

UTJECAJ STVARNIH GUBITAKA VODE NA BEZBJEDNOST SAOBRAĆAJA

Sead Rešić
Prirodno matematički fakultet Tuzla
Đevad Koldžo
Institut za hidrotehniku, Sarajevo

Sažetak

Većina transportnih i distributivnih vodovodnih cjevovoda se nalazi ispod ili u neposrednoj blizini saobraćajnica. Pojava stvarnih (fizičkih) gubitaka može se direktno odraziti na bezbjednost u saobraćaju. Ovaj rad je obradio moguće negativne utjecaje curenja vode iz vodovodnih sistema na bezbjednost odvijanja saobraćaja i na kompletnu saobraćajnu infrastrukturu, te prikazao metodologije propisane od Međunarodne asocijacije za vode (IWA) koje omogućavaju da se odredi struktura i vrijednosti svih vrsta gubitaka vode, izračunaju pokazatelji uspješnosti upravljanja vodovodnim sistemom i pronadu mikrolokacije sa curenjima. U nastavku rada je predstavljena analiza koja pokazuje koliko se cjevovoda nalazi ispod saobraćajnica i gradskih ulica u 5 općina u srednjoj Bosni u kojima je u periodu 2011. - 2012. izvedena akcija smanjenja gubitaka vode. Na osnovu ovih rezultata metodom interpolacije statistički je izračunat broj lokacija curenja koji se u ovom momentu nalaze ispod saobraćajnica u predmetnim općinama.

Ključne riječi: Gubici vode, Curenje, Detekcija gubitaka, Indikatori uspješnosti, IWA

INFLUENCE OF REAL WATER LOSSES ON TRAFFIC SAFETY

Abstract

Most of the transport and distribution water supply pipelines are located under or near the roads. Appearance of real (physical) losses may directly effect on the traffic safety. This paper elaborated possible negative effects of water leakage from water supply system on traffic safety and the entire road infrastructure and presented the methodology recommended by the International Water Association (IWA), which allows to determine the structure and values of all water losses types, calculate performance indicators which represent managing quality with water supply system and detect positions of leaks. In the paper is also presented an analysis which shows how many water supply pipelines are positioned near the roads and city streets in five municipalities in Central Bosnia, where water losses reduction actions during 2011th and 2012th were performed. Based on results of this project and by using interpolation method, statistically is calculated number of water leaks locations which are positioned under or near roads in 5 municipalities.

Keywords: Water losses, leaking, leak detection, performance indicators, IWA

1. UVOD

Vodovodna preduzeća u Bosni i Hercegovini suočavaju se sa enormnim gubicima vode u svojim sistemima.

Postoje razne vrste gubitaka i postoje mnogi različiti uzroci i faktori koji utječu na količinu vode koja se gubi iz vodoopskrbnog sistema. Osnovna podjela gubitaka je na prividne (komercijalne) i na stvarne (fizičke) gubitke. Za razliku od prividnih gubitaka koji ne mogu direktno utjecati na bezbjednost saobraćaja, stvarni gubici u nekim slučajevima mogu izazvati velika oštećenja na kolovozu i okolnoj infrastrukturi, što dalje može dovesti do nesagledivih posljedica. Vodovodna preduzeća kako u BiH tako i u ostalim zemljama u regionu, ali i u svijetu, problem gubitaka većinom vide samo kao problem koji može ugroziti snabdijevanje vodom njihovih korisnika, ili kao materijalni gubitak koji se može odraziti na funkcioniranje preduzeća. U većini definicija pouzdanosti, vodovodni sistem se tretira samo kroz relaciju između potrošača vode i isporučioča vode. Tako Kwietniewski u svom radu[1] navodi da je: „Pouzdanost vodovodnog distributivnog sistema definirana kao (sposobnost) mogućnost isporuke vode prema tačkama upotrebe sa zahtijevanom količinom, kvalitetom i pritiskom i kad to bude zahtijevano od korisnika vode u bilo koje vrijeme tokom funkcioniranja sistema“. Vodovod Konjic (BiH) je imao nekoliko slučajeva u kojima je curenje iz vodovodne mreže prouzrokovalo materijalnu štetu na okolnoj infrastrukturi pa je tadašnji direktor vodovoda u ovome gradu, dr. Špago u svom doktorskom radu[2] ispravno zaključio slijedeće: „Sagledavajući upravljačke akcije obnavljanja (popravka, izmjena, rekonstrukcija itd.) uočavamo da se poduzimaju nakon događaja koji predstavlja poremećaj u radu sistema sa negativnim utjecajem na bar jedan od slijedećih elemenata sa kojim se sistem cijevne mreže nalazi u interakciji (funkcionalno ili fizički), a to su:

1. Krajnji korisnik usluga vodosnabdijevanja
2. Davalac usluga vodosnabdijevanja – upravljač sistemom
3. Sistemsko okruženje “

Da bi se obradila problematika negativnog utjecaja cijevne na cestovnu infrastrukturu, potrebno je prije

svega postupiti prema preporukama Svjetske asocijacije za vode (IWA) objavljenim u priručniku[3] i definirati strukturu i vrijednost svih vrsta gubitaka, potom odrediti indikatore uspješnosti upravljanja sistemom na osnovu kojih će se definirati područja u kojima je potrebno izvršiti detekciju lokacija sa curenjima u cjevovodu. Sve navedene akcije treba upotpuniti sa statističkim proračunom koji će dati odgovor koliko se mjesta curenja nalazi ispod saobraćajnica i koliko vode i pri kojem pritisku se izgubi kroz curenja na lokacijama ispod (ili pored) saobraćajnica. S obzirom da sve vrste cijevi nemaju istu prirodu kada je u pitanju pojava i širenje mjesta curenja, ovu analizu bi trebalo upotpuniti i sa prikazom vrsta cijevi prema materijalu od kojeg su napravljene i nazivnom promjeru.

2. OSNOVNA PROBLEMATIKA

2.1 Slijeganje kolovozne konstrukcije izazvano curenjem vode iz vodovodnog sistema

Curenje vode iz podzemnih vodovodnih instalacija koje se nalaze ispod ili u neposrednoj blizini kolovoza, mogu prouzrokovati slijeganje kolovozne konstrukcije. Ovo slijeganje se može pojaviti iznenada, najčešće trenutno.

Foto 1 – Utjecaj cijevne na cestovnu infrastrukturu



Izvor: Water Loss Reduction Project in Selected DMA's - Sarabaya Indonesia – Sachsen Wasser Leipzig – Final Report

U zavisnosti od vrste tla na kojem su izgrađeni kolovozna konstrukcija i vodovodna mreža, ovisi vjerojatnoća i brzina ove negativne pojave. Kod glinovitih podloga voda iz oštećenog cjevovoda će linijom manjeg otpora prije pronaći put da kroz slojeve tla stigne do vodotoka, ili nekog drugog

resursa a da se pri tome nikada ne pojavi na površini. Za razliku od glinovitog, kod tla napravljenog od pješčara voda će ispirati tlo i na kraju se pojaviti na površini. Kod većih curenja pri većim pritiscima (iznad 4 bara) voda će ispirati okolno tlo, stvarajući kavernu ispod donjeg ustroja kolovozne konstrukcije. Usljed gubitka čvrste podloge ispod donjeg ustroja pod dejstvom korisnog saobraćajnog opterećenja može trenutno doći do urušavanja kolovoza u krater pun vode.

U decembru 2004. Na području općine Konjic došlo je do odrona magistralnog puta M17, izazvanog pucanjem dovodnog cjevovoda od polietilena promjera 300 m, koji je postavljen između kolovozai rijeke Neretve. U momentu nesreće cestom je prolazilo teretno vozilo sa prikolicom, nakon čega je prikolica propala u krater (koji se pretvorio u odron u rijeku Neretvu). Težina prikolice je počela da vuče vozilo za sobom. Veću nesreću je spriječila prisebnost vozača i suvozača koji su uspjeli na vrijeme otkaćiti prikolicu od vozila. Potpuni prekid saobraćaja na ovom putu je trajao 3 dana, nakon čega je izgrađen obilazni put. Cesta M17 je ponovo uspostavljena za normalan saobraćaj tek nakon nešto više od 30 dana.

Foto 2 – Odron na putu M17 – (kod Konjica)



Izvor: Privatni arhiv autora

2.2 Mjestimična poledica izazvana curenjem vode iz vodovodnog sistema

U zimskim uslovima vodovodne instalacije su značajno ugrožene posebno ako nisu propisno izvedene i zaštićene. Na temperaturama ispod 0 stepeni C voda iz tečnog agregatnog stanja prelazi u čvrsto agregatno stanje, koje izaziva povećanje zapremine, a pri čemu se odvijaju mrazno

dinamički procesi koji prouzrokuju ogromnu silu koja djeluje na stjenku cijevi ili cijevnu armaturu što u konačnici dovodi do pucanja i izlivanja vode.

Ovakvo ugrožavanje bezbjednosti cestovnog saobraćaja veoma rijetko izazivaju podzemna curenja, jer su cijevi uglavnom ukopane propisno ispod granice smrzavanja (min 80 cm za kontinentalni dio BiH). Ovi incidenti su najčešće izazvani uslijed pucanja armatura koje su smještene u oknima. Na ekstremno niskim temperaturama voda se izuzetno brzo pretvara u led i postoji vjerovatnoća da u prvim trenucima incidenta dođe do ozbiljnog ugrožavanja bezbjednosti saobraćaja za vozila koja se kreću cestom na kojoj je došlo do izlivanja vode.

U januaru 2011. godine u gradu Shotts u Škotskoj ovakav incident je prouzrokovao izlivanje gradskog autobusa sa glavne gradske ceste. U ovoj saobraćajnoj nezgodi lakše je povrijeđeno 5 osoba. Kako su u gradu vladale ekstremno niske temperature (-30C) za popravku curenja i uspostavljenje normalnog prometa je bilo potrebno 7 dana.

Sličan incident se desio i u Sarajevu u februaru 2012. godine. Incident nije prouzrokovao saobraćajne nezgode, ali je raskrsnica koja povezuje tri ključne ulice u općini Novo Sarajevo bila zatvorena za saobraćaj gotovo 24 sata.

Foto 3 – Poledica izazvana pucanjem cijevi u Shotts-u (Škotska)



Izvor: Wishaw Press (Kanarkshire – Scotland)

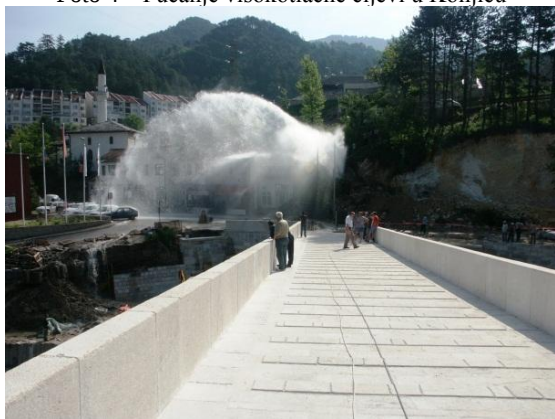
2.3 Ostali negativni utjecaji vodovodne na cestovnu infrastrukturu

IV Savjetovanje sa međunarodnim učešćem: Mobilnost i sigurnost cestovnog prometa

Osim gore navedenih direktnih negativnih utjecaja vodovodne na cestovnu infrastrukturu, mogući su i indirektni negativni utjecaji izazvani vanjskim djelovanjem na cjevovod. Takav je slučaj npr. incident koji se desio u vodovodnom sistemu Doboj, u oktobru 2003. godine, kada je došlo do pucanja potisnog cjevovoda promjera 400 mm. Pucanje je izazvano djelovanjem bagera koji je radio na izgradnji jedne benzinske pumpe. Pritisak u cjevovodu u momentu pucanja iznosio je 6,5 bara i voda je svojim djelovanjem prokopala ogromni krater, a potom i kanal kroz koji je odnijela veliku količinu materijala, koji je služio za nasipanje terena. Bager koji je vršio iskop također je završio u krateru punom vode, a mašinista se spasio doslovno u posljednji čas, tako što je iskočio iz bagera.

Sličan je i slučaj iz vodovoda Konjic. U mjesecu junu 2009. godine, dan prije svečane ceremonije otvaranja Starog mosta došlo je do pucanja visokotlačnog cjevovoda. Pritisak od 16 bara koliko je iznosio u momentu pucanja je mogao izazvati mnogo veću štetu od samog pljuska kojim je prekrrio most i okolni kolovoz, da se pucanje cijevi kojim slučajem dogodilo na poziciji bližoj kolovozu.

Foto 4 – Pucanje visokotlačne cijevi u Konjicu



Izvor: Privatni arhiv autora

2.4 Metodologija detekcije curenja

Pronalaženje mjesta curenja vode je složen proces i mora se vršiti po definisanoj proceduri. Cjevovodi koji su smješteni uz saobraćajnice su dio vodovodnog sistema i kao takve ih treba i tretirati.

Svaka kampanja koja treba da rezultira pronalaskom mikro lokacija podzemnih curenjana cjevovodu, odnosno njihovim smanjenjem, mora sadržati slijedeće korake:

- 1) Vizualna kontrola cjevovoda,
- 2) Zoniranje sistema,
- 3) Mjerenje hidrauličkih parametara,
- 4) Proračun vodnog bilansa,
- 5) Zvučna detekcija curenja,
- 6) Iskopavanje i popravka curenja,
- 7) Kontrolno mjerenje hidrauličkih parametara i ponovni izračun vodnog bilansa,

U nastavku će kratko biti opisane sve navedene stavke.

Vizualna kontrola ima za cilj da se potraže mogući znakovi koji mogu uputiti na pojavu podzemnih curenja, kao i da se otkriju sva vidljiva curenja koja moraju biti otklonjena odmah, a obavezno prije nastavka daljih aktivnosti, jer zvuk koji proizvode ova isticanja je dominantan i svojom jačinom će „pokriti“ zvuk podzemnih kvarova, koji će u tom slučaju ostati ne detektovani.

Mogući znak koji upućuje na postojanje podzemnog curenja može biti udubljenje u ili pored kolovoza, ili vlaga na kolovozu posebno u noćnim satima, kada uslijed povišenog pritiska u sistemu, kapilarnim podizanjem, vlaga izbija na površinu itd.

Zoniranje mreže

Mjerenja gubitaka protjecanja i potrošnje vode u svim vodovodnim sistemima, osim onih najmanjih koji imaju manje od 500 priključaka, provodi se zonski. Zone za mjerenja gubitaka su dijelovi vodovodnog sistema koji u određenom momentu mogu biti izolirani od ostalog dijela vodovodnog sistema. U slučaju da to nije moguće zona se mora organizirati tako da se paralelno sa ulaznim mjere i izlazni protoci iz zone. Zone se prave u svrhu da se poveća preciznost, koja će omogućiti lakše pronalaženje mjesta curenja i smanje troškovi mjerenja. Određena dionica cjevovoda koja prolazi pored ili uz kolovoz se može tretirati kao pod-zona unutar zone.

Mjerenje hidrauličkih parametara

Pod hidrauličkim parametrima se podrazumijevaju vrijednosti pritiska i protoka u određenom periodu mjerenja (najčešće 7 dana kako bi se izbjegla sedmična neravnomjernost potrošnje). Kod

mjerenja gubitaka na cjevovodima koji se pružaju uz ili ispod kolovoza, mjerenje protoka treba izvršiti instalacijom dva prijenosna ultrazvučna mjerača protoka. Jedan mjeri protok na ulazu a drugi na izlazu, tako da će razlika (ukoliko na cjevovodu nema priključaka) predstavljati gubitak.

Proračun vodnog bilansa

U prošlosti je korištena široka lepeza oblika i definicija za proračun gubitaka u mreži.

Svjetska asocijacija za vode (IWA) je formirala radnu grupu i razvila metodologiju za definiranje gubitaka, baziranu na indikatorima uspješnosti kako bi svi pojedinačni rezultati bili međunarodno usporedivi. Ovakav pristup prikaza stanja proizvodnje vode, potrošnje vode i ukupnih gubitaka se naziva vodni bilans (engl „WaterBalance“ po terminologiji IWA ili „WaterAudit“ po terminologiji Svjetske banke) .

Svi podaci se unose za definirani vremenski interval. Komponente bilansa vode prema IWA preporukama su prikazane u tabeli 1.

Navedena metodologija nudi dva pristupa

1. „Od vrha prema dnu“ – koji se u najvećoj bazira na procjenama stanja,
2. „Od dna prema vrhu“ – koji se bazira na rezultatima dobivenim hidrauličkim mjerenjima u sistemu.

Prvi pristup je brz i jeftin ali, s obzirom da se bazira na procjenama i analizi postojeće dokumentacije u vodovodima, vrlo je nepouzdan, (posebno u zemljama u razvoju), za razliku od drugog pristupa koji bez obzira što je mnogo skuplji i iziskuje mnogo više vremena, je ipak puno prihvatljiviji za vodovodne sisteme u regionu, jer daje potpuno pouzdane podatke o gubicima u vodovodnoj mreži.

Tabela 1: Komponente vodnog bilansa u skladu sa preporukama IWA-e

Isporučena količina vode u sistemu (korisnjava za poznate gubitke)	Autorizovana potrošnja	Obračunata autorizovana potrošnja	Mjerena potrošnja	PRIHODOVANA VODA	
			Nemjerena potrošnja		
		Gubici	Neobračunata autorizovana potrošnja	Mjerena potrošnja	NEPRIHODOVANA VODA (NRW)
	Prividni gubici			Nemjerena potrošnja ilegalna potrošnja	
				Greške mjerenja potrošačkih vodomjera	
				Greške u obradi podataka	
				Curenja na cjevovodima	
	Stvarni gubici		Curenja iz rezervoara		
			Curenja na svim priključcima do potrošačkih vodomjera		

Izvor: Blue Pages - Izvor informacija IWA-e o pitanjima pijaće vode

Svi podaci se obrađuju u software-skim modelima. Rezultati prikazani u ovom radu su obrađeni u software-skim modelu CalcuLEAKatorčiji je autor koautor ovog rada i kao rezultat se osim komponenti vodnog bilansa dobivaju i pokazatelji uspješnosti koji usmjeravaju dalje aktivnosti.

Foto 5 – program CalcuLEAKator



Izvor: Program autora – www.waterloss.com.ba

IWA je dozvolila upotrebu 170 različitih indikatora uspješnosti. Ključni indikator uspješnosti je Infrastrukturni indeks gubitaka (ILI - engl. Infrastructure Leakage Index)

ILI - Infrastrukturni indeks gubitaka definira kvalitetu upravljanja vodovodnim sistemom (održavanje, popravke, rehabilitacija), za kontrolu stvarnih gubitaka (curenja). Matematički predstavlja omjer između aktualnih stvarnih gubitaka na godišnjem nivou (CARL) i neizbježnih godišnjih stvarnih gubitaka (UARL). Nizak „ILI“ pokazuje da je vodovod uspio curenja u svojoj mreži spustiti prema razini UARL-a, ili do teoretskog donjeg limita koji se može postići.

Kako je „ILI“ bez-dimenzionalni indikator, on je vodeći pokazatelj za „benchmarking“ curenja u

vodovodnim sistemima, odnosno za korištenje u komparaciji vodovoda iz različitih dijelova svijeta.

UARL - Neizbježni godišnji stvarni gubici u literaturi[3] koju je izdala IWA označava kao UARL (engl. Unavoidable Annual Real Losses) i definira se kao teoretska referentna vrijednost koja predstavlja najnižu moguću tehničku granicu curenja vode iz cjevovoda, a koju je moguće postići korištenjem najboljih svjetskih tehnologija dostupnim u današnje vrijeme.

Ne preporučuje se da vodovodi nastoje smanjiti vrijednost ovog pokazatelja osim u slučajevima kada je cijena vode enormno visoka.

Ovaj indikator je jedan od dva ključna indikatora za proračun „ILI“ indeksa

UARL se izračunava po formuli (1):

$$UARL = (18 \times L_m + 0,8 \times N_C + 25 \times L_p) \times P \quad (l/d) \quad (1)$$

gdje je:

L_m – Dužina cjevovoda u mreži (km),

N_C – Ukupni broj priključaka u sistemu,

L_p – Ukupna dužina priključnih cijevi koje prolaze kroz privatne posjede,

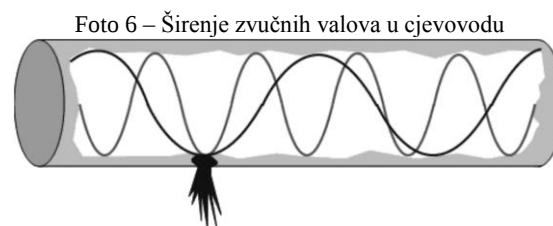
P – Prosječna vrijednost pritiska u sistemu (mVs).

CARL - Aktualni stvarni gubici na godišnjem nivou predstavljaju zapreminu vode koja se izgubi kroz sve vrste fizičkih kvarova na sistemu, bilo da je riječ o otkrivenim ili neotkrivenim kvarovima ili pak greškama operatora (npr. preljevi na rezervoarima). Omjer CARL/UARL definira vrijednost Infrastrukturnog indeksa curenja (ILI).

Zvučna detekcija curenja

Zvučna detekcija gubitaka predstavlja ključni korak u akciji smanjenja gubitaka u sistemu. Detekcija će biti usmjerena u područja (zone) koje imaju najveći „ILI“ ili neki drugi indikator uspješnosti. Kod lociranja oštećenja i neispravnosti na cjevovodima koristi se u prvom redu slušni efekt šuma kojeg proizvodi curenje. Pri istjecanju vode na oštećenom mjestu u okolno tlo nastaju zvučni valovi koji se prema naprijed prenose zajedno s vodenim stupom. Zvučni valovi vodenog stupa šire se na obje strane

cjevovoda udarajući pri tom o njegove stijenke tako da možemo govoriti o tzv. odjeku zvuka tijela.



Izvor: Priručnik za efikasno mjerenje i otkrivanje curenja u vodovodnim sistemima (Koldžo, 2004)

Što se zvučni valovi dalje šire, to se slabije čuju i postoji tačka u vodenom stupu na kojoj oni više nisu u mogućnosti materijal, od koje je izrađena cijev, dovesti u stanje „nihanja“. To je mjesto gdje se više ne čuje odjek tijela (cjevovoda). U ovom razmatranju i sastav tla ima važnu ulogu. Ne smije se zanemariti ni zaptivenost cjevovoda, zatim materijal od kojih su izrađene cijevi, pogonski pritisak i promjer cijevi.

Postoje tri vrste zvuka koji prouzrokuje curenje vode iz cijevi:

Odjek cjevovoda - Pomoću osjetljivog mikrofona i instrumenta slušaju se zvučni valovi u cjevovodu na pristupačnim mjestima. Pri tome se titraji cijevi mogu utvrditi osjetljivim mikrofonom. Raspon frekvencija u tim signalima kreću se između 500 i 3 000 Hz.

Odjek tla - koji nastaje zbog pritiska koji izaziva izbijajuća voda koja udara o tlo i time izaziva zvuk. Ovaj zvuk širi se u ljevkastom obliku prema gore (površina tla) i može se registrirati pomoću osjetljivog mikrofona. U ovom slučaju frekvencije šuma se kreću od 100 do 700 Hz. Visine frekvencija, čija valna duljina je manja od dubine položene cijevi, jako se prigušuju na temelju djelovanja dubljih dijelova tla tako da niže frekvencije lakše prodiru na površinu tla.

Odjek isticanja - Koji ovisi od oblika otvora ili pukotine i pritiska u cijevi. Frekvencija šuma koje proizvodi isticanje se kreće u rasponu od 600 do 2000 Hz.

Zvučne metode lociranja kvarova su bazirane na prepoznavanju kvarova na osnovu frekvencije

zvuka. Za ovu metodu se koriste posebni mjerni uređaji.

Foto 7 – Detektovano curenje ispod saobraćajnice
(Tuzla, april 2013.)



Izvor: Privatni arhiv autora

Iskopavanje, popravka curenja, ponovno mjerenje gubitaka i proračun vodnog bilansa

Nakon završene detekcije curenja svi kvarovi se moraju iskopati i popraviti. Danas postoje metodologije (C- liner) koje omogućavaju popravke cijevi bez iskopa na taj način da se kroz staru cijev provlači nova cijev čiji je profil konkavan i tako smanjen za 30%. Cijev će dobiti puni profil kada se ispuni vrelom parom.

Foto 8 – Sanacija cijevi bez iskopa



Izvor: Priručnik za efikasno mjerenje i otkrivanje curenja u vodovodnim sistemima (Koldžo, 2004)

Nakon popravke svih kvarova akcija hidrauličkih mjerenja se ponavlja na isti način kao prvi puta, a nakon toga se vrši ponovni proračun vodnog bilansa i pokazatelja uspješnosti, preko kojih se vidi da li su postignuti zadovoljavajući rezultati ili se kampanja mora nastaviti ponavljanjem nekih od aktivnosti.

2.5 Statistička analiza potencijalnih mjesta curenja u 5 općina u Srednjoj Bosni

U 2011. i 2012. godini u 5 općina u srednjoj Bosni (Zenica, Travnik, Novi Travnik, Busovača i Vitez) je implementiran projekt smanjenja gubitaka vode. Projekt je financiran sredstvima EU. Prema projektnom zadatku u svim sistemima je izvršeno mjerenje hidrauličkih parametara i proračun vodnog bilansa te na osnovu indikatora uspješnosti odabrana po jedna zona u kojoj je izvršena akcija zvučne detekcije gubitaka.

Podaci o vrijednosti izmjerenih stvarnih gubitaka je prikazan u tabeli 2²²:

Tabela 2: Izmjerene vrijednosti stvarnih gubitaka u cjevovodima uz saobraćajnice u 5 vodovoda u srednjoj Bosni

PARAMETRI	VOD.1	VOD.2	VOD.3	VOD.4	VOD.5	UKUPNO
Svami gubici - CARL (m ³ /god) - cijeli sistem	329.788	1.159.786	1.023.655	1.670.223	5.230.450	9.413.901
Svami gubici - CARL (m ³ /god) - odabrana zona	303.068	556.660	303.426	466.796	1.111.790	2.741.741
Nezbučeni gubici- UARL (m ³ /god) - cijeli sistem	38.519	30.615	56.391	318.159	147.800	591.483
Nezbučeni gubici- UARL (m ³ /god) - odabrana zona	26.129	11.059	9.110	51.811	25.268	123.377
Prosječna vrijednost pritiska (bar) - cijeli sistem	3,1	3,9	3,6	5,3	4,4	20,3
Prosječna vrijednost pritiska (bar) - odabrana zona	4,0	4,5	3,7	5,0	5,3	22,5
Ukupna dužina cjevovoda (km) - cijeli sistem	16,9	36,9	67,7	205,3	108,0	434,8
Ukupna dužina cjevovoda (km) - odabrana zona	5,0	18,0	10,6	33,1	18,0	84,7
Ukupna dužina cjevovoda ispod ili uz saobraćajnice (km) - cijeli sistem	11,9	33,0	45,3	171,0	86,0	347,2
Ukupna dužina cjevovoda ispod ili uz saobraćajnice (km) - odabrana zona	4,2	15,0	9,1	28,7	16,0	73,0

Izvor: Proračun autora za ovaj rad

Iz tabele se može vidjeti da je ukupna dužina vodovodne mreže u 5 predmetnih vodovodnih sistema od 434,8 km a da od toga 347,2 km prolaze uz ili ispod saobraćajnica ili gradskih ulica.

U svim sistemima se ukupno kroz curenja izgubi 9.413.901 m³/god, odnosno 298,5 l/s. Za godinu dana izgubljenom vodom u 5 vodovoda u srednjoj Bosni može se napuniti 3765 olimpijskih bazena, ili obezbjediti vodosnabdijevanje za grad sa više od 190.000 stanovnika.

Na osnovu navedenih podataka dobivenih hidrauličkim mjerenjima i proračunom vodnog bilansa korištenjem formule (2), može se lako izračunati kolika se količina vode izgubi kroz curenja iz cjevovoda koji se nalaze ispod ili uz saobraćajnice.

²² Podaci o vrijednosti gubitaka predstavljaju poslovnu tajnu i zbog toga su nazivi vodovoda izostavljeni, te prikazani u proizvoljnom redoslijedu.

$$Q_{c.s.} = Q_c \times \frac{L_s}{L} \left(m^3/god. \right) \quad (2)$$

iz čega se dobije da je količina vode koja iscuri pored ili ispod saobraćajnica:

$$Q_{c.s.} = 7.517.264 \left(m^3/god. \right) \quad (3)$$

gdje je:

$Q_{cs.}$ – Količina vode koja se izgubi kroz stvarne gubitke u cjevovodima koji se nalaze ispod ili uz saobraćajnice u svih 5 vodovoda ($m^3/god.$),

Q_c – Količina vode koja se izgubi kroz stvarne gubitke u 5 vodovoda u srednjoj Bosni ($m^3/god.$),

L – Ukupna dužina cjevovoda u svih 5 vodovodnih sistema (km),

L_s – Ukupna dužina cjevovoda koja se pruža ispod ili pored saobraćajnica (km)

Ova količinom vode bi se moglo napuniti 3007 olimpijskih bazena.

U tabeli 3 je prikazan broj detektovanih curenja u odabranim zonama (po jedna zona u svakom od sistema).

Tabela 3: Broj detektovanih curenja iz cjevovoda uz saobraćajnice u 5 vodovoda u srednjoj Bosni

PARAMETRI	VOD. 1	VOD. 2	VOD. 3	VOD. 4	VOD. 5	UKUPNO
Broj detektovanih curenja u odabranoj zoni	8	12	9	7	22	58
Broj curenja u cijelom sistemu dobiven statistički interpolacijom	9	25	30	25	103	193
Broj detektovanih curenja u odabranoj zoni ispod ili uz saobraćajnicu	6	8	7	5	17	43
Broj curenja u cijelom sistemu ispod ili uz saobraćajnicu dobiven statistički interpolacijom	7	17	24	18	80	145

Izvor: Proračun autora za ovaj rad

U 5 zona u 5 vodovoda je detektovano 58 lokacija curenja vode.

Korištenjem formule (4) za svaki sistem je interpolacijom na osnovu broja curenja detektovanih u odabranoj zoni i odnosom ukupne vrijednosti izmjerenih stvarnih gubitaka u sistemu i odabranoj zoni izračunat ukupan broj curenja u svakom sistemu.

$$C_s = C_z \times \frac{S_{CARL}}{Z_{CARL}} \quad (4)$$

gdje je:

C_s – Ukupan broj curenja u cjelokupnom sistemu,

C_z – Broj curenja koji je detektovan u odabranoj zoni,

S_{CARL} – Izmjereni stvarni gubici u cijelom sistemu,

Z_{CARL} – Izmjereni stvarni gubici u odabranoj zoni.

Zbirom pojedinačnih procjena ukupnog broja curenja u svakom sistemu dobije se da u 5 vodovodnih sistema u srednjoj Bosni postoje 193 mjesta isticanja vode iz vodovodnih sistema.

Daljnjom analizom je napravljena procjena broja curenja na vodovodnim sistemima koji se nalaze ispod ili pored saobraćajnica u svakom od 5 vodovoda u srednjoj Bosni. Procjena je napravljena korištenjem formule (5):

$$C_{s.s.} = C_s \times \frac{L_s}{L} \quad (5)$$

gdje je:

$C_{s.s.}$ – Broj curenja u vodovodnim sistemu iz cjevovoda koji se nalaze ispod ili pored saobraćajnica

C_s – Ukupan broj curenja u cjelokupnom sistemu,

L – Ukupna dužina cjevovoda u svih 5 vodovodnih sistema (km),

L_s – Ukupna dužina cjevovoda koja se pruža ispod ili pored saobraćajnica (km)

Iz čega se dobije da je se ispod saobraćajnica u 5 općina u srednjoj Bosni nalazi 145 lokacija isticanja vode iz cijevi.

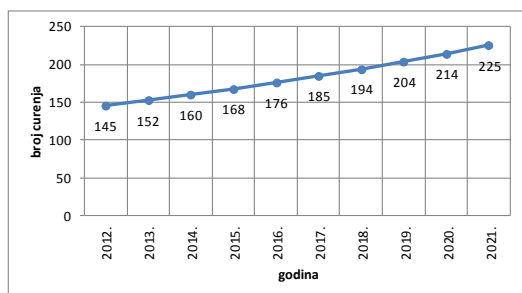
U odnosu na ukupnu dužinu cijevi koje se nalaze ispod ili pored saobraćajnica dobiva se podatak da na svakih 2,4 km se nalazi jedno mjesto curenja vode iz vodovodnog sistema.

Stvarni gubici se prema istraživanjima uvećavaju za cca 5% godišnje (Koldžo[4]) po čemu proizlazi da će broj mjesta curenja ispod ili pored

saobraćajnica u 5 općina u srednjoj Bosni u slijedećih 10 godina, uz uslov da izostane adekvatna akcija, porasti na 225 (dijagram 1), odnosno vrijednost stvarnih gubitaka će se uvećati sa sadašnjih 9.8 na više od 14,6 mil. m³/god. (dijagram 2)

Dijagram 1: Očekivani broj curenja uz saobraćajnice 5

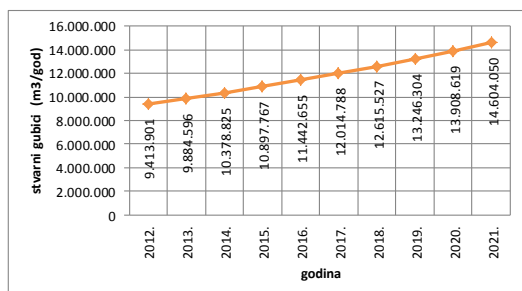
općina u srednjoj Bosni u slijedećih 10 godina (ako izostane adekvatna akcija)



Izvor: Proračun autora za ovaj rad

Dijagram 2: Očekivana vrijednost stvarnih gubitaka kroz

curenja uz saobraćajnice u slijedećih 10 godina (ako izostane adekvatna akcija)



Izvor: Proračun autora za ovaj rad

3. ZAKLJUČAK

Problematici negativnog utjecaja vodovodne na cestovnu infrastrukturu se do sada nije posvetila dovoljna pažnja. Dokaz za ovo je i to da autori ovog rada u bazi podataka IWA-e u kojoj se nalazi više od 10.000 radova, knjiga i časopisa nisu pronašli niti jedan tekst koji se isključivo bavi ovom temom.

Za rješavanje problema se mora obezbijediti multidisciplinarni pristup, jer mada isti spada u domenu vodovodnih preduzeća, veoma je čest

slučaj da se detektovano curenje ne može otkloniti zbog toga što se za iskop mora dobiti dozvola od ministarstva saobraćaja ili neke druge institucije, a dobivanje iste je dug i mukotrpan proces. Isto tako geološki pristup problematici bi u mnogo slučajeva mogao dati odgovore na pitanja kolika je i da li uopće postoji opasnost od ovakvih incidenata na određenim lokalitetima.

Kako ovaj problem nije ograničen samo na BiH već i na druge zemlje u regionu, bilo bi korisno kada bi za početak bio izrađen registar cjevovoda koji se pružaju uz saobraćajnice. Ovakav registar bi mogle izraditi međunarodne institucije kakva je npr. NALAS (Udruženje lokalnih samouprava jugo istočne Evrope), koja okuplja 15 lokalnih udruga iz regiona uključujući i zajednicu općina FBiH, i zajednicu opština RS. Registar bi doprinio razmjeni iskustava kada je u pitanju način izgradnje cjevovoda uz saobraćajnice, ali i primijenjene metodologije popravke i ogovarajuće legislative koja prati istu. U slijedećim koracima morala bi se definirati strategija i metodologija koja će adekvatno definirati i odgovoriti na pitanja, kada, gdje, zašto i kako može doći do incidenta, ali i šta učiniti kako bi se spriječilo da do njega dođe.

LITERATURA:

- [1] M. Kwietniewski, Field test methodology of water networks from the consumer's point of view, Naučni rad, University of Technology Warsaw, Book 28. Warsaw, 1999.,
- [2] S. Špago, Fuzzy model odlučivanja kod upravljanja procesom obnavljanja i razvoja vodovodne mreže, Doktorski rad, Univerzitet „Džemal Bijedić“ – Mostar, 2009.,
- [3] IWA, The Blue Pages, Izvor informacija IWA-e o pitanjima pijuće vode, IWA, 2000.,
- [4] Đ. Koldžo, Priručnik za efikasno mjerenje i otkrivanje gubitaka u vodovodnim sistemima, Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu, 2004.,
- [5] Đ. Koldžo, B. Vučijak, A. Čerić, Key Operational Performance Indicators for Water Losses in Water Utilities in B&H, Naučni rad, International Science Conference Reporting For Sustainability, Budva, 2013.