samo na iznos, tj. procjenu neizbježnih gubitaka vode određenih jednadžbom (6), dok će stvarni gubici vode biti isti kao i ranije. Naime, navedeno je važno prepoznati kako bi se ispravno interpretirao dobiveni zaključak. Dakle, kako je ranije navedeno, redukcijom tlakova je opravdano očekivati opadanje vodnih gubitaka zato što se time smanjuju izlazne brzine istjecanja, a time onda i protoci curenja. S druge strane, brojnik u definiciji (3), koji predstavlja ukupne gubitke, ostat će isti kao i ranije, što će rezultirati na način da će ILI

pokazatelj porasti. Naime, za dostizanje istih gubitaka s manjim tlakovima potreban je veći broj puknuća. U tom slučaju je ILI prešao vrijednost 5.

4. Zaključak

U radu je dan sažet pregled izračuna tzv. ILI pokazatelja za ocjenu stanja vodoopskrbnog sustava obzirom na vodne gubitke u njemu. Izračun istoga je prikazan na primjeru vodoopskrbne mreže Šmrika u Rijeci. U tu svrhu su od strane KD VIK Rijeka dostavljeni podaci stvarnih gubitaka vode, dok su oni neizbježni gubici vode prognozirani empirijskim modelom adaptiranim za područje RH. Za prognozu prosječnih tlakova u sustavu, koji se dovode u vezu s projektiranom potrošnjom sustava, korišten je računalni model mreže izrađen u programu EPANET. Predmetna analiza je pokazala kako je za postojeće stanje ILI pokazatelj predmetne mreže u granicama između umjerene i niske učinkovitosti. Kako bi se reducirao iznos gubitaka vode, u nastavku je ispitana mjera redukcije tlakova u sustavu te je tako proveden veći broj računalnih simulacija u kojima se mijenjao položaj redukcijskog ventila te iznos redukcije tlakova. Za odabrani položaj ovakvog ventila provedena je analiza tlakova u sustavu te je utvrđeno kako je polje tlaka istim unaprijeđeno jer su se maksimalni tlakovi reducirali, pa je i reduciran iznos srednjeg tlaka u sustavu (čime su se smanjili i gubici). Pritom, pokazano je i komentirano kako ovakva intervencija može povoljno utjecati na redukciju gubitaka, ali kako će bez ponovnih terenskih mjerenja stvarnih gubitaka utjecati nepovoljno na ILI pokazatelj. Naime, za manje tlakove u sustavu se ti isti realni gubici mogu doseći samo većim brojem oštećenja koja će se onda odraziti na porast ILI pokazatelja. Dakle, iako bi se redukcijskim ventilom zasigurno smanjili gubici u mreži, za novu je procjenu ILI pokazatelja neophodno izvesti predmetne mjere te onda i provesti ponovno terenska ispitivanja stvarnih gubitaka vode.

Literatura

- [1] Hrvatske vode. (2024) Nacionalni akcijski plan smanjenja gubitaka vode u Republici Hrvatskoj. Zagreb: Hrvatske vode.
- [2] Grad Rijeka. (2023) Od 1. kolovoza 2023. godine poskupljuju vodne usluge. *rijeka.hr*. URL: <https://www.rijeka.hr/od-1-kolovoza-2023-godine-poskupljuju-vodne-usluge/> (posjećeno 14. 6. 2025.).
- [3] Hrvatski sabor. (2019) Prijedlog zakona o vodnim uslugama, s Konačnim prijedlogom zakona. *sabor.hr*. URL:

- <https://www.sabor.hr/sites/default/files/uploads/sabor/2019-01-18/081049/PZ36.pdf> (posjećeno 14. 6. 2025.).
- [4] Republika Hrvatska. (2018) Zakon o vodnim uslugama. *Narodne novine*, broj 56/2018. URL: <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/201805561126.html> (posjećeno 14. 6. 2025.).
 - [5] Bolognesi, A., Lenzi, C., Bragalli, C., Fortini, M. (2014) Infrastructure Leakage Index Assessment in Large Water Systems. *Procedia Engineering*, 70, str. 1017–1026.
 - [6] Winarni, W. (2009) Infrastructure Leakage Index (ILI) as Water Losses Indicator. *Civil Engineering Dimension*, 11(2), str. 126–134.
 - [7] Polachova, M., Tuhovčák, L. (2024) Determination of Infrastructure Leakage Index (ILI) Using Analyses of Minimum Night Flows. *Engineering Proceedings*, 69(1), str. 211.
 - [8] Kadu, M. S., Dighade, R. R. (2015) Infrastructure Leakage Index and Challenges in Water Loss Management in Developing Countries. U: *Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress 2015*, str. 1322–1331.
 - [9] Yilmaz, S., Firat, M., Özdemir, Ö. (2022) Using the Infrastructure Leakage Index (ILI) Indicator for Effective and Sustainable Leakage Management: Importance, Advantages and Challenges. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 40(4), str. 715–723.
 - [10] Giustolisi, O., Ciliberti, F. G., Mazzolani, G., Laforgia, D. (2024) Effectiveness of Water Loss Performance Indicators for Asset Management. *Digital Water*, 2(1), str. 1–31.
 - [11] Rossman, L. A. (2000) *EPANET 2 User's Manual*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency.
 - [12] Vouk, D., Poljak, V., Kovač, J., Jelić, L. (2017) Utjecaj opružnog ventila na učinkovitost vodoopskrbnih sustava. *Građevinar*, 69.