

Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo Beograd
the Association for Water Technology and Sanitary Engineering

Udruženje: "Vodovodi Republike Srpske"
The Association of Republika Srpska Waterworks

Udruženje vodovoda i kanalizacije Srbije i
the Water Supply and Sewerage Association of Serbia and
International Association of Water Supply Companies
in the Danube river catchment Area and World Bank

ORGANIZUJU
WILL HOST THE

Četrnaestu međunarodnu konferenciju
Fourteenth international conference

VODOVODNI I KANALIZACIONI SISTEMI

WATER SUPPLY AND SEWAGE SYSTEMS



Jahorina, Pale
28-30. maj 2014. godine / May 28th - 30th 2014

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628.1/.3(082)

МЕЂУНАРОДНА конференција Водоводни и канализациони системи (14 ; 2014 ; Пале)

Zbornik radova = Proceedings / Četrnaesta međunarodna konferencija Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina, Pale, 28-30. maj 2014. = Fourteenth International Conference Water Supply and Sewage Systems, May 28th - 30th 2014 ; [organizatori]

Удружење за технологију воде и санитарно инжењерство, Београд ... [et al.] = [organized by] The Association for Water Technology and Sanitary Engineering ... [et al.] ; [urednik Branislav Kujundžić]. -

Београд : Удружење за технологију воде и санитарно инжењерство, 2014 (Београд : Planeta print). - XIV, 364 str. : ilustr. ; 25 cm

Тираж 250. - Napomene uz tekst. - Bibliografija uz većinu radova.

ISBN 978-86-82931-62-1

1. Удружење за технологију воде и санитарно инжењерство (Београд)

а) Воде - Контрола квалитета - Зборници б) Водовод - Зборници с) Канализација - Зборници

COBISS.SR-ID 207245580

Izdavač

Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo
Sindelićeva 21, 11000 Beograd

Za izdavača

Predsednik U.O. Udruženja za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo,
Predrag Bogdanović, dipl. ing.

Urednik

Branislav Kujundžić, dipl. ing.,

IZVRŠNI I REDAKCIONI ODBOR / EXECUTIVE AND EDITORIAL COMMITTEE

1. Prof. dr Slobodan Petković - Udruženje za tehnologiju vode / Association for Water Technology
2. Prof. dr Dragan Povrenović - TMF, Beograd / Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade
3. Prof. dr Marko Ivetić - Građevinski fakultet, Beograd / Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade
4. Rajka Čović - Udruženje: "Vodovodi Republike Srpske" / Association of Republika Srpska Waterworks
5. Branislav Kujundžić - Udruženje za tehnologiju vode / Association for Water Technology
6. Tomislav Slavković - Udruženje za tehnologiju vode / Association for Water Technology
7. Prof. dr Božo Dalmacija - PMF, Novi Sad / Faculty of Sciences, University of Novi Sad
8. Vlado Reljić - Vodovod Prijedor / Prijedor Waterworks
9. Zoran Radivojević - JKP BVK / Belgrade Water Supply and Sewerage PUC
10. Marina Živanović - JKP BVK / Belgrade Water Supply and Sewerage PUC
11. Aleksandar Šotić - JKP BVK / Belgrade Water Supply and Sewerage PUC
12. Ruy Frank - IAWD

ORGANIZACIONI ODBOR / ORGANIZING COMMITTEE

1. Svetozar Veselinović - Direktor JKP BVK / Director General of Belgrade Waterworks and Sewerage PUC
2. Branka Trinić - Predsednik Udruženje: "Vodovodi RS" / President of the Association of Republika Srpska Waterworks
3. Dragan Ivanović - Sekretar Udruženja vodovoda i kanalizacije Srbije / Secretary of the Water Supply and Sewerage Association of Serbia
4. Prof. dr Dragan Povrenović - TMF, Beograd / Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade
5. Prof. dr Božo Dalmacija, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad / FACULTY OF SCIENCES University of Novi Sad
6. Predrag Bogdanović - Predsednik UTVŠI / President of the Association for Water Technology and Sanitary Engineering
7. Damir Cesar - MIV, Varaždin
8. Enver Sinanović - HTC Sarajevo
9. Predstavnik grada Istočno Sarajevo / Representative of the City of East Sarajevo
10. Rajka Čović - Sekretar Udruženja: "Vodovodi Republike Srpske" / Secretary of the Association of Republika Srpska Waterworks
11. Dr Milka Vidović - IHTM,
12. Vlado Reljić - Direktor Vodovoda Prijedor / Director General of Prijedor Waterworks
13. Tanja Petrić - Privredna komora Srbije / Serbian Chamber of Commerce and Industry
14. Predrag Perković - Direktor A.D. "Vodovod i kanalizacija" Bijeljina / Director General of Bijeljina Water Supply and Sewerage PLC
15. Prof. dr. Marko Ivetić - Predstavnik Građevinskog fakulteta, Beograd / Representative from the Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade
16. Predstavnik Instituta "Jaroslav Černi", Beograd / Representative from the Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources, Belgrade
17. Vladimir Taušanović - IAWD
18. Philip Weller - IAWD

Recenzija:

- | | | |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1. Prof. dr S. Petković | 2. Prof. dr M. Ivetić | 3. Prof. dr D. Prodanović |
| 4. Prof. dr D. Povrenović | 5. Prof. dr B. Dalmacija | |

Kompjuterska obrada
Zoran Dimić

Tiraž 250

Štampa

PLANETA PRINT, Beograd

~~ISBN 987 86 82931 62 1~~

ISBN 978-86-82931-62-1

SADRŽAJ

1. PREDGOVOR	III
2. PROGRAM ČETRNAESTE MEĐUNARODNE KONFERENCIJE „VODOVODNI I KANALIZACIONI SISTEMI“ JAHORINA – PALE, 28-30. MAJ 2014. GOD.	XI

PRVA TEMATSKA OBLAST:

KVALITET VODE ZA PIĆE, EVROPSKA REGULATIVA, HIDRAULIKA I TEHNOLOGIJA VODOVODNIH SISTEMA

I A. EVROPSKA REGULATIVA - JAČANJE KAPACITETA - DUNAVSKI PROGRAM

1. RAZMATRANJE NAJNOVIJIH DOKUMENATA O UNAPREĐENJE VODOSNABDEVANJA I KANALIZACIJE U SVETU	3
--	---

I B. KVALITET VODE U SISTEMIMA VODOVODA

2. JAVNOZDRAVSTVENA KONTROLA VODE ZA PIĆE U REPUBLICI SRPSKOJ <i>Dušanka Danojević, Vesna Lazić</i>	6
3. PROCENA I UPRAVLJANJE RIZICIMA U VODOVODNIM SISTEMIMA I INFORMACIONI SISTEM KVALITETA VODE ZA PIĆE U SRBIJI <i>Nebojša Veljković</i>	11
4. AUTOMATIZACIJA I UNAPREĐENJE SISTEMA ZA DEZINFEKCIJU VODE NA IZVORIŠTU “GRMIĆ” U BIJELJINI <i>Saša Bjelica, Nikola Miljković, Dragoslav Nikolić</i>	17
5. POPULACIJA CIJANOBAKTERIJE PLANKTHOTRIX RUBESCENS U AKUMULACIJI VRUTCI U PERIODU ZIMSKE CIRKULACIJE <i>Ana Blagojević, Dušan Kostić, Gordana Subakov Simić, Nenad Jaćimović, Zorana Naunović, Marko Ivetić</i>	26
6. METALIMNETIČKI DEFICIT RASTVORENOG KISEONIKA U EUTROFNIM AKUMULACIJAMA – PRIMER AKUMULACIJE ČELIJE, KRUŠEVAC <i>Dušan Kostić, Slobodan Grašić, Nenad Jaćimović, Zorana Naunović¹, Marko Ivetić</i>	34

I C. TEHNOLOGIJA I HIDRAULIKA VODOVODNIH SISTEMA

7. MOGUĆA REŠENJA VODOSNABDEVANJA AP VOJVODINE NA BAZI MIKRO - I MAKROREGIONALNIH SISTEMA - ANALIZA SLUČAJA <i>Božo Dalmacija, Mile Klašnja, Jasmina Agbaba</i>	41
8. NOVA ULOGA POSTROJENJA „MAKIŠ” U SISTEMU BEOGRADSKOG VODOVODA- PLASMAN VODE <i>Zoran Radivojević, Nataša Vuković</i>	49

9.	KALIBRACIJA HIDRAULIČKOG MODELA VODOVODNOG SISTEMA BRATUNAC SA PREDLOGOM MJERA ZA POBOLJŠANJE PERFORMANSI <i>Bojan Kovačević, Ivana Marković Kovačević</i>	55
10.	PRENOS MASE KISEONIKA U TROFAZNOM FONTANSKO-FLUIDIZOVANOM SLOJU SA CENTRALNOM CEVI <i>Milena Knežević, Dragan Povrenović</i>	62
11.	MEĐUSOBNI UTICAJ TOKOVA FLUIDA NA PONAŠANJE TROFAZNOG FONTANSKO-FLUIDIZOVANOG SLOJA <i>Milena Knežević, Natalija Zdravković, Slavica Tomić, Dragan Povrenović</i>	68
12.	PREDNOSTI U PRIMENI PAC-A KAO KOAGULANTA U PROCESIMA PRERADE VODE U PPV KOPAONIK I RAŠKA <i>Slavica Tomić, Milena Knežević, Natalija Zdravković, i Dragan Povrenović</i>	75
13.	ULOGA I ZNAČAJ HIDROČVORA „JULINO BRDO“ U SISTEMU BVS-A FAZE REALIZACIJE <i>Zoran Radivojević, Nataša Vuković</i>	79
14.	GLAVNI TUNELSKI DOVOD VODE P.P. „BANOVO BRDO“ – C.S. „TAŠMAJDAN“ VEZNA GRAĐEVINA T1*T1-T2 NA PPV „BANOVO BRDO“ <i>Zoran Radivojević, Branko Marković, Dušan Ristić</i>	83
15.	ISPITIVANJE UTICAJA UNAPREĐENE OKSIDACIJE I KOAGULACIJE NA UKLANJANJE PREKURSORA OKSIDACIONIH NUSPRODUKATA IZ PODZEMNE VODE <i>Jelena Molnar, Jasmina Agbaba, Aleksandra Tubić, Marijana Kragulj, Srđan Rončević, Božo Dalmacija</i>	90
16.	EFEKTI PRIMENE UV/H2O2 UNAPREĐENOG OKSIDACIONOG TRETMANA NA SADRŽAJ PREKURSORA DEZINFЕКЦИОНИХ NUSPRODUKATA <i>Jasmina Agbaba, Jelena Molnar, Aleksandra Tubić, Malcolm Watson, Snežana Maletić, Božo Dalmacija</i>	97
17.	PROMENA KVALITETA VODE U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI U ZAVISNOSTI OD USLOVA MEŠANJA U REZERVOARU <i>Željka Ostojić, Dušan Prodanović, Sanja Marčeta</i>	104
18.	UKLANJANJE PRIRODNIH ORGANSKIH MATERIJA I ARSENA IZ PODZEMNE VODE GRADA ZRENJANINA <i>Miroslav Kukučka, Nikoleta Kukučka, Andrej Kukučka</i>	113
19.	IDEJNI PROJEKAT POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE POVRŠINSKE VODE (PPV) DO KVALITETA ZA NALIVANJE PODZEMLJA NA IZVORIŠTU "KLJUČ", KAPACITETA 400 L/S <i>Marko Ljuboja, Biljana Cakić, Zorana Radibratović, Ljiljana Dimkić</i>	119
20.	IDEJNI PROJEKAT OBJEKATA POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE VODE (PPV) NA IZVORIŠTU "LOVAC" U KOSTOLCU, KAPACITETA 70 L/S <i>Marko Ljuboja, Zorana Radibratović, Biljana Cakić, Ljiljana Dimkić</i>	124

21. NAPREDNA TEHNIKA DEZINFEKCIJA VODE ZA PIĆE UŽ POMOĆ ELEKTROLIZE VODENOG RASTVORA NaCl <i>Darko Đorić</i>	129
--	-----

DRUGA TEMATSKA OBLAST: RACIONALNO POSLOVANJE VODOVODNIH SISTEMA

II A. GUBICI VODE U SISTEMIMA VODOVODA

1. STATISTIKA KVAROVA I VODOVODNE MREŽE NOVI RADNI LIST UTVSI DVGW W 402 <i>Zorana Petrović, Predrag Bogdanović, Miroljub Krstić</i>	135
2. VIŠEGODIŠNJE ISKUSTVO JP „VODOVOD I KANALIZACIJA“ GRAČANICA NA SMANJENJU GUBITAKA U VODOVODNOM SISTEMU <i>Fuad Alić, Jasmin Mulabdić</i>	141
3. O NEODREĐENOSTI INFRASTRUKTURNOG INDEKSA GUBITAKA - ILI <i>Branislav Babić, Miloš Stanić, Dušan Prodanović, Ljiljana Janković</i>	148
4. PODELA VODOVODNE MREŽE NA OSNOVNE ZONE BILANSIRANJA KORIŠĆENJEM TOPOLOŠKIH MATRICA POVEZANOSTI <i>D. Ivetić, M. Stanić, Ž. Vasilić, D. Prodanović</i>	159
5. SOFTVERSKA PODRŠKA ODREĐIVANJU OSNOVNIH ZONA BILANSIRANJA VODOVODNIH MREŽA <i>N. Branisaavljević, I. Čipranić, D. Prodanović, D. Ivetić</i>	170
6. SAVREMENA ORGANIZACIJA MERNIH MESTA NA VODOVODNOJ MREŽI U GRADU UŽICU U FUNKCIJI EFIKASNOG OČITAVANJA I BILANSIRANJA VODE <i>Miodrag Mijović, Vidoje Stevanović</i>	180
7. EKONOMSKI NIVO CURENJA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA VODOVODNIH SISTEMA <i>Stevo Savić</i>	188

II B. ENERGETSKA EFIKASNOST

8. STATISTIKA KVAROVA I VODOVODNE MREŽE NOVI RADNI LIST UTVSI DVGW W 402 <i>Zorana Petrović, Predrag Bogdanović, Miroljub Krstić</i>	135
9. VIŠEGODIŠNJE ISKUSTVO JP „VODOVOD I KANALIZACIJA“ GRAČANICA NA SMANJENJU GUBITAKA U VODOVODNOM SISTEMU <i>Fuad Alić, Jasmin Mulabdić</i>	141
10. O NEODREĐENOSTI INFRASTRUKTURNOG INDEKSA GUBITAKA - ILI <i>Branislav Babić, Miloš Stanić, Dušan Prodanović, Ljiljana Janković</i>	148
11. PODELA VODOVODNE MREŽE NA OSNOVNE ZONE BILANSIRANJA KORIŠĆENJEM TOPOLOŠKIH MATRICA POVEZANOSTI <i>D. Ivetić, M. Stanić, Ž. Vasilić, D. Prodanović</i>	159

O NEODREĐENOSTI INFRASTRUKTURNOG INDEKSA GUBITAKA - ILI

Branislav Babić*, Miloš Stanić*, Dušan Prodanović*, Ljiljana Janković*

* Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija

Rezime: U velikom broju vodovodnih sistema, naročito u zemljama u razvoju, podaci o elementima sistema, merenja protoka i potrošnje vode imaju veliku neodređenost. Ova neodređenost se u daljim proračunima propagira na izračunate vrednosti indikatora performansi sistema – PI. Podaci velike neodređenosti mogu da navedu na pogrešne zaključke i samim tim dovedu do pogrešnih upravljačkih odluka. Analiza grešaka i neodređenosti obuhvata proučavanje i kvantifikovanje neodređenosti, a na osnovu dobijenih rezultata preduzimaju se mere za njeno minimiziranje. U ovom radu je prikazana primena ISO metodologije [1], koja uključuje i zakon propagacije neodređenosti, za procenu neodređenosti merenja i njene propagacije na PI vodovodnih distributivnih sistema - VDS. Na primeru grada Požarevca (centralna Srbija), prikazan je postupak za smanjenje neodređenosti ulaznih parametara na osnovu kojih se računaju komponente vodnog bilansa i indikatora ILI.

Ključne reči: vodovodni distributivni sistemi, indikatori performansi, neodređenost, ILI

1. UVOD

Tačnost i pouzdanost proračuna komponenti vodnog bilansa, kao i indikatora performansi (PI), zavisi od tačnosti i pouzdanosti ulaznih (merenih) podataka. Da bi ispunili standarde kvaliteta u poređenju PI neophodno je poznavanje tačnosti i neodređenosti podataka. Podaci velike neodređenosti mogu da navedu na pogrešne zaključke i samim tim do pogrešnih upravljačkih odluka. Praksa je pokazala da, generalno, izvori koji dostavljaju podatke često nemaju detaljne informacije o njihovoj pouzdanosti i tačnosti. Testiranje sistema IWA PI pokazalo je da izvodljiva upotreba četiri kategorije tačnosti podataka i tri njihove pouzdanosti (ALEGRE et al. 2006).

Ni jedno merenje, ma koliko se pažljivo izvodi, nije bez neodređenosti. Iz tog razloga, potrebno je kvantifikovati neodređenost, i na osnovu dobijenih vrednosti preduzeti mere za njeno minimiziranje. Merna neodređenost definisana je kao parametar pridružen rezultatu merenja koji karakteriše disperziju vrednosti merene veličine [1].

U većini VDS u svetu, naročito u zemljama u razvoju, ulazni podaci, mereni ili nemerani, imaju veliku neodređenost. Ova neodređenost se u daljim proračunima propagira na PI. Neodređenost je generalno prouzrokovana brojnom kombinacijom faktora sa slučajno distribuiranim efektima. U tom slučaju, razlika između tačne i ocenjene (merene) vrednosti je promerljiva sa normalnom raspodelom. Neodređenost može da se izrazi i preko korespondirajuće standardne devijacije (σ). Uz pretpostavku da su greške slučajne i sa normalnom raspodelom, najčešća mera neodređenosti u praksi je [2]:

- 1σ (odgovara intervalu poverenja od oko 68%)
- 2σ (odgovara intervalu poverenja od oko 95%)
- 3σ (odgovara intervalu poverenja od oko 99%)

Da bi se odredio stepen neodređenosti, standardan način proračuna varijanse koja se odnosi na određenu zapreminu vodnog bilansa, na osnovu 95% intervala poverenja (CL), prikazan je narednom jednačinom (1) [6]:

$$var = (Zapremina \text{ u } m^3 \times 95\% \text{ interval poverenja} / 1,96)^2 \quad (1)$$

Za proračun PI koriste se razne promenljive. Jasno da se ni jedan podatak (promenljiva) ne može posmatrati kao tačna vrednost – svi oni su “najbolje procenjeni” u manjoj ili većoj meri. Često se neka veličina ϕ meri posredno, merenjem drugih veličina $X_1, \dots, X_N$, preko funkcije $\phi = f(X_1, \dots, X_N)$. Da bi se odredila ukupna neodređenost veličine ϕ , u takvim slučajevima, primenjuju se pravila za propagaciju neodređenosti.

Preciznost procene vrednosti vode koja ne donosi prihod (NRW) iz vodnog bilansa zavisi od tačnosti merenja zapremine vode dotekle u sistem i vode koja donosi prihod. Potpuno

tačna merenja nisu moguća usled netačnosti kako merača protoka kojim se meri dotok vode u sistem, tako i vodomera kojim se meri potrošnja vode korisnika. Takođe, nije moguće tačno odrediti komponentu vodnog bilansa koja se odnosi na nefakturisanu nemerenu legalnu potrošnju vode.

ISO metodologija za određivanje propagacije neodređenosti danas je prihvaćena kao standardna metoda za procenu neodređenosti merenja, kao npr. u vodnim kompanijama u UK [7].

Kombinovana neodređenost merenja dobija se kombinacijom pojedinačnih standardnih neodređenosti ulaznih vrednosti. Najčešće se koristi First Order Second Moment (FOSM) metoda propagacije neodređenosti u kojoj se neodređenost parametra modela prenosi kroz model koristeći aproksimaciju modela Tejlorovim redom oko srednje vrednosti svakog ulaznog parametra. Neodređenost izlazne promenljive (rezultata) može se dobiti iz jednačine 2:

$$\text{var}[f_k(x_1, \dots, x_n)] = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f_k(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} \right)^2 \text{var}[x_i] + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{i-1} \frac{\partial f_k(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} \frac{\partial f_k(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_j} \text{cov}[x_i, x_j] \quad (2)$$

gde je $f_k(x_1, \dots, x_n)$ rezultat modela, $\text{var}f_k(x_1, \dots, x_n)$ označava varijansu izlazne promenljive, n je broj ulaznih promenljivih, $\text{var}[x_i]$ varijansa ulaza x_i i $\text{cov}[x_i, x_j]$ predstavlja kovarijansu između ulaza x_i i x_j ($\text{cov}[x_i, x_j] = \sigma_{x_i x_j}$). Izvod $\partial f_k(x_1, \dots, x_n) / \partial x_j$ predstavlja

osetljivost rezultata modela u odnosu na promenu ulazne vrednosti ∂x_j . Prvi član u jednačini (2) predstavlja doprinos neodređenosti rezultata od neodređenosti svake ulazne promenljive koje deluju nezavisno. Drugi član označava doprinos neodređenosti rezultata od povezanosti parova ulaznih promenljivih. Međutim, Pošto se ulazni parametri u vodnom bilansu ne mere istovremeno, i imaju različite procedure procene, oni nisu korelisani i kovarijansa ima vrednost nula.

Postoje različite metode za analizu neodređenosti, ali ne postoji metodologija koja može dati tačne rezultate na osnovu netačnih ulaznih podataka. U ovom radu biće prikazan proračun komponenti vodnog bilansa i indeksa ILI, kao i propagacija neodređenosti rezultata, na primeru VDS Požarevca.

2. METODA SMANJENJA NEODREĐENOSTI ILI

2.1 Proračun vrednosti ILI i njegove neodređenosti

Gubitke vode iz VDS je nemoguće u potpunosti eliminisati, pa je IWA predložila jedinačinu za određivanje neizbežnih stvarnih gubitaka vode (*Unavoidable Annual Real Losses - UARL*):

$$\text{UARL} = (18 \times L_m + 0,8 \times N_{\text{conn}} + 25 \times L_{\text{conn}}) \times P \quad (3)$$

gde su: UARL - neizbežni stvarni gubici vode (l/dan), L_m - ukupna dužina distributivne mreže (km), N_{conn} - broj priključaka, L_{conn} - dužina cevi priključaka od priključka na vodovodnu cev do vodomera (km), P - prosečan radni pritisak u sistemu (m).

U okviru analize vodnog bilansa, između ostalog određuju se i vrednosti stvarnih gubitaka vode u razmatranom vremenskom periodu (*Current Annual Real Losses - CARL*). Pokazatelj stvarnih gubitaka vode ILI koristi se za poređenje ukupnih preformansi upravljanja stvarnim gubicima vode, a izračunava se jednačinom (4):

$$\text{ILI} = \frac{\text{CARL}}{\text{UARL}} \quad (4)$$

Nepouzdanost merenja i procedure rukovanja podacima u VDS dalje se propagiraju na rezultate proračuna vodnog bilansa i ILI.

Primenom ISO metodologija za određivanje propagacije neodređenosti mogu se odrediti neodređenosti komponentni vodnog bilansa i ILI. U nastavku su priloženi izrazi za neodređenost nekih bitnih pokazatelja u VDS sa n_i izvorišta vode i i kategorija potrošača:

- ukupan dotok vode u VDS iz n_i izvorišta vode:

$$\Delta V_{inp} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_i} (V_{inp,i} \Delta V_{inp,i})^2}}{\sum_{i=1}^{n_i} V_{inp,i}} \quad (5)$$

- ukupna zapremina vode koja ne donosi prihod NRW iznosi:

$$NRW = \sum_{i=1}^{n_i} V_{inp,i} - \left(\sum_{i=1}^{n_{BMAC}} V_{BMAC,i} + \sum_{i=1}^{n_{BUMC}} V_{BUMC,i} \right) \quad (6)$$

a neodređenost

$$\Delta NRW = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_i} (V_{inp,i} \Delta V_{inp,i})^2 + \sum_{i=1}^{n_{BMAC}} (V_{BMAC,i} \Delta V_{BMAC,i})^2 + \sum_{i=1}^{n_{BUMC}} (V_{BUMC,i} \Delta V_{BUMC,i})^2}}{NRW} \quad (7)$$

- neodređenost zapremine neizbežnih gubitaka vode UARL, izraženih u l/dan, iznosi:

$$\Delta UARL = \sqrt{\frac{(18L_m \Delta L_m)^2 + (0,8N_{conn} \Delta N_{conn})^2 + (25L_{conn} \Delta L_{conn})^2}{(18L_m + 0,8N_{conn} + 25L_{conn})^2}} + \Delta P_{aver} \quad (8)$$

- neodređenost zapremine neizbežnih gubitaka vode UARL, izraženih u l/priklj.dan, iznosi:

$$\Delta UARL_{conn} = \sqrt{(\Delta N_{conn})^2 + (\Delta UARL)^2} \quad (9)$$

- neodređenost indikatora Op29 (ILI) iznosi:

$$\Delta Op29 = \Delta ILI = \sqrt{(\Delta CARL)^2 + (\Delta UARL)^2} \quad (10)$$

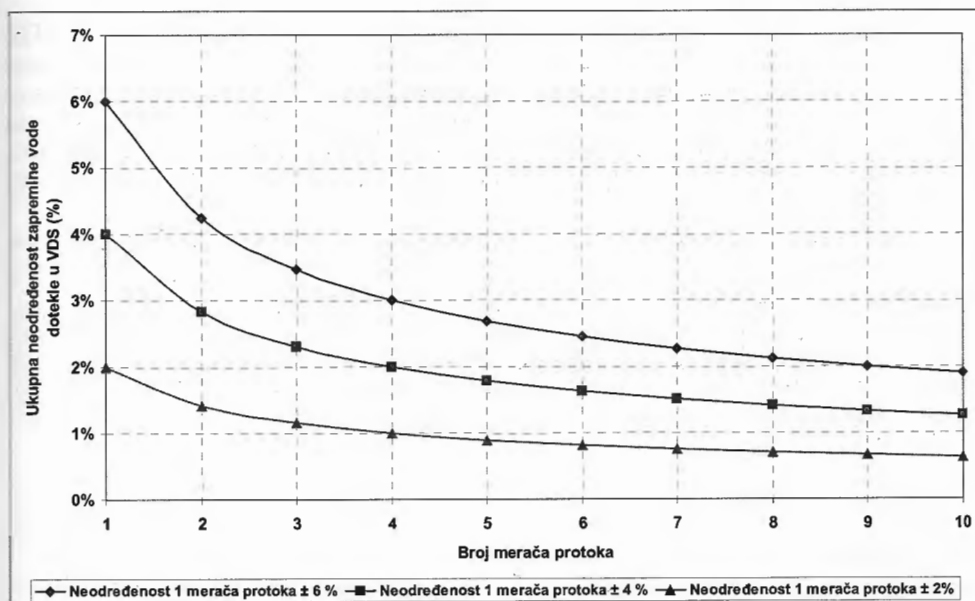
gde su $V_{inp,i}$ - dotok vode sa izvorišta u VDS (m^3) i $\Delta V_{inp,i}$ - 95% CL, $V_{BMAC,i}$ - fakturisana izmerena legalna potrošnja vode (m^3) i $\Delta V_{BMAC,i}$ - 95% CL, $V_{BUMC,i}$ - fakturisana neizmerena legalna potrošnja vode (m^3) i $\Delta V_{BUMC,i}$ - 95% CL, n_{BMAC} i n_{BUMC} - ukupan broj kategorija potrošača, V_{UAC} - nefakturisana legalna potrošnja vode (m^3) i ΔV_{UAC} - 95% CL, V_{AC} - ukupna fakturisana legalna potrošnja vode (m^3) i ΔV_{AC} - 95% CL, V_{UC} - nelegalna potrošnja vode (m^3) i ΔV_{UC} - 95% CL, V_{CME} - zapremina vode usled greški na vodomerima (m^3) i ΔV_{CME} - 95% CL, L_m - dužina glavnih cevi (km) i ΔL_m - 95% CL, N_{conn} - broj priključaka (-) i ΔN_{conn} - 95% CL, L_{conn} - dužina priključnih cevi (km) i ΔL_{conn} - 95% CL, P_{aver} - prosečan pritisak u VDS (m) i ΔP_{aver} - 95% CL.

2.2 Metodologija za smanjenje neodređenosti komponenti vodnog bilansa i ILI

U početnom koraku, analiziraju se postojeće podloge i raspoloživi podaci o VDS, kako o objektima tako i potrošačima i njihovoj potrošnji vode, postojećim bazama, merenjima itd. Na osnovu postojećih podataka izračunavaju se komponente vodnog bilansa i PI koji iz njega proističu, kao i neodređenost ulaznih podataka i njihova propagacija. Nakon izvršene analize neophodno je sprovesti sledeće aktivnosti:

1. Ugradnja merača protoka velike pouzdanosti na svim izvoristima VDS-a, ukoliko ne postoje. Ukoliko postoje, kalibrišu se i razmatra eventualna zamena meračima veće tačnosti.

Obzirom da zapremina dotekle vode u VDS ima najveću vrednost od svih komponenti vodnog bilansa, od izuzetne je važnosti da preciznost glavnih merača protoka bude velika, odnosno da neodređenost ove zapremine bude što manja (npr. manja od $\pm 2\%$, pri intervalu poverenja od 95%). Obzirom na propagaciju neodređenosti, veća vrednost negativno utiče na pouzdanost daljih proračuna. Ugradnja uređaja tipa sonde (neodređenost se kreće oko $\pm 5\%$ do 10%) je prihvatljiva za povremena merenja, ali je nezadovoljavajuće kao dugotrajno rešenje. Ovo je naročito značajno ukoliko postoji samo jedno izvoriste vodosnabdevanja. Pri većem broju izvorista ukupna neodređenost ove zapremine vode se smanjuje, što se može videti na narednoj slici 1 (pretpostavka je da svi merači protoka registruju sličnu zapreminu vode). U većim sistemima sa jednim izvoristom, instalaciju dva merača u seriji treba posmatrati kao strategiju za smanjenje neodređenosti u proračunim vodnog bilansa [5]. Ako ima više merača protoka i svaki registruje različitu zapreminu vode i imaju različitu neodređenost, prioritetno treba proveriti prvo merače koji imaju najveću vrednost proizvoda registrovane zapremine i % neodređenosti.



Slika 1: Neodređenost zapremine vode dotekle u VDS [5]

2. Projektovanje baze podataka i GIS-a kako objekata VDS tako i potrošača, uključujući i softver za naplatu vode.
3. Evidentiranje i lociranje svih potrošača i unošenje u bazu evidencije potrošnje i GIS, kako potrošača kod kojih se meri potrošnja tako i potrošača kod kojih se paušalno fakturiše potrošnja vode.

U skoro svim VDSs određivanje zapremine legalne fakturisane potrošnje vode tokom perioda vodnog bilansa je najčešće drugi najveći izvor greške, odnosno neodređenosti (odmah posle glavnih merača protoka). Da bi se smanjila neodređenost ove komponente neophodno je uspostaviti pouzdanu bazu podataka potrošača i naplate, ili analizirati, i po potrebi popraviti postojeću bazu, što uključuje i evidentiranje svih potrošača na terenu (i kod kojih se meri potrošnja preko vodomera i kod kojih se paušalno fakturiše) i unošenje podataka u bazu i GIS. Tokom terenskog rada moguće je otkriti i nelegalne potrošače, neispravne vodomere i neovlašćeno podešavanje vodomera.

4. Očitavanje vodomera tokom perioda od najmanje godinu dana i unošenje u bazu, analiza potrošnje svih kategorija potrošača.

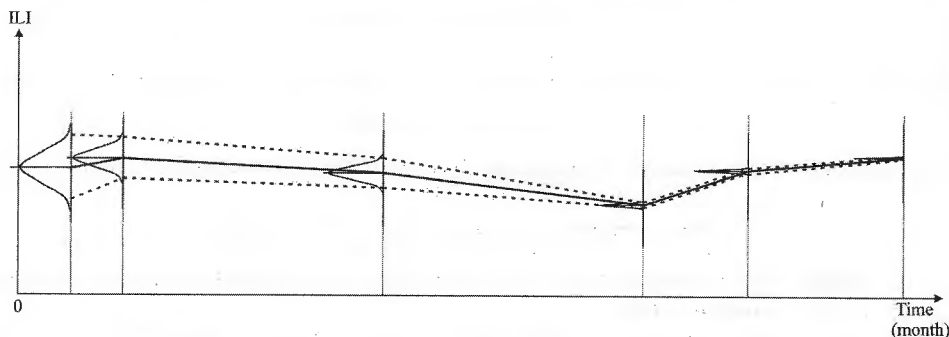
U ovoj fazi radova poželjno je izvršiti procenu tačnosti različitih kategorija vodomera kod potrošača koja se vrši na statističkom uzorku vodomera. Neregistrovanje malih protoka predstavlja treći najveći izvor greške, i u razvijenim zemljama u VDS-u kojim se dobro upravlja preporučuje se standardna vrednost od $\pm 2\%$ od stvarne zapremine koja je prošla kroz vodomer (ne 2% registrovane zapremine) za ove prividne gubitke [5]. Nakon toga analizira se vodni bilans i procenjuje vrednost PI.

5. Detekcija i evidentiranje svih objekata VDS-a (prečnik, dužina i vrsta cevnog materijala, dužina priključnih cevi) i unošenje u GIS. Preračunavaju se PI koji zavise od ovih fizičkih veličina.

Proračun indeksa ILI zahteva i pouzdano poznavanje podataka o objektima VDS. Uporedo sa smanjenjem neodređenosti komponenti vodnog bilansa neophodno je i izvršiti detekciju svih cevi VDS i uneti ih u GIS, ne samo zbog proračuna ILI već i za potrebe izrade matematičkog modela i njegove kalibracije. Ovo je naročito važno, obzirom da indeks ILI, između ostalog, zavisi i od UARL, a ovaj zavisi od dužine cevovoda, broja priključaka i prosečnog pritiska u VDS.

6. Formiranje matematičkog modela u softverskom paketu za modeliranje rada VDS, koji po mogućstvu ima vezu sa bazama potrošača i GIS-om. U matematički model unosi se čorna potrošnja vode svih kategorija potrošača na nivou srednje godišnje potrošnje. Na osnovu formiranog matematičkog modela VDS-a određuju se merna mesta protoka i pritiska za potrebe kalibracije modela. Formiraju se merna mesta, vrše se merenja i kalibriše matematički model. Analizira se rad VDS i preračunavaju vrednosti PI.
7. Tokom ovih proračuna vrši se i propagacija neodređenosti ulaznih podataka, odnosno izračunava se neodređenost konačnih rezultata, kako komponenti vodnog bilansa, tako i PI.

Na narednoj slici 2 šematski je prikazan uticaj pojedinih faza na smanjenje neodređenosti komponenti vodnog bilansa i PI. Treba napomenuti da se navedenim aktivnostima samo poboljšava pouzdanost PI, a ne i njihova vrednost. Za poboljšanje PI primenjuju se druge mere.



Slika 2. Promena neodređenosti indeksa ILI nakon sprovođenja aktivnosti 1-6

3. PRIMER VDS POŽAREVAC

3.1 Opis VDS Požarevca

VDS Požarevca (centralna Srbija) snabdeva vodom oko 50.000 stanovnika, industriju na teritoriji grada i ustanove. Krajem 2008. godine započet je sveobuhvatni projekat rekonstrukcije i poboljšanja efikasnosti vodovoda grada Požarevac. Projekat se sastojao od rekonstrukcije i izgradnje novih cevovoda i rezervoara, a posebna komponenta projekta je bila implementacija programa povećanja efikasnosti vodovoda, uključujući i smanjenje gubitaka vode. Celokupan projekat je implementiran u periodu 2008-2013 [9], a finansiran je od strane lokalne samouprave i EU fondova za podršku razvoja lokane infrastrukture u Srbiji.

VDS Požarevca je podeljen u 3 visinske zone: I zona $<100\text{mnm}$, $100\text{mnm} < \text{II}$ zona $<150\text{mnm}$ i $150\text{mnm} < \text{III}$ zona $<200\text{mnm}$, a najveći broj potrošača je u I visinskoj zoni. Voda se obezbeđuje crpenjem podzemne vode iz okolnog izvoršta Ključ. Voda iz bunara dovodi se do rezervoara Ključ ($V=2 \times 2500 \text{ m}^3$), a zatim PS Ključ potiskuje vodu prema gradu i rezervoaru I zone - Tulba. Potis pumpi povezan je na potisno-distributivni cevovod $\varnothing 600$ na kome je, u toku projekta, zamenjen stari i ugrađen novi elektromagnetni merač protoka. Iz rezervoara I zone pumpnom stanicom voda se potiskuje cevovodom prečnika $\varnothing 250$ ka rezervoaru II visinske zone - Čačalica. U okviru rezervoara II zone smešteno je hidroforско postrojenje za plasman vode u treću visinsku zonu. Na slici 3 prikazana je šema VDS Požarevca.

Na početku projekta (kraj 2008. godine), na osnovu podataka kojima je raspolagao JKP "Vodovod" Požarevac, ukupan dotok vode u VDS u 2008. godini iznosio je oko $6.540.000 \text{ m}^3/\text{god}$ (prosečno 207 l/s). Ukupna fakturisana potrošnja vode iznosila je oko $3.930.000 \text{ m}^3/\text{god}$ ($124,6 \text{ l/s}$), a stanovništvo (individualne kuće i stambene zgrade) je učestvovalo sa $64,3 \%$ (individualne kuće $46,9 \%$, a stambene zgrade $17,4 \%$). Prosečan broj mesečnih računa (faktura) iste godine iznosio je oko 12.400, od toga 10% za privredu a 90% za stanovništvo (45% individualne kuće i 45% stambene zgrade). Podaci o nelegalnim potrošačima bili su na nivou grubih procena.

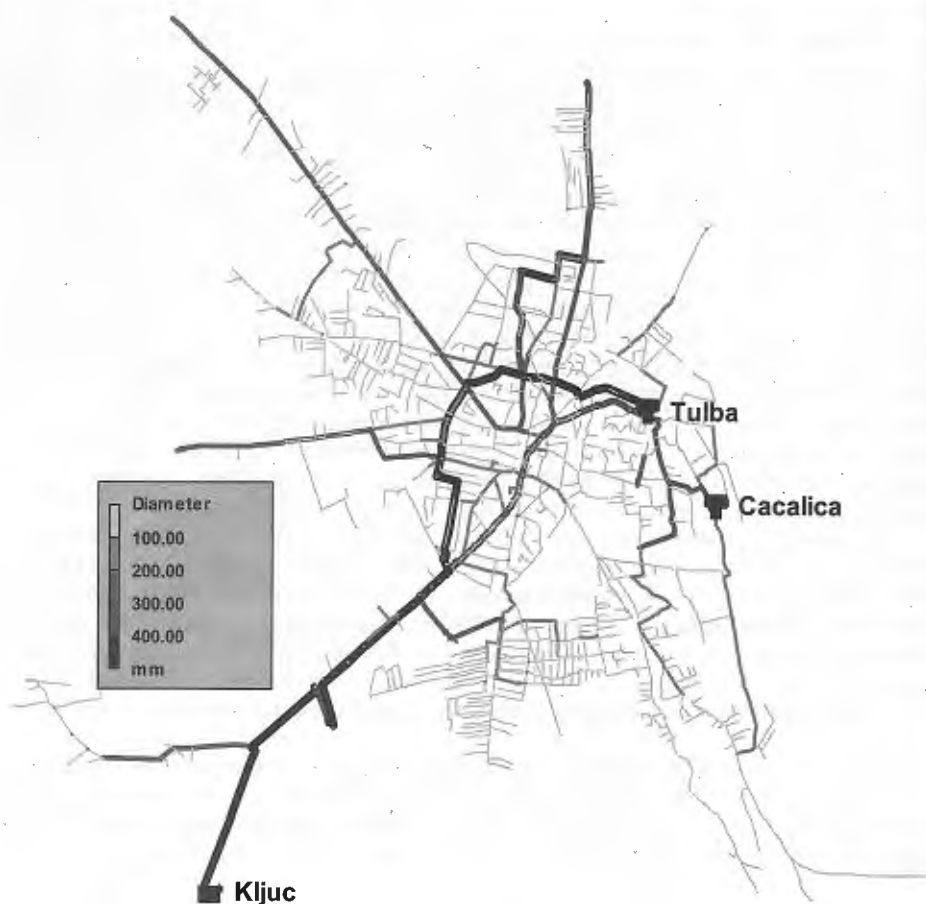
Podaci o ukupnoj dužini cevovoda su bili nepouzdati: u Master planu Požarevca prikazano je oko 100 km distributivnih cevovoda, a interni podaci u vodovodskom preduzeću bili su krajnje nepouzdati. Prema tada raspoloživim informacijama najzastupljeniji cevni materijali su azbest cement ($53,5\%$) i plastika ($35,0\%$).

3.2 Dobijeni rezultati

Na osnovu raspoloživih podataka na početku projekta (podaci na godišnjem nivou za 2008. godinu) izračunate su komponente vodnog bilansa i indeksa ILI, kao i njihova neodređenost (tabela 1). Rezultati su prikazani u skladu sa standardnom IWA terminologijom.

Tabela 1. Procenjene vrednosti komponenti vodnog bilansa i ILI na početku projekta (2008. god.)

Ulazni podatak	Najbolje procenjena vrednost	95%-ni CL ($\pm$)
Dotok vode sa izvorišta u VDS (m^3/god) - $V_{inp,i}$	6.539.440	$\pm 20 \%$
Fakturisana izmerena legalna potrošnja vode (m^3/god) - $V_{BMAC,i}$	3.741.978	$\pm 20 \%$
Fakturisana neizmerena legalna potrošnja vode (m^3/god) - $V_{BUMC,i}$ - (5 % od $V_{BMAC,i}$)	196.454	$\pm 50 \%$
Nefakturisana legalna potrošnja vode (m^3/god) - V_{UAC} - (5 % od $V_{inp,i}$)	187.099	$\pm 80 \%$
Ukupna fakturisana legalna potrošnja vode (m^3/god) - V_{AC}	3.929.075	računa se $\pm 14 \%$
Nelegalna potrošnja vode (m^3/god) - V_{UC} - (2% od $V_{inp,i}$)	130.789	$\pm 80 \%$



Slika 3. VDS Požarevca

Zapremina vode usled greški na vodomerima (m^3/god) - V_{CME} - (10 % od $V_{BMAC,i}$)	374.198	$\pm 50 \%$
Dužina glavnih cevi (km) - L_m	140	$\pm 30 \%$
Broj priključaka (-) - N_{conn}	11.000	$\pm 30 \%$
Dužina priključnih cevi (km) - L_{conn}	110	$\pm 50 \%$
Prosečan pritisak u VDS (m) - P_{aver}	45	$\pm 20 \%$
Non Revenue Water (m^3/god)	2,610,365	$\pm 54,4 \%$
ILI	7.7	$\pm 87,0 \%$

Neizbežni godišnji stvarni gubici vode UARL iznose $231.100 \text{ m}^3/\text{god}$, a njihova neodređenost 29,6%. Dobijeni rezultati imaju veliku neodređenost i nisu upotrebljivi za donošenje ispravnih upravljačkih odluka.

Nakon sprovedene aktivnosti 2 (ugradnja merača protoka velike pouzdanosti na izvoristu), smanjena je neodređenost NRW sa 54% na 22% i indikatora ILI sa 87% na 49%.

Nakon toga sprovedene su aktivnosti 3 i 4 i dobijeni su sledeći rezultati, prikazani u tabeli 2.

Tabela 2. Procenjene komponente vodnog bilansa i ILI nakon sprovođenja aktivnosti 1, 2, 3 i 4

Ulazni podatak	Najbolje procenjena vrednost	95%-ni CL (±)
Dotok vode sa izvorišta u VDS (m^3/god) - $V_{inp,i}$	6.690.000	± 2 %
Fakturisana izmerena legalna potrošnja vode (m^3/god) - $V_{BMAC,i}$	3.351.314	± 2 %
Fakturisana neizmerena legalna potrošnja vode (m^3/god) - $V_{BUMC,i}$ - (5 % od $V_{BMAC,i}$)	167.566	± 20 %
Nefakturisana legalna potrošnja vode (m^3/god) - V_{UAC} - (1 % od $V_{inp,i}$)	66.900	± 80 %
Ukupna fakturisana legalna potrošnja vode (m^3/god) - V_{AC}	3.518.879	računa se ± 1,6 %
Nelegalna potrošnja vode (m^3/god) - V_{UC} - (0.1% od $V_{inp,i}$)	6.690	± 80 %
Zapremina vode usled greški na vodomerima (m^3/god) - V_{CME} - (10 % od $V_{BMAC,i}$)	335.131	± 50 %
Dužina glavnih cevi (km) - L_m	140	± 30 %
Broj priključaka (-) - N_{conn}	13.190	± 2 %
Dužina priključnih cevi (km) - L_{conn}	110	± 50 %
Prosečan pritisak u VDS (m) - P_{aver}	45	± 20 %
Non Revenue Water (m^3/god)	3,171,120	± 4,6 %
ILI	12.0	± 30,5 %

Nakon završetka aktivnosti 5, dobijeni su sledeći rezultati, prikazani u tabeli 3.

Tabela 3. Procenjene komponente vodnog bilansa i ILI nakon sprovođenja aktivnosti 1, 2, 3, 4 i 5

Ulazni podatak	Najbolje procenjena vrednost	95%-ni CL (±)
Dotok vode sa izvorišta u VDS (m^3/god) - $V_{inp,i}$	6.690.000	± 2 %
Fakturisana izmerena legalna potrošnja vode (m^3/god) - $V_{BMAC,i}$	3.351.314	± 2 %
Fakturisana neizmerena legalna potrošnja vode (m^3/god) - $V_{BUMC,i}$ - (5 % od $V_{BMAC,i}$)	167.566	± 20 %
Nefakturisana legalna potrošnja vode (m^3/god) - V_{UAC} - (1 % od $V_{inp,i}$)	66.900	± 80 %
Ukupna fakturisana legalna potrošnja vode (m^3/god) - V_{AC}	3.518.879	računa se ± 1,6 %
Nelegalna potrošnja vode (m^3/god) - V_{UC} - (0,1% od $V_{inp,i}$)	6.690	± 80 %
Zapremina vode usled greški na vodomerima (m^3/god) - V_{CME} - (10 % od $V_{BMAC,i}$)	335.131	± 50 %
Dužina glavnih cevi (km) - L_m	175	± 1 %
Broj priključaka (-) - N_{conn}	13.190	± 2 %
Dužina priključnih cevi (km) - L_{conn}	131,9	± 10 %
Prosečan pritisak u VDS (m) - P_{aver}	45	± 20 %
Non Revenue Water (m^3/god)	3,171,120	± 4,6 %
ILI	9.9	± 21.4 %

Nakon sprovedenih svih aktivnosti od 1 do 6, navedenih u delu 2.2, izračunate su konačne vrednosti komponenti vodnog bilansa VDS Pozarevca i indeksa ILI, kao i njihova neodređenost, i prikazane u tabeli 4.

Procenjena vrednost UARL iznosi 263.700 m³/god, a njegova neodređenost 5,5%. Dobijeni rezultati ukazuju na znatno veću pouzdanost izračunatih komponenti vodnog bilansa i indeksa ILI.

Tabela 4. Procena vrednosti komponenti vodnog bilansa i ILI na kraju projekta

Ulazni podatak	Najbolje procenjena vrednost	95%-ni CL (±)
Dotok vode sa izvorišta u VDS (m ³ /god) - $V_{inp,i}$	6.690.000	± 2 %
Fakturisana izmerena legalna potrošnja vode (m ³ /god) - $V_{BMAC,i}$	3.351.314	± 2 %
Fakturisana neizmerena legalna potrošnja vode (m ³ /god) - $V_{BUMC,i}$ - (5 % od $V_{BMAC,i}$)	167.566	± 20 %
Nefakturisana legalna potrošnja vode (m ³ /god) - V_{UAC} - (1 % od $V_{inp,i}$)	66.900	± 80 %
Ukupna fakturisana legalna potrošnja vode (m ³ /god) - V_{AC}	3.518.879	računa se ± 1,6 %
Nelegalna potrošnja vode (m ³ /god) - V_{UC} - (0,1% od $V_{inp,i}$)	6.690	± 80 %
Zapremina vode usled greški na vodomerima (m ³ /god) - V_{CME} - (10 % od $V_{BMAC,i}$)	335.131	± 50 %
Dužina glavnih cevi (km) - L_m	175	± 1 %
Broj priključaka (-) - N_{conn}	13.190	± 2 %
Dužina priključnih cevi (km) - L_{conn}	131,9	± 10 %
Prosečan pritisak u VDS (m) - P_{aver}	42,5	± 5 %
Non Revenue Water (m ³ /god)	3,171,120	± 4,6 %
ILI	10,5	± 9,1 %

Kao rezultat svih pomenutih aktivnosti, detektovano je da ukupna dužina vodovodne mreže iznosi oko 175 km. Cevni materijali su plastika (PE100, PE80 i PVC) ukupne dužine oko 99 km (56,4 %) i azbest cement ukupne dužine 55,5 km (31,7 %). Cevi prečnika manjeg od 100 mm su ukupne dužine 112,8 km (64,5 %).

Takođe, značajno je povećan prosečan broj mesečnih računa (faktura) i iznosi oko 17.730, od toga 10 % za privredu a 90 % za stanovništvo (54 % individualne kuće i 36 % stambene zgrade).

Prosečan pritisak u VDS dobijen je na osnovu kalibrisanog matematičkog modela.

Treba napomenuti da nije izvršena procena tačnosti različitih kategorija vodomera kod potrošača na statističkom uzorku vodomera, ali je prilikom zamene dotrajalih vodomera novim, veće tačnosti, primećeno da je fakturisana količina vode veća i do 20% u odnosu na ranije fakturisane količine.

4. DISKUSIJA REZULTATA

Iz priloženih rezultata može se videti da je na početku realizacije projekta, neodređenost ulaznih veličina bila izuzetno velika, što je uticalo na neodređenost komponenti vodnog bilansa i indeksa ILI. Najveći izvor greške, odnosno neodređenosti, bilo je merenje dotoka vode u sistem. Ugradnja novog merača protoka, veće pouzdanosti, značajno je uticala i na smanjenje neodređenosti rezultata. Povećanje pouzdanosti merenja dotoka vode je bila prioritetna, obzirom da se VDS Pozarevca snabdeva samo iz jednog izvorišta. Njegovom ugradnjom smanjila se neodređenost zapremine koja ne donosi prihode sa 54% na 22% i indikatora ILI sa 87% na 49%.

Nakon povećanja pouzdanosti merača protoka vode sprovedene su aktivnosti vezane za smanjenje neodređenosti potrošnje vode u VDS, pa se neodređenost NRW smanjila na $\pm 4.6\%$, ali neodređenost indeksa ILI je još uvek velika, i iznosi $\pm 30.5\%$.

Nakon smanjenja neodređenosti i fizičkih veličina VDS, neodređenost NRW ostaje ista, a neodređenost indeksa ILI se smanjuje na 21.4% .

Tek nakon kalibracije matematičkog modela, smanjuje se i neodređenost prosečnog pritiska u VDS, pa i indeks ILI ima prihvatljivu neodređenost od $\pm 9\%$.

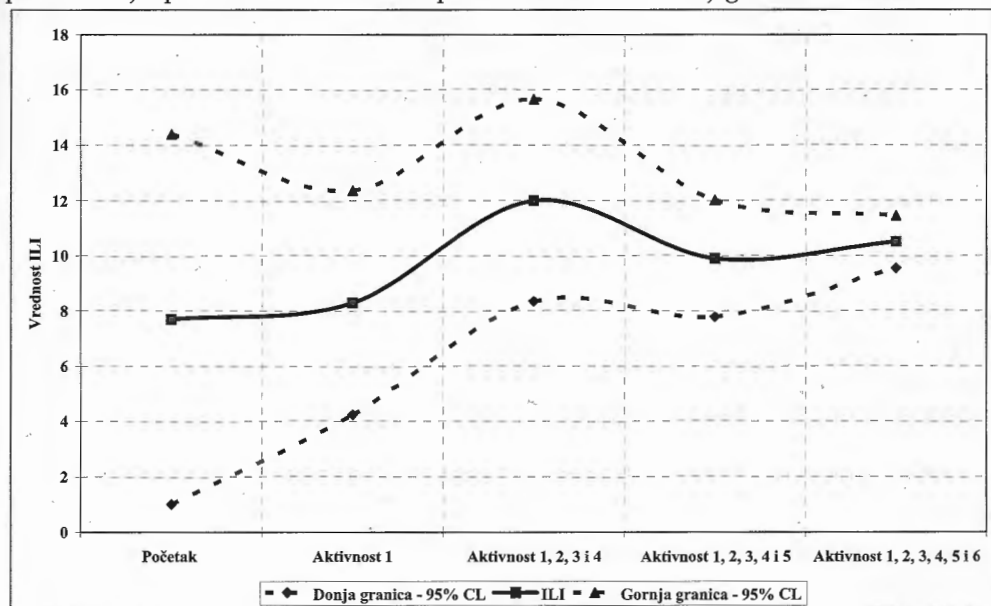
Iz dobijenih rezultata, nakon sprovođenja svih aktivnosti od 1 do 7, može se zaključiti da je lociranje svih potrošača i njihovo unošenje u bazu i GIS značajno uticalo na smanjenje neodređenosti. Formiranjem nove baze značajno se povećao broj mesečnih faktura (skoro za 50%) i broj registrovanih vodomera (za oko 20%). Međutim, zapremina vode koja donosi prihod je smanjena za oko 10% . Razlog za smanjenje zapremine vode koja donosi prihod leže u eksternim faktorima na koje projekt nije mogao da utiče: povećanje cene vode i ekonomska kriza koja je započela krajem 2008. godine, što je uticalo na značajno smanjenje zapremine vode koja donosi prihod kod privrednih korisnika (za oko 22%).

Evidentiranje svih objekata VDS značajno je doprinelo povećanju pouzdanosti podatka o dužini cevi. Iz rezultata može se zaključiti da zaposleni nisu imali pouzdane informacije o dužini cevi prečnika manjeg od 100 mm . Takođe, značajno se promenila i zastupljenost cev-nog materijala.

Obzirom da nije izvršena procena tačnosti različitih kategorija vodomera kod potrošača na statističkom uzorku vodomera, i dalje je ostala velika neodređenost prividnih gubitaka vode. U narednom periodu treba sprovediti aktivnosti kojim bi se povećala njihova pouzdanost, i potom preduzele akcije za njihovo smanjenje.

Kalibracija matematičkog modela je uspešno sprovedena, što je omogućilo i pouzdano određivanje prosečnog pritiska u VDS. Ovo je od naročite važnosti obzirom da je vrednost UARL direktno proporcionalna pritisku. Na ovaj način smanjena je i neodređenost indeksa ILI.

Nakon sprovedenih aktivnosti procenjena vrednost indikatora ILI se povećala sa 7.7 na 10.5 , ali se njegova neodređenost značajno smanjila sa 88% na 9% . Na narednoj slici 4 dat je prikaz uticaja sprovedenih aktivnosti na promene vrednosti ILI i njegove neodređenosti.



Slika 4. Uticaj sprovedenih aktivnosti na promenu vrednosti ILI i njegove neodređenosti

5. ZAKLJUČAK

U velikom broju vodovodnih sistema, naročito u zemljama u razvoju, podaci o elementima sistema, merenja protoka i potrošnje vode imaju veliku neodređenost. Ova neodređenost se u daljim proračunima propagira na izračunate vrednosti PI. Postoje različite metode za analizu neodređenosti, ali ne postoji metodologija koja može dati tačne rezultate na osnovu netačnih ulaznih podataka.

Podaci velike neodređenosti mogu da navedu na pogrešne zaključke i samim tim dovedu do pogrešnih upravljačkih odluka. Njihovom kvanifikacijom omogućava se vodovodnom preduzeću da odredi prioritete gde treba koncentrisati aktivnosti kontrole kvaliteta podataka.

Na primeru VDS Požarevca prikazano je kako se sprovođenjem aktivnosti od 1 do 7, navedenih u delu 2.2, može smanjiti neodređenost proračuna komponenti vodnog bilansa i PI. Samo na osnovu takvih PI mogu da se donese racionalne upravljačke odluke.

Zahvalnost

Autori se zahvaljuju "Ehting" d.o.o. iz Beograda i JKP "Vodovod" Požarevac za ustupanje svih potrebnih podataka i kalibrisanog matematičkog modela VDS, kao i Ministarstvu prosvete i nauke Republike Srbije koja je finansirala projekat broj TR 37010 "Sistemi za odvođenje kišnih voda kao deo urbane i saobraćajne infrastrukture".

LITERATURA

- [1] ISO/IEC Guide 98-3:2008. "Uncertainty of measurement Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
- [2] Alegre, H., Baptista, J.M., Cabrera, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W. & R. Parena (2006): Performance Indicators for Water Supply Services. - Second Edition, Manual of Best Practice, IWA Publishing, London, UK.
- [3] AWWA. (2009). "Water Audits and Loss Control Programs: AWWA Manual M36." American Water Works Association, Denver, USA.
- [4] JKP "Vodovod" Požarevac (2013). Godišnji izveštaj službe naplate, uporedni pregled za period 2007-2012. god.
- [5] Lambert A, Taylor R (2010). Water Loss Guidelines, Prepared for: Water New Zealand.
- [6] Thornton, J., Sturm, R., and Kunkel, G. (2008). Water Loss Control, McGraw-Hill, New York.
- [7] Sattary, J., Boam, D., Judeh, W. A., and Warren, S. (2002). "The Impact of Measurement Uncertainty on the Water Balance." *Water and Environment Journal*, 16(3), 218-222.
- [8] Herrero, M., Cabrera Jr, E., and Valero, F. J. (2003). "A New Approach to Assess Performance Indicators' Data Quality." *Pumps, Electromechanical Devices and Systems Applied to Urban Water Management Systems*, E. Cabrera and E. Cabrera Jr., eds., Swets & Zeitlinger, Lisse, The Netherlands, 69-78.
- [9] Ehting (2013). "Program za povećanje efikasnosti smanjenja gubitaka vode u vodovodnom sistemu Požarevca".