

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



**Peta naučna konferencija
sa međunarodnim učešćem**

GUBICI VODE U SISTEMU JAVNOG VODOSNABDEVANJA

Zbornik radova



**Beograd
12. jun 2026.**



SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

**Peta naučna konferencija
sa međunarodnim učešćem**

**Gubici vode
u sistemu javnog vodosnabdevanja**

Beograd, 12. jun 2026.

Izdavač:

Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

Za izdavača:

Mr Bogdan Vlahović, generalni sekretar

Programski odbor:

Prof. dr Branislav Babić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Nikica Ivić, JKP „Vodovod i kanalizacija“, Novi Sad, prof. dr Dragan Milićević, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš, prof. dr Matija Stipić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, prof. dr Goran Sekulić, Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet, Podgorica, doc. dr Milan Jakšić, Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Dušan Đurić, dipl. inž, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, prof. dr Goce Taseski, Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij“, Građevinski fakultet, Skoplje, prof. dr Goran Orašanin, Univerzitet Istočno Sarajevo, Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo, Vladimir Milojević, dipl. inž, JKP „Beogradski vodovod i kanalizacija“, Beograd, Branimir Sević, dipl. inž, JKP „Beogradski vodovod i kanalizacija“, Beograd, Ivan Bogdanović, dipl. inž, JKP „Vodovod i kanalizacija“, Kragujevac, Ikonija Karadžić, dipl. inž, JKP „Vodovod i kanalizacija“, Novi Sad, Maja Medenica, dipl. inž, JKP „Beogradski vodovod i kanalizacija“, Beograd

Organizacioni odbor:

Mr Bogdan Vlahović, Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd, emeritus profesor dr Ilija Ćosić, Inženjerska akademija Srbije, Beograd, Dalibor Joknić, dipl. ekon, Privredna komora Srbije, Beograd, prof. dr Aleksandar Đukić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Uroš Lončar, mast. prav, JKP „Vodovod i kanalizacija“, Novi Sad, Nebojša Jakovljević, dipl. ekon, JKP „Vodovod i kanalizacija“, Kragujevac, Olivera Ćosović, mast. filol, Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd, Marijana Mihajlović, ekon, Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd, Olja Jovičić, dipl. prav, Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

Glavni i odgovorni urednik:

Prof. dr Branislav Babić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd

Naučni savet publikacije:

Prof. dr Branislav Babić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet Beograd, prof. dr Aleksandar Đukić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, prof. dr Dragan Milićević, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš

Recenzenti:

Prof. dr Goran Sekulić, dipl.inž.građ, Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet, Podgorica
Prof. dr Branislav Babić, dipl.inž.građ, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd
Prof. dr Željko Vasilović, mast.inž.građ, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd
Doc dr Milan Jakšić, dipl.inž.građ, Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka

Lektura i korektura:

Olivera Ćosović, mast. filol.

Tehnički urednik:

Olja Jovičić, dipl. prav.

Korica: Idejno rešenje Jovana Sokić

Štampa: Akademska izdanja, Zemun

Ova publikacija je otvorenog pristupa koji se distribuira pod uslovima Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Tiraž: 180 primeraka

ISBN: 978-86-82563-36-5

Godina izdavanja: 2026.



ORGANIZATOR
SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

SUORGANIZATORI

Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd

Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

Inženjerska akademija Srbije, Beograd

JKP „Vodovod i kanalizacija“, Novi Sad

JKP „Vodovod i kanalizacija“, Kragujevac

UZ PODRŠKU

**Privredne komore Srbije - Udruženje za komunalne
delatnosti, Beograd**

POD POKROVITELJSTVOM

**Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija
Republike Srbije**

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

628.1(082)

НАУЧНА конференција са међународним учешћем Губици воде у систему јавног водоснабдевања (5 ; 2026 ; Београд)

Zbornik radova / Peta naučna konferencija sa međunarodnim učešćem Gubici vode u sistemu javnog vodosnabdevanja, Beograd, 12. jun 2026. ; [organizator Savez inženjera i tehničara Srbije] ; [glavni i odgovorni urednik Branislav Babić]. - Beograd : Savez inženjera i tehničara Srbije, 2026 (Zemun : Akademska izdanja). - 116 str. : ilustr. ; 24 cm

Tekst ćir. i lat. - Tiraž 180. - Str. 11-12: Predgovor / urednik. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-82563-36-5

a) Снабдевање водом -- Зборници

COBISS.SR-ID 194382601



SITS - SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE ISTORIJAT I SADRŽAJ RADA

ISTORIJAT

Koreni srpske tehničke civilizacije počinju još u doba Nemanjića. Začeci inženjerstva su u rudarsko-metalurškim poduhvatima (Novo brdo) i građenju veličanstvenih sakralnih objekata srednjovekovne srpske države.

Od Prvog (1804), a posebno Drugog srpskog ustanka (1815), oživljava srpsko graditeljstvo koje je naročito od tridesetih godina bilo vezano za izgradnju saobraćajnica, podizanje javnih objekata, uređenje varoši i dr.

U to vreme (1834/35. godine) iz austrijskog carstva dolaze i prvi državni službenici – „pravitelstveni inženjiri“ (Franc Janke i baron Franc Kordon), a u tom veku Srbijom je prošlo oko 600 inženjera.

Započinjanje nastave na Tehničkom fakultetu Velike škole 1863. godine značilo je prekretnicu u školovanju srpskih inženjera. Pored školovanja u zemlji jedan broj inženjera se školovao i u inostranstvu.

Istovremeno sa školovanjem prvih tehničkih kadrova javlja se i inicijativa za osnivanjem stručne, esnafske organizacije. **TAKO VEĆ 3. FEBRUARA 1868. GODINE, SAMO GODINU DANA POSLE PREDAJE KLJUČEVA GRADA BEOGRADA OD STRANE TURSKOG PAŠE KNEZU MIHAJLU, DOLAZI DO OSNIVANJA „TEHNIČARSKE DRUŽINE“**, čiji je prvi predsednik bio Emilijan Josimović i taj datum je usvojen kao godina nastanka naše organizacije. Ubrzo zatim (1869) osniva se i Udruženje za poljsku privredu, odnosno Srpsko poljoprivredno društvo.

Godine 1890. dolazi do osnivanja Udruženja srpskih inženjera, a od 1895. inženjera i arhitekata.

Prvo stručno glasilo ovog Udruženja „Srpski tehnički list“ izašao je 1890. godine.

PRVI POČASNI ČLAN UDRUŽENJA SRPSKIH INŽENJERA BIO JE NIKOLA TESLA, KOJI JE TO PRIZNANJE DOBIO POVODOM SVOG KRATKOG I JEDINOG BORAVKA U BEOGRADU 1892. GODINE.

Za vreme Prvog svetskog rata u Solunu, gde se nalazio veliki broj inženjera koji su bili i vojnici, izlaze dva broja „Srpskog tehničkog lista“ Tu je 1918. godine održana Skupština Udruženja, kojoj su prisustvovala 463 inženjera.

Udruženje je 1932/35. godine sopstvenim sredstvima, kreditima i dobrovoljnim prilozima izgradilo svoj Dom u ulici Kneza Miloša 7, a Dom inženjera „Nikola Tesla“ ul. Kneza Miloša 9-11, izgrađen je u periodu od 1962. do 1969. godine. U ova dva Doma inženjera smešten je i radi Savez inženjera i tehničara Srbije sa svojih 26 republičkih strukovnih i multidisciplinarnih društava, koji se samostalno finansiraju, od ukupno 45 članica Saveza.

Pored **Emijilana Josimovića**, prvog predsednika, koji je bio i rektor Liceja i Velike škole i počasni član Srpske kraljevske akademije, u radu našeg Saveza učestvovali su i dali svoj doprinos i: **Kosta Alković**, profesor Velike škole, ministar građevina, član Srpskog učenog društva i Srpske kraljevske akademije, **Dimitrije Stojanović**, profesor Tehničkog fakulteta i prvi direktor Srpskih državnih železnica, član Srpskog učenog društva i Srpske kraljevske akademije, **Miloš Savčić**, ministar građevine Srbije, predsednik grada Beograda, i poznati privrednik, koji je 1932. godine dao najviše sredstava za podizanje Doma inženjera Srbije, predsednici SANU **Josif Pančić** i **Jovan Žujović**, **Simo Lozanić**, **Kirilo Savić**, **Aleksandar Despić**, **Nikola Hajdin** i mnogi drugi poznati stručnjaci i naučni radnici.

SADRŽAJ RADA

Savez inženjera i tehničara Srbije je dobrovoljna, nevladina, neprofitna, stručno-naučna, interesna, profesionalna i vanstranačka organizacija inženjera i tehničara i njihovih organizacija u Republici Srbiji, otvorena za saradnju sa drugim naučno-stručnim, privrednim i ostalim organizacijama, na bazi međusobnog uvažavanja, uzajamnog poštovanja i samostalnosti u radu.

Savez inženjera i tehničara Srbije i njegove članice se samostalno finansiraju i samostalno finansiraju svoje stručne aktivnosti i izdavanje stručnih publikacija.

Ciljevi i zadaci SITS-a su:

- okupljanje i organizovanje inženjera i tehničara Srbije radi ostvarivanja njihovih interesa, uvećanja stručnog znanja, obezbeđenja odgovarajućeg statusa u zajednici, na bazi njihovog stručnog doprinosa u privrednom, ekonomskom, naučno-tehnološkom i ukupnom razvoju Republike Srbije;

- objedinjavanje, jačanje i omasovljavanje inženjersko-tehničkih organizacija Srbije, razvijanje međusobne saradnje i saradnje sa odgovarajućim međunarodnim organizacijama inženjera i tehničara;
- poboljšavanje statusa, interesa, ugleda i zaštite članova inženjersko-tehničke organizacije Srbije i pružanje pomoći svojim članovima i članicama;
- razvijanje svih oblika saradnje sa drugim domaćim i inostranim inženjerskim organizacijama i asocijacijama;
- pružanje pomoći inženjerima i tehničarima u naučnom i stručnom usavršavanju i organizovanju odgovarajućih oblika permanentnog obrazovanja;
- praćenje savremenog razvoja tehnike i tehnologije i ukazivanje na tokove zbivanja i promene u ovoj oblasti i davanje mišljenja o optimalnosti tehničkih i tehnoloških rešenja pri privrednim, investicionim i drugim poduhvatima;
- negovanje i razvijanje etike inženjersko-tehničkog poziva, ljudskih prava i sloboda;
- podsticanje, organizovanje naučno-stručnih skupova, objavljivanje naučnih i stručnih radova, izdavanje časopisa i drugih publikacija od interesa za inženjersko-tehničku organizaciju i tehničku inteligenciju;
- organizovanje kongresa od značaja za struku, koji je skup inženjera i tehničara Srbije, na kome se razmatraju najznačajnija pitanja iz delokruga rada inženjersko-tehničke organizacije Srbije, razvoja privrede, nauke, tehnike i obrazovanja. Kongres se održava u skladu sa mogućnostima i potrebama, o čemu odluku donosi Skupština SITS;
- organizovanje skupova, seminara, kurseva, stručnih obilazaka, izložbi, okruglih stolova i javnih rasprava od interesa za lokalne samouprave i za privredne, obrazovne i zdravstvene institucije;
- organizovanje kontinualne edukacije za inženjerske, zdravstvene i obrazovne organizacije u saradnji i u skladu sa kriterijumima merodavnih državnih i drugih institucija;
- rad na tehničkoj regulativi (zakonima, propisima i standardima), obezbeđujući njenu savremenost, adekvatnost, aktuelnost i funkcionalnost, a posebno na osavremenjavanju regulative za lokalne samouprave;
- razmatranje i davanje stručnih mišljenja o programima, planovima, projektima, analizama i drugim aktima važnim za razvoj tehnike, tehnologije i proizvodnje u Republici Srbiji, kao i sudsko veštačenje;
- organizacija i održavanje stručnih ispita u skladu sa Zakonom;
- podsticanje i pomaganje onih aktivnosti i inicijativa usmerenih ka očuvanju životne sredine, vodnih resursa i uređenju prostora, uštedi i racionalizaciji potrošnje svih vrsta energije;
- saradnja sa odgovarajućim stručnim, privrednim i drugim organizacijama i organima na realizaciji zadataka od zajedničkog interesa;

- negovanje sećanja na značajne ličnosti i događaje iz istorije inženjersko-tehničkih struka, nauke i disciplina;
- upravljanje Domovima i ostalom imovinom, izvršavanje opštih, administrativnih, stručnih, računovodstveno-finansijskih, tehničkih i drugih poslova preko Stručne službe Saveza inženjera i tehničara Srbije u svom interesu, interesu članova, članica, zaposlenih i drugo.

Savez i članice Saveza imaju razvijenu saradnju sa organima lokalne samouprave, odgovarajućim gradskim i republičkim ministarstvima i drugim organima, Srpskom akademijom nauka i umetnosti, Inženjerskom komorom Srbije, Inženjerskom akademijom Srbije, Privrednom komorom Srbije, sa mnogim preduzećima, privrednim i stručnim asocijacijama, fakultetima i univerzitetima i mnogim drugim institucijama. Imamo razvijenu i odgovarajuću međunarodnu saradnju.

Savez već dugi niz godina, na osnovu Zakona i ugovora sa nadležnim republičkim ministarstvima, organizuje i sprovodi poslove održavanja stručnih ispita iz oblasti inženjerskih struka u Republici Srbiji.

Savez inženjera i tehničara Srbije – SITS, danas ima više hiljada svojih članova, 45 svojih članica u Srbiji, i to: 27 članica na republičkom nivou, strukovnih saveza različitih inženjerskih struka, (arhitektura, urbanizam, građevina, mašinstvo, elektrotehnika, rudarstvo, geologija, geodezija, agronomija, šumarstvo, hemija i dr.), 18 kolektivnih članica Saveza na pokrajinskom, gradskom i regionalnom nivou.

Savez je osnivač IAS – Inženjerske akademije Srbije. U okviru Saveza formiran je u 2002. godini Razvojni centar SITS-a koji angažuje naše naučnike i stručnjake na rešavanju mnogih tekućih i razvojnih sadržaja iz oblasti privrede Srbije.

Pored brojnih periodičnih publikacija, redovno izlazi više stručnih časopisa, među kojima: „Tehnika“, „KGH“ (Klimatizacija, grejanje, hlađenje), „Izgradnja“, „Procesna tehnika“, „Šumarstvo“, „Tekstilna industrija“, „Forum“, „Ecologica“, „Zaštita materijala“, „Građevinski materijali i konstrukcije“, „Vodoprivreda“ i drugi.

Savez ima svoju pokretnu i nepokretnu imovinu (Domove inženjera u Beogradu), samostalno se finansira, redovno izmiruje svoje obaveze prema svim nadležnim državnim organima i svojim dobavljačima i uspešno posluje.

Savez inženjera i tehničara Srbije, kao nacionalna inženjerska organizacija Srbije, član je međunarodne organizacije ENGINEERS EUROPE – Inženjeri Evrope asocijacije koja okuplja inženjere i njihova udruženja iz 33 zemlje Evropskog obrazovnog područja.

Koreni su davno postavljeni i evidentni su rezultati predašnjeg rada. Nalazeći inspiraciju u prošlim vremenima saglasno mnogim i velikim promenama u svetu, a posebno u tehnici i tehnologiji, Savez inženjera i tehničara Srbije i njegove članice u kontinuitetu inoviraju svoj rad, od interesa za svoje članove, svoje članice, građane i državu Srbiju.

SADRŽAJ

| | |
|---|-----|
| <i>PREDGOVOR</i> | 11 |
| <i>Dejan Dimkić</i> Realnost gubitaka u Srbiji i komparacija sa nekim zemljama/sistemima regiona i Evrope | 13 |
| <i>Ninoslav Petrović, Predrag Bogdanović, Milan Petrović</i> Redovno održavanje vodovodnih sistema i gubici vode | 23 |
| <i>Đevad Koldžo</i> Osnove strategije za smanjenje NRW u vodovodnom sistemu | 35 |
| <i>Ognjen Ivić</i> Primena klasterovanja i semantičke analize za praćenje kvarova u javnom vodovodnom sistemu | 49 |
| <i>Jurica Kovač</i> Aktivna kontrola curenja - planiranje, strategije i preporuke unapređenja | 57 |
| <i>Goce Taseski</i> Analiza gubitaka vode u sistemu javnog vodosnabdevanja | 67 |
| <i>Esad Kasumović, Ivana Čipranić, Goran Sekulić</i> Analiza gubitaka vode u sistemu vodosnabdijevanja Bijelog Polja i mjere za njihovo smanjenje | 77 |
| <i>Obrad Šarčević, Branislav Stevanović, Miodrag Babić, Nikolina Majdanac</i> Unapređenje kontrole gubitaka u VDS Trebinje | 87 |
| <i>Dragan Teofilović, Luka Vukić</i> Digitalizacija i pametno upravljanje vodovodnim sistemom kao metode za smanjenje gubitaka u „Vodovodu“ Herceg Novi | 101 |

PREDGOVOR

Klimatske promene, sve učestalije suše i narušena hidrološka ravnoteža primoravaju nas da svakoj kapi vode pristupimo sa maksimalnom odgovornošću. U tom kontekstu, gubici vode u distributivnim vodovodnim mrežama više nisu samo tehnički parametar efikasnosti jednog komunalnog preduzeća, već ozbiljno ekonomsko, ekološko i etičko pitanje.

Revidirana Direktiva EU o vodi za piće (2020/2184) donela je jasne smernice – upravljanje gubicima vode postaje zakonska obaveza koja podrazumeva precizno merenje, transparentno izveštavanje i postizanje definisanih ciljeva efikasnosti. Uvođenje pokazatelja učinka, poput ILI (Infrastructure Leakage Index) i obaveza praćenja „neprihodovane vode“ (NRW) postavljaju pred inženjere i menadžere nove standarde koje je neophodno dostići kako bi se osigurala održivost poslovanja.

Shvatajući izuzetan značaj ove problematike, Savez inženjera i tehničara Srbije (SITS) organizuje ove godine petu po redu godišnju konferenciju o aktuelnim temama iz oblasti upravljanja gubicima vode u sistemima javnog vodosnabdevanja.

Suorganizatori Konferencije su Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ (Beograd), Inženjerska akademija Srbije (Beograd), JKP „Vodovod i kanalizacija“ Novi Sad, JKP „Vodovod i kanalizacija“ Kragujevac, uz podršku Privredne komore Srbije - Udruženja za komunalne delatnosti. Konferencija se odvija pod pokroviteljstvom Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije.

Cilj ove Konferencije, pa samim tim i ovog Zbornika, jeste da podstakne dijalog i sinergiju između nauke i prakse. Radovi u ovom Zborniku obuhvataju širok spektar tema: od analiza uzroka i tipova gubitaka vode, strategija za njihovo smanjenje i aktivne kontrole curenja, studija slučaja, do primene digitalnih alata. Ovaj Zbornik predstavlja aktuelni presek znanja, iskustava i inovativnih rešenja vodećih stručnjaka iz zemlje i regiona. Verujemo da će prezentovana istraživanja i praktični primeri poslužiti kao dragocen putokaz donosiocima odluka i stručnjacima u vodovodnim preduzećima kako da efikasnije upravljaju gubicima vode i modernizuju svoju infrastrukturu. Nadamo se da će sadržaj koristiti ne samo učesnicima konferencije, već i široj stručnoj javnosti koja se bavi pitanjem upravljanja i očuvanja vodnih resursa.

Zbornik radova pete konferencije „Gubici vode u sistemu javnog vodosnabdevanja“ sadrži ukupno 9 radova koje je Programski odbor prihvatio, nakon izvršene recenzije, za izlaganje na Konferenciji i štampanje u Zborniku radova. Pored autora radova iz Srbije, zastupljeni su i radovi autora iz regiona.

SITS zahvaljuje ovim putem preduzećima i institucijama koje su pomogle održavanje ove Konferencije, članovima Programskog i Organizacionog odbora i recenzentima, kao i autorima radova na uloženom trudu i njihovom stvaralačkom radu u pripremi radova.

Beograd, maj 2026.

UREDNIK
Dr Branislav Babić

РЕАЛНОСТ ГУБИТАКА У СРБИЈИ И КОМПАРАЦИЈА СА НЕКИМ ЗЕМЉАМА/СИСТЕМИМА РЕГИОНА И ЕВРОПЕ

THE REALITY OF LOSSES IN SERBIA AND COMPARISON WITH SOME COUNTRIES/SYSTEMS IN THE REGION AND EUROPE

ДЕЈАН ДИМКИЋ¹

Прегледни (научни) рад
DOI: 10.5937/GV26013D

Резиме: Удео фактора који утичу на висину не-фактурисаног дела (NRW) у једном водоводном систему (ВС) у Србији се разликује. Оне су још веће ако се посматра шире подручје, на пример регион Балкана или Европе. Са аспекта јавних комуналних предузећа (ЈКП) код нас, иако наредна подела није строга, фактори који утичу на висину NRW су груписани у оне где ЈКП мало зависе од других (смањење не-фактурисане овлашћене потрошње, регулисање високих/променљивих притисака, број/стање прикључака), на оне где умерено до значајно зависе (обезбеђење нових изворишних капацитета, замена старих/проблематичних цеви), и на оне где не могу без спољне помоћи (веће развојне инвестиције). Постоје и специфични фактори за сваки конкретан ВС (клима, топографија и састав терена, неравномерност потрошње, густина насељености, историјски контекст). Утицај на навике потрошача и цена воде су такође значајни. Можда најважнији фактор је значај који нека средина (ЈКП, општина, држава) дају питању висине губитака.

Оцена стања једног ВС је често дата само на основу висине NRW у %. Индекс ПЛ, предложен од IWA, иако не савршен, даје објективнију слику. Још реалнија оцена, поред анализе истих и путем индекса ПЛ, добија се поређењем српских ВС са истим параметрима/факторима у земљама/системима у окружењу и у Европи.

Кључне речи: водоводни систем; губици; NRW; клима; притисак; цена воде

Abstract: The share of factors influencing the level of non-billed water (NRW) in a water supply system (WS) in Serbia varies. They are even greater if we look at a wider area, for example the Balkans or Europe. From the perspective of public utility companies (PUC) in our country, although the following division is not strict, the factors influencing the level of NRW are grouped into those where PUCs depend little on others (reduction of non-billed authorized consumption, number/condition of connections, regulation of high/variable pres-

¹ Дејан Димкић, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Јарослава Черног 80, Београд, dejan.dimkic@jcerni.rs, ORCID: 0000-0003-4994-2683

tures), those where they depend moderately to significantly (replacement of old/problematic pipes, provision of new source capacities), and those where they cannot do without external assistance (larger development investments). There are also specific factors for each WS (climate, topography and terrain composition, uneven consumption, population density, historical context). The impacts on consumer habits and the price of water are also significant. Perhaps the most important factor is the importance that a certain society (public utility company, municipality, state) gives to the issue of the level of losses.

The assessment of the condition of a water system is often given only on the NRW level in %. The ILI index, proposed by IWA, although not perfect, gives a more objective picture. An even more realistic assessment, in addition to analyzing the same ones through the ILI index, is obtained by comparing Serbian WS with the same parameters/factors in neighboring countries/systems and in Europe.

Key Words: water supply system; losses; NRW; climate; pressure; water price

1. Увод

Узроци високих вредности губитака воде у водоводним системима (WSS) код нас и у свету су различити и бројни [1, 2]. У Србији су првенствено резултат деценија недовољног улагања у инфраструктуру, али постоје и други разлози, који се на различите начине могу груписати: технички и нетехнички, или према природном окружењу водоводних система, или према могућности комуналних фирми да се са њима самостално изборе и сл.

У овом раду се анализира неколико фактора, без тврдње да су они и једини (сигурно нису) или најзначајнији. Анализирани фактори су цена воде, клима (кроз просечну температуру), доступност водног ресурса у ближем окружењу, погодност/топографија терена и спремност људи у водоводима, општинама и државама да се озбиљније боре на смањењу губитака (NRW%) у WSS, што је посебан изазов у земљама у развоју [3]. Даје се и најкраћи осврт о међузависности коефицијента ILI (Infrastructure leakage index) и NRW (%), који је детаљније обрађен за претходну (4-ту) СИТС Конференцију.

Циљ рада је, поред тражења одређених корелација, и да се упореде назначени параметри у српским и водоводима у региону и Европи.

Скраћенице, улазни подаци и приказ неких међузависности

У раду су коришћене следеће скраћенице:

| | | | |
|-------|----------------------------------|-----|---------------------------|
| (E)WP | (Економска) Цена воде; | WSS | Водоводни систем; |
| ILI | Инфраструктурни индекс губитака; | NRW | Не фактурисана вода; |
| P | Притисак у мрежи; | T | Температура; |
| TK | Тежински коефицијент; | JKP | Јавна комунална предузећа |

2.1. Табеларни приказ улазних података/параметара

Табела 1 даје процену класе утицаја фактора доступности воде, топографије терена и давање значаја питању губитака (ангажованости људи) на смањење NRW у датој средини.

Табела 1. Усвојена класа утицаја за три описна фактора/параметра

| Описно разматрани фактори | | | |
|---------------------------|--|--|----------------------------|
| Класа утицаја | Доступност воде сложених третмана (у ближем окружењу) | Топографија терена у оквиру WSS - доминантно | Давање значаја смањењу NRW |
| 1 | Испод или на граници потреба без сложених/скупих третмана | Раван – прилично уједначен притисак у мрежи | Веома пуно |
| 2 | Умерена – мало изнад границе потреба | Брежуљкаст - умерено променљив Р у мрежи | Пуно |
| 3 | Значајна - изнад границе потреба и за ближу будућност | Брдовит – врло променљив притисак у мрежи | Средње |
| 4 | Врло значајна – дугорочно довољне количине квалитетне воде | Врло брдовит/планински – високи и неуједначени Р | Мало |

Вредности NRW се, генерално, повећавају од класе 1 до класе 4 за сва три параметра.

Табела 2 даје приказ анализираних фактора за већи број WSS у Србији, региону и Европи [4, 5], као и просеке неких од њих на нивоу држава. За описне параметре је дата субјективна процена.

Табела 2. Приказ вредности анализираних фактора/параметара

| | Водоводни систем | WP ¹ (€/m ³) | NRW (%) | ILI (-) | Доступност воде | Топографија терена – доминантно | РХМЗ: просек Т: 1949-2023 или интернет | Давање значаја смањењу NRW |
|---|------------------|-------------------------------------|---------|---------|-----------------|---------------------------------|--|----------------------------|
| 1 | Србија (просек) | 1.1 | 43 | 5.5 | 3 | 3 | | 3 |
| | БВК | 1.1 | 33 | | 2 | 3 | 12.6 / 12.6 | 2 |
| | Нови Сад | 1.3 | 31 | | 2 | 2 | 11.6 | 2 |
| | Ниш | 1.0 | 52 | 9.5 | 3 | 2 | 12.0 / 11.8 | 3 |
| | Крагујевац | 1.3 | 45 | | 2 | 3 | 11.6 / 11.5 | 2 |
| | Чачак | 1.1 | 46 | | 3 | 2 | 11.0 / 10.5 | 2 |
| | Лесковац | 1.3 | 44 | 5.0 | 3 | 2 | 11.3 / 11.3 | 3 |

| | Водоводни систем | WP ¹ (€/m ³) | NRW (%) | ILI (-) | Доступност воде | Топографија терена – доминантно | РХМЗ: просек Т: 1949-2023 или интернет | Давање значаја смањењу NRW |
|---|---------------------------|-------------------------------------|-----------|---------|-----------------|---------------------------------|--|----------------------------|
| | Краљево | 1.1 | 39 | | 2 | 2 | 11.5 | 3 |
| | Сомбор | 1.5 | 26 | 3.5 | 2 | 1 | 11.2 / 11.4 | 3 |
| | Књажевац | 1.1 | 50 | 4.3 | 3 | 3 | 11.0 / 10.5 | 2 |
| | Лајковац | 1.3 | 59 | 8.4 | 1 | 2 | 11.5 / 11.0 | 4 |
| | Тител | 1.0 | 20 | | 2 | 1 | | 2 |
| | Бор | 1.3 | 55 | 9.4 | 3 | 3 | 12.3 | 2 |
| | Рума | 1.3 | 52 | | 4 | 1 | | 3 |
| | Срем. Митровица | 1.4 | 51 | 6.3 | 3 | 1 | 11.4 | 3 |
| | Шабац | 1.0 | 34 | 3.0 | 4 | 1 | | 2 |
| | Тутин | 0.5 | 55 | | 3 | 4 | | 4 |
| | Инђија | 1.2 | 30 | | 2 | 1 | | 3 |
| | Ковин | 0.9 | 36 | | 4 | 1 | | 3 |
| | Бољевац | 0.8 | 65 | | 3 | 3 | | 4 |
| 2 | Црна Гора (просек) | 1.0 | 63 | | 3 | 4 | | 4 |
| | Подгорица | 0.8 | 58 | 8.9 | 3 | 2 | 15.4 | 2 |
| | Бар | 1.3 | 77 | | 1 | 3 | 15.5 | 4 |
| | Никшић | 1.1 | 75 | 7.4 | 3 | 4 | 9.8 | 4 |
| | Херцег Нови | 1.0 | 73 | 15 | 1 | 4 | 16.2 | 3 |
| | Тиват | 1.0 | 34 | 8.3 | 1 | 2 | 15.5 | 2 |
| 3 | Хрватска (просек) | 1.9 | 46 | | 3 | 2 | | 3 |
| | Загреб | 2.0 | 48 | | 3 | 2 | 11.6 | 3 |
| | Сплит | 1.9 | 60 | | 2 | 3 | 16-17 | 3 |
| | Осијек | 1.7 | 44 | | 2 | 2 | 11 | 3 |
| | Ријека | 2.1 | 31 | | 2 | 2 | 14.2 | 2 |
| 4 | Италија (просек) | 3.1 | 42 | | 2 | 3 | | 3 |
| | Милано | 2.3 | 11 | | 3 | 2 | 13 | 1 |
| | Бари, Сардинија, Сицилија | 2.6÷ 3.5 | 50÷ 55 | | 1 | 3 | 15-18 | 3 |

| | Водоводни систем | WP ¹ (€/m ³) | NRW (%) | ILI (-) | Доступност воде | Топографија терена – доминантно | РХМЗ: просек Т: 1949-2023 или интернет | Давање значаја смањењу NRW |
|----|--------------------|-------------------------------------|---------|---------|-----------------|---------------------------------|--|----------------------------|
| 5 | Бугарска (просек) | 0.8 | 60 | | 2 | 3 | | 4 |
| | Софија | 0.9 | 60 | | 3 | 3 | 11-12 | 3 |
| 6 | Румунија (просек) | 2.9 | 44 | | 2 | 3 | | 3 |
| | Букурешт | 2.1 | < 40 | | 2 | 2 | 11.7 | 2 |
| 7 | Мађарска (просек) | 2.1 | 28 | | 2 | 1 | | 3 |
| | Будимпешта | 1.7 | до 25 | | 2 | 1 | | 2 |
| 8 | Француска (просек) | 4.1 | 22 | | 3 | 3 | | 2 |
| | Париз | 3.7 | < 20 | | 2 | 2 | 11-12 | 1 |
| 9 | Грчка (просек) | до 1.0 | 26 | | 1 | 3 | | 2 |
| 10 | Шпанија (просек) | 2.4 | 23 | | 1 | 3 | | 2 |
| 11 | Чешка (просек) | 3.5 | 15 | | 3 | 3 | | 1 |
| 12 | Норвешка (просек) | 0.0 EWP ≈ 5.5) | 35 | | 4 | 4 | | 3 |
| 13 | Данска (просек) | 9.0 (5.0 до скоро) | 8 | | 3 | 1 | | 1 |
| 14 | Немачка (просек) | 4.5 | 6 | | 2 | 2 | | 1 |
| 15 | Холандија (просек) | 4.0 | 5 | | 3 | 1 | | 2 |

¹ Цена обухвата водоснабдевање, одвојење и пречишћавање отпадних вода (где постоји)

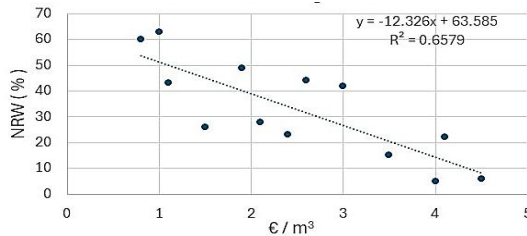
2.2. Корелација ILI и NRW (%)

Међузависност коефицијента ILI и NRW% је, поред осталог, обрађена у прошлогодишњем раду [4] за 4-и СИТС о губицима воде у систему јавног водоснабдевања. Ту је извршена анализа показатеља ILI и NRW% за 42 WSS у Србији. Логаритамском регресијом је добијен R² (коефицијент детерми-

нисаности) ова два параметра од око 0.6, што указује на умерену корелацију. На основу расположивих података и добијених резултата јасно је да је стање губитака исказано преко показатеља ПИ код нас повољније него када се исказују у процентима, а вредност ПИ у анализираним водоводима варира од 1,2 до 12,0 (просечно око 5,5). Показано је да је просечно смањење NRW у српским водоводима преко 5% веома захтевно, уз очекивано више смањење овог индикатора у системима са високим вредностима данас.

2.3. Корелација WP и NRW (%)

Међузависност цене воде WP и не-фактурисаног дела NRW% је обрађена у раду [5]. Преузети дијаграм (сл. 1) корелише вредности просека ових вредности за 13 земаља у Европи (датих и у табели 2), и указује да линеарна регресија даје R^2 од око 0.66 (умерена међузависност).



Слика 1. Зависност NRW% и WP (€/m³) по подацима за 13 земаља у Европи

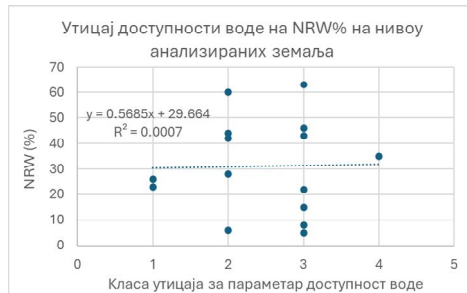
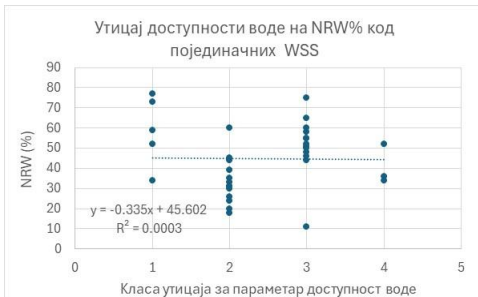
2.4. Корелација Температуре и NRW (%)

Из табеле 2 (видљиво и без приказа дијаграма) би се могло закључити да не постоји међузависност између T и NRW%. То би било само делимично тачно, а коректније је рећи да постоје други фактори који ову слабу корелацију минимизирају. У раду [6] је показано да за $T > 15^{\circ}\text{C}$ постоји значајан утицај на потрошњу у једном WSS (реда $1\%/1^{\circ}\text{C}$ у нашим водоводима, у неким земљама/системима у свету и више), па тиме донекле постоји (иако слаб) утицај код већине водовода и на NRW%.

2.5. Корелација описних параметара и NRW (%) - појединачно

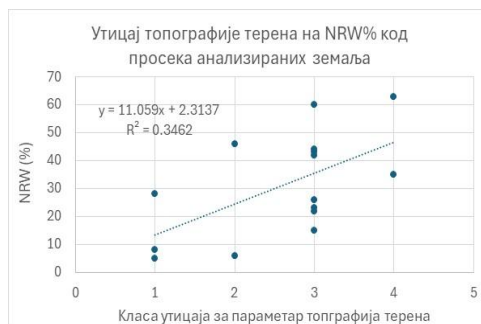
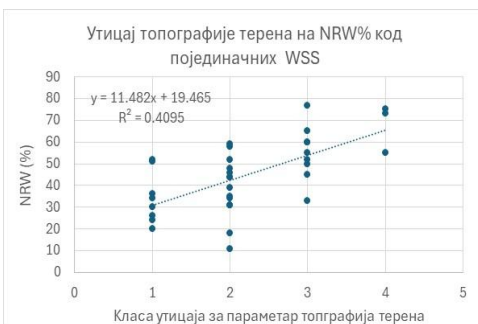
2.5.1 Описни параметар доступност воде у ближем окружењу

Из података у табели 2 се добијају дијаграми (слика 2) за међузависност овог параметра и NRW%. Њиховом анализом се долази до закључка да он уопште нема утицај на висину NRW%. То не може бити потпуно тачно, а можда је делом последица неадекватног узорка, а врло вероватно и недовољно објективне оцене класе утицаја код појединих система. Ипак, извесно је његов утицај (осетно) мањи од утицаја друга два анализирана описна параметра, датих у наставку (2.5.2 и 2.5.3).



Слика 2. Зависност NRW% и описног параметра доступност воде на нивоу анализираних система и земаља

2.5.2. Описни параметар топографија терена у оквиру WSS



Слика 3. Зависност NRW% и описног параметра топографија терена на нивоу анализираних система и земаља

Из података у табели 2 се добијају дијаграми (слика 3) за међузависност параметра топографија терена и NRW%. Њиховом анализом се долази до закључка да утицај на висину NRW% постоји, али је врло умерен. Нешто је израженији на нивоу система, него на нивоу државе, што је и очекивано имајући у виду врсту и тачност податка за један или други ниво.

2.5.3. Описни параметар давање значаја смањењу губитака

Из података у табели 2 се добијају дијаграми (сл. 4) за међузависност параметра ангажовања надлежних људи и NRW%. Анализом се долази до закључка да је његов утицај на висину NRW% највећи од анализираних, поготову на нивоу државе. И то би се могло окарактерисати као очекивано. Треба само напоменути да ангажованост људи треба бити дугорочна, јер се са краћом ангажованошћу, иако је и ентузијазам групе људи позитиван и пожељан, постижу ефекти који су ограничени на једну или пар година [7].



Слика 4. Зависност NRW% и описног параметра ангажованост људи на нивоу анализираних система и земаља

2.6. Корелација описних параметара и NRW (%) - синтетизовано

Потврду да је описни параметар ангажованост људи мало битнији од фактора топографија терена, а доста утицајнији од фактора доступност воде (све на висину NRW%), даје анализа достизања максималног коеф. детерминације R^2 варирањем значаја сва три описна параметра преко тежинских коефицијената (ТК). За сваки систем, и за сваку анализирану комбинацију ТК, је одређен синтетизован збир преко формуле:

$$S_i = T_{dv} \cdot K_{dv}^i + T_{tt} \cdot K_{tt}^i + T_{lj} \cdot K_{lj}^i ; \quad i - \text{редни број система}; \quad \text{где су:}$$

S – синтетизована вредност,

T_{dv} , T_{tt} , T_{lj} – тежински коефицијенти за доступност воде, топографију терена и ангажованост људи, респективно, а

K_{dv}^i , K_{tt}^i , K_{lj}^i – вредности класе утицаја сваког система за доступност воде, топографију терена и ангажованост људи, респективно

Да би упростили прорачун усвојено је да се за ТК усвајају природни бројеви, и да је њихов збир 7 (максимум) или мање. Засебно су анализирани градови (системи), а засебно ниво држава. Резултате приказује табела 3.

Табела 3. Вредности R^2 за различите комбинације тежинских коефицијената

| R^2 | $\Sigma TK=3$ | $\Sigma TK=4$ | | | $\Sigma TK=5$ | | | | | | $\Sigma TK=6$ | | |
|---------|---------------|---------------|------|------|---------------|------|------|------|------|------|---------------|------|------|
| | 111 | 211 | 121 | 112 | 221 | 212 | 122 | 113 | 131 | 311 | 123 | 132 | 213 |
| Градови | 0.59 | 0.32 | 0.62 | 0.65 | 0.47 | 0.46 | 0.70 | 0.64 | 0.59 | 0.17 | 0.71 | 0.68 | 0.53 |
| Државе | 0.62 | 0.39 | 0.58 | 0.78 | 0.45 | 0.60 | 0.74 | 0.84 | 0.54 | 0.25 | 0.82 | 0.68 | 0.71 |

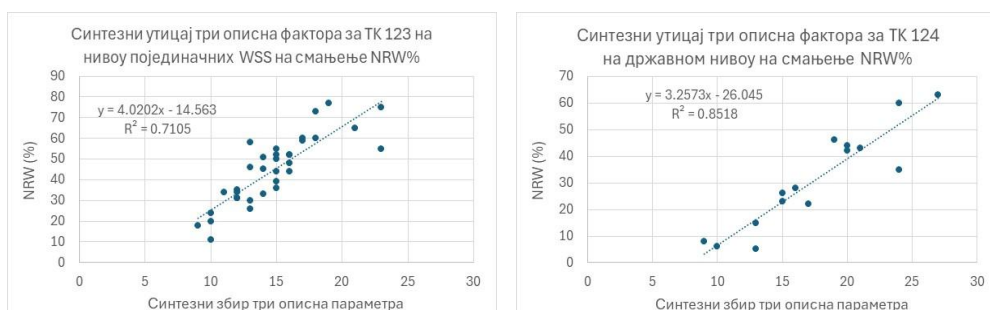
Напомена: 123 означава да T_{dv} узима вредност 1, T_{tt} узима вредност 2, а T_{lj} узима вредност 3; исто и за остале комбинације ТК

Табела 3. наставак: Вредности R^2 за различите комбинације тежинских коефицијената

| R^2 | $\Sigma TK = 6$ | | | $\Sigma TK = 7$ | | | | | | | | |
|---------|-----------------|------|------|-----------------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|
| | 231 | 312 | 321 | 133 | 313 | 331 | 124 | 142 | 214 | 241 | 412 | 421 |
| Градови | 0.52 | 0.30 | 0.32 | 0.71 | 0.40 | 0.41 | 0.70 | 0.65 | 0.56 | 0.53 | 0.20 | 0.21 |
| Државе | 0.46 | 0.44 | 0.33 | 0.77 | 0.58 | 0.37 | 0.85 | 0.63 | 0.77 | 0.45 | 0.33 | 0.25 |

Види се да се максималне вредности остварују за комбинације ТК (122, 123, 133 и 124) – ниво градова, односно ТК (112, 113, 123 и 124) – ниво држава, чиме је констатација дата на почетку ове подтачке (2.6) потврђена.

Слика 5 даје приказ за случајеве са максималним R^2 – 123 за ниво градова и 124 за ниво држава.



Слика 5. Зависност NRW% и синтезног збира три описна параметра на нивоу анализираних система и земаља

3. Закључна разматрања

У раду је анализирано неколико фактора који могу имати, или сигурно имају, утицај на висину NRW. То су цена воде, просечна Т, доступност воде у ближем окружењу, топографија терена и спремност људи у водоводима, општинама и државама да се озбиљније баве овом проблематиком. Извесно је да су ово само део од бројних фактора који имају мањи или већи утицај на смањење губитака у WSS. Постоји и међусобно поклапање фактора, тако да је њихово потпуно изоловано посматрање тешко могуће, и превазилази обим урађених анализа – можда може бити предмет неких нових истраживања. Указано је и да међузависност коеф. ILI и NRW постоји, да је умерена, и да и то треба имати на уму приликом разматрања могућности смањења губитака. Ипак, на нивоу спроведених анализа, пар напомена се могу издвојити.

За факторе просечна годишња температура и доступност воде у ближем окружењу међузависност са NRW није успостављена, или је она јако слаба.

За фактор цена воде је показано да има утицај на нивоу држава, а извесно је да би био присутан и у нашим водоводима када би се цена воде приближила економској.

Фактор топографија терена, који посредно углавном има утицај на висину и стабилност притисака у мрежи, корелација са NRW је присутна и јасна, за шта су дати и бројни примери на нивоу система (већина градова у Црној Гори, у Србији Бор, Бољевац, Пријепоље, Брус, итд) или неких држава (карактеристично је поређење скандинавских земаља – равне Данске и брдовито/планинске Норвешке). Фактор ангажованост људи (спремност људи у водоводима, општинама и државама да се озбиљније баве питањем NRW) можда има и највећи значај, што је у доброј мери и био циљ писања овог рада. Примере за ову тврдњу имамо код других (Милано, Париз, чешки градови) и код нас (Нови Сад, Књажевац, Бор, па и Београд), као и на нивоу неких од разматраних земаља (Немачка, Холандија, Данска) - све које овој проблематици дају већи значај имају мањи NRW, често и испод 15%, а слично важи обрнуто. Извесно је да за дугорочне ефекте треба постојати системски приступ и константност у ангажовању, што у многим земљама, па и у Србији обично није случај.

4. Литература

- [1] IDS Water, *Leakage Economics – Plugging the knowlegde gap*. 2004.
- [2] Lambert A. O. et al, Water Losses Management and Techniques, *Water Science and Technology: Water Supply* 2(4), August 2002.
- [3] Kingdom B, Liemberger R, Marin P. *The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries*. Water Supply and Sanitation Sector Board discussion paper series no. 8 Washington, DC: World Bank. 2006.
- [4] Димкић Д, Ђукић А, Питање (не)униформности смањења губитака у водоводним системима, *IV Научна Конференција са међународним учешћем „Губици воде у систему јавног водоснабдевања“*, Београд, СИТС, стр. 29-44, doi: 10.5937/GV25029D, 2025.
- [5] Dimkić D, Đukić A, Acceptable and economic leakage levels in water supply systems, *6th EWaS International Conference „Safeguarding Water & Health in a financially, socially and environmentally fragile era“*, 11–14 May 2026, Thessaloniki, Greece, Editors: Vasilis Kanakoudis and Evangelos Keramaris, 2026.
- [6] Dimkić D, Temperature impact on drinking water consumption, *4th EWaS International Conference „Valuing the “Water, Carbon, Ecological“ Footprints of Human Activities“*, 24–27 June 2020, Greece, Editors: Vasilis Kanakoudis and Evangelos Keramaris, pp. 92-101, 2020.
- [7] Arvaji Z, Karadžić I, Upravljanje gubicima u Novom Sadu – primer iz prakse, *Zbornik radova 33. Konferencije „Vodovod i kanalizacija '12“*, 09.–12.10.2012. Vršac, SITS, str. 95-100, 2012.

REDOVNO ODRŽAVANJE VODOVODNIH SISTEMA I GUBICI VODE

REGULAR MAINTENANCE OF WATER SYSTEMS AND WATER LOSSES

NINOSLAV PETROVIĆ¹,
PREDRAG BOGDANOVIĆ²
MILAN PETROVIĆ³

Pregledni (stručni) rad
DOI: 10.5937/GV26023P

Rezime: Rad obrađuje relativne promene u zahvatanju i potrošnji vode iz javnih vodovoda u Srbiji u poslednjih dvadesetak godina, i promene količina proizvedene vode, gubitaka vode i sredstava uloženi u popravke i održavanje komunalnih sistema i njihov odnos u poslednjih desetak godina. Prokazane su promene pomenutih pokazatelja za celu Srbiju i za pet izabраниh većih gradova. Rad je rezultat desetogodišnjeg istraživanja, započetog 2015. godine u saradnji Udruženja za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Svetske banke i Ministarstva građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture.

Ključne reči: analiza, gubici vode, ulaganje u redovno održavanje, systemska podrška

Abstract: The paper deals with the relative changes in the abstractions and consumption of water from public waterworks in Serbia in the last twenty years, and the changes in the amount of produced water, water losses and funds invested in the repair and maintenance of communal systems and their relationship in the last ten years. The changes in the mentioned indicators for the whole of Serbia and for the five selected major cities were shown. The work is the result of ten years of research, started in 2015 in cooperation with the Association for Water Technology and Sanitary Engineering, the World Bank and the Ministry of Construction, Transport and Infrastructure.

Key Words: analysis, water losses, investment in regular maintenance, system support

¹ Ninoslav Petrović, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Simina 13, Beograd, nino.5rovic@gmail.com

² Predrag Bogdanović, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Simina 13, Beograd, predrag.bogdanovic@utvsi.com

³ Milan Petrović, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Simina 13, Beograd, milan.5rovic@gmail.com ORCID: 0009-0009-6967-5835

1. Uvod

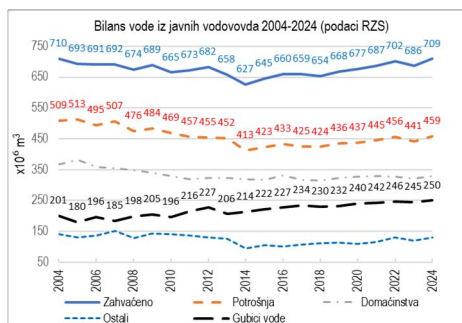
1.1. Opšte

Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku (RZS 2005-2025.) gubici vode iz javnih vodovoda u Srbiji su se u poslednjih dvadesetak godina kretali u opsegu od 26% (2005. godine) do 35-36% (od 2017. do 2024. godine) od zahvaćene vode. Ako se gubici vode posmatraju u odnosu na registrovanu potrošnju, onda se oni u istom periodu kreću od 35% (2005. godine) do 52-56% (od 2017. do 2024. godine).

Drugi izvor odgovarajućih podataka je Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo iz Beograda (UTVSI), koje je u saradnji sa Ministarstvom građevinarstva, saobraćaja infrastrukture (MGSI), u periodu 2015 – 2025. Prikupljalo i obrađivalo podatke direktno od nadležnih lokalnih samouprava tj. njihovih javnih komunalnih preduzeća [3]. Prema tim podacima gubici vode iz javnih vodovoda u republici su se kretali od 39% (2014. godine) do 43-44% (od 2018. do 2024. godine). Ako se gubici vode posmatraju u odnosu na registrovanu potrošnju, onda se oni u istom periodu kreću od 64% (2014. godine) do 74-78% (od 2018. do 2024. godine). U literaturi se na više mesta može naći spisak činilaca koji utiču na veličinu gubitaka vode iz sistema, kao i spisak negativnih uticaja gubitaka na različite aspekte zajednice (na životnu sredinu, na kvalitet vode i sigurnost snabdevanja potrošača, na ekonomičnost poslovanja odgovarajućih komunalnih preduzeća, na potrošnju električne energije...), a u ovom radu će se prikazati odnos sredstava uložениh u redovno održavanje sistema i veličine gubitaka vode. Neki pokazatelji sadržani u ovom radu su i ranije prikazivani, [4], ali su ovde dopunjeni podacima za 2024. godinu i dodatno analizirani.

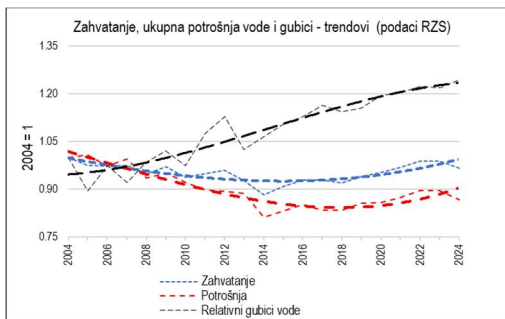
1.2. Bilans vode iz javnih vodovoda

Slika broj 1 prikazuje podatke RZS [5] o promenama komponenti bilansa vode u javnim vodovodima tokom poslednjih 20 godina:



Slika 1. Pokazatelji bilansa vode 2004-2024.

Slika 2 prikazuje relativne promene osnovnih parametara bilansa vode iz javnih vodovoda od 2004. do 2024. godine.



Slika 2. Promene parametara bilansa vode u odnosu na 2004. godinu.

Sa slika se vidi jasan trend pada pokazatelja proizvodnje i potrošnje sve do 2014. godine, koji od tada blago raste, pa su u 2024. godini slični onima iz 2011. godine. Pokazatelj gubitaka vode je praktično neprekidno rastao, pa je u posmatranom periodu povećan za oko 25%. Kao ilustracija stanja veličine gubitaka vode u Srbiji navodi se da je već godinama „voda koja ne donosi prihod“ veća od zbirne proizvodnje vode u Beogradu, Novom Sadu, Nišu i Kragujevcu (u 2024. godini veća za preko 75% od njihove ukupno prodane vode). Ukupni gubici vode u ova četiri grada su oko 121 milion m³/god. (~40% ukupnih gubitaka vode u državi). Gubici vode predstavljaju svakom vodovodu problem za sebe, ali ukupni gubici vode u navedena četiri velika sistema se moraju posmatrati i kao problem za celu republiku.

1.3. Bilans poslovanja preduzeća sektora voda i ulaganja u popravke i održavanje

U radu se pod preduzećima sektora voda podrazumevaju ona preduzeća koja u spisku svoji delatnosti imaju snabdevanje naselja vodom i kanaliziranje naselja. Ukupni prihodi posmatranih preduzeća od delatnosti snabdevanja vodom i kanaliziranja naselja u periodu 2020 – 2024. su dati u tabeli 1.

Tabela 1. Prihodi i rashodi od delatnosti ViK (izvor UTVSI)

| R. br. | Godina | Broj JKP | Ukupni prihod | Ukupni rashod | Prosečan prihod | Prosečan rashod | Prosečan rezultat |
|--------|--------|----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|
| | | | (x 10 ⁹ dinara) | (x 10 ⁶ dinara) | (x 10 ⁶ dinara) | | |
| 1 | 2020 | 129 | 30,7 | 29,3 | 238 | 237 | +1 |
| 2 | 2021 | 141 | 33,4 | 32,2 | 237 | 230 | +7 |
| 3 | 2022 | 152 | 35,7 | 36,3 | 235 | 238 | -3 |
| 4 | 2023 | 149 | 39,2 | 40,0 | 263 | 269 | -6 |
| 5 | 2024 | 158 | 44,1 | 46,3 | 279 | 293 | -14 |
| 6 | Ukupno | -/- | 183,1 | 184,1 | 1.252 | 1.267 | -15 |

U tom periodu je prosečno JKP sektora voda imalo ukupan negativni rezultat od oko 15 miliona dinara - svi zajedno oko 1 milijardu dinara, uz trend povećanja negativnog rezultata u poslednje tri godine. Prosečni godišnji prihodi preduzeća su u porasli za 17%, ali su prosečni troškovi poslovanja porasli za 24%.

Tabela 2 daje iznose investicija i troškova popravki i održavanja od 2020. do 2024. godine (Petrović i sar. (2015-2025)).

Tabela 2. Investicije i troškovi popravki i održavanja (x 10⁶ EUR)

| R. br. | Stavka | Investicije i troškovi popravki i održavanja | | | | | |
|--------|--|--|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2024 / 2020 |
| 1 | Broj preduzeća | 127 | 141 | 148 | 146 | 158 | -/- |
| 2 | Ukupne investicije | 57,8 | 46,6 | 91,68 | 56,6 | 57,5 | 0,99 |
| 3 | Opravke i održavanje - ukupno | 18,8 | 20,30 | 21,00 | 23,4 | 30,1 | 1,60 |
| 4 | Opravke i održavanje - po preduzeću | 0,148 | 0,144 | 0,142 | 0,160 | 0,191 | 1,29* |

* Akumulirana inflacija od 2020. do 2024. godine iznosi približno 36% (izvor Google).

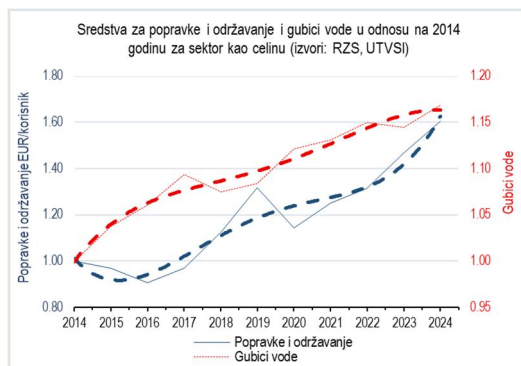
Napominje se da se stavke Investicije i Opravke i održavanje odnose na odgovarajuće troškove ukupnih vodnih usluga JKP, a ne samo na snabdevanje vodom. Nije se raspolagalo posebnim podacima za sistem snabdevanja vodom i sistem kanalizacija, već samo odgovarajućim zbirnim troškovima oba sistema, jer naša javna komunalna preduzeća sektora voda uglavnom ne vode knjigovodstvo po mestima nastanka troška.

2. Gubici vode i ulaganja u popravke i održavanje

U svrhu provere postojanje zakonitosti promena veličina gubitaka vode i promena finansijskih sredstava uloženi u popravke i održavanje komunalnih sistema. analizirani su podaci iz decenijske saradnje UTVSI sa MGSI, za celinu sektora na nivou Republike, kao i za neka preduzeća za koja se raspolagalo podacima za duži period vremena.

2.1. Gubici vode i popravke i ulaganja u popravke održavanje za sektor voda kao celinu

Slika 3 pokazuje promene posmatranih pokazatelja prosečnog preduzeća koje se bavi snabdevanjem vodom, u odnosu na 2014. godinu. Izvori podataka su: RZS (2004 – 2025) za podatke o gubicima vode, i UTVSI za podatke o sredstvima uloženi u popravke i održavanje.



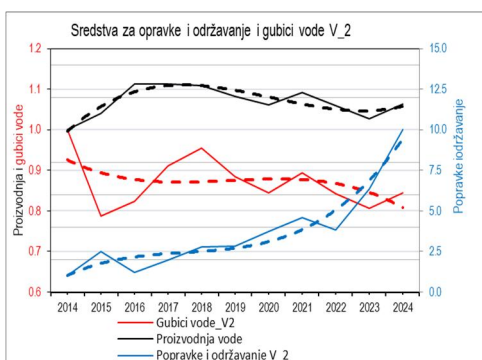
Slika 3. Relativne promene gubitaka vode i ulaganja u opravke i održavanje

Trend linije promene iznosa sredstava za popravke i održavanje i linije promene veličine gubitaka vode u odnosu na gubitke u 2014. godini imaju skoro ogledalne oblike.

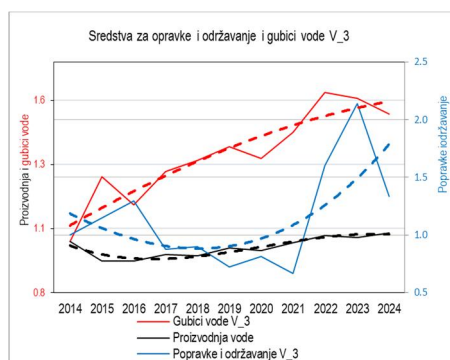
2.2. Gubici vode i ulaganja u popravke održavanje za pojedina preduzeća

Odnos promena gubitaka vode i sredstava za popravke i održavanje je detaljnije analiziran kod pet većih JKP. Na svim slikama je pored promena pomenutih pokazatelja gubitaka vode i sredstava za popravke i održavanje, prikazana i promena proizvedene vode.

Kod preduzeća 2, 3, 4 i 5 su pokazatelji slični onima na nivou cele Republike, tj. trend linija promene gubitaka vode je negde manje, a negde više „ogledalan“ u odnosu na trend linije ulaganja u popravke i održavanje, kako se to vidi na slikama broj 4 do 7.



Slika 4. Sredstva za popravke i održavanje i gubici vode – JKP V_2

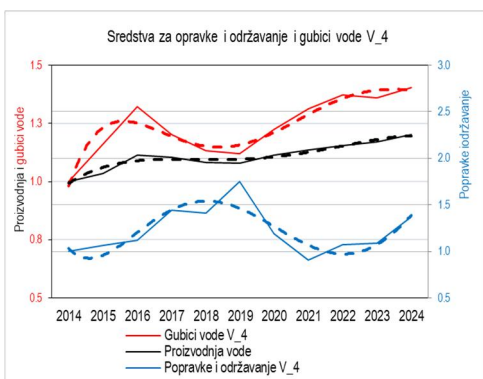


Slika 5. Sredstva za popravke i održavanje i gubici vode – JKP V_3

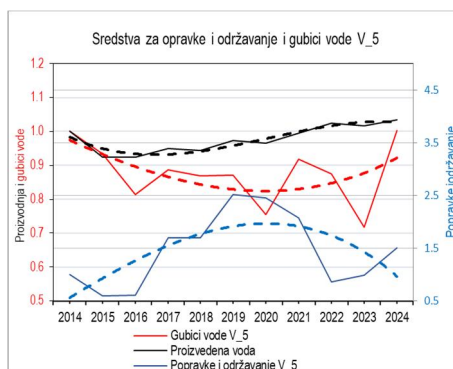
Karakteristike sistema sa slike 4 su malo ulaganje u prvih pet posmatranih godina, zatim povećanje tih sredstava, i rezultujuće smanjenje proizvodnje i gubitaka vode. Ovaj sistem se karakteriše priličnim oscilacijama sredstava za popravke i održavanja (od 0,67 do 2,14 puta u odnosu na sredstva uložena 2014 godine), kao i njihovim smanjenjem u dužem vremenskom periodu, koja su naglo povećana pri kraju posmatranog perioda. Duži period nedovoljnog ulaganja u održavanje rezultovao je konstantnim povećanjem gubitaka vode, koji su se povećavali i u vremenu smanjene proizvodnje vode.

Promene u ovom sistemu su nešto manje nego u prethodnom slučaju, ali su mnogo blaže. Ne dešavaju se u skokovima, već u „talasima“, sa jasno „ogledalnim“ trendovima promena pokazatelja sredstava za popravke i održavanje i gubitaka vode.

Trend linije promene gubitaka ima sličnosti sa trendom linije promene proizvodnje vode. Sistem V5 se ponaša slično sistemu V4, sa slike broj 6: „ogledalna“ slika promena trendova, promene u „talasima“ ali su oscilacije pokazatelja uložениh sredstava mnogo veće nego u slučaju prethodnog sistema, pa su i oscilacije u veličini gubitaka vode mnogo češće. I ovde trend linije promene gubitaka ima sličnosti sa trendom linije promene proizvodnje vode.



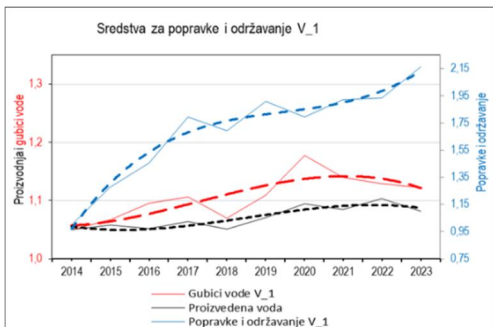
Slika 6. Sredstva za popravke i održavanje i gubici vode – JKP V_4



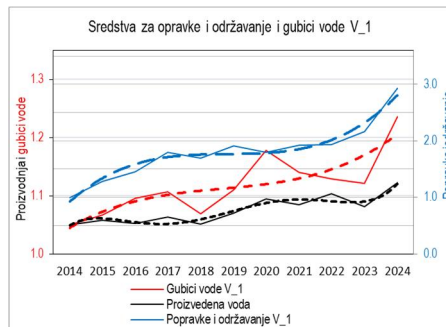
Slika 7. Sredstva za popravke i održavanje i gubici vode – JKP V_5

Interesantan je slučaj sistema V1, prikazan slikama 8, 9 i 10. U ovom sistemu je sve do 2023. godine postojala pomenuta „ogledalna“ slika trenda linija gubitaka i trenda linije promene sredstava za popravke i održavanje, kako se to vidi na slici broj 8.

Neočekivano, 2024. godine dolazi do situacije, prikazane na slici 9, tj. do naglog i paralelnog porasta oba posmatrana pokazatelja, i gubitaka i sredstava za popravke i održavanje, pa se postavilo pitanje šta se to desilo da promeni dotadašnje odnose.



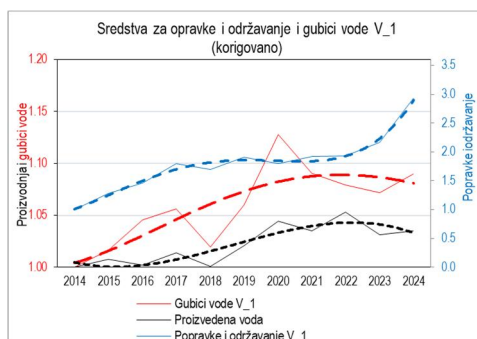
Slika 8. Sredstva za popravke i održavanje i gubici vode – JKP V_1, do 2023.



Slika 9. Sredstva za popravke i održavanje i gubici vode – JKP V_1, do 2024.

Došlo se do saznanja da se je u sistemu u 2024. desila velika havarija na jednom od glavnih cevovoda ka konzumu, koja se nije mogla sanirati više od pola godine, jer bi sanacija zahtevala isključenje iz rada celog proizvodnog pogona i potpuni prekid snabdevanja vodom vrlo velikog broja potrošača. Velike havarije su splet neredovnih okolnosti na koje JKP ne može da utiče, i obično su posledice više uzroka, od koncepta sistema, do načina upravljanja sistemom (odnos lokalne samouprave prema sistemu, raspoloživa sredstva, razvoj konzuma, objektivne okolnosti...).

Kada se količina vode izgubljena zbog ove okolnosti odbije od gubitaka vode sa slike 9, onda pokazatelj gubitaka vode izgleda dugačije, kao na slici 10.



Slika 10. Sredstva za popravke i održavanje i gubici vode – JKP V_1, korigovano

Pređašnji odnosi promena u gubicima vode i sredstvima ulozenim u popravke i odražavanje se ponovo uspostavljaju, slično onima sa slike 8. I u ovom slučaju rast proizvodnje vode donosi i rast gubitaka, uprkos porastu ulozenih sredstava za popravke i održavanje.

3. Važnost smanjenja gubitaka vode

Pokazatelji gubitaka vode su alarmantni, bez obzira koji izvor podataka se posmatra, jer ukazuju na to da gubici vode nisu problem samo za lokalnu samopравu i odgovarajuća komunalna preduzeća, već da oni svojom veličinom predstavljaju i republički – državni problem.

Prvi problem je obezbeđivanje sigurnosti u snabdevanu vodom. Klimatske promene, do kojih dolazi poslednjih godina, dovode do toga da neki vodovodi nemaju dovoljno vode za zadovoljenje povećane potrošnje, a ponegde ni za osnovnu potrošnju, dok im istovremeno iz sistema odlaze velike količine vode, u vidu gubitaka različite vrste. Nastale klimatske promene zahtevaju velika prilagođavanja sektora, kako prilagođavanja vodnih objekata od izvorišta do distribucije, tako i načina upravljanja sistemima, prvenstveno po pitanju smanjenja gubitaka vode, jer su ograničenja u količinama vode koje vodovodi mogu da isporuče korisnicima takve prirode da se ne mogu interventno povećati.

Uz nesigurnost u snabdevanju vodom idu i potencijalni problemi u kvalitetu vode.

Ekonomski aspekt problema se može ilustrovati sledećom grubom računicom: utrošak električne energije u 2024. godini za snabdevanje vodom u ispitivanim preduzećima je bio 463 miliona kWh, za proizvodnju oko 695 miliona m³ vode. Za utrošenu energiju je plaćeno 7,4 milijarde dinara, tj. oko 9,59 dinara po m³ proizvedene vode. Za proizvodnju izgubljenih 302 miliona m³ vode utrošeno je 2.9 milijardi dinara ili blizu 25.000.000 EUR. Nedostatak sistemskih mera za smanjenje gubitaka vode ukazuje na to da se ovom problemu ne dovoljna pažnja, niti se za njegovo globalno rešavanje preduzimaju efikasne sistemske akcije.

4. Zaključci

Kod donošenja zaključaka proizašlih iz predstavljene analize treba voditi računa o ulaznim podacima:

- Analize su rađene sa podacima koje su JKP dostavile MGSI. Promenljiv broj JKP i promenljiv kvalitet dobijenih podataka (koji je kroz vreme bivao sve bolji) izaziva određen oprez u pogledu njihove tačnosti.
- Naša komunalna preduzeća ne vode knjigovodstvo po mestima troškova, a ponegde čak ni po delatnostima snabdevanja vodom i kanalizacija, pa prikazani troškovi popravki i održavanja sadrže troškove svih popravki i održavanja oba sistema (i vodovoda i kanalizacije).
- Analizu utrošenih sredstava otežava konstantan, ali po vremenu neujednačen pad vrednosti novca (inflacija).

- U analizi se pod gubicima vode podrazumevaju ukupni gubici vode iz sistema, kako fizički, tako i komercijalni.
- Već duže vreme (praktično od 2014. godine) svi osnovni pokazatelji sektora voda rastu: proizvodnja vode je porasla za 13%, potrošnja vode za 11%, gubici vode za 17%. U periodu 2020 – 2024. prihodi prosečnog preduzeća su porasli za 17%, troškovi za 24%, a sredstva za popravke i održavanje za 29%, uz akumuliranu inflaciju od približno 36%. Učešće sredstava za popravke i održavanje u ukupnim troškovima poslovanja u periodu 2017 -2024. je bilo između 7% i 9% (Petrović i sar. (2015 – 2025)).

Sa druge strane, neki zaključci su sasvim izvesni:

- Preduzeća sektora voda (vodnih usluga) posluju u teškim uslovima već duže vreme, gde porast njihovih prihoda ne uspeva da neutrališe čak ni porast inflacije. Takvi uslovi poslovanja doprinose opšte poznatoj bolji svih naših javnih, ne samo komunalnih, sistema i objekata - lošem održavanju. Ono sistematski urušava postojeće vodovodne i kanizacione sisteme, gde je višegodišnje kontinualno povećanje gubitaka vode samo jedna od loših posledica.
- Uzevši u obzir sva ograničenja uzrokovana karakteristikama početnih podataka, dobijene zakonitosti (suprotnosti) kretanja posmatranih pokazatelja, su, uz sva dobijena odstupanja i varijacije iznad svih očekivanja. Direktna - jednoznačna veza između analiziranih pokazatelja se, iz razumljivih razloga, ne može uspostaviti.
- Kako se aktivnosti i sredstva za popravke i održavanja prvenstveno odnose na fizičke gubitke vode, to kretanja analiziranih pokazatelja ukazuju na to da u posmatranim slučajevima, kao i u sektoru voda kao celini, fizički gubici vode preovlađuju nad komercijalnim. Ovo, naravno, ne može biti zaključak koji važi za sve sisteme, jer iskustvo govori da ima i jasno drugačijih primera. Pažnja koja se poklanja problemu gubitaka vode je različita od preduzeća do preduzeća i generalno nedovoljna. Specijalizovane timove koji se bave sistematskim i planskim radom na smanjenju gubitaka nema skoro niko, mada neku opremu za pronalaženje gubitaka vode i timove za rad sa tom opremom ima oko 38% preduzeća.
- Pravilnosti u prikazanim kretanjima pokazatelja utrošenih sredstava za popravke i održavanje i pokazatelja gubitaka vode potvrđuju da su sredstva uložena u održavanje vodovodnih sistema značajno veća od onih uloženi u kanizacione sisteme.
- Jednokratne – kampanjske akcije donose samo privremene koristi, jer se prestankom aktivnosti (ulaganja) sistem brzo vraća na staro. Samo konstantna i dugoročna ulaganja u popravke i održavanje donose trajne rezultate.

5. Šta raditi?

Rešenja se mogu tražiti na dva nivoa: prvo rešenje je lokalno, tj. očekivati da postojeća lokalna preduzeća sektora posvete odgovarajuću pažnju i sredstva smanjenju gubitaka vode kroz kontinualne akcije usklađene sa planovima održavanja, a drugo rešenje je da država preko svojih nadležnih organa pokrene i podrži sistemске korake u cilju smanjenja gubitaka vode.

Prvo rešenje nije realno, jer je izvesno da preduzeća sektora voda, u stanju u kojem su, ne mogu sama rešiti pitanje velikih gubitaka vode. Osim malobrojnih izuzetaka, ova preduzeća nemaju ni kadrovske, ni materijalne uslove da to učine, jer podaci pokazuju da ona iz godine u godinu slabe organizaciono, kadrovski i finansijski: negativni bilansi poslovanja, (rast sredstava za popravke i održavanje niži od inflacije, položaj menadžmenta nestabilan, smanjivanje broja stručnjaka...

Drugo rešenje je u sistemskim koracima, u merama koje bi država Srbija preduzela kako bi smanjila prevelike gubitke vode iz postojećih javnih vodovoda. Kao početni korak ka tom cilju *Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije do 2034. godine* u poglavlju „IV Projekcija razvoja upravljanja vodama“ - Operativni ciljevi i mere (strana 124...) pored ostalih mera, predviđa sledeće operativne ciljeve i mere:

- Operativni cilj 2: Unapređenje sistema javnog vodosnabdevanja (obezbeđenje kvaliteta vode, bolje organizovanje, povezivanje u regionalne vodovode, obezbeđivanje alternativnih izvorišta)
- Operativni cilj 3: Smanjenje nefakturisanog dela vode u javnim vodovodnim sistemima na nivo od oko 25% na kraju planskog perioda (bolje održavanje, kontrola potrošnje, otkrivanje gubitaka, otkrivanje divljih priključaka)

Navedeni ciljevi ne mogu rešiti problem gubitaka vode, bez pripreme dopunskih obavezujućih dokumenata, kako opštih, tako i detaljnijih - akcionih planova usklađenih sa potencijalima lokalnih JKP. Do sada nije urađen, niti se predviđa izrada standardnog nacionalnog plana po kojem bi se odvijale potrebne aktivnosti, a koji se u današnjim uslovima može ustanoviti i opstati jedino kao posledica državne inicijative za njegovu izradu i sprovođenje. Takav dokument bi trebalo da sadrži:

- organizaciju sistema za definisanje, kontrolu i praćenje svih potrebnih aktivnosti,
- odgovarajuću bazu (odgovarajuće baze) podataka o stanju vodovodnih sistema,
- potrebne metoda rada, mere i vremenske okvire, prioritete i prioritete aktivnosti,
- finansijske analize troškova i očekivanih rezultata, priuštivost predloženih mera,
- izvore finansiranja, pokazatelje uspešnosti i načine izveštavanja,
- načine obezbeđenja provođenja predviđenih aktivnosti

Rešenje problema gubitaka vode je očigledno kombinacija navedena dva rešenja, lokalnog i sistemskog: donošenje pomenutog programa je prvi korak ka sveobuhvatnom pristupu smanjenja gubitaka vode na nacionalnom nivou, koji bi uz stvarnu posvećenost i podršku države mogao doneti željene rezultate.

Pri tom valja imati na umu sledeće:

- Nisu nam poznati primeri u našoj dosadašnjoj praksi da su samo državne mere u nekoj komunalnoj oblasti dovele do napretka te oblasti, pa ne treba očekivati ni da ovako zamišljene državne mere, mada neophodne, same za sebe dovedu do očekivanog smanjenja gubitaka vode.
- Nije jasno koji bi državni organ (ministarstvo, agencija...) bio nadležan za planiranje i sprovođenje napred navedenih mera, jer delatnost snabdevanja vodom i odvođenja otpadnih voda nije jednoznačno organizovana, u smislu da za nju ne postoji „krovno“ ministarstvo pune nadležnosti.
- Ako se, i kada, donese pomenuti nacionalni plan/program, on treba da posluži za programsko definisanje i usmeravanje potrebnih mera, kao i osnova za stvaranje potrebnih uslova za njihovo sprovođenje, a u stvarnosti prevelike gubitke vode mogu rešiti samo oni koji se snabdevanjem naselja vodom svakodnevno bave, a to su preduzeća sektora voda. Ova preduzeća se moraju ojačati organizaciono, kadrovski, materijalno i finansijski.

Dokazano je da preduzeća sektora voda, uz angažovanje specijalizovanih konsultanata, mogu uspešno da rade na smanjenju gubitaka vode. Održanje postignutih rezultata potom zavisi od načina i nivoa održavanja sistema.

Smanjenje gubitaka vode je samo jedna od mera za dovođenje delatnosti snabdevanja vodom u red, i ne treba je posmatrati odvojeno od drugih potrebnih mera, za šta je neophodna promena odnosa društva, posebno državne uprave, prema ovako životno važnoj oblasti.

6. Literatura

- [1] Beoinženjering 2000 d.o.o. *Arhiva obrađivača*, 2025.
- [2] Bečelić-Tomin M, Kerkez Đ, Pešić V, Dalmacija B, Tomin M, Bogdanović P. *Analiza u sektoru upravljanja komunalnim otpadnim vodama i smernice za dalji razvoj*. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 2024.
- [3] Petrović N, Bogdanović P, Petrović M. *Izveštaji o stanju vodovoda u Srbiji za godine od 2014 do 2024*. Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, 2015-2025.
- [4] Petrović N, Bogdanović P, Petrović M. *Sektor snabdevanja vodom i kanalisanja naselja u Srbiji 2023*. Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Forum voda, 4-6.12.2024, Beograd, 2024.

- [5] Republički zavod za statistiku (RZS), *Podaci RZS, (2005-2025)*. Eko bilteni, Statistički godišnjaci i saopštenja o snabdevanju vodom i o otpadnim vodama 2025.
- [6] *Studija racionalizacije zahvatanja vode na izvorištima*. Beoinženjering 2000, Institut „Jaroslav Černi“, 2004.
- [7] *Studija normi potrošnje vode u republici Srbiji - Prva faza*. Beoinženjering 2000, Građevinski fakultet u Beogradu, Institut „Jaroslav Černi“, 2008.

OSNOVE STRATEGIJE ZA SMANJENJE NRW U VODOVODNOM SISTEMU

FUNDAMENTALS OF A STRATEGY FOR REDUCING NRW IN A WATER SUPPLY SYSTEM

ĐEVAD KOLDŽO¹

Pregledni (naučni) rad
DOI: 10.5937/GV26035K

Rezime: Rad obrađuje problem neoprihodovane vode (NRW) u vodovodnim sistemima i definiše mjere potrebne za njeno smanjenje na ekonomski opravdan nivo. Analizirani su ključni uzroci gubitaka, uključujući fizičke i komercijalne gubitke, zastarjelu infrastrukturu, nedostatke u upravljanju i nizak nivo javne svijesti. Predstavljen je strateški pristup koji obuhvata jasno definisanje ciljeva kroz kratkoročni, srednjoročni i dugoročni horizont, uz poseban fokus na kontinuirano vodosnabdijevanje (24/7), primjenu indikatora poput ILI i ALI, te dostizanje Ekonomskog nivoa curenja (ELL).

Obrađeni su i ključni preduslovi za uspješnu implementaciju strategije, uključujući unapređenje zakonske regulative, izbor adekvatnog modela implementacije (posebno ugovora zasnovanih na učinku (PBC)), kao i primjenu metoda višekriterijumskog odlučivanja za prioritizaciju investicija. Poseban naglasak stavljen je na zamjenu priključnih cjevovoda kao najkritičnijih tačaka sistema, te na jačanje institucionalnih i ljudskih kapaciteta vodovodnog preduzeća.

Ključne riječi: neoprihodovana voda, gubici vode, strategija za smanjenje NRW, ekonomski nivo curenja

Abstract: This paper addresses the issue of non-revenue water (NRW) in water supply systems and defines the measures required to reduce it to an economically sustainable level. The main causes of water losses are analysed, including physical and commercial losses, aging infrastructure, management inefficiencies, and low public awareness. A structured strategic approach is presented, based on clearly defined short, medium, and long-term objectives, with a particular focus on achieving continuous water supply (24/7), applying performance indicators such as ILI and ALI, and reaching the Economic Level of Leakage (ELL).

Key prerequisites for successful implementation are also examined, including improvements in the legal framework, selection of appropriate implementation models (particularly Perfor-

¹ Đevad Koldžo, Water Loss d.o.o, Zvornička 29, Sarajevo, Bosna i Hercegovina, info@waterloss.com.ba, ORCID: 0009-0004-8573-7833

mance-Based Contracts (PBC)), and the use of multicriteria decision making methods for prioritizing investments. Special emphasis is placed on the replacement of service connections as the most critical components of the system, as well as on strengthening institutional and human capacities within water utilities.

Key Words: Non-Revenue Water, Water Losses, NRW Reduction Strategy, Economic Level of Leakage

1. Uvod

Po definiciji NRW je voda koja se isporučuje u sistem, ali ne donosi prihod vodovodnom preduzeću i obuhvata slijedeće elemente:

- Fizičke gubitke: Voda koja se gubi zbog curenja, ili drugih fizičkih problema u vodovodnoj mreži.
- Komercijalne gubitke: Voda koja se isporučuje, ali se ne naplaćuje zbog nedostatka mjernih uređaja, grešaka u mjerenju ili nelegalne potrošnje.
- Legalna neobračunata potrošnja: Situacije kada se voda isporučuje, ali se ta potrošnja ne fakturiše i trebala bi da predstavlja količinu vode koja se troši za održavanje sistema (ispiranje mreže, filtera i sl), ali vrlo često se u ovoj kategoriji nađu i potrošači kojima tu nije mjesto, obično sakralni i sportski objekti, voda koja se koristi za zalijevanje javnih površina i sl.

Neoprihodovana voda (NRW) predstavlja veliki problem jer vodovodno preduzeće gubi značajne prihode od vode koja se ne naplaćuje, što direktno utiče na njegovu finansijsku održivost. Istovremeno, gubitak vode znači i rasipanje resursa potrebnih za njenu proizvodnju i distribuciju, uključujući energiju i hemikalije za tretman. Smanjenje NRW je ključno za postizanje ciljeva održivog razvoja, dok visoki nivoi NRW često ukazuju na loše upravljanje vodovodnim sistemom, što se na kraju odražava i na kvalitet usluge koju korisnici dobijaju.

Da bi se suočio, umanjio ili eliminisao NRW, vodovodno preduzeće skupa sa lokalnim zajednicama mora razviti adekvatnu strategiju smanjenja NRW za svoj vodovodni sistem. Strategija mora definisati kratkoročne, srednjoročne i dugoročne ciljeve i mjere neophodne za dostizanje planiranih ciljeva.

Ciljeve strategije mogu dostići samo jaka, dobro organizovana vodovodna preduzeća i zbog toga, strategija mora definisati i jačanje samog preduzeća, kako bi bilo spremno odgovoriti izazovima za dostizanje ciljeva.

2. Elementi strategije

2.1. Ciljevi strategije

Svaka strategija najprije definiše ciljeve, i obično već tu dolazi do pogreške. Ne samo zbog toga što su ciljevi nerealni nego zbog toga što se najčešće izražavaju u

procentima. Cilj se ne može i ne smije izražavati u procentima zbog varijabilnosti sistema pri čemu procenat gubitaka može varirati u zavisnosti od ukupnog obima isporučene vode, što može dovesti do pogrešne interpretacije stvarne situacije u sistemu. Ukratko, ako potrošači u jednom sistemu potroše u jednom periodu više vode nego u prethodnom NRW izražen u procentima će se smanjiti, mada će volumenu (m^3) biti i dalje isti pa čak i veći, i obratno.

Strateški ciljevi se moraju definisati kroz kratkoročni, srednjoročni i dugoročni (finalni) cilj.

2.1.1. Kratkoročni cilj

Ako je cilj postići kontinuirano vodosnabdijevanje 24/7, onda to nedvosmisleno predstavlja osnovni kratkoročni prioritet strategije za smanjenje NRW. Kontinuirana isporuka vode ne samo da direktno utiče na kvalitet usluge i zadovoljstvo korisnika, već i omogućava stabilnije upravljanje sistemom, preciznije mjerenje gubitaka i efikasniju kontrolu pritisaka.

Posljednja ljeta, obilježena izraženim uticajem klimatskih promjena, jasno su pokazala da su mnogi vodovodni sistemi i dalje veoma ranjivi tokom sušnih perioda. Smanjeni dotoci, povećana potrošnja i ograničeni kapaciteti izvorišta dodatno opterećuju mrežu, što često dovodi do prekida u snabdijevanju i otežava postizanje cilja 24/7 isporuke.

Zbog toga kratkoročna strategija mora istovremeno adresirati i upravljanje raspoloživim resursima u uslovima ograničene ponude. To podrazumijeva prioritarno smanjenje stvarnih gubitaka, aktivno upravljanje pritiscima, brzu detekciju i sanaciju kvarova, kao i uvođenje sektorizacije (DMA) radi bolje kontrole i raspodjele vode. Paralelno, potrebno je unaprijediti operativno planiranje za sušne periode kroz scenarije upravljanja, kako bi se očuvala stabilnost sistema i minimizirali negativni uticaji na korisnike.

2.1.2. Srednjoročni cilj

Srednjoročni cilj je cilj koji se postavlja za period, obično od 3 do 5 godina. U strategiji, srednjoročni cilj predstavlja korak koji vodi ka ostvarivanju dugoročnog cilja, ali je bliži vremenski i lako mjerljiv pa bi se trebao definisati kroz vrijednost Infrastrukturnog indeksa curenja (Infrastructure Leakage Index – ILI).

Infrastrukturni indeks curenja je indikator koji se koristi u upravljanju gubicima vode u vodovodnim sistemima, i on određuje efikasnost infrastrukture u smislu kontrole curenja i gubitaka vode i upoređuje stvarne gubitke vode s minimalnim tehničkim gubicima koji se mogu postići u idealnim uslovima.

Istovremeno bi se postavio cilj za smanjenje komercijalnih gubitaka kroz vrijednost Indeksa komercijalnih gubitaka (Apparent Loss Index - ALI). Slično kao

i ILI za stvarne gubitke ALI je bezdimenzionalni indikator i kao takav idealan za benchmarking i predstavlja odnos prividnih gubitaka (u kubnim metrima ili drugim jedinicama) i 5% zapremine fakturisane potrošnje vode.

Ovaj cilj bi na kraju ovog perioda trebao iznositi $ALI=1$, odnosno da iznos komercijalnih gubitaka ne prelazi iznos od 5% fakturisane potrošnje.

2.1.3. Dugoročni (finalni) cilj

Dugoročni (finalni) cilj za smanjenje NRW uvijek mora biti dostizanje Ekonomskog nivoa curenja (eng. Economic Level of Leakage – ELL) koji se odnosi na optimalan nivo curenja u vodovodnom sistemu koji se može postići tako da su troškovi smanjenja curenja vode u ravnoteži s uštedama koje se dobijaju smanjenjem tih gubitaka. Drugim riječima, ekonomski nivo curenja je tačka u kojoj su dalje intervencije za smanjenje curenja vode neisplative, jer bi troškovi za te intervencije premašili finansijske koristi uštede vode.

Grafikon (slika 1) ispod pokazuje metodologiju proračuna ELL:

- Osa Y: Predstavlja cijenu isporučene vode, uključujući i gubitke zbog curenja.
- Osa X: Predstavlja prosječne stvarne gubitke vode na godišnjem nivou.

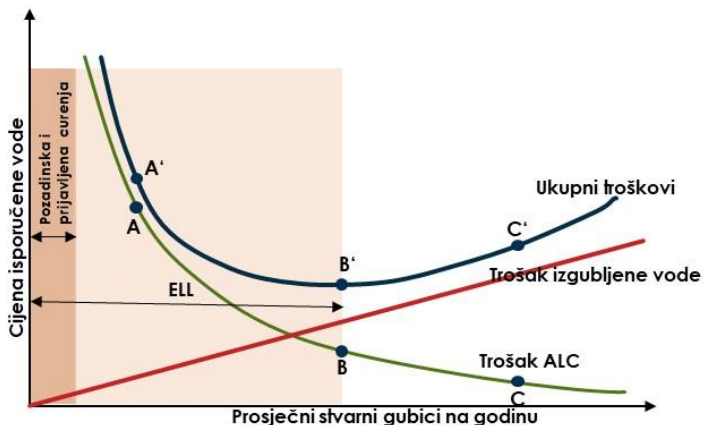
Krive i tačke:

- Crvena linija: Predstavlja trošak izgubljene vode. Kako se prosječni stvarni gubici povećavaju, ovaj trošak raste jer veće količine vode nestaju iz sistema.
- Zelena kriva: Predstavlja trošak aktivne kontrole curenja (ALC). Ovaj trošak je na početku najveći i vremenom se smanjuje.
- Ukupni troškovi (crna kriva): Kombinacija troškova curenja i troškova popravki. Ova kriva pada do tačke ELL, nakon čega opet počinje rasti, što znači da bi dodatne intervencije za smanjenje curenja nakon ove tačke bile neisplative.

Ključne tačke:

- Tačka A: Predstavlja situaciju gdje su gubici vode niski, ali su troškovi kontrole curenja visoki.
- Tačka B (ELL): Ova tačka označava ekonomski nivo curenja. To je tačka gdje su ukupni troškovi (kombinacija troškova izgubljene vode i troškova ALC) najniži.
- Tačka C: Ako se curenje smanji ispod ove tačke, troškovi popravki (ALC) postaju veći od koristi smanjenog curenja.

Ukratko, dijagram ilustruje da postoji ravnoteža između troškova smanjenja curenja i troškova izgubljene vode. ELL označava optimalni nivo curenja, gdje su ukupni troškovi najniži.



Slika 1. Proračun Ekonomskog nivoa curenja

Postizanje dugoročnog cilja zahtjeva precizno planiranje i postavljanje kratkoročnog i srednjoročnog cilja, koji će pomoći u njegovom ostvarivanju. Dugoročni cilj je krajnji rezultat kojem prethode brojne faze i aktivnosti.

ELL se mora računati svake godine, pa su samim tim moguće i korekcije finalnog cilja.

Kada je u pitanju dugoročni cilj potrebno je definisati i njegovu socijalnu i ekološku održivost.

Simplifikacija procedura

Uvesti jasne i jednostavne korake za dobijanje dozvola, kako bi se smanjila administrativna opterećenja. Digitalizacija procesa može značajno ubrzati obradu zahtjeva.

Jedinstvena tačka kontakta:

Potrebno je osnovati jedinstvenu instituciju ili tim koji bi služio kao kontakt tačka za vodovodno preduzeće u jedinici lokalne samouprave, čime bi se olakšala komunikacija i smanjio broj potrebnih dozvola i saglasnosti. Istovremeno, važno je uvesti jasne zakonske okvire koji definišu maksimalne rokove za obradu i odobravanje zahtjeva, kako bi se spriječilo nepotrebno odugovlačenje procesa. Uvođenje subvencija ili poreskih olakšica za projekte usmjerene na smanjenje gubitaka vode može dodatno motivisati vodovodna preduzeća da pravovremeno reaguju i ulažu u unapređenja.

Jačanje saradnje između preduzeća i lokalnih vlasti također je ključno, jer omogućava lakšu identifikaciju problema i brže prevazilaženje administrativnih prepreka. Uključivanje zajednice u planiranje i sprovođenje projekata doprinosi boljem

prepoznavanju ključnih izazova i jača javnu podršku inicijativama za smanjenje gubitaka vode. Na kraju, neophodno je uspostaviti mehanizme za kontinuirano praćenje i evaluaciju sprovedenih mjera, kako bi se regulativa mogla prilagođavati na osnovu stvarnih potreba i postignutih rezultata.

Implementacija ovih koraka može pomoći preduzeću da efikasnije i brže dobije potrebne dozvole i time unaprijedi svoje sisteme i smanje gubitke vode.

Odabir programa za smanjenje NRW

Tek nakon što su dvije prethodne stavke ispunjene može se pokrenuti ozbiljna akcija smanjenja curenja na ELL nivo. Naravno sve ove akcije su kapitalne investicije i one izlaze iz okvira programa Rukovanja i održavanja (R&O), tako da njih ne može finansirati, niti izvoditi samo preduzeće.

Potrebni budžet za dostizanje ELL se izračunava po grupama troškova kako slijedi:

- Jačanje institucionalnih kapaciteta preduzeća
- Unaprjeđenje mjerenja, monitoringa i upravljanja
- Smanjenje komercijalnih gubitaka
- Smanjenje fizičkih gubitaka (uključujući obnovu mreže)

Zadnjih 10 godina u svijetu se pokazalo da je najefikasniji način smanjenja gubitaka ugovor zasnovan na učinku tzv. PBC (Performance Based Contract) za smanjenje neoprihodovane vode (NRW). To je inovativan pristup za minimiziranje gubitaka vode u vodovodnim sistemima. PBC uključuje partnerstvo između izvođača i komunalnog poduzeća u kojem komunalno poduzeće povjerava izvođaču tehničke, komercijalne i građevinske aktivnosti povezane sa smanjenjem NRW. Zauzvrat izvođač se isplaćuje na temelju ostvarenih konkretnih rezultata. Rezultate na kraju svake godine potvrđuje međunarodni nezavisni verifikacioni agent. Istraživanja su pokazala da su NRW-PBC za oko 70 % učinkovitiji u smanjenju NRW u usporedbi s programima koje vode komunalna poduzeća ili lokalne privatne kompanije koje su dobile direktan ugovor za izvođenje radova. Logično je da je PBC efikasniji obzirom da je izvođač plaćen na osnovu ostvarenih rezultata, čime je otklonjena svaka korupcija (ili skoro svaka obzirom da su principi korupcije sve inovativniji iz dana u dan), jer naravno da je izvođaču najvažnije da postigne što bolje rezultate i da bude bolje i brže isplaćen. Bitno je spomenuti da ovdje rizik u velikoj mjeri pada na izvođača i da zbog toga ne postoji kompanija u regionu koja može na sebe preuzeti takav rizik, niti bi se uopšte mogle prijaviti na tender, te bi one samo mogle biti podizvođači neke velike svjetske korporacije, koja bi nadzirala i upravljala čitavim procesom. Sredstva za ovakav jedan projekat se dobijaju kroz kredit (PBC su projekti Svjetske banke a gotovo isti metod je do nedavno

primjenjivao i USAID, s tim što se njihovi projekti nazivali FARA (Fixed Amount Reimbursement Agreement). Uprošteno objašnjeno, kredit se vraća novcem koji je ušteđen smanjenjem gubitaka u sistemu.

Ključne karakteristike NRWPC ugovora su:

- Ugovor definiše jasne ciljeve u vezi sa smanjenjem gubitaka vode, kako je već objašnjeno u prethodnim poglavljima.
- U zavisnosti od postignutih rezultata, kompanija može dobiti finansijsku nagradu ili biti kažnjena. Ovo podstiče kompanije da se fokusiraju na postizanje dogovorenih ciljeva.
- Ugovor uključuje obavezu redovnog izvještavanja o postignutim rezultatima, što omogućava transparentnost i odgovornost.
- Ovaj model često podstiče saradnju između vodovodnog preduzeća i konsultantske firme, kako bi se razvili i implementirali efikasni sistemi za smanjenje gubitaka vode.
- Ugovor može uključivati korišćenje novih tehnologija i inovacija koje pomažu u identifikaciji i smanjenju gubitaka vode.

Ovaj pristup može pomoći u povećanju efikasnosti vodosnabdijevanja i održivosti resursa, što je ključno u borbi protiv gubitaka vode u urbanim sredinama.

NRW PBC je optimistična varijanta za rješenje problema NRW, ali ako određeni vodovod ne ispunjava uslove da bude kandidat za PBC ostaje samo opcija direktnog ugovora, što će tek biti bolan i mukotrpan proces, obično loše organizovan, ali ipak jedini način da se kad tad sistem dovede u red.

2.2. Prioritizacija aktivnosti za smanjenje NRW

U slučaju da izabrani program za smanjenje NRW bude PBC nesumnjivo je da će konsultantska izabrana firma voditi računa i izabrati najbolje metodologije za prioritizaciju cjevovoda i ostalih elemenata vodovodnog sistema koje je potrebno zamijeniti ili rekonstruisati u cilju postizanja ciljeva.

Ipak ukoliko se rad na smanjenju NRW bude zasnivao na direktnom ugovoru, mora se naglasiti slijedeće:

2.2.1. Zamjena svih priključnih cjevovoda u definisanom području akcije

Bilo koja zamjena primarnog ili sekundarnog cjevovoda završava se zamjenom svih kućnih priključaka koji se snabdijevaju vodom sa tog cjevovoda. Izuzetak su samo priključci koji nisu stariji od 10 godina. Razlog leži u činjenici da se po statistici Međunarodne asocijacije za vode (IWA) između 75 i 95% svih curenja u vodovodima javlja upravo na priključnim cjevovodima iz nekoliko razloga:

Priključni cjevovodi su često izrađeni od materijala koji s vremenom gube svoja fizička svojstva, što povećava rizik od curenja. Dodatno su izloženi mehaničkom naprezanju uslijed promjena temperature, pritiska i pomjeranja tla, što može dovesti do pucanja ili drugih oštećenja. Ukoliko nisu pravilno ugrađeni ili su loše povezani, na spojevima se stvaraju slabosti koje su posebno podložne curenju. Problemi se javljaju i na mjestima gdje se priključni cjevovodi povezuju sa sistemom, jer loša konstrukcija može uzrokovati curenja upravo na tim tačkama. Negativan uticaj imaju i korozivna svojstva tla, poput prisustva hemikalija ili visoke kiselosti, naročito na spojevima cjevovoda. Uz sve to, priključni cjevovodi su najviše izloženi varijacijama protoka i pritiska, koje su među najčešćim uzrocima pojave curenja.

Zbog gore navedenih faktora, može se zaključiti da su priključni cjevovodi najranjivije tačke u vodovodnom sistemu i ukoliko se ne izvrši njihova zamjena prilikom zamjene glavnog cjevovoda, uslijed porasta pritiska, doći će do porasta intenziteta pojave curenja, kao i do povećanja već postojećih curenja, pa će nekada mala curenja postati velika i značajna, a što će kao posljedicu imati da će se izgubiti svaki benefit od promjene glavne cijevi, a često se pokazalo da situacija može postati i gora nego je bila prije početka bilo kakvih radova na rekonstrukciji. Zbog svega navedenog, priključni cjevovodi zahtijevaju redovno održavanje, monitoring i posebnu pažnju.

2.2.2. Višekriterijumsko odlučivanje za definisanje cjevovoda / dijelova mreže za zamjenu i rekonstrukciju

Višekriterijumsko odlučivanje (VKO) spada u operativno istraživanje čija je svrha usporediti, rangirati i odabrati nekoliko alternativa za višestruke i sukobljene kriterije, i danas je standardni alat kada se radi o određivanju prioriteta u svrhu postizanja najboljih rezultata na smanjenju NRW.

Višekriterijumsko odlučivanje može se koristiti u definisanju cjevovoda koje treba promijeniti u vodovodnom sistemu kroz sistematski pristup koji uzima u obzir više faktora kako slijedi:

Identifikacija kriterijuma i indikatora

U prvom koraku se definišu kriterijumi/indikator koji će se koristiti za ocjenjivanje cjevovoda i oni mogu uključivati podatke kao što su:

- Starost cjevovoda
- Učestalost curenja
- Trenutni gubici vode na cjevovodu
- Očekivano smanjenje gubitaka
- Kvalitet materijala

- Uticaj na uslugu potrošačima (npr. prekidi u snabdijevanju)
- Troškovi zamjene/rekonstrukcije

Prikupljanje podataka

Prikupljaju se relevantni podaci o svim cjevovodima u sistemu. Ovo može uključivati podatke o starosti, istoriji curenja, laboratorijskim analizama, te podatke o mehaničkim naprezanjima i pritiscima.

Ocjena svakog cjevovoda

Svaki cjevovod se ocjenjuje prema definisanim kriterijumima. Na primjer, cjevovodi sa višim brojem curenja i starijim materijalima dobijaju veće ocjene za potrebu zamjene.

Težinski faktori (ponderi)

Svakom kriterijumu se dodjeljuju težinski faktori prema njihovoj važnosti. Na primjer, ako je učestalost curenja važnija od starosti cjevovoda, njoj se može dati veća težina. Zbog lakše obrade podataka zbir svih pondera treba biti 100.

Suma ocjena

Ukupna ocjena za svaki cjevovod se izračunava kao ponderisana suma ocjena prema težinskim faktorima. Ova suma daje sveobuhvatnu sliku o prioritetima zamane.

Izrada rang liste

Cjevovodi se rangiraju prema ukupnim ocjenama, što omogućava identifikaciju onih koji su najprioritetniji za zamjenu.

Donošenje odluke

Na osnovu rang liste, donosi se odluka o tome koji cjevovodi treba da budu zamenjeni u prvoj fazi. Ovaj pristup omogućava racionalizaciju resursa i fokusiranje na najkritičnije delove sistema.

Monitoring i evaluacija

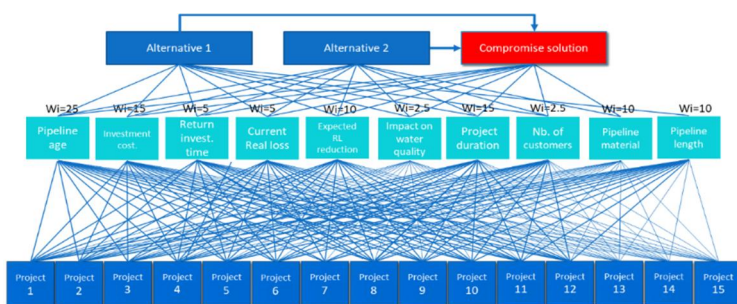
Nakon implementacije, važno je pratiti rezultate i evaluirati efikasnost zamjene kako bi se osigurala kontinuirana poboljšanja u sistemu.

Korišćenjem neke od slijedećih metodologija, preduzeće može donijeti ispravne odluke koje minimiziraju gubitke i poboljšavaju efikasnost vodovodnog sistema:

- AHP (Analitički hijerarhijski proces) –. Zasnovana je na hijerarhijskoj strukturi problema i uključuje komparaciju parova elemenata po važnosti. Koristi se za rangiranje i izbor opcija u odnosu na više kriterijuma.

- TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) – Cilj ove metodologije je identifikacija opcije koja je najbliža pozitivnom idealnom rješenju (najbolje moguće rješenje) i najudaljenija od negativnog idealnog rješenja (najgore moguće rješenje).
- PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) – Metoda koja koristi relacije preferencija između opcija i omogućava rangiranje na osnovu više kriterijuma. Fleksibilna je i pogodna za različite tipove problema.
- ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality) – Metoda zasnovana na teoriji dominacije, koja pomaže u eliminisanju opcija koje su inferiorne u odnosu na druge. Pogodna je za probleme gdje je važno eliminisati nepovoljne opcije.
- VIKOR (Više Kriterijumsko Optimiziranje i Kompromisno Rešenje) – Ova metoda je namijenjena situacijama kada su kriterijumi u sukobu, te nudi kompromisno rešenje između različitih kriterijuma. Posebno je pogodna za odlučivanje u uslovima neizvjesnosti.
- MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) – Zasnovana na teoriji korisnosti, ova metoda se koristi za kvantifikaciju korisnosti svake opcije na osnovu više kriterijuma i pomaže u donošenju odluka u složenim situacijama.
- SAW (Simple Additive Weighting) – Jedna od jednostavnijih metodologija, gdje se svakoj opciji dodjeljuju težine za svaki kriterijum, a zatim se računa zbir ponderisanih ocjena za sve kriterijume.

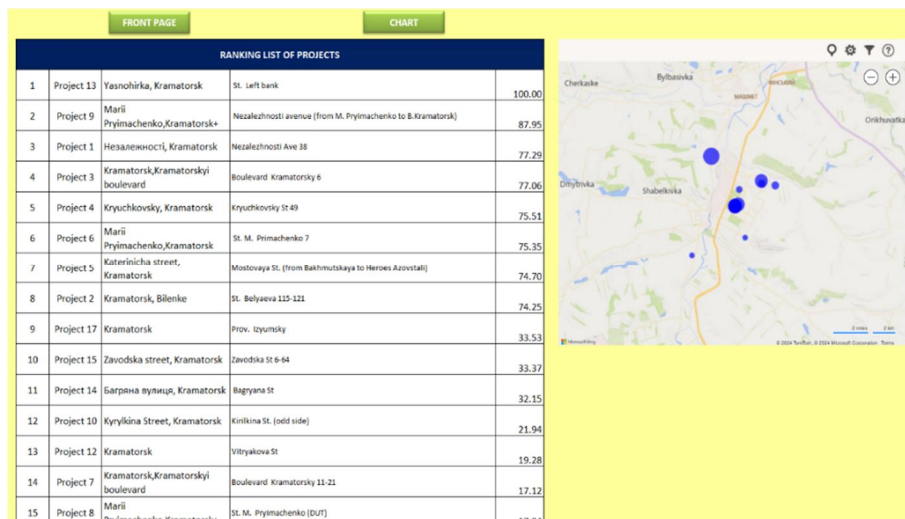
Slijedeće slike 2 i 3 prikazuju primjenu VIKOR metodologije korištenjem softwareskog alata „WS Ranking“² kojim je izvršena prioritizacija hitnih mjera za smanjenje gubitaka u cilju uspostavljanja vodosnabdijevanja u ratom zahvaćenom području u vodovodnom sistemu Sloviansk u Sjevernom Donjecku (Ukrajina).



Slika 2. „WS RANKING“ - VIKOR metodologija – odabrani indikatori i dodijeljeni ponderi u vodovodnom sistemu Sloviansk (Ukrajina)

² Autor: Devad Koldžo

Koja bi se od navedenih metodologija trebala koristiti u nekom sistemu, mora biti predmet analiza zasnovanih na potrebama, dostupnim podacima i izvodljivosti.



Slika 3. „WS RANKING“ - Rang lista odabranih NRW projekata u vodovodnom sistemu Sloviansk (Ukrajina)

2.3. Jačanje resursa u vodovodnom preduzeću

Uporedo sa provedbom smanjenja NRW, mora se izraditi plan R&O i obučiti kadar preduzeća koji će nakon dostizanja cilja nastaviti održavati sistem i gubitke na postignutom nivou. To mora biti kvalitetan kadar, naravno dobro plaćen, i imati čvrste ugovore koji će ih vezati za preduzeće određeni period. Taj kadar će obučiti svoje nasljednike, kako bi sistem ostao održiv. Ako se to ne uradi, gubici će se vrlo brzo povećati i vratiti ćemo se u situaciju u kojoj smo već bili.

Preduzeće će morati uspostaviti ili prilagoditi svoje standardne operativne procedure.

Da bi se ojačali ljudski resursi u vodovodnom preduzeću za potrebe i u okviru projekta smanjenja NRW, potrebno je fokusirati se na nekoliko ključnih oblasti:

2.3.1. Obuka i razvoj vještina

Tehnička obuka podrazumijeva organizovanje specifičnih programa za inženjere, tehničare i radnike na terenu, s ciljem usvajanja najnovijih metoda i tehnologija za detekciju curenja, popravku mreže i upravljanje sistemima, poput SCADA i GIS sistema. Istovremeno, međusektorska obuka treba omogućiti zaposlenima iz različitih sektora, kao što su finansije i IT, da steknu osnovna znanja o smanjenju gubitaka vode kako bi se unaprijedila saradnja na projektu. Pored tehničkih

kompetencija, neophodno je razvijati i tzv. „soft“ vještine, uključujući timski rad, komunikaciju, pregovaranje i donošenje odluka.

2.3.2. Zadržavanje i motivacija zaposlenih

Sistemi nagrađivanja podrazumijevaju uspostavljanje jasnih mehanizama bonusa i priznanja za zaposlenike koji postižu dobre rezultate u smanjenju gubitaka vode, kao i za one koji doprinose inovativnim rješenjima i većoj efikasnosti u radu. Paralelno s tim, potrebno je kreirati jasne planove profesionalnog razvoja kako bi zaposleni prepoznali mogućnosti napredovanja unutar preduzeća, bilo kroz menadžerske pozicije ili tehničke specijalizacije. Uvođenje fleksibilnih radnih uslova dodatno doprinosi boljoj ravnoteži između privatnog i poslovnog života, što ima pozitivan uticaj na motivaciju i zadržavanje zaposlenih.

2.3.3. Povećanje angažovanosti zaposlenih

Uključivanje u donošenje odluka podrazumijeva omogućavanje zaposlenima da aktivno učestvuju u procesu odlučivanja i da predlažu inovativna rješenja za smanjenje gubitaka vode, čime se povećava osjećaj odgovornosti i motivisanost. Istovremeno, uvođenje sistema podrške i mentorstva kroz mentorske programe omogućava da iskusni radnici i menadžeri pomažu mlađim zaposlenima u razvoju vještina i sticanju praktičnog iskustva.

2.3.4. Organizacija i liderstvo

Unapređenje upravljačkih vještina podrazumijeva omogućavanje rukovodionicima i menadžerima obuka iz oblasti upravljanja ljudskim resursima, liderstva i motivacije timova, kako bi bili u mogućnosti efikasnije voditi svoje timove ka ostvarivanju ciljeva projekta. Istovremeno, potrebno je uspostaviti jasnu hijerarhiju i unaprijediti komunikacione kanale unutar organizacije, kako bi se izbjegle nejasnoće u radu i povećala ukupna efikasnost.

2.3.5. Rekrutacija novih talenata

Privlačenje stručnjaka podrazumijeva angažovanje novih inženjera, tehničara i drugih profesionalaca sa iskustvom u vodovodnim sistemima i smanjenju gubitaka vode, kao i onih koji posjeduju znanja iz oblasti digitalizacije i upravljanja podacima. Paralelno s tim, učešće mladih talenata može se osigurati kroz razvoj programa praksi i saradnju sa univerzitetima, čime se omogućava uključivanje mladih stručnjaka i podsticanje inovativnih ideja u sektoru.

2.3.6. Praćenje učinka

Evaluacija učinka podrazumijeva uvođenje redovnog praćenja rada zaposlenih kako bi se identifikovale oblasti koje zahtijevaju unapređenje i omogućilo kontinuirano stručno usavršavanje. Pored toga, potrebno je uspostaviti sistem povratnih informacija (feedback sistem) koji omogućava zaposlenima da otvoreno

iznose svoje prijedloge i komentare u vezi s uslovima rada i izazovima sa kojima se susreću.

Navedene mjere bi omogućile razvoj snažnog tima koji je dobro obučen, motivisan i sposoban da doprinese smanjenju gubitaka vode, što će dugoročno unaprijediti uspjeh projekta.

3. Zaključak

Smanjenje neoprihodovane vode na ekonomski opravdan nivo jedan je od ključnih preduslova za finansijsku održivost, tehničku stabilnost i kvalitet usluge vodosnabdijevanja. Ovakav cilj nije moguće postići parcijalnim i povremenim intervencijama, već isključivo kroz sveobuhvatan i dosljedno provođen strateški pristup.

Iskustva iz drugih gradova pokazuju da se najbolji rezultati postižu kombinacijom jasno definisanih ciljeva, ekonomski utemeljenog tarifnog sistema, adekvatne zakonske regulative, pravilnog izbora modela implementacije i primjene savremenih metoda za optimizaciju sistema. Posebno je važno napustiti isključivo procentualno praćenje gubitaka i fokus usmjeriti na volumetrijske pokazatelje i indikatore poput ILI i ALI, uz krajnji cilj dostizanja Ekonomskog nivoa curenja (ELL).

Tehničke mjere same po sebi nisu dovoljne ukoliko nisu praćene jačanjem institucije, unapređenjem upravljanja i razvojem ljudskih resursa. Bez stabilne organizacije, stručnog kadra i jasnih operativnih procedura, postignuti rezultati ne mogu biti dugoročno održivi. Istovremeno, efikasna implementacija zahtijeva i uklanjanje administrativnih prepreka te uspostavljanje regulatornog okvira koji omogućava brzu realizaciju potrebnih aktivnosti.

Modeli poput ugovora zasnovanih na učinku predstavljaju efikasan alat za ubrzano smanjenje gubitaka, ali podrazumijevaju ispunjenje određenih preduslova i spremnost na promjene u načinu upravljanja i finansiranja sistema.

Smanjenje NRW nije jednokratan zadatak, već kontinuiran proces koji zahtijeva stalni nadzor, prilagođavanje i ulaganja. Samo takav pristup može osigurati dugoročnu stabilnost sistema, racionalno upravljanje resursima i pouzdano vodo-snabdijevanje u uslovima sve izraženijih klimatskih i operativnih izazova.

4. Literatura

- [1] NRW Reduction strategy for Baku (Azerbaijan) – Transitioning to Efficient Water Sector Institutions and programs for Addressing Water Security Challenges (Finalni izvještaj), World Bank, 2024.

- [2] NRW Reduction strategy for Dushanbe Vodokanal (Tajikistan) Finalni izvještaj – Asian Development Bank, 2021.
- [3] Špago S. at al. *Effective Water Utilities Management Techniques*, Građevinski fakultet Univerziteta Džemal Bijedić u Mostaru, 2017.
- [4] Opracović S, *Compromise in cooperative game and the VIKOR method*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2009.
- [5] Opracović S, *Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1998.
- [6] Diagnosis of Urban Water Services in North Donetsk Oblast, *Municipality Water Supply in Sloviansk city*, (Finalni izvještaj), ICRC, 2024.
- [7] Hamilton S, McKenzie R, *Water Management and Water Loss*, IWA Publishing, 2014
- [8] Pearson D, *Standard Definitions for Water Losses*, IWA Publishing, 2019.
- [9] Hamilton S. at al. *IWA Standard Water Balance and the Basic Management Strategies*, IWA Publishing, 2017.

PRIMENA KLASTEROVANJA I SEMANTIČKE ANALIZE ZA PRAĆENJE KVAROVA U JAVNOM VODOVODNOM SISTEMU

APPLICATION OF CLUSTERING AND SEMANTIC ANALYSIS FOR FAILURE MONITORING IN PUBLIC WATER SUPPLY SYSTEMS

OGNJEN IVIĆ¹

Originalni naučni rad
DOI: 10.5937/GV26049I

Rezime: U radu je prikazana primena klasterovanja i semantičke analize za praćenje kvarova u javnom vodovodnom sistemu. Analizirani su višegodišnji izveštaji o kvarovima, uključujući tekstualne opise i metode prijave. Korišćenjem Word2Vec ugrađenih vektora i KMeans klasterovanja identifikovani su tipični obrasci kvarova i njihovi trendovi. Rezultati omogućavaju vizualizaciju semantičkih klastera, praćenje rastućih i opadajućih tipova kvarova i pružaju osnovu za optimizaciju preventivnog održavanja i planiranja resursa u vodovodnim preduzećima.

Ključne reči: vodovodni sistem, analiza kvarova, klasterovanje, semantička analiza, Word2Vec, KMeans, praćenje trendova

Abstract: This study demonstrates the application of clustering and semantic analysis for monitoring failures in a public water supply system. Multi-year failure reports, including textual descriptions and reporting methods, were analyzed. Using Word2Vec embeddings and KMeans clustering, typical failure patterns and trends were identified. The results enable visualization of semantic clusters, tracking of increasing and decreasing failure types, and provide a basis for optimizing preventive maintenance and resource planning in water utilities.

Key Words: Water supply system, Failure analysis, Clustering, Semantic analysis, Word2Vec, KMeans, Trend monitoring

1. Uvod

Efikasno upravljanje javnim vodovodnim sistemima danas se suočava sa kritičnim izazovom smanjenja neregistrovanih gubitaka vode (Non-Revenue Water

¹ Ognjen Ivić, Javno komunalno preduzeće „Vodovod i kanalizacija“ Subotica, Trg Lazara Nešića 9a, Subotica, ognjen@vodovodsu.rs, ORCID: 0009-0005-3005-512X

– NRW). Gubici u mreži ne predstavljaju samo ekonomski gubitak za komunalna preduzeća, već i ozbiljan ekološki i infrastrukturni problem. Ključni element u smanjenju ovih gubitaka je brza identifikacija i kategorizacija kvarova na osnovu prijava građana i terenskih ekipa. U okviru JKP „Vodovod i kanalizacija“ Subotica, analiza se zasniva na podacima dobijenim od strane Službe distribucije, koji potiču iz unetih radnih naloga na platformi „Apex“. Podaci su naknadno eksportovani u format prilagođen za lakšu obradu i analizu (*excell*). U savremenim dispečerskim centrima, ovakvi podaci o kvarovima najčešće se prikupljaju u obliku slobodnog teksta. Ovi nestrukturirani zapisi, koje unose dispečeri, sadrže specifičan tehnički žargon, skraćenice i različite varijacije u opisima. Zbog velikog broja dnevnih prijava, ručna analiza i klasifikacija ovakvih podataka postaju praktično neizvodljive, što dovodi do gubitka dragocenih informacija koje ostaju „skrivene“ u tekstu. Glavni cilj ovog rada je razvoj i primena modela zasnovanog na mašinskom učenju (Machine Learning) za automatizovanu analizu tekstualnih opisa kvarova, korišćenjem tehnika obrade prirodnog jezika (NLP). NLP (Natural Language Processing) omogućava računarima da razumeju i obrađuju ljudski jezik. U ovom radu, NLP povezuje tekst dispečera sa modelom za klasifikaciju, omogućavajući automatsko grupisanje sličnih prijava radi brže trijaže i identifikaciju kritičnih tačaka za prelazak sa reaktivnog na preventivno održavanje vodovodnog sistema.

2. Vektorizacija i semantičko modeliranje

Za analizu tekstualnih opisa kvarova primenjena su dva komplementarna pristupa: statistički i semantički. U prvom, TF-IDF model se koristi za izdvajanje ključnih termina i klasterizaciju pomoću K-Means algoritma, gde reči sa većom informacijskom težinom imaju veći uticaj. U drugom pristupu, Word2Vec model (*gensim*, *vector_size*=100, *window*=5) generiše vektorske reprezentacije reči, na osnovu kojih se formiraju prosečni embedding vektori opisa i vrši dodatna klasterizacija K-Means algoritmom. Dobijeni rezultati vizuelizovani su primenom t-SNE metode u 2D i 3D prostoru radi uvida u strukturu i grupisanje kvarova. Kvalitet klasterizacije procenjen je korišćenjem Silhouette Score-a i Elbow metode. Priprema podataka obuhvatila je konverziju datuma, selekciju relevantnih atributa, obradu nedostajućih vrednosti, definisanje statusa završetka, kao i osnovnu normalizaciju teksta uklaňanjem stop-reči i redukcijom oblika reči.

2.1. Vektorizacija i klasterizacija teksta

Automatizovana kategorizacija kvarova realizovana je primenom nenadglednog učenja, gde se tekstualni opisi transformišu u numeričke vektore. Ova metoda određuje značaj reči u okviru skupa dokumenata, dajući veću težinu informativnijim terminima. Na tako pripremljenim podacima primenjen je *K-Means* algoritam, koji grupiše prijave u pet klastera na osnovu sličnosti u terminologiji. Tipovi kvarova

identifikovani su analizom najznačajnijih reči iz centara klastera, što omogućava njihovu interpretaciju. Obučeni modeli su sačuvani u binarnom formatu i mogu se direktno primenjivati na nove podatke bez potrebe za ponovnim treniranjem.

2.2. Semantička interpretacija i analiza klastera

Nakon procesa klasterizacije, izvršena je kvalitativna analiza svakog od pet identifikovanih skupova na osnovu njihovih centroida. Svakom klasteru je dodeljena semantička oznaka koja najbolje opisuje prirodu kvara, čime je omogućena transformacija numeričkih grupa u inženjerske kategorije. Definisane su sledeće kategorije:

- Fizički kvarovi i održavanje vodomera: Fokus na curenja i neispravne priključke
- Parametri kvaliteta vode: Prijave koje se odnose na zamućenost, boju ili miris vode
- Složene popravke i odložene intervencije: Specifična grupa kvarova koji zahtevaju zamenu delova i često se prenose u naredni radni dan
- Infrastrukturni kvarovi na mreži: Havarije na cevima, ventilima i u šahtama
- Problemi sa pritiskom i ekstremni uslovi: Prijave niskog pritiska i kvarovi uzrokovani smrzavanjem instalacija.

U cilju ocene operativne efikasnosti, izvršena je unakrsna analiza tipova kvarova i njihovog statusa realizacije. Ovaj pristup omogućava identifikaciju „kritičnih“ grupa kvarova. Na primer, veći udeo nezavršenih naloga u određenom klasteru (npr. kod složenih popravki instalacija) direktno ukazuje na potrebu za optimizacijom resursa, boljom snabdevenošću rezervnim delovima ili angažovanjem dodatnih terenskih ekipa za taj specifičan segment održavanja. Ovo pruža rukovodiocima sistema objektivnan uvid u uska grla u procesu otklanjanja gubitaka na mreži.

2.2.1. Analiza rezultata iz baze podataka

Analiza 2024. i 2025. godine ukazuje na stabilnost modela upravljanja vodovodnom mrežom, uz visok nivo zatvaranja naloga u obe godine. Klasteri kvarova ostaju relativno konzistentni, posebno u domenu planskih radova i hitnih intervencija, što omogućava kontinuitet u organizaciji ekipa i resursa. Primena *NLP* pristupa omogućava identifikaciju čestih operativnih fraza (npr. „nazvati pre izlaska“), što ukazuje na standardizaciju komunikacije u radnim nalogima. K-Means algoritam grupiše kvarove u pet funkcionalnih celina, pri čemu se izdvajaju obrasci vezani za planske zamene i terenske intervencije. Komparativna analiza pokazuje promene u strukturi prijava: problemi kvaliteta vode, izraženiji u 2024. godini, imaju manju zastupljenost u 2025, dok se pojavljuju drugi obrasci poput problema pritiska. Ove promene ukazuju na pomeranje fokusa u eksploataciji sistema i moguće efekte

sprovedenih radova. Ovakav pristup pokazuje da klasterizacija tekstualnih podataka može poslužiti kao alat za praćenje promena u radu sistema i identifikaciju dominantnih tipova kvarova kroz vreme.

- Klaster 0: Defekti ulične mreže Fokus na distributivne cevovode u javnim površinama („izvire“, „zeleni pojas“). Ovi kvarovi su prioritetni zbog visokih fizičkih gubitaka i potencijalne potrebe za teškom mehanizacijom.
- Klaster 1: Sanitarni kvalitet Obuhvata prijave organoleptičkih svojstava i hemijske ispravnosti („hlor“, „zamućena“, „smrdi“), što omogućava ciljano hidrauličko ispiranje kritičnih deonica.
- Klaster 2: Strateška planska zamena (743 zapisa) Najveća grupa koja potvrđuje fokus na retroaktivno rešavanje zaostataka u baždarenju mernih uređaja iz prethodnog ciklusa (identifikovano preko termina „2018“ i „zakonska zamena“ - rešavanjem starih dugova).
- Klaster 3: Operativna logistika Prepoznatljiv po terminima za koordinaciju („nazvati“, „sutra“, „izići“), što ukazuje na prelazak sa intervencija na strukturirano planiranje ruta.
- Klaster 4: Defekti priključnih šahti (524 zapisa) Fokusiran na tačke razgraničenja odgovornosti („kod sata“, „ispred vodomera“). Ukazuje na potrebu za revizijom materijala priključnih garnitura usled korozije ili mraza.

2.3. Analiza klastera 0: identifikacija kritičnih gubitaka na distributivnoj mreži

Klaster 0 obuhvata prijave koje se odnose na vidljive gubitke vode na javnim površinama i uličnoj mreži, što ga čini značajnim za operativne intervencije. Dominantni termini ukazuju na curenje vode i lokaciju kvara (npr. ulica, šaht, zelena površina), što upućuje na kvarove na distributivnoj mreži.

Analiza termina omogućava razlikovanje intenziteta problema, od manjih curenja do ozbiljnijih havarija, dok se dodatni opisi iz prijava koriste kao dopunski signal za procenu stanja na terenu. *TF-IDF* težine pokazuju da su ključne reči povezane sa vodom i mestom kvara najuticajnije u formiranju ovog klastera, čime se omogućava njegovo jasno izdvajanje i interpretacija.

2.3.1. Analiza globalne mrežne povezanosti termina

Finalna vizualizacija prikazuje semantičku mrežu svih klastera pomoću Spring Layout-a, formirajući mapu operativnog domena preduzeća, slika 1. Jasna grupisanja čvorova istih boja odvajaju planske aktivnosti od havarija, dok centralni čvorovi označavaju termine sa najvećom informacijom, služeći za automatsku klasifikaciju naloga.

Razmak između klastera pokazuje semantičku različitost i jasnoću operativnih procedura za različite tipove kvarova.

signalizirati odstupanja ili netipične kvarove. Analiza raspodele udaljenosti omogućava uvid u ponašanje modela na novim podacima: niže prosečne vrednosti ukazuju na veću usklađenost sa postojećim klasterima, dok ekstremne vrednosti izdvajaju potencijalne anomalije koje mogu zahtevati dodatnu analizu ili proširenje modela. Analiza Euklidskih udaljenosti u TF-IDF prostoru za 2025. pokazuje pouzdanost klasifikacije: minimalna vrednost (0.139) označava „školske primere“ identične baznoj godini, prosečna udaljenost (0.913) potvrđuje da model i dalje prepoznaje većinu kvarova, dok maksimalna vrednost (1.019) identifikuje anomalije i granične slučajeve koji zahtevaju ljudsku proveru.

4.1. Kvalitativna klasifikacija pouzdanosti modela

Za interpretaciju udaljenosti novih naloga primenjena je kvantilna podela u četiri kategorije: *Veoma blizu (do Q1)*, *Blizu (do Q2)*, *Srednje (do Q3)* i *Daleko (iznad Q3)*, čime se izdvajaju zapisi koji odstupaju od postojećih obrazaca. Kategorija „Daleko“ obuhvata približno četvrtinu naloga i ukazuje na potencijalno netipične opise koji mogu zahtevati dodatnu analizu. Za vizuelni uvid u raspored podataka korišćena je 3D PCA projekcija tekstualnih vektora, gde klasteri iz referentne godine formiraju osnovnu strukturu, a novi podaci se posmatraju u odnosu na nju. Grupisanje novih tačaka unutar postojećih regiona ukazuje na sličnost sa poznatim obrascima, dok izdvojene tačke mogu signalizirati odstupanja. Interaktivna vizualizacija omogućava detaljnije ispitivanje graničnih slučajeva i potencijalnih anomalija, čime se olakšava njihova dalja interpretacija.

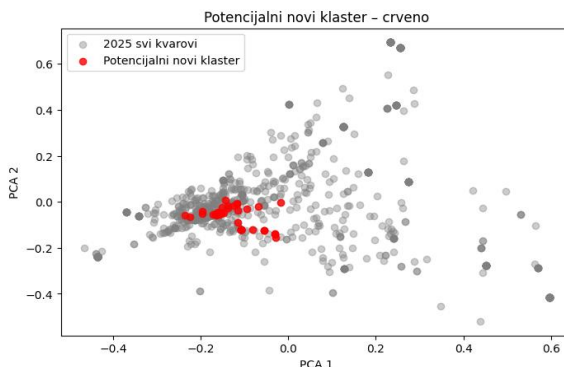
4.2. Identifikacija novih kategorija kvarova i automatska ekstrakcija ključnih pojmova

Kao završni korak analize implementiran je postupak za identifikaciju potencijalno novih klastera, fokusiran na najudaljenije zapise u odnosu na postojeće modele. Izdvajaju se „granični slučajevi“, odnosno približno 5% naloga sa najvećom udaljenošću, koji odstupaju od uočenih obrazaca. Za ove zapise primenjuje se TF-IDF analiza kako bi se identifikovali dominantni termini i dobio uvid u moguće nove obrasce kvarova. Rezultati se vizuelizuju u 2D projekciji, gde su svi podaci prikazani u pozadini, a izdvojeni kandidati naglašeni, što omogućava lakšu interpretaciju i proveru. Ovakav pristup omogućava detekciju potencijalnih promena u strukturi prijave i služi kao osnova za dalje unapređenje modela i ažuriranje baze znanja.

5. Semantičko modeliranje korišćenjem Word2Vec arhitekture

Za dublju analizu semantičkih odnosa u opisima kvarova primenjen je Word2Vec model, koji uči vektorske reprezentacije reči na osnovu njihovog konteksta u radnim nalogima. Pre obuke, tekst je obrađen kroz prilagođenu normalizaciju i redukciju oblika reči, čime je smanjena varijabilnost vokabulara. Svaka reč predstavlja

se kao 100-dimenzioni vektor, dok se za svaki opis računa prosečan embedding, čime se dokument mapira u semantički prostor. Za vizualizaciju ovih odnosa primenjen je t-SNE algoritam, kojim se višedimenzionalni podaci projektuju u 2D i 3D prostor. Rezultati pokazuju da se slični opisi grupišu u prostorno bliske regione, omogućavajući identifikaciju obrazaca i strukture kvarova. Interaktivna 3D vizualizacija dodatno olakšava analizu i interpretaciju ovih odnosa slika 2.



Slika 2. Identifikacija potencijalnog novog klastera (netipični obrasci kvarova)

5.1. Interpretacija semantičkih KLASTERA (WORD2VEC)

Semantičko modeliranje sprovedeno je korišćenjem Word2Vec arhitekture nad podacima iz 2022. godine radi formiranja referentnog semantičkog prostora. Model generiše vektorske reprezentacije reči na osnovu konteksta u radnim nalogima, nakon čega se za svaki opis računa prosečan embedding (pretvaranje teksta (reči ili rečenice) u niz brojeva). Na dobijenim vektorima primenjen je K-Means algoritam sa pet klastera, čime su formirane grupe tekstova sa sličnim semantičkim obrascima. Dodatno, t-SNE algoritam je korišćen za 3D vizualizaciju višedimenzionalnog prostora, omogućavajući pregled strukture podataka i odnosa između klastera. Analiza pokazuje postojanje semantički sličnih grupa opisa, dok se pojedini termini pojavljuju u više klastera u zavisnosti od konteksta u kojem se koriste.

6. Ocena kvaliteta klasterizacije

Da bi se procenio kvalitet formiranih klastera, primenjene su *Silhouette* analiza i *Elbow* metoda. Silhouette koeficijent meri odnos sličnosti unutar klastera u poređenju sa ostalim klasterima, pri čemu više vrednosti ukazuju na bolju separaciju podataka. *Elbow* metoda analizira inerciju klastera u zavisnosti od broja klastera i identifikuje tačku u kojoj dalje povećanje broja klastera ne donosi značajno poboljšanje modela. U ovom slučaju, uočljiv je pad u tački $k=5$, što podržava izbor pet klastera kao balans između kompleksnosti i interpretabilnosti modela.

6.1. Analiza silhouette koeficijenta i izazovi tekstualne separacije

Prosečni Silhouette Score od -0,190 za $k=5$ odražava specifičnosti tekstualnih podataka u komunalnom sektoru. Negativna vrednost ukazuje na semantičko preklapanje termina, jer različiti tipovi kvarova koriste iste reči poput „curi“, „voda“ ili „ulica“, što stvara gust vektorski prostor i nejasne granice između klastera. Dodatno, operativni zapisi sadrže žargon i skraćenice, pa algoritam ne može potpuno razdvojiti, na primer, kvar na ventilu i kvar na priključku. Ovo nije neuspeh modela, već odraz kompleksnosti ljudskog izražavanja: dominantne teme su identifikovane, ali mnogi kvarovi pripadaju više od jedne semantičke grupe. Nizak ili negativan Silhouette Score opravdava uvođenje Analize udaljenosti i kategorije „Daleko“ za anomalije, omogućavajući ljudskoj ekspertizi da razreši ove matematički nejasne slučajeve.

7. Zaključak

Ovaj sistem omogućava automatsku analizu velikog broja radnih naloga u vodovodnoj mreži, gde se opisni (tekstualni) podaci pretvaraju u strukturirane informacije. Korišćenjem TF-IDF i K-Means algoritma postiže se grupisanje kvarova u funkcionalne kategorije kao što su curenja, problemi sa vodomerima, kvalitet vode i kvarovi na mreži, što omogućava bržu i standardizovanu klasifikaciju prijava. Word2Vec model dodatno unapređuje analizu jer hvata značenje reči u kontekstu, pa razlikuje npr. „curi u šahti“ od „curi vodomer“, što je ključno za precizniju dijagnostiku kvarova. Integracijom t-SNE i PCA vizualizacije omogućeno je da se složeni tekstualni podaci prikažu u 2D i 3D prostoru, što inženjerima olakšava uočavanje obrazaca, ponavljajućih problema i prostornih grupa kvarova. Analiza udaljenosti od centara klastera omogućava detekciju netipičnih i novih kvarova, što je posebno važno za rano prepoznavanje promena u mreži (npr. pad pritiska ili novi tip curenja). GIS deo koda omogućava povezivanje kvarova sa realnim ulicama i lokacijama, čime se dobija prostorna mapa problema u mreži, što direktno pomaže ekipama na terenu u planiranju intervencija. Evaluacione metode (Silhouette i Elbow) potvrđuju da je izbor 5 klastera optimalan, što znači da sistem daje stabilnu i pouzdanu strukturu podataka.

8. Literatura

- [1] Mikolov T, Chen K, Corrado G, Dean J, *Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space*, Google Research, 2013.
- [2] Salton G, Buckley C, *Term-weighting approaches in automatic text retrieval*, Information Processing & Management, 1988.
- [3] MacQueen J, *Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations*, Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, 1967.

AKTIVNA KONTROLA CURENJA – PLANIRANJE, STRATEGIJE I PREPORUKE UNAPREĐENJA

ACTIVE LEAKAGE CONTROL – PLANNING, STRATEGIES AND RECOMMENDATIONS FOR IMPROVEMENT

JURICA KOVAČ¹

Pregledni (stručni) rad
DOI: 10.5937/GV26057K

Rezime Ovaj referat analizira postojeću praksu provođenja aktivne kontrole curenja (Active Leakage Control - ALC) u vodoopskrbnim sustavima u razvijenim europskim zemljama, identificira ključne probleme u njezinoj provedbi te donosi preporuke za unapređenje pristupa. Analiza obuhvaća IWA metodologiju (International Water Association) i njezinu primjenu u europskom kontekstu, izazove vezane uz financiranje, starenje infrastrukture i upravljanje promjenama, kao i potencijal novih digitalnih tehnologija poput IoT senzora, umjetne inteligencije, satelitske detekcije i digitalnih blizanaca. Posebna pozornost posvećena je dimenziji ljudskih resursa i organizacijske kulture kao ključnim čimbenicima uspjeha, uz preporuke temeljene na sistemskom razmišljanju i teoriji igara za dizajn poticajnih modela. Referat zaključuje da je za dugoročno smanjenje gubitaka vode neophodna sinergija tehničke izvrsnosti i sustavnog upravljanja promjenama.

Ključne riječi: aktivna kontrola curenja, neprihodovana voda, IWA metodologija, upravljanje promjenama, digitalizacija, tehnologije detekcije

Abstract: This paper analyses the current practice of implementing Active Leakage Control (ALC) in water supply systems in developed European countries, identifies key problems in its implementation and makes recommendations for improving the approach. The analysis covers the IWA (International Water Association) methodology and its application in the European context, challenges related to financing, aging infrastructure and change management, as well as the potential of new digital technologies such as IoT sensors, artificial intelligence, satellite detection and digital twins. Special attention is paid to the dimension of human resources and organizational culture as key success factors, with recommendations based on systems thinking and game theory for the design of incentive models. The paper concludes that a synergy of technical excellence and systematic change management is necessary for long-term water loss reduction.

¹ Jurica Kovač, Aqua Libera d.o.o, Hrvatskog proljeća 73, Novo Čiče – Velika Gorica, Hrvatska, jurica.kovac@mail.com

Key Words: active leakage control, non-revenue water, IWA methodology, change management, digitalization, detection technologies

1. Uvod

Problem gubitaka vode u vodoopskrbnim mrežama jedan je od najznačajnijih izazova s kojima se suočavaju javni isporučitelji vodnih usluga (JIVU) diljem svijeta. Prema recentnim istraživanjima, prosječna razina neprihodovane vode (Non-Revenue Water – NRW) na globalnoj razini iznosi oko 50%, dok je u europskim zemljama taj prosjek niži, ali i dalje visokih 25-30% [1]. Gubici vode ne predstavljaju samo finansijski teret za komunalna poduzeća, već imaju i duboke ekološke i energetske implikacije, posebno u kontekstu klimatskih promjena i rastuće potrebe za očuvanjem vodnih resursa.

Za primjer, u Republici Hrvatskoj je ustanovljen nacionalni cilj smanjenja vodnih gubitaka koji je izražen kroz ambiciozan plan smanjenja ukupnog volumena neprihodovane vode za 50% u narednom petnaestogodišnjem razdoblju [2]. Ovaj cilj zahtijeva duboku transformaciju načina na koji JIVU upravljaju svojom infrastrukturom i ljudskim resursima. Europska unija pojačava pritisak kroz Direktivu (EU) 2020/2184 o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju, koja uvodi obavezu procjene i izvještavanja o gubicima vode za vodoopskrbne sustave koji opskrbljuju više od 1.000 m³/dan ili više od 50.000 stanovnika. Na temelju prikupljenih podataka, EU će utvrditi granične vrijednosti i zahtijevati od država članica izradu akcijskih planova za smanjenje gubitaka [1].

Starenje infrastrukture jedan je od temeljnih uzroka visokih stopa curenja. Analiza stanja u europskim komunalnim poduzećima pokazuje da je stopa obnove vodovodnih cijevi često ispod preporučenih 2% godišnje, a u nekim slučajevima iznosi tek 0,5%, što implicira ciklus obnove od čak 200 godina [3]. Prema izvješću Europske investicijske banke, veći dio vitalne europske infrastrukture za opskrbu pitkom vodom nalazi se pri kraju svog ekonomskog vijeka trajanja. U tom kontekstu, cjeloživotno upravljanje imovinom (Life Cycle Costing – LCC) i primjena standarda poput ISO 55000 postaju nužnost za dugoročno održivo poslovanje [3].

2. Postojeća praksa i IWA metodologija u Europi

Temelj suvremenog pristupa upravljanju gubicima vode postavljen je kroz rad International Water Association (IWA), čija je metodologija standardizirala terminologiju, načine izračuna vodne bilance i ključne pokazatelje uspješnosti. Središnji konceptualni alat IWA metodologije je vodna bilanca (Water Balance), koja sistemski rastavlja ukupnu ulaznu vodu na prihodovanu potrošnju, prividne gubitke (pogreške mjerenja, neovlaštena potrošnja) i stvarne gubitke (fizička curenja iz cijevi

i spojeva). Upravo stvarni gubici, koji čine dominantni udio NRW-a u razvijenim zemljama, ciljna su točka aktivne kontrole curenja.

Za upravljanje stvarnim gubicima, IWA je definirala okvir „četiri stupa upravljanja curenjima“ (Four Pillars of Leakage Management), koji predstavlja sveobuhvatnu strategiju smanjenja fizičkih gubitaka [4].

Ovaj okvir naglašava da se optimalni rezultati ne mogu postići primjenom samo jednog stupa, već isključivo kroz njihovu koordiniranu primjenu, prilagođenu specifičnostima pojedinog sustava.

Tablica 1. Četiri stupa upravljanja gubicima vode prema IWA metodologiji

| Stup | Naziv | Opis i svrha |
|------|------------------------------------|--|
| 1. | Upravljanje tlakom | Optimizacija tlaka u mreži radi smanjenja učestalosti novih puknuća i smanjenja protoka na postojećim curenjima. Primjena ventila za smanjenje tlaka (PRV). |
| 2. | Brzina i kvaliteta sanacija | Smanjenje vremena od nastanka do popravka kvara. Svaki dan odgode sanacije znači dodatne gubitke. Visoka kvaliteta izvedenih radova sprječava ponovna curenja. |
| 3. | Aktivna kontrola curenja (ALC) | Proaktivno traženje i lociranje skrivenih (neprijavljenih) curenja korišćenjem akustičkih metoda, korelatora, logera i nadzora minimalnih noćnih protoka (MNF) u DMA zonama. |
| 4. | Upravljanje cjevovodima i imovinom | Pravovremena zamjena i rehabilitacija dotrajalih cjevovoda temeljem analize rizika, troškova životnog ciklusa (LCC) i standarda ISO 55000. |

Aktivna kontrola curenja (ALC) najčešće se oslanja na uspostavu mjernih zona, tzv. District Metered Areas (DMA). Podjela mreže na manje, hidraulički izolirane zone omogućuje kontinuirano praćenje minimalnih noćnih protoka (MNF), što služi kao rani indikator pojave novih curenja. Ključni pokazatelj uspješnosti ALC programa je Indeks curenja infrastrukture (Infrastructure Leakage Index – ILI), koji uspoređuje stvarne godišnje gubitke (CARL) s neizbježnim godišnjim gubicima (UARL) za dani sustav.

Vrijednost ILI = 1 znači da sustav radi na teorijskom minimumu gubitaka, dok vrijednosti iznad 4 ukazuju na hitnu potrebu za intervencijom [4].

Recentna istraživanja pokazuju da na razinu gubitaka mjerenih kroz ILI značajno utječu i geografski te okolišni faktori koji su izvan kontrole operatera – vrsta tla, topografija, klimatske oscilacije i starenje materijala [1]. Stoga se preporučuje da budući zakonodavni okviri uzimaju u obzir te specifičnosti pri postavljanju ciljeva.

3. Izazovi i problemi u provođenju aktivne kontrole curenja

Unatoč dostupnosti provjerenih tehničkih rješenja i jasno definiranoj IWA metodologiji, mnogi projekti smanjenja gubitaka vode ne ostvaruju željene rezultate. Analiza iskustava iz europske prakse, kao i primjeri iz domaćeg konteksta, ukazuju na to da ključni razlozi neuspjeha često leže izvan domene tehničkih rješenja – duboko ukorijenjeni u organizacijskoj kulturi, nedostatku financijskih sredstava i neadekvatnom upravljanju ljudima (znanja, vještine, motivacija, koordinacija, komunikacija, itd) [2].

3.1. *Financijski i infrastrukturni izazovi*

Kronično nedovoljno ulaganje u obnovu infrastrukture rezultiralo je vodovodnim mrežama koje su daleko prekoračile projektovani vijek trajanja. Za posljedicu imamo mreže s visokim brojem skrivenih curenja koja se ne mogu otkriti bez sustavne primjene ALC metoda uz intenzivnu primjenu tehnologija i povećani angažman ljudi.

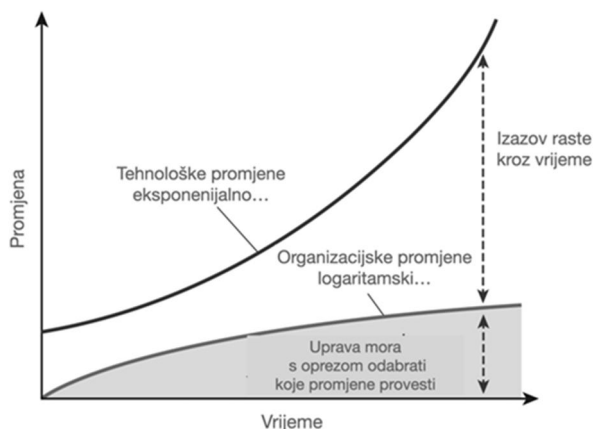
Mnogi vodoopskrbni sustavi bilježe značajan rast gubitaka vode koji nije isključivo rezultat tehničkog starenja mreže, već je često uzrokovan kombinacijom vanjskih (okolišnih) pritisaka (poput potresa ili ekstremnih klimatskih pojava poput suša ili poplava koji narušavaju stabilnost tla), intenzivnih građevinskih radova na drugim komunalnim infrastrukturama (koji uzrokuju oštećenja vodovodne infrastrukture) te organizacijskih promjena i restrukturiranja. Ovi primjeri potvrđuju da se upravljanje gubicima mora promatrati kao kompleksan, dinamičan sustav, a ne kao izolirani tehnički problem. Dinamične promjene u gubicima (povećani broj curenja) često su praćene potrebom za povećanjem broja sanacija, što dodatno iscrpljuje ljudske i financijske resurse komunalnih poduzeća.

3.2. *Izazovi upravljanja promjenama i ljudski resursi*

Jedan od ključnih, ali često zanemarenih, razloga neuspjeha ALC programa jest neadekvatan pristup upravljanju promjenama u poduzećima (Change Management). Dosadašnji neuspjesi [2] u smanjenju gubitaka vode u velikoj mjeri proizlaze iz neadekvatnog pristupa tj. načina upravljanja ljudima. Tehnološka rješenja sama po sebi nisu dovoljna ako se ne adresiraju organizacijska kultura, ponašanje, komunikacija i motivacija zaposlenika.

Marketinški stručnjak Scott Brinker formulirao je tzv. Martec's Law (2013), opisujući temeljni upravljački izazov 21. stoljeća: tehnološke promjene odvijaju se eksponencijalno, dok se organizacijske promjene (stavovi, razmišljanje, strukture, ponašanja, kultura) odvijaju logaritamski [2]. Sve veći jaz između ove dvije krivulje ključni je izazov vodstva i upravljanja. Implementacija ALC programa često se tretira isključivo kao „tehnička promjena“ – nabava opreme, uspostava DMA zona,

instalacija logera. Međutim, ona zapravo zahtijeva „adaptivnu promjenu“ (prema Heifetzovoj terminologiji) – promjenu načina na koji ljudi razmišljaju, komuniciraju, koordiniraju i rješavaju probleme. Adaptivne promjene su znatno teže za postizanje jer zahtijevaju kontinuirano eksperimentiranje, učenje i promjenu stavova.



Slika 1. Kvintesencijalni upravljački izazov 21. stoljeća (izvor: Scott Brinker)

4. Nove tehnologije i inovacije u aktivnoj kontroli curenja

Razvoj digitalnih tehnologija nudi nove, moćne alate za unapređenje aktivne kontrole curenja. Tradicionalne akustičke metode – slušanje curenja, akustički korelatori i logeri buke – i dalje ostaju nezamjenjive na terenu. Moderni akustički uređaji, opremljeni filtrima i memorijom za usporedbu razina buke, znatno olakšavaju precizno lociranje mjesta kvara [5]. Ove metode se sve više nadopunjuju ili zamjenjuju sustavima koji omogućuju kontinuirani nadzor u stvarnom vremenu. Pametne vodovodne mreže (Smart Water Networks) temeljene na internetu stvari (Internet of Things - IoT) i različitim sensorima omogućuju prikupljanje ogromnih količina podataka o tlaku, protoku i akustičkim signalima s tisuća točaka u mreži [6].

Uz akustičke metode, značajan napredak donose i alternativne tehnologije, poput mjerenja temperature i vibracija za otkrivanje curenja na korisničkoj strani (korisnici vodnih usluga). Inovativni senzori koji prate temperaturne razlike ili niskofrekventne vibracije na kućnim priključcima (primjerice uz primjenu vodomjera sa naprednim funkcionalnostima poput slušanja šumova) omogućuju brzu identifikaciju curenja koja ne proizvode dovoljno zvuka za klasične akustičke uređaje [5].

Poseban tehnološki iskorak predstavljaju satelitske metode detekcije curenja temeljene na Synthetic Aperture Radar (SAR) tehnologiji. Korišćenjem mikrovalova

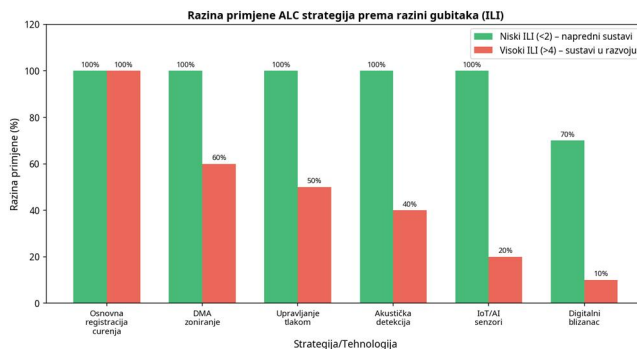
koji prodiru u tlo, sateliti mogu identificirati specifične refleksije (dielektrične konstante) koje ukazuju na prisutnost pitke vode ispod površine. Iako satelitske metode ne daju preciznu lokaciju curenja, one omogućuju kreiranje mapa potencijalnih zona curenja, čime se terenskim ekipama omogućuje fokusiranje na najkritičnija područja, čime se znatno povećava efikasnost rada na terenu [5].

Softverska rješenja i centri za praćenje događaja (Central Event Management - CEM) integriraju podatke iz različitih izvora (SCADA, GIS, CRM, akustički logeri) te pomoću algoritama strojnog učenja i prediktivne analitike identificiraju anomalije i upravljaju životnim ciklusom svakog incidenta (od detekcije do sanacije) [5].

Koncept „Digitalnog blizanca“ (Digital Twin) – virtualne replike fizičke vodoopskrbne mreže – predstavlja najnapredniji alat za upravljanje gubicima vode. Geospatial AI (geoprostorne informacije sa analitikom uz primjenu umjetne inteligencije) dodatno unaprjeđuje ovaj pristup analizirajući okolišne podatke (slije-ganje tla, topografija, vrijeme) zajedno sa svojstvima cjevovoda, stvarajući modele rizika koji predviđaju gdje je najvjerojatnije da će doći do novih kvarova [5].

Tablica 2. Pregled tehnologija za aktivnu kontrolu curenja prema razini sofisticiranosti

| Razina | Tehnologija | Primjena | Preduvjeti |
|------------|---|---|---|
| Osnovna | Akustički logeri, korelatori buke | Detekcija i lokalizacija curenja u DMA zonama | Uspostavljena DMA mreža, obučeno osoblje |
| Napredna | Kontinuirani nadzor tlaka i protoka (IoT) | Praćenje MNF u stvarnom vremenu, rano upozoravanje | Gustoća senzora, pouzdana komunikacijska mreža |
| Satelitska | SAR (Synthetic Aperture Radar) | Makro-lociranje curenja pitke vode iz svemira | Pristup satelitskim podacima, napredna analitika refleksija |
| Inovativna | AI/ML algoritmi i CEM sustavi | Automatska lokalizacija curenja, upravljanje incidentima | Veliki skupovi podataka, integracija GIS/SCADA/CRM sustava |
| Vrhunska | Digitalni blizanc i Geospatial AI | Simulacija scenarija, prediktivno održavanje, optimizacija rizika | Svi prethodni slojevi + visoka razina digitalne zrelosti |



Slika 2. Razina primjene ALC strategija i tehnologija prema razini gubitaka (ILI) – prilagođeno prema van Thienen et al. [1]

5. Strategije i preporuke unapređenja: sistemski pristup

Kako bi se prevladali identificirani izazovi i maksimalno iskoristio potencijal novih tehnologija, potrebno je redefinirati strategije upravljanja gubicima vode. Uspješna implementacija zahtijeva holistički pristup koji integrira inženjerska rješenja, organizacijski razvoj i finansijsko strukturiranje. U nastavku su predstavljene ključne strateške preporuke utemeljene na analizi međunarodnih iskustava i teorijskim okvirima.

5.1. Sistemsko razmišljanje i teorija igara

Vodoopskrbni sustavi trebaju se promatrati kao kompleksni adaptivni sustavi (Complex Adaptive Systems – CAS). Sistemsko razmišljanje, utemeljeno na radovima Russella Ackoffa, Petera Sengea i Donelle Meadows, nalaže da se problem curenja ne rješava izolirano, već u kontekstu cjelokupnog poslovanja – od finansija i IT-a do terenskih inženjera. Prema Ashbyjevom zakonu o neophodnoj raznolikosti (Law of Requisite Variety), složenost upravljačkog sustava mora odgovarati složenosti operativnog okruženja kojim upravlja. To znači da krute, tradicionalne hijerarhije JIVU-a moraju evoluirati u agilnije, mrežne strukture s jasno definiranim odgovornostima i tokovima informacija.

Teorija igara nudi inovativan okvir za dizajniranje sustava poticaja unutar JIVU-a i između regulatora i komunalnih poduzeća [7]. Kroz modeliranje interakcija između različitih dionika (uprave, inženjera, terenskih radnika, regulatora), moguće je kreirati modele podijeljenih ušteda (Shared Savings). U takvim modelima, dio finansijskih ušteda ostvarenih smanjenjem gubitaka vode direktno se preusmjerava u varijabilni dio plaće radnika koji su te uštede ostvarili ali i cjelokupnog poduzeća (prepoznavanje da je rezultat produkt zajedničkog djelovanja) uz primjenu transparentnih modela praćenja učinka i doprinosa.

5.2. Upravljanje promjenama kao preduvjet uspjeha

Sinergija upravljanja projektima (tehnički aspekt) i upravljanja promjenama (ljudski aspekt) presudna je za uspjeh [2]. Preporučuje se primjena strukturiranih metodologija poput ADKAR modela (Awareness, Desire, Knowledge, Ability, Reinforcement – Svjesnost, Želja, Znanje, Sposobnost i Podrška) za vođenje djelatnika kroz proces usvajanja novih radnih praksi. Potrebno je stvoriti osjećaj hitnosti (Kotter, 1. korak), oformiti snažan tim za promjene i kontinuirano komunicirati viziju, uz slavljenje kratkoročnih uspjeha (tzv. „quick wins“) poput brzog lociranja i sanacije velikih curenja. Posebno je važno razlikovati tehničke i adaptivne promjene (prema Heifetzovoj klasifikaciji). Dok se tehničke promjene (nabavka opreme, uspostava DMA) mogu relativno brzo implementirati, adaptivne promjene (promjena kulture rada, prihvaćanje novih odgovornosti, razvoj novih kompetencija) zahtijevaju strpljivo, kontinuirano vođenje unutar „produktivne zone neravnoteže“ – dovoljno pritiska da se potakne promjena, ali ne toliko da se uzrokuje organizacijski kaos [2].

5.3. Strateško planiranje u fazama

Iskustva iz međunarodnih primjera dobre prakse potvrđuju vrijednost faznog pristupa strateškom planiranju u upravljanju gubicima. Preporučuje se troetapni model: (1) inicijalna faza brzih rješenja i prve analize (brza sanacija curenja, uspostava temeljnih procesa, edukacija), (2) faza učenja i prakse (uspostava DMA zona, uvođenje upravljanja tlakom, prikupljanje podataka, razvoj kompetencija) i (3) faza dugoročnog planiranja i digitalne transformacije (implementacija IoT/AI rješenja, digitalni blizanac, Geospatial AI za predikciju rizika, te ISO 55000 upravljanje imovinom). Ovakav pristup omogućuje postizanje vidljivih rezultata u kratkom roku, koji služe kao motivacija za nastavak transformacije, dok se istovremeno grade temelji za dugoročnu održivost.

Tablica 3. Sažetak ključnih preporuka za unapređenje aktivne kontrole curenja

| Dimenzija | Preporuka | Teorijski okvir |
|----------------|--|---|
| Tehnička | Uspostava DMA zona i kontinuiranog nadzora MNF kao osnove za ALC | IWA metodologija, četiri stupa |
| Digitalna | Postupna implementacija IoT senzora, CEM sustava i satelitske detekcije | Smart Water Networks, Digital Twin |
| Organizacijska | Primjena ADKAR modela i Kotterovih 8 koraka za upravljanje promjenama | Upravljanje promjenama (Prosci, Kotter) |
| Financijska | Uvođenje modela podijeljenih ušteda (Shared Savings) za motivaciju osoblja | Teorija igara, Stackelberg model |
| Strateška | Fazni pristup transformaciji s kratkoročnim pobjedama i dugoročnom vizijom | Sistemsko razmišljanje, ISO 55000 |

6. Zaključak

Aktivna kontrola curenja u vodoopskrbnim sustavima daleko nadilazi puku nabavku opreme za detekciju, popravak cijevi i elemenata infrastrukture. Ona predstavlja kompleksan izazov koji zahtijeva integraciju tehničkih znanja, naprednih digitalnih alata i suvremenih praksi upravljanja ljudskim ponašanjem. Europska iskustva pokazuju da su najbolje rezultate ostvarila ona poduzeća koja su gubitke vode shvatila kao strateški prioritet, a ne samo kao operativni problem, i koja su sustavno gradila kompetencije kroz sve razine organizacije.

Analiza stanja u europskim vodoopskrbnim sustavima ukazuje na jasnu progresiju: sustavi s visokim razinama gubitaka (visoki ILI) primjenjuju tek osnovne mjere, dok napredni sustavi s niskim gubicima koriste čitav spektar alata – od upravljanja tlakom i DMA zoniranja do IoT senzora, satelitskih tehnologija i digitalnih bližanaca. Ova progresija nije slučajna; ona odražava dugoročno strateško ulaganje u infrastrukturu, tehnologiju i, što je najvažnije, u ljude.

Za uspješnu transformaciju javnih isporučitelja vodnih usluga, posebno u kontekstu željenih ciljeva smanjenja neprihodovane vode, nužno je primijeniti sistemsko razmišljanje i strukturirano upravljanje promjenama. Tehnološka rješenja sama po sebi neće donijeti rezultate ako organizacijska kultura, komunikacija i motivacija zaposlenika ostanu u obrascima prošlog stoljeća. Uvođenjem inovativnih modela nagrađivanja temeljenih na teoriji igara, uz sustavnu edukaciju i primjenu cjeloživotnog upravljanja imovinom prema standardima ISO 55000, programi aktivne kontrole curenja mogu postati snažan katalizator za sveobuhvatnu modernizaciju i dugoročnu financijsku i ekološku održivost vodoopskrbnih sustava a na korist zajednice koja u konačnici dobiva dugoročno održivu i sigurnu vodnu uslugu.

7. Literatura

- [1] Van Thienen P, Steffelbauer D. B. & Vertommen I. Water loss management in Europe: perceptions, drivers, responses/strategies, and results. *Water Practice & Technology*, 20(9), 1921. doi: 10.2166/wpt.2025.113, 2025.
- [2] Kovač J. & Mehinović S. *Upravljanje promjenama u poduzeću kroz implementaciju programa kontrole gubitaka vode*. Zbornik radova CROVIK 2025, Vodice, 2025.
- [3] Kovač J. *Smjernice za uspostavu sustava upravljanja imovinom – primjer ISO55000*. Zbornik radova CROVIK 2025, Vodice, 2025.
- [4] Lambert A. O, Brown T. G, Takizawa M. & Weimer D. Water Losses Management and Techniques. International Report, IWA Congress Berlin. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(4), 2001.
- [5] Hamilton S. & Charalambous B. *Leak Detection: Technology and Implementation*. IWA Publishing, 2020.

- [6] Zuñiga-Urbe M, Rojas-Galván R, Álvarez-Alvarado J. M. et al. Artificial Intelligence in Water Distribution Networks: A Systematic Review of Models, Input Variables, Databases, and Output Strategies for Leak Detection. *Smart Cities*, 9(3), 45, 2026.
- [7] Momeni B, & Mohebbi S. Differential game theoretic models for designing water conservation incentives. *Decision Analysis*. doi: 10.1287/deca.2024.0208, 2025
- [8] Rahman N. A, Muhammad N. S. & Wan Mohtar W. H. M. Evolution of research on water leakage control strategies: where are we now? *Urban Water Journal*, 15(8), 812–826. doi: 10.1080/1573062X.2018.1547773, 2018.
- [9] EurEau. Europe's Water in Figures – An overview of the European drinking water and waste water sectors. Brussels: EurEau, 2021.
- [10] Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council on the quality of water intended for human consumption (recast). *Official Journal of the European Union*, 2020.

ANALIZA GUBITAKA VODE U SISTEMU JAVNOG VODOSNABDEVANJA

ANALYSIS OF WATER LOSSES IN PUBLIC WATER SUPPLY SYSTEM

GOCE TASESKI¹

Stručni rad
DOI: 10.5937/GV26067T

Apstrakt: Ovaj rad predstavlja proširenu analizu zasnovanu na podacima o gubicima vode u sistemu javnog vodosnabdevanja grada Strumice, Severna Makedonija. Istraživanje se zasniva na dugoročnim operativnim podacima, hidrauličkoj interpretaciji mreže i terenskim merenjima protoka i pritiska u odabranim kontrolnim tačkama. Analiza prati terminologiju i metodološki okvir Međunarodne asocijacije za vode (IWA), sa posebnim akcentom na vodu bez prihoda (NRW), realne gubitke, prividne gubitke, minimalni noćni protok (MNF) i praktični značaj noćno-dnevnog faktora (NDF).

Glavni doprinos rada je transformacija izmerenih hidrauličkih podataka u praktičan okvir za donošenje odluka u upravljanju vodovodnim sistemom. Predložena strategija nije ograničena samo na zamenu cevovoda, već je usmerena na formiranje zonskih mernih područja (DMA), uvođenje pametnog merenja, kalibraciju korisničkih vodomera, upravljanje pritiskom i sistematsko otkrivanje curenja. Rad zaključuje da smanjenje prividnih gubitaka može doneti značajne ekonomske i operativne koristi pre razmatranja velikih investicija u nove vodne resurse.

Ključne reči: gubici vode; voda bez prihoda; realni gubici; prividni gubici

Abstract: This paper presents an extended, data-driven analysis of water losses in the public water supply system of Strumica. The work is based on long-term operational records, hydraulic interpretation of the network, and field measurements of flow and pressure in selected control points. The analysis follows the terminology and methodological framework of the International Water Association (IWA), with special attention to non-revenue water (NRW), real losses, apparent losses, minimum night flow (MNF), and the practical meaning of the night-day factor (NDF).

The main contribution of the paper is the conversion of measured hydraulic data into a practical decision-making framework for utility management. The recommended strategy is

¹ Goce Taseski, Univerzitet Sv. Ćirilo i Metodije, Građevinski fakultet, Bul. Partizanskih odreda 24, Skoplje, Severna Makedonija, taseski@gf.ukim.edu.mk, ORCID: 0000-0002-4415-0321

not limited to pipe replacement, but focuses on district metered areas (DMA), smart metering, calibration of consumer meters, pressure management, and systematic leak detection. The paper concludes that reducing apparent losses can deliver significant economic and operational benefits before major investments in new water resources are considered.

Key Words: water losses; non-revenue water; real losses; apparent losses; minimum night flow

1. Uvod

Sistemi vodosnabdevanja predstavljaju jedne od najvažnijih urbanih infrastrukturnih sistema, jer direktno utiču na javno zdravlje, ekonomski razvoj, protivpožarnu zaštitu, industriju i kvalitet svakodnevnog života. Međutim, čak i kada postoje dovoljne količine sirove vode, efikasnost distributivnog sistema određuje da li preduzeće može da obezbedi sigurnu, kontinuiranu i finansijski održivu uslugu. Jedan od glavnih pokazatelja ove efikasnosti jeste nivo gubitaka vode, posebno vode bez prihoda (NRW), koja predstavlja vodu koja ulazi u sistem, ali ne generiše prihod za preduzeće.

Problem gubitaka vode nije samo tehnički problem. On predstavlja i ekonomski, ekološki, upravljački i socijalni problem. Voda koja se zahvata, transportuje, tretira, pumpa, skladišti, a zatim gubi pre nego što bude fakturisana, stvara direktne operativne troškove bez odgovarajućih prihoda. U sistemima sa visokim gubicima, vodovodna preduzeća često razmatraju povećanje zahvatanja ili proširenje proizvodnih kapaciteta, iako je racionalnije rešenje najčešće smanjenje gubitaka u postojećoj mreži. Zbog toga se smanjenje gubitaka može posmatrati kao izvor dodatno raspoložive vode, bez ekološkog i finansijskog opterećenja razvoja novih vodnih resursa.

U kontekstu javnih vodovodnih preduzeća u Severnoj Makedoniji i širem regionu, gubici vode ostaju trajni izazov. Mnogi sistemi razvijani su tokom više decenija, često uz primenu različitih materijala cevovoda, različitih režima rada i uz nepotpune informacije o stvarnom stanju mreže. Proširenje obuhvata snabdevanja, promene u potrošačkim navikama, starenje infrastrukture i nedovoljno precizno merenje mogu značajno povećati nivo NRW. Zbog toga je neophodna sistematska analiza zasnovana na merenjima, standardizovanoj terminologiji i transparentnim proračunima.

Sistem vodosnabdevanja Strumice predstavlja odgovarajuću studiju slučaja za ovakvu analizu. Sistem se razvija i proširuje više od pet decenija i snabdeva urbano područje i okolna naselja. Mreža obuhvata nisku i visoku zonu snabdevanja, transportne cevovode, rezervoare i postrojenje za tretman vode. U ovakvom sistemu ukupni gubici ne mogu se sagledati samo na osnovu godišnjih fakturisanih podataka. Neophodna su terenska merenja protoka i pritiska kako bi se razdvojili realni i prividni gubici i utvrdile prioritete mere za unapređenje sistema.

Cilj ovog rada je izrada proširene analize sistema u Strumici. Istraživanje je fokusirano na odnos između ukupnih gubitaka, realnih tehničkih gubitaka i prividnih administrativnih gubitaka. U analizi se koriste koncept vodnog bilansa prema IWA, interpretacija minimalnog noćnog protoka i analiza povezana sa pritiskom. Centralno istraživačko pitanje glasi: ukoliko su ukupni gubici visoki, koji deo gubitaka je posledica fizičkih curenja, a koji deo potiče od merenja, fakturisanja, upravljanja podacima i neovlašćene potrošnje?

2. Teorijska osnova

Gubici vode u sistemima javnog vodosnabdevanja dele se na dve glavne kategorije: realne i prividne gubitke. Realni gubici predstavljaju fizičku vodu koja ističe iz sistema usled kvarova, pucanja cevovoda, preliivanja, problema na priključcima ili curenja iz rezervoara. Ovi gubici nastaju između ulaza vode u sistem i vodomera korisnika.

Prividni gubici, nasuprot tome, ne predstavljaju fizičke gubitke vode. Oni obuhvataju vodu koja dospeva do korisnika ili se koristi u sistemu, ali nije tačno izmerena, registrovana, fakturisana ili naplaćena.

Vodni bilans prema IWA započinje količinom vode koja ulazi u sistem. Ovaj volumen deli se na ovlašćenu potrošnju i gubitke. Ovlašćena potrošnja može biti fakturisana ili nefakturisana, merena ili nemerena. Gubici se dalje dele na realne i prividne. Voda bez prihoda (NRW) sastoji se od nefakturisane potrošnje, prividnih gubitaka i realnih gubitaka. Ovakva struktura je značajna jer svaki segment ima različit uzrok i zahteva različite mere upravljanja.

Osnovne relacije su:

Ulaz u sistem = ovlašćena potrošnja + gubici

NRW = ulaz u sistem – fakturisana potrošnja

Realni gubici najčešće se procenjuju na osnovu merenja, posebno tokom noćnih časova, dok se prividni gubici određuju kao razlika između ukupnih i realnih gubitaka, uz analizu tačnosti merenja i naplate.

Analiza minimalnog noćnog protoka zasniva se na pretpostavci da je potrošnja vode tokom noći najmanja. Zbog toga najveći deo izmerenog protoka predstavlja posledicu curenja u sistemu. Neto noćni protok izračunava se prema relaciji:

$$NNF = MNF - LNF$$

gde je:

MNF = minimalni noćni protok

LNF = legitimna noćna potrošnja

Ovaj protok se zatim prevodi u dnevne gubitke pomoću noćno-dnevnog faktora (NDF), koji uzima u obzir razliku u pritisku između dnevnog i noćnog režima rada sistema.

Noćno-dnevni faktor je naročito značajan u sistemima u kojima pritisak raste tokom noći. Bez njegove primene, gubici mogu biti pogrešno procenjeni.

Dobijene vrednosti omogućavaju proračun dnevnih i godišnjih gubitaka vode.

Praktično posmatrano:

realni gubici → infrastrukturni problem

prividni gubici → upravljački i merni problem

Ukoliko su realni gubici niski, a ukupni gubici visoki, prioritet treba da bude unapređenje administracije i merenja. Sa druge strane, ukoliko su realni gubici visoki, prioritet predstavljaju sanacija mreže i upravljanje pritiskom.

3. Metodologija

Metodologija kombinuje dokumentacionu analizu, pri čemu su kao polazna osnova korišćeni dugoročni operativni podaci o ulazu sirove vode i fakturisanog količini prečišćene vode. Ovi podaci definišu opšti nivo ukupnih gubitaka. Međutim, samo godišnji podaci ne mogu identifikovati fizičke gubitke u distributivnoj mreži. Zbog toga su korišćena dodatna terenska merenja protoka i pritiska radi procene realnih gubitaka.

Sistem je podeljen na hidraulički značajne celine, posebno na nisku i visoku zonu snabdevanja. Ovakva podela je neophodna jer se pritisak, potrošnja i rad rezervoara razlikuju između zona. Ukoliko bi se sistem analizirao kao jedinstvena celina, značajne lokalne razlike mogle bi ostati prikrivene. Zonski pristup omogućava interpretaciju protoka u skladu sa konkretnim hidrauličkim uslovima.

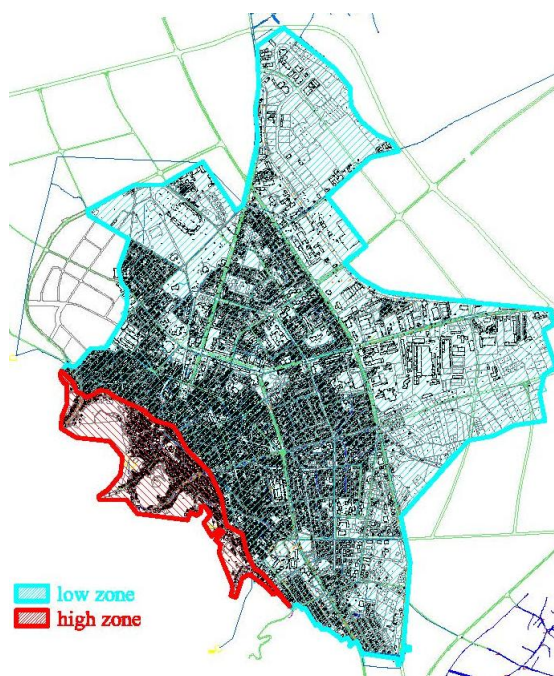
Merenja pritiska izvršena su na reprezentativnim tačkama u mreži. Podaci o pritisku su od ključnog značaja jer curenje direktno zavisi od pritiska u sistemu. Oni takođe omogućavaju proračun noćno-dnevnog faktora (NDF). U sistemima sa gravitacionim snabdevanjem ovaj faktor može se razlikovati u odnosu na pumpne sisteme, zbog čega su neophodna lokalna merenja. U ovoj studiji NDF je izračunat posebno za nisku i visoku zonu.

Redosled proračuna bio je sledeći: identifikacija minimalnog noćnog protoka, procena legitimne noćne potrošnje, proračun neto noćnog protoka, proračun dnevnih realnih gubitaka ($NNF \times NDF$), proračun godišnjih realnih gubitaka, procena prividnih gubitaka kao razlike između ukupnih i realnih gubitaka. Ova metodologija je odgovarajuća jer povezuje operativne podatke sa terenskim merenjima. Time se izbegava česta greška da se svi gubici tretiraju kao fizička curenja. Umesto toga,

omogućava realističnu dijagnozu sistema i pomaže u određivanju prioriteta mera koje mogu dati najveći efekat u smanjenju gubitaka vode.

4. Opis sistema vodosnabdevanja Strumice

Sistem vodosnabdevanja Strumice razvijan je i modernizovan tokom perioda dužeg od 50 godina. Sistem snabdeva približno 45.000 stanovnika i obuhvata gradsko područje, kao i okolna naseljena mesta. Vodosnabdevanje se zasniva na sirovoj vodi koja se transportuje iz akumulacije Turija do postrojenja za tretman vode, nakon čega se prečišćena voda distribuira kroz mrežu.



Slika 1. Šematski prikaz sistema vodosnabdevanja Strumice

Nakon tretmana, voda ulazi u distributivnu mrežu preko glavnih cevovoda, pri čemu sistem funkcioniše kroz nisku i visoku zonu snabdevanja. Ove zone su značajne za analizu, jer imaju različito hidrauličko ponašanje.

S obzirom na to da se sistem proširivao tokom vremena, trenutni vodni bilans ne odražava isključivo stanje distributivne mreže, već i uticaj merenja, fakturisanja, tehnološke potrošnje vode, operativne potrošnje i mogućih gubitaka tokom transporta ili tretmana vode. Upravo ova složenost predstavlja razlog zbog kojeg je neophodna posebna analiza realnih i prividnih gubitaka.

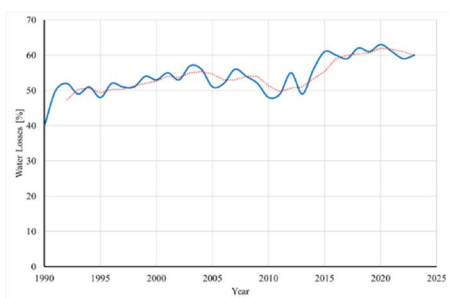
5. Eksperimentalna merenja i izvori podataka

U analizi su korišćene dve glavne grupe podataka. Prvu grupu čine dugoročni podaci o potrošnji vode i fakturisanju, uključujući nabavljenu sirovu vodu i fakturisanu prečišćenu vodu. Ovi podaci korišćeni su za utvrđivanje ukupnih gubitaka tokom vremena i definisanje opšteg trenda. Drugu grupu čine terenska merenja protoka i pritiska izvršena na odabranim tačkama sistema. Ova merenja korišćena su za procenu realnih gubitaka. Merenja protoka izvršena su na cevovodima DN300 mm i DN400 mm na izlazu iz filterske stanice, koji predstavljaju ulaz prečišćene vode u gradski sistem vodosnabdevanja. Dodatno merenje izvršeno je na cevovodu DN600 mm ispred rezervoara u niskoj zoni kapaciteta 5.000 m³. Ovo je bilo neophodno jer rad rezervoara utiče na smer protoka i oblik krive potrošnje.

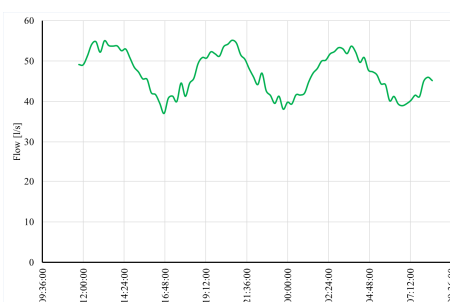
Za visoku zonu, merenja protoka korišćena su za definisanje krive potrošnje i nivoa noćnog protoka. Merenja pritiska u obe zone iskorišćena su za proračun vrednosti noćno-dnevnog faktora (NDF). Interval snimanja protoka bio je dovoljno kratak, približno 10 do 15 minuta, što je odgovarajuće za identifikaciju minimalnog noćnog protoka i dnevnih varijacija. Dizajn merenja je od posebnog značaja jer prikazuje stvarno hidrauličko ponašanje sistema, umesto oslanjanja isključivo na knjigovodstvene podatke. Time se obezbeđuje empirijska osnova za razlikovanje realnih i prividnih gubitaka. Ovo predstavlja glavnu prednost analize i razlog zbog kojeg rezultati mogu podržati donošenje praktičnih odluka u upravljanju sistemom.

6. Rezultati i grafička interpretacija

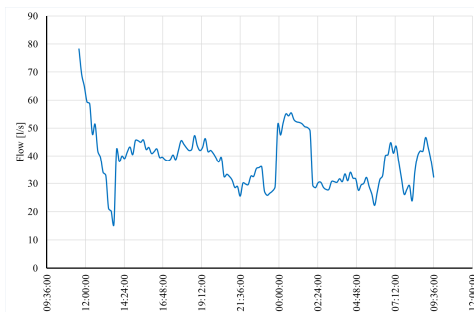
Rezultati su prikazani na dva nivoa. Prvi nivo predstavlja dugoročni trend ukupnih gubitaka, koji opisuje ukupne performanse sistema vodosnabdevanja. Drugi nivo obuhvata analizu zasnovanu na hidrauličkim merenjima, kojom se procenjuju realni gubici u distributivnoj mreži. Poređenje ova dva nivoa otkriva dominantnu ulogu prividnih gubitaka.



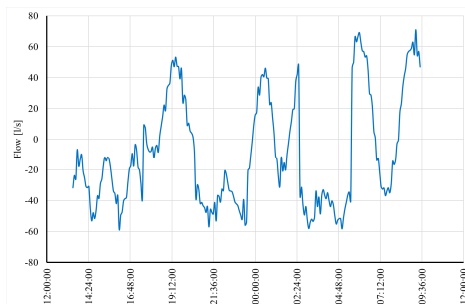
Slika 2. Godišnji gubici vode u periodu od 1990. do 2024. godine



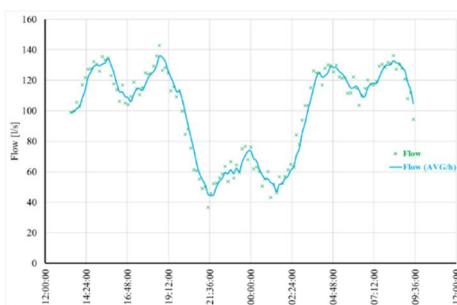
Slika 3. Izmereni protok u cevovodu DN300 – niska zona



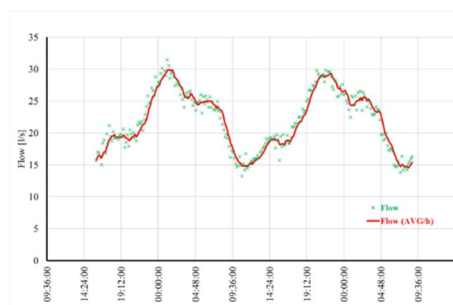
Slika 4. Izmereni protok u cevovodu DN400 – niska zona



Slika 5. Izmereni protok u cevovodu ispred rezervoara za nisku zonu



Slika 6. Izmereni protok u cevovodu DN400 – niska zona



Slika 7. Izmereni protok u glavnom cevovodu visoke zone

U nastavku je izvršen proračun dnevnog curenja, odnosno realnih gubitaka vode, uzimajući u obzir izmereni minimalni noćni protok i prikupljene podatke neophodne za procenu legitimne noćne potrošnje.

Tabela 1. Proračun dnevnog curenja (realnih gubitaka vode)

| Parametar | Niska zona | Visoka zona |
|---|------------|-------------|
| Minimalni noćni protok (MNF) [m ³ /h] | 75.43 | 49.66 |
| Ukupan protok tokom 24 časa [m ³ /dan] | 6065 | 1840 |
| Korisnici | | |
| Stanovnici | 28488 | 7000 |
| Pravna lica | 1425 | 25 |
| Proračun legitimne noćne potrošnje (LNU) | | |
| Stanovnici* [m ³ /h] | 17.01 | 4.20 |
| Pravna lica [m ³ /h] | 10.50 | 1.50 |
| Neto noćni protok (NNF) [m ³ /h] | 47.92 | 43.96 |

| Parametar | Niska zona | Visoka zona |
|--|------------|-------------|
| NDF (Night Day Factor) | 22.58 | 23.6 |
| Dnevno curenje: $NNF \times NDF$ [m ³ /dan] | 1095 | 1037 |
| Godišnje curenje [m ³ /god] | 399765 | 378505 |

*0.6l/PE/h prema iskustvenim vrednostima za zemlje Balkana i šireg regiona

Tabela 2. Pregled proračunatih realnih i prividnih gubitaka

| Rezultat | Niska zona | Visoka zona | Ukupno |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Dnevni realni gubici | 1095 m ³ /day | 1037 m ³ /day | 2132 m ³ /day |
| Godišnji realni gubici | 399,765 m ³ /year | 378,505 m ³ /year | 778,180 m ³ /year |
| Učešće u dnevnom ulazu u sistem | - | - | 26.97% |
| Učešće u ukupnom godišnjem ulazu | - | - | 16% |
| NDF | 22.58 | 23.6 | Koristi se za konverziju MNF |
| Prividni gubici | - | - | Približno 39–40% |

Na osnovu sprovedene analize, ukupni realni gubici vode procenjeni su na 2132 m³/dan, što odgovara približno 26,97% dnevnog ulaza vode u sistem. Na godišnjem nivou, realni gubici iznose 778.180 m³/god, što predstavlja približno 16% ukupne ulazne vode. Ove vrednosti ukazuju da je fizičko stanje mreže relativno zadovoljavajuće u poređenju sa ukupnim nivoom gubitaka. Ukupni godišnji gubici za analiziranu godinu dostižu približno 56%. Ukoliko realni gubici iznose oko 16%, tada prividni gubici čine približno 39–40% ulaza u sistem. Ovo predstavlja centralni dijagnostički rezultat rada. Rezultati pokazuju da najveći potencijal za unapređenje postoji u sledećim oblastima:

- merenje
- naplata
- upravljanje korisničkim podacima
- kontrola neovlašćene potrošnje

7. Analiza rezultata

Analiza rezultata mora započeti razmatranjem razlike između ukupnih i realnih gubitaka. Ukupni gubici su visoki i ukazuju na ozbiljan problem u funkcionisanju sistema. Međutim, izmereni i proračunati realni gubici znatno su niži. To znači da distributivna mreža nije jedini, a verovatno ni glavni izvor neefikasnosti sistema. Dominantan problem predstavlja komponenta prividnih gubitaka.

Prividni gubici su često manje vidljivi od fizičkih curenja, jer nema pojave vode na površini niti kvarova koji zahtevaju sanaciju. Ipak, oni imaju direktan finansijski uticaj, pošto se voda isporučuje, ali se ne fakturiše pravilno. U sistemu Strumice prividni gubici procenjuju se na približno 39–40% ulazne vode. Ova vrednost je suviše visoka da bi se tretirala kao sekundarni problem i zbog toga treba da predstavlja prvi prioritet u strategiji smanjenja gubitaka.

Uzroci visokih prividnih gubitaka mogu uključivati netačne korisničke vodomere, zastarele vodomere koji ne registruju male protoke, nedovoljnu kalibraciju, kašnjenje u zameni vodometra, nepravilno očitavanje vodometra, greške u bazi podataka korisnika, ilegalne priključke, neregistrovanu potrošnju i greške u obradi podataka i naplati. Svaki od ovih uzroka zahteva institucionalne i operativne mere, a ne isključivo građevinske intervencije.

Realni gubici od približno 16% nisu zanemarljivi, ali su relativno prihvatljivi u odnosu na ukupan nivo gubitaka. Ovo ukazuje da upravljanje pritiskom, aktivna kontrola curenja i ubrzane sanacije kvarova treba da budu kontinuirano primenjivani, ali ne bi trebalo da apsorbuju sve investicione resurse. Potrebna je uravnotežena strategija. Preduzeće treba da unapredi vodni bilans i sistem naplate, uz istovremeni nastavak kontrole fizičkih gubitaka. Rezultati takođe pokazuju zbog čega su merenja od suštinskog značaja. Bez merenja protoka i pritiska, preduzeće bi moglo samo da konstatuje da su gubici visoki, ali ne bi moglo da utvrdi da li pravilno rešenje predstavlja zamena cevovoda, upravljanje pritiskom, zamena vodometra, revizija sistema naplate ili otkrivanje ilegalnih priključaka. Pristup zasnovan na merenjima transformiše opšti problem u skup konkretnih i ciljanih mera.

8. Zaključci

Proširena analiza potvrđuje da su gubici vode u sistemu Strumice visoki kada se izražavaju kao ukupni gubici. Dugoročni podaci pokazuju vrednosti između 46% i 62%, dok analizirana vrednost iznosi približno 56%. Ove vrednosti su kritične i zahtevaju sistematsku intervenciju. Međutim, terenska merenja pokazuju da realni gubici iznose približno 2132 m³/dan, odnosno 778.180 m³/god, što predstavlja oko 16% ukupnog ulaza vode u sistem. Ovo ukazuje da je fizičko stanje mreže relativno prihvatljivo u odnosu na ukupan nivo gubitaka. Glavni problem nije isključivo infrastruktura.

Razlika između ukupnih i realnih gubitaka pokazuje da su prividni gubici dominantna komponenta sistema (~39–40%). Oni obuhvataju:

- netačnosti u merenju
- greške u naplati
- neovlašćenu potrošnju

- neregistrovanu upotrebu vode
Najefikasnija strategija smanjenja gubitaka treba da bude usmerena na:
- unapređenje sistema merenja
- kontrolu naplate
- sređivanje i reviziju baze korisnika
- otkrivanje ilegalnih priključaka

Analiza naglašava značaj kombinovanja metodologije IWA sa terenskim merenjima. Samo godišnji podaci nisu dovoljni za donošenje pouzdanih odluka. Merenja protoka i pritiska, posebno analiza noćnog protoka, omogućavaju pravilnu procenu stanja sistema i sprečavaju donošenje pogrešnih investicionih odluka.

9. Literatura

- [1] AWWA. *Computer Modeling of Water Distribution Systems Manual of Water Supply Practices M32*. [ed.] American Water Works Association, Denver, Colorado, USA, 2005.
- [2] Bristol Water, *Assessment of Economic Level of Leakage*. Bristol, United Kingdom, 2007.
- [3] Charalambous B, *Effective Pressure Management of District Metered Areas. Proceedings of Water Loss 2007*, Bucharest, Romania, 2007.
- [4] Cornell R. and Dunphy J, *Water Distribution System Asset Management Needs and Nice to Have. Journal of the American Water Works Association*. 2005.
- [5] Fanner P, *Assessing real water losses: a practical approach. Water 21 - Magazine of the International Water Association*, pp 49-50, 2004.
- [6] Fanner P. and Thornton J, *The Importance of Real Loss Component Analysis for Determining the Correct Intervention Strategy. Proceedings of the IWA Specialized Conference „Leakage2005“*, Halifax, Nova Scotia, Canada, 2005.
- [7] Farley M, *Leakage Management and Control*. WHO, 2001.
- [8] Farley M. and Trow S, *Losses in Water Distribution Networks*. IWA Publishing, 2003.
- [9] Heiman A, Meyer N. and Liemberger R, *Tailoring the Specifications for Pressure Reducing Valves. Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*, Cape Town, South Africa, 2009.
- [10] Kober E. and Gangl G, *New Monitoring Methodology for Water Distribution, Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*, Cape Town, South Africa, 2009
- [11] *Systems. Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*, Cape Town, South Africa, 2009.
- [12] Lambert A. O, *International Report: Water losses management and technique. Water Science and Technology: Water Supply*. pp. 1-20, 2002.

АНАЛИЗА ГУБИТАКА ВОДЕ У СИСТЕМУ ВОДОСНАБДИЈЕВАЊА БИЈЕЛОГ ПОЉА И МЈЕРЕ ЗА ЊИХОВО СМАЊЕЊЕ

ANALYSIS OF WATER LOSSES IN THE BIJELO POLJE WATER SUPPLY SYSTEM AND LOSS REDUCTION MEASURES

ЕСАД КАСУМОВИЋ¹
ИВАНА ЊИПРАНИЋ²
ГОРАН СЕКУЛИЋ³

Стручни рад
DOI: 10.5937/GV26077K

Резиме: Рад се бави анализом губитака воде у бодоводном систему Бијелог Поља и могућностима њиховог смањења. Због недостатка поузданих података о произведеној количини воде, анализа губитака извршена је на основу фактурисане потрошње и процјена Регулаторне агенције за енергетику и регулисане комуналне дјелатности. Анализа указује да на вриједност губитака значајан утицај има застарјела инфраструктура и неуједначени притисци. У раду су предложене мјере за унапређење управљања системом, укључујући успостављање основних зона билансирања, контролу притисака, активну детекцију цурења и увођење система даљинског надзора (SCADA), са циљем постепеног смањења губитака и повећања ефикасности водоводног система. **Кључне речи:** губици воде, водоводни систем, неприходована вода (NRW), DMA зоне, управљање притиском

Abstract: This paper analyses water losses in the Bijelo Polje water supply system and explores possibilities for their reduction. Due to the lack of reliable data on the total volume of produced water, the assessment of losses was carried out using billed water consumption data and hydraulic modelling of the system. The analysis indicates that ageing infrastructure, uneven pressure distribution and insufficient monitoring significantly contribute to water losses. The paper proposes several measures to improve system management, including the

¹ Есад Касумовић, Инг Инвест д.о.о. Подгорица, Црна Гора, esadk1998@gmail.com

² Ивана Њипранић, Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет, Џорџа Вашингтона бб, Подгорица, Црна Гора, ivanac@ucg.ac.me, ORCID 0000-0002-6081-3965

³ Горан Секулић, Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет, Џорџа Вашингтона бб, Подгорица, Црна Гора, goransek@ucg.ac.me, ORCID: 0000-0002-0530-4199

establishment of District Metered Areas, pressure management, active leakage detection and the introduction of a SCADA monitoring system, with the aim of gradually reducing losses and improving the overall efficiency of the water supply system

Key Words: water losses, water supply system, non-revenue water (NRW), district metered areas (DMA), pressure management

1. Увод

Контрола губитака у водоводним системима има кључан значај за економичност, поузданост и одрживост снабдијевања водом, посебно у условима ограничених водних ресурса, раста цијена енергената и све већих захтјева у погледу квалитета услуге [3]. Савремено управљање водоводним системима не подразумеијева само обезбјеђивање довољних количина воде за потрошаче, већ и смањење губитака на ниво који је технички и економски оправдан. У том смислу, губици воде представљају један од најважнијих показатеља стања дистрибутивне мреже, ефикасности управљања и укупне успјешности рада водоводног предузећа.

Губици воде могу бити физички, који настају услед цурења, кварова, преливања и других недостатака у мрежи, као и комерцијални, који су последица неисправних водомјера, грешака у евиденцији потрошње и нелегалних прикључака (AWWA, 2016). Оба типа губитака директно утичу на смањење прихода, повећање оперативних трошкова и смањење ефикасности система. Поред економског аспекта, висок ниво губитака утиче и на квалитет услуге, јер је често повезан са нестабилним притисцима, честим прекидима у снабдијевању и већим ризиком од контаминације воде у мрежи. Због тога контрола губитака није само финансијско, већ и техничко, еколошко и јавно-здравствено питање.

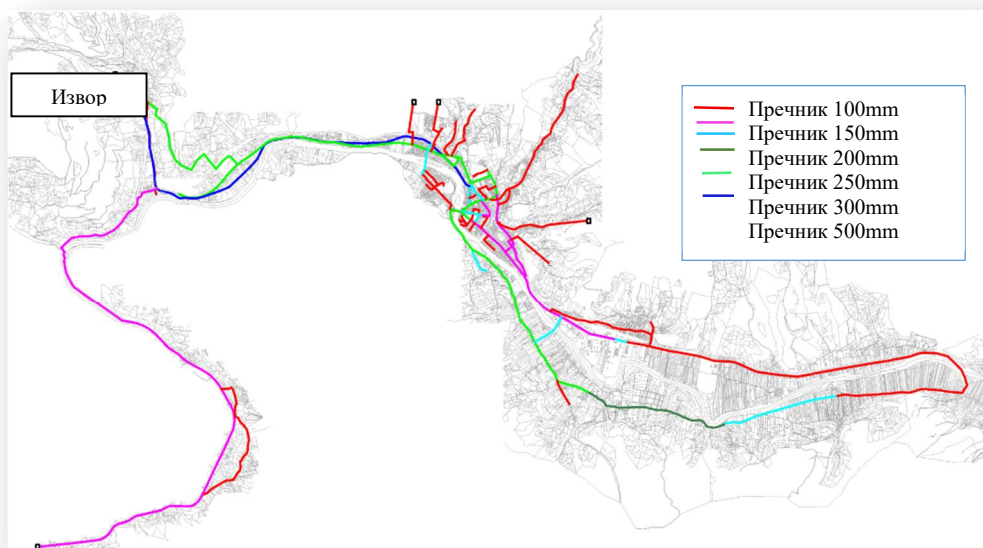
У систему снабдијевања водом Бијелог Поља овај проблем је додатно изражен због застарјеле дистрибутивне мреже, учесталих кварова и неуједначених притисака у различитим дијеловима система. Старост инфраструктуре, присуство дотрајалих цијеви и недовољно развијен систем мјерења значајно отежавају прецизно сагледавање стварног нивоа губитака и планирање одговарајућих мјера [7]. Посебан проблем представља чињеница да не постоји потпуно поуздан податак о укупно произведеној, односно потиснутој количини воде, што онемогућава израду потпуног водног биланса и прецизно утврђивање неприходоване воде.

Због тога је циљ овог рада процјена нивоа губитака у водоводном систему Бијелог Поља на основу доступних података о фактурисаној потрошњи, као и дефинисање мјера за њихово смањење. Посебан акценат ставља се на успостављање зона контроле и мјерења тј. основних зона билансирања (District

Metered Areas - DMAs), активну контролу цурења, управљање притисцима и примјену SCADA система, као основних алата савременог управљања дистрибутивним системима [3]. На тај начин рад има за циљ да, на основу расположивих података и хидрауличног моделирања, пружи основу за ефикасније управљање системом и дугорочно смањење губитака воде.

2. Основне карактеристике система водоснабдијевања Бијелог Поља

Извор пијаће воде за снабдијевање водом Бијелог Поља је ријека Бистрица, односно извориште Мајсторовина. Прекидна комора, са хлорном станицом, из које почиње гравитационо снабдијевање система, налази се у насељу Равна Ријека, на надморској висини од 686 m. Систем снабдијевања водом је пре-тежно гравитациони, уз додатну подршку шест пумпних станица које омогућавају дистрибуцију воде до резервоара у насељима смјештеним на вишим котима града. Из резервоара Медановићи 1 (716 m н.в.), Медановићи 2 (684,3 m н.в.), Џафића брдо (758,6 m н.в.), Липница (712,8 m н.в.), Недакуси и Лознице, вода се даље гравитационо дистрибуира ка насељима (слика 1).



Слика 1. Главни дистрибутивни систем

У дистрибутивној мрежи старог дијела система доминирају азбестно-цементне цијеве, док су у новијим и реконструисаним дјеловима мреже заступљене углавном полиетиленске цијеве високе густине (ПЕНД) цијеве.

Већи дио мреже стар је између 50 и 60 година, што указује на изражен степен дотрајалости и повећан ризик од честих кварова и губитака воде [1]. У градском језгру притисци у мрежи крећу се углавном између 5 и 6 бара, док у нижим дјеловима града достижу и до 10 бара. Насупрот томе, на вишим kotaма система притисци су недовољни, што отежава стабилно снабдијевање, а према информацијама које имамо и од грађана и од запослених у предузећу које управља системом, управо су ти дјелови града међу најпогођенијима када је ријеч о слабом дотоку и честим поремећајима у водоснабдијевању. Фактурисана потрошња воде у 2024. години, приказана је у табели 1.

Табела 1. Фактурисана потрошња воде у 2024. години (подаци из ЈП Водовод Бистрица, Бијело Поље)

| Мјесец | Фактурисана потрошња воде (m ³) |
|-----------|---|
| Јануар | 145.834,87 |
| Фебруар | 125.215,82 |
| Март | 134.737,38 |
| Април | 131.552,71 |
| Мај | 142.713,45 |
| Јун | 157.093,70 |
| Јул | 169.355,88 |
| Август | 162.812,51 |
| Септембар | 171.333,72 |
| Октобар | 152.449,94 |
| Новембар | 143.950,94 |
| Децембар | 126.685,01 |

Као један од највећих недостатака система издваја се чињеница да тренутно не постоји мјерење количине произведене, односно потиснуте воде. Такође, не постоје ни мјерења и анализе минималног ноћног протока у систему. То представља озбиљно ограничење, јер није могуће прецизно одредити проценат неприходоване воде (Non-Revenue Water - NRW), нити извршити потпун хидраулички и економски увид у губитке у систему. Недостатак ових података представља основни проблем за анализу система и планирање ефикасних мјера за смањење губитака.

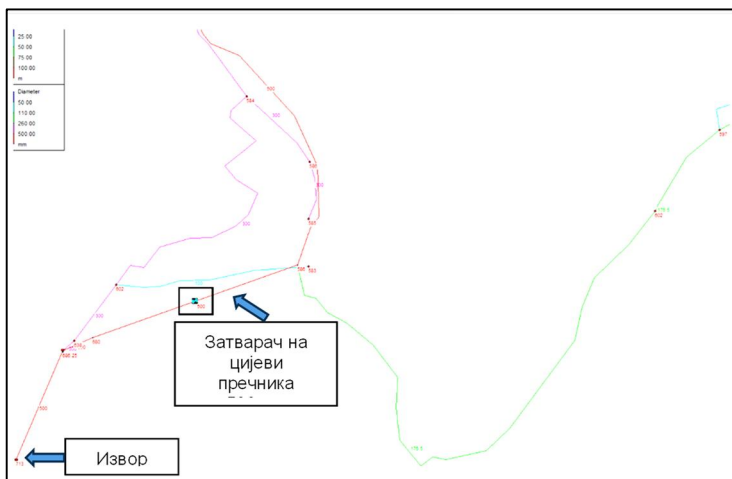
3. Процјена губитака и калибрација хидрауличког модела

У систему тренутно не постоји мјерење протока на главним излазним цјевоводима из прекидне коморе, нити на главним цјевоводима пречника 300

mm и 500 mm. Као оријентациони показатељ коришћена је процјена Регулаторне агенције за енергетику и регулисане комуналне дјелатности (REGAGEN), према којој укупни губици у систему износе приближно 60% од укупно произведене воде (<https://regagen.co.me>).

Систем је моделиран у програму EPANET (U.S. Environmental Protection Agency). Основни улазни податак представљала је фактурисана потрошња воде. На основу података за 2024. годину израчуната је просјечна мјесечна фактурисана потрошња од приближно 146.000 m³ на нивоу цијелог система.

Полазећи од претпоставке да фактурисана потрошња представља око 40% укупне произведене воде, процјењена укупна количина воде која улази у систем износи приближно 366.000 m³. Ова количина воде распоређена је у хидрауличком моделу кроз потрошњу у чворовима (у l/s), на основу просторне расподеле потрошача. Губици у систему симулирани су употребом функције „emitter“ у чворовима, при чему су њихове вриједности одређене на основу притисака у мрежи, старости инфраструктуре и искуствених процјена о интензитету цурења [6]. Једини елемент за регулацију притиска у систему представља вентил на цјевоводу пречника 500 mm (слика 2), који у пракси функционише као главни регулатор притиска у систему.



Слика 2. Положај затварача за регулацију притиска

Према расположивим подацима из Водовода „Бистрица“, притисак у централном дијелу града износи приближно 5 до 6 бара, те је вентил у моделу подешен тако да симулира исти ниво притиска у контролној тачки. Тако дефинисан хидраулички модел може послужити као основа за даљу анализу и планирање мјера управљања системом, укључујући формирање основних зона

билансирања, постављање мјерача протока и оптимизацију управљања притисцима.

Додатно, у моделу је имплементирана часовна неравномјерност потрошње. Дијаграм часовне потрошње формиран је на основу расположивих података о дневној динамици потрошње у систему, типичних образаца потрошње у урбаним водоводним системима, као и инжењерских процјена за систем сличних карактеристика.

На основу тако дефинисаног обрасца потрошње у моделу се у сату максималне потрошње (16 h) јављају негативни притисци у појединим дијеловима мреже. Ово одговара реалним условима на терену, гдје у тим периодима долази до проблема у снабдијевању водом, што додатно потврђује адекватност усвојеног модела.

4. Изазови у анализи потрошње и утврђивању губитака воде

Анализа фактурисане потрошње не показује изразито наглашене сезонске варијације, што може бити резултат више међусобно повезаних фактора које без комплетног водног биланса није могуће прецизно раздвојити.

Физички губици повезани су са старошћу дистрибутивне мреже, која у великој мјери износи 50–60 година, као и са присуством азбестно-цементних цијеви и зона високог притиска (8–10 bar). Ови услови погодују настанку цурења и честих кварова, због чега се значајан дио воде губи прије него што стигне до крајњих корисника.

Привидни губици могу бити посљедица нетачних мјерења водомјера, грешака у евиденцији или присуства нелегалних прикључака. У таквим условима дио стварне потрошње није регистрован нити фактурисан, што додатно отежава реалну процјену потрошње и губитака. Климатски и социоекономски фактори такође могу утицати на варијације потрошње воде, посебно током љетњих мјесеци када се повећавају потребе за водом. Ипак, стабилна индустријска потрошња утиче на релативно уједначену укупну потрошњу током године.

Кључно ограничење анализе представља чињеница да у систему не постоји поуздано мјерење укупно произведене воде, што онемогућава израду потпуног водног биланса и прецизно одређивање процента неприходоване воде (NRW).

5. Приоритетна мјерења и организационе мјере

У водоводном систему Бијелог Поља неопходно је прво спровести мјере које омогућавају добијање основних података о функционисању система, уз

минимална финансијска улагања. Такве мјере представљају основу за касније техничке интервенције и системско управљање губицима воде.

- Уградња главних мјерача протока

Постављање поузданог мјерача протока на мјесту улаза воде у дистрибутивни систем представља основни предуслов за анализу губитака. Овај податак омогућава израду водног биланса и израчунавање неприходоване воде (NRW). Без мјерења укупне количине воде која улази у систем није могуће прецизно утврдити ниво губитака нити раздвојити физичке и привидне губитке.

У постојећем систему вода из прекидне коморе улази у дистрибутивну мрежу преко двије главне цијеви, пречника 500 и 300 mm. У складу с тим, неопходно је предвидјети уградњу мјерача протока на обје цијеви, и то непосредно након изласка из прекидне коморе. Мјерење протока на наведеним мјестима би омогућило праћење количине воде која улази у систем.

- Зонирање система

Подјела дистрибутивне мреже на мање хидрауличке зоне (District Metered Areas – DMA) омогућава локализацију губитака и ефикасније управљање системом. У оквиру сваке зоне прати се улазни проток и ноћна минимална потрошња, што представља поуздан индикатор реалних губитака [5]. На основу анализе хидрауличких карактеристика система, као и топографије терена, предлажу се следеће зоне:

Зона 1 – Насеље Никољац (835 прикључака);

Зона 2 – Горњи дио града, Бабића бријег, Расадник (око 900 прикључака);

Зона 3 – Љешница (600 прикључака);

Зона 4 – Центар града (1300 прикључака);

Зона 5 – Горњи дио града (300 прикључака);

Зона 6 – Насеље Прушка (860 прикључака);

Зона 7 – Насеље Ресник (1200 прикључака);

Зона 8 – Индустијска зона и Недакуси (700 прикључака);

Зона 9 – Насеља Поткрајци, Сутиван, Његњево, Олуја, Уневине, Расово, Стројтаница, Губавач (1.500 прикључака).

- Мјерење притиска и протока

Постављање мјерача притиска и протока у критичним тачкама система омогућава бољу контролу рада мреже. Управљање притисцима има директан утицај на смањење цурења и броја кварова у систему.

- Евиденција кварова

Успостављање базе података о кваровима и интервенцијама омогућава систематско праћење стања мреже. Повезивањем ових података са географским информационим системом (Geographic Information System - GIS) могуће је идентификовати критичне дионице мреже и дефинисати приоритете реконструкције.

6. Програм смањења губитака воде

Смањење губитака у водоводном систему представља дугорочан процес који захтијева систематски приступ и постепену имплементацију различитих техничких и организационих мјера. На основу резултата анализе и постојећег стања система, програм смањења губитака може се подијелити на више фаза, у зависности од временског оквира и сложености активности. У том смислу, предложене мјере груписане су на краткорочне, средњорочне и дугорочне активности, чији је циљ постепено унапређење управљања системом и смањење губитака воде.

6.1. Краткорочне мјере (0–6 мјесеци)

У почетној фази потребно је обезбиједити основне податке неопходне за анализу система и управљање губицима. Кључне активности су:

- уградња и калибрација главних мјерача протока
- успостављање базе података о кваровима
- провјера и постепена замјена дотрајалих водомјера
- идентификација и легализација нелегалних прикључака

Ове активности омогућавају успостављање основног система праћења рада водоводне мреже.

6.2. Средњорочне мјере (6–24 мјесеца)

Након успостављања основног система мјерења приступа се активном управљању губицима воде.

- Формирање зона

Подјелом мреже на контролисане зоне омогућава се праћење протока и локализација дијелова система са повећаним губицима.

- Управљање притисцима

Оптимизација притиска у мрежи, укључујући постављање регулатора притиска, може значајно смањити интензитет цурења и број кварова.

- Активна детекција цурења

Систематско тражење цурења коришћењем акустичних метода и анализом ноћног протока омогућава рано откривање скривених губитака.

6.3. Дугорочне мјере (2–5 година)

Дугорочна стратегија усмјерена је на модернизацију управљања системом и постепену реконструкцију инфраструктуре.

- Увођење SCADA система

SCADA систем омогућава континуирано праћење протока, притисака и рада пумпи у реалном времену, што омогућава бржу реакцију на кварове и ефикасније управљање системом.

- Планирана реконструкција мреже

Инвестиције треба усмјерити на најкритичније дионице мреже, односно сегменте са највећим бројем кварова и губитака воде.

7. Закључак

Анализа фактурисане потрошње омогућава уочавање основних трендова у потрошњи воде, али без поузданог мјерења укупне количине воде која улази у систем није могуће прецизно одредити ниво губитака. Увођење поузданог система мјерења представља основни предуслов за израду водног биланса и управљање неприходованом водом.

Након успостављања водног биланса могу се примјењивати савремене методе управљања губицима, као што су DMA зоне, управљање притисцима и активна детекција цурења. Смањење губитака воде представља дугорочан процес који захтијева континуирано праћење система, анализу података и постепена улагања у модернизацију инфраструктуре.

8. Литература

- [1] Alegre, H., Baptista, J., Cabrera, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., & Parena, R. *Performance Indicators for Water Supply Services*. IWA Publishing, 2006.
- [2] American Water Works Association (AWWA). *Water Audits and Loss Control Programs (Manual M36)*. Denver: AWWA, 2016.
- [3] Farley M. & Trow S. *Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*. IWA Publishing, 2003.
- [4] International Water Association (IWA). *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*. IWA Publishing, 2007.
- [5] Lambert A. & Hirner W. *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*. International Water Association, 2000.
- [6] Rossman L. A. *EPANET 2 Users Manual*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, 2000.

- [7] Taha AL-Washali S, Sharma S, Lupoja R, AL-Nozaily F, Haidera M. & Kennedy M. Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104515. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104515>, 2020.
- [8] Regulatory Agency for Energy and Regulated Utilities (REGAGEN). (2026). Available at: <https://regagen.co.me> (accessed March 10, 2026).

UNAPREĐENJE KONTROLE GUBITAKA U VDS TREBINJE

IMPROVING NON-REVENUE WATER (NRW) MANAGEMENT AT WATER SUPPLY SYSTEM TREBINJE

OBRAD ŠARČEVIĆ¹
BRANISLAV STEVANOVIĆ²
MIODRAG BABIĆ³
NIKOLINA MAJDANAC⁴

Stručni rad
DOI: 10.5937/GV26087S

Rezime: Vodovodni sistemi (VDS) predstavljaju složene tehničke sisteme čije efikasno funkcionisanje direktno zavisi od kvaliteta raspoloživih podataka i preciznosti alata koji se koriste za njihovo upravljanje. U vodovodnom sistemu Trebinje, kao i u većini vodovodnih sistema u regionu, gubici vode predstavljaju jedan od ključnih operativnih i ekonomskih problema te se ulažu konstantni naponi da se isti smanje. Međutim, sama evidencija gubitaka nije dovoljna, njihova suštinska kontrola i smanjenje mogući su jedino uz sistematski pristup koji se oslanja na dva temeljna preduslova: prvi je uspostavljanje pouzdane baze podataka i drugi izrada hidrauličko-matematičkog modela sistema.

Ključne reči: vodovodni sistemi, gubici, baze podataka, hidrauličko modeliranje

Abstract: Water Supply Systems (WSS) are complex technical networks whose operational efficiency directly depends on the quality of available data and the precision of the management tools employed. In the Trebinje Water Supply System, as in most regional networks, water losses represent a critical operational and economic challenge, necessitating continuous reduction efforts. However, merely recording losses is insufficient; effective control and reduction can only be achieved through a systematic approach based on two

¹ Obrad Šarčević, Zavod za vodoprivredu d.o.o, Miloša Obilića 51, Bijeljina, Bosna i Hercegovina, o.sarcevic@zavodzavodoprivredu.com

² Branislav Stevanović, Zavod za vodoprivredu d.o.o, Miloša Obilića 51, Bijeljina, Bosna i Hercegovina, bstevanovic@zavodzavodoprivredu.com

³ Miodrag Babić, Hydro Consulting s.p, Vidovdanska 2, Gradiška, Bosna i Hercegovina miodragbabiev@gmail.com

⁴ Nikolina Majdanac, AquaSave s.p, Branka Majstorovića 3, Banja Luka, Bosna i Hercegovina, majdanacnikolina@gmail.com

fundamental prerequisites: the establishment of a reliable database and the development of a hydraulic-mathematical model of the system.

Key Words: Water Supply Systems, Water Losses, Databases, Hydraulic Modeling.

1. Uvod

Vodovodni sistem Trebinja razvijan je kroz duži vremenski period, sa brojnim proširenjima, rekonstrukcijama i izmjenama koje su se odvijale u različitim fazama. Takav razvoj doveo je do toga da su podaci o mreži, objektima i korisnicima bili raspoređeni u više odvojenih sistema i formata, što je otežavalo njihovu svakodnevnu upotrebu, ali i ozbiljniju analizu sistema.

U tehničkom smislu, mreža je bila relativno dobro dokumentovana kroz CAD crteže i projektnu dokumentaciju. Međutim, iako je takav pristup bio pogodan za projektovanje i grafički prikaz infrastrukture, on nije omogućavao dalju obradu podataka u smislu prostorne analize, povezivanja sa potrošnjom niti korištenja u hidrauličkom modeliranju.

Sa druge strane, podaci o potrošačima, vodomjerima i fakturisanoj vodi vođeni su kroz odvojene evidencije, bez direktne veze sa fizičkom infrastrukturom. Ovakva organizacija podataka ograničavala je mogućnost preciznog definisanja zona snabdijevanja, praćenja potrošnje po dijelovima sistema i utvrđivanja gubitaka vode.

Upravo iz tih razloga, unapređenje baze podataka i uspostavljanje GIS sistema predstavljali su jedan od ključnih koraka u okviru projekta smanjenja gubitaka. Paralelno sa tim, razvijan je i hidraulički model, koji se oslanja na kvalitet, strukturu i tačnost podataka iz baze.

Cilj rada je da prikaže na koji način su unaprijeđene baze podataka i kako takav pristup omogućava bolje razumijevanje sistema, identifikaciju problema i postavljanje osnove za sistematsko smanjenje gubitaka vode.

S obzirom na to da kvalitet podataka direktno utiče na sve dalje analize sistema, prvi korak u okviru projekta bio je usmjeren na organizaciju i unapređenje baze podataka, što je predstavljalo osnovu za sve ostale aktivnosti, uključujući i izradu hidrauličkog modela.

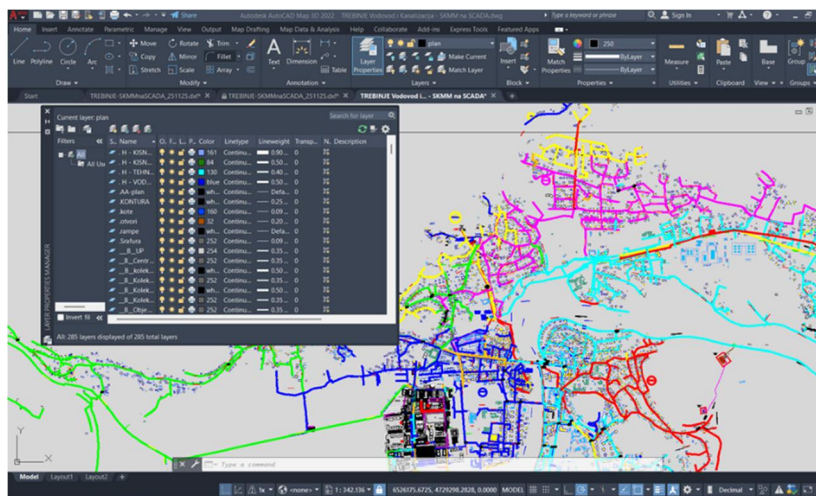
2. Baze podataka i GIS platforma

2.1. Početno stanje baza podataka

U početnoj fazi projekta, podaci o vodovodnom sistemu Trebinja bili su raspoređeni u više različitih formata i sistema, bez jedinstvene strukture i međusobne povezanosti. Prostorni podaci o mreži dominantno su postojali u CAD okruženju, u vidu tehničkih crteža koji su sadržavali značajan nivo detalja, ali nisu bili prilagođeni za analitičku obradu, topološku provjeru niti integraciju sa drugim bazama podataka.

Pored toga, atributivni podaci o korisnicima, potrošnji, vodomjerima i drugim elementima sistema vođeni su kroz odvojene evidencije, najčešće u tabelarnim formatima, bez direktne veze sa prostornim prikazom mreže. Ovakva organizacija podataka onemogućavala je efikasnu analizu sistema, posebno u kontekstu identifikacije i upravljanja gubicima vode.

Iako je postojeća dokumentacija bila relativno kvalitetna sa tehničkog aspekta, nedostatak standardizacije, relacija između podataka i jedinstvenog informacionog sistema predstavljao je značajno ograničenje za dalje unapređenje upravljanja vodovodnom infrastrukturom.



Slika 1. Prikaz baze podataka u CAD okruženju

2.2. Značaj baza podataka za upravljanje gubicima

Efikasno i sistematično upravljanje gubicima u vodovodnim sistemima zahtijeva uspostavljanje pouzdane i integrisane baze podataka koja objedinjuje prostorne, tehničke i komercijalne informacije. Bez takve baze nije moguće izvršiti precizno bilansiranje vode, definisati zone snabdijevanja, niti povezati potrošnju sa konkretnim dijelovima mreže.

Poseban značaj baze podataka ogleda se u mogućnosti povezivanja tehničkih karakteristika mreže sa podacima o potrošnji i mjerenjima, čime se stvara osnova za identifikaciju neprihodovane vode i analizu uzroka gubitaka. Takođe, kvalitetna baza predstavlja ključni preduslov za izradu i pouzdanu kalibraciju hidrauličkog modela.

U tom smislu, unapređenje baze podataka nije samo tehnički korak, već osnov za sistematičan pristup smanjenju gubitaka vode.

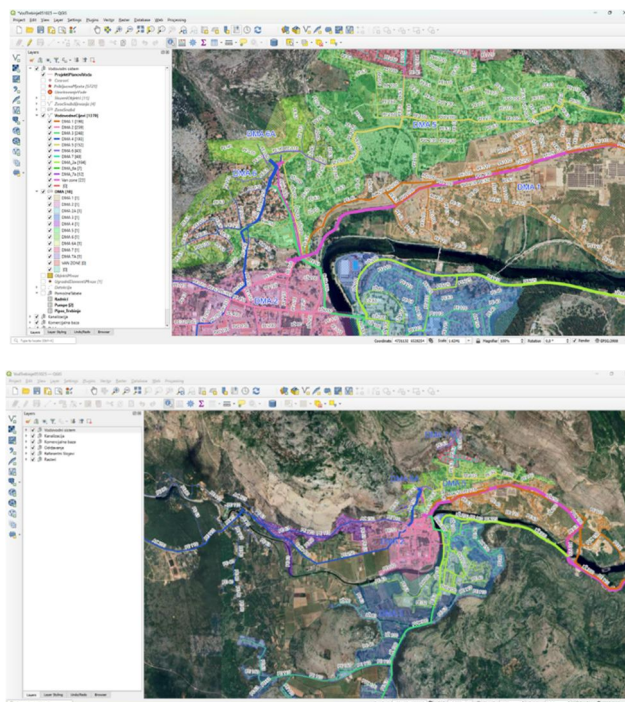
2.3. Koncept unapređenja baza podataka

U okviru projekta izvršeno je unapređenje postojećih baza kroz uspostavljanje centralizovanog GIS sistema, koji omogućava objedinjavanje svih relevantnih podataka u jedinstveno informatičko okruženje. Osnovni pristup zasnivao se na standardizaciji strukture podataka, definisanju jasnih tipova objekata i njihovih atributa, kao i uspostavljanju relacija između različitih skupova podataka. Posebna pažnja posvećena je organizaciji podataka na način koji omogućava jednostavno održavanje, ažuriranje i proširenje baze u budućnosti, bez potrebe za promjenom osnovne strukture sistema.

2.4. Arhitektura GIS baze podataka

Razvijena GIS baza podataka organizovana je u više tematskih cjelina koje obuhvataju tehnički, komercijalni i operativni aspekt sistema vodosnabdijevanja.

Osnovne cjeline baze obuhvataju tehničku bazu podataka, komercijalnu bazu, operativne evidencije i referentne prostorne slojeve. Struktura baze postavljena je tako da podržava topološku ispravnost mreže, konzistentnost atributnih podataka, efikasno pretraživanje i filtriranje, kao i višekorisnički rad u realnom vremenu.

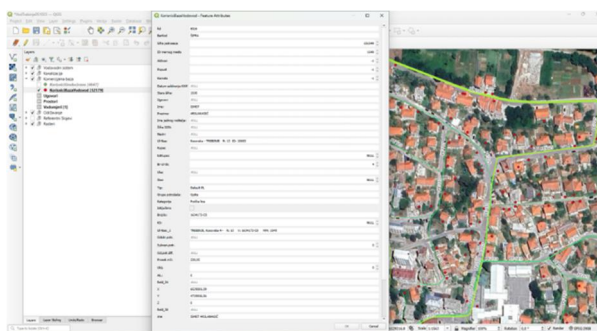


Slika 2. Prikaz GIS pregleda slojeva

2.5. Povezivanje tehničke i komercijalne baze podataka

Jedan od ključnih koraka u unapređenju sistema bilo je povezivanje tehničke baze podataka sa komercijalnim evidencijama. Ova integracija omogućava direktnu vezu između elemenata mreže i korisnika, odnosno između fizičke infrastrukture i potrošnje.

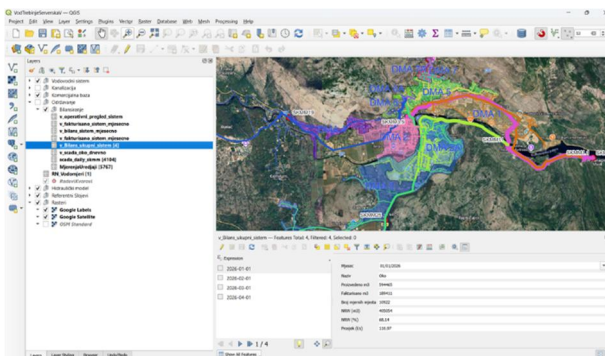
Na ovaj način omogućeno je prostorno pozicioniranje korisnika, povezivanje potrošnje sa mrežom i analiza po zonama. Time se stvaraju preduslovi za preciznije praćenje potrošnje, lakše uočavanje odstupanja i kvalitetnije bilansiranje vode.



Slika 3. GIS baza korisnika

2.6. GIS kao alat za bilansiranje vode

Integrirana baza omogućava formiranje bilansa vode na različitim nivoima. Kombinacijom podataka iz tehničke i komercijalne baze, kao i mjerenja sa SCADA sistema, omogućeno je određivanje isporučene i fakturisane vode, kao i analiza gubitaka. Na ovaj način GIS platforma postaje operativni alat za identifikaciju zona sa većim odstupanjima između ulaza i naplate, što je posebno značajno za DMA zone i ostala kontrolisana područja.



Slika 4. GIS vodni bilans

2.7. Veza GIS baze i hidrauličkog modela

GIS baza predstavlja osnovni izvor podataka za hidraulički model. Standardizovana struktura omogućava direktnu primjenu bez dodatne obrade, čime se povećava pouzdanost modela i smanjuje mogućnost grešaka pri unosu podataka.

Na ovaj način GIS i hidraulički model funkcionišu kao međusobno povezani sistemi, pri čemu baza obezbjeđuje prostorne i atributne podatke, a model omogućava njihovu tehničku analizu.

2.8. Operativna upotreba GIS sistema

GIS platforma može da se koristi i u operativnom radu kroz evidenciju radova, intervencija i aktivnosti na mreži. Time bi baza postala aktivan alat u upravljanju sistemom, a ne samo evidencioni repozitorijum. Ovakav pristup omogućava pregled realizovanih intervencija, bolje planiranje održavanja i povezivanje terenskih aktivnosti sa konkretnim lokacijama u mreži. Unosom izvršenih intervencija stvara se dobra osnova za praćenje dešavanja na vodovodnom sistemu te za kreiranje pregleda žarišta u kojima se često pojavljuju kvarovi.

3. Hidraulički model

3.1. Uvodna obrazloženja

Procesi projektovanja i upravljanja u vodovodnim sistemima dobili su novu dimenziju sa upotrebom simulacionih modela, koji predstavljaju matematičku predstavu realnog fizičkog sistema. Modeli se koriste za razumijevanje složenih procesa koji se dešavaju u vodovodnim sistemima i analizu ponašanja sistema u različitim operativnim, redovnim i vanrednim situacijama.

Ključno pitanje koje se postavlja prilikom izrade modela jeste koliko se pouzdano može predstaviti stvarni fizički sistem? Izlazni podaci iz hidrauličkih modela su vrijednosti veličina (najčešće protoka i pritiska) koje se dobijaju na osnovu zadatih ulaznih parametara kao što su prečnik, dužina i hrapavost cijevi, čvorne potrošnje, kote, nivoi u rezervoarima i režimi rada pumpi.

U toku izrade hidrauličkih modela vrši se analiza i sistematizacija svih ulaznih podataka pa se formira sređena baza podataka o svim elementima sistema.

Na kraju procesa izrade, model je realna predstava sistema onoliko koliko korisnik uspije da podesi ulazne parametre modela tako da svede na najmanju moguću mjeru odstupanje dobijenih rezultata simulacije od mjerenja na terenu pri tome uvažavajući granice fizički mogućih vrijednosti ulaznih parametara.

Prethodno navedeni proces se naziva kalibracija matematičkih modela. Pravilan izbor ulaznih podataka, uz razumijevanje dobijenih rezultata, je osnovni preduslov za kvalitetan proces kalibracije.

Pored ulaznih parametara, izbor mjernih mjesta ima veoma važnu ulogu u procesu kalibracije i upravljanja sistemom. Osnovni cilj prilikom pripreme plana mjerenja i izbora lokacija na kojima će se u sistemu prikupljati terenski podaci jeste da se, uz minimalne troškove mjerenja, dobiju podaci koji će dati najbolje rezultate kalibracije.

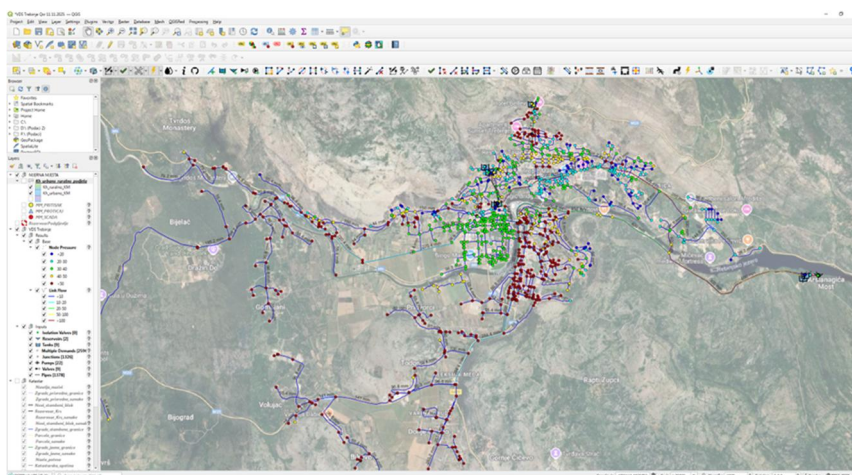
Hidraulički model predstavlja osnovni alat za analizu, planiranje i optimizaciju rada vodovodnog sistema. Cilj izrade modela je omogućiti:

- procjenu postojećih hidrauličkih uslova u mreži (pritisci, protoci, gubici),
- identifikaciju kritičnih zona (nizak/visok pritisak, uska grla, zastoji u snabdjevanju i drugo),
- podršku pri planiranju rekonstrukcija, proširenja i upravljanja sistemom.

3.2. Softversko okruženje

Za izradu hidrauličkog modela vodovoda Trebinje korišćen je kombinovani softverski pristup koji uključuje EPANET i QGISRed – savremene alate koji omogućavaju potpunu integraciju hidrauličkih proračuna sa prostornim (GIS) podacima (Slika 5).

EPANET je standardni alat za analizu protoka i pritiska u cjevovodnim mrežama pod pritiskom. Softver omogućava izvođenje statičkih i dinamičkih simulacija, analizu ponašanja rezervoara, pumpi, ventila i distribucije potrošnje u različitim vremenskim režimima. QGISRed predstavlja besplatni dodatak za QGIS platformu razvijen na Politehničkom fakultetu u Valensiji i služi za prostornu integraciju hidrauličkog modela EPANET-a sa GIS bazom podataka.



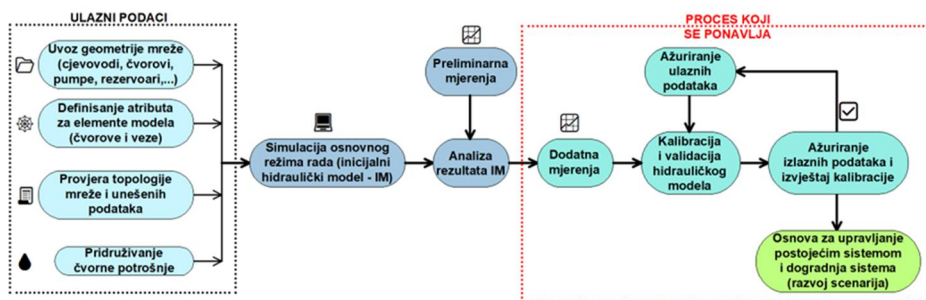
Slika 5. Prikaz dijela konfiguracije hidrauličkog modela VDS Trebinja u QGISredu

Kombinacijom ova dva alata ostvaruje se potpuna veza između prostorne baze podataka i hidrauličkog modela, što omogućava efikasno ažuriranje, vizualizaciju i interpretaciju rezultata u realnom prostoru.

3.3. Metodologija izrade modela

Metodologija izrade modela vodovodne mreže bazirana je na modularnom pristupu, koji obuhvata logičan slijed koraka od uvoza podataka do početnih simulacija. Proces je prikazan na dijagramu toka (slika 6) i obuhvata sljedeće faze:

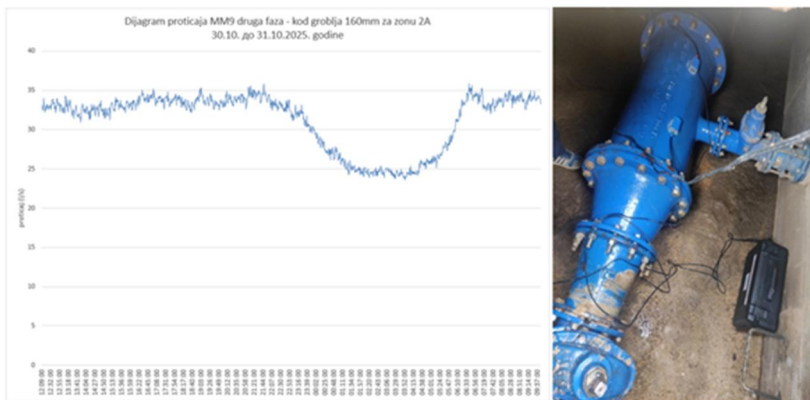
- Uvoz geometrije mreže iz baze podataka
- Definisane atributa za elemente modela (čvorove i veze)
- Provjera topologije mreže i unesenih podataka
- Pridruživanje potrošnje čvorovima
- Simulacija osnovnog režima rada – inicijalni hidraulički model
- Analiza dobijenih rezultata i izvještavanje
- Kalibracija i validacija hidrauličkog modela.



Slika 6. Prikaz metodologije izrade modela

3.4. Plan i program mjerenja hidrauličkih veličina

Za pouzdanu kalibraciju i evaluaciju hidrauličkog modela vodovodnog sistema neophodno je imati kvalitetne i reprezentativne podatke o radu sistema u različitim uslovima. Na ovaj način se osigurava da model precizno odražava stvarno stanje mreže, što omogućava pouzdanu analizu stabilnosti i identifikaciju uskih grla u sistemu. U vodovodnom sistemu Trebinja funkcioniše SCADA sistem koji omogućava kontinuirano praćenje ključnih hidrauličkih parametara, uključujući mjerenje protoka i pritiska na karakterističnim tačkama mreže, kao i mjerenje nivoa u rezervoarima (Slika 7). SCADA sistem omogućava centralizovano prikupljanje i pohranu podataka, što podržava statističke i tehničke analize, praćenje sezonskih varijacija potrošnje i pravovremeno otkrivanje kvarova u mreži. Redovno praćenje funkcionalnosti mjernih mjesta i periodična kalibracija senzora su neophodni za



Slika 8. Mjerenje proticaja na vodovodnom sistemu

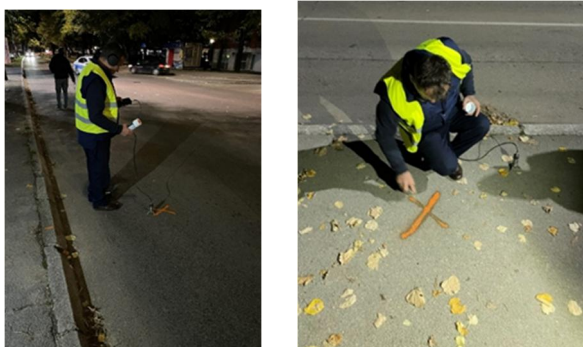
Logeri šuma protoka su postavljeni na definisanim dionicama radi kontinuiranog akustičnog nadgledanja cjevovoda i detekcije odstupanja u obrascima proticaja. Ispitivanja su trajala 24 sata po lokaciji, pri čemu logeri vrše korelaciju pojačanog šuma između parova uređaja, što omogućava identifikaciju dionica sa mogućim gubicima (slika 9). Logeri su sukcesivno premješteni na lokacije koje su, na osnovu hidrauličkog modela, rezultata mjerenja iz I i II faze, kao i iskustva stručne službe vodovoda, procijenjene kao potencijalno kritične. Ovakav pristup omogućio je precizno mapiranje kritičnih dijelova mreže i pouzdano praćenje minimalnih noćnih protoka. Prikupljeni podaci omogućili su identifikaciju akustičnih anomalija koje mogu ukazivati na prisustvo curenja ili drugih oblika fizičkih gubitaka. Nakon završetka mjerenja izvršena je analiza zapisa logera i izdvajanje lokacija sa povećanom vjerovatnoćom prisutnih gubitaka.



Slika 9. Detekcija gubitaka logerima šuma

Detaljna terenska ispitivanja lokacija identifikovanih kao potencijalna mjesta kvarova, kroz akustično praćenje, ispitana su geofonom (Slika 10), čime je omogućeno precizno lociranje stvarnih mjesta gubitaka. Ispitivanja su obuhvatila provjeru svih revizionih okana, spojeva i kritičnih dionica cjevovoda, kako bi se potvrdila prisutnost fizičkih curenja, kao i identifikacija eventualnih nelegalnih priključaka ili prikrivenih oštećenja instalacija. Ukupno je evidentirano 17 lokacija sa potencijalnim gubicima.

U cilju unapređenja rada vodovodnog sistema i jačanja kapaciteta tehničkog osoblja, sprovedena je sistematična obuka zaposlenih u vodovodnom preduzeću J.P. „Vodovod“ a.d. Trebinje, na temu mjerenja hidrauličkih veličina i korišćenja savremene mjerne opreme u distributivnoj mreži.



Slika 10. Detekcija geofonom

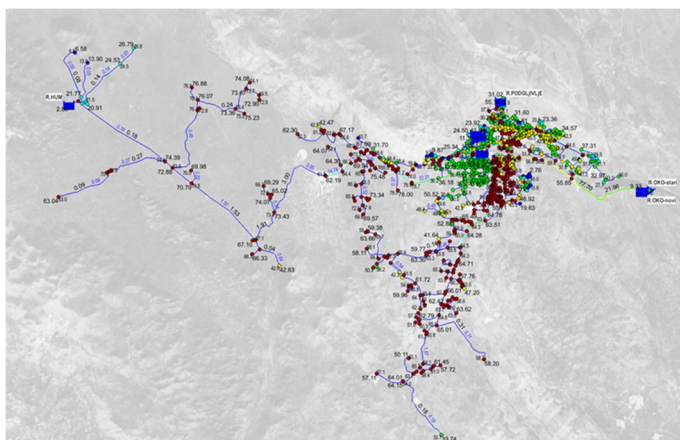
3.5. Inicijalni matematički hidraulički model

Formiranje inicijalnog matematičkog hidrauličkog modela i preliminarna mjerenja na ključnim tačkama vodovodnog sistema (kao reperna za određivanje odstupanja ključnih hidrauličkih parametara inicijalnog modela i mjerenih vrijednosti) veoma su važne aktivnost na razradi matematičkog modela. Na osnovu poređenja simulacija inicijalnog modela i preliminarnih mjerenja može se dati pouzdana ocjena kvaliteta ulaznih podataka (konfiguracija geometrije sistema – dispozicija, visinski odnosi, podaci o cjevovodima, podaci o ključnim objektima i hidromehaničkoj opremi i td., raspored potrošača i potrošnje-čvorna opterećenja) i nivoa podudarnosti hidrauličkih veličina (proticaji, pritisci) na ključnim tačkama sistema, odnosno potrebe za daljim iterativnim postupcima uporednog mjerenja i dopuna modela.

3.6. Kalibracija i validacija matematičkog hidrauličkog modela

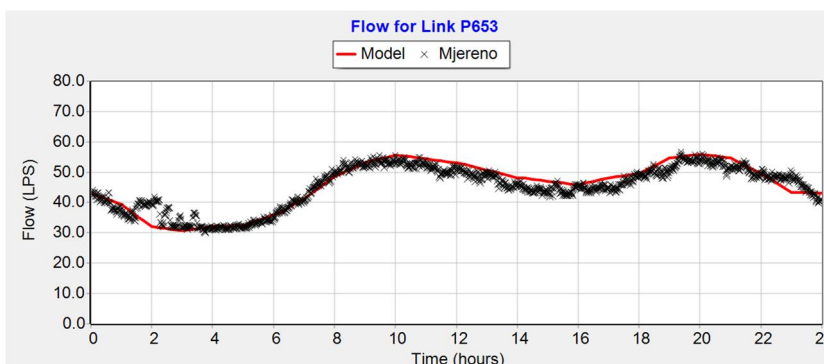
Nakon dobijenih rezultata u inicijalnom modelu cilj je u procesu kalibracije doći do što približnijih rezultata mjerenja i kalibrisanog modela, odnosno da kalibrisani model bude što približniji realnom stanju sistema. Koeficijenti časovne nera-

vnornjnosti iz inicijalnog modela, korigovani su na osnovu podataka sa mjerenja kod potrošača, pa su formirani stvarni koeficijenti časovnih neravnornjnosti, koji su upotrebljeni za proračune u kalibrisanom modelu. Takođe, izvršena je korekcija raspodjele potrošnje i gubitaka po zonama na osnovu dodatnih mjerenja na vodovodnom sistemu, kako bi se dobilo odgovarajuće slaganje hidrauličkih veličina. Posljednji korak u izradi hidrauličkog modela je provjera i validacija rezultata modela na osnovu mjerenja na ključnim tačkama u sistemu nakon saniranja lokacija sa detektovanim gubicima.

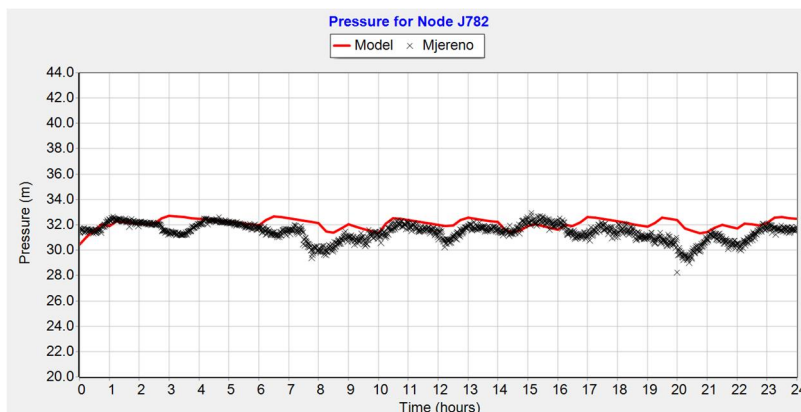


Slika 11. Rezultati simulacije kalibrisanog modela u času maksimalne potrošnje

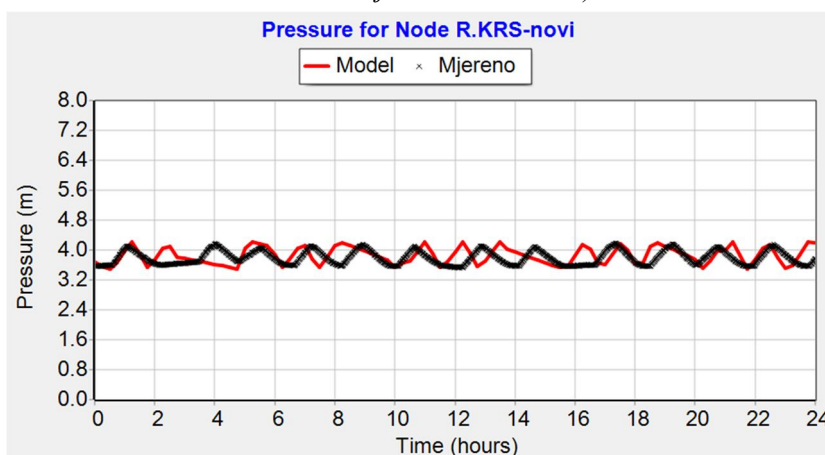
Uporedni prikaz vrijednosti rezultata dnevnih simulacija u kalibrisanom matematičkom modelu sa mjerenjima na karakterističnim tačkama u vodovodnom sistemu dat je na Slikama 12 – 14.



Slika 12. Izmjerene i simulirane vrijednosti proticaja (lijeva obala DMA 2A- mjereno 10.8.2025.)



Slika 13. Izmjerene i simulirane vrijednosti vrijednosti pritiska (Ulica Starine Novaka - mjereno 10.8.2025.)



Slika 14. Izmjerene i simulirane vrijednosti vrijednosti nivoa vode u rezervoaru Krš-novi (10.8.2025.)

7. Zaključak

Uspostavljanje GIS baze podataka i izrada hidrauličkog modela predstavlja korak ka modernom digitalnom upravljanju u vodovodnom sistemu Trebinja. GIS baza podataka i hidraulički model postaju nezamjenjiv alat za efikasno upravljanje jednom od najvažnijih gradskih infrastruktura i pomažu da vodovodni sistem značajno smanji operativne i finansijske rizike, osiguravajući stabilnost i predvidljivost rada preduzeća. Kroz smanjenje gubitaka i optimizaciju resursa, sistem doprinosi dugoročnoj finansijskoj održivosti Vodovoda i Grada Trebinja.

Također, usklađenost sa EU standardima i dostupnost preciznih podataka otvara vrata za finansiranje novih projekata iz evropskih i međunarodnih fondova. Da bi GIS sistem i hidraulički model imali dugoročnu vrijednost i upotrebljivost, neophodno je kontinuirano održavati i ažurirati podatke u skladu sa promjenama koje nastaju u vodovodnom sistemu Trebinja.

8. Literatura

- [1] D. Ziegler, F. Sorg, P. Falis, L. Happich, J. Badder, R. Trujillo, D. Mutz, *Uputstvo za smanjenje gubitaka*, GIZ, 2014.
- [2] Rimeika M. & Jurkienė A. Use of hydraulic model for water loss reduction. *Mokslas – Lietuvos Ateitis / Science – Future of Lithuania*, 8(4), 461–467, 2016.
- [3] Alegre H. Baptista J. M, Cabrera E. Cubillo F. Duarte P, Hirner W, Merkel W. & R. Parena Performance Indicators for Water Supply Services. - Second Edition, *Manual of Best Practice*, IWA Publishing, London, UK. ISBN 1843390515, 2006. Koelbl, J. (2014b): *Virtual Zone Monitoring.- Conference Proceedings IWA Water Loss Conference 2014*, Vienna, Austria.
- [4] Interna dokumentacija JP „Vodovod“ Trebinje

ДИГИТАЛИЗАЦИЈА И ПАМЕТНО УПРАВЉАЊЕ ВОДОВОДНИМ СИСТЕМОМ КАО МЕТОДЕ ЗА СМАЊЕЊЕ ГУБИТАКА У „ВОДОВОДУ“ ХЕРЦЕГ НОВИ

DIGITALIZATION AND SMART MANAGEMENT OF THE WATER SUPPLY SYSTEM AS METHODS FOR WATER LOSS REDUCTION IN HERCEG NOVI

ДРАГАН ТЕОФИЛОВИЋ¹
ЛУКА ВУКИЋ²

Стручни рад
DOI: 10.5937/GV26101T

Резиме: Пројекат унапређења водоводног система у Херцег Новом фокусиран је на дигитализацију и техничку оптимизацију мреже. Кроз успостављање Комуналног водног информационог система (КВИС), извршено је детаљно геодетско снимање, ГИС-БИМ мапирање 211 km мреже и објеката. Хидрауличким и просторним анализама постојећег стања идентификовани су критични проблеми са аспекта материјала, неадекватних пречника, притиска, брзина, потребе за водом и расположивог биланса водних ресурса.

Кључне мере у развоју КВИС-а су мониторинг мреже и калибрација хидрауличног модела, формирање DMA зона за локализацију губитака као и иновативно управљање притисцима помоћу Smart PRV уређаја. Спроведен је и развој електронских радних налога које осигуравају проактивно одржавање и дугорочну одрживост система. Темел модернизације чини и Asset Management (управљање имовином), кроз који је, анализом имовинско-правних односа на трасама цевовода и локацијама објеката, развијен модел управљања имовином са проценом вредности водоводног система.

Кључне речи: дигитализација, смањење губитака, хидраулично моделирање, паметно управљање

Abstract: The project for the improvement of the Herceg Novi water supply system focuses on network digitalization and technical optimization. Through the establishment of the Communal Water Information System (KVIS), GIS-BIM mapping of 211 km of the network

¹ Драган Теофиловић, Beoexpert Design BIM Engineering д.о.о, Белитарковићева 9/1, Београд, dragan@beoexpertbim.com

² Лука Вукић, Beoexpert Design BIM Engineering д.о.о, Белитарковићева 9/1, Београд, luka@beoexpertbim.com

and facilities was completed. The situational analysis identified critical issues regarding materials, inadequate diameters, pressure, flow velocity, water demand, and resource balance, alongside an audit of property-legal relations.

Key technical interventions include network monitoring, hydraulic model calibration, the establishment of District Metered Areas (DMA) for leak localization, and innovative pressure management via Smart PRV devices. Furthermore, the integration of electronic work orders facilitates proactive maintenance, while a comprehensive Asset Management framework—supported by property rights analysis and infrastructure valuation—ensures the long-term operational and financial sustainability of the system.

Key Words: digitalization, water loss reduction, hydraulic modeling, smart management

1. Увод

Водоводни систем општине Херцег Нови је сложен техничко-технолошки комплекс који снабдева између 34.000 сталних становника, а 60.000 потрошача током летње сезоне. Систем карактерише специфична прекогранична зависност, будући да се примарно ослања на транзитни цевовод „Плат“ (до 450 l/s) из система ХЕ на Требишњици, док се локално извориште „Опачица“ (160 l/s) и Регионални водовод (50 l/s) користе као допунски капацитети. Сва сирова вода се третира у постројењу ППВ Мојдеж, чиме се осигурава високи квалитет снабдевања. Инфраструктуру чини разграната мрежа дужине 211 km, са 18 активних резервоара (око 12.000 m³) и чак 27 пумпних станица са 43 агрегата неопходна за савладавање великих висинских разлика. Иако модерне HDPE цеви чине 62% мреже, остатак од 38% застарелих материјала (челик, азбест-цемент) узрокује учестале хаварије. Најкритичнији изазов представљају екстремно високи губици воде, који су у периоду 2020–2024. у просеку износили 74,8%. Током 2024. забележен пад на 71,6%, али апсолутни губици од скоро 9 милиона m³ годишње генеришу трошкове одржавања (2,25 милиона евра), што чини преко 37% укупних расхода предузећа. Динамика потрошње варира од зимског минимума до летњег максимума, што уз високе притиске додатно оптерећује систем.

Централни елемент модернизације је успостављање Комуналног водног информационог система (КВИС). Он представља интегрални систем који обједињује различите хардверске компоненте, софтверска решења, инжењерске методологије и стандарде управљања. КВИС интегрише геопросторну базу података (ГИС), напредну WEB платформу за дистрибуцију података, калибрисани хидраулички модел, базу потрошача и кварова и систем за управљање одржавањем уз подршку софтвера за наплату. Оваква синергија омогућава потпуну дигиталну трансформацију радних процеса, где КВИС служи као јединствено радно окружење за доношење одлука. Коришћењем калибрисаног модела унутар овог система, уз успостављање прецизних DMA

зона и паметну регулацију притиска, тежи се радикалној техничкој оптимизацији и смањењу непреходоване воде испод прага од 50%.



Слика 1. Шема комуналног водоводног информационог система

2. Формирање Геоинформационог регистра

Основни корак успостављања Комуналног водног информационог система (КВИС) заснива се формирању централног Геоинформационог регистра. Овакав регистар је формиран на интеграцији две комплементарне методологије моделовања: ГИС-а (Geographic Information System) и БИМ-а (Building Information Modeling). Док је ГИС примарно фокусиран на мапирање линијских објеката мреже (цевовода) у 2D окружењу ради просторне анализе и управљања дистрибуцијом, БИМ представља стандард управљања информацијама кроз цео животни циклус комплексних објеката. Циљ мапирања и дигитализације обухвата:

- Векторско 2D мапирање (ГИС): Омогућава прецизно лоцирање 211 km мреже, анализу топологије, дефинисање DMA зона и повезивање са хидрауличким моделом.
- 3D моделовање (БИМ): Пружа детаљан приказ геометрије и функционалности сложених чворишта система, чиме се елиминише нејасноћа код машинских и електро инсталација унутар објеката.

Процес БИМ моделовања објеката дефинисан је кроз LOD (Level of Development) стандард, који осигурава прецизност и поузданост података кроз две кључне компоненте:

- LOG (Level of Geometry): Дефинише степен детаљности приказа — од основних габарита до прецизних техничких детаља сваке пумпе, засуна или мерног уређаја.

- LOI (Level of Information): Представља „интелигенцију“ модела, односно количину информационих података (технички листови, датуми уградње, сервисирање) везаних за сваки елемент.

Овакав приступ омогућава да КВИС не буде само визуелна мапа, већ свеобухватни регистар где сваки елемент, било као линија у ГИС-у или 3D објекат у БИМ-у, поседује висок степен техничке дефинисаности неопходан за паметно управљање и одржавање.

3. Хидраулички и инфраструктурни мониторинг водоводног система

Успостављање свеобухватног мониторинга представља примарни услов за прелазак са реактивног на проактивно управљање. Систем надзора је структуриран на три функционална нивоа мониторинга:

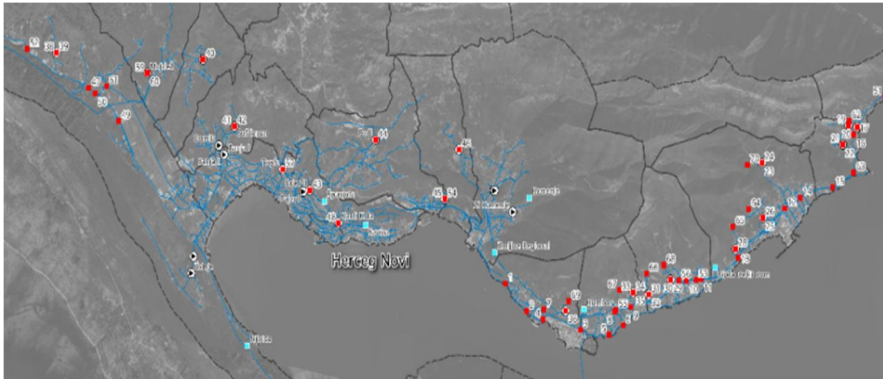
- главна изворишта (Плат–Мојдеж, Опачица, РС Приморје) – за билансирање укупних расположивих количина сирове и третиране воде.
- улази у дистрибутивне мерне зоне (DMA) - Фокусиран је на улазе у 64 мерне зоне. Овај ниво је кључан за праћење специфичне потрошње и диференцијално лоцирање губитака унутар урбаних и приградских делова мреже, уз редовно праћење потрошње на водомерима
- критичне тачке унутар саме мреже.

Према пројектној документацији, потпуна дигитализација система заснива се на уградњи и интеграцији 84 мерача протока и 52 мерача притиска. Опрема је конфигурисана за континуирано бележење хидрауличких параметара, са високом резолуцијом читавања на сваких 15 минута.

Сви прикупљени подаци се истовремено трансмићују на два нивоа:

- Централни SCADA систем: Користи се за оперативну контролу, алармирање у случају хаварија и управљање објектима у реалном времену.
- WEB GIS/KVIS платформа: Омогућава историјску анализу података, обрачун водног биланса по зонама и служи као база за периодично извештавање описано у даљем тексту.

Окосницу овог процеса чине мерно-регулациона окна опремљена електромагнетним мерачима протока и дигиталним сензорима притиска. Посебан акценат стављен је на праћење минималног ноћног протока (MNF), који служи као примарни индикатор скривених губитака на застарелој мрежи. Интеграција ових података са SCADA системом омогућава детекцију хидрауличног удара и алармирање при појави кавитације, стварајући основу за „дигиталног близанца“ система који служи за тестирање инвестиција кроз симулације пре физичких захвата.



Слика 2. Приказ локације мерне опреме у Херцег Новом

Модернизација мониторинга обухвата и сегмент потрошње кроз развој даљинског читавања. Постепеном заменом механичких водомера паметним уређајима (LoRaWAN/NB-IoT), посебно код великих потрошача и хотела, елиминише се људски фактор и грешке при читавању. Са прецизним сатним дијаграмима потрошње и потпуном просторном верификацијом корисника, систем аутоматски идентификује квар на интерним инсталацијама или неовлашћену потрошњу, чиме се комерцијални сектор потпуно дигитализује.

Напослетку, мониторинг инфраструктуре осигурава структурни интегритет објеката. Коришћењем акустичних логера за детекцију микро-прслина и сензора вибрација на пумпним агрегатима, прати се стварно физичко стање система. Сваки елемент поседује „дигитални картон“ у КВИС платформи, што омогућава формирање индекса критичности деоница. Тиме се приоритети санације одређују на основу стварног степена деградације и ризика, а не само на основу старости цеви, што значајно оптимизује трошкове одржавања.

4. Моделирање и анализе

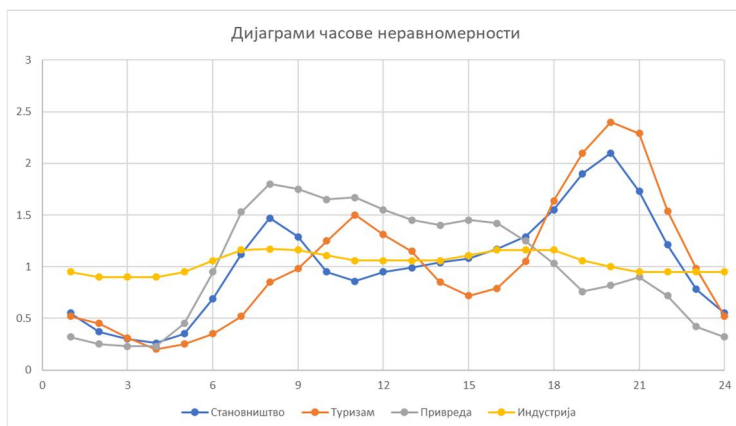
4.1. Анализа потреба и потрошње

Дефинисање параметара потрошње представља најкритичнију фазу у изради хидрауличког модела, јер директно утиче на тачност симулација. Уместо коришћења уопштених литературних норми, потрошња је утврђена кроз детаљну анализу два независна скупа података:

- *Анализа комерцијалне базе података* - Обрађени су подаци о читавањима са преко 30.000 водомера у континуираном периоду од четири године. Овим је омогућена декомпозиција потрошача на четири кључне групе (становништво, туризам, привреда и индустрија) и утврђивање њихових просечних дневних потреба.

- Мониторинг часовне динамике - Коришћењем података са паметних мерача на DMA зонама, праћена је промена протока и притисака у интервалима од 15 минута.

На основу дуготрајног мониторинга протока на карактеристичним локацијама и спроведене анализе губитака, изведени су стварни коефицијенти недељне, дневне и часовне неравномерности. Овакав приступ омогућава да се кроз дијаграме потрошње изврши прецизна симулација вршних оптерећења система, што је од пресудног значаја за правилно управљање притисцима и планирање будућих интервенција на мрежи.



Слика 3. Дијаграми часове неравномерности

Интеграцијом ових коефицијената у КВИС систем, формирани су дијаграми потрошње. Они омогућавају хидрауличком моделу да симулира „живи” систем и предвиди оптерећење мреже у сваком сату током дана, што је предуслов за правилно подешавање Smart PRV уређаја и стабилизацију притиска.

4.2. Хидрауличко моделовање

Хидраулички модел водоводног система Херцег Новог развијен је као динамички дигитални близанац, који карактерише директна двосмерна повезаност са базом података. Кључна иновација је интеграција која омогућава да се свака измена на топологији мреже у Бази података у реалном времену рефлектује на симулациони софтвер. Тиме је елиминисана потреба за ручним уносом података и смањен ризик од људске грешке.

За потребе симулације коришћен је софтвер Bentley WaterGEMS, који се заснива на решавању система нелинеарних једначина континуитета и одржања енергије.

- Једначина континуитета (за чворове): Осигурава да је сума протока који улазе и излазе из чвора једнака нули.
- Једначина енергије (за деонице): Нумерички решава пад притиска дуж цевовода коришћењем Hazen-Williams-ове или Darcy-Weisbach-ове методе за прорачун линијских губитака енергије, узимајући у обзир специфичну храпавост старих азбест-цементних и челичних цеви.

У моделу је примењена Extended Period Simulation (EPS) — симулација у продуженом временском периоду (обично 24-часовни или седмични циклус). За разлику од статичког прорачуна који посматра само тренутак највеће потрошње, EPS симулација омогућава: Праћење динамике нивоа у резервоарима; Анализу брзине пуњења и пражњења у зависности од рада пумпних станица; Анализу старости воде; Праћење квалитета воде кроз систем; Оптимизацију рада Smart PRV вентила; Тестирање алгоритама за регулацију притиска пре њихове стварне примене на терену.

Нумеричка тачност модела потврђена је кроз процес калибрације, где су резултати симулације упоређивани са стварним вредностима притиска и протока читаним са IoT сензора у DMA зонама. Подешавањем коефицијената отпора и прецизним позиционирањем потрошње, модел је доведен у стање високе поузданости ($R^2 > 0.95$), што га чини релевантним за доношење инвестиционих одлука.

4.3. Анализа стања мреже

Анализа стања указује на доминацију застарелих цевовода склоних структурном замору. Најпрецизнији индикатор губитака је анализа минималне ноћне потрошње (MNF) између 02:00 и 04:00 часа.



Слика 4. Дијаграм анализе минималног ноћног протока

При просечној дневној потрошњи од 76.35 l/s, легитимна ноћна потрошња износи 19.1 l/s (25% просека). С обзиром на то да је минимални измерени ноћни проток износио 61.8 l/s, израчунати просечан губитак износи 45.7 l/s. Овај податак потврђује да преко 70% ноћног протока представљају физички губици, што је примарни циљ за мере активне контроле притиска.

4.4. Анализа потрошње електричне енергије

Енергетска анализа 27 пумпних станица идентификовала је објекте са ниским степеном корисности агрегата. Класификација је извршена према специфичној потрошњи (kWh/m³), а као мера оптимизације разматра се уградња фреквентних регулатора и фотонапонских система. Коришћењем кровних површина резервоара за соларне панеле, предвиђа се смањење трошкова електричне енергије за 15–25%, посебно током летњих месеци када је потрошња воде, а тиме и ангажована снага пумпи, највећа. Инсталацију соларних панела према приоритетима поделили смо у 3 групе приказану у следећој табели

Табела 1. Приказ група пумпних станица за имплементацију соларних панела

| | | | |
|-----------|---|------------------------------|---------------|
| I ГРУПА | Пумпе мањег капацитета - до 3 kW Потребне површине панела око 20 m ² | Примена у наредних 5 година | Уштеда до 10% |
| II ГРУПА | Пумпе средњег капацитета - од 3 до 10 kW Потребне површине панела око 20-55 m ² | Примена у наредних 10 година | Уштеда до 15% |
| III ГРУПА | Пумпе већег капацитета - преко 10 kW Потребне површине панела око преко 200 m ² | Тренутно неисплативо | |

У току једне године, просечни трошкови за утрошену електричну енергију износе око 163.500 еура, па се може закључити да је уштеда ових трошкова и до 40.000 еура годишње.

5. Управљање мрежом

5.1. Успостављање ДМА зона

Успостављање сталних мерних зона (DMA) представља фундаментални корак у трансформацији водоводне мреже Херцег Новог у контролисан и мерљив систем. Основни циљ формирања ових хидраулички изолованих целина је прецизна детекција и локализација губитака воде, чиме се драстично повећава ефикасност одржавања. Уместо анализе целокупног система као једне нејасне целине, мрежа је подељена на 64 мерне зоне, што омогућава инжењерима да у реалном времену идентификују деонице са највећим

степеном деградације. Овакав приступ директно скраћује време одзива екипа на терену, јер систем алармира не само на велике хаварије, већ и на суптилне промене у минималном ноћном протоку који указују на почетна скривена цурења. Поред саме локализације цурења, DMA зоне омогућавају континуирано праћење хидрауличких параметара и прикупљање података неопходних за доношење стратешких одлука.

Неке од кључних предности које овакав систем доноси укључују:

- Билансирање воде по зони - Свака зона представља независну обрачунску целину, што омогућава прецизно утврђивање разлике између потиснуте количине воде и фактурисане потрошње унутар тог рејона.
- Оптимизација притиска - Смањењем просторног обухвата омогућена је финалија стабилизација и редукција осцилација притиска, чиме се директно смањује број нових дефеката и продужава животни век застарелих цевовода.
- Квалитетније одржавање - Омогућава планирање превентивног испирања мреже и боље праћење квалитета воде на крајњим тачкама снабдевања.
- Процена приоритета санације - Врши се рангирање зона према степену техничких губитака, што осигурава стратешко усмеравање инвестиција ка деоницама са највишим потенцијалом за поврат уложених средстава.

Интеграцијом ових зона са КВИС платформом, управљање мрежом постаје визуелно и интуитивно. Свака промена на мерачу протока или сензору притиска унутар DMA зоне одмах се рефлектује на „дигиталном близанцу” система, омогућавајући оператерима да симулирају различите сценарије преусмеравања воде у случају кризних ситуација. На тај начин, DMA зоне постају основа за успостављање паметног водовода (Smart Water Network), који је самоодржив, економски ефикасан и отпоран на изазове које доноси изражена сезонска потрошња.

5.2. Активно управљање притисцима

Имплементација Smart PRV уређаја у систему Херцег Новог није само технолошко унапређење, већ директна последица резултата хидрауличког модела. Симулације су идентификовале критичне зоне, попут делова насеља Суторина, Зеленике и Мељина, где статички притисци у ноћним сатима достижу вредности и преко 10-12 бара, што је знатно изнад пројектованих граница издржљивости застарелих цевовода.

Коришћењем хидрауличког модела извршена је анализа „шта-ако“ (What-if analysis) за карактеристичне DMA зоне. Прорачун је показао да би се редукцијом притиска са просечних 8 бара на 4,5 бара у ноћном режиму (од 00:00

до 05:00), интензитет цурења на постојећим дефектима смањено за приближно 25-30%. На основу индекса критичности, приоритет је дат следећим зонама:

- Зона Зеленика: Где је стабилизацијом притиска планирано смањење минималног ноћног протока са тренутних измерених 12 l/s на пројектованих 8,5 l/s.
- Зона Суторина: Где се уградњом Smart PRV-а решава проблем великих осцилација притиска узрокованих сезонским варијацијама потрошње.

За разлику од традиционалних ПРВ вентила, Smart PRV користи алгоритам „регулације према критичној тачки“. Модел је дефинисао диктатне чворове (највише коте у зони) где притисак никада не сме пасти испод 2,5 бара. Уређај континуирано прилагођава излазни притисак тако да задовољи овај минимум, док истовремено одржава најнижи могући просек у остатку зоне, чиме се директно редукује енергија цурења и број хаварија узрокованих замарањем материјала.

Поред заштите инфраструктуре, директни резултат овог управљања је значајно смањење неприходоване воде (NRW). С обзиром на то да је израчунати просечан губитак у систему износио 45,7 l/s, примена Smart PRV технологије омогућава да се тај губитак сведе на технички прихватљив минимум без угрожавања комодитета потрошача. Подаци прикупљени са ових уређаја се континуирано шаљу у КВИС платформу, омогућавајући даљинску реконфигурацију притисака у зависности од сезонских потреба.



Слика 5. Прикат примера SMART PRV-а

На основу података прикупљених кроз мониторинг DMA зона и симулација у хидрауличком моделу, КВИС систем омогућава генерисање структурираних Извештаја о стању и перформансама система. Ови извештаји служе као законска и техничка основа за управљање имовином и планирање инвестиција, а деле се на четири кључна сегмента:

- Извештај о стању инфраструктуре: Пружа детаљан увид у физичке карактеристике мреже (старост, материјал, пречник) и објеката (БИМ модели) и служи за приказ нивоа напредовања/назадовања инфраструктурних промена кроз унапред дефинисане временске циклусе. На основу ових података врши се и финансијска валоризација имовине и процена преосталог животног века ценовода.
- Извештај о корисницима и потрошњи: Анализира просторну дистрибуцију потрошача и њихову динамику. Овај извештај повезује податке из комерцијалне базе са реалним читавањима, омогућавајући детекцију неовлашћене потрошње и оптимизацију прихода као и стање наплате.
- Извештај о хидрауличким карактеристикама: Садржи резултате EPS симулација (притисци, брзине, старост воде) и поређење са стварним вредностима са ЈоТ логера. Кључан је за проверу стања мреже, предлога мера, као и у аналитичким активностима код анализе капацитета мреже приликом прикључења нових корисника.
- Извештај о губицима у систему: Представља техничко-економску анализу која, на основу минималног ноћног протока (MNF) у DMA зонама, омогућава прецизну декомпозицију стварних и привидних губитака ради рангирања приоритета за локализацију цурења и оптимизацију трошкова дистрибуције.
- Извештај о кваровима на систему: Представља најважнији алат за оперативни менаџмент. Извештај аутоматски рачуна минимални ноћни проток (MNF) по зонама и укршта га са подацима о електронским радним налозима. Тиме се добија индекс критичности деоница, који јасно рангира делове мреже где је санација хитна због високе учесталости хаварија и економских губитака.

Ефекти примењених мера на смањење губитака и будући развојни кораци

Резултати интегрисаног приступа управљању мрежом најјасније се огледају у сузбијању физичких и комерцијалних губитака воде. На основу калибрисаног хидрауличког модела и успостављених 64 DMA зона, омогућена је прецизна идентификација критичних деоница где је просечан губитак износио 45,7 l/s.

Применом мера активног управљања притисцима путем Smart PRV уређаја, директно се смањује интензитет цурења на постојећим прслинама и редукује број хаварија за око 30%. Оваква техничка оптимизација, праћена развојем система даљинског читавања и елиминацијом неовлашћене потрошње, створила је амбијент у којем се губици више не посматрају као неминовност, већ као променљива којом се активно управља.

Кроз реализацију описаних мера у првој фази, реалан и пројектован циљ је смањење укупне неприходоване воде (NRW) за 15% до 20% на нивоу целог система у наредном двогодишњем периоду. У појединим ДМА зонама, попут Мељине или Зеленике, где су притисци били екстремни, очекује се да ће смањење физичких губитака бити још значајније, што ће систем ослободити за нове кориснике без потребе за додатним захватањем воде из изворишта. Ово смањење директно доноси:

- Значајне уштеде у електричној енергији за рад пумпних станица;
- Мање трошкове за пречишћавање и хлорисање воде;
- Већи комерцијални приход кроз прецизније мерење и наплату.

6. Интегрисано управљање животним циклусом инфраструктуре

Управљање имовином водоводног система представља темељ дугорочне финансијске стабилности и законске усклађености предузећа. Овај процес представља свеобухватну методологију и акциони план за успостављање Регистра интегрисаног управљања имовином (ИУИ), који по први пут системски обједињује податке о земљишту, објектима и водоводној мрежи Херцег Новог у јединствен, дигитални аналитички модел. Користећи међународни стандард ISO 55001, систем врши прецизно вредновање имовине кроз RCN (набавну) и DRC (преосталу) вредност, чиме омогућава предузећу да објективно сагледа степен физичке и функционалне истрошености своје инфраструктуре. Уместо традиционалног књиговодства, ИУИ регистар уводи математичке коефицијенте за нагиб, старост и историју кварова, чиме се ствара динамичка база која директно рангира објекте и деонице према индексу критичности. Оваква класификација постаје кључни алат за доношење инвестиционих одлука, јер јасно дефинише где је замена цевовода или опреме економски оправданија од даљег реактивног одржавања.

На основу примене јединичних тржишних цена по материјалу и пречнику, укупна процењена заменска вредност цевоводне инфраструктуре (RCN) износи приближно 16,8 милиона еура. Након примене коефицијената преостале вредности заснованих на процењеном ризику, укупна вредност амортизоване замене (DRC) износи око 8,2 милиона еура.

Укупна заменска вредност нове и девалоризована вредност у € за све водовodne објекте у власништу „Водовод“ Херцег Нови износи:

| | |
|--|--------------|
| RCN (Заменска вредност новог објекта) | 9.855.491,49 |
| DRC (девалоризована заменска вредност) | 5.283.917,73 |

Тако је на основу израчунатих вредности DRC објеката и инфраструктуре, као и процењене вредности земљишта, укупна вредност имовине која је обухваћена ИУИ регистром износи: 16.255.918,02 €.

Главни фокус пројекта је на транзицији ка податковно вођеном управљању, што подразумева потпуну интеграцију ИУИ регистра са ГИС, SCADA и ERP системима у наредних 12–18 месеци. Ова интеграција омогућава да се хидраулички параметри и реална потрошња енергије користе за калибрацију хидрауличких модела и прецизно планирање животних циклуса имовине. Посебно се наглашава важност континуираног ажурирања података о кваровима и читавањима водомера, чиме се КВИС платформа трансформише у централни регистар података за све будуће реконструкције и стратешке планове општине. Кроз овај модел, ВиК Херцег Нови престаје да врши парцијалне и реактивне интервенције и постаје модерно предузеће које својим водним ресурсима и енергијом управља на основу објективне економске валоризације и анализе ризика, осигуравајући дугорочну поузданост система и заштиту капитала.

Одржавање система је директно повезано са техничким стањем мреже, при чему анализа хаварија служи као примарни индикатор за превентивно деловање. Праћењем учесталости и типологије кварова кроз ГИС платформу, екипе за одржавање прелазе са „гашења пожара” на системско отклањање узрока пуцања цеви, што значајно смањује оперативне трошкове и време прекида у водоснабдевању. С друге стране, економска одрживост ових техничких захвата директно зависи од ефикасности наплате воде. Увођењем система даљинског читавања и дигиталне верификације потрошача, драстично се смањује простор за грешке при фактурисању и неовлашћену потрошњу. Кроз КВИС систем се омогућава прецизно праћење наплате по зонама, чиме се ствара транспарентан систем у којем сваки читани кубик воде доприноси реинвестирању у мрежу, затварајући тако круг између техничке исправности и комерцијалне профитабилности система.

Процес планирања и пројектовања у оквиру модерног водоводног система Херцег Новог заснива се на примарној изради Мастер плана, који дефинише кључне правце развоја инфраструктуре за наредни двадесетогодишњи период. Овај кровни документ није статичан, већ представља динамички оквир који се ослања на податке из хидрауличног модела и ГИС-а, омогућавајући да се будуће ширење мреже усклади са демографским променама и туристичким потенцијалима приобаља. Кроз Мастер план се дефинишу кључни магистрални правци и капацитети резервоарског простора, чиме се елиминише ад-хок пројектовање и осигурава да свака нова инвестиција буде хидраулички оправдана и уклопљена у целовит систем. Паралелно са Мастер планом, израда

специфичних студија и стратегија омогућава дубљу анализу појединачних изазова, као што су Стратегија за смањење неприходоване воде (NRW) или Студија енергетске ефикасности пумпних постројења. Ови документи користе податке о калибрисаном моделу и минималној ноћној потрошњи како би дефинисали конкретне техничке кораке, попут избора између санације постојећих цевовода или изградње потпуно нових капацитета. Овакав студиозни приступ омогућава доносиоцима одлука да сагледају ширу слику ризика и предности сваког решења, укључујући и примену обновљивих извора енергије и паметних технологија управљања.

Финални сегмент овог процеса је инвестициони развој, који техничка решења преводи у економску реалност кроз дефинисање приоритетних пројеката и планова финансирања. Инвестициони развој се заснива на рангирању деоница и објеката према индексу критичности, осигуравајући да се капитална средства првенствено усмере на делове система који генеришу највеће губитке или представљају највећи ризик по сигурност снабдевања. На овај начин, планирање престаје да буде само техничко питање и постаје алат за економску консолидацију предузећа, обезбеђујући максималан поврати инвестиције кроз уштеде у води, енергији и трошковима одржавања.

7. Закључак

Формирање Комуналног водног информационог система (КВИС) за општину Херцег Нови не представља само увођење новог софтвера, већ успостављање дигиталне кичме за све будуће одлуке. Кроз интеграцију софтверских и хардверских решења и стандарда за размену података по принципу дигиталног близанца, примену хидрауличког моделовања и паметног мониторинга и управљања, систем је по први пут постао транспарентан и предвидив.

Кључни успех овог приступа није само у техничкој детекцији губитка, већ у стварању алата који омогућава менаџменту да основано и прецизно предложи мере сагледа њихове ефекте и осигура да сваки евро инвестиције усмери тамо где ће он донети највећу уштеду воде и енергије. КВИС трансформише 'неприходовану воду' из нерешивог проблема у управљиву променљиву. У коначници, овај систем обезбеђује да Херцег Нови више не буде пасивни корисник прекограничних ресурса, већ активан и ефикасан господар своје водне будућности, спреман за изазове климатских промена и растућих туристичких потреба.

Даљи развој водоводног система Херцег Новог кретаће се у правцу потпуне аутоматизације и „AI” аналитике. Кључни наредни кораци обухватају:

- Проширење мреже паметних сензора - Покривање преосталих просторно невалификованих водомера паметним модулима за даљинско читавање.
- Увођење софтвера за рану детекцију цурења - Коришћење вештачке интелигенције која анализира податке са сензора притиска и звука ради лоцирања микро-пукотина пре него што изазову колапс.
- Енергетска независност - Почетак изградње фотонапонских поља на објектима водовода за напајање бустер станица.
- Континуирано ажурирање Мастер плана - Коришћење дигиталног близанца за тестирање свих будућих урбанистичких проширења града како би се осигурало да инфраструктура увек прати развој туризма и грађевинарства.

Списак појмова:

| Појам | Пун назив (оригинал/превод) | Опис |
|---------|--|---|
| BIM | Building Information Modeling | Информационо моделирање објеката |
| DMA | District Metered Areas | Зоне мерења дистрибуције |
| DRC | Depreciated Replacement Cost | Девалоризована заменска вредност |
| EPS | Extended Period Simulation | Симулација у продуженом временском периоду |
| ERP | Enterprise Resource Planning | Систем за планирање ресурса предузећа |
| GIS | Geographic Information System | Географски информациони систем |
| IoT | Internet of Things | Интернет интелигентниг уређаја |
| ISO | International Organization for Standardization | Међународна организација за стандардизацију |
| IUI | Интегрисано управљање имовином | Регистрациони систем управљања имовином |
| KVIS | Комунални водни информациони систем | Централни информациони систем водовода |
| LoRaWAN | Long Range Wide Area Network | Мрежа дугог домета (технологија комуникације) |
| LOD | Level of Development | Ниво развијености модела |
| LOG | Level of Geometry | Ниво детаљности геометрије |
| LOI | Level of Information | Ниво детаљности информације |
| MNF | Minimum Night Flow | Минимални ноћни проток |
| NB-IoT | Narrowband Internet of Things | Ускопојасни интернет ствари |
| NRW | Non-Revenue Water | Неприходована вода |

| Појам | Пун назив (оригинал/превод) | Опис |
|---------|--|--|
| PRV | Pressure Reducing Valve | Регулатор притиска |
| RCN | Replacement Cost New | Набавна заменска вредност |
| SCADA | Supervisory Control and Data Acquisition | Систем за надзор, контролу и прикупљање података |
| WEB GIS | Web Geographic Information System | Географски инфо-систем доступан преко веба |

8. Литература

- [1] International Water Association (IWA) - <https://www.iwa-network.org/>
- [2] Lambert A. O. & Hirner W. *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Indicators*. IWA Publishing, 2000.
- [3] Walski T. M. et al. *Advanced Water Distribution Modeling and Management. Haestad Methods Inc, Bentley Institute Press, 2003.*
- [4] „Водовод и канализација“ д.о.о. Херцег Нови, Извјештај о пословању и стању инфраструктуре за период 2020-2024.
- [5] Пројектна документација: *Мастер план водоснабдијевања Црногорског приморја*, Министарство одрживог развоја и туризма.

SUORGANIZATORI

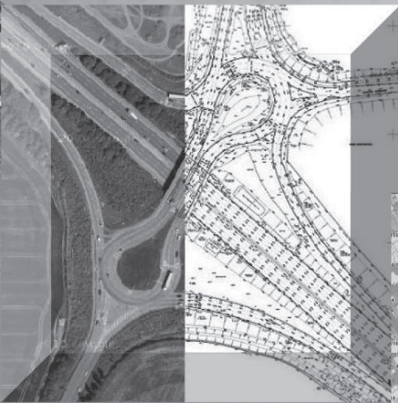
**ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ
Универзитета у Београду
(1846-2023)**



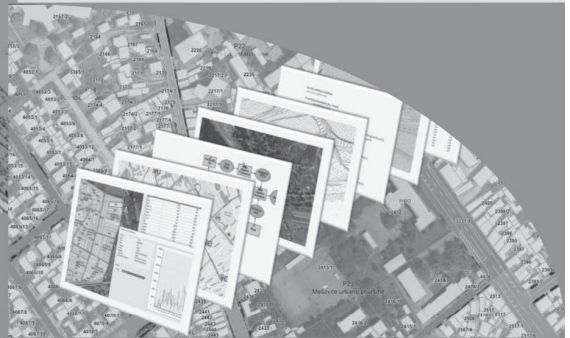
**Најстарија и водећа
образовна и научна институција
у области грађевинарства и геодезије у Србији**



ГРАЂЕВИНАРСТВО



ГЕОДЕЗИЈА



ГЕОИНФОРМАТИКА



**ОСНОВ ЗА
ВЕЛИКА**

ДЕЛА



Булевар краља Александра 73, +381 11 3218 553, www.grf.bg.ac.rs, dekanat@grf.bg.ac.rs



ИНСТИТУТ ЗА ВОДОПРИВРЕДУ
„ЈАРОСЛАВ ЧЕРНИ“

Институт за водопривреду
„Јарослав Черни“ АД је водећа
научноистраживачка организација
у Србији и региону у области вода.

Наше богато искуство, као и
спрега науке, истраживања и
пројектовања, гаранција су
квалитета наших услуга већ
више од 75 година.

ОБЛАСТИ:

- бране и акумулације
- хидроелектране
- снабдевање водом
- каналисање и пречишћавање отпадних вода
- наводњавање и одводњавање
- заштита од поплава и уређење река и сливова
- инфраструктура – путеви, метро, гасовод
- рудници и депоније
- глобално управљање водама и заштита животне средине



УСЛУГЕ:

- истраживање и развој у техничко-технолошким наукама
- пројектовање, надзор, консалтинг и инжењеринг у грађевинарству, управљању водама и заштити животне средине
- теренска и лабораторијска испитивања, мерења и осматрања воде, земљишта и грађевинских конструкција
- израда мултидисциплинарних студија, планских и стратешких докумената
- софтверски инжењеринг
- развој и имплементација информационих система



ЛАБОРАТОРИЈЕ:

- хидрауличка лабораторија (површине ско 3500 m²)
- лабораторија „Јарослав Черни“ (акредитована према SRPS ISO/IEC 17025:2017 за узорковање воде, седимента и земљишта и физичко-хемијска и микробиолошка испитивања узорака земљишта, седимента, површинских, подземних и отпадних вода)

Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ АД

Јарослава Черног 80, 11226 Београд, Србија, +381 11 61 76 600, office@jcerni.rs, www.jcerni.rs



ИНЖЕЊЕРСКА АКАДЕМИЈА СРБИЈЕ

Инжењерска академија Србије - ИАС основана је 26.06.2000. године ради остваривања циљева и задатака из техничко-технолошких делатности, развоја и унапређења инжењерске струке, примене савремених техничко-технолошких знања, унапређења стандарда и садржаја у науци, образовању, привреди, заштити животне средине и другим привредним сферама живота и рада.

Идеја оснивања Инжењерске академије била је присутна у круговима Савеза инжењера и техничара Југославије - СИТЈ још од 1993. године, када је у Статут СИТЈ унета одредба о оснивању Академије. На осмом Конгресу СИТЈ, септембра 1997. године, предлог за оснивање Инжењерске академије добио је пуну подршку.

Активни оснивачи Инжењерске академије Србије - ИАС су:

- Савез инжењера и техничара Србије - СИТС
- Друштво за путеве Србије.

МИСИЈА

Мисија ИАС је да буде креативна и иновативна научно-стручна организација која ће подржати изврност у области инжењерског и научног стваралаштва и допринети развоју техничких наука и преносу знања оријентисаних на економски и привредни развој Србије, као и укупни развој друштва у целини, уз промовисање одрживог развоја, заштите животне средине и људи и безбедну употребу технологија.

ВИЗИЈА

Визија ИАС је да у наредних десет година постане високо респектабилна научно-стручна инжењерска организација у функцији унапређења привредног, друштвеног и економског амбијента Републике Србије.

СИСТЕМ ВРЕДНОСТИ

Систем вредности ИАС заснива се на промовисању професионализма, академског понашања и поштовања високих етичких норми.



JKP "Водовод и канализација"
Нови Сад



ЈАВНО КОМУНАЛНО ПРЕДУЗЕЋЕ “ВОДОВОД И КАНАЛИЗАЦИЈА”

Краља Александра I Карађорђевића 48
КРАГУЈЕВАЦ

WWW.JKPVİK-KG.COM
jkpvik@gmail.com
034/33-22-40



ПРИВРЕДНА КОМОРА СРБИЈЕ

Привредна комора Србије (ПКС) је законом дефинисана организација привредних субјеката. Са традицијом од 167 година, ПКС окупља привреду Србије у јединствен систем, секторски и регионално.

Чланови ПКС су привредна друштва, груписана у секторе пољопривреде, индустрије и услуга, који се уже групишу у 18 гранских удружења. У оквиру мреже од 16 регионалних привредних комора и коморе главног града, омогућује се стручна подршка и ефикасно заступање интереса привреде по регионима. Кроз рад представништава у више европских земаља, главних спољнотрговинских партнера, посебан значај даје се интернационализацији пословања и међународном повезивању домаће привреде.

ПКС заступа интересе и ставове чланова учешћем у креирању закона и других прописа важних за пословну заједницу; унапређује економску сарадњу са иностранством; пружа информативно-аналитичку подршку привреди; подстиче извозну активност и укључивање домаћих компанија у међународне добављачке ланце. Кроз повезивање привреде и науке подстиче се примена нових технологија и знања у савременом пословању и производњи.

Привредна комора Србије

Ресавска 13 - 15, 11000 Београд

Тел: 0800 808 809

E-mail: bis@pks.rs

SPONZORI



Предузеће за

ЕКОЛОШКИ ИНЖЕЊЕРИНГ И КОНСАЛТИНГУ ХИДРОТЕХНИЦИ

ЕХТИНГ д.о.о.

Веле Нигринове 16/1, 11000 Београд, Србија

Тел. / Факс: +381 11 283 68 23; 283 68 25 | E-mail: office@ehting.co.rs | web: <http://www.ehting.co.rs>

Pametni loger šuma nove generacije!

- Unapred instalirana Nano SIM kartica
- Najnovije tehnologije (LTE-M / NB-IoT)
- Različiti načini prikupljanja i obrade podataka
- Audio zapisi visoke definicije
- Algoritmi za detekciju i lokalizaciju curenja na daljinu uz podršku veštačke inteligencije
- Zaštita od krađe
- IP68 (čak i nakon promene baterije)

Naši kupci beleže značajno smanjenje curenja u mreži, minimizuju gubitke vode, optimizuju operativne troškove, te efikasno amortizuju početna ulaganja zahvaljujući pametnoj tehnologiji SmartEAR®.

Kontakt

Tectra d.o.o. Beograd
office@tectra.co.rs
www.tectra.co.rs

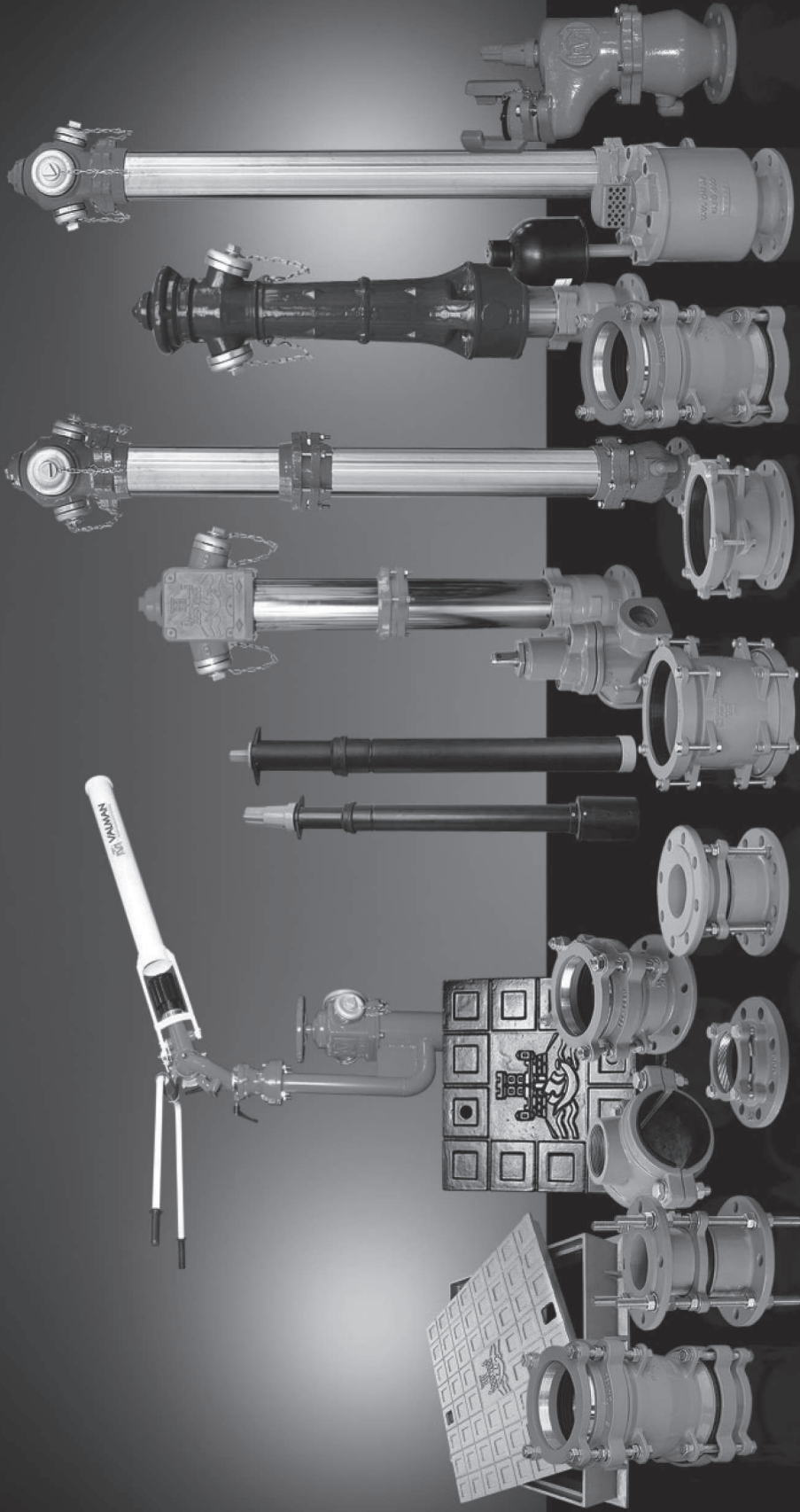


TECTRA



Skenirajte QR kod ili posetite našu veb stranicu za više informacija o SmartEAR®-u

VALMAN
VALVE MANUFACTURING



doo **POLIETILENSKI SISTEMI** je generalni zastupnik kompanije **GEORG FISCHER PIPING SYSTEMS, Šafhausen, Švajcarska** za Republiku Srbiju, za programe **UTILITY** (transport i distribucija pijaće i tehničke vode...), **INDUSTRY** (tretman industrijskih fluida / regulacija i upravljanje / merna oprema / automatizacija...) i **BUILDING TECHNOLOGY (GF UPONOR)**.

Uz prodaju proizvoda nudimo Vam i sveobuhvatnu tehničku podršku prilikom projektovanja, izbora materijala/opreme i izvođenja radova.

**MI VAM NUDIMO
REŠENJA ZA SVE VAŠE
APLIKACIJE!**



pe-s
POLIETILENSKI SISTEMI

■ **POLIETILENSKI SISTEMI doo**
■ Bulevar oslobođenja 40, 21000 Novi Sad
■ Profesora Grčića 1a, Ind. zona SEVER I
■ office@pe-sistemi.co.rs
■ www.pe-sistemi.co.rs

■ +38121500576, +381606500576 (kancelarija)
■ +38163589957 (Slavko Likić)
■ +381638013355 (Miloš Božić)
■ +381628841946 (Ivan Miljković)

NAPLATA

sistem za obračun i naplatu komunalnih usluga



KOMPLETNO REŠENJE EVIDENCIJE POTROŠNJE I OBRAČUNA

Povećavanje efikasnosti i kvaliteta evidencije potrošnje. Racionalizacija angažovanja na terenu.
Kvalitetni obrasci računa. Smanjivanje broja reklamacija.

Povećavanje efektivnosti i efikasnosti naplate. Podrška za naplatu zaostalih i teško naplativih potraživanja.
Brza implementacija. Kompatibilnost sa standardnim računovodstvenim softverom.

PRIMENJUJE 33 VODOVODA



42 KOMUNALNO PREDUZEĆE KORISTI BILLING SISTEM NAPLATA



OmniData
društvo za projektovanje i izradu informacionih sistema

Koste Abraševića 2, 15000 Sabac

tel +381 15 355 182 fax +381 15 351 103 mob +381 64 8052 550 email omnidataoo@gmail.com

www.omnidata.rs

www.omnidataagency.com

www.mojiracuni.com



ISBN-978-86-82563-36-5