

ПОВЕЋАЊЕ ПОУЗДАНОСТИ ПРОЦЕНЕ КОМПОНЕНТИ ВОДНОГ БИЛАНСА У ВОДОВОДНОМ СИСТЕМУ

Бранислав Бабић*, Дамјан Иветић*

* Грађевински факултет Универзитета у Београду, Бул. краља Александра 73, 11000 Београд, Србија

Резиме

У великом броју водоводних система, нарочито у земљама у развоју, подаци о елементима система, мерења протока и потрошње воде имају велику неодређеност. Ова неодређеност се у даљим прорачунима пропагира на израчунате вредности индикатора перформанси (ПИ) система. Подаци велике неодређености могу да наведу на погрешне закључке и самим тим доведу до погрешних управљачких одлука. Анализа грешака и неодређености обухвата проучавање и квантификовање неодређености, а на основу добијених резултата предузимају се мере за њено минимизирање. У овом раду је приказана примена ISO методологије [1], која укључује и закон пропације неодређености, за процену неодређености мерења и њене пропације на ПИ водоводних дистрибутивних система - ВДС. На примеру града Пожаревца (централна Србија), приказан је поступак за смањење неодређености улазних параметара на основу којих се рачунају компоненте водног биланса и индикатора ILI (енг. Infrastructure Leakage Index), као једног од кључних ПИ за процену стања водоводног система.

Кључне речи: водоводни дистрибутивни системи, индикатори перформанси, неодређеност, ILI

1. Увод

Последњих деценија једна од значајнијих концепцијских промена у водном сектору дешава се у сфери односа према билансу воде у систему где се пажња преусмерава на поуздано познавање биланса воде, смањивање губитака воде, информатичку подршку мониторингу и вођењу процеса, смањивање мерне неодређености и повећање поузданости чувања и обраде података.

Обзиром да су се методологије одређивања водног биланса разликовале у појединим земљама, Радна група Међународне асоцијације за воду (IWA) предложила је методологију за одређивање водног биланса [2], која је прихваћена и од стране AWWA [3].

Основни недостатак методологије је у томе да се већина компоненти процењује на основу недовољно дефинисаних стандарда. Овај недостатак омогућава руководиоцима водоводних предузећа манипулацију вредностима компонената водног биланса, нпр. количине воде која не доноси приход - NRW [10].

Тачност и поузданост прорачуна компоненти водног биланса, као и индикатора перформанси (ПИ), зависи од тачности и поузданости улазних (мерених) података. Да би испунили стандарде квалитета у поређењу ПИ неопходно је познавање тачности, односно мерне неодређености података. Подаци велике мерне неодређености могу да наведу на погрешне закључке и самим тим до погрешних управљачких одлука. Пракса је показала да, генерално, извори који достављају податке често немају детаљне информације о њиховој поузданости и тачности.

Ни једно мерење, ма колико се пажљиво изводи, није без неодређености. Из тог разлога, потребно је квантификовати неодређеност, и на основу добијених вредности предузети мере за њено минимизирање. Мерна неодређеност дефинисана је као параметар придружен резултату мерења који карактерише дисперзију вредности мерене величине [1].

У већини ВДС у свету, нарочито у земљама у развоју, улазни подаци, мерени или немерени, имају велику неодређеност. Ова неодређеност се у даљим прорачунима пропагира на ПИ. Неодређеност је генерално проузрокована комбинацијом бројних фактора са случајно дистрибуираним ефектима. У том случају, разлика између „тачне“ и оцењене (мерене) вредности је променљива са нормалном

* Контакт аутор. Tel.: +381 11 32 18 558; E-mail: babic@grf.bg.ac.rs

расподелом. Неодређеност се изражава преко кореспондирајуће стандардне девијације (σ). Уз претпоставку да су грешке случајне и са нормалном расподелом, најчешћа мера неодређености у пракси је [2]:

- 1σ (одговара интервалу поверења од око 68%)
- 2σ (одговара интервалу поверења од око 95%)
- 3σ (одговара интервалу поверења од око 99%)

Уобичајено, измереним подацима се приписује укупна (или увећана) мерна неодређеност која одговара интервалу поверења од око 95% (2σ). Да би се одредио степен неодређености, стандардан начин прорачуна варијансе (стандардна девијација је корен од варијансе) која се односи на одређену запремину водног биланса, на основу 95% интервала поверења (CL), приказан је наредном једначином (1) [6]:

$$var = (\text{Запремина у } t^3 \text{ x } 95\% \text{ интервал поверења} / 1,96)^2 \quad (1)$$

За прорачун ПИ користе се разне променљиве. Јасно да се ни један податак (променљива) не може посматрати као тачна вредност – сви они су “најбоље процењени” у мањој или већој мери. Често се нека величина ϕ мери посредно, мерењем других величина x_1, \dots, x_N , преко функције $\phi = f(x_1, \dots, x_N)$. Да би се одредила укупна мерна неодређеност величине ϕ , у таквим случајевима, примењују се правила за пропагацију неодређености.

Прецизност процене вредности воде која не доноси приход (NRW) из водног биланса зависи од тачности мерења запремине воде дотекле у систем и воде која доноси приход. Потпуно тачна мерења нису могућа услед нетачности како мерила протока којим се мери доток воде у систем, тако и водомера којим се мери потрошња воде корисника. Такође, најчешће није могуће поуздано одредити компоненту водног биланса која се односи на нефактурисану немерену легалну потрошњу воде.

ISO методологија за одређивање пропагације неодређености данас је прихваћена као стандардна метода за процену неодређености мерења, као нпр. у водним компанијама у Великој Британији [7].

Комбинована неодређеност мерења добија се комбинацијом појединачних стандардних неодређености улазних вредности. Најчешће се користи First Order Second Moment (FOSM) метода пропагације неодређености у којој се неодређеност параметра модела преноси кроз модел користећи апроксимацију модела Тејлоровим редом око средње вредности сваког улазног параметра. Неодређеност излазне променљиве (резултата) може се добити из једначине 2:

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

где је $f_k(x_1, \dots, x_n)$ резултат модела, $var[f_k(x_1, \dots, x_n)]$ означава варијансу излазне променљиве, n је број улазних променљивих, $var[x_i]$ варијанса улаза x_i , и $cov[x_i, x_j]$ представља коваријансу између улаза x_i и x_j ($cov[x_i, x_j] = \sigma_{x_i x_j}$). Извод $\partial f_k(x_1, \dots, x_n) / \partial x_j$ представља осетљивост резултата модела у односу

на промену улазне вредности ∂x_j . Први члан у једначини (2) представља допринос неодређености резултата од неодређености сваке улазне променљиве које делују независно. Други члан означава допринос неодређености резултата од повезаности парова улазних променљивих. Међутим, пошто се улазни параметри у водном билансу не мере истовремено, и имају различите процедуре процене, они нису корелисани и коваријанса има вредност нула.

Постоје различите методе за анализу неодређености, али не постоји методологија која може дати тачне резултате на основу нетачних улазних података. У овом раду биће приказан прорачун компоненти водног биланса и индекса ILL, као и пропагација неодређености резултата, на примеру ВДС Пожаревца.

2. Метода смањења неодређености ILL

2.1 Прорачун вредности ILL и његове неодређености

Губитке воде из ВДС је немогуће у потпуности елиминисати, па је IWA предложила једначину за одређивање неизбежних стварних губитака воде (*Unavoidable Annual Real Losses - UARL*):

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

где су: $UARL$ - неизбежни стварни губици воде (l/dan), L_m – укупна дужина дистрибутивне мреже (km), N_{conn} – број прикључака, L_{conn} – дужина цеви прикључака од прикључка на водоводну цев до водомера (km), P – просечан радни притисак у систему (m).

У оквиру анализе водног биланса, између осталог одређују се и вредности стварних губитака воде у разматраном временском периоду (*Current Annual Real Losses* – $CARL$). Показатељ стварних губитака воде ILI користи се за поређење укупних преформанси управљања стварним губицима воде, а израчунава се једначином (4):

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

Непоузданост мерења и процедуре руковања подацима у ВДС даље се пропaгирају на резултате прорачуна водног биланса и ILI .

Применом ISO методологија за одређивање пропaгиације неодређености могу се одредити неодређености компонетни водног биланса и ILI . У наставку су приложени изрази за неодређеност неких битних показатеља у ВДС са n_i изворишта воде и i категорија потрошача:

- укупан доток воде у ВДС из n_i изворишта воде:

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

- укупна запремина воде која не доноси приход NRW износи:

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

а неодређеност

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

- неодређеност запремине неизбежних губитака воде $UARL$, изражених у l/dan, износи:

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

- неодређеност запремине неизбежних губитака воде $UARL$, изражених у l/priklj.dan, износи:

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

- неодређеност индикатора $Op29$ (ILI) износи:

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

где су $V_{inp,i}$ - доток воде са изворишта у ВДС (m^3) и $\Delta V_{inp,i}$ - 95% CL, $V_{BMAC,i}$ - фактурисана измерена легална потрошња воде (m^3) и $\Delta V_{BMAC,i}$ - 95% CL, $V_{BUMC,i}$ - фактурисана неизмерена легална потрошња воде (m^3) и $\Delta V_{BUMC,i}$ - 95% CL, n_{BMAC} и n_{BUMC} - укупан број категорија потрошача, V_{UAC} - нефактурисана легална потрошња воде (m^3) и ΔV_{UAC} - 95% CL, V_{AC} - укупна фактурисана легална потрошња воде (m^3) и ΔV_{AC} - 95% CL, V_{UC} - нелегална потрошња воде (m^3) и ΔV_{UC} - 95% CL, V_{CME} - запремина воде услед грешки на водомерима (m^3) и ΔV_{CME} - 95% CL, L_m - дужина главних цеви (km)

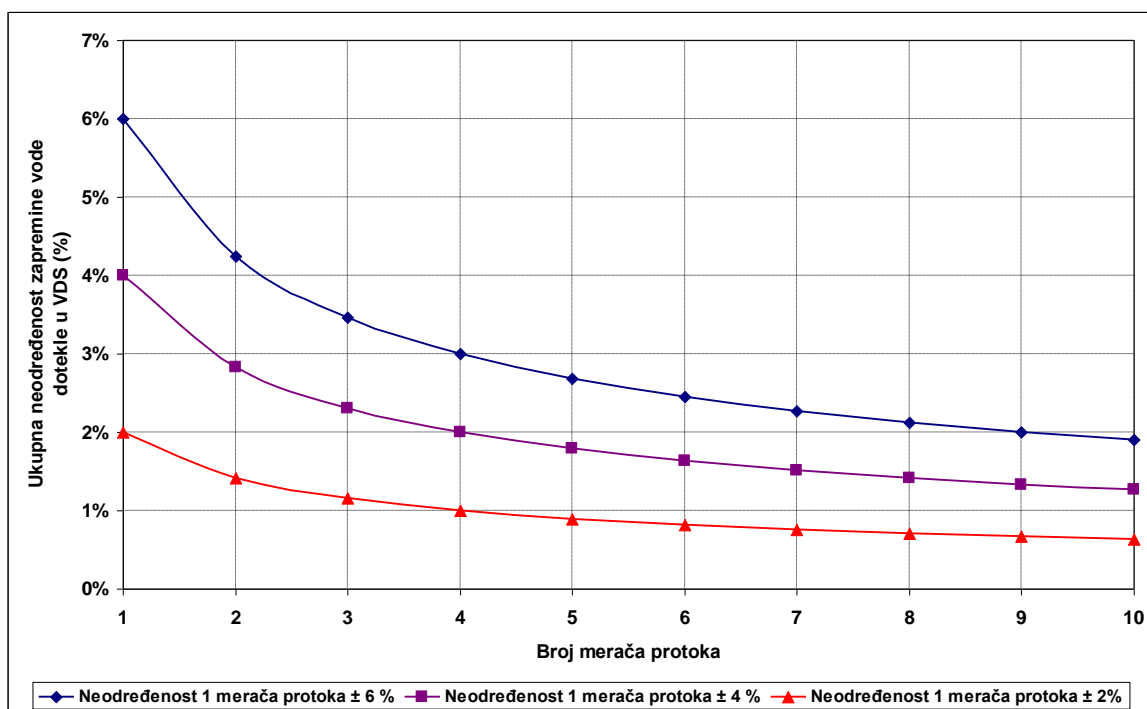
и ΔL_m - 95% CL, N_{conn} - број прикључака (-) и ΔN_{conn} - 95% CL, L_{conn} - дужина прикључних цеви (km) и ΔL_{conn} - 95% CL, P_{aver} - просечан притисак у ВДС (m) и ΔP_{aver} - 95% CL.

2.2 Методологија за смањење неодређености компоненти водног биланса и ИЛ

У почетном кораку, анализирају се постојеће подлоге и расположиви подаци о ВДС, како о објектима тако и потрошачима и њиховој потрошњи воде, постојећим базама, мерењима итд. На основу постојећих података израчунавају се компоненте водног биланса и ПИ који из њега проистичу, као и неодређеност улазних података и њихова пропација. Након извршене анализе неопходно је спровести следеће активности:

1. Уградња мерила протока високе поузданости на свим извориштима ВДС-а, уколико не постоје. Уколико постоје, калибришу се и разматра евентуална замена мерилима више тачности.

Обзиром да запремина дотекле воде у ВДС има највећу вредност од свих компоненти водног биланса, од изузетне је важности да поузданост главних мерила протока буде велика, односно да неодређеност ове запремине буде што мања (нпр. мања од $\pm 2\%$, при интервалу поверења од 95%). Обзиром на пропацију неодређености, већа вредност негативно утиче на поузданост даљих прорачуна. Уградња уређаја типа сонде (неодређеност се креће око $\pm 5\%$ до 10%) је прихватљива за повремена мерења, али је незадовољавајуће као дуготрајно решење. Ово је нарочити значајно уколико постоји само једно извориште водоснабдевања. При већем броју изворишта укупна неодређеност ове запремине воде се смањује, што се може видети на наредној слици 1 (претпоставка је да сви мерачи протока региструју сличну запремину воде). У већим системима са једним извориштем, инсталацију два мерила у серији треба посматрати као стратегију за смањење неодређености у прорачуним водног биланса [5]. Ако има више мерила протока и сваки региструје различиту запремину воде и имају различиту неодређеност, приоритетно треба проверити прво мерила који имају највећу вредност производа регистроване запремине и % неодређености.



Слика 1: Неодређеност запремине воде дотекле у ВДС [5]

2. Пројектовање базе података и ГИС-а како објеката ВДС тако и потрошача, укључујући и софтвер за наплату воде.
3. Евидентирање и лоцирање свих потрошача и уношење у базу евиденције потрошње и ГИС, како потрошача код којих се мери потрошња тако и потрошача код којих се паушално фактурише потрошња воде.

У скоро свим ВДС одређивање запремине легалне фактурисане потрошње воде током периода водног биланса је најчешће други највећи извор грешке, односно неодређености (одмах после главних мерача протока). Да би се смањила неодређеност ове компоненте неопходно је успоставити поуздану базу података потрошача и наплате, или анализирати, и по потреби поправити постојећу базу, што укључује и евидентирање свих потрошача на терену (и код којих се мери потрошња преко водомера и код којих се паушално фактурише) и уношење података у базу и ГИС. Током теренског рада могуће је открити и нелегалне потрошаче, неисправне водомере и неовлашћено подешавање водомера.

4. Очитавање водомера током периода од најмање годину дана и уношење у базу, анализа потрошње свих категорија потрошача.

У овој фази радова пожељно је извршити процену тачности различитих категорија водомера код потрошача која се врши на статистичком узорку водомера. Нерегистровање малих протока представља трећи највећи извор грешке, и у развијеним земљама у ВДС-у којим се добро управља препоручује се стандардна вредност од $\pm 2\%$ од стварне запремине која је прошла кроз водомер (не 2% регистроване запремине) за ове привидне губитке [5]. Након тога анализира се водни биланс и процењује вредност ПИ.

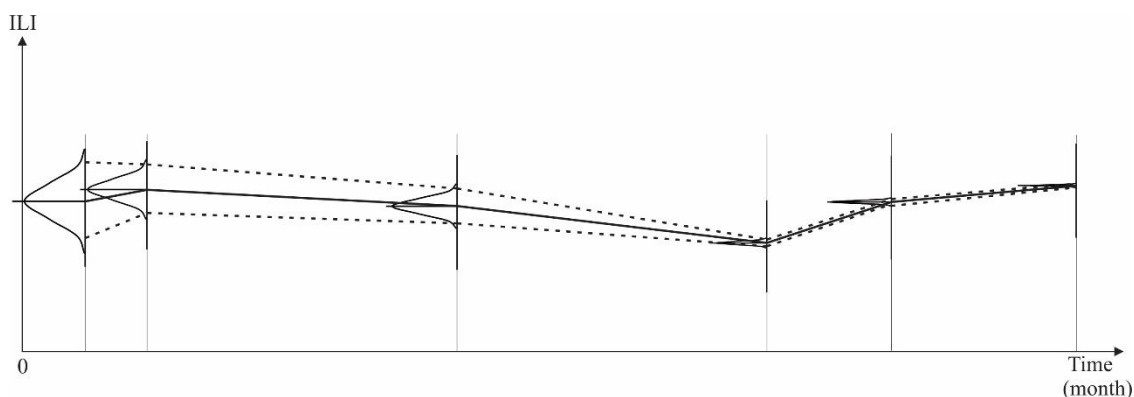
5. Детекција и евидентирање свих објеката ВДС-а (пречник, дужина и врста цевног материјала, дужина прикључних цеви) и уношење у ГИС. Прерачунавају се ПИ који зависе од ових физичких величина.

Прорачун индекса ПИ захтева и поуздано познавање података о објектима ВДС. Упоредо са смањењем неодређености компоненти водног биланса неопходно је и извршити детекцију свих цеви ВДС и унети их у ГИС, не само због прорачуна ПИ већ и за потребе израде математичког модела и његове калибрације. Ово је нарочито важно, обзиром да индекс ПИ, између осталог, зависи и од UARL, а овај зависи од дужине цевовода, броја прикључака и просечног притиска у ВДС.

6. Формирање математичког модела у софтверском пакету за моделирање рада ВДС, који по могућству има везу са базама потрошача и ГИС-ом. У математички модел уноси се чворна потрошња воде свих категорија потрошача на нивоу средње годишње потрошње. На основу формираног математичког модела ВДС-а одређују се мерна места протока и притиска за потребе калибрације модела. Формирају се мерна места, врше се мерења и калибрише математички модел. Анализира се рад ВДС и прерачунавају вредности ПИ.

7. Током ових прорачуна врши се и пропација неодређености улазних података, односно израчунава се неодређеност коначних резултата, како компоненти водног биланса, тако и ПИ.

На наредној слици 2 шематски је приказан утицај појединих фаза на смањење неодређености компоненти водног биланса и ПИ. Треба напоменути да се наведеним активностима само побољшава поузданост ПИ, а не и њихова вредност. За побољшање ПИ примењују се друге мере.

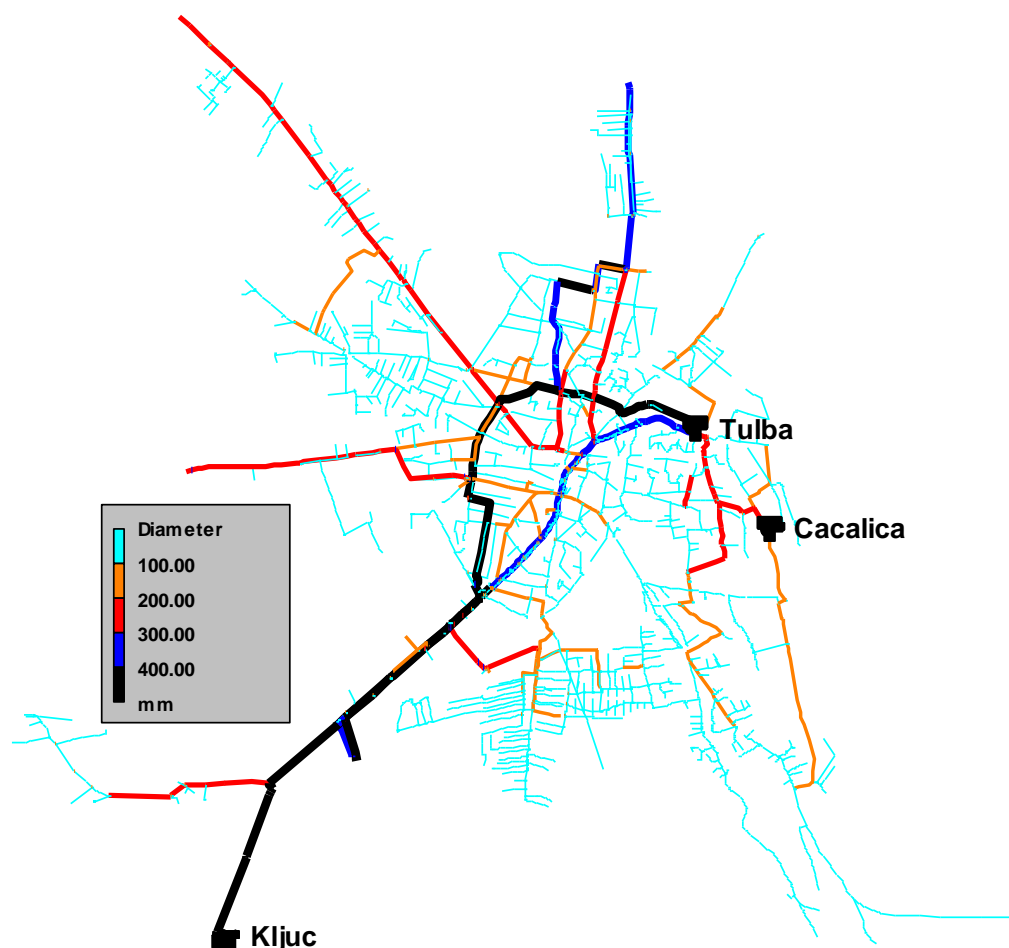


Слика 2. Промена неодређености индекса ПИ након спровођења активности 1-6

3. Пример ВДС Пожаревац

3.1 Опис ВДС Пожареваца

ВДС Пожареваца (централна Србија) снабдева водом око 50.000 становника, индустрију на територији града и установе. Крајем 2008. године започет је свеобухватни пројекат реконструкције и побољшања ефикасности водовода града Пожареваца. Пројекат се састојао од реконструкције и изградње нових цевовода и резервара, а посебна компонента пројекта је била имплементација програма повећања ефикасности водовода, укључујући и смањење губитака воде. Целокупан пројекат је имплементиран у периоду 2008-2013 [9], а финансиран је од стране локалне самоуправе и ЕУ фондова за подршку развоја локалне инфраструктуре у Србији.



Слика 3. ВДС Пожареваца

ВДС Пожареваца је подељен у 3 висинске зоне: I зона $<100\text{mm}$, $100\text{mm}<$ II зона $<150\text{mm}$ и $150\text{mm}<$ III зона $<200\text{mm}$, а највећи број потрошача је у I висинској зони. Вода се обезбеђује црпењем подземне воде из околног изворшта Кључ. Вода из бунара доводи се до резервоара Кључ ($V=2\times 2500\text{ m}^3$), а затим ПС Кључ потискује воду према граду и резервоару I зоне - Тулба. Потис пумпи повезан је на потисно-дистрибутивни цевовод $\text{Ø}600$ на коме је, у току пројекта, замењено старо и уграђено ново електромагнетно мерило протока. Из резервоара I зоне пумпном станицом вода се потискује цевоводом пречника $\text{Ø}250$ ка резервоару II висинске зоне - Чачалица. У оквиру резервоара II зоне смештено је хидрофорско постројење за пласман воде у трећу висинску зону. На слици 3 приказана је шема ВДС Пожареваца.

На почетку пројекта (крај 2008. године), на основу података којима је располагао ЈКП "Водовод" Пожаревац, укупан доток воде у ВДС у 2008. години износио је око $6.540.000\text{ m}^3/\text{god}$ (просечно 207 l/s). Укупна фактурисана потрошња воде износила је око $3.930.000\text{ m}^3/\text{god}$ ($124,6\text{ l/s}$), а становништво (индивидуалне куће и стамбене зграде) је учествовало са $64,3\%$ (индивидуалне куће $46,9\%$, а стамбене зграде $17,4\%$). Просечан број месечних рачуна (фактура) исте године износио је

око 12.400, од тога 10 % за привреду а 90 % за становништво (45 % индивидуалне куће и 45 % стамбене зграде). Подаци о нелегалним потрошачима били су на нивоу грубих процена.

Подаци о укупној дужини цевовода су били непоуздани: у Мастер плану Пожаревца приказано је око 100 km дистрибутивних цевовода, а интерни подаци у водоводском предузећу били су крајње непоуздани. Према тада расположивим информацијама најзаступљенији цевни материјали су азбест цемент (53,5%) и пластика (35,0%).

3.2 Добијени резултати

На основу расположивих података на почетку пројекта (подаци на годишњем нивоу за 2008. годину) израчунате су компоненте водног биланса и индекса ILI , као и њихова неодређеност (слика 4).

| | | | |
|--|---|--|-------------------------------|
| Доток воде са изворишта у ВДС (V_{inp}) 6.539.440 ± 20,0% | Легална потрошња (AC) 4.256.047 ± 14,4% | Фактурисана легална потрошња (BAC) 3.929.075 ± 14,1% | (RW) 3.929.075 ± 14,1% |
| | | Нефактурисана легална потрошња (V_{UAC}) 326.972 ± 80,0% | (NRW) 2.610.365 ± 54,4% |
| | Губици воде (WL) 2.283.393 ± 63,3% | Привидни губици 504.986 ± 34,2% | |
| | | Стварни губици (CARL) 1.778.406 ± 81,8% | |
| $ILI = 7,7$ | | ± 87,0% | |

Слика 4. Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса ILI и њихове неодређености на почетку пројекта

Неизбежни годишњи стварни губици воде U_{ARL} износе $231.100 m^3/god$, а њихова неодређеност 29,6%. Добијени резултати имају велику неодређеност и нису употребљиви за доношње исправних управљачких одлука.

Након спроведене активности 2 (уградња мерила протока високе поузданости на изворишту), смањена је неодређеност NRW са 54% на 22% и индикатора ILI са 87% на 49%.

Након тога спроведене су активности 3 и 4 и добијени су следећи резултати, приказани на слици 5.

| | | | |
|---|--|---|------------------------------|
| Доток воде са изворишта у ВДС (V_{inp}) 7.284.590 ± 2,0% | Легална потрошња (AC) 3.591.725 ± 2,3% | Фактурисана легална потрошња (BAC) 3.518.879 ± 1,6% | (RW) 3.518.879 ± 1,6% |
| | | Нефактурисана легална потрошња (V_{UAC}) 72.846 ± 80,0% | (NRW) 3.765.711 ± 4,2% |
| | Губици воде (WL) 3.692.865 ± 4,5% | Привидни губици 342.416 ± 37,0% | |
| | | Стварни губици (CARL) 3.350.449 ± 6,3% | |
| $ILI = 12,5$ | | ± 30,6% | |

Слика 5. Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса ILI и њихове неодређености након спровођења активности 1, 2, 3 и 4

Након завршетка активности 5, добијени су следећи резултати, приказани на слици 6.

| | | | |
|---|--|--|----------------------------------|
| Доток воде са изворишта у ВДС (V_{inp}) 7.284.590 ± 2,0% | Легална потрошња (AC) 3.591.725 ± 2,3% | Фактурисана легална потрошња (BAC) 3.518.879 ± 1,6% | (RW) 3.518.879 ± 1,6% |
| | | Нефактурисана легална потрошња (V_{UAC}) 72.846 ± 80,0% | (NRW) 3.765.711 ± 4,2% |
| | Губици воде (WL) 3.692.865 ± 4,5% | Привидни губици 342.416 ± 37,0% | |
| | | Стварни губици (CARL) 3.350.449 ± 6,3% | |
| ILI = 12,0 | | ± 21,1% | |

Слика 6. Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса *ILI* и њихове неодређености након спровођења активности 1, 2, 3, 4 и 5

Након спроведених свих активности од 1 до 6, наведених у делу 2.2, израчунате су коначне вредности компоненти водног биланса ВДС Позаревца и индекса *ILI*, као и њихова неодређеност, и приказане на слици 7.

| | | | |
|---|--|--|----------------------------------|
| Доток воде са изворишта у ВДС (V_{inp}) 7.284.590 ± 2,0% | Легална потрошња (AC) 3.591.725 ± 2,3% | Фактурисана легална потрошња (BAC) 3.518.879 ± 1,6% | (RW) 3.518.879 ± 1,6% |
| | | Нефактурисана легална потрошња (V_{UAC}) 72.846 ± 80,0% | (NRW) 3.765.711 ± 4,2% |
| | Губици воде (WL) 3.692.865 ± 4,5% | Привидни губици 342.416 ± 37,0% | |
| | | Стварни губици (CARL) 3.350.449 ± 6,3% | |
| ILI = 12,7 | | ± 8,3% | |

Слика 7. Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса *ILI* и њихове неодређености након спровођења активности 1, 2, 3, 4, 5 и 6

Процењена вредност *UARL* износи $263.700 m^3/god$, а његова неодређеност 5,5%. Добијени резултати указују на знатно већу поузданост израчунатих компоненти водног биланса и индекса *ILI*.

Као резултат свих поменутих активности, детектовано је да укупна дужина водоводне мреже износи око 175 km. Цевни материјали су пластика (PE100, PE80 и PVC) укупне дужине око 99 km (56,4 %) и азбест цемент укупне дужине 55,5 km (31,7 %). Цеви пречника мањег од 100 mm су укупне дужине 112,8 km (64,5 %).

Такође, значајно је повећан просечан број месечних рачуна (фактура) и износи око 17.730, од тога 10 % за привреду а 90 % за становништво (54 % индивидуалне куће и 36 % стамбене зграде).

Просечан притисак у ВДС добијен је на основу калибрисаног математичког модела.

Треба напоменути да није извршена процена тачности различитих категорија водомера код потрошача на статистичком узорку водомера, али је приликом замене дотрајалих водомера новим, веће тачности, примећено да је фактурисана количина воде већа и до 20% у односу на раније фактурисане количине.

4. Дискусија резултата

Из приложених резултата може се видети да је на почетку реализације пројекта, неодређеност улазних величина била изузетно велика, што је утицало на неодређеност компоненти водног биланса и индекса ПЛ. Највећи извор грешке, односно неодређености, било је мерење дотока воде у систем. Уградња новог мерила протока, веће поузданости, значајно је утицала и на смањење неодређености резултата. Повећање поузданости мерења дотока воде је била приоритетна, обзиром да се ВДС Пожаревца снабдева само из једног изворишта. Његовом уградњом смањила се неодређеност запремине која не доноси приходе са 54% на 22% и индикатора ПЛ са 87% на 49%.

Након повећања поузданости мерила протока воде спроведене су активности везане за смањење неодређености потрошње воде у ВДС, па се неодређеност NRW смањила на $\pm 4,2\%$, али неодређеност индекса ПЛ је још увек велика, и износи $\pm 30,6\%$.

Након смањења неодређености и физичких величина ВДС, неодређеност NRW остаје иста, а неодређеност индекса ПЛ се смањује на 21,1%.

Тек након калибрације математичког модела, смањује се и неодређеност просечног притиска у ВДС, па и индекс ПЛ има прихватљиву неодређеност од $\pm 8,3\%$.

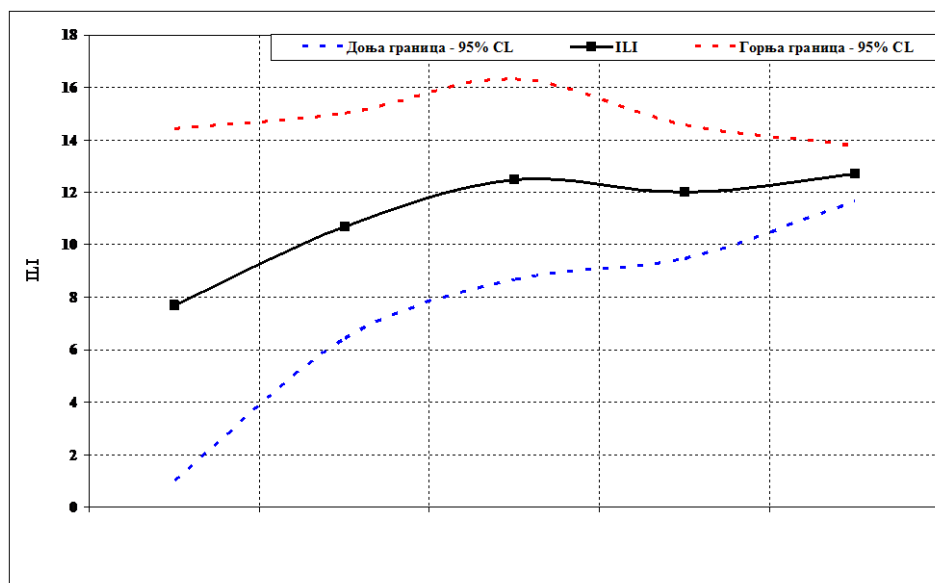
Из добијених резултата, након спровођења свих активности од 1 до 6, може се закључити да је лоцирање свих потрошача и њихово уношење у базу и ГИС значајно утицало на смањење неодређености. Формирањем нове базе значајно се повећао број месечних фактура (скоро за 50%) и број регистрованих водомера (за око 20%). Међутим, запремина воде која доноси приход је смањена за око 10%. Разлог за смањење запремине воде која доноси приход леже у екстерним факторима на које пројекат није могао да утиче: повећање цене воде и економска криза која је започела крајем 2008. године, што је утицало на значајно смањење запремине воде која доноси приход код привредних корисника (за око 22%).

Евидентирање свих објеката ВДС значајно је допринело повећању поузданости податка о дужини цеви. Из резултата може се закључити да запослени нису имали поуздане информације о дужини цеви пречника мањег од 100 mm. Такође, значајно се променила и заступљеност цевног материјала.

Обзиром да није извршена процена тачности различитих категорија водомера код потрошача на статистичком узорку водомера, и даље је остала велика неодређеност привидних губитака воде.

Калибрација математичког модела је успешно спроведена, што је омогућило и поуздано одређивање просечног притиска у ВДС. Ово је од нарочите важности обзиром да је вредност UARL директно пропорционална притиску. На овај начин смањена је и неодређеност индекса ПЛ.

Након спроведених активности процењена вредност индикатора ПЛ се повећала са 7,7 на 12,7, али се његова неодређеност значајно смањила са 87% на 8%. На наредној слици 8 дат је приказ утицаја спроведених активности на промене вредности ПЛ и његове неодређености.



Слика 8. Утицај спроведених активности на промену вредности ПЛ и његове неодређености

5. Закључак

У великом броју водоводних система, нарочито у земљама у развоју, подаци о елементима система, мерења протока и потрошње воде имају велику неодређеност. Ова неодређеност се у даљим прорачунима пропагира на израчунате вредности ПИ. Постоје различите методе за анализу неодређености, али не постоји методологија која може дати тачне резултате на основу нетачних улазних података.

Подаци велике неодређености могу да наведу на погрешне закључке и самим тим доведу до погрешних управљачких одлука. Њиховом квантификацијом омогућава се водоводном предузећу да одреди приоритете где треба концентрисати активности контроле квалитета података.

На примеру ВДС Пожареваца приказано је како се спровођењем активности од 1 до 6, наведених у делу 2.2, може смањити неодређеност прорачуна компоненти водног биланса и ПИ. Само на основу таквих ПИ могу да се донесе рационалне управљачке одлуке.

Литература

- [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] ЈКР "Vodovod" Pozarevac (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".
- [10] Brothers K. J. (2001). "Water Leakage and Sustainable Supply-Truth or Consequences?" *Journal American Water Works Association*, 93(4), 150-152.