

USPOREDBA RAZLIČITIH NAČINA ISKAZIVANJA VODNIH GUBITAKA UZ OSVRT NA HRVATSKU PRAKSU

doc. dr. sc. Dražen Vouk, dipl. ing. građ.
Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
Kačićeva 26, 10000 Zagreb
dvouk@grad.hr

Tea Martinac, mag. ing. aedif.
Institut IGH, d.d.
Janka Rakuše 1, 10000 Zagreb

Domagoj Nakić, mag. ing. aedif.
Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
Kačićeva 26, 10000 Zagreb

U današnje se vrijeme u svijetu koriste različiti načini iskazivanja vodnih gubitaka u vodoopskrbnim sustavima. Najčešće je iskazivanje postotnog udjela u odnosu na zahvaćene količine, zatim izračun stvarnih i prividnih gubitaka u sklopu standardne bilance vode i izračun *ILI* (*eng.* Infrastructure Leakage Indeks; *hrv.* Infrastrukturni indeks curenja) pokazatelja sukladno *IWA* (*eng.* International Water Association) metodologiji. *ILI* pokazatelj predstavlja odnos stvarnih i neizbježnih količina vodnih gubitaka na razini jedne godine. U radu je dan kritički osvrt na pouzdanost *ILI* pokazatelja pri analizi vodnih gubitaka. Na konkretnim primjerima je dokazano da na temelju *ILI* pokazatelja nije pouzdano donositi konkretne zaključke o stanju vodnih gubitaka, kao i o definiranju mjera unaprjeđenja cjelovitih sustava ili pojedinih DMA zona (*eng.* District Metering Area; *hrv.* izdvojena mjerena zona). U analizi vodnih gubitaka se osim izračuna *ILI* pokazatelja koriste i različiti načini iskazivanja i vrednovanja vodnih gubitaka (*l*/ (priključak-dan), m^3 /(km cjevovoda-dan), *l*/(priključak-dan-mVS), m^3 /(km cjevovoda-dan-mVS), HRK/godina i dr.). S ciljem iznalaženja što jednostavnijeg i pouzdanijeg načina iskazivanja vodnih gubitaka, u ovom su radu, na konkretnih pet primjera vodoopskrbnih sustava u Hrvatskoj, analizirani odnosi različitih načina iskazivanja vodnih gubitaka. Zaključuje se da je najpraktičnije i najučinkovitije provođenje ekonomskih analiza vodnih gubitaka s izražavanjem vodnih gubitaka u HRK/godina, kako za sustav u cjelini, tako i za svaku DMA zonu posebno.

Ključne riječi: vodni gubitci, *ILI* pokazatelj, ekonomska vrijednost gubitaka, *IWA* metodologija

1. UVOD

Opskrba stanovništva vodom se, u današnje vrijeme, smatra sastavnim dijelom svih urbanih sredina te se sve više posvećuje pažnja što kvalitetnijem projektiranju i izvođenju novih, ali i nadogradnji, rekonstrukciji i unaprjeđenju postojećih sustava. Kako bi se vodoopskrbni sustav unaprijedio potrebno je na temelju detaljnog sagledavanja postojećeg stanja utvrditi realne potrebe, odnosno realnu ocjenu stanja sustava.

Prisutnost neodržive količine vodnih gubitaka predstavlja velike probleme u postojećim vodoopskrbnim sustavima diljem svijeta. U Hrvatskoj je u većini vodoopskrbnih sustava prisutan problem značajnih količina vodnih gubitaka. Prosječna vrijednost vodnih gubitaka u Hrvatskoj izražena kao odnos zahvaćenih i naplaćenih količina iznosi oko 50 %, dok u nekim sustavima dostiže i 80 % (Kolovrat, 2015.). Upravo je

taj odnos jedan od pokazatelja stanja vodoopskrbnog sustava. U praksi se taj odnos sve rjeđe koristi iz razloga što ne pruža mogućnost uvida u realno stanje vezano uz pojavu gubitaka. Time nije upotrebljiv ni kod definiranja realnog stanja učinkovitosti upravljanja vodoopskrbnim sustavom s aspekta vodnih gubitaka.

Kako bi se količine vodnih gubitaka, ali i ukupno realno stanje sustava mogli točnije definirati, u praksu su uvedeni novi standardi. U visoko razvijenim zemljama, ali i u Hrvatskoj, usvojena je metoda izrade vodne bilance, predložena od Međunarodnog udruženja za vode (IWA – eng. International Water Association). Prvi pokazatelj koji je definiran na način da pruži bolji uvid u učinkovitost upravljanja pojedinim vodoopskrbnim sustavom, odnosno prikaže uspješnost isporučitelja vodnih usluga u rješavanju problema vodnih gubitaka je *ILI* pokazatelj (eng. Infrastructure Leakage Indeks; hrv. Infrastrukturni indeks curenja). *ILI* pokazatelj predstavlja odnos trenutnih godišnjih stvarnih gubitaka (*TGSG*) i neizbježnih godišnjih stvarnih gubitaka (*NGSG*). Međutim, ovaj je pokazatelj bezdimenzionalna veličina i kao takav samo naizgled ima veći značaj od odnosa zahvaćenih i naplaćenih količina vode. Pouzdanost *ILI* pokazatelja pri analizi vodnih gubitaka vodoopskrbnih sustava analizirana je u različitim radovima (Vouk et al., 2014.; Vouk et al., 2016.) te će se dodatno analizirati i u ovom radu.

NGSG se računaju na temelju uprosječne vrijednosti hidrodinamičkog tlaka u sustavu. S obzirom da je najučinkovitija metoda smanjenja vodnih gubitaka upravo smanjenje tlaka u vodoopskrbnom sustavu u odnosu na postojeće stanje, iznos *NGSG-a* se razlikuje za postojeće i buduće stanje. Navedeno dovodi do zaključka da čak i nakon provođenja mjera smanjenja tlaka unutar sustava postoji vjerojatnost da neće doći do značajnog smanjenja vrijednosti *ILI* pokazatelja, a moguće je i da neće doći do njegove promjene, što potvrđuju i dosadašnja iskustva autora ovog rada proizašla iz analiza pojedinih sustava u Hrvatskoj. Upravo je naveden jedan od razloga zbog kojeg se dovodi u pitanje pouzdanost *ILI* pokazatelja pri analizi vodnih gubitaka. Dodatni razlog leži u činjenici da dosadašnja praksa u Hrvatskoj s izračunima *ILI* pokazatelja nije rezultirala poduzimanjem aktivnosti smanjenja vodnih gubitaka u značajnoj mjeri. Dodatno, rezultati brojnih analiza koje se temelje isključivo na izračunu *ILI* pokazatelja interpretiraju se na nekorektan način, zbog nedostatka dodatnih saznanja i analize dodatnih parametara sa znatno većim značajem. Jedan od njih je i ekonomska vrijednost vodnih gubitaka (Farley i Trow, 2003.; Vouk et al, 2012.a; Vouk et al., 2012.b). Naime, ekonomska vrijednost vodnih gubitaka može se ocijeniti najznačajnijim parametrom i motivacijskim faktorom za poduzimanje konkretnih mjera smanjenja vodnih gubitaka, jer potreba za njihovim smanjenjem u najvećoj mjeri proizlazi iz potrebe i nastojanja za smanjenjem ekonomskih gubitaka (operativnih troškova pojedinog vodoopskrbnog sustava).

Vodne gubitke se stoga preporuča prikazivati kao ekonomske gubitke, na razini vodoopskrbnog sustava u cjelini, ali i pojedinih izdvojenih mjerenih zona (DMA zona – eng. District Metering Area), uz koje je omogućeno kvalitetnije upravljanje vodnim gubitcima jer se isti na razini manjih prostornih jedinica brže uočavaju i uklanjanju, kao i detektiraju potencijalni uzroci njihove pojave. Ekonomske vodne gubitke preporuča se izražavati na godišnjoj razini u HRK/godina, u obliku direktnih i indirektnih troškova razmatranog isporučitelja vodnih usluga. Direktni troškovi predstavljaju cijenu dobave vode koja uključuje električnu energiju na crpnim stanicama, troškove kondicioniranja vode i sl. Indirektni troškovi se odnose na uklanjanje kvarova na cjevovodima, kućnim priključcima, smanjenje vijeka trajanja cijevi, oblikovnih komada i vodovodnih armatura i dr. U odnosu na njihov značaj, logično bi bilo vrednovati stanje vodnih gubitaka u pojedinim sustavima i DMA zonama, kao i definirati prioritetnost provođenja mjera unaprjeđenja u istim, u odnosu na veličinu ekonomskih gubitaka. U tom je kontekstu, interesantno analizirati korelacijski odnos između *ILI* pokazatelja i ekonomskih gubitaka. Određene analize su provedene u ovom radu.

Uz prethodno navedene parametre, u okviru svjetske prakse, koristi se i niz drugih načina iskazivanja vodnih gubitaka, te se postavlja pitanje koja je njihova pouzdanost te koji je od njih najprimjereniji za analizu stanja vodnih gubitaka u pojedinim okolnostima.

U ovom su radu kroz analizu pet postojećih vodoopskrbnih sustava u Hrvatskoj, od kojih je svaki podijeljen na veći broj DMA zona, uspoređeni različiti načini iskazivanja vodnih gubitaka te je definirana korelacija *ILI* pokazatelja i ekonomskih gubitaka s ostalim načinima. Cilj usporedbe različitih načina iskaza vodnih gubitaka je definirati onaj koji će na jednostavan način pouzdano ukazivati na stanje vodnih gubitaka u pojedinom vodoopskrbnom sustavu i DMA zoni, u pogledu donošenja kvalitetnih zaključaka o postojećem stanju te definiranja prioritetnosti poduzimanja mjera unaprjeđenja kroz smanjenje vodnih gubitaka.

2. METODOLOGIJA

U OKVIRU SVJETSKJE PRAKSE, A SUKLADNO IWA METODOLOGIJI, KORISTE SE RAZLIČITI NAČINI ISKAZIVANJA vodnih gubitaka i/ili stanja vodoopskrbnih sustava u pogledu upravljanja vodnim gubitcima, koji će se detaljnije opisati u nastavku.

U nastavku će se opisati osnovni aspekti svih prethodno navedenih načina iskazivanja vodnih gubitaka.

2.1 *ILI* pokazatelj

ILI pokazatelj se prema pojedinim smjernicama ocjenjuje pouzdanim načinom iskazivanja vodnih gubitaka (Lambert et al., 2002.), ali su za njegovu adekvatnu primjenu definirana i određena ograničenja

(Liemberger, 2002.; Liemberger i McKenzie, 2005.; Thornton i Lambert, 2005.; Seago et al., 2005.). *ILI* pokazatelj je definiran sa svrhom što objektivnijeg prikaza stanja vodoopskrbnog sustava u pogledu generiranja vodnih gubitaka. *ILI* pokazatelj je definiran kao odnos trenutnih godišnjih stvarnih gubitaka (*TGSG*) i neizbježnih godišnjih stvarnih gubitaka (*NGSG*).

$$ILI = \frac{TGSG}{NGSG} \quad (1)$$

Obje se navedene komponente izražavaju jedinično u l/(km-dan) (u slučajevima kada je broj priključaka < 20 po km cjevovoda) ili u l/(priključak-dan) (kada je broj priključaka po km cjevovoda > 20) radi lakšeg prikaza i mogućnosti usporedbe s drugim sustavima ili podsustavima.

NGSG predstavlja količinu stvarnih gubitaka koja uključuje i utjecaj hidrodinamičkog tlaka unutar vodoopskrbne mreže (Lambert et al., 1999.). Oni zapravo predstavljaju curenja vrlo malog intenziteta uslijed pojave manjih pukotina i propuštanja na spojevima i zasunima (tzv. pozadinska curenja). Definirani su empirijskim jednadžbama (jednadžba 2 i 3) koje uključuju sljedeće relevantne parametre: duljinu cjevovoda, broj priključaka, duljinu cjevovoda kućnih priključaka i prosječan hidrodinamički tlak unutar sustava).

$$NGSG = (18 \cdot L_m + 0,8 \cdot N_c + 25 \cdot L_p) \cdot \frac{P}{L_m} \quad \text{l/(km \cdot dan)} \quad (2)$$

$$NGSG = (18 \cdot L_m + 0,8 \cdot N_c + 25 \cdot L_p) \cdot \frac{P}{N_c} \quad \text{m}^3/(\text{priključak} \cdot \text{dan}) \quad (3)$$

gdje je L_m duljina cjevovodne mreže (km), N_c je broj kućnih priključaka (1), L_p ukupna duljina cjevovodne mreže kućnih priključaka - od uličnog voda do vodomjera (km), a P je prosječan tlak u sustavu (mVS).

Pristup analize vodnih gubitaka koji u razmatranje uključuje *ILI* pokazatelj zapravo ukazuje na uspješnost rješavanja problema stvarnih gubitaka vode unutar razmatranog sustava, što je kvalitetniji pokazatelj u odnosu na jednostavan iskaz postotnog udjela ukupnih vodnih gubitaka u odnosu na zahvaćene količine. Primjerice, pojedini sustavi mogu imati mali postotni udio stvarnih gubitaka, ali uspješnost njihovog uklanjanja može biti jako mala. Veća vrijednost *ILI* pokazatelja ukazuje na lošije stanje i smanjenu uspješnost rješavanja problema vodnih (stvarnih) gubitaka unutar razmatranog vodoopskrbnog sustava.

Opći opisi kategorija kontrole stvarnih gubitaka prema iznosu *ILI* pokazatelja definirani su u **tablici 1**.

Tablica 1: Procjena stanja vodoopskrbnih sustava u odnosu na *ILI* pokazatelj (<http://www.leakssuite.com/concepts/uarl-and-ili/>)

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

Na **slici 1** dan je usporedni prikaz vrijednosti *ILI* pokazatelja za veći broj različitih vodoopskrbnih sustava u EU (stupci označeni plavom bojom) i Hrvatskoj (stupci označeni crvenom bojom), koji su relevantni za period 2011.-2015. godine (<http://www.leakssuite.com/ili-in-uk-update/>; vlastite analize autora rada). Referentne vrijednosti *ILI* pokazatelja na **slici 1** daju okvirnu procjenu stanja pojedinih vodoopskrbnih sustava u odnosu na učinkovitost upravljanja vodnim gubitcima, na temelju kojih se predlažu daljnje mjere poboljšanja, prema **tablici 1**. Usporedni prikaz stanja za veći broj vodoopskrbnih sustava, u okviru cjelovitog *benchmarking* programa, može rezultirati podizanjem svijesti isporučitelja vodnih usluga o trenutnoj razini učinkovitosti upravljanja vodnim gubitcima te poticanjem na poduzimanje određenih mjera poboljšanja sustava ili pak na daljnju ustrajnost u kvalitetnom provođenju aktivne kontrole curenja kod onih koji u odnosu na nisku postojeću vrijednost *ILI* pokazatelja potvrđuju svoju uspješnost. Rezultati analize većeg broja sustava na području Hrvatske ukazuju na prosječan iznos *ILI* pokazatelja oko 5,0, što dovodi do zaključka da u postojećem stanju upravljanja većine vodoopskrbnih sustava u Hrvatskoj postoji potencijal za opće poboljšanje. Potrebno je razmotriti implementaciju dodatne kontrole tlaka, aktivniju kontrolu curenja te bolje upravljanje i održavanje sustava, odnosno smatra se da se postojeće stanje može tolerirati samo ako je voda jeftina i ima je u izobilju, iako se čak i u tom slučaju preporuča analiza veličine i prirode vodnih gubitaka te povećanje nastojanja za smanjenjem istih.

2.2 Ekonomske analize

Ekonomska vrijednost vodnih gubitaka se ocjenjuje jednim od najpouzdanijih oblika iskazivanja istih. Pri analizi vodnih gubitaka njihovim iskazom kroz novac dobiva se realniji prikaz njihove veličine i značaja.

U većini slučajeva se sustavi javne vodoopskrbe izvode kao kombinirani (potisno-gravitacijski) te se svi vodni gubitci direktno manifestiraju kroz ekonomske gubitke, uslijed nepotrebne potrošnje energije na crpnim stanicama (izvoriste i duž cjevovodne mreže). Drugim riječima, energija koja se manifestira kao gubitak troši se u sklopu crpnih stanica na crpljenje i potiskivanje onih količina vode koje cure unutar sustava. Stoga energetski gubitak na radu crpnih stanica predstavlja direktan ekonomski gubitak za isporučitelja vodnih usluga koji upravlja predmetnim sustavom. Prethodno navedenom iznosu ekonomskih gubitaka uslijed potrošnje energije treba dodati i ostale direktne ekonomske gubitke koji ulaze u troškove dobave vode (kondicioniranje i sl.).

Direktni troškovi obuhvaćaju, osim ukupne količine neprihodovane vode, i troškove potrošnje energije za rad crpki te cijenu kondicioniranja vode ukoliko se zahvaćena vode kondicionira prije distribucije krajnjim korisnicima.

Nadalje je potrebno direktnim troškovima pridodati i indirektno ekonomske gubitke koji ulaze u troškove dobave vode, a koji se manifestiraju kroz popravke na cjevovodnoj mreži i kućnim priključcima. Ovi su gubitci posljedica, prije svega, pojave neodgovarajućih hidrauličko pogonskih uvjeta (Lambert et al., 2011.).

Ekonomska analiza gubitaka predlaže se provesti s ciljem iskaza ukupnog godišnjeg ekonomskog gubitka (HRK/godina) na razini sustava u cjelini, kao i svake DMA zone zasebno. Dodatno je potrebno uzeti u obzir i mogućnost promjene novčanih tijekova, odnosno vremensku vrijednost novca. U konačnici, rezultati provedene ekonomske analize vodnih gubitaka će poslužiti za utvrđivanje opravdanosti primjene pojedinih tehničkih rješenja, odnosno definiranje ekonomske učinkovitosti predloženih mjera unaprjeđenja sustava (vrijeme otplate investicije).

Provođenje ekonomske analize vodnih gubitaka omogućava jednostavno, brzo i učinkovito prepoznavanje kritičnih DMA zona sustava, te pruža daljnju osnovu za donošenje kvalitetnijih zaključaka i odluka vezanih uz definiranje mjera unaprjeđenja cjelokupnog sustava s konačnim ciljem njegovog daljnjeg održivog gospodarenja.

Kao ilustrativni se primjer može opisati sustav kod kojeg je jasno vidljiva potreba za provođenjem ekonomskih analiza vodnih gubitaka ne samo na razini sustava, već i svake DMA zone zasebno. Proračunom *ILI* pokazatelja za DMA zonu A on iznosi 2,76, dok za DMA zonu B iznosi 3,62. S obzirom da se u praksi smatra da je *ILI* pokazatelj u vrijednosti manjoj od 3,0 pokazatelj dobrog stanja, prioritet pri provođenju aktivnosti smanjenja vodnih gubitaka bi prema tome imala DMA zona B. No, ekonomskom analizom utvrđeni su ekonomski gubitci za DMA zonu A u iznosu od 1.100.000 HRK/godina, a za DMA zonu B 420.000 HRK/

godina, što dovodi u pitanje pouzdanost *ILI* pokazatelja. Navedena međuovisnost *ILI* pokazatelja i ekonomskih gubitaka će se detaljnije razmotriti u ovom radu (poglavlje 3) na pet konkretnih primjera iz hrvatske prakse.

2.3 Ostali načini iskazivanja vodnih gubitaka

Osim *ILI* pokazatelja i ekonomske analize vodnih gubitaka postoji više različitih parametara kojima se mogu iskazati količine vodnih gubitaka (Farley i Trow, 2003.). Kroz ovaj će rad biti uspoređeni različiti načini definiranja vodnih gubitaka (tablica 2) te analizirana njihova pouzdanost u odnosu na *ILI* pokazatelj i ekonomske gubitke.

3. ANALIZA PROBLEMA I REZULTATI

Analizirano je pet primjera cjelovitih sustava javne vodoopskrbe u Hrvatskoj na kojima je provedena detaljnija analiza uz prikaz konkretnih rezultata i zaključaka.

U tablici 3 prikazane su osnovne karakteristike analiziranih vodoopskrbnih sustava. Svi sustavi su izvedeni kao kombinirani, odnosno potisno-gravitacijski. Analizom vodnih gubitaka su za sve sustave predviđene mjere unaprjeđenja zbog značajnih količina vodnih gubitaka koje sustavi generiraju.

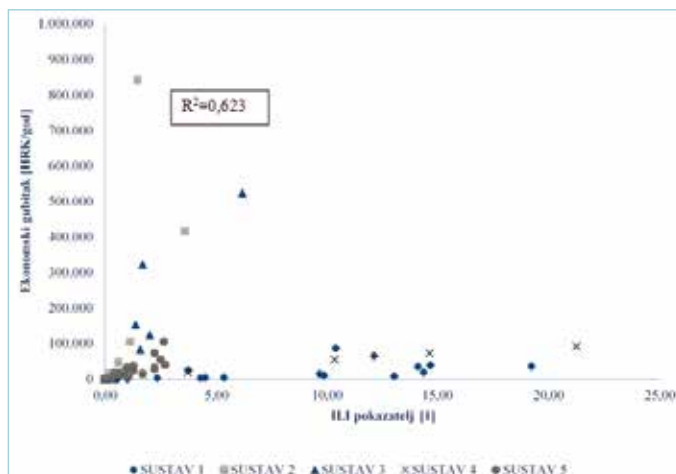
Usporedba podataka o *ILI* pokazateljima i ekonomskoj vrijednosti vodnih gubitaka u svakom od sustava dokazuje postojanje problema pouzdanosti *ILI* pokazatelja u ovisnosti o količini vodnih gubitaka iskazanoj u novčanom iznosu. Primjerice, kod sustava 1 i 4 izračunate su vrlo visoke vrijednosti *ILI* pokazatelja (8,5 i 9,0) u odnosu na sustave 2 i 5 (1,8 i 2,2), što bi inicijalno ukazivalo na prioritetnost rješavanja problema vodnih gubitaka u sustavima 1 i 4. Međutim, rezultati analize ekonomske vrijednosti vodnih gubitaka ukazali su na prioritetnost rješavanja problema vodnih gubitaka upravo u sustavima sa znatno manjim vrijednostima *ILI* pokazatelja.

Tablica 2: Ostali načini iskazivanja vodnih gubitaka

PARAMETAR	OPIS
$l/(\text{priključak}\cdot\text{dan})$	Količina vodnih gubitaka u vremenu u odnosu na broj priključaka
$\text{m}^3/(\text{km}\cdot\text{cjevovoda}\cdot\text{dan})$	Količina vodnih gubitaka u vremenu u odnosu na duljinu vodovodne mreže
$l/(\text{priključak}\cdot\text{dan}\cdot\text{mVS})$	Količina vodnih gubitaka u vremenu u odnosu na broj priključaka i prosječnu vrijednost tlaka unutar sustava, odnosno unutar svake zone, iskazanu u mVS
$\text{m}^3/(\text{km}\cdot\text{cjevovoda}\cdot\text{dan}\cdot\text{mVS})$	Količina vodnih gubitaka u vremenu u odnosu na duljinu vodovodne mreže i prosječnu vrijednost tlaka unutar sustava, odnosno unutar svake zone iskazanu u mVS
$\text{m}^3/(\text{km}\cdot\text{cjevovoda}\cdot\text{dan}\cdot\text{HRK}/\text{m}^3)$	Količina vodnih gubitaka u vremenu u odnosu na duljinu vodovodne mreže i jediničnu dobavnu cijenu vode

Na slici 2 prikazani su podatci o vrijednostima ILI pokazatelja u pripadajućoj DMA zoni svakog sustava i ekonomskih gubitaka po DMA zonama. Vidljivo je odstupanje podataka od pretpostavljene linearne zavisnosti povećanja ekonomskih gubitaka s povećanjem ILI pokazatelja, što potvrđuje nepouzdanost ILI pokazatelja pri iskazivanju vodnih gubitaka i pri definiranju kritičnih zona u sustavu, odnosno DMA zona u kojima se javljaju najveći vodni gubici te čija bi rekonstrukcija bila ekonomski najisplativija. Za analizirane sustave korelacijski odnos ILI pokazatelja i ekonomskog gubitka iznosi $R^2=0,623$. Na slici 2 može se također uočiti da vrijednosti ekonomskih gubitaka u pojedinim DMA zonama sustava 2 i 3 u značajnoj mjeri odstupaju od prosječnih vrijednosti svih analiziranih DMA zona. Međutim, one su kao takve realne i posljedica su relativno visoke jedinične cijene dobave vode kao i generiranja relativno velikih količina vodnih gubitaka unutar predmetnih zona, iz čega se može zaključiti da je neovisno o niskoj vrijednosti ILI pokazatelja prioritarna daljnja detaljnija analiza i implementacija mjera unaprjeđenja upravo u tim zonama. Navedeno također ukazuje na potrebu detaljnijeg razmatranja vodoopskrbnih sustava s njihovom podjelom na DMA zone i vrednovanja stanja u svakoj zoni zasebno, na temelju čega će biti olakšano daljnje definiranje prioriteta poduzimanja određenih mjera unaprjeđenja sustava.

Kako bi se ispitala ovisnost ostalih načina iskaza vodnih gubitaka, u ovom je radu svaki od njih analiziran u odnosu na ILI pokazatelj i ekonomske gubitke.

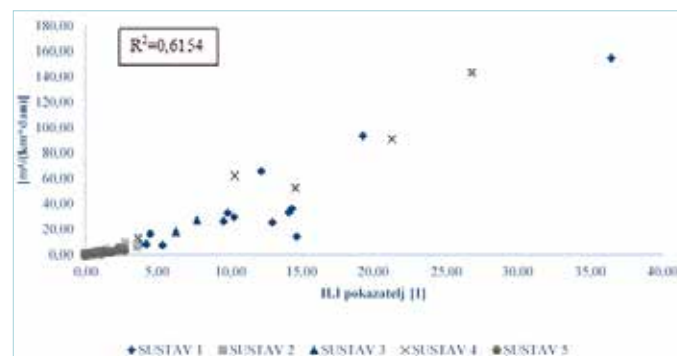


Slika 2: ILI pokazatelj u pripadajućoj DMA zoni svakog sustava i ekonomskih gubitaka po DMA zonama

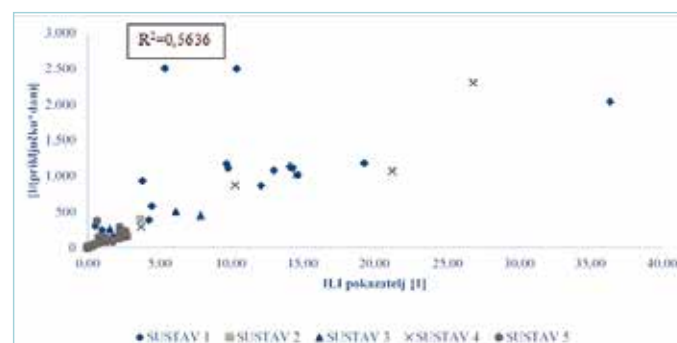
Tablica 3: Karakteristike analiziranih vodoopskrbnih sustava

	Broj DMA zona	Duljina cjevovodne mreže [km]	Broj priključaka	Vodni gubici		ILI	Ekonomski gubici		
				[%]	[l/s]		[m ³ /god]	[HRK/god]	[HRK/(priklj-god)]
SUSTAV 1	23	280	3.700	85	59,64	1.880.834	8,5	470.000	127
SUSTAV 2	6	280	8.000	30	15,88	500.792	1,8	2.500.000	313
SUSTAV 3	7	475	13.600	35	51,40	1.620.950	3,5	3.650.000	268
SUSTAV 4	7	127	7.500	58	82,00	2.585.952	9,0	390.000	52
SUSTAV 5	21	520	13.500	32	23,49	740.921	2,2	1.800.000	133

Na slikama 3 i 4 prikazane su ovisnosti iskazivanja vodnih gubitaka u m³/(km-dan) i l/(priključak-dan) prema ILI pokazatelju. Uočava se veća raspršenost podataka kod l/(priključak-dan) nego kod m³/(km-dan), iz čega se zaključuje da je potonji pouzdaniji pokazatelj.

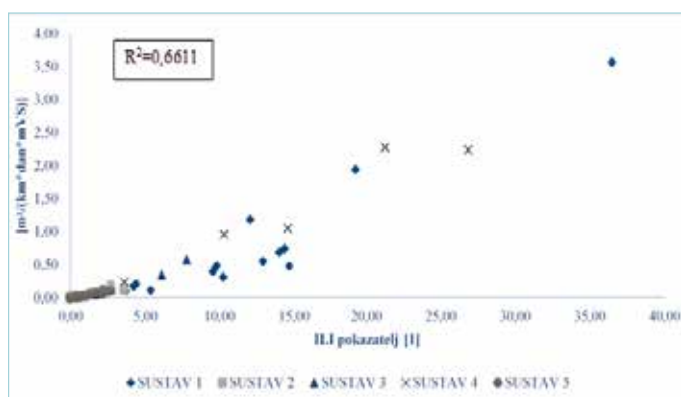
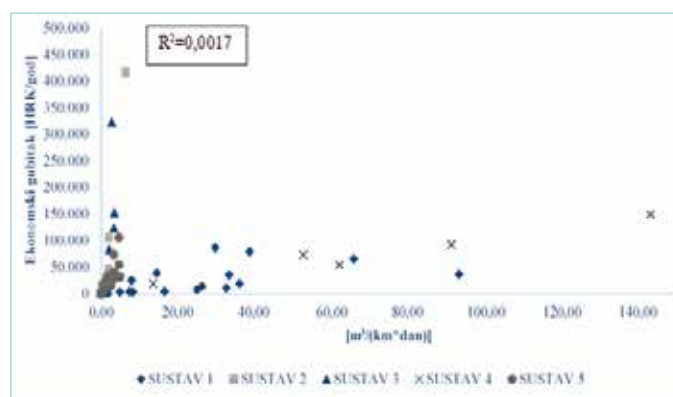
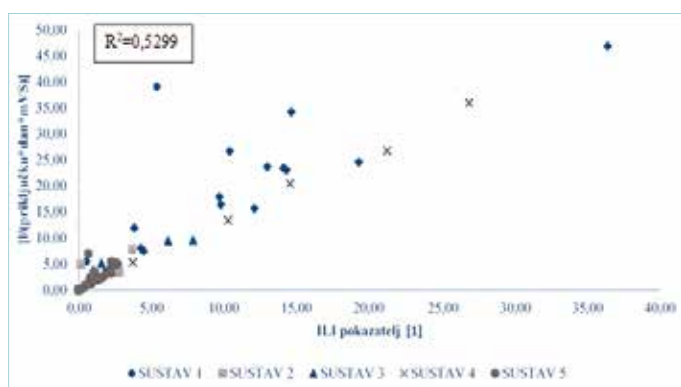


Slika 3: Odnos ILI i m³/(km-dan) po sustavima



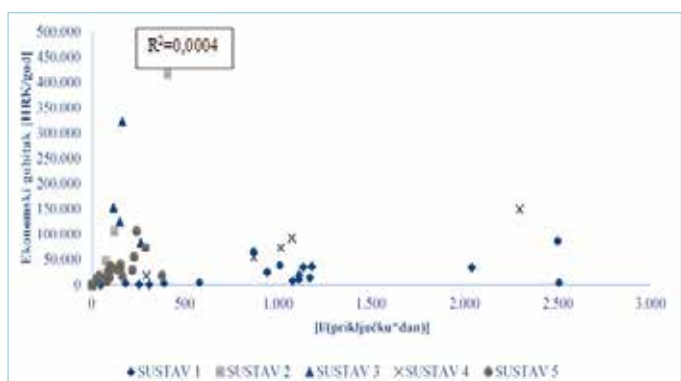
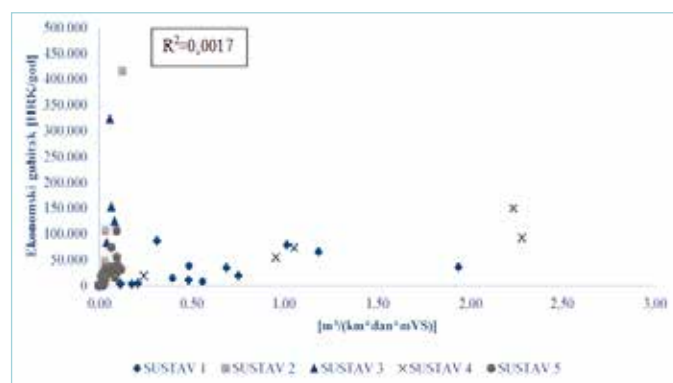
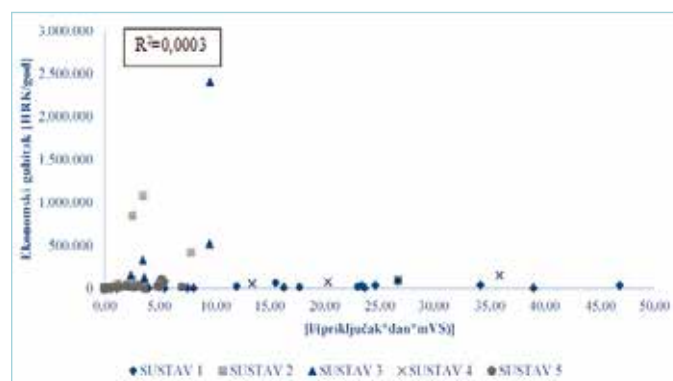
Slika 4: Odnos ILI i l/(priključak-dan)

Nadalje su prethodno analiziranim načinima iskaza vodnih gubitaka dodane i vrijednosti prosječne vrijednosti tlaka unutar sustava, odnosno unutar svake zone, iskazane u mVS kako bi bio ispitan utjecaj vrijednosti tlaka na pouzdanost pojedinih načina iskazivanja vodnih gubitaka. Na slikama 5 i 6 prikazane su ovisnosti iskazivanja vodnih gubitaka u m³/(km-dan-mVS) i l/(priključak-dan-mVS) u odnosu na ILI pokazatelj. Iz navedenih dijagrama vidljiva je manja raspršenost podataka, ali se ukupna pouzdanost još uvijek ocjenjuje relativno malom. Na temelju pet analiziranih sustava može se zaključiti da dodatni iskaz hidrodinamičkog tlaka, gotovo da ne utječe na povećanje pouzdanosti iskaza vodnih gubitaka.

Slika 5: Odnos ILI i $m^3/(km\cdot dan\cdot mVS)$ Slika 8: Odnos ekonomskih gubitaka i $m^3/(km\cdot dan)$ Slika 6: Odnos ILI i $I/(priključak\cdot dan\cdot mVS)$

S obzirom da se najveće težište pri vrednovanju vodnih gubitaka pridaje ekonomskoj vrijednosti vodnih gubitaka, svi prethodno analizirani parametri su stavljani u odnos s ekonomskim gubitcima. Na slikama 7 i 8 uočava se da podatci pri relativno malim vodnim gubitcima prate gotovo linearnu zavisnost, no rastom količine vodnih gubitaka matematička zavisnost se smanjuje.

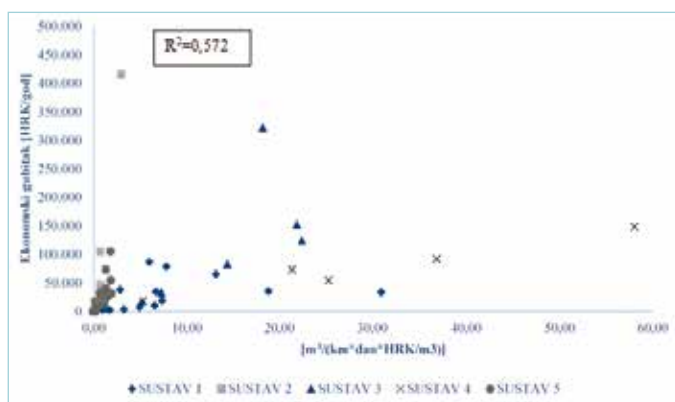
Korelacijski odnos ekonomskih gubitaka i $I/(priključak\cdot dan)$ matematički je definiran s iznosom $R^2=0,0004$, dok je korelacijski odnos ekonomskog gubitka i $m^3/km\cdot dan$ i iznosu $R^2=0,0017$ nešto bolji, ali se također može ocijeniti zanemarivim.

Slika 7: Odnos ekonomskih gubitaka i $I/(priključak\cdot dan)$ Slika 9: Odnos ekonomskih gubitaka i $I/(priključak\cdot dan\cdot mVS)$ Slika 10: Odnos ekonomskih gubitaka i $m^3/(km\cdot dan\cdot mVS)$

Također je i u ovom odnosu analiziran utjecaj prosječne vrijednosti hidrodinamičkog tlaka unutar sustava, odnosno unutar svake zone iskazanog u mVS. Na slikama 9 i 10 uočeno je da uvođenjem vrijednosti hidrodinamičkog tlaka raspršenost podataka raste te da vrijednost tlaka dodatno negativno utječe na pouzdanost navedenog načina iskaza vodnih gubitaka. Navedena se konstatacija može opisati i matematički kako bi negativni utjecaj bio uočljiviji pa tako korelacijski odnos ekonomskih gubitaka i $I/(priključak\cdot dan\cdot mVS)$ iznosi $R^2=0,0003$, dok je korelacijski odnos ekonomskog gubitka i $m^3/(km\cdot dan\cdot mVS)$ isti kao i u analizi bez uprosječene vrijednosti hidrodinamičkog tlaka te iznosi $R^2=0,0017$.

Nadalje, ispitana je korelacijska osjetljivost odnosa prethodno razmatranih načina iskaza vodnih gubitaka na promjenu dobave cijene vode te je uočeno da korištenjem jedinstvene cijene zavisnost među parametrima raste, ali samo do vrijednosti oko 0,30 HRK/m³ nakon koje se podatci počinju rasipati te dolazi do smanjenja korelacijskog odnosa.

Na tragu uočenih promjena u korelacijama između različitih parametara na temelju promjene dobavne cijene vode ispitana je i zavisnost ekonomskog gubitka u odnosu na m³/(km·dan) u koji je uvedena i jedinična vrijednost dobavne cijene vode izražena u m³/(km·dan·HRK/m³). Na slici 11 se uočava da je ovaj parametar najpouzdaniji u odnosu na do sada analizirane, ali i dalje se korelacija (R²=0,572) može ocijeniti nedostatnom, odnosno niža je od one dobivene za odnos *ILI* pokazatelja i ekonomskih gubitaka.



Slika 11: Odnos ekonomskog gubitka i m³/(km·dan·HRK/m³)

4. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani različiti načini prikaza vodnih gubitaka koji se sukladno IWA metodologiji koriste u okviru svjetske prakse. Kroz rezultate analiza provedenih u ovom radu istaknuta je važnost iskazivanja ekonomske vrijednosti vodnih gubitaka, odnosno nepouzdanost iskazivanja vodnih gubitaka isključivo na temelju *ILI* pokazatelja.

U radu su definirani odnosi različitih načina iskaza vodnih gubitaka s *ILI* pokazateljima i ekonomskim gubitcima, s ciljem iznalaženja što jednostavnijeg i pouzdanijeg načina iskazivanja vodnih gubitaka. Na temelju provedenih analiza zaključeno je da je m³/(km·dan·HRK/m³) pouzdaniji u odnosu na druge analizirane načine iskazivanja vodnih gubitaka, no njegova pouzdanost je još uvijek manja od *ILI* pokazatelja.

Ovaj rad ukazuje ne samo na nedostatke *ILI* pokazatelja, već i ostalih parametara koji se koriste pri iskazivanju vodnih gubitaka. Na temelju provedenih analiza zaključuje se da izuzev ekonomske vrijednosti vodnih gubitaka niti jedan od razmatranih načina iskaza vodnih gubitaka nije dovoljno pouzdan pokazatelj uspješnosti upravljanja vodnim gubitcima. Navedeno ne umanjuje nužno opću važnost iskaza vodnih gubitaka na sve razmatrane načine, osobito primjerice u sklopu benchmarking programa pri usporedbi s drugim vodoopskrbnim sustavima. Međutim, s ciljem donošenja kvalitetnih zaključaka potrebno je provesti dodatne detaljnije analize sustava u cjelini kao i svake DMA zone posebno s primarnim osvrtom na ekonomsku vrijednost vodnih gubitaka.

LITERATURA

- Farley, M.; Trow, S. (2003.): *Losses in Water Distribution Networks – A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control* // IWA Publishing, Alliance House, 12 Caxton Street, London SW1H0QS, UK.
- Kolovrat, I. (2015.): Metodologija izrade koncepcijskih rješenja vodoopskrbnih sustava u RH. *Hrvatska vodoprivreda*, 210, 15-19.
- Lambert, A.; Brown, T. G.; Takizawa, M.; Weimer, D. (1999.): A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems. *AQUA*, 48 (6), 227-237.
- Lambert; A. O.; McKenzie; R. D. (2002.): Practical Experience in Using the Infrastructure Leakage Indeks. U: *Proc. IWA Conference in Leakage Management: A Practical Approach, Lemesos, Cyprus*, IWA Publishing.
- Lambert, A.; Thornton, J. (2011.): The Relationships Between Pressure and Bursts – A State of the Art Update. *Water21*, International Water Association, 37-38.
- Liemberger, R. (2002.): Do You Know How Misleading the Use of Wrong Performance Indicators can be? *Proc. IWA Specialised Conference, Leakage Management – A Practical Approach, Lemesos, Cyprus*, IWA Publishing.
- Liemberger, R.; McKenzie, R. (2005.): Accuracy Limitations of the *ILI* – is it an appropriate indicator for developing countries? *Proc. IWA Leakage Conference, Halifax, Nova Scotia*, IWA Publishing.
- Thornton J.; Lambert, A. (2005.): Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. *Proc. IWA Leakage Conference, Halifax, Nova Scotia*, IWA Publishing.
- Seago, C.; McKenzie, R.; Liemberger, R. (2005.): International Benchmarking of Leakage from Water Reticulation Systems. *Proc. IWA Leakage Conference, Halifax, Nova Scotia*, IWA Publishing.
- Vouk, D.; Malus, D.; Vuković, Ž.; Halkijević, I. (2012.a): Metodologija analize vodnih gubitaka u vodoopskrbnim sustavima. U: *Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji* (ur. M. Beslić, D. Ban), Velika Gorica, Revelin, 121-130.
- Vouk, D.; Vuković, Ž.; Halkijević, I.; Malus, D. (2012.b): Ekonomska analiza vodnih gubitaka. *Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji* (ur. M. Beslić, D. Ban). Velika Gorica, Revelin, 111-120.
- Vouk, D.; Malus, D.; Baričić, D. (2014.). Je li *ILI* pokazatelj pouzdan pokazatelj uspješnosti upravljanja vodnim gubitcima? *Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji* (ur. M. Beslić, D. Ban). Velika Gorica, Revelin, 133-144.
- Vouk, D.; Halkijević, I.; Malus, D.; Vuković, Ž. (2016.): Praktične analize vodnih gubitaka s naglaskom na ekonomski aspekt. *Strategija razvoja vodoopskrbe i odvodnje grada Zagreba* (ur. V. Andročec). Društvo građevinskih inženjera Zagreb, 111-122.
- <http://www.leakssuite.com/concepts/uarl-and-ili/>
- <http://www.leakssuite.com/ili-in-uk-update/>

Comparison of different methods for expressing water losses with a review of their practical implementation in Croatia

Abstract. There are different methods for expressing water losses in water supply systems, which are presently used in the world. Water losses are most frequently expressed as a percentage of abstracted water quantity, a calculation of real and apparent losses as part of the standard water balance and calculation of the Infrastructure Leakage Index (ILI) according to the International Water Association (IWA) methodology. The ILI presents the relation between the real and unavoidable annual water losses. The paper offers a critical review of the reliability of the ILI in the analysis of water losses. By using specific examples, the paper proves that it is not reliable to draw concrete conclusions about the state of water losses or to define measures for improving integrated systems or individual district metering areas (DMAs) based on the ILI. In addition to the ILI calculation, numerous other methods of expressing and assessing water losses are also used, such as $l/(\text{connection per day})$, $\text{m}^3/(\text{km pipeline per day})$, $l/(\text{connection per day mWC})$, $\text{m}^3/(\text{km pipeline per day mWC})$, HRK/year, etc. In order to find the simplest and most reliable method for expressing water losses, this paper analyses relations between different methods for expressing water losses on five specific water supply systems in Croatia. It has been concluded that the most practical and efficient performance of economic analyses of water losses is when water losses are expressed in HRK/year, both for the system as a whole and separately for each individual DMA.

Key words: water losses, ILI indicator, economic value of losses, IWA methodology

Vergleich verschiedener Arten der Darstellung von Wasserverlusten unter besonderer Berücksichtigung der Praxis in Kroatien

Zusammenfassung. Heutzutage werden verschiedene Arten der Darstellung von Wasserverlusten in Wasserversorgungssystemen verwendet. Am häufigsten wird der Prozentanteil in Bezug auf entnommene Wassermengen dargestellt, weiterhin die Berechnung der tatsächlichen und scheinbaren Wasserverluste im Rahmen der Wasserbilanz sowie die Berechnung der Kennzahl „Infrastruktur-Leckverlust-Index ILI“ (Eng. Infrastructure Leakage Index) im Einklang mit der Methodik der Internationalen Wasservereinigung (IWA). Hierbei werden die tatsächlichen Verluste ins Verhältnis zu den unvermeidbaren Verlusten gesetzt. Im Artikel wird die Zuverlässigkeit der Kennzahl ILI in der Analyse der Wasserverluste kritisch betrachtet. An konkreten Beispielen wird gezeigt, dass keine zuverlässigen Schlussfolgerungen, die auf der Kennzahl ILI basieren, über den Stand der Wasserverluste gezogen werden können, und dass nicht einmal die Maßnahmen zur Verbesserung von ganzen Systemen oder einzelnen Messzonen (Eng. District Metering Area, DMA) definiert werden können. In der Analyse der Wasserverluste werden neben der Berechnung der Kennzahl ILI auch zahlreiche andere Arten von Darstellung und Bewertung von Wasserverlusten angewendet (l pro Hausanschluss pro Tag, m^3 pro Kilometer Leitungslänge, l pro Hausanschluss pro Tag pro mWS, m^3 pro Kilometer Leitungslänge pro Tag pro mWS, HRK (Kuna) pro Jahr usw.). An fünf Beispielen von Wasserversorgungssystemen in Kroatien werden die Verhältnisse verschiedener Arten der Darstellung von Wasserverlusten analysiert, mit dem Ziel eine einfache und zuverlässige Art der Darstellung von Wasserverlusten zu finden. Es kann geschlossen werden, dass für wirtschaftliche Analysen von Wasserverlusten die Darstellung von Wasserverlusten in HRK/Jahr für das System als Ganzheit sowie für jede einzelne Messzone (DMA) am praktischsten und wirkungsvollsten ist.

Schlüsselwörter: Wasserverluste, Kennzahl ILI, wirtschaftlicher Wert der Verluste, Methodik der IWA