

EKONOMSKI POKAZATELJI GUBITAKA VODE U JAVNOJ VODOOPSKRBI: STUDIJA SLUČAJA REPUBLIKA HRVATSKA

Dino OBRADOVIĆ, Marija ŠPERAC

Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

REZIME

Nagli porast stanovništva i klimatske promjene uzrok su da su gubici vode postali glavni problem u vodoopskrbnom i distribucijskom sustavu. Posljedice velikih gubitaka vode u vodoopskrbi očituju se u ekonomskim troškovima i štetama za okoliš. Gubici povećavaju troškove poslovanja poduzeća zaduženih za javnu vodoopskrbu. Takvo poslovanje je neekonomično, korisnici vodnih usluga plaćaju veće račune za usluge vodoopskrbe, a pitka voda, koje je sve manje na raspolaganju za ljudske potrebe, se nepotrebno uništava.

U radu su kratko prezentirane metode za pronalaženje curenja vode u vodoopskrbnom sustavu: pomoću uređaja za detekciju curenja vode, sustava za kontinuirano praćenje protoka te satelitskim načinom. Prikazana je IWA (International Water Association, Međunarodna udruga za vode) metodologija za izračun gubitaka vode te ILI pokazatelj (Infrastructure Leakage Index, Indeks curenja infrastrukture).

Na primjeru Republike Hrvatske dani su osnovni podaci o vodoopskrbnom sustavu, i to: naselja obuhvaćena mrežom javne vodoopskrbe, ukupna duljina vodoopskrbne mreže, broj priključaka na vodoopskrbu, ukupna količina vode, ukupna količina isporučene vode i ukupni gubici vode. Svi prethodno navedeni podaci dani su za razdoblje od 21 godinu, odnosno od 2001. do 2021. godine. Prikazani su koeficijenti korelacije za sve navedene varijable. Istražena je mogućnost modeliranja gubitaka vode s obzirom na određene varijable. Analizirani su podaci o gubitcima voda sa stajališta

izgubljene pitke količine vode te s ekonomskog stajališta.

Na kraju rada je zaključak s obzirom na prikazane podatke i provedenu analizu te osvrt na problematiku gubitka vode.

Glavne riječi: gubici vode, javna vodoopskrba, trošak, upravljanje vodoopskrbom

1. UVOD

Voda je ključni element održivog razvoja, globalna materija koja značajno utječe na razvoj ili propast života na Zemlji. Zbog trenda koncentracije stanovništva u gradovima, bez pretjerivanja se može reći da će njihovo funkcioniranje ovisiti o količini i kvaliteti upravljanja i raspodjeli vodnih resursa unutar gradova [1] te da će se rizici vezani uz vodu sve više koncentrirati u gradovima [2].

Posljednjih su godina vodni resursi pod sve većim pritiskom zbog utjecaja klimatskih promjena, porasta stanovništva i gospodarskog razvoja [3]. Kako je broj stanovnika na Zemlji u porastu, a time i potrebe stanovništva za vodom za život i rad, ona postaje važan čimbenik za brigu o očuvanju voda [1,4,5]. Rezolucija Opće skupštine UN-a 64/292 iz 2010. godine potvrdila je pravo na sigurnu i čistu vodu za piće i odvodnju otpadnih voda kao ljudsko pravo neophodno za potpuno uživanje života i svih ljudskih prava [4,6,7]. Svima moraju biti osigurane i lako dostupne dovoljne količine vode [8].

Članak 3. Zakona o vodnim uslugama (NN 66/19) daje definiciju javne vodoopskrbe te se navodi: „Javna vodoopskrba je djelatnost zahvaćanja podzemnih i površinskih voda u svrhu ljudske potrošnje i njihova kondicioniranja te isporuka do krajnjega korisnika vodne usluge ili do drugoga isporučitelja vodnih usluga

Podaci o prihvatanju članka

Primljen: 15.3.2023.

Ispravljen: 31.5.2023.

Prihvaćen: 10.6.2023.

Kontakt: dobradovic@gfos.hr

ili do javne slavine putem građevina za javnu vodoopskrbu te upravljanje tim građevinama, kao i pokretna isporuka vode za ljudsku potrošnju (autocisternom, vodonoscem ili na drugi način), kad je to određeno ovim Zakonom ili zakonom kojim se uređuje način upravljanja razvojem hrvatskih otoka“ [9].

Budući da je javna vodoopskrba vodna usluga (uz uslugu javne odvodnje) [9] te se troškovi upravljanja njom i troškovi javnih isporučitelja vodnih usluga, financiraju iz cijene vodne usluge, važno je o troškovima voditi računa. Krajnji korisnici plaćaju navedeno te jedan od ciljeva treba biti smanjenje ukupnih troškova.

Nadalje, u članku 5. Zakona o vodnim uslugama (NN 66/19) stoji da se „vodne usluge pružaju pod nediskriminacijskim i socijalno prihvatljivim uvjetima; djelatnosti vodnih usluga se obavljaju trajno, učinkovito, ekonomično i svrhovito, da se obavljaju tako da se osigura njihov održivi razvitak i stalno povećanje kakvoće vodnih usluga“ [9].

Prema studiji Svjetske banke, oko 48 milijardi m³ vode godišnje se izgubi iz sustava distribucije vode [10–12], što košta vodoopskrbna poduzeća oko 14 milijardi USD godišnje u cijelom svijetu [10,11].

Sve veći troškovi vodoopskrbe tjeraju dobavljače poboljšati učinkovitost vodoopskrbnih poduzeća, između ostaloga, putem smanjenja gubitaka vode. Izvori vode moraju se učinkovito koristiti za trajno zadovoljenje potražnje rastućeg broja stanovništva, uzimajući u obzir ograničenu i smanjenu dostupnost vode [13,14].

Međutim, sva proizvedena voda ne dolazi do kupaca kako bi se stvorio prihod za vodoopskrbna poduzeća. Umjesto toga, značajan dio toga se gubi zbog curenja iz vodoopskrbne mreže i neovlaštenog korištenja vode [15,16]. Trošak proizvodnje pitke vode razlikuje se od poduzeća do poduzeća zbog kvalitete i dostupnosti izvora vode, veličine sustava, geografskog položaja, troškova energije i drugih čimbenika. Isto tako, vodoopskrbna poduzeća postavljaju korisničke cijene i naknade koje su specifične za njihove vlastite troškove poslovanja, a te naknade uvelike variraju. Kada vodoopskrbno poduzeće doživi curenje u svom sustavu distribucije vode, gubici povećavaju proizvodne troškove, a istovremeno prisiljavaju vodoopskrbno poduzeće da povuče više vode iz svojih izvora nego što je potrebno njegovim potrošačima [17].

Najveću količinu curenja vode je moguće izbjeći [13,18], međutim, određeni dio curenja je neizbježan, čak i kod novih, dobro upravljanih i održanih vodoopskrbnih sustava [13,18], [19] gdje dobavljači vodoopskrbnog sustava obraćaju veliku pažnju na kontrolu gubitka vode. Uz rastući međunarodni trend prema održivosti, ekonomskoj učinkovitosti i zaštiti okoliša, problemi gubitaka vode iz sustava vodoopskrbe od velikog su interesa u cijelom svijetu. I tehnički i financijski aspekti navedenog problema dobivaju sve veću pozornost, osobito tijekom nedostataka vode i razdoblja brzog razvoja [19].

Međunarodna udruga za vode (International Water Association, IWA) zagovara i promiče osnovne aktivnosti za upravljanje smanjenja curenja, i to:

- upravljanje pritiskom
- aktivnu kontrolu curenja
- upravljanje brzinom i kvalitetom popravaka cijevi
- ciljano održavanje i obnavljanje [20]
- zoniranje sustava [21,22].

Iako nije izvedivo eliminirati svu neprihodovanu vodu u vodoopskrbnom poduzeću, smanjenje trenutne razine gubitaka za polovicu u zemljama u razvoju čini se realnim ciljem. Ovo bi smanjenje moglo generirati procijenjenih dodatnih 2,9 milijardi USD u gotovini svake godine za vodni sektor (iz povećanih prihoda i smanjenih troškova) i potencijalno opsluživati dodatnih 90 milijuna ljudi bez ikakvih novih ulaganja u proizvodne pogone ili daljnjeg korištenja oskudnih vodnih resursa [11].

2. NAČINI PRONALAZENJA GUBITAKA VODE

Izvor najvećih gubitaka vode su skrivena podzemna propuštanja cijevi koja mogu varirati od malih količina do velikih. Podzemna curenja se javljaju na puknutim spojnica cijevi, cijevima oštećenim korozijom i sl. [23].

Kvar na vodoopskrbnoj mreži, ovisno o vrsti oštećenja, veličini oštećenja i tlaku u mreži, karakterizira različit protok vode iz cijevi. Što je otvor za curenje veći i tlak veći, veće je i istjecanje vode iz cijevi kroz nastalu rupu, odnosno oštećenje [24]. Jedan od važnih načina sprječavanja curenja vode iz vodoopskrbnog sustava je njegovim pravovremenim otkrivanjem.

U slučaju istjecanja vode iz oštećenih cijevi često se događa da voda ne dođe do površine već se izgubi kroz porozno tlo ili nađe put u obližnje kontrolno okno. U

takvim slučajevima se pomoću opreme za makro mjerenje ispituju neispravne dionice te se pojedine dionice zatvaraju, svodeći tako problem na mikro lokaciju [25].

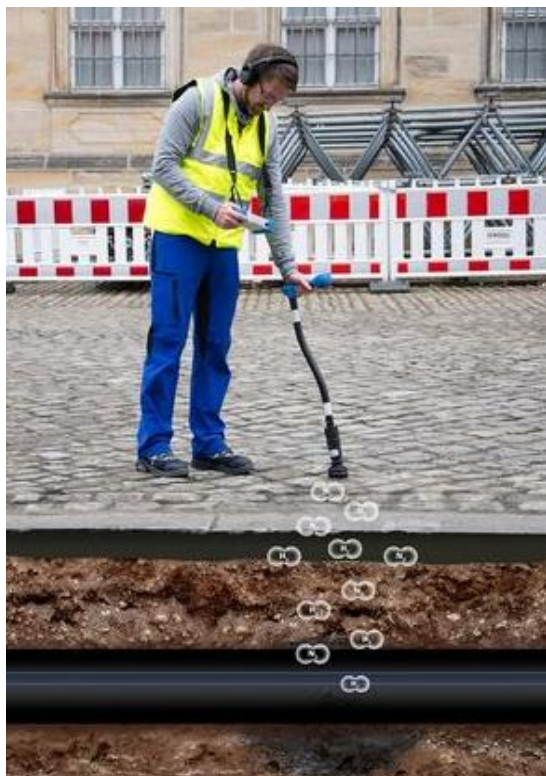
Veoma je važno zonirati vodoopskrbni sustav kako bi se curenje moglo lakše otkriti, ali i sanirati.

Razlikuju se dva načina otkrivanja gubitaka:

- indirektan način koji se sastoji u uspoređivanju proizvedene vode i obračunate potrošnje vode u određenom razdoblju (obično mjesec dana), i
- direktan način koji podrazumijeva ispitivanje mreže i objekata traženjem kvarova [25].

Indirektnim se načinom mjere gubitci na relaciji od vodozahvata do vodospreme, ili mjerenjem gubitaka od vodozahvata do distributivne mreže i to sve u noćnim satima kada je potrošnja najmanja [25].

Također, od uređaja može se navesti elektroakustični prislušni uređaj za detekciju curenja vode s mikrofonom [26] prikazan na slici 1.



Slika 1. Prikaz rada uređaja za detekciju curenja vode [27]

Voda koja izlazi iz cijevi stvara šum koji se širi prema površini, a također curenje vode uzrokuje vibraciju cijevi te se na ovaj način mjesto curenja može vidjeti i čuti [27]. Vibracija cijevi se može čuti i na jako udaljenom mjestu, ako se ima izravni kontakt s cijevi (na ventilima, hidrantima, kućnim priključcima itd.) [27].

Postoji i ultrazvučni mjerni sustav za praćenje protoka pomoću kojeg se obavlja trajni nadzor protoka u određenom dijelu vodoopskrbne mreže (u zonama). Može se obavljati neprekidan nadzor vodoopskrbnog sustava, trenutno prepoznavanje kvarova, prijenos podataka je siguran i jeftin i sl. [27].

Jedan primjer sustava za kontinuirano praćenje protoka prikazan je na slici 2. Prikazan je jedan čvor, odnosno mjerno mjesto vodoopskrbnog sustava Osijeka koji je opskrbljen višenamjenskom sondom za dvosmjerno mjerenje protoka, tlaka i šuma, zasunom s elektromotorom, uređajem za mjerenje rezidualnog klora i doznom pumpom hipoklorita.



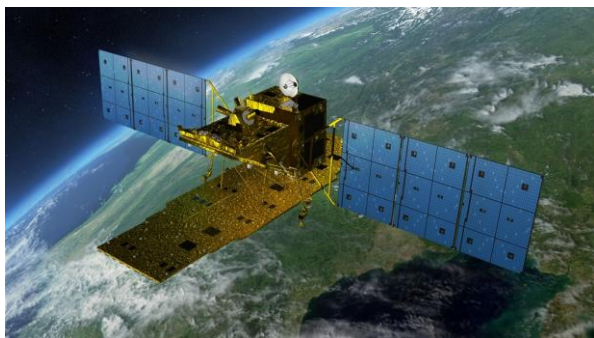
Slika 2. Sustav za kontinuirano praćenje protoka vodoopskrbnog sustava Osijeka

Na slici 3. prikazan je ugrađeni senzor sustava za kontinuirano praćenje protoka na cijev.



Slika 3. Ugradnja senzora za kontinuirano praćenje protoka [28]

Osim prethodno prikazanih uređaja i sustava za otkrivanje curenja u vodoopskrbnim sustavima, dostupna je tehnologija satelitskog radarskog otkrivanja i mikrolociranja curenja [29]. Utilis, inovativna tehnologija za otkrivanje curenja vode pomoću satelita (Slika 4) je novi revolucionarni način traženja curenja vode na osnovu analize radarskih satelitskih snimaka. Tehnologija koja je razvijena za traženje vode na drugim planetima sada se može koristiti za otkrivanje curenja vode u vodoopskrbnim sustavima [29].



Slika 4. Satelit [30,31]

Neke prednosti uporabe navedene tehnologije su:

- mogućnost rada kod svih vremenskih uvjeta
- mogućnost rada preko dana i noći
- osjetljivost na dielektrična svojstva
- osjetljivost na objekte napravljen od strane čovjeka
- prodiranje ispod površine [32].

Nadalje, prednosti su:

- Cijeli vodoopskrbni sustav je moguće ispitati do 12 puta godišnje, a ne jednom svakih jednu do pet godina ili manje.
- Moguće razdoblje curenja smanjeno je s više od 3 do 5 godina na maksimalno jedan mjesec.
- Prioritetna curenja mogu se brzo otkriti time smanjujući potencijalnu štetu i troškove.
- Neprihodovana voda će se brže smanjiti i ostati na niskom nivou.
- Nema ometanja od vremenskih uvjeta, prometa i buke.
- Smanjuje se ugljični otisak.
- Učinkovitije korištenje ljudskih resursa i financijskih resursa [32].

Velika britanska komunalna tvrtka, South Staffs Water, koja opskrbljuje više od pola milijuna domova vodom koristi satelitsko otkrivanje curenja na 6000 km distribucijskih i glavnih cjevovoda, kao dio svojih planova za smanjenje curenja [33].

3. METODOLOGIJE ZA IZRAČUN GUBITAKA VODE

3.1. IWA metodologija

Međunarodna udruga za vode (International Water Association, IWA) s ciljem potpunijeg razumijevanja problematike i prepoznavanja osnovnih strukturnih elemenata potrošnje vode, je definirala novi standard bilanciranja vode.

Predloženu metodologiju bilanciranja vode u sklopu vodoopskrbnih sustava priznale su i vodeće svjetske institucije: Svjetska zdravstvena organizacija (World Health Organization, WHO), Svjetska banka (World Bank, WB), Europska asocijacija za vode (European Water Association, EWA), Američko udruženje vodovoda (American Water Works Association, AWWA) i mnogi drugi [34,35].

Skraćeni prikaz opće bilance vode prema IWA metodologiji dan je u tablici 1. Vidljivo je kako se dobavljena voda dijeli na ovlaštenu potrošnju i gubitke vode. Navedene dvije sastavnice se dalje dijele, a prema prikazu danom u tablici na idućoj stranici.

Tablica 1. Skraćeni prikaz opće bilance vode prema IWA metodologiji [22,25,35–38]

Dobavljena voda		Ovlaštena potrošnja		Prihodovana voda
Gubitci vode	Fakturirana ovlaštena potrošnja	Fakturirana mjerena količina vode (očitanje vodomjeri potrošača)	Fakturirana mjerena količina vode (paušal)	
		Fakturirana nemjerena količina vode (paušal)		
	Nefakturirana ovlaštena potrošnja	Nefakturirana mjerena količina vode	Nefakturirana nemjerena količina vode	
		Nefakturirana nemjerena količina vode		
	Stvarni gubitci	Prividni gubitci	Netočnost vodomjera potrošača (i pogreške u obradi podataka)	Neovlaštena potrošnja vode
			Neovlaštena potrošnja vode	
Stvarni gubitci		Curenja na cjevovodima	Curenja na priključcima do vodomjera	
	Preljevanja i curenja rezervoara			
	Curenja na priključcima do vodomjera			
				Neprihodovana voda

3.2. ILI pokazatelj

Indeks curenja infrastrukture (Infrastructure Leakage Index, ILI) izveden je iz strukturnih i operativnih karakteristika mreže [39].

Navedeni indeks predstavlja odnos trenutnih godišnjih stvarnih gubitaka (Current Annual Real Losses, CARL) i neizbježnih godišnjih stvarnih gubitaka (Unavoidable Annual Real Losses, UARL) [35,39,40].

U tablici 2. prikazana je procjena stanja vodoopskrbnih sustava u odnosu na ILI pokazatelj. Pokazatelj se razlikuje za razvijene zemlje i za zemlje u razvoju. Kod razvijenih zemalja ILI indeks može poprimiti vrijednosti od 1 pa do više od 8, dok je za zemlje u razvoju to slučaj od 1 do više od 16.

Tablica 2. Procjena stanja vodoopskrbnih sustava u odnosu na ILI pokazatelj [24,35,41–43]

	ILI raspon	Opći opisi kategorija kontrole stvarnih gubitaka
Razvijene zemlje	1 - 2	Daljnje smanjenje gubitaka možda će biti ekonomski neopravdano osim u slučaju nestašice vode; potrebna je precizna analiza kako bi se utvrdila financijski najisplativija poboljšanja.
	2 - 4	Potencijal za navedena poboljšanja; razmisliti o kontroli tlaka, boljoj aktivnoj kontroli curenja i boljem upravljanju i održavanju sustava.
	4 - 8	Slaba kontrola gubitaka; može se podnijeti jedino ako je voda jeftinija i u izobilju; čak i u tom slučaju analizirati veličinu i prirodu gubitaka te povećati nastojanja u smanjenju gubitaka.
	> 8	Jako neučinkovita upotreba resursa, programi smanjenja gubitaka su neophodni i trebali bi biti prioriteta.
Zemlje u razvoju	1 - 4	Daljnje smanjenje gubitaka možda će biti ekonomski neopravdano osim u slučaju nestašice vode; potrebna je precizna analiza kako bi se utvrdila financijski najisplativija poboljšanja.
	4 - 8	Potencijal za navedena poboljšanja; razmisliti o kontroli tlaka, boljoj aktivnoj kontroli curenja i boljem upravljanju i održavanju sustava.
	8 - 16	Slaba kontrola gubitaka; može se podnijeti jedino ako je voda jeftinija i u izobilju; čak i u tom slučaju analizirati veličinu i prirodu gubitaka te povećati nastojanja u smanjenju gubitaka.
	> 16	Jako neučinkovita upotreba resursa, programi smanjenja gubitaka su neophodni i trebali bi biti prioriteta.

International Water Association (IWA), koja je razvila indeks, i American Water Works Association (AWWA) preporučuju ovaj pokazatelj [42].

Indeks ILI govori o tome koliko puta su stvarni gubici veći od neizbježnih, te u slučaju idealno vođenog sustava vodoopskrbe poprima najmanju moguću

vrijednost koja je jednaka jedan [22]. Stoga, veća vrijednost ILI pokazatelja ukazuje na lošije stanje i smanjenu uspješnost rješavanja problema gubitaka unutar razmatranog vodoopskrbnog sustava [35].

Gubitci u vodoopskrbnom sustavu (u litrama po priključku na dan) u odnosu na vrijednost ILI pokazatelja prikazani su u Tablici 3.

Tablica 3. Gubitci vode (litra/priključak/dan) u odnosu na ILI pokazatelj [24,42]

	ILI raspon	Gubitci (l/priključak/dan) kada je sustav pod prosječnim tlakom od 10 m	Gubitci (l/priključak/dan) kada je sustav pod prosječnim tlakom od 50 m
Razvijene zemlje	1 - 2	-	< 125
	2 - 4	-	125 - 250
	4 - 8	-	250 - 500
	> 8	-	> 500
Zemlje u razvoju	1 - 4	< 50	< 250
	4 - 8	50 - 100	250 - 500
	8 - 16	100 - 200	500 - 1000
	> 16	> 200	> 1000

4. PRIKAZ PODATAKA O JAVNOJ VODOOPSKRBI U REPUBLICI HRVATSKOJ

4.1. Podatci o javnoj vodoopskrbi

Hrvatska je zemlja podijeljena između dva riječna sliva, dunavskog i jadranskog. S oko 24.495 m³ vode po stanovniku godišnje, Hrvatska je vodom bogata zemlja. Kvaliteta površinske vode je međutim zabrinjavajuća, posebice u pogledu onečišćenja hranjivim tvarima u slivu Dunava. Opskrba vodom uglavnom je podzemnom vodom (96 %) [44].

Površinske vode osiguravaju 4 % ukupne opskrbe pitkom vodom. Većina rijeka ulijeva se u Dunav ili u neki od njegovih pritoka. Lokalne samouprave odgovorne su za usluge vodoopskrbe i odvodnje i pružaju ih putem 156 javnih komunalnih poduzeća (140

za usluge vodoopskrbe i odvodnje te samo 16 za usluge odvodnje). Kvaliteta usluge u Hrvatskoj općenito je vrlo dobra prema regionalnim standardima. Vodoopskrba je kontinuirana, a kvaliteta vode za piće uglavnom je u skladu s nacionalnim i europskim standardima. Vodoopskrbna mreža, koja je četiri puta dulja od mreže javne odvodnje stari - većina je postavljena prije više od 50 godina i njezina učinkovitost bi se mogla poboljšati, budući da je stopa curenja čak 40 % [44,45].

Na slici 5. prikazan je broj naselja obuhvaćenih mrežom javne vodoopskrbe i ukupna duljina mreže javne vodoopskrbe za razdoblje od 2001. godine do 2021. godine. Podatci za izradu grafikona preuzeti su sa službene mrežne stranice Državnog zavoda za statistiku Republike Hrvatske.

U 2001. godini broj naselja obuhvaćenih mrežom javne vodoopskrbe iznosio je 1646 naselja, dok je u 2021. godini to 5424 naselja te su uočava velik porast.

Na slici 5. uočava se kako se najveći porast duljine mreže javne vodoopskrbe javlja s prelaskom 2007. godine na 2008. godinu.

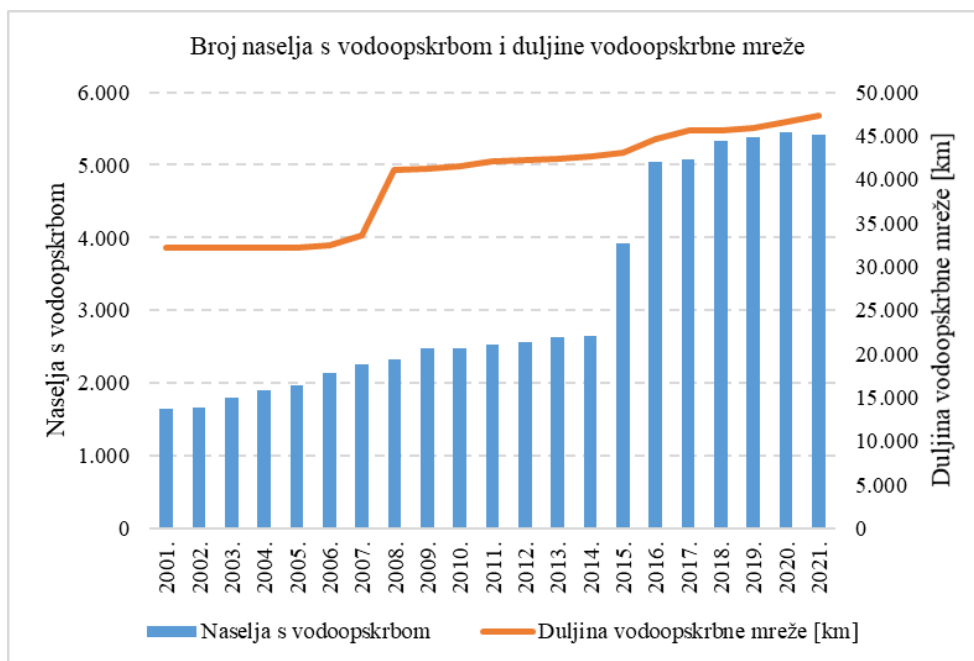
U 2001. godini ukupna duljina mreže javne vodoopskrbe iznosila je 32.127 km, a u 2021. godini to je bilo 47.327 km [46].

Najveći rast broja naselja obuhvaćenih mrežom javne vodoopskrbe događa se u prelasku 2014. na 2015. godinu.

U tablici 4. prikazana je ukupna duljine mreže javne vodoopskrbe za razdoblje od 2001. godine do 2021. i broj priključaka na vodoopskrbnu mrežu prema podacima Državnog zavoda za statistiku Republike Hrvatske [46] te je napravljen izračun gustoće – prosječnog broja priključaka na vodoopskrbnu mrežu po kilometru vodoopskrbne mreže.

Pogledom na tablicu 4. uočava se porast prosječnog broja priključaka po km vodoopskrbne mreže tako da je 2001. godine bilo 27,29 priključaka na jedan kilometar vodoopskrbne mreže, 2006. godine je najveći broj i to 31,88 priključak te se 2019. godine broj priključaka smanjuje na 27,84.

Može se zaključiti kako raste duljina vodoopskrbne mreže međutim korisnici se ne priključuju na nju u onolikoj mjeri koliko bi bilo potrebno.



Slika 5. Broj naselja s vodoopskrbom i duljine vodoopskrbne mreže (u km) za razdoblje od 2001. godine do 2021. godine (izrada autora prema [46])

Tablica 4. Prikaz ukupne duljine mreže javne vodoopskrbe (u km), broja priključaka na vodoopskrbnu mrežu [46] te prosječnog broja priključaka na vodoopskrbnu mrežu po kilometru vodoopskrbne mreže

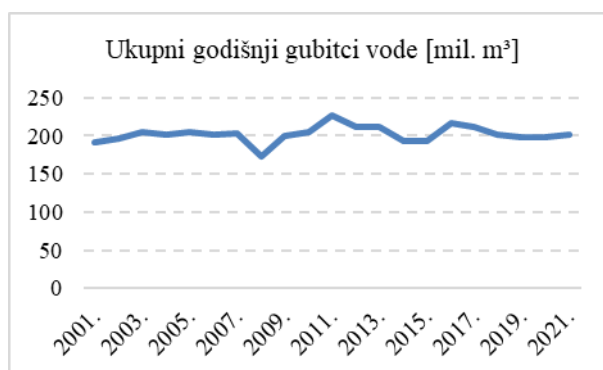
God.	Duljina vodoopskrbne mreže [km]	Broj priključaka na vodoopskrbu	Prosječan broj priključaka po km vodoopsk. mreže
2001.	32.127	876.660	27,29
2002.	32.127	919.103	28,61
2003.	32.127	951.761	29,62
2004.	32.127	988.327	30,76
2005.	32.127	1.015.144	31,60
2006.	32.418	1.033.392	31,88
2007.	33.588	1.055.724	31,43
2008.	41.101	1.117.024	27,18
2009.	41.246	1.146.088	27,79
2010.	41.573	1.200.752	28,88
2011.	42.044	1.217.490	28,96
2012.	42.230	1.245.139	29,48
2013.	42.402	1.245.407	29,37
2014.	42.609	1.247.887	29,29
2015.	43.104	1.245.376	28,89
2016.	44.627	1.245.376	27,91
2017.	45.603	1.245.818	27,32
2018.	45.676	1.257.773	27,54

2019.	45.843	1.276.129	27,84
2020.	46.650	n/a	n/a
2021.	47.327	n/a	n/a

n/a – podatci nisu dostupni

4.2. Podatci o gubitcima vode u Republici Hrvatskoj

Slika 6. prikazuje ukupne godišnje gubitke vode za razdoblje od 2001. do 2021. godine.



Slika 6. Ukupni godišnji gubitci vode (u mil. m³) za razdoblje od 2001. godine do 2021. godine (izrada autora prema [47])

U tablici 5. prikazani su prosječni ukupni gubici vode po km ukupne duljine mreže javne vodoopskrbe te prosječni ukupni gubici vode po priključku na vodoopskrbnu mrežu za razdoblje od 2001. godine do 2021. godine.

Radi lakšeg uočavanja trenda, prethodno analizirani podatci prikazani su i na slikama 7. i 8.

Tablica 5. Prikaz prosječnih ukupnih gubitaka vode po km ukupne duljine mreže javne vodoopskrbe te prosječnih ukupnih gubitaka vode po priključku na vodoopskrbnu mrežu (izrada autora prema podacima [46,47])

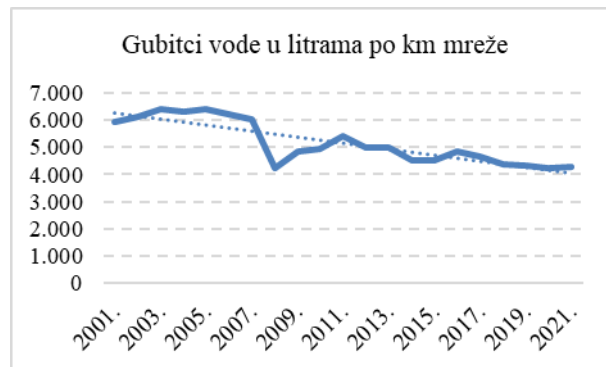
Godina	Prosječni ukupni gubici vode po km ukupne duljine mreže javne vodoopskrbe [l]	Prosječni ukupni gubici vode po priključku na vodoopskrbnu mrežu [l]
2001.	5.935,82	217,53
2002.	6.091,48	212,93
2003.	6.386,62	215,58
2004.	6.279,33	204,12
2005.	6.388,36	202,18
2006.	6.194,46	194,32
2007.	6.026,41	191,73
2008.	4.213,04	155,02
2009.	4.850,31	174,56
2010.	4.946,98	171,28
2011.	5.406,07	186,69
2012.	4.999,41	169,56
2013.	4.987,93	169,82
2014.	4.534,70	154,84
2015.	4.492,27	155,48
2016.	4.842,58	173,53
2017.	4.651,47	170,27
2018.	4.392,83	159,53
2019.	4.310,15	154,84
2020.	4.228,79	n/a
2021.	4.259,13	n/a

n/a – podatci nisu dostupni

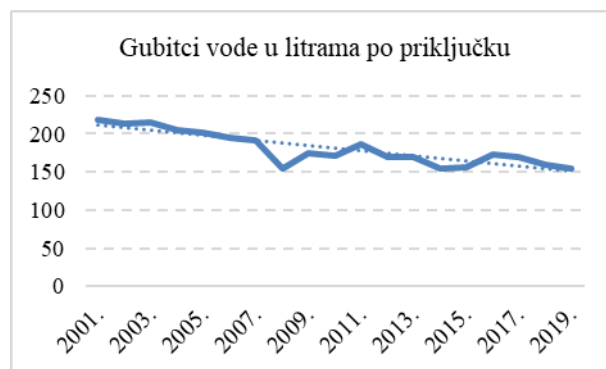
Na slici 7. uočava se trend opadanja ukupnih gubitaka vode po km ukupne duljine mreže javne vodoopskrbe za razdoblje od 2001. godine do 2021. godine.

Na slici 8. uočava se trend pada ukupnih gubitaka vode po priključku mreže javne vodoopskrbe za razdoblje od 2001. godine do 2019. godine.

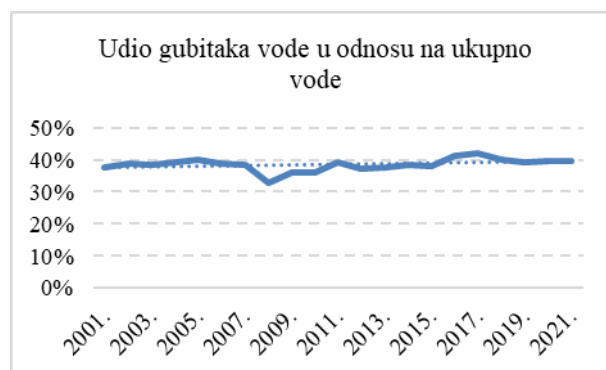
Na slici 9. prikazan je udio gubitaka vode u odnosu na ukupnu količinu vode.



Slika 7. Ukupni gubici vode u l po km ukupne duljine mreže javne vodoopskrbe za razdoblje od 2001. godine do 2021. godine (izrada autora)



Slika 8. Ukupni gubici vode u l po priključku mreže javne vodoopskrbe za razdoblje od 2001. godine do 2019. godine (izrada autora)



Slika 9. Udio ukupnih gubitaka vode u odnosu na ukupnu količinu vode (izrada autora prema podacima [47])

4.3. Koeficijenti korelacije varijabli

Tablica 6. prikazuje koeficijente korelacije između svih promatranih varijabli: ukupne duljine mreže javne vodoopskrbe, broja priključaka na mrežu javne vodoopskrbe, ukupno vode, isporučenu vode te ukupne gubitke vode. Analizirani podatci su preuzeti sa službene mrežne stranice Državnog zavoda za statistiku Republike Hrvatske [46, 47].

Tablica 6. Prikaz koeficijenta korelacije varijabli od interesa (izrada autora)

Varijabla	Duljina vodoopskrbne mreže	Broj priključaka na vodoopskrbu	Ukupno vode	Isporučena voda	Ukupni gubitci vode
Duljina vodoopskrbne mreže	1,00	-0,08	0,06	-0,01	0,13
Broj priključaka na vodoopskrbu	-0,08	1,00	0,33	0,32	0,18
Ukupno vode	0,06	0,33	1,00	0,91	0,50
Isporučena voda	-0,13	0,32	0,91	1,00	0,10
Ukupni gubitci vode	0,13	0,18	0,50	0,10	1,00

Crvenom bojom su označeni koeficijenti korelacije gdje je $p < 0,05$ što znači da postoji statistička značajnost budući da se za prag statističke značajnosti uobičajeno uzima vrijednost $p < 0,05$ [48–50].

Vidljivo je kako postoje određene značajne korelacije i to između varijabli ukupno vode i isporučena vode, $p = 0,91$ (što je i za očekivati), zatim između varijabli ukupno vode i ukupni gubitci vode, $p = 0,50$.

5. ANALIZA TROŠKOVA GUBITAKA VODE

U ovom dijelu rada prikazat će se, u Tablici 7., procjena troškova izgubljene vode, tj. gubitaka vode. Pretpostavit će se cijena od 9 kn/m³ što je prosjek u Republici Hrvatskoj jer cijena vode ovisi od grada do grada.

Prikazat će se analiza troškova za 2020. i 2021. godinu bez svođenja na neto sadašnju vrijednost. Cijena će biti

iskazana u HRK te u EUR prema fiksnom tečaju konverzije: 1 EUR = 7,53450 HRK [51].

Tablica 7. Prikaz troškova gubitaka vode

Godina	Ukupni gubitci vode [1000 m ³]	Pretpostavljena cijena [HRK]	Trošak gubitka [mlrd HRK]	Trošak gubitka [mlrd EUR]
2020.	197.273	9,00	1,775	0,235
2021.	201.572	9,00	1,814	0,240

Provedenom analizom za samo dvije godine uočava se da je trošak izgubljene vode za 2020. godinu 235.643.639,26 EUR, odnosno za 2021. godinu je 240.778.817,44 EUR.

6. ZAKLJUČAK

Gubitci vode veliki su problem na svjetskoj razini budući da je vode sve manje, a potrebe za njom su sve veće. Zbog toga je potrebno voditi računa o postupanju s vodom, odnosno nastojati smanjiti gubitke na najveću moguću mjeru. Postoji određeni dio gubitaka koje nije moguće izbjeći, međutim najveća količina gubitaka vode se može ukloniti.

Za otkrivanje gubitaka vode, odnosno curenja vodoopskrbnog sustava postoji više načina, od najjednostavnijih koja je obilazak kontrolnih okana, do modernijih – uporaba različitih detektora ili sustava za kontinuirano praćenje protoka te na kraju uporaba satelita. Metodologije koje se koriste kod procjene gubitaka vode su IWA metodologija te ILI pokazatelj.

Analiza podataka o vodoopskrbnom sustavu je provedena za Republiku Hrvatsku te se uočava trend pada ukupnih gubitaka vode po priključku mreže javne vodoopskrbe za razdoblje od 2001. godine do 2019. godine. Također, vidljiv je trend opadanja ukupnih gubitaka vode po kilometru ukupne duljine mreže javne vodoopskrbe za razdoblje od 2001. godine do 2021. godine.

Gubitci vode predstavljaju veliku štetu za okoliš (smanjuju se izvori vode), ali i ekonomsku štetu (troše se novčana sredstva za proizvodnju vode, pogon vode kroz vodoopskrbni sustav). Smanjenje svih komponenti gubitka vode na nulu nije ni tehnički moguće ni ekonomski isplativo. Komponente gubitka vode treba točno procijeniti i odrediti prioritete za smanjenje.

LITERATURA

- [1] Počuča, N.: *Ekohidrologija, zagađenje i zaštita voda*. Beograd: Građevinska knjiga, 2008.
- [2] Gudelj, I.: Jedno od ključnih načela EE politike u području upravljanja vodom je pristup koji uključuje širu suradnju. *Hrvatske vode*, 2021, 29; str. 47–49.
- [3] Selek, B., Adiguzel, A., Iritas, Ö., Karaasaklan, Y., Kinaci, C., Muhammetoglu, A. et al.: Management of Water Losses in Water Supply and Distribution Networks in Turkey. *Turkish Journal of Water Science and Management*, 2018, 2; str. 58–75. <https://doi.org/10.31807/tjwsm.354298>.
- [4] Obradović, D.: *Doprinos povećanju učinkovitosti održavanja kanalizacijskih sustava primjenom modela procjene troškova održavanja, doktorska disertacija, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Osijek, 2022.*
- [5] Obradović, D., Šperac, M., Marenjak, S.: Challenges in Sewer System Maintenance, *Encyclopedia*, 2023, 3: str. 122–142. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010010>.
- [6] Trbojević, V.: *Zaštita potrošača korisnika vodne usluge opskrbe vodom*. Zagreb: 2018. <https://www.szp.hr/UserDocsImages//dokumenti/Objave/Voda.pdf> (10.02.2023.)
- [7] United Nations, General Assembly: Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010.
- [8] Oreščanin, V., Kollar, R., Crnojević, H., Nađ, K., Halkijević, I., Kuspilić, M.: Pročišćavanje podzemnih voda s područja Vukovarsko-srijemske županije kombinacijom elektrokemijskih metoda i naprednih oksidacijskih procesa, *Hrvatske vode*, 2020, 28, str. 173–182.
- [9] Narodne novine. *Zakon o vodnim uslugama*. Republika Hrvatska: Narodne novine, Službeni list Republike Hrvatske, Zagreb, 2019.
- [10] Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., Vairavamoorthy, K.: Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2013, 139, str. 166–174. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000245](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000245).
- [11] Kingdom, B., Roland, L., Philippe, M.: *The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries*. Washington, DC, 2006.
- [12] Ociepa, E., Mrowiec, M., Deska, I.: Analysis of Water Losses and Assessment of Initiatives Aimed at Their Reduction in Selected Water Supply Systems. *Water*, 2019, 11:1037. <https://doi.org/10.3390/w11051037>.
- [13] AL-Washali, T., 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*, 2020, 152:104515. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104515>
- [14] Ociepa, E.: Analysis and assessment of water losses reduction effectiveness using examples of selected water distribution systems. *Desalination and Water Treatment*, 2021, 211, str. 196–209. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26594>.
- [15] Fontana, M. E., Morais, D. C.: Decision model to control water losses in distribution networks. *Production*, 2016, 26, str. 688–697. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.201815>.
- [16] Wu, Z. Y., Sage, P., Turtle, D.: Pressure-Dependent Leak Detection Model and Its Application to a District Water System. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2010, 136, str. 116–128. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2010\)136:1\(116\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2010)136:1(116)).
- [17] American Water Works Association: *The State of Water Loss Control in Drinking Water Utilities*. 2016. <https://www.awwa.org/Portals/0/AWWA/ETS/Resources/WLCWhitePaper.pdf?ver=2017-09-11-153507-48> (05.02.2023.)
- [18] Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., Weimer, D.: A review of performance indicators for real losses from water supply systems, *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 1999, 48, str. 227–237. <https://doi.org/10.2166/aqua.1999.0025>.
- [19] Lambert, A., Hirner, W.: *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*, 2000.
- [20] Charalambous, B., Petroulias, D., Foufeas, N.: Leak detection and water loss management. *Water Utility Journal*, 2014, 8, str. 25–30.
- [21] Trow, S., Farley, M.: Developing a strategy for leakage management in water distribution systems. *Water Supply*, 2004, 4, str. 149–168. <https://doi.org/10.2166/ws.2004.0051>.

- [22] Iličić, K.: Parametri za detekciju i lociranje puknuća cijevi vodoopskrbnog sustava, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2011.
- [23] Beckwith, A. H.: The Causes and Prevention of Water Losses. *Journal* (American Water Works Association), 1949, 41, str. 222–226.
- [24] Gwoździej-Mazur, J., Świętochowski, K.: Evaluation of Real Water Losses and the Failure of Urban-Rural Water Supply System. *Journal of Ecological Engineering*, 2021, 22, str. 132–138. <https://doi.org/10.12911/22998993/128862>.
- [25] Užar, J.: Gubici vode u vodoopskrbnom sustavu. *Tehnički glasnik*, 2012, 6, str. 213–218.
- [26] Seba KMT; HENNLICH d.o.o.: HYDROLUX HL 7000. 2023. https://www.hennlich.hr/fileadmin/user_upload/HHR/News/Armature/SEBA/hr_uredjaj_zadetekciju_gubitaka_vode_Hydrolux_7000.pdf (07.02.2023.)
- [27] HENNLICH d.o.o.: Uređaji za detekciju curenja vode. 2023. <https://www.hennlich.hr/proizvodi/uredaji-za-detekciju-curenja-vode-9721.html> (14.02.2023.)
- [28] SebaKMT: LeakControl, kontinuirano praćenje protoka. 2023. https://www.hennlich.hr/fileadmin/user_upload/KATEGORIEN/Elektro-Akustische-Messtechnik/Dokumente/hr_ultrazvucni_mjerni_sustav_LeakControl.pdf (13.02.2023.)
- [29] Kolektor: Satelitsko radarsko otkrivanje i mikrolociranje curenja u vodovodnim sistemima 2023. <https://www.kolektorwater.com/se/lociranje-curenja-u-vodovodnim-sistemima> (07.02.2023.)
- [30] South Staffs Water: Satellites helping to detect leaks 2023. <https://www.south-staffs-water.co.uk/news/satellites-helping-to-detect-leaks> (07.02.2023.)
- [31] JAXA (Japanese Space Agency): Satellites helping to detect leaks 2021. <https://www.south-staffs-water.co.uk/media/3592/jaxa-image.jpg> (07.02.2023.)
- [32] HYDROMAX USA: Advanced Leak Detection Technology Utilizing Satellite Imagery 2017. <https://www.waterassetmgmt.com/pdfs/presentations/s3-3-advanced-leak-detection-technology.pdf> (10.02.2023.)
- [33] Suez Group: In the UK, identifying more leaks with Satellite Leak Detection 2023. [https://www.suez.com/en/our-offering/success-](https://www.suez.com/en/our-offering/success-stories/our-references/in-the-uk-identifying-more-leaks-with-satellite-leak-detection)
- stories/our-references/in-the-uk-identifying-more-leaks-with-satellite-leak-detection (07.02.2023.)
- [34] Vouk, D., Malus, D., Baričić, D.: Da li je ILI pokazatelj pouzdan pokazatelj uspješnosti upravljanja vodnim gubitcima? U: Beslić, M., Ban, D., ur. *Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji*, Cavtat, 2014, str. 133–144.
- [35] Dundović, I.: Model optimizacije tlakova u svrhu smanjenja vodnih gubitaka u vodoopskrbnom sustavu, specijalistički rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, 2017.
- [36] Jurica, K.: Značaj unapređenja pouzdanosti podataka u cilju smanjenja gubitaka vode. 2017. <https://www.filepicker.io/api/file/jVmLckPZRZ23Wif8QdcA> (07.02.2023.)
- [37] Švicarska agencija za razvoj i saradnju SDC. *Upravljanje sistemom vodosnabdijevanja /1*. 2016.
- [38] Federation of Canadian Municipalities and National Research Council: *Water Use and Loss in Water Distribution Systems*, 2003.
- [39] Lenzi, C., Bragalli, C., Bolognesi, A., Fortini, M.: *Infrastructure Leakage Index Assessment in Large Water Systems*. *Procedia Engineering*, 2014, 70, str. 1017–1026. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.113>.
- [40] Babić, B., Stanić, M., Prodanović, D., Džodanović, B., Đukić, A.: *Reducing Uncertainty of Infrastructure Leakage Index – A Case Study*. *Procedia Engineering*, 2014, 89, str. 1577–1584. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.459>.
- [41] Baričić, D.: *Optimalizacija vodoopskrbnog sustava Kutina - Popovača*, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2014.
- [42] Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, ZBM., Istandar, A., Singh, S.: *The Manager's Non-Revenue Water Handbook*. *Ranhill Utilities Berhad and USAID*; 2008.
- [43] Vouk, D., Martinac, T., Nakić, D.: *Usporedba različitih načina iskazivanja vodnih gubitaka uz osvrt na hrvatsku praksu*, *Hrvatske vode*, 2017, 25, str. 17–26.
- [44] The World Bank; IAWD. *Water and Wastewater Services in the Danube Region*, Hrvatska kratko izvješće o zemlji, Stanje sektora, 2015.
- [45] Šperac, M., Obradović, D.: *Water Supply and Sewerage System in the Republic of Croatia and the Republic of Slovenia*, *European Journal of*

- Engineering and Natural Sciences (EJENS), 2020, 5, str. 18–27.
- [46] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske. Tablica 1.4. Mreža javne vodoopskrbe i uređaji. Zagreb: 2022.
https://web.dzs.hr/PXWeb/Selection.aspx?px_path=Okolis__Statistika_voda__Sakupljanje_prociscavanje_i_distribucija_voda&px_tableid=SV14.px&px_language=hr&px_db=Okolis&rxid=bdd675fd-18ff-45d7-9b46-ee194ae5dc77 (05.02.2023.)
- [47] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske. Tablica 1.1. Opskrba vodom u javnoj vodoopskrbi prema vrsti izvora, tis. m³. Zagreb: 2023.
https://web.dzs.hr/PXWeb/Selection.aspx?px_path=Okolis__Statistika_voda__Sakupljanje_prociscavanje_i_distribucija_voda&px_tableid=SV11.px&px_language=hr&px_db=Okolis&rxid=bdd675fd-18ff-45d7-9b46-ee194ae5dc77 (05.02.2023.)
- [48] Ferreira, J. C., Patino, C. M.: What does the p value really mean? *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 2015, 41, str. 485–485. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132015000000215>.
- [49] StatsDirect: P Values. Stat I Help 2020. https://www.statsdirect.com/help/Default.htm#basics/p_values.htm. (10.10.2022.)
- [50] Andrade, C.: The P Value and Statistical Significance: Misunderstandings, Explanations, Challenges, and Alternatives, *Indian Journal of Psychological Medicine*, 2019, 41, str. 210–215. https://doi.org/10.4103/IJPSYM.IJPSYM_193_19.
- [51] FINA: Izračun konverzije kuna u eure 2023., <https://www.fina.hr/euro-kalkulator> (08.02.2023.)

ECONOMIC INDICATORS OF WATER LOSSES IN PUBLIC WATER SUPPLY: CASE STUDY REPUBLIC OF CROATIA

by

Dino OBRADOVIĆ, Marija ŠPERAC

Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Osijek, Croatia

Summary

Rapid population growth and climate change have caused water losses to become the main problem in water supply and distribution systems. The consequences of high water losses in water supply are reflected in economic costs and environmental damages. These losses increase the operating costs of companies that are in charge of public water supply. Such business is uneconomical, water users pay higher bills for water supply services, and drinking water, which is less and less available for human needs, is being unnecessarily destroyed.

The paper briefly presents methods for finding water leaks in water supply systems: using water leak detection devices, continuous flow monitoring systems and satellite way. The IWA (International Water Association) methodology for the calculation of water losses and ILI indicator (Infrastructure Leakage Index) are presented.

The paper presents the following basic data concerning the water supply system on the example of the Republic of Croatia: settlements covered by the public water supply network, total length of water mains, number of water connections, total water supply, total quantity of distributed water and total water losses. All the above mentioned data are given for the period of 21 years, i.e. from 2001 to 2021. Correlation coefficients for all these variables are presented as well. Furthermore, the possibility of modelling water losses with respect to certain variables was investigated and data on water losses were analysed from the point of view of lost drinking water and from an economic point of view.

At the end of the paper, the conclusion is based on the data presented and the analysis carried out, as well as on the issue of water losses.

Key words: water losses, public water supply, cost, water supply management