

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



**Četvrta naučna konferencija
sa međunarodnim učešćem**

GUBICI VODE U SISTEMU JAVNOG VODOSNABDEVANJA

Zbornik radova



**Beograd
06. jun 2025.**



SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

**Četvrta naučna konferencija
sa međunarodnim učešćem**

**Gubici vode
u sistemu javnog vodosnabdevanja**

Zbornik radova

Beograd, jun 2025.

Izdavač:

Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

Za izdavača:

Mr Bogdan Vlahović, generalni sekretar

Programski odbor:

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

Organizacioni odbor:

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

Glavni i odgovorni urednik:

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

Naučni savet publikacije:

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

Recenzenti:

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

Lektura i korektura:

Olivera Ćosović, mast. filol.

Tehnički urednik:

Olja Jovičić, dipl. prav.

Korica: idejno rešenje Jovana Sokić

Štampa: Akademska izdanja, Zemun

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

Tiraž: 180 primeraka

ISBN: 978-86-82563-33-4

Godina izdavanja: 2025.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628.1(082)

НАУЧНА конференција са међународним учешћем Губици воде у систему јавног водоснабдевања (4 ; 2025 ; Београд)

Zbornik radova / Četvrta naučna konferencija sa međunarodnim učešćem Gubici vode u sistemu javnog vodosnabdevanja, Beograd, [06.] jun 2025. ; [organizator Savez inženjera tehničara Srbije] ; [glavni i odgovorni urednik Branislav Babić]. - Beograd : Savez inženjera tehničara Srbije, 2025 (Zemun : Akademska izdanja). - 130 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp., hrv. i engl. jeziku. - Tekst ćir. i lat. - Tiraž 180. - Str. 11-12: Predgovor / urednik. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-82563-33-4

а) Снабдевање водом -- Зборници

COBISS.SR-ID 169603337

PREDGOVOR

Nakon uspešno organizovane tri konferencije 2022, 2023. i 2024. godine, Savez inženjera i tehničara Srbije (SITS) organizuje ove godine četvrtu po redu godišnju konferenciju o aktuelnim temama iz oblasti upravljanja gubicima vode u sistemima javnog vodosnabdevanja.

Suorganizatori Konferencije ove godine su Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ (Beograd), Inženjerska akademija Srbije (Beograd), JKP „Vodovod i kanalizacija“ Novi Sad, JKP „Vodovod i kanalizacija“ Kragujevac, uz podršku Privredne komore Srbije - Udruženja za komunalne delatnosti i Inženjerske komore Srbije.

Konferencija se odvija pod pokroviteljstvom Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije.

Gubici vode predstavljaju ne samo tehnički, već i ekonomski, ekološki i društveni izazov. U vremenu kada su resursi sve ograničeniji, a zahtevi za održivim razvojem sve izraženiji, smanjenje gubitaka vode postaje prioritet za javna komunalna preduzeća, lokalne samouprave, donosiocima odluka, kao i za naučno-istraživačku zajednicu. Smanjenje gubitaka vode u vodovodnim sistemima nije samo tehničko-tehnološko pitanje, već imperativ odgovornog upravljanja i preduslov za osiguranje dugoročne sigurnosti vodosnabdevanja.

Radovi u ovom Zborniku obuhvataju širok spektar tema: od analiza uzroka i tipova gubitaka, preko metoda detekcije i merenja, do primene digitalnih alata, savremenih softverskih rešenja, modelovanja vodovodnih mreža i optimizacije sistema. Cilj ovog Zbornika nije samo da pruži uvid u trenutna dostignuća i izazove, već i da inspiriše na akciju. Smanjenje gubitaka vode zahteva posvećenost, multidisciplinarni pristup, kontinuirano ulaganje u znanje i opremu, kao i jačanje saradnje između svih relevantnih aktera – od donosilaca odluka i regulatornih tela, preko vodovodnih preduzeća i naučno-istraživačkih institucija, do samih korisnika.

Uvereni smo da će ovaj zbornik biti vredan izvor informacija, inspiracija za nove projekte i podsticaj za dalje unapređenje sektora vodosnabdevanja. Nadamo se da će sadržaj koristiti ne samo učesnicima konferencije, već i široj stručnoj javnosti koja se bavi pitanjem očuvanja vodnih resursa.

Zbornik radova konferencije „Gubici vode u sistemu javnog vodosnabdevanja“ sadrži ukupno 10 radova koje je Programski odbor prihvatio, nakon izvršene recenzije, za izlaganje na Konferenciji i štampanje u Zborniku radova. Pored autora radova iz Srbije, zastupljeni su i radovi autora iz inostranstva.

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

Beograd, maj 2025.

UREDNIK
Dr Branislav Babić

SADRŽAJ

<i>PREDGOVOR</i>	9
<i>Aleksandar Šotić, Marko Ivetić</i> Sažeti prikaz oslonaca efikasnog vodovodnog sistema	13
<i>Dejan Dimkić, Aleksandar Đukić</i> Pitanje (ne)uniformnosti smanjenja gubitaka u vodovodnim sistemima	29
<i>Goran Gavrilović</i> Gubici vode u sistemu javnog vodosnabdevanja - harmonizacija izveštavanja prema Direktivi o vodi za piće	45
<i>Miodrag Babić, Nikolina Majdanac, Novak Predojević</i> Baze podataka i hidraulički model kao osnova za smanjenje gubitaka u vodovodnom sistemu	51
<i>Jurica Kovač</i> Upravljanje promjenama u vodovodnom poduzeću kroz program kontrole gubitaka vode	65
<i>Ognjen Ivić</i> Primena istorijskih podataka SCADA sistema za izradu modela mašinskog učenja u detekciji i smanjenju gubitaka vode	77
<i>Mladen Stojanović, Tatjana Ranđelović, Dejan Jordanović</i> Uticaj rekonstrukcije distributivne mreže sa usputnom potrošnjom na smanjenje isporučene vode	91
<i>Olivera Doklešić</i> Problematika gubitaka vode i princip sezonalnosti u primorskoj regiji Crne Gore	98
<i>László Varga</i> Modern Methods to Detect and Reduce Water-Loss (monitoring, measurement, pressure control, etc.)	107
<i>Marina Nikolić, Goran Jovanović</i> Poboljšanje vodosnabdevanja i smanjenje broja kvarova pomoću hidrauličkog modeliranja	119

ПИТАЊЕ (НЕ)УНИФОРМНОСТИ СМАЊЕЊА ГУБИТАКА У ВОДОВОДНИМ СИСТЕМИМА

THE ISSUE OF (UN)UNIFORMITY IN REDUCING LOSSES IN WATER SUPPLY SYSTEMS

ДЕЈАН ДИМКИЋ¹
АЛЕКСАНДАР ЂУКИЋ²

Оригинални научни рад
DOI: 10.5937/GV25029D

Резиме: У раду је приказана анализа губитака воде из 42 водовода у Републици Србији коришћењем показатеља ILI и исказивањем губитака као процента од испоручене воде у систем. Анализа је изведена коришћењем расположивих података, при чему су недостајући подаци усвајани према оцењеним најреалнијим условима на терену. Анализа је показала предности коришћења показатеља ILI који уважава локалне специфичности конфигурације и рада водоводног система. Указано је на ризик коришћења података о губицима исказаним као проценат од воде унете у систем, и нарочито од арбитарног прописивања циљаног процента губитака, без анализе стања и карактеристика конкретног водоводног система, јер овакав приступ може довести до постављања врло нереалних и неостваривих циљева. Приказан је прелиминарни методолошки оквир за дефинисање циљаних губитака воде у Србији и указано је на потребе даљих истраживања и унапређења поузданости података о дистрибутивним водоводним системима у циљу повећања поузданости процене губитака воде и реалистично постављање циљева смањења губитака воде.

Кључне речи: водоводни систем, губици, NRW, притисак, ILI

Abstract: The paper presents an analysis of water losses from 42 waterworks in the Republic of Serbia using the ILI indicator and expressing losses as a percentage of input system volume. The analysis was performed using available data, with missing data being adopted by assessing operating conditions. The analysis clearly indicated the advantages of using the ILI indicator, which takes into account the local specificities of the configuration and operation of the waterworks system. Paper points out the risk of using data on water losses

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

² Александар Ђукић, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, djukic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-3548-989X

expressed as a percentage of system input volume, and in particular of arbitrarily prescribing a target percentage of water losses, without analyzing the state and characteristics of a specific waterworks system, as this approach can lead to setting unrealistic and unachievable goals. A preliminary methodological framework for defining targeted water losses in Serbia is presented as well as the need for further research and improvement of the reliability of data on distribution water systems in order to increase the reliability of water loss estimates and realistically set water loss reduction goals.

Key Words: water supply system; losses; NRW; pressure; ILI

1. Увод

Узроци у просеку високих вредности губитака воде у водоводним системима (WSS) у нашем региону су различити. Првенствено су резултат деценија недовољног улагања у водоводну инфраструктуру, али и неадекватних организационих и економских поставки под којима функционише сектор водовода и канализације.

У табели 1 приказане су компоненте биланса вода у водоводном систему који се базира на добро познатој методологији Међународне асоцијације за воде (IWA), где називи појединих компоненти одговарају уобичајеној терминологији код нас, док су у загради дате скраћенице појединих компоненти према оригиналној IWA методологији. Табела биланса је модификована тако да обухвати и компоненте које се односе на транспорт сирове воде и припрему воде за пиће [1].

Табела 1. Табеларни приказ терминологије биланса вода у једном WSS

Потрошња воде у домаћинству (фактурисана)	Укупна (фактурисана) потрошња воде (RW)	Произведена вода - Испоручена вода у систем (SIV)	Укупно Захваћена вода
Потрошња воде установа (фактурисана)			
Потрошња воде привреде (фактурисана)			
Нефактурисана легална потрошња воде	Губици воде у дистрибутивном систему (NRW)	За будуће временске пресеке: Потребе за водом датог система	За будуће временске пресеке: Укупне потребе за водом
Физички (реални) губици			
Привидни губици			
	Укупни Губици	NRW ↑ + LRW →	Губици (LRW) на транспорту сирове воде и потрошње ППВ

Све наведене величине могу се исказати у јединицама L/s или m³/dan или 10⁶ m³/god. Ако се оне поделе са бројем становника који су прикључени на ЈВ (број корисника), онда говоримо о специфичној потрошњи воде поједине категорије потрошача, специфичној произведеној води, или специфичној захваћеној води (за ову последњу се најчешће употребљава термин „укупна специфична потрошња“). Односе се на садашњи или прошли временски пресек, и све оне се изражавају у јединицама литара по кориснику по дану (L/kor.dan) [1]. Када говоримо о будућим временским пресецима, једина разлика је што се, уместо термина „специфична потрошња“ употребљава устаљени термин „норма потрошње“.

Према одређеним истраживањима [2], просечно у Србији у односу на укупне губитке, реални губици чине 2/3 (65 ÷ 70%), привидни 20 ÷ 30%, а нефактурисана легална потрошња око 5 ÷ 10%. Међутим, разлике у односима ових врста губитака варирају у широким границама од система до система. Често су присутни високи реални губици на главним доводима, али има и случајева са високим привидним губицима. Бројни фактори утичу на висину губитака: степен исправности водомера, број нелегалних прикључака, висина нефактурисане легалне потрошње, квалитет извођења радова, старост и врста цевног материјала, број прикључака, топографија и састав терена, густина насељености, клима, итд. Високи, а нарочито промењиви притисци, су вероватно главни разлог високих губитака у многим системима [3, 4].

У званичним подацима статистике губици се приказују као проценат од испоручене воде у систем, мада званична и општеприхваћена оцена стања WSS према губицима воде исказаним у процентима не постоји. Важно је нагласити да исказивање губитака воде у % не узима у обзир бројне објективне факторе који утичу на висину прихватљивих губитака. Зато се препоручује укључивање показатеља учинка (егл. Performance indicators) који укључују низ параметара водоводних система у циљу реалнијег сагледавања и поређења водоводних система у погледу губитака воде.

Најпознатији показатељ је ILI (Infrastructure leakage index) кога је предложила IWA и за кога је направила критеријуме по којима се даје оцена стања једног WSS, при чему препоручени опсеги вредности показатеља ILI разликују за развијене земље од препорука за неразвијене земље [5]. Србија у овом тренутку развоја се може окарактерисати као средње развијена земља, па би у складу са тим, за оцену стања требало примењивати опсеге вредности који су између препоручених за развијене и за неразвијене земље по IWA класификацији.

Табела 2 даје приказ опсега показатеља ILI по категоријама ефикасности WSS, која ће се користити у овом раду.

Табела 2. Критеријуми индикатора *ILI* за процену ефикасности *WSS* према развијености земље

Категорија ефикасности →	A	B	C	D
За развијене земље	1 ÷ 2	2 ÷ 4	4 ÷ 8	> 8
За средње развијене земље	1 ÷ 3	3 ÷ 6	6 ÷ 12	> 12
За неразвијене земље	1 ÷ 4	4 ÷ 8	8 ÷ 16	> 16
Оцена стања	врло добро	добро	прихватљиво	лоше

Узгред, приступ оцене стања губитака воде коришћењем показатеља *ILI*, или неке сличне методе која узима у обзир локалне специфичности *WSS* је и захтев нове ЕУ Директиве о води за пиће (*Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption*).

2. Процена вредности *ILI* и поређење са *NRW* (%) за неке *WSS* у Србији

У овом делу рада биће извршено поређење губитака воде изказаних у (%) и вредности показатеља *ILI* за одабране водоводе у Србији. У раду су коришћене следеће скраћенице:

IWA	Међународна асоцијација вода;	SIV	Произведена вода;
NLP	Нефактурисана легална потрошња;	P	Притисак у мрежи;
LOS	Губици воде (привидни+реални);	ECV	Економска цена воде;
LRW	Губици на транспорту сирове воде;	RW	Фактурисана вода;
GNC	Губици на цевоводима;	NRW	Нефактурисана вода;
GPR	Губици и преливи на резервоарима;	APL	Привидни губици;
GKP	Губици на кућним прикључцима;	REL	Реални губици;
ILI	Инфраструктурни индекс губитака;	WSS	Водоводни систем;
ELL	Ниво економске оправданости смањења губитака;	CARL	Постојећи физички губици
РДВ	Републичка дирекција за воде	UARL	Неизбежни губици
RZS	Републички завод за статистику	JKP	Јавно комунално предузеће;

3. Процена показатеља *ILI* и поузданост улазних параметара

Инфраструктурни индекс цурења *ILI* представља количник постојећих физичких губитака (*CARL*) и неизбежних губитака (*UARL*) – оба се исказују у m^3/god или L/dan :

$$ILI(-) = CARL / UARL; \quad (1)$$

где је:

$$UARL (L/dan) = (18 \times L_m + 0,80 \times N_c + 25 \times L_p) \times P; \quad (2)$$

где су:

L_m је укупна дужина дистрибутивне мреже у km (постоје подаци за све анализиране WSS);

N_c је број корисничких прикључака (постоје подаци за све анализиране WSS);

L_p је укупна дужина прикључних цеви од улице до водомера у km (усвојена је просечна дужина цеви једног прикључка од 5 m за све WSS);

P је просечан радни притисак у мрежи изражен у m – усвојене су просечне вредности од 35 ÷ 40 m за WSS у равничарским пределима и до 50 m за WSS у брдовитим пределима.

За мањи број WSS где су срачунате компоненте модификоване IWA табеле биланса, добијена вредност постојећих физичких губитака се користи за CARL. За остале WSS, CARL је рачунат емпиријском формулом:

$$CARL = (23 \cdot \ln(NRW \text{ у } \%) - 56) \cdot SIV / 100 \quad (3)$$

Ова формула је базирана на анализи компоненти биланса [2] 10-ак WSS (табела 3 и слика 1), а може се применити на оне где је $NRW > 20\%$.

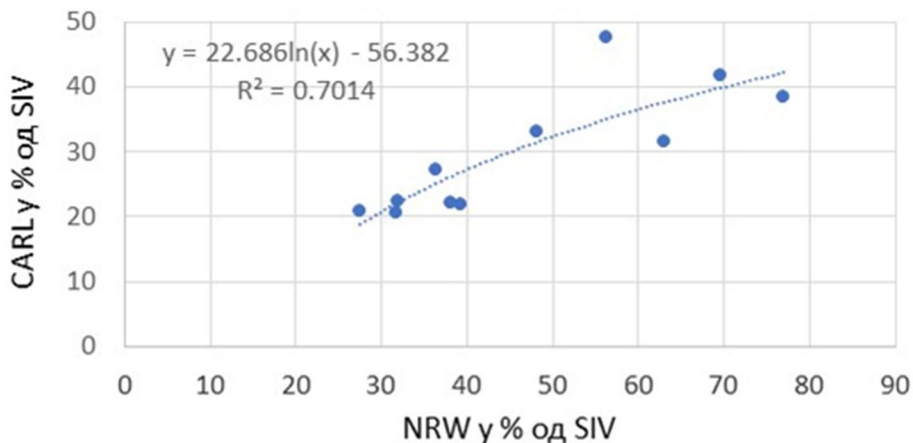
Табела 3. Удео (у %) NRW и CARL од SIV за један број WSS у земљи

	Краљево	Лозница	Панчево	Шабац	Смедерево	Сомбор	Вршац	Димитров-град	Бољевац	Нови Сад	Нови Пазар
NRW (%) од SIV	32	56	38	48	39	27	36	63	77	32	70
CARL (%) од SIV	21	48	22	33	22	21	27	32	39	22	42

Од параметара који утичу на висину неизбежних губитака најпоузданији податак је N_c (број корисничких прикључака) јер свако ЈКП има тачне или врло приближне податке. Такође свако ЈКП има податке о укупној дужини мреже (L_m) које достављају РЗС, али су они знатно мање поуздани.

Наиме, док су цевоводи пречника ≥ 80 mm у некој мери ажурирани у већини WSS, дотле су цевоводи мањег пречника (< 80 mm, а посебно ≤ 50 mm) редовно потцењени у мањој или већој мери. Има и паушалних оцена овог параметра у понеком водоводу, и тада податак може бити и прецењен. У анализи су коришћени подаци РЗС, ажурирани из 2023. на општинском нивоу,

и подаци РДВ из студија и генералних пројеката Регионалних водоводних система у Србији рађених у последњих 8 година.



Слика 1. Зависност постојећих губитака CARL и нефактурисаних вода NRW у % од SIV

Прецизније податке о укупној дужини прикључних цеви од улице до водомера (L_p) и просечном радном притиску у мрежи (P) у ЈКП углавном немају, али се они могу, са прихватљивом тачношћу, апроксимовати на начин назначен на почетку овог поглавља.

2.2. Поређење NRW (%) и индикатора ILI за неке WSS у земљи

Табеле 4.a ÷ 4.e илуструју анализиране водоводне системе кроз приказ: броја становника прикључених на WSS, улазне податке (L_m , N_c , L_p , P , SIV и RW), срачунате параметре (NRW, UARL и CARL), и показатеље ILI (са оценом класе) и вредности NRW и CARL (исказане као % од SIV).

Табела 4a. Јабланички регионални подсистем

Централн и WSS у општини	Бр. кор исника 10^3	Улазни подаци						Срачунати параметри			Индекси		
		L_m	N_c	L_p	P	SIV	RW	NRW	UARL	CARL	ILI	NRW	CARL
		km		km	m	$10^3 \cdot m^3 / y$	$10^3 \cdot m^3 / y$	$10^3 \cdot m^3 / y$	$10^3 \cdot m^3 / y$	$10^3 \cdot m^3 / y$	-	%	%
Лесковац	86.5	515	2236 7	112	40	7768	4778	2990	437	2172	5.0 (B)	38.5	28.0
Дољевац	6.9	48	704	4	35	260	170	90	20	66	3.4 (B)	34.6	25.5
Лебане	11.6	92	3307	17	35	903	408	495	60	326	5.4 (B)	54.8	36.1

Централни и WSS у општини	Бр. кор исника 10 ³	У л а з н и п о д а ц и						С р а ч у н а т и п а р а м е т р и				И н д е к с и		
		L _m	N _c	L _p	P	SIV	RW	NRW	UARL	CARL	ILI	NRW	CARL	
		km		km	m	10 ³ ·m ³ / y	10 ³ ·m ³ / y	10 ³ ·m ³ / y	10 ³ ·m ³ / y	10 ³ ·m ³ / y	-	%	%	
Медвеђа	3.6	50	1406	7	40	395	198	197	32	134	4.2 (B)	49.9	33.9	
Бојник	7.2	112	2348	12	35	388	276	112	54	83	1.5 (A)	28.9	21.3	
Просечне вредности индекса за Јабланички регион. подсистем											3.9	41.3	29.0	

Табела 4б. Нишавски регионални подсистем

Централни WSS у општини	Бр. кор исника 10 ³	У л а з н и п о д а ц и						С р а ч у н а т и п а р а м е т р и				И н д е к с и		
		L _m	N _c	L _p	P	SIV	RW	NRW	UARL	CARL	ILI	NRW	CARL	
		km		km	m	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	-	%	%	
Ниш	225.9	1401	41860	209	45	31222	16843	14379	1050	10018	9.5 (C)	46.1	32.1	
Нишка Бања	11.4	48	2300	12	45	1734	867	867	49	589	12.0 (D)	50.0	34.0	
Гацин Хан	1.5	22	750	4	35	115	60	55	14	38	2.7 (A)	47.8	33.0	
Пирот	41.6	200	16700	84	45	5303	2931	2372	313	1666	5.3 (B)	44.7	31.4	
Димитров-град	6.9	95	4117	21	40	1397	495	902	81	557	6.9 (C)	64.6	39.9	
Б.Паланка	7.3	42	2950	15	45	1288	388	900	57	537	9.4 (C)	69.9	41.7	
Алексинач	33.3	195	11906	60	40	3192	1411	1781	212	1165	5.5 (B)	55.8	36.5	
Сокобања	7.2	38	3500	18	50	1510	681	829	72	546	7.6 (C)	54.9	36.1	
Ражањ	1.7	23	1485	7	35	152	83	69	23	48	2.1 (A)	45.4	31.8	
Просечне вредности индекса за Нишавски регионални подсистем											6.8	53.2	35.1	

Табела 4в. Тимочки регионални систем

Централни WSS у општини	Бр. корисника 10 ³	Улазни подаци						Срачунати параметри				Индекси		
		Lm	Nc	Lp	P	SIV	RW	NRW	UARL	CARL	ILI	NRW	CARL	
		km		km	m	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	-	%	%	
Бор	38.1	392	11074	55	40	6730	3196	3534	252	2362	9.4 (C)	52.5	35.1	
Бољевац	5.4	112	2075	10	40	1172	321	851	57	499	8.7 (C)	72.6	42.6	
Зајечар	44.4	406	18076	90	40	5695	2487	3208	351	2091	6.0 (C)	56.3	36.7	
Књажевац	21.1	262	8500	43	40	2278	1104	1174	184	790	4.3 (B)	51.5	34.7	
Неготин	16.9	134	10346	52	35	2291	1064	1227	153	815	5.3 (B)	53.6	35.6	
Просечне вредности индекса за Тимочки регионални систем											6.7	57.3	36.9	

Табела 4г. Мачвански регионални систем

Централни WSS у општини	Бр. корисника 10 ³	Улазни подаци						Срачунати параметри				Индекси		
		Lm	Nc	Lp	P	SIV	RW	NRW	UARL	CARL	ILI	NRW	CARL	
		km		km	m	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	-	%	%	
Љубовија	8.6	78	2469	12	4	650	378	272	54	194	3.6 (B)	41.8	29.9	
М.Зворник	7.9	116	2810	14	40	1332	414	918	68	551	8.1 (C)	68.9	41.4	
Шабац	84.6	431	30750	154	35	6437	4534	1903	463	1409	3.0 (B)	29.6	21.9	
Крупањ	4.1	59	2348	12	40	776	240	536	47	321	6.8 (C)	69.1	41.4	
Богатић	5.6	43	2555	13	35	567	358	209	40	153	3.8 (B)	36.9	27.0	
Коцељева	6.7	240	3366	17	40	970	721	249	109	181	1.7 (A)	25.7	18.6	
Осечина	4.8	90	1310	7	40	490	232	258	42	172	4.2 (B)	52.7	35.2	
Лозница	69.8	853	32573	163	40	8656	4040	4616	664	3069	4.6 (B)	53.3	35.5	
Просечне вредности индекса за Мачвански регионални систем											4.5	47.2	31.3	

Табела 4д. Колубарски регионални систем

Централн и WSS у општини	Бр. кор исника 10 ³	У л а з н и п о д а ц и						С р а ч у н а т и п а р а м е т р и			И н д е к с и		
		Lm	Nc	Lp	P	SIV	RW	NRW	UARL	CARL	ILI	NRW	CARL
		km		km	m	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	-	%	%
Ваљево	65.7	373	33,340	167	45	10,374	4,638	5736	617	3765	6.1 (C)	55.3	36.3
Лајковац	7.1	113	2,586	13	35	1,182	403	779	57	477	8.4 (C)	65.9	40.3
Лазаревац	33.9	364	14,657	73	40	5,200	1,798	3402	293	2088	7.1 (C)	65.4	40.2
Уб	11.6	98	3,950	20	35	930	622	308	69	228	3.3 (B)	33.1	24.5
Мионица	8.4	90	6,290	31	45	1,882	692	1190	122	741	6.1 (C)	63.2	39.4
Љиг	5.4	38	1,985	10	45	759	236	523	41	314	7.6 (C)	68.9	41.4
Просечне вредности индекса за Колубарски регионални систем											6.4	58.6	37.0

Табела 4е. Војводина регион - делови Банатског, Бачког и Сремског РВС

Централн и WSS у општини	Бр. кор исника 10 ³	У л а з н и п о д а ц и						С р а ч у н а т и п а р а м е т р и			И н д е к с и		
		Lm	Nc	Lp	P	SIV	RW	NRW	UARL	CARL	ILI	NRW	CARL
		km		km	m	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	10 ³ ·m ³ /y	-	%	%
Суботица	96.2	456	36713	184	40	8500	6172	2328	616	1711	2.8 (A)	27.4	20.1
Сомбор	41.8	247	14200	71	40	4009	2813	1196	257	886	3.5 (B)	29.8	22.1
Панчево	115.5	405	34000	226	40	12892	9451	3441	586	2519	4.3 (B)	26.7	19.5
Бечеј	19.5	127	7000	35	35	2745	990	1755	112	1088	9.7 (C)	63.9	39.6
Србобран	10.5	90	5075	25	35	641	504	137	81	92	1.1 (A)	21.4	14.4
Врбас	20.9	116	8000	40	35	2107	1560	547	121	398	3.3 (B)	26.0	18.9
Ср. Митров.	63.3	381	30900	155	40	9508	4705	4803	518	3253	6.3 (C)	50.5	34.2
Н. Бечеј	11	96	8554	43	35	886	657	229	123	167	1.4 (A)	25.8	18.8
Кањижа	8.2	85	4724	24	35	685	545	140	75	92	1.2 (A)	20.4	13.4
Просечне вредности индекса за регион Војводина											3.7	32.4	22.3

За сва 42 анализирана система у табелама 4.а ÷ 4.е просечне вредности за ILI, NRW и CARL износе 5,3; 47,5 и 31,4 респективно од 42 анализирана WSS, 8 спада у класу А, 17 у класу В, 16 у класу С и један у класу D.

3. Дискусија

3.1. Поређење стања WSS преко NRW (%) и индикатора ILI

Из података у табелама 4 може се закључити да је стање WSS у Србији према показатељу ILI повољније него када се разматра NRW исказан у (%). Као карактеристични примери, могу се навести: Лозница има коефицијент ILI око 4,5 (добро стање), а NRW око 55% што се сматра за превисоки проценат губитака; Крупањ има коефицијент ILI између 6÷7 (граница добро – прихватљиво стање), а NRW око 70% што се сматра недопустиво високим. Важно је нагласити да би знатан број водовода имао губитке веће од 20-25% чак и ако им показатељ ILI буде мањи од 3, што је усвојено као показатељ врло доброг стања инфраструктуре.

Наравно, ове резултате треба узети са малом резервом, због недовољне поузданости појединих улазних података, али јасно је да примена показатеља ILI уноси квалитативно нову димензију у анализу стања губитака у конкретном водоводном систему, кроз уважавање локалних специфичности конфигурације и рада WSS.

Разлози различите оцене стања једног WSS када се исти посматра преко NRW и преко индикатора ILI, се могу тражити, поред осталих, у разуђености дистрибутивних мрежа и великог броја (неактивних) прикључака – они утичу да висина неизбежних губитака буде висока. Зато је потребно опрезно говорити о проценту смањења губитака (преко NRW) у будућности, поготову за системе где није познато у којим границама се креће коефицијент ILI.

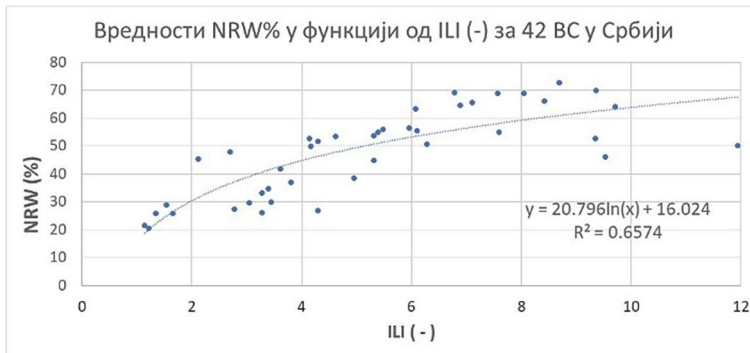
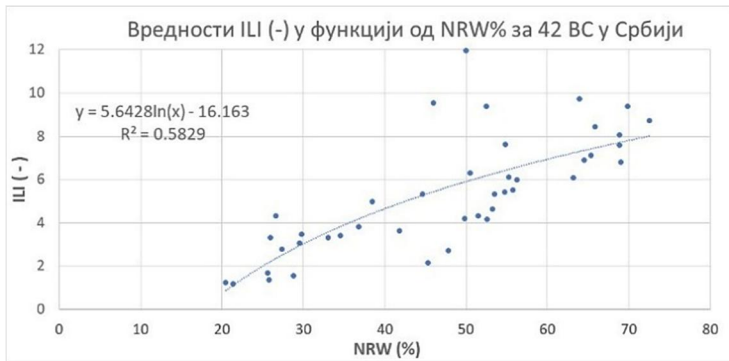
3.2. Веза између NRW и ILI за анализиране системе

Слика 2 даје приказ регресионе анализе NRW (%) и показатеља ILI за анализиране водоводне системе приказане у табелама 4. Тренд линије су добијене кроз логаритамске функције:

$$ILI = 5.6428 \cdot \ln(NRW\%) - 16.163 \quad ; \quad yz \quad R^2 \approx 0,58 \quad (4)$$

$$NRW\% = 20.796 \cdot \ln(ILI) + 16.024 \quad ; \quad yz \quad R^2 \approx 0,65 \quad (5)$$

Коефицијент детерминације (R^2) има вредност око 0,6 што указује да постоји корелација између два индикатора ефикасности водоводних система (NRW% и ILI), али да она није јака.



Слика 2. Међусобна зависност NRW и ILI према израчунатим подацима за 42 водовода у Србији

3.3. Питање могућег и висине економски прихватљивог смањења NRW%

Ако би формулисали захтев за рационализацију WSS преко смањења индикатора ILI, приближно максималистичка опција би могла бити:

ILI 1 (садашње)	3,0	6,0	10,0	30,0
ILI 2 (захтевано)	3,0	4,5	6,0	9,0

То значи да системе који су већ данас у врло добром стању (најбоља класа А, $ILI < 3$), остају на садашњем нивоу, а да се остали поправљају и скоро сви остали долазе у класе А или В (врло добро и добро стање), док мали број најлошијих система долази у бољу половину прихватљивог стања С ($ILI < 9$).

Оваквом захтеву одговара функција:

$$ILI\ 2 = 2,8214 \cdot \ln(ILI\ 1) - 0,093; \text{ уз } R^2 > 0,99 \quad (6)$$

Испуњењем овог захтева, просечан ILI за 42 WSS би се смањило са 5.3 на 4.0. Примењујући успостављену корелацију NRW у функцији од ILI (5), добило би се просечно смањење NRW у 42 WSS од око 4% (са 47,5 на око 43,5%). Наравно, ово смањење би се разликовало од система до система, код неких би било 0% (без промене), док би за неке најлошије износило и преко 10-15%. Чак и ако се узме у обзир непотпуна поузданост улазних података, потенцијално и мала нерепрезентативност узорка од 42 WSS, долази се опет до закључка да груби захтеви типа „губици морају бити мањи у свим системима од 20% или 25% или 30%“ не могу бити ни логично, ни технички, ни економски оправдани.

Ова анализа јасно показује да је просечно смањење NRW (%) у српским водоводима преко 5-6% веома захтевно, а извесно и нешто веће од техно-економски оправданог, чак и у ситуацији да имамо економску цену воде.

3.4. Економска питања

Већ неколико деценија уназад инсистира се у домаћим стручним круговима на снажнијем увођењу економских принципа у пословање ЈКП водовода (што је и интернационална пракса), па и методологија IWA усваја такав приступ. На овај начин губици воде више нису само техничка категорија већ и економска, и развијено је низ поступака за економску валоризацију губитака [5, 6, 7].

У сржи ових метода јесте балансирање између трошкова изгубљене воде и трошкова активности на смањењу губитака воде. Трошкови изгубљене воде за привидне губитке се обрачунавају коришћењем продајне цене воде, док се трошкови везани за физичке губитке обрачунавају применом маргиналних трошкова.

Данашња цена услуга водоснабдевања и канализације (тзв. „цена воде“) у Србији је ниска и често једва довољна да покрије само минимум оперативних трошкова ЈКП и интервентно одржавање водовода [9]. Иако постоје позитивни примери смањења NRW (%) од стране предузетних људи појединих водовода [9], дугорочно одрживи приступ питању губитака мора бити системски, са успостављањем економске цене воде [10, 11]. Овакав прилаз питању смањења губитака је и у складу са најбољим интернационалном праксом и усвојеном националном Стратегијом управљања водама на територији Републике Србије до 2034. године [12]. Повећањем цене услуга водоснабдевања (и канализације отпадних вода) до економског нивоа постижу се два циља:

- испуњење принципа „корисник плаћа“ и „повраћаја свих трошкова“ који су одавно прокламовани у домаћој законској регулативи и планским документима водопривреде;

- јачање економских капацитета ЈКП и сектора вода уопште, што је предуслов за финансијску одрживост, ефикаснији рад и дугорочно одрживо смањење губитака воде из водовода.

Позитивни примери утицаја повећања цене воде на смањење губитака воде су бројни, али детаљнија анализа овога као и других економских аспеката смањења губитака превалзилази обим овог рада.

4. Закључна разматрања

Иако исказивање губитака воде из водовода као процента од испоручене воде у систем делује као јасан и логичан, и као такав је одомаћен у нашој (и иностраној) пракси и укључен у извештавање званичне статистике, овакав начин исказивања губитака има низ недостатака. Процент губитака нам ништа не говори о конфигурацији водоводног система и начину његовог рада, не успоставља везу између карактеристика система и висине губитака воде и не пружа информације о висини економских губитака које узрокују губици воде.

Стога, поређење водоводних система коришћењем само процената губитака воде може довести до погрешних закључака. Јасно је да задавање неког процента губитака као циља смањења губитака носи са собом значајан утицај произвољности, нарочито онда када се неки проценат усвоји као циљана вредност за већи број или чак све водоводе у Србији. На пример, чест случај је да се нека фиксирана вредност за проценат губитака препоручује за све водводне системе, и она је у нашој пракси најчешће 20% до 25%. Резултати анализе у овом раду указују да мањи број водовода код нас већ данас има губитке у том опсегу, али већи број водовода има губитке знатно веће од тог процента. Као што је показано у раду, за неке од водовода биће врло тешко, сасвим извесно и техно-економски неоствариво да смање губитке на овај, па и мало виши ниво. Стога је јасно да прописивање униформне вредности процента губитака као циљне вредности за све водоводе није препоручљиво и исправно.

Ако се постави питање од чега губици воде зависе, делимичан одговор је дао и овај рад. Да би добили прецизније одговоре мора се применити методологија процене губитака која обихвата анализу карактеристика сваког појединачног водоводног система. Најпознатија оваква метода је примена показатеља ПЛI коју је предложила Међународна асоцијација за воде. У свету је примена ове методологије већ одомаћена, и она постепено улази у домаћу праксу. Како је примена показатеља ПЛI прописана новом ЕУ директивом о води за пиће, а усклађивање наше регулативе са њом се очекује у наредних пар

година, то ће примена ове методологије вероватно убрзо постати обавезна и у Србији.

Примена показатеља ILI у оцени стања губитака воде захтева знатно виши ниво познавања свих физичких елемената система и начина његовог функционисања, што ће захтевати унапређење рада и јачење капацитета домаћих водоводних предузећа.

У раду је извршена процена показатеља ILI за 42 водоводна система у Србији коришћењем расположивих података, уз усвајање појединих величина у очекиваним опсезима тамо где званични подаци нису били доступни. На основу добијених резултата јасно је да је стање губитака исказано преко показатеља ILI повољније него када се они исказују процентима, а вредност овог показатеља варира од 1,2 до 12,0 (просечно око 5,5). Међутим, као и код исказивања губитака у процентима, погрешно би било задати једну вредност (или опсег) показатеља ILI као циљању вредност за све водове.

Јасно је да је потребно усвојити флексибилнији приступ где би постојеће стање губитака, односно показатеља ILI, били полазна тачка за планирање смањења губитака и смањења вредности показатеља ILI, уз обавезу редовног ажурирања податка и вредности показатеља ILI. Једна таква метода је у раду и предложена, и показано је на узорку од 42 WSS да са просечним смањењем ILI на ниво од око 4,0 ниво просечног смањења NRW% би био реда $4 \div 5\%$, са очекиваним вишим смањењем на већини система који имају данас високе вредности овог индикатора.

Методе управљања, доносно смањења губитака воде су разноврсне, и оне се морају планирати и спроводити континуирано како би дале дугорочено одрживе ефекте.

Детаљи појединих метода су доступни у литератури и превазилазе обим овог рада, али као смернице за избор и примену појединих метода, аутори сматрају да је важно имати у виду следеће факторе који утичу на квалитет рада водова:

- У системима где су високи привидни губици, од њиховог смањења треба започети повећање ефикасности/смањење NRW једног WSS.
- Где је то могуће, треба рационализовати легалну нефактурисану потрошњу.
- Дужи главни довод, поготову ако је од неадекватног материјала у односу на услове на терену, често значајно утиче на повећане губитке.
- Већа специфична дужина водоводне мреже по кориснику, број прикључака и дужине прикључних цеви генерално утичу на повећање NRW (%), али и на смањење ILI (преко повећања неизбежних губитака CARL).

- Притисци у мрежи знатно утичу на величину губитака и оптимизацији и смањењу притиска треба дати приоритет.
- У различитој мери утичу и други фактори, које је потребно изучити у сваком конкретном случају (концепт рада система, клима, саобраћајна оптерећења, дубина укопавања, квалитет материјала и радова и др.).
- Старост цеви има утицаја на губитке (мада нема пресудан значај), и треба планирати повећање годишње стопе обима замене ценовода и арматура.

Све наведено указује да је потребно спровести реформу сектора водовода и канализације како би био оспособљен за дугорочно одрживо управљање губицима воде. Ово подразумева јачање капацитета свих актера у овој области, професионализацију и реорганизацију рада и снажније увођење економских принципа пословања и контролних механизма уз неизбежно постепено увећање цене услуга водоснабдевања (и канализација) и, нарочито, кадровско јачање ЈКП.

5. Литература

- [1] Бабић Б, Говедарица О, Ђукић А. Елементи биланса водоводних система - методологија и терминологија. *Водопривреда*, 54, No. 315-316, p. 43-48, 2022.
- [2] Стојчић М. *Унапређење система управљања губицима воде у процесима водоснабдевања*. Докторска дисертација, ФТН, Универзитет у Новом Саду, 2017.
- [3] В. Babić, А. Đukić and М. Stanić, *Managing water pressure for water savings in developing countries*, *Water SA*, 40 (2), 2014, <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v40i2.4>
- [4] Daničić А, Dimkić D, Papović М, Kovač D, Sub zoning as a measure for water supply optimization – case study of the city of Nikšić, *4th EWaS International Conference Valuing the Water, Carbon, Ecological Footprints of Human Activities*, 24–27 June 2020, Corfu Island, Greece, Editors: Vasilis Kanakoudis and Evangelos Keramaris, pp. 102-110, 2020.
- [5] Kingdom B., Liemberger R., Marin P. *The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries*. Water Supply and Sanitation Sector Board discussion paper series no. 8 Washington, DC: World Bank. 2006.
- [6] IDS Water, *Leakage Economics* – Plugging the knowlegde gap. 2004.
- [7] <https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/Digital-Learning-Resources/03-Water-Loss.pdf>
- [8] Lambert, A.O. et al, Water Losses Management and Techniques, *Water Science and Technology: Water Supply* 2(4), August 2002
- [9] <https://www.udruzenjevodovoda.org/wp-content/uploads/2019/10/Cene-vode-i-kanalizacije-min.pdf>

- [10] Arvaji Z, Karadžić I, Upravljanje gubicima u Novom Sadu – primer iz prakse, 33. *Konferencija Vodovod i kanalizacija '12*, 09.–12.10.2012. Vršac, SITS, str. 95-100, 2012.
- [11] Димкић Д, Приступ смањењу губитака у водоводним системима: Самоиницијатива или Системски? *Конференција Губици воде у систему јавног водоснабдевања*, СИТС, стр. 112-128, 2024.
- [12] Dimkić D, Milovanović M, Dimkić M., Milojković S. Current and Economic Price of Water in Serbia, *4th EWaS International Conference Valuing the Water, Carbon, Ecological Footprints of Human Activities*”, Greece, pp. 67-74, *Environmen. Science Proceedings*. 2, 45; doi:10.3390/environsci-proc2020002045, 2020.
- [13] Стратегија управљања водама на територији Републике Србије до 2034. године, *Сл. гласник РС*, бр. 3/2017