

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Мр Бранислав Б. Бабић, дипл.инж.грађ.

**УНАПРЕЂЕЊЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА
ВРЕДНОВАЊЕ И ПОБОЉШАЊЕ
ПЕРФОРМАНСИ ВОДОВОДНИХ
СИСТЕМА**

Докторска дисертација

Београд, 2014

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Branislav B. Babić, dipl.-Ing. CE

**ADVANCES IN METHODOLOGY FOR
EVALUATION AND IMPROVEMENT OF
THE WATER DISTRIBUTION SYSTEM
PERFORMANCE**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2014

Универзитет у Београду
Грађевински факултет

Мр Бранислав Б. Бабић, дипл.инж.грађ.

УНАПРЕЂЕЊЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА ВРЕДНОВАЊЕ И ПОБОЉШАЊЕ
ПЕРФОРМАНСИ ВОДОВОДНИХ СИСТЕМА

Докторска дисертација

Ментори:

1. Проф.др Дејан Љубисављевић, дипл.инж.грађ.
Универзитет у Београду - Грађевински факултет
2. Проф.др Душан Продановић, дипл.инж.грађ.
Универзитет у Београду - Грађевински факултет

Чланови комисије:

3. Проф.др Марко Иветић, дипл.инж.грађ.
Универзитет у Београду - Грађевински факултет
4. В.проф. др Горан Секулић, дипл.инж.грађ.
Универзитет Црне Горе - Грађевински факултет
5. Доц.др Милош Станић, дипл.инж.грађ.
Универзитет у Београду - Грађевински факултет

Датум одбране
докторске дисертације:

Београд

УНАПРЕЂЕЊЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА ВРЕДНОВАЊЕ И ПОБОЉШАЊЕ ПЕРФОРМАНСИ ВОДОВОДНИХ СИСТЕМА

Резиме

За потребе вредновања перформанси водоводних система Међународна асоцијација за воде је 2006. године предложила основну методологију поделе водног биланса на компоненте потрошње воде и губитака воде, и препоручила примену низа показатеља рада водоводних система као средства за квантификацију и поређење перформанси водоводних система, по различитим параметрима. Ова методологија се базира на подацима о појединим компонентама водног биланса, физичким карактеристикама система и показатељима пословања водоводског предузећа. Од почетка примене ове методологије, као основни проблем у примени показала се неодређеност улазних података, која се у даљим прорачунима пропагира на израчунате вредности компоненти водног биланса и индикаторе перформанси система (ИП). Подаци велике неодређености могу да наведу на погрешне закључке и самим тим доведу до погрешних управљачких одлука. У дисертацији је развијена метода, заснована на ISO методологији, за процену неодређености улазних података о водоводном систему и пропагације неодређености на ИП водоводних дистрибутивних система. Анализа грешака и неодређености обухвата проучавање и квантификовање неодређености, као и мере које треба предузети за њено минимизирање. У складу са тим, у дисертацији су дефинисане и активности које је потребно предузети како би се смањила неодређеност компоненти водног биланса и одговарајућих ИП. Метода је успешно примењена на примеру водоводног дистрибутивног система града Пожаревца. Приказано је како спроведене активности утичу на смањење неодређености улазних параметара на основу којих се рачунају компоненте водног биланса и ИП и самим тим утичу на повећање њихове поузданости. У компонентама биланса воде, значајну неодређеност има компонента привидних губитака воде (вода коју су корисници водовода утрошили али која није обрачуната). За процену привидних губитака воде

још увек није развијена општеприхваћена метода. Сва досадашња истраживања углавном су се сводила на процену нетачности мерења потрошње воде на водомерима, занемарујући остале компоненте привидних губитака. У овој дисертацији приказана је нова метода одређивања укупних привидних губитака воде. Методологија се базира на одређивању средње годишње остварене потрошње воде различитих категорија потрошача, добијене одоварајућом обрадом резултата мерења минималне ноћне потрошње, и поређењем са обрачунатом потрошњом воде. Применом рачунског алгоритма Monte Carlo процењује се неодређеност израчунатих привидних губитака воде. Метода је успешно примењена на водоводном систему Пожаревца и резултати указују на њену добру практичну примену.

У овој дисертацији је такође развијена и нова метода за одређивање смањења укупних потреба за водом услед смањења радног притиска у водоводном систему, где је посебна пажња посвећена анализи и квантификацији утицаја притиска на поједине компоненте водног биланса. Ово је од посебног значаја за правилно одређивање ИП везаних за губитке воде, и оцене њиховог побољшања при смањењу радног притиска. Методологија је примењена на дистрибутивној водоводној мрежи насеља Котеж (Београд), где су добијени резултати показали добра слагања са резултатима мерења. Такође, метода је успешно примењена и на водоводном истему Пожаревца.

Кључне речи: водоводни дистрибутивни систем, губици воде, потрошња воде, минимални ноћни протицај, процуривања, притисак, индикатори перформанси.

Научна област: Грађевинарство

Ужа научна област: Комунално и санитарно инжењерство

УДК: 626/628.161.1(043.3)

ADVANCES IN METHODOLOGY FOR EVALUATION AND IMPROVEMENT OF THE WATER DISTRIBUTION SYSTEM PERFORMANCE

Summary

In 2006 the International Water Association proposed an overall methodology for breaking down the water balance into components of water consumption and water losses for purposes of water distribution systems performance assessment, and recommended the application of various water distribution systems performance indicators as a quantification and benchmarking tool. This methodology is based on the water balance components data, the physical properties of the system and the water utility company business performance data. Since the introduction of this methodology, the main problem in its application has been the uncertainty of the input data, which is propagated in further calculations into calculated values of the water balance components and Performance Indicators (PI). Data of great uncertainty may lead to incorrect conclusions and consequently lead to incorrect management decisions. A novel method has been developed within this dissertation which is based on the ISO methodology for the evaluation of uncertainty of distribution system properties input data and the propagation of uncertainty to the PI. The analysis of inaccuracies and uncertainties involves the examination and quantification of uncertainties, and based on the obtained results, measures for their minimization are applied. Accordingly, activities that need to be implemented in order to reduce the uncertainty of the components of the water balance and corresponding PI are defined. The method has been successfully applied in the Požarevac Water Distribution System example which shows how the implemented activities affect the reduction of uncertainty of input parameters, based on which the components of the water balance and the PI are calculated, thus resulting in an increase of their reliability. In terms of uncertainty of the water balance components, the apparent water losses (unbilled water actually used by consumers) represents a component with a large uncertainty for which a generally accepted method of determination has not yet been developed.

Previous studies were mostly limited to the evaluation of metered water consumption measuring inaccuracies, while ignoring the other components of apparent losses. This dissertation presents a new method for assessment of total apparent water losses based on the estimate of the mean annual water consumption of different consumer categories obtained from analysis of the minimum night flow method measurements, which is compared with the billed water consumption, while the uncertainty of the results is estimated using the Monte Carlo computational algorithm. The method was applied in the Požarevac Water Distribution System and the results indicate its successful practical application.

Additionally, this dissertation presents a new method for determining the reduction in the overall water demand resulting from a reduction of operating pressure in the water distribution system, with special attention given to the analysis and quantification of the impacts of operating pressure on water balance components. This is of particular importance for the proper assessment of PI related to water losses and evaluation of their improvement due to the reduction of operating pressure. This methodology has been applied to the water distribution network of Kotež (Belgrade), where the obtained results showed very good agreement with the measurement results. The method has also been successfully applied to the Pozarevac Water Distribution System.

Keywords: water distribution system, water losses, water consumption, minimum night flow, leakage, pressure, performance indicators.

Scientific field: Civil Engineering

Field of Research: Sanitary Engineering

САДРЖАЈ

1	ДЕФИНИСАЊЕ ПРОБЛЕМА И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА	1
1.1	Циљ истраживања	4
1.2	Научне методе истраживања	6
1.3	Организација тезе	6
2	ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА	8
2.1	Водни биланс у водоводном систему	9
2.2	Управљање стварним губицима воде	15
2.2.1	Методе процене стварних губитака воде	15
2.2.2	Методе активне контроле стварних губитака воде	22
2.3	Управљање привидним губицима воде	28
2.3.1	Управљање водомерима	29
2.3.2	Обрачун потрошње воде и руковање подацима	30
2.3.3	Процена привидних губитака воде	31
2.4	Индикатори перформанси у водоводним дистрибутивним системима	33
2.4.1	Одређивање перформанси водоводних система и упоредна анализа	34
2.4.2	Начин исказивања губитака воде	36
2.5	Анализа неодређености водног биланса	39
2.5.1	Грешке и неодређености	41
2.6	Развој метода за одређивање поузданости Индикатора перформанси, одређивање привидних губитака и побољшање Индикатора перформанси	47
3	СМАЊЕЊЕ НЕОДРЕЂЕНОСТИ ВОДНОГ БИЛАНСА И ИНДИКАТОРА ПЕРФОРМАНСИ	50
3.1	Смањење неодређености улазних података и привидних губитака воде	51
3.1.1	Уградња (замена) главних мерача протока на извориштима ВДС-а	54
3.1.2	Евидентирање и лоцирање потрошача у ВДС-у, обрачун потрошње воде	56
3.1.3	Реализација мерења током периода минималне ноћне потрошње воде	58
3.1.4	Одређивање "ноћног" <i>ILI</i>	61
3.2	Анализа пропагације неодређености	62
4	РАЗВОЈ МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ПРИВИДНИХ ГУБИТАКА ВОДЕ И ПОБОЉШАЊЕ ИНДИКАТОРА ПЕРФОРМАНСИ	67
4.1	Методологија одређивања стварних и привидних губитака воде	68
4.1.1	Методологија одређивања годишњих стварних губитака воде	68
4.1.2	Методологија одређивања годишњих привидних губитака воде	70
4.1.3	Неодређеност ноћне потрошње воде	72
4.1.4	Неодређеност стварних и привидних губитака воде и стварне потрошње воде	76
4.2	Метода LCP	79
4.2.1	Примена методе LCP - без мерења ноћне потрошње воде	81
4.2.2	Примена методе LCP - са мерењем ноћне потрошње воде	86
4.2.3	Анализа пропагације неодређености	90
5	ПРИМЕНА МЕТОДОЛОГИЈЕ ОДРЕЂИВАЊА ПРИВИДНИХ И СТВАРНИХ ГУБИТАКА ВОДЕ У ВДС ПОЖАРЕВАЦ	92
5.1	Реализација активности за смањење неодређености компоненти водног биланса и <i>ILI</i>	95
5.2	Примена методологије за одређивање привидних губитака воде	106
5.2.1	Минимална ноћна потрошња воде потрошача у систему	107

5.2.2	Минимални ноћни проток воде у основним зонама билансирања	117
5.2.3	Одређивање стварних и привидних губитака воде у основним зонама билансирања	117
5.2.4	Одређивање индекса "ноћни <i>ILL</i> "	130
5.3	Дискусија резултата примене методологије одређивања привидних и стварних губитака воде	130
6	ПРИМЕНА МЕТОДОЛОГИЈЕ LCP ЗА ПОБОЉШАЊЕ ИНДИКАТОРА ПЕРФОРМАНСИ	134
6.1	Примена методологије LCP на ОЗБ Котеж	134
6.1.1	Резултати мерења при нерегулисаном (иницијалном) притиску	137
6.1.2	Резултати мерења при редукованом притиску	139
6.1.3	Примена других методологија за процену смањења потреба за водом	144
6.2	Примена методологије LCP на ВДС Пожаревац	148
6.2.1	Примена LCP методе на процену смањења потреба за водом у ОЗБ Забела	153
6.2.2	Примена LCP методе на процену смањења потреба за водом у осталим ОЗБ	157
6.2.3	Дискусија резултата примене LCP методе на ВДС Пожаревац	161
6.3	Дискусија резултата примене LCP методе	165
7	ЗАКЉУЧАК	166

ЛИТЕРАТУРА

ПРИЛОЗИ

1.	Увод	П-1
2.	Одређивање стварних и привидних губитака воде у ОЗБ водоводног система Пожареваца	П-3
2.1	ОЗБ Бурјан	П-4
2.2	ОЗБ Бусије 1	П-7
2.3	ОЗБ Црвени крст	П-10
2.4	ОЗБ Фарма	П-13
2.5	ОЗБ Хиподром	П-16
2.6	ОЗБ Крушка	П-19
2.7	ОЗБ Љубичево	П-22
2.8	ОЗБ Тулба	П-25
2.9	ОЗБ Забела	П-28
3.	Примена методологије LCP за за побољшање индикатора перформанси на ОЗБ водоводног система Пожареваца	П-31
3.1	ОЗБ Бурјан	П-32
3.2	ОЗБ Бусије 1	П-36
3.3	ОЗБ Црвени крст	П-40
3.4	ОЗБ Фарма	П-43
3.5	ОЗБ Хиподром	П-46
3.6	ОЗБ Крушка	П-49
3.7	ОЗБ Љубичево	П-52
3.8	ОЗБ Тулба	П-55

СПИСАК ОЗНАКА

ИП	Индикатор перформанси
ФГВ	Функције густине вероватноће
ОЗБ	Основна зона билансирања
ВДС	Водоводни дистрибутивни систем
МС	Метода „Monte Carlo“
ММВДС	Математичко моделирање ВДС
ВABE	Методологија процене стварних губитака воде (<i>енг. Background and Burst Estimates</i>)
BENCH	Упоредна анализа (<i>енг. benchmarking</i>)
FAVAD	Принцип „фиксна и променљива област цурења“ (<i>енг. Fixed and Variable Area Discharge</i>)
LCP	Метода за процену стварних губитака воде (<i>енг. Leakage-Consumption-Pressure</i>)
AZNP	Просечан притисак у ОЗБ за време минималне ноћне потрошње (<i>енг. average zone night pressure</i>)
AZNP ⁱⁿⁱ	Просечан притисак у ОЗБ за време минималне ноћне потрошње при иницијалном притиску
AZNP ^{red}	Просечан притисак у ОЗБ за време минималне ноћне потрошње при редукованом притиску
AZP _h	Просечан часовни притисак у ОЗБ
AZP _h ^{red}	Часовни просечни притисци у ОЗБ или ВДС, при редукованом притиску
CARL	Годишња запремина стварних (физичких) губитака воде (<i>енг. Current Annual Real Losses</i>)
C _i	Чворна потрошња воде у чвору <i>i</i>
C _i ^k	Номинална потрошња воде
D	Пречник цеви
Fi47	Индекс запремине воде која не доноси приход
Δ <i>h</i>	Разлика притисака између "улазне" тачке у ОЗБ и AZP, односно "улазне" тачке у ОЗБ и "критичне" тачке
ILI	Инфраструктурни индекс губитака
K	Коефицијент хидрауличких губитака на трење
K _h	Хидраулички губици на трење у ОЗБ за одређени сат посматраног дана
L _m	Дужина главних цеви
L _{conn}	Дужина прикључних цеви
MNF	Минимални ноћни доток воде у ОЗБ
MNF ⁱⁿⁱ _{night}	Измерени доток воде у ОЗБ или ВДС, за време MNF, при иницијалном притиску
n _{BMAC}	Укупан број категорија потрошача код којих се мери потрошња воде
n _{BUMC}	Укупан број категорија потрошача код којих се не мери потрошња воде
N1	Експонент притиска за губитке воде у дистрибутивној водоводној мрежи узводно од водомера
N2	Експонент притиска за стварну потрошњу воде (иза водомера)
N3	Експонент притиска за проциривања воде иза водомера
N _{conn}	Број прикључака
N ^h _{conn}	Укупан број индивидуалних кућа у ОЗБ

N_{pop}	Број становника у ОЗБ или ВДС
N_{prop}^{rb}	Укупан број станова у стамбеним зградама у ОЗБ
NRW	Укупна запремина воде која не доноси приход (<i>eng. Non-Revenue Water</i>)
$Op23$	Губици воде по прикључку
$Op24$	Губици воде по дужини цевовода
$Op26$	Привидни губици по запремини воде која дотиче у ВДС
$Op27$	Стварни губици воде по прикључку
$Op28$	Губици воде по дужини цевовода
PRV	Вентил за редуковање притиска (<i>eng. Pressure reducing valve</i>)
P_i	Притисак у чвору i
P_i^k	Чворни притисак при коме је обезбеђена потрошња воде C_i^k
P_{ij}^{av}	Просечан притисак дуж цеви ij
ΔP_{tot}^0	Смањење притиска у мрежи - разлика између постојећег и минимално прихватљивог притиска у "критичној" тачки
RW	Укупна запремина воде која доноси приход (<i>eng. Revenue Water</i>)
$q_{wc, res}^{night}$	Стварна ноћна потрошња воде становништва у време MNF
$q_{res, mer}^{night}$	Ноћна потрошња воде добијена мерењем
q_{lib}^{res}	Цурења иза водомера
$q_{h, mer}^{night}$	Мерена ноћна потрошња воде индивидуалних кућа
$q_{rb, mer}^{night}$	Мерена ноћна потрошња воде становништва у стамбеним зградама
q_{wc}	Стварна потрошња воде становништва
q_{lib}	Процењена цурења воде иза водомера
q_{tot}	Фактурисана просечна дневна потрошња воде свих категорија потрошача
$q_{res, mer}^{night}$	Минимална ноћна потрошња воде категорије потрошача становништво
$Q_{i,l}(t)$	Укупни стварни губици воде у чвору i у тренутку t
$Q_{tot,h}$	Укупна стварна часовна потрошња воде
$Q_{inflow,h}$	Часовни доток воде у ОЗБ или ВДС
$Q_{realcons,h}^{ini}$	Часовна стварна потрошња воде при иницијалном притиску
$Q_{tot,h}^{ini}$	Укупна часовна потрошња воде при иницијалном притиску
$Q_{inflow,h}^{ini}$	Регистровани просечни часовни доток воде у ОЗБ или ВДС при иницијалном притиску
$Q_{lc,night}^{red}$	Укупна ноћна потрошња воде великих потрошача воде, при редукованом притиску за време MNF
$Q_{inc,night}^{red}$	Укупна ноћна потрошња воде при редукованом притиску
$Q_{waste,h}^{ini}$	Процуривања воде иза водомера, на часовној бази, при иницијалном притиску
$Q_{realcons,h}^{ini}$	Часовна стварна потрошња воде при иницијалном притиску
$Q_{waste,day}^{ini}$	Укупна дневна цурења иза водомера при иницијалном притиску
$Q_{inflow,h}^{red}$	Доток воде у ОЗБ или ВДС при редукованом притиску

$Q_{waste,h}^{ini}$	Процуривања воде иза водомера, на часовној бази, при иницијалном притиску
$Q_{sc,night}$	Минимална ноћна потрошња воде категорија потрошача мала привреда, установе и др.
$Q_{lc,night}$	Минимална ноћна потрошња воде категорија великих потрошача који ноћу користе воду за своје потребе (индустрија, болнице и др.)
$Q_{inc,night}$	Укупна минимална ноћна потрошња воде у ОЗБ
τ	Старост цеви
U_{ARL}	Запремина неизбежних губитака воде (<i>енг. Unavoidable Annual Real Losses</i>)
V_{ij}	Запремина губитака воде из цеви која повезује чворове i и j
$V_{inflow,i}$	Запремина дотекле воде са изворишта у ВДС
$V_{BMAC,i}$	Запремина фактурисане измерене легалне потрошње воде
$V_{BUMC,i}$	Запремина фактурисане неизмерене легалне потрошње воде
V_{UAC}	Запремина нефактурисане легалне потрошње воде
V_{AC}	Запремина укупне легалне потрошње воде
V_{UC}	Запремина нелегалне потрошње воде
V_{CME}	Запремина нефактурисане воде услед грешки на водомерима
WRI	Индекс ефикасности коришћења водних ресурса
WL_{night}	Ноћни стварни губици воде
WL_{night}	Ноћни стварни губици воде за време MNF
WL_h	Стварни часовни губитак
WL_{day}	Дневни стварни губици воде
WL_{year}	Просечни годишњи стварни губици воде
WC_{day}	Укупна стварна дневна потрошња воде
WC_{year}	Укупна стварна просечна годишња потрошња воде
WL	Запремина укупних стварних губитака воде
WL_h^{red}	Стварни часовни губици воде при редукованом притиску
WL_h^{ini}	Часовни стварни губици воде при иницијалном притиску
WL_{night}^{ini}	Стварни губици воде за време MNF при иницијалном притиску

СПИСАК СЛИКА

Сл. 2.1	Методе активне контроле стварних губитака (Alegre et al. 2006)	23
Сл. 2.2	Типичне карактеристике стварних губитака воде (Lambert и Taylor 2010)	24
Сл. 2.3	Утицај управљања притиском на компоненте стварних губитака воде (Fantozzi и Lambert 2007)	27
Сл. 2.4	Крива Гаусове нормалне расподеле	44
Сл. 3.1	Промена неодређености индекса ILI након спровођења активности 1-7	53
Сл. 3.2	Неодређеност запремине воде дотекле у ВДС	55
Сл. 4.1	Период мерења у ВДС и/или ОЗБ	69
Сл. 4.2	Доток воде у ВДС и/или ОЗБ и просечан притисак у дану када се спроводе мерења (средња годишња потрошња воде)	70
Сл. 4.3	Шема прорачуна неодређености стварних часовних губитака воде	78
Сл. 4.4	Шема прорачуна неодређености компоненти укупних потреба за водом	91
Сл. 5.1	Шематски приказ ВДС Пожаревца	94
Сл. 5.2	Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса ILI и њихове неодређености на почетку пројекта	96
Сл. 5.3	Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса ILI и њихове неодређености након спровођења активности 2, 3, 4 и 5	96
Сл. 5.4	Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса ILI и њихове неодређености након спровођења активности 2, 3, 4, 5 и 6	98
Сл. 5.5	Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса ILI и њихове неодређености након спровођења активности 2, 3, 4, 5, 6 и 7	100
Сл. 5.6	Утицај спроведених активности на промену вредности ILI и његове неодређености	101
Сл. 5.7	Утицај спроведених активности на промену вредности U_{ARL} и његове неодређености	101
Сл. 5.8	Утицај спроведених активности на промену вредности $WR1$ и његове неодређености	102
Сл. 5.9	Утицај спроведених активности на промену вредности $Op23$ и његове неодређености	102
Сл. 5.10	Утицај спроведених активности на промену вредности $Op24$ и његове неодређености	103
Сл. 5.11	Утицај спроведених активности на промену вредности $Op26$ и његове неодређености	103
Сл. 5.12	Утицај спроведених активности на промену вредности $Op27$ и његове неодређености	104
Сл. 5.13	Утицај спроведених активности на промену вредности $Op28$ и његове неодређености	104
Сл. 5.14	Утицај спроведених активности на промену вредности $Fi47$ и његове неодређености	105
Сл. 5.15	Подела ВДС Пожаревца на ОЗБ	106
Сл. 5.16	Резултати мерења потрошње воде - КПЗ Забела	108
Сл. 5.17	Резултати мерења потрошње воде - Веолија транс АД "Литас"	109

Сл. 5.18	Резултати мерења потрошње воде у пилот зони - индивидуалне куће центар	110
Сл. 5.19	Резултати мерења потрошње воде у пилот зони - индивидуалне куће периферија	110
Сл. 5.20	Резултати мерења потрошње воде у пилот зони - кућни савети	111
Сл. 5.21	Резултати мерења потрошње воде - хала спортова	112
Сл. 5.22	Резултати мерења потрошње воде - СО Пожаревац	113
Сл. 5.23	Коефицијенти неравномерности потрошње воде - хотел Дунав	114
Сл. 5.24	Коефицијенти неравномерности потрошње воде - општа болница Воја Дулић - стара зграда	116
Сл. 5.25	Шематски приказ ВДС Пожаревца	119
Сл. 5.26	Доток воде у ВДС, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак	122
Сл. 5.27	Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења	123
Сл. 5.28	Шематски приказ ОЗБ Центар 1 и 2	124
Сл. 5.29	Доток воде у ОЗБ, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак	127
Сл. 5.30	Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења	128
Сл. 5.31	Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса <i>ILI</i> и њихове неодређености након спровођења активности 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9	130
Сл. 5.32	Утицај спроведених активности на промену вредности <i>ILI</i> и његове неодређености	133
Сл. 6.1	Шема дистрибутивне водоводне мреже насеља Котеж	135
Сл. 6.2	Резултати мерења (доток воде у ОЗБ и притисак на доводу) при нерегулисаном притиску (недеља, 12. јун), и резултати симулације у Epanet-у (AZP и притисак у критичној тачки)	138
Сл. 6.3.	Резултати мерења при редукованом притиску на доводу од 29,5 m (доток воде у ОЗБ и притисак на доводу), и резултати симулације у Epanet-у (AZP и притисак у критичној тачки)	140
Сл. 6.4	Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску на доводу (LCP метод)	142
Сл. 6.5	Регистровани и израчунати доток воде у ОЗБ Котеж при редукованом притиску на доводу од 29,5 m	143
Сл. 6.6	Резултати 24-чаовне симулације, применом PRESMAC модела при иницијалном притиску	147
Сл. 6.7	Резултати 24-чаовне симулације, применом PRESMAC модела при редукованом притиску 29,5 m	147
Сл. 6.8	Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску на доводу (LCP метод)	156
Сл. 6.9	Израчунати доток воде у ОЗБ Забела при редукованом притиску и 95%-ни интервали поверења	156
Сл. 6.10	Постојећа дистрибутивна водоводна мрежа у ОЗБ Центар 1 и 2 (а) и дистрибутивна водоводна мрежа пречника ≥ 200 mm (б).	158
Сл. 6.11	Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску	160

Сл. 6.12	Израчунате потребе за водом у ОЗБ Центар 1 и 2 при редукованом притиску и 95%-ни интервали поверења	161
Сл. 6.13	Утицај спроведених активности на промену вредности <i>UARL</i> и 95%-ни интервали поверења	163
Сл. 6.14	Утицај спроведених активности на промену вредности <i>WR1</i> и 95%-ни интервали поверења	163
Сл. 6.15	Утицај спроведених активности на промену вредности <i>Op27</i> и 95%-ни интервали поверења	164
Сл. 6.16	Утицај спроведених активности на промену вредности <i>Op28</i> и 95%-ни интервали поверења	164

СПИСАК ТАБЕЛА

Таб. 2.1	Компоненте водног биланса у дистрибутивном водоводном систему (IWA), сви подаци су јединицама m^3/god	10
Таб. 2.2	Компоненте водног биланса по УК методологији	13
Таб. 2.3	IWA/AWWA индикатори перформанси за губитке воде (AWWA 2003)	35
Таб. 2.4	Стандардне јединичне вредности за прорачун UARL (Lambert et al. 1999)	38
Таб. 2.5	Препоручене границе тачности (Alegre et al. 2006)	40
Таб. 2.6	Препоручене границе за поузданост извора података (Alegre et al. 2006)	40
Таб. 3.1	Компонентне минималног ноћног дотока воде у ОЗБ	60
Таб. 3.2	Улазни подаци и њихова неодређеност (95%-ни интервал поверења)	62
Таб. 4.1	Концепт одређивања експонент притиска	79
Таб. 5.1	Процењене вредности компоненти водног биланса, индекса <i>ILI</i> и њихове неодређености на почетку пројекта	95
Таб. 5.2	Процењене вредности компоненти водног биланса, индекса <i>ILI</i> и њихове неодређености након спровођења активности 2, 3, 4 и 5	97
Таб. 5.3	Процењене вредности компоненти водног биланса, индекса <i>ILI</i> и њихове неодређености након спровођења активности 2, 3, 4, 5 и 6	97
Таб. 5.4	Процењене вредности компоненти водног биланса, индекса <i>ILI</i> и њихове неодређености након спровођења активности од 2-7	99
Таб. 5.5	Минимална ноћна потрошња воде категорије потрошача - јавне установе	113
Таб. 5.6	Минимална ноћна потрошња воде категорије потрошача - школе	115
Таб. 5.7	Минимална ноћна потрошња воде категорије потрошача - медицинске установе	116
Таб. 5.8	Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде - ВДС Пожаревца	120
Таб. 5.9	Минимална ноћна потрошња воде, <i>MNF</i> и неодређеност, по категоријама потрошача	121
Таб. 5.10	Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде - ОЗБ Центар 1 и 2	125
Таб. 5.11	Минимална ноћна потрошња воде, <i>MNF</i> и неодређеност, по категоријама потрошача	126
Таб. 5.12	Резултати прорачуна стварних и привидних губитака по ОЗБ	129
Таб. 5.13	Резултати прорачуна стварних и привидних губитака воде у ВДС Пожаревца	131
Таб. 6.1	Резултати прорачуна LCP методом – ОЗБ Котеж	143
Таб. 6.2	Резултати прорачуна LCP методом – ОЗБ Забела	155
Таб. 6.3	Резултати прорачуна LCP методом – 9 ОЗБ у ВДС Пожаревац	157
Таб. 6.4	Вредности ИП при иницијалном и редукованом притиску	158
Таб. 6.5	Резултати прорачуна апроксимираном LCP методом	159
Таб. 6.6	Вредности ИП при иницијалном и редукованом притиску	161

1 ДЕФИНИСАЊЕ ПРОБЛЕМА И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

Снабдевање водом постало је лимитирајући фактор развоја заједнице, заједно са храном, запошљавањем и проблемима транспорта (Obradović et al. 1994). 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 мерењу и вођењу процеса, смањивање неодређености у мерењу и повећању поузданости чувања и обраде података. Претходно је и у складу са постављеним развојним циљевима Уједињених нација за нови миленијум у оквиру циља 7.: „Интеграција принципа одрживог развоја у законску регулативу и програме са циљем смањења губитака еколошких ресурса“ (UN Millennium Development Goals, 2013).

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 (Alegre et al. 2000 и 2006), која је прихваћена и од стране AWWA (AWWA 2003).

Због сталног смањења расположивих количина чисте воде, активности на рационалној потрошњи воде и смањењу губитака воде у развијеним земљама имају висок приоритет, што доводи до ефикаснијег рада водоводних дистрибутивних система (ВДС). Проблем недостатка довољне количине воде нарочито је изражен у земљама у развоју, код којих су још додатно велики стварни губици воде и велики губитак прихода због стварних и привидних губитака воде.

Ефикасност ВДС може се проценити на основу разлика запремина дотекле воде у ВДС и фактурисане воде, која представља запремину воде која не доноси приход (*Non-Revenue Water - NRW*) (Alegre et al. 2000 и 2006). *NRW* обухвата стварне и привидне губитке воде и нефактурисану легалну потрошњу воде (вода која се користи за потребе гашења пожара, испирања цевовода идр.). Висок ниво *NRW* указује на лоше управљање и стање инфраструктуре ВДС.

Међутим, поузданост улазних података за прорачун водног биланса и пропација њихове неодређености је област истраживања која још увек није довољно развијена за смислену интерпретацију вредности *NRW*.

Широм света, процена перформанси водоводних система (*performance assessment - PA*) постала је једна од важнијих тема у протеклој деценији, јер се указала потреба за више транспарентности и модернизацијом стратегија у монополистичком сектору водоснабдевања. Да би се омогућио *PA* у стандардизованим оквирима индикатора перформанси (ИП) *IWA* је развила систем ИП (Alegre et al. 2000 и 2006), који је био основа за многобројна поређења перформанси и пројекте упоредне анализе (*benchmarking*, у даљем тексту *BENCH*) широм света. ИП су подељене у следеће категорије:

- ИП водног биланса,
- ИП радне снаге,
- ИП физичких карактеристика,
- ИП рада система,
- ИП нивоа услуга,
- финансијски ИП.

Почетна искуства примене ИП указала су на несумњиве предности њихове примене, у првом реду због захтева за унапређењем праћења водног биланса, евиденције потрошача и мерења потрошње, прецизног познавања физичких карактеристика система итд.

Узимајући у обзир релације између интересних група и ресурса могуће је идентификовати 5 управљачких циљева (Alegre et al. 2000 и 2006):

- обезбеђење задовољавајућег нивоа услуге корисницима водоводних система уз испуњење услова из законске регулативе,
- постизање највеће могуће продуктивности радне снаге,
- најефикасније могуће коришћење воде и других природних ресурса,
- најефикасније могуће коришћење финансијских средстава, и
- што је могуће ефикасније и ефективније планирање, пројектовање, изградња, одржавање и управљање радом објеката водоводног система.

Применом правилно конфигурисаног система ИП остварују се следеће добити:

- омогућава се бољи квалитет и брже доношење управљачких одлука, као и лакша контрола ефеката управљачких одлука,
- указује на потребу за предузимање мера за повећање ефикасности рада водоводног система,
- омогућава поређење перформанси појединих делова водоводног система, или поређење перформанси различитих водоводних система, и "учење" од најбоље праксе.

Коришћењем ИП водоводних система државни органи, у чијој су надлежности, добијају могућност поређења њихове ефикасности и ефективности и, у складу са интегралним управљањем водним ресурсима, предузимају одговарајуће мере.

Водоводна предузећа треба да буду ефективна (то значи да исправно раде) и ефикасна (то значи да исправано раде уз минимални напор). BENCH се показао као веома користан алат да би се достигао овај циљ. Да би резултати BENCH били употребљиви и да би могле да се донесу исправне управљачке одлуке компоненте водног биланса и ИП који из њега проистичу морају да буду са што мањом неодређеношћу. Из тог разлога у овој тези разрађене су активности и методологије које је неопходно применити како би се смањила неодређеност компоненти водног биланса и ИП. Само на основу поузданих вредности ИП могуће је довести исправне управљачке одлуке како би се побољшала њихова вредност.

Губици воде су важан индикатор стања водоводног система. Поред дефинисања стандардног водног биланса и различитих ИП за губитке воде, многе публикације описују модерне методе мониторинга и технике детекције као активне контроле

губитака воде, управљање притиском, управљање имовином ВДС и др. (Lambert 2002, Brothers 2001, Farley и Trow 2003, Pilcher et al. 2007). Општеприхваћено је да је управљање притиском најисплатљивије и врло ефикасно средство са управљање стварним губицима воде. Међутим, редуковањем притиска осим стварних губитака воде смањује се и потрошња воде од стране различитих корисника, али је овај аспект још увек недовољно истражен.

Када су у питању стварни губици спроведена су значајна истраживања, док је по питању привидних губитака до сада мало урађено. Иако су учињени значајни напори на процени компоненти привидних губитака воде, они су се углавном сводили на процену нетачности водомера у ВДС у развијеним земљама (Lund 1988; Noss et al. 1987; Richards et al. 2010). Генерално, контрола привидних губитака воде је још увек у повоју и преостаје још доста напора да се доведе у исту раван са стварним губицима воде (AWWA 2003).

У нашој пракси било је покушаја формирања система ИП за анализу ефикасности рада водоводних система, али се тај рад одликовао хетерогеношћу коришћених података и субјективном приступу проблематици, па су и резултати везани за индикаторе перформанси били неупоредиви.

1.1 ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Крајњи циљ сваког система индикатора перформанси је да пружи информације, односно податке који могу да се користе за потребе доношења одлуке. Систем ИП обухвата сет индикатора перформанси и података који репрезентују реално стање водоводног система. Сви прорачуни, везани за водни биланс и индексе перформанси, који из њега произилазе, укључују грешке и неодређеност, као и њихову пропагацију на вредности ИП. Њиховом квантификацијом омогућава се водоводном предузећу да одреди приоритете где треба концентрисати активности контроле квалитета података како би се побољшала поузданост прорачуна водног биланса и ИП, јер само на основу поузданих ИП могу да се доносе рационалне управљачке одлуке.

Такође, као што је већ поменуто, развој методологија за процену привидних губитака није пратио развој методологија за процену стварних (физичких) губитака вода, и да је он у великом заостатку. Још увек није развијена општеприхваћена методологија за процену ове врсте губитака воде.

Утицај смањења притиска на смањење стварних губитака воде је добро истражен и документован. Познато је да се редуковањем притиска смањује и потрошња воде, али је овај утицај још увек недовољно истражен. Ово је од посебног значаја у ВДС са недовољном количином воде на извориштима и у којим постоји вишак притиска и нерационална потрошња воде. Нерационална потрошња воде представља велику резерву за смањење потребних количина питке воде. У развијеним земљама управо на подручју нерационалне потрошње и опреме која је прати може се тражити један од разлога за стагнацију раста норме потрошње воде.

Из наведених разлога циљеви истраживања у овој дисертацији су:

- развој методологије за побољшање поузданости одређивања компоненти водног биланса и индикатора перформанси који из њега произилазе. Примена ових активности не доводи и до побољшања вредности ИП, јер за то морају да се предузму и друге мере. Само на основу поузданих индикатора перформанси могуће је донети исправне управљачке одлуке за њихово побољшање, односно за повећање ефикасности и ефикасности рада ВДС.
- Развој методологије за одређивање привидних и стварних губитака воде у водоводном систему, са акцентом на привидне губитке воде.
- Развој методологије за побољшање ИП који се односе на стварне губитке воде. Обзиром да је управљање притиском једино проактивно и економично средство којим се могу смањити цурења воде из цевовода (Savic и Walters 1995; Ulanicki et al. 2000) циљ је формирање методе за одређивање смањења потреба за водом као резултат управљања притиском, услед смањења како стварних губитака воде, тако и потрошње воде.

У дисертацији је предвиђена примена развијених методологија на реалном ВДС како би се верификовало постизање постављених циљева.

1.2 НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Дисертацијом су обухваћене следеће научне методе истраживања:

- експерименталне методе - мерења на терену,
- математичко моделирање течења воде у цевним системима под притиском квазистационарном методом (низ стационарних стања),
- класичне методе анализе временских серија у хидротехници, методе математичке статистике, Monte Carlo рачунски алгоритми, GIS просторне анализе,
- примена специфичних научних метода из области која је предмет истраживања.

1.3 ОРГАНИЗАЦИЈА ТЕЗЕ

Први корак (поглавља 1-2) у оквиру тезе је анализа уобичајене праксе у одређивању компоненти водног биланса и ИП који из њега проистичу, као и анализа њихове применљивости. Такође, анализирани су и методе за побољшање ИП које се односе на стварне губитке воде, односно *NRW*, применом управљања притиском.

У поглављу 3 приказана је пропагација неодређености улазних података на поузданост компоненти водног биланса и ИП. Такође, приказане су активности које је потребно спровести да би се смањила неодређеност ИП, како би на основу поузданих вредности могле да се донесу исправне управљачке одлуке.

У поглављу 4, развијен је модел за одређивање привидних губитака воде у ВДС. Поред тога, овај модел служи и за одређивање стварних губитака воде у ВДС.

У истом поглављу, развијен је и модел за процену смањења укупних потреба за водом и побољшања ИП применом управљања притиском, обзиром да је управљање притиском ефикасно и најисплатљивије средство са управљање

стварним губицима воде. Овом активношћу се поред смањења стварних губитака воде смањује и потрошња воде корисника ВДС.

У поглављу 6, развијене методе примењене су на ВДС Пожаревца и ВДС насеља Котеж (део Београдског водоводног система), у којима су спроведена опсежна теренска мерења.

На крају, у поглављу 7, приказана су закључна разматрања и предлог даљег истраживања.

2 ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

У претходним деценијама приоритет је била изградња водоводних система у складу са високим стандардима у погледу доступности, квалитета воде и сигурности снабдевања водом. Међутим, у последњих двадесетак година пажња је преусмерена на перформансе и стандарде водоснабдевања које треба остварити са ефикаснијим коришћењем ресурса (у складу са еколошким циљевима). Крајем 20. века повећао се притисак разних интересних група на сектор водоснабдевања. Из тих разлога почело се са имплементацијом мерних система са повратном спрегом како би се извршила процена испуњавања различитих захтева у сектору водоснабдевања на разумљив начин. Ово такође омогућава поређење ефикасности различитих водоводних система, као и учење од предузећа са најбољим перформансама (енгл. *benchmarking*). BENCH је мерни систем са повратном спрегом (Alegre et al. 2006). BENCH се користи као инструмент анализе и планирања који се темељи на поређењу сопственог предузећа с "најбољим у класи" конкуретних предузећа, али и предузећа у другим делатностима. Као техника, BENCH је осмишљени и систематски приступ унапређењу процеса и активности у организацији који се одвија кроз њихово упоређење са истим или сличним процесима који се објективно и оправдано сматрају најбољим, било да се ти процеси одвијају у другим деловима организације или ван ње. BENCH се, дакле, састоји у откривању, утврђивању и разумевању процеса и послова који се на неком другом месту обављају на бољи или најбољи начин и њиховом преношењу и прилагођавању на друге процесе (исте или сличне) у организацији. У суштини лежи јасна жеља да се учи од оних који су у нечему бољи од нас.

2.1 ВОДНИ БИЛАНС У ВОДОВОДНОМ СИСТЕМУ

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 мерењу и вођењу процеса, смањивање неодређености у мерењу и повећању 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 (Alegre et al. 2000 и 2006), која је прихваћена и од стране AWWA (AWWA 2003).

Последњих деценија свет се суочава са несташицом исправне воде за пиће. Овај проблем нарочито је изражен у земљама у развоју, код којих је додатно највећи губитак прихода због великих стварних и привидних губитака воде.

Под губицима воде у водоводном систему, у ужем смислу речи, подразумева се укупна количина воде коју потрошачи нису искористили за своје потребе. Најзначајнији губици воде су у самој дистрибутивној мрежи обзиром на велику дужину цеви и значајан број прикључака. Међутим, ако се губици воде разматрају са становишта пословања водоводског предузећа, онда неовлашћена потрошња воде из водовода (илеглани прикључци, неовлашћено коришћење воде из хидраната и др.), нетачна мерења запремине дотекле воде у систем и утрошене воде код потрошача, нетачни обрачуни потрошње воде и друго, такође могу умањивати приход предузећа.

Тренутно постоје две главне методологије одређивања водног биланса:

1. Методологија Међународне асоцијације за воду (IWA), која је приказана у табели 2.1 (Alegre et al. 2000 и 2006), која је прихваћена од стране AWWA (AWWA 2003) и која се користи у пракси (Thornton et al. 2008).
2. Методологија водног биланса која се примењује у Великој Британији (UK), приказана у табели 2.2 (Farley и Trow 2003; WSA/WCA 1994; Lambert 1994).

Обзиром да се методологија одређивања биланса и губитака разликује у појединим земљама, Радна група Међународне асоцијације за воду (IWA) је предложила методологију за одређивање водног биланса, која је приказана у Таб. 2.1.

Таб. 2.1 Компоненте водног биланса у дистрибутивном водоводном систему (IWA), сви подаци су јединицама m^3/god

Доток воде у дистрибутивни водоводни систем	Легална потрошња	Фактурисана потрошња	Фактурисана измерена потрошња	Вода која доноси приход
			Фактурисана неизмерена потрошња	
		Нефактурисана потрошња	Нефактурисана измерена потрошња	Вода која не доноси приход
			Нефактурисана неизмерена потрошња	
	Губици воде	Привидни губици	Нелегална потрошња	
			Грешке у мерењу потрошње	
			Грешке у обради и руковању подацима	
		Стварни губици	Процуривања у транспортним и дистрибуционим цевоводима	
			Процуривања и преливања из резервоара	
			Процуривања на прикључцима, до места водомера	

Компоненте водног биланса се уобичајено одређују у току неког временског периода, најчешће годину дана, и обухватају:

- **Доток воде** у дистрибутивни водоводни систем. То је годишња количина воде унета у дистрибутивни водоводни систем из свих извора снабдевања водом.
- **Легална потрошња** је годишња количина воде коју утросе сви потрошачи који су регистровани и легално прикључени на водовод. У ову категорију спадају и они потрошачи који су имплицитно овлашћени да могу захватити воду из водоводног система, иако се та потрошња не мери (вода за гашење пожара, прање улица, испирање цевовода и канализације и др.). Ова количина воде може бити мерена

на водомерима код потрошача или неизмерена (процењена), фактурисана од стране водоводског предузећа или нефактурисана. Ова количина воде укључује и количине воде које се упућују другим системима водоснабдевања. Под утрошеном водом код потрошача подразумева се целокупна вода коју утроше потрошачи, укључујући и губитке воде на процуривањима низводно од водомера и нерационалну потрошњу.

- **Губици воде.** То је разлика између количине воде унете у водоводни дистрибутивни систем и легалне потрошње. Они се састоје од привидних и стварних губитака.
 - **Привидни губици воде** обухватају:
 - нелегалну потрошњу (нелегалну потрошњу воде из хидратаната, потрошњу преко нелегалних прикључака на мрежу, нелегалну потрошњу која укључује неовлашћено подешавање водомера или уградњу облилазних водова око водомера),
 - све врсте грешака мерења потрошње потрошача (грешке водомера),
 - грешке у обради и руковању подацима о количини унете воде у систем и потрошње воде.
 - **Стварни, или физички, губици воде** обухватају:
 - количине воде које истеку из транспортних и дистрибутивних цевовода кроз, прслине, пукотине или спојеве цеви,
 - цурења и преливања воде из резервоара
 - количине воде које истеку из пукотина и оштећења на цевима кућних прикључака, од места прикључења на дистрибутивну цев до водомера.

У методологији IWA, првенствено водећи рачуна о томе да водоводска предузећа послују по економским принципима, уводе се две нове збирне компоненте водног биланса:

- **Вода која доноси приход** (*Revenue Water - RW*) која представља наплаћену легалну потрошњу воде (збир измерене и неизмерене фактурисане потрошње воде).
- **Вода која не доноси приход** (*Non-Revenue Water – NRW*) која представља разliku између количине воде унете у систем и наплаћене легалне потрошње (количине воде која доноси приход).

Методологија водног биланса, која се примењује у Великој Британији (UK), приказана у Таб. 2.2, разликује се од IWA методологије у следећим аспектима:

- користи се различита терминологија, нпр. термин "привидни" губици воде не користи се у UK методологији;
- у UK методологији, мерена потрошња воде коригује се за грешке на водомерима које обухватају нерегистровање малих протока, због чега се подцењује вредност *NRW*;
- нелегална потрошња воде је категоризована као нефактурисана легална потрошња воде, обзиром да је фокус углавном на процени стварних губитака воде;
- UK методологија водног биланса садржи детаље о томе како поуздано измерити и квантификовани немерену потрошњу воде у домаћинствима и стварне губитке воде коришћењем процена цурења воде кроз оштећења на цевима и спојевима (Background and Burst Estimates - BABE) (Lambert и Morrison 1996) и методе минималне ноћне потрошње воде (Minimal Night Flow - MNF) (Farley и Trow 2003).

Међутим, основни недостатак обе методологије је у томе да се већина компоненти процењује на основу недовољно дефинисаних стандарда. Овај недостатак омогућава руководиоцима водоводних предузећа манипулацију вредностима компоненти *NRW* (Brothers 2001). У неким земљама постоје и тешкоће у директној примени IWA методологије водног биланса, као нпр. у Грчкој где се минимално фактурише 20 m³ воде, па коришћење фактурисане потрошње воде за прорачун компоненти водног биланса може бити погрешан (Kanakoudis и Tsitsifli, 2010).

Циљ сваког водоводског предузећа је да што више смањи количине воде које не доносе приход. Први корак у том циљу је утврђивање основних компоненти

биланса воде: дотока воде у дистрибутивни водоводни систем и легалне фактурисане потрошње, на основу којих се процењује количина воде која не доноси приход. Ови обрачуни се врше за временски период од годину дана.

Таб. 2.2 Компоненте водног биланса по УК методологији

Доток воде у дистрибутивни водоводни систем				
Искоришћена вода			Губици воде у дистрибутивним водоводним цевоводима	
Искоришћена вода		Оперативне потребе	Губици воде у дистрибутивним водоводним цевоводима	
Предата вода преко прикључака		Други видови коришћења воде		Губици воде у дистрибутивним водоводним цевоводима
Мерена	Немерена	Губици воде на прикључним цевима	<u>Легални и нелегални:</u> хидранти, илегални прикључци, грешке на водомерима итд.	Губици воде у дистрибутивним водоводним цевоводима

У првом кораку (приступ "одозго на доле") утврђују се основне компоненте биланса воде: доток воде у дистрибутивни водоводни систем и легална фактурисана потрошња воде, на основу којих се процењује количина воде која не доноси приход. Поред анализе података потребно је урадити и теренске радове у циљу провере података. Провера на терену обично почиње са прегледом и проценом тачности мерача протока на доводима воде у систем (или области система) и корекцијом запремине достављене воде у посматраном периоду. Следеће је процена тачности различитих категорија водомера код потрошача. Провера водомера се обично врши на статистичком узорку водомера.

Тачност и поузданост прорачуна биланса воде и одређивања појединих компоненти количина воде које не доноси приход зависи од тачности и поузданости података. Јасно је да је за водоводско предузеће од изузетног значаја

да располаже са што прецизнијим подацима о унетим количинама воде у систем и количинама утрошене воде легалних потрошача мереној на водомерима. У случајевима када се легална потрошња не мери, врше се процене и користе се подаци о наплаћеним количинама воде. Важно је напоменути да уколико се подаци о немереној фактурисаној количини воде прецене, онда ће у билансу вода процењени губици воде бити подцењени.

За одређивање појединих компоненти воде које не доноси приход користе се подаци мерења, емпиријске релације, подаци о кваровима, преливањима из резервоара и друго. Треба напоменути да подаци о годишњим привидним и стварним губицима, као и њиховим компонентама, добијени из водног биланса на описани начин нису прецизни већ су само апроксимативни, јер су добијени на основу процењених вредности количине воде која је подељена потрошачима код којих се не мери потрошња воде, нетачности водомера, као и неједновременог читавања истих.

Због тога се у другом кораку (приступ "одоздо на горе") врше детаљне анализе и мерења компоненти биланса: грешке мерења, грешке у обради података, цурења цевовода, прикључака и резервоара и др. Метода минималне ноћне потрошње воде је најпознатија и прихваћена је као најпрецизнија метода за одређивање количине стварних губитака. Ова метода обухвата континуална мерења протока у једној ограниченој области водоснабдевања (тзв. "основна зона билансирања - ОЗБ"). Основна зона билансирања ОЗБ представља област водоводног дистрибутивног система која се обично креира затварањем затварача или потпуним прекидом појединих цевовода. На свим цевима којима вода улази или излази из зоне мери се проток воде. Концепт ОЗБ је уведен у Великој Британији раних осамдесетих година прошлог века, а данас је прихваћен у великом броју земаља.

Улазни подаци за водни биланс који су узети са мерача протока подложни су мерним грешкама и неодређеностима. Ове неодређености и њихова пропација на резултате, односно компоненте водног биланса, морају се квантификовати како би процена водног биланса била кредибилна. Циљ је да се побољша квалитет мерења и вредности NRW. Основне смернице за квантификовање неодређености

приказане су у ISO стандардима (ISO 2008). Велики број истраживача покушао је да квантификује неодређеност компоненти водног биланса (Herrero et al. 2003; Sattary et al. 2002; Stent и Harwood 2000). Међутим, анализа неодређености водног биланса у пракси још увек је ограничена, обзиром да већини оператера у водоводним предузећима није јасно како она може помоћи у доношењу одлука, а притом је финансијски и временски захтевна.

Упркос свим наведеним манама, IWA методологија одређивања водног биланса и индикатора перформанси који из њега произилазе је корисно средство које обезбеђује стандардизовану терминологију и дефиниције за BENCH, како национални тако и интернационални. Бројни су индикатори перформанси чији је прорачун везан за компоненте водног биланса, и генерално се могу поделити у финансијске, техничке и индикаторе везане за изворишта водоснабдевања.

2.2 УПРАВЉАЊЕ СТВАРНИМ ГУБИЦИМА ВОДЕ

Под губицима воде у водоводном систему, у ужем смислу речи, подразумева се укупна количина воде коју потрошачи нису искористили за своје потребе. Најзначајнији губици воде су на самој дистрибутивној мрежи, јер је дужина цеви дистрибутивне мреже и прикључака велика. Међутим, ако се губици воде разматрају са становишта пословања водоводског предузећа, онда неовлашћена потрошња воде из водовода (илеглани прикључци, неовлашћено коришћење воде из хидраната и др.), нетачна мерења количина унете воде у систем и утрошене воде код потрошача, нетачни обрачуни потрошње воде и друго, такође могу умањивати приход предузећа од продате воде потрошачима.

2.2.1 Методе процене стварних губитака воде

Постоје различита средства и метода за процену губитака воде, односно за квантификацију њихове запремине. Генерално, у пракси се користе три основне методе:

1. масеног или запреминског биланса (водни биланс)
2. математичког моделирања водоводног система (симулације)
3. статистичке анализе протока

2.2.1.1 Методе масеног (или запреминског) биланса

Ова метода одређивања губитака воде заснива се на принципу да је запремина дотекле воде у водоводни систем (V_{inflow}), у било ком временском тренутку, једнака збиру потрошене воде, стварних губитака воде и промени запремине залиха воде (резервоари и цевоводи), односно:

$$V_{inflow} = V_{cons} + \Delta V + V_{losses} \quad (2.1)$$

где је V_{inflow} – мерена запремина дотекле воде у водоводни систем, V_{cons} – измерена потрошња воде, ΔV – промена запремине воде у резервоарима и V_{losses} – запремина губитака воде. Ова методологија водног биланса поједностављује прилично сложен задатак праћења дотекле воде у ВДС-у. Као што је већ поменуто, тренутно постоје две основне методологије водног биланса (IWA и UK) које се користе за процену губитака воде.

2.2.1.2 Метода минималне ноћне потрошње воде

Као што је већ поменуто, у првом кораку се одређују компоненте водног биланса приступом "одозго-надоле". У другом кораку, приступом "одоздо-нагоре" врше се детаљне анализе и теренска мерења како би се оне прецизније одредиле. Метода минималне ноћне потрошње воде је најпознатија и прихваћена је као најпрецизнија метода за одређивање запремине стварних губитака. Ова метода најчешће се примењује у ОЗБ, која треба садржи од 500-3.000 прикључака (Farley и Trow 2003). Минимални ноћни проток (Minimal Night Flow, *MNF*) у ОЗБ најчешће се региструје између поноћи и 5 сати ујутро (Wu et al. 2011), када је потрошња воде корисника ВДС минимална, притисак у мрежи релативно висок, у односу на просечан дневни притисак, тако да стварни губици воде представљају највћећи део протицаја који улази у ОЗБ. Да би се израчунали стварни губици воде за време *MNF*, мора тачно да се процени (измери) ноћна потрошња воде различитих категорија потрошача у ОЗБ која се онда одузме од измереног дотока воде.

Стварни часовни губици воде током посматраног дана рачунају се множењем стварних губитака за време *MNF* фактором ноћ-дан (Night-Day-Factor) базираног на принципу "фиксна и променљива област цурења" (Fixed and Variable Area

Discharge - FAVAD) који објашњава везу између притиска и стварних губитака воде (Lambert 2002; May 1994; Lambert и Fantozzi 2010). Ова веза има експоненцијални облик, једначина 2.2:

$$WL_h = WL_{MNF} \times \left(\frac{AZP_h}{AZNP} \right)^{N1} \quad (2.2)$$

где су WL_h - стварни часовни губици воде, WL_{MNF} - стварни губици воде за време MNF , AZP_h - просечан часовни притисак у ОЗБ, $AZNP$ - просечан притисак за време MNF и $N1$ - експонент притиска за стварне губитке воде.

Истраживања су показала да се вредност експонента притиска $N1$ налази у опсегу од 0,5 до 2,3 у зависности од типа оштећења цеви и врсте цевног материјала (Greuyenstein и van Zyl 2007).

У недавној студији показано је да експонент притиска за стварне губитке воде $N1$ не карактерише добро везу између притиска и стварних губитака воде јер различити експоненти $N1$ за раличите притиске даје исту вредност процуривања воде (Van Zyl и Cassa 2011).

За ефикаснију процену губитака воде примењују се и хибридне методе које комбинују хидрауличке моделе, методу минималне ноћне потрошње воде и прорачун водног биланса приступом "одозго-надоле" (Cheung и Girol 2009). Постоје бројни системи где је аутоматизовано регистровање ноћних протока, који смањују како време тако и грешке које проистичу из мануелних интерпретација (Burrows et al. 2000; Armon et al. 2011).

Годишњи стварни губици воде могу се добити и анализама компоненти (Lambert 1994; Wu et al. 2011). Овај приступ користи основне податке о инфраструктури (дужина цеви, број прикључка итд.), фактор стања инфраструктуре (Infrastructure Condition Factor - ICF) за базна процуривања, просечан проток процуривања и дужину трајања различитих типова процуривања (базна, регистрована и нерегистрована) на различитим деловима ВДС (цеви, прикључци итд.).

2.2.1.3 Математичко моделирање ВДС као алат за процену стварних губитака воде

ВДС су често велики и комплексни системи који се састоје од више километара цеви различитог пречника и материјала, резервоара, пумпних станица, регулационих арматура и др. За анализу оваквих система потребан је велики број података. Математичко моделирање ВДС (ММВДС) је алат, који је еволуирао током претходних деценија, и који омогућава инжењерима да анализирају и управљају радом ВДС. ММВДС укључује коришћење компјутерских и математичких модела за предвиђање понашања ВДС у различитим оперативним условима, планирање задатака и за потребе пројектовања (AWWA 2005). Као и код свих математичких модела, параметри модела ВДС захтевају калибрацију како би се добили употребљиви резултати симулације рада система. Калибрација је процес финог подешавања модела све док се не симулирају теренски услови у оквиру прихватљивих граница. Смернице за калибрацију модела ВДС су утврђене (Speight et al. 2010), али и даље остају изазови између теорије и примене у реалном систему (Savic et al. 2010).

У пракси се врло често користи бесплатни софтвер за математичко моделирање ВДС под називом EPANET 2 (Rossman 2000). Додатна предност овог софтвера је што је његов изворни код отворен, па су могуће и додатне модификације од стране корисника. ММВДС може се користити за многе сврхе, али и за контролу и управљање губицима воде, укључујући зонарање ВДС, моделирање губитака воде као потрошњу зависну од притиска (Pressure - Dependent Demand - PDD), планирање управљања притиском, евалуацију алтернатива као што су рехабилитација или замена ценовода (Wu et al. 2011).

Конвенционални ММВДС базирају се на претпоставци да су чворне потрошње воде, променљиве током времена услед промене захтева за водом, независне од притиска (Demand - Driven Analysis - DDA). Ова претпоставка све више се оспорава и појављују се нови алгоритми и технике моделирања (Giustolisi et al. 2008; Wu et al. 2010). DDA је прикладно само када се симулира рад ВДС под нормалним условима: довољно воде на извориштима, цеви у исправном стању са адекватним притиском и др. Међутим, то у пракси није увек случај јер долази до кварова у систему или се јавља несташица довољне количине воде на

извориштима. Стварни губици воде често се, током пројектовања и анализа ВДС, посредно укључују у чворну потрошњу као независни од притиска. Ова претпоставка је нереална обзиром да су цурења из цевовода под директним утицајем радног притиска, па су развијене разне технике за њихово реалније моделирање.

Germanopoulos (1985) је први укључио термин процуривања у моделирању ВДСа применивши емпиријске функције за везу потрошње и губитака воде са притиском у дистрибутивној мрежи и укључивши те функције у математичку формулацију проблема анализе мреже. Веза притиска и потрошње воде у неком чвору дистрибутивне мреже дата је једначином (2.3):

$$C_i = C_i^k \cdot a_i \cdot e^{\frac{b_i \cdot P_i}{P_i^k}} \quad (2.3)$$

где су P_i - притисак у чвору i , C_i - чворна потрошња воде у чвору i , C_i^k - номинална потрошња воде и a_i , b_i , P_i^k - константе за одређени чвор. C_i^k је чворна потрошња воде различитих категорија потрошача под претпоставком да су притисци у систему адекватни, а P_i^k одговара чворном притиску при коме је обезбеђена та потрошња воде. Модел мреже укључује и губитке воде, следећом једначином:

$$V_{ij} = c_l \cdot (L_{ij} \cdot P_{ij}^{av})^{N1} \quad (2.4)$$

где су V_{ij} - количина губитака воде из цеви која повезује чворове i и j , c_l - константа која зависи од мреже, L_{ij} - дужина цеви, P_{ij}^{av} - просечан притисак дуж цеви и $N1$ експонент притиска за губитке воде.

Vela et al. (1991) су побољшали метод укључујући у прорачун и пречник цевовода, као и параметре његовог стања, као што је приказано једначином (2.5):

$$V_{ij} = c_l \cdot (L_{ij} \cdot D_{ij}^d \cdot e^{a\tau} \cdot P_{ij}^{av})^{N1} \quad (2.5)$$

где су D и τ пречник цеви и његова старост, респективно, $d = 1$ за $D < 125$ mm односно -1 за $D > 125$ mm, a - параметар облика проциуривања који је тешко одредити. Недостатак ове методологије је што захтева теренска мерења за одређивање вредности a_i , b_i и P_i^k за сваки чвор, што може бити скупо и недоступно за већину водоводних предузећа, нарочито у земљама у развоју. Додатно, овај метод претпоставља равномеран распоред губитака воде дуж цеви, што је нереално са практичне тачке гледишта.

Алтернативно, проциуривања воде могу се моделирати у EPANET 2 (Rossman 2007) као проток кроз отвор на цеви на основу хидраулике емитера. Губици воде дуж цеви додељују се крајњим чворовима у ММВДС. Емитер чворови омогућавају да се проциуривања моделирају коришћењем одговарајућих веза између истицања и притиска, као што је приказано у једначини (2.6):

$$Q_{i,l}(t) = K_i [P_i(t)]^{N_i} \quad (2.6)$$

где су $Q_{i,l}(t)$ укупни губици воде у чвору i у тренутку t , $P_i(t)$ је притисак у чвору i у тренутку t и K_i је емитер коефицијент за чвор i

Додатно, овај метод претпоставља да су губици воде, укључени у модел, тачно процењени, што није чест случај у пракси. Неодређеност у процени губитака воде може бити велика, и до ± 46 % (Lambert 1994). Такође, тешкоћу представља и одређивање емитер коефицијента за чворове са недовољним притиском. Могућа је и негативна потрошња кад је негативан чворни притисак, а и проток емитера може да се повећава без лимита са порастом притиска. Моделирање проциуривања воде из цеви је још увек изазован задатак и под утицајем је великог броја фактора. Лабораторијска испитивања су показала да околно земљиште која окружује место истицања утиче на величину протока (Walski et al. 2006).

Међутим, у последње две деценије дошло је до значајног унапређења у техникама хидрауличког моделирања ВДС. Неки истраживачи проценили су губитке воде коришћењем хидрауличких симулација које су у потпуности инкорпорирали губитке воде као зависне од притиска - PDD (Almandoz et al. 2005; Burrows et al. 2003; Giustolisi et al. 2008; Tabesh et al. 2009; Tucciarelli et al. 1999). Осим Tabesh

et al. (2009) и Burrows et al. (2003) који су оценили своје методологије на реалним системима у Ирану и УК, друге методологије нису примењене на реалним ВДС како би се проценила њихова успешност.

Анализа губитака воде коришћењем ММВДС може се унапредити аутоматизовањем преноса података континуалних мерења (Machell et al. 2010). У земљама у развоју коришћење математичког моделирања је и даље лимитирано високим трошковима прикупљања података и неадекватном кадровском оспособљеношћу за софистицирано моделирање (Trifunovic et al. 2009).

2.2.1.4 Процена стварних губитака воде применом статистичких метода

Још једна техника за процену губитака воде која се примењује у последње време је статистичка анализа протока.

Бројни истраживачи покушали су да процене губитак воде коришћењем статистичких метода (Arreguin-Cortes и Ochoa-Alejo 1997; Buchberger и Nadimpalli 2004; Jankovic-Nisic et al. 2004; Palau et al. 2012). Buchberger и Nadimpalli (2004) предложили су метод откривања губитака воде који је између једноставног водног биланса и комплексног хидрауличног модела. Метод закључује који је опсег минималне и максималне количине губитака воде на основу неколико узастопних статистичких узорака срачунатих из континуалних мерења дотока воде у ОЗБ. Недостатак методе је што није тестирана у реалном ВДС и што се не могу лоцирати места цурења воде. Arreguin-Cortes и Ochoa-Alejo (1997) примењују технику стратификованог случајног узорковања и мерења процуривања воде за процену губитака воде у 15 мексичких градова, указујући да се већина прцуривања дешава на прикључним цевима. Овај метод је склон значајним грешкама које су базиране на пристрасности формирања узорка, иако случајно узорковање минимизира пристрасност.

У студији података о потрошњи воде и статистичким анализама на југоистоку Енглеске Jankovic-Nisic et al. (2004) предлажу методологију за оптимално позиционирање мерача протока и временског корака мерења и препоручују мању величину ОЗБ са 250 прикључака за ефикасну детекцију места губитака воде. Они указују да су регистровани протоци у већим ОЗБ мање осетљиви на промене

потреба за водом и самим тим ће се изненадно пуцање цеви или повећање процуривања (базна цурења), које је истог реда величине као што је потрошња воде у домаћинствима, тешко открити.

Palau et al. (2012) су применили вишекритеријумску статистичку анализу, названом принцип анализе компоненти, за детекцију пукотина у урбаним ВДС. Предност ове методе је у томе што омогућава брзе и сензитивне анализе без употребе захтевних рачунских математичких алгоритама. Такође, ова метода може да се користи и за откривање других нередовних ситуација у водоводној мрежи, као што је нелегално коришћење воде.

Све претходно поменуте методе за процену губитака воде су вредне алатке за утврђивање приоритетних зона са високим стопама процуривања воде, али не пружају информације о местима цурења. Из тих разлога неопходна је примена детекције губитака воде како би се утврдило егзактно место цурења воде и извршила поправка.

2.2.2 Методе активне контроле стварних губитака воде

Управљање стварним губицима воде укључује њихову процену, детекцију и контролу. На Сл. 2.1 приказане су методе активне контроле стварних губитака воде, које обухватају (Alegre et al. 2006):

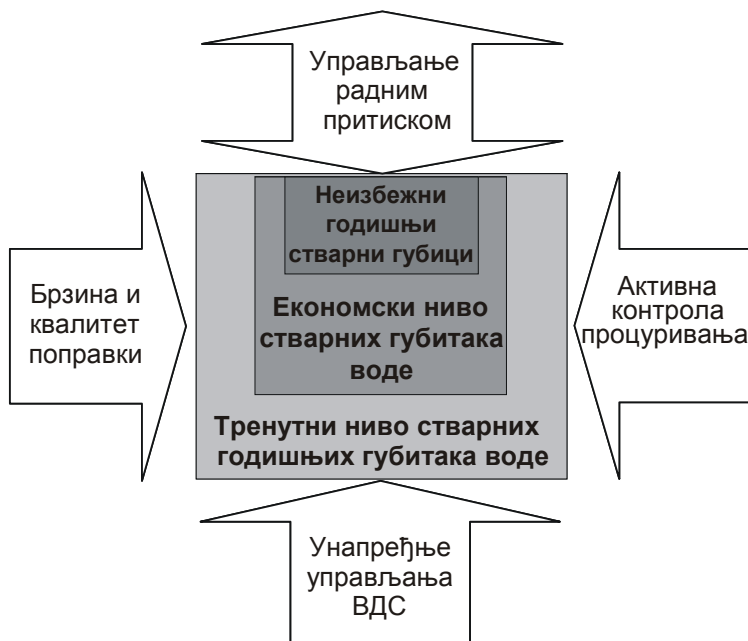
- управљање радним притиском;
- спровођење активне контроле процуривања - лоцирање места процуривања;
- унапређење управљања системом: избор материјала, квалитет радова, одржавање, рехабилитација и/или замена цеви и опреме;
- повећање брзине и квалитета поправки оштећења, односно смањење трајање процуривања.

На су све методе представљене стрелицама које треба да означе да њихово спровођење доводи до смањења постојећег нивоа стварних губитака (*CARL*). Међутим, у случају радног притиска у систему, само смањење радног притиска доводи до смањења стварних губитака, док са повећањем притиска расту и

стварни губици, стога је управљање радним притском означено са стрелицом у оба смера.

Концептуално, стварни губици воде могу се поделити у 3 категорије, као што се може видети на Сл. 2.2 (Lambert и Taylor 2010):

- Базни губици воде - мала процуривања на спојевима која се не могу видети и детектовати.
- Регистровани губици воде - кварови са великом количином истекле воде која се појављује на површини терена или изазивају проблеме које омогућавају запосленима у водоводним предузећима да их открију.
- Нерегистровани губици воде - значајни кварови који не изазивају проблеме и могу се открити само активном контролом губитака.



Сл. 2.1 Методе активне контроле стварних губитака (Alegre et al. 2006)

Управљање притском је једини проактивни и економичан метод којим се могу смањити базна процуривања воде на цевоводима (Savic и Walters 1995; Ulanicki et al. 2000). Управљање притском у ВДС је кључна основа за ефикасну контролу стварних губитака воде (Fanner et al. 2007; Thornton et al. 2008). Стога је разумевање везе између притиска и стварних губитака воде веома значајно, и она се моделира према FAVAD принципима, који се примењују у пракси (May 1994,

Lambert и Fantozzi 2010) и FAVAD модификованим једначинама процуривања (Cassa et al. 2010). Однос стварних губитака воде, при иницијалном и редукованом притиску, мења се пропорционално односу притисака на степен $N1$. У овим прорачунима веома је важно тачно проценити вредност експонента притиска $N1$. May (1994) је први указао на могућност сталне и променљиве области процуривања и да места истицања различито реагују на промене притиска зависно од типа оштећења и врсте цевног материјала. Уколико се процуривања дешавају кроз оштећења која су настала услед корозије, величина отвора остаће фиксна приликом промене притиска, па вредност експонента $N1$ износи око 0,5. Ако се процуривања дешавају на спојевима цеви, отвор се проширује са растом притиска, и у таквим случајевима проток процуривања се значајније повећава него код фиксног отвора (вредност експонента губитака воде $N1$ износи око 1,5). У случају уздужног (лонгитудиналног) оштећења, отвор се може повећати и по ширини и по дужини, што је чест случај код пластичних цеви, па вредност експонента губитака воде $N1$ може имати вредност и до 2,5.



Методe контроле

- Стабилизација притиска
- Редукција притиска
- Замена цеви и прикључака
- Смањење броја спојева

Методe контроле

- Стабилизација притиска
- Редукција притиска
- Замена цеви и прикључака
- Смањење броја спојева
- Активна контрола губитака воде

Методe контроле

- Стабилизација притиска
- Редукција притиска
- Замена цеви и прикључака
- Оптимизација времена поправке

Сл. 2.2 Типичне карактеристике стварних губитака воде (Lambert и Taylor 2010)

Вредност експонента $N1$ добијена из тестова спроведених у малим ОЗБ креће се у опсегу од 0,5 до 1,5. Међутим, када се рачуна просечна пондерисана вредност $N1$, за примену на већим ВДС, просечна вредност обично износи око 1,0 (Lambert 1997), односно може се претпоставити линеарна веза.

Прецизна вредност експонента притиска за стварне губитке воде $N1$ може се израчунати само на основу резултата мерења "степ-тестом" током периода MNF . Ова мерења се спроводе током ноћи и обично трају између 2 и 3 сата када је минимални ноћни проток релативно константан.

Управљање притиском обухвата од разматрања висинског положаја резервоара, до оптимизације рада пумпних станица или распоређивања редуцира притиска, односно других контролних вентила. Генерално, редуцију притиска могуће је регулисати на два различита начина (WSA/WCA 1994):

1. Фиксним излазним притиском који се остварује или редуцира притиска или прекидним коморама.
2. Регулисањем притиска по протоку контролним вентилима или контролом притиска пумпне станице. Суштина овог начина састоји се у томе да проток прати криву часовне потрошње воде и да у временским интервалима, када за притиском (протоком) нема потребе смањује притисак на минималну меру, чиме се добијају уштеде и на губицима и на нерационалној потрошњи воде.

На први начин, низводно од редуцира притиска, одржава се приближно иста вредност притиска у неком опсегу протикаја. Притисак који се одржава низводно од места регулације мора бити такав да је могуће уредно снабдевање водом и у критичној тачки при максималној часовној потрошњи воде. Међутим, просечан притисак у ОЗБ током ноћи биће већи него ако се примени други начин. Из тих разлога, развијено је и унапређено решење првог начина регулације притиска - регулациони вентил са временски променљивим низводним притиском, који на основу регистрованих потреба за водом у ОЗБ подешава низводни притисак у одређеним периодима дана. Овај регулациони вентил при минималним потребама за водом вредност излазног притиска снижава, и обрнуто у шпигелима потрошње

воде већа је вредност излазног притиска. Уобичајено постоје 4 промене вредности низводног притиска током дана (McKenzie 2001).

Регулисањем притиска по протоку добијају се бољи резултати, јер на овај начин могуће је ноћу, када нема великих захтева за водом снизити притисак, а самим тим и губитке воде. Овај начин управљања притиском има нарочиту предност у областима где постоје велики хидраулички губици за случај максималне часовне потрошње воде.

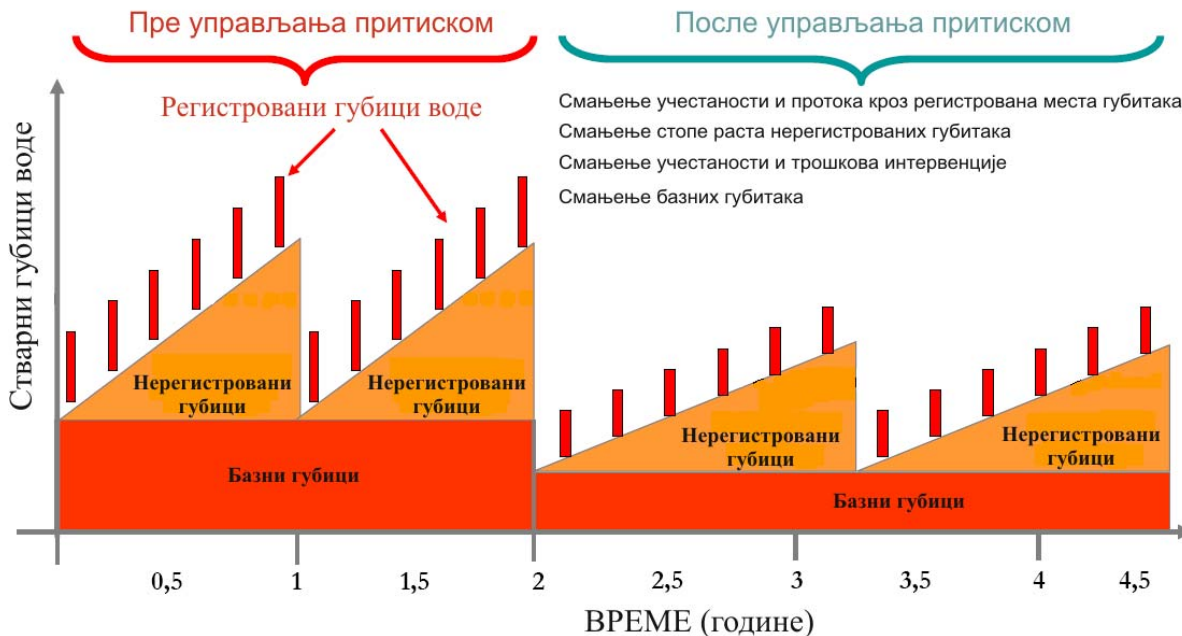
Уколико ОЗБ добија воду преко пумпне станице требало би размотрити следеће питање: да ли су карактеристике пумпних агрегата такве да при малој потрошњи воде проузрокују велике притиске, а самим тим и већа проциривања. Уколико је то тако требало би размотрити примену пумпних агрегата са променљивим бројем обртаја.

Генерално, управљењем притиском остварују се следеће добити, приказане на Сл. 2.3 (Fantozzi и Lambert 2007):

- смањење количине изгубљене воде кроз постојећа и будућа оштећења;
- смањење потрошње воде;
- смањење учестаности појаве нових кварова;
- продужен век трајања инфраструктуре;
- смањење оперативних трошкова и трошкова одржавања.

Због бројних наведених добити, контрола губитака воде управљањем притиском примењена је широм света и постигнути су добри резултати. У једном од највећих светских пројеката управљања притиском, Khayelitsha - Јужна Африка, постигнуто је смањење губитака воде од око 40 % од количине дотекле воде у систем, односно 9 мил. m³/годишње (McKenzie et al. 2004). У Златној обали (Gold Coast, Аустралија) постигнуто је смањење губитака воде за око 50%, и додатно смањена је учестаност кварова на цевима за 70-90% (Girard и Stewart 2007; Waldron 2008). У Waitakere, Нови Зеланд, такође је постигнуто значајно смањење NRW, а учестаност кварова на цевима смањена је за 74% (Pilipovic и Taylor 2003). У Lemesosu на Кипру стварни губици воде смањени су за 38 %, а учестаност кварова за 41 % (Charalambous 2008). У Бангкоку, Тајланд са смањењем просечног

притиска за само 2,4 m постигнуто је смањење губитака воде за 12,5% (Babel et al. 2009).



Сл. 2.3 Утицај управљања притиском на компоненте стварних губитака воде (Fantozzi и Lambert 2007)

Иако све ове студије указују на значајне успехе примене управљања притиском, основни недостатак је што нису примењена оптимална решења. Додатни бенефити могу се остварити оптималним подешавањем и позиционирањем редуцира притиска коришћењем различитих оптимизационих метода, као што су генетски алгоритми (Awad et al. 2009).

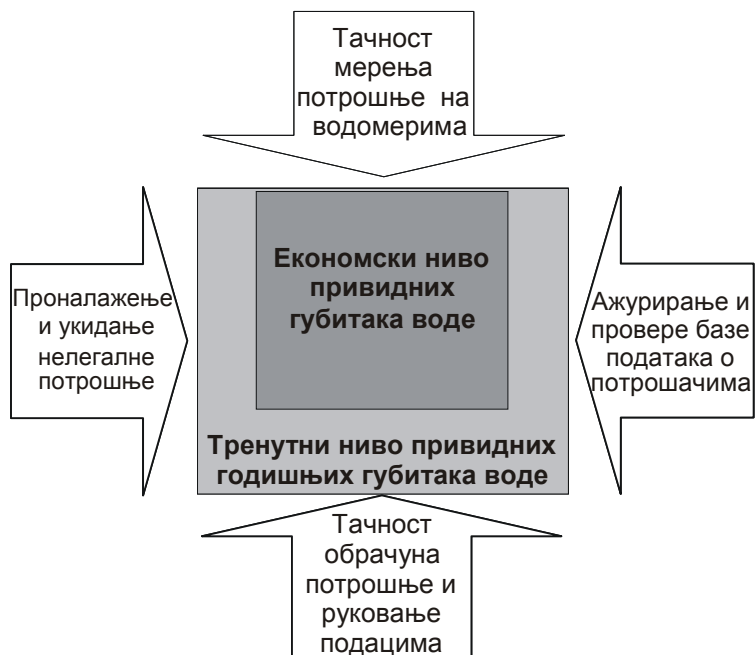
Упркос бројних користи, управљање притиском за контролу губитака воде ретко се примењује у земљама у развоју. Један од разлога је и недостатак алата за предвиђање добити и који би оправдали инвестиције. Веома је важно да се ове планске студије ураде пре реализације пројеката управљања притиском (Ulanicki et al. 2000). Алати и методе за предвиђање економске добити везане за управљање притиском недавно су развијени (Awad et al. 2008; Gomes et al. 2011). Међутим, ове методе не могу директно да се примене у земљама у развоју због ограничења у подацима и др. Још један од разлога што се управљање притиском ретко

примењује у земљама у развоју је и то што конфигурација ВДС најчешће није адекватна за његову ефикасну примену. Недавно развијени алати за зонирање ВДС изгледају као могуће решење овог проблема, мада још нису примењени на реалне ВДС да би се оценила њихова ефикасност (Gomes et al. 2012; Sempewo et al. 2008).

2.3 УПРАВЉАЊЕ ПРИВИДНИМ ГУБИЦИМА ВОДЕ

Привидни губици воде, или комерцијални губици воде, односе се на нетачности мерења у ВДС, нелегално коришћење воде, грешке на водомерима, руковање подацима и грешака везаних за наплату воде (AWWA 2009). Привидни губици воде имају негативна утицај на приходе водоводних предузећа и тачност података о потрошњи воде. Иако су развијени различити алати и методе за процену компоненти стварних губитака воде, још увек је недовољно урађено за процену привидних губитака воде. Према AWWA (2003), контрола привидних губитака воде је још увек у повоју и предстоји још много рада да би се довела у равн са расположивим методама за стварне губитке воде.

На Сл. 2.4 приказане су методе активне контроле привидних губитака воде.



Слика 2.4. Методе активне контроле привидних губитака (Alegre et al. 2006)

Методe активне контроле привидних губитака воде обухватају (Alegre et al. 2006):

- повећање тачности мерења потрошње на водомерима (периодични прегледи и калибрација водомера, замене старих и покварених водомера новим по могућности водомерима веће тачности, правилан избор типа и пречника водомера, и др);
- ажурирање и провере базе података о потрошачима;
- контрола тачности обрачуна потрошње и унапређење система за руковање подацима о потрошњи и наплати воде;
- проналажење и укидање нелегалне потрошње воде

2.3.1 Управљање водомерима

Грешке на водомерима често се сматрају за главни узрок привидних губитака воде. Као и код свих механичких уређаја, тачност водомера опада током времена употребе што узрокује значајне губитке прихода водоводних предузећа. Сврха већине развијених метода је минимизирање губитака прихода услед нетачности водомера код корисника. Бројне студије фокусирале су се на замену водомера на основу њиховог тестирања, економске оптимизације и оперативних истраживачких техника (Allander 1996; Arregui et al. 2003; Arregui et al. 2011; Arregui et al. 2009; Egbars и Tennakoon 2005; Lund 1988; Mutikanga et al. 2011; Noss et al. 1987; Wallace и Wheadon 1986; Yee 1999). У овим студијама примењивана је регресиона анализа и претпостављена је линеарна веза између смањења тачности и старости водомера.

У студијама, спроведеним у САД (Barfuss et al. 2011; Richards et al. 2010), потврђено је да су водомери најмање ефикасни у мерењу веома малих протицаја. Могуће решење овог проблема је уградња конотролера малог протока (енгл. Low Flow Controllers - LFC) или редуктора немереног протока (енгл. Unmeasured Flow Reducer - UFR) (Fantozzi 2009; Fantozzi et al. 2011; Yaniv 2009). У пилот студији у Палерму, Италија употребом LFC остварено је повећање прихода за 9,15% (Fantozzi et al. 2011). У истој студији наведено је да је нерегистровање малих протока, од стране водомера, елиминисано комбинованом стратегијом: економски оправдана замена водомера (нови турбински водомери класе C DN15mm) и LFC.

Избор типа и пречника водомера, за захтевани опсег потрошње воде, од круцијалне је важности за смањење привидних губитака воде (Johnson 2001; Johnson 2003). Нетачност мерења може се смањити интегрисаним правилима и стратегијама управљања водомерима (тип и избор водомера, контрола квалитета, одговарајући избор величине водомера и инсталација, оптимална учестаност контроле и замене водомера) (Arregui et al. 2006; Arregui et al. 2012a; Van Zyl 2011).

Велики потрошачи обично чине мали проценат у односу на укупан број прикључака, али могу значајно да учествују у укупним приходима водоводног предузећа. Чест је случај да су водомери, код таквих корисника, превелики и да пречник није одабран на основу профилисане потрошње и хидрауличких прорачуна. van der Linden (1998) је предложио 5 корака за кориговање пречника великих водомера како би се повећали приходи водоводног предузећа. Привидни губици, настали због предимензионисаних водомера код великих потрошача могу се смањити интегрисаним приступом управљања водомерима (Arregui et al. 2012b).

2.3.2 Обрачун потрошње воде и руковање подацима

Грешке при читавању и руковању подацима настају током читавања водомера (ручно или аутоматски), у току преноса података у систем наплате и архивирања података о потрошњи воде корисника ВДС. Ове грешке могу бити узроковане погрешним читавањем (намерно или случајно), кваром на опреми за аутоматско читавање водомера, погрешно снимљеним подацима од стране оператера наплате и других недостатака везаних за регулативу и обрачун. Минимизирање ових грешака могуће је захваљујуће добро развијеним информационим технологијама, мерним технологијама и процедурама и политиком обрачуна. Многа водоводна предузећа прелазе са ручног читавања водомера на напредну мерну инфраструктуру (нпр. Philadelphia Water Department-USA са преко 40.000 водомера који се читавају даљински путем радио преноса) како би смањили привидне губитке воде који су настали као последица лошег читвања и руковања подацима (AWWA 2009). Системи напредне мерне инфраструктуре са "паметним"

(енгл. smart) водомерима омогућавају и додатну предност - откривање процуривања после водомера.

2.3.3 Процена привидних губитака воде

Као што је већ поменуто, развој методологија за процену привидних губитака није пратио развој методологија за процену стварних (физичких) губитака вода. У Енглеској и Велсу, нпр., проценат становника код којих се мери потрошња воде је још увек низак, и крајем 2006. год. процењен је на 25 % (Thornton et al. 2008). У њиховом случају нема разлога ни за илегалну потрошњу воде, обзиром да се обрачун потрошње воде врши на основу вредности имовине. Уосталом, водна индустрија Велике Британије није прихватила стандардну IWA методологију водног биланса и нетачност мерења чини саставни део фактурисане легалне потрошње воде чиме се умањује вредност NRW . Ово је вероватан разлог зашто је посвећена мања пажња на истраживање компоненти привидних губитака воде.

Контрола привидних губитака у водоводним системима је још увек у повоју, и предстоје бројна истраживања како би се довела у исту равн са расположивим мерама за стварне губитке воде (AWWA 2003). Још увек нису прописане процедуре и смернице за процену привидних губитака у ВДС. Уложен је напор од стране радне групе IWA да се процене ови губици и Thornton и Rizzo (2002) презентовали су неке почетне резултате.

У одсуству адекватних података и одговарајућих методологија, у развијеним земљама често се користе стандардне вредности за прорачун привидних губитака воде (нпр. у Аустралији се рачунају као 1-3% од укупне запремине дотекле воде у ВДС) које теже минималним вредностима за системе којим се добро управља (Lambert 2002). Међутим, ове вредности нису одговарајуће за земље у развоју где су значајне вредности нелегалне потрошње воде и неефикасна политика управљања водомерима и обрачуном потрошње воде. У моделу BENCHLEAK (McKenzie et al. 2002) који је развијен за управљање губицима воде, стандардна вредност за привидне губитке воде износи 20% од укупних губитака воде. Према признању и самих аутора, овај приступ је сувише поједностављен, нереалан и ненаучан. AWWA (2009) препоручује да се за нелегалну потрошњу воде усвоји вредност од 0,25 % од испоручене воде у ВДС.

Стандардне вредности које се користе за прорачун привидних губитака су ниске, и важе за ВДС којим се добро управља. Ове вредности су неодговарајуће за ВДС у земљама у развоју, па чак и у развијеним земљама.

Seago et al. (2004) предложили су поједностављени приступ процени привидних губитака воде за Јужноафричка водоводна предузећа, који је заснован на старости водомера, квалитету воде и квалитативним информацијама (веома низак до веома висок и лош до добар) које обезбеђују предузећа.

Rizzo et al. (2007) предложили су методологију процене привидних губитака воде, базирано на њиховој анализи у пилот зони (20 до 50 прикључака) или ОЗБ. Они су предложили да се прво уклоне сви стварни губици воде из ОЗБ, или да се одреде на основу минималне ноћне потрошње воде. Такође, они предлажу да се прво одреди компонента привидних губитака која се односи на нелегалну потрошњу воде, а да се касније одреде остале компоненте које се односе на грешке читања и грешке наплате воде. Ове две компоненте би се одређивале тако што би се у почетку мерења потрошња воде читавала ручно и подаци упоређивали са постојећим системом наплате. Након тога, потрошња воде би се читавала аутоматски и анализирана се разлика у добијеним резултатима. Аутоматским читавањем водомера елиминисала би се грешке читања водомера као и грешке у систему наплате. Након овога, финално би се одредиле и грешке на водомерима, услед нерегистровања малих протока. Различити су начини за одређивања ове грешке, као што су замена водомерима веће класе тачности или уградња UFR. На овај начин одредила би се запремина воде која се не региструје на водомерима (у неким случајевима примене UFR постигнута је значајно повећање регистроване запремине, око 6 % од испоручене воде). Предложено је и формирање већег броја пилот зона како би резултати могли да се примене на цео ВДС. На крају, предлаже се да се ураде и финансијски прорачуни о исплативости оваквих решења.

Привидни губици воде доводе до осетних губитака прихода водоводних предузећа, и искривљују интегритет података о потрошњи воде потребних за различите управљачке одлуке и инжењерске студије. Према Kingdom et al. (2006), количина воде која се испоручује корисницима ВДС у земљама у развоју, али се

не плаћа због крађе воде, корупције запослених и лоше праксе мерења износи око 30.000 ML/dan. Они су проценили да годишњи губитак прихода, услед привидних губитака воде, износи око 3 милијарде долара, што ограничава финансијску одрживост водоводних предузећа.

2.4 ИНДИКАТОРИ ПЕРФОРМАНСИ У ВОДОВОДНИМ ДИСТРИБУТИВНИМ СИСТЕМИМА

Јавни водовод је од суштинског значаја за заједницу, за јавно здравље и колективну безбедност становништва, као и за економске активности и очување животне средине. Овај сектор карактерише висока вредност имовине, која је изграђена током претходних деценија. Ово тржиште показује и ниску еластичност између потражње и цене (обзиром да је од јавног значаја). Друга важна карактеристика овог тржишта је однос између водоводног предузећа и крајњег корисника, обзиром да је први природни монополиста. Крајњи корисник нема избора куповине. Ове чињенице не дају подстицај водоводном предузећу да повећа ефективност и ефикасност, па се овај значајан недостатак мора минимизирати што је могуће више.

Коришћење исправног система индикатора перформанси, који је широко прихваћен у свету (посебно у развијеним земљама), може играти кључну улогу у овом процесу континуалног стимулисања водоводних предузећа да повећају ефикасност и ефективност и побољшају квалитет услуге. Одређивање перформанси водоводних предузећа са употребом индикатора перформанси омогућава оцену квалитета услуге, ефикасности и ефективности водоводног предузећа, чини транспарентним поређење њихових циљева, обезбеђује поређење између сличних водоводних предузећа и потстиче их да побољшају услуге.

Крајњи циљ сваког система индикатора перформанси је да пружи информације (коректна дефиниција информације могла би бити да су то подаци који могу да се користе за потребе доношења одлуке). Систему индикатора перформанси није циљ само добијање вредности неколико показатеља, већ и приказ свих пратећих елемената (квалитет података, елементи који објашњавају вредност индикатора, елементи који пружају информације о карактеристикама предузећа) који су

потребни да би се донела правилна одлука. Дакле, систем индикатора перформанси обухвата сет индикатора перформанси и података који репрезентују реално стање водоводног система (Alegre et al. 2000, 2006).

Да би се омогућила процена перформанси у стандардним оквирима индикатора перформанси (ИП) IWA је публиковала систем ИП (Alegre et al. 2000, 2006) која је основа за многа поређења перформанси и пројеката упоредне анализе (*benchmarking*) широм света. У оквиру IWA система ИП индикатори су распоређени у 6 главних група: водни ресурси (WR), запослени (Pe), физички (Ph), оперативни (Op), квалитет услуге (QS) и економски и финансијски (Fi). Ове главне групе су даље подељене у подгрупе, а неки од индикатора су разложени на подиндикаторе. Укупно IWA систем ИП има 112 ИП и 58 подиндикатора.

2.4.1 Одређивање перформанси водоводних система и упоредна анализа

Системи одређивања перформанси (енгл. *Performance Assessment Systems - PAS*) користе се за процену до ког су степена управљачки циљеви испуњени и да се оцени општи утицај стратегије управљања. Они се користе у различитим институцијама за мерење перформанси, као што су регулаторна тела (нпр. OFWAT у UK), финансијске институције (нпр. Светска банка), менаџмент предузећа идр.

Задатак мерења и оцена перформанси постиже се добро дефинисаним ИП (Brueck 2005; Crotty 2004). Бројни су индикатори перформанси чији је прорачун везан за компоненте водног биланса, и генерално се могу поделити у финансијске, техничке и индикаторе везане за изворишта водоснабдевања. Најчешће коришћени индикатори за управљање губицима воде су они које је развила IWA (Alegre et al. 2006; Lambert et al. 1999), и усвојила AWWA (AWWA 2003). Ови индикатори су приказани у Таб. 2.3.

BENCH је моћно управљачко средство које се користи за поређење пословних процеса и мера перформанси једног предузећа са најбољом праксом. Иако је BENCH широко примењиван у другим областима, од недавно се интензивно примењује и у водном сектору, што је приказано у бројним публикацијама (Berg 2010; Cabrera Jr et al. 2011; van den Berg и Danilenko 2011). У Холандији водне

компаније су добровољно спровеле BENCH под покровитељством Асоцијације Холандских водоводних предузећа (Association of the Dutch Drinking Water Companies) (De Witte и Marques 2010).

Таб. 2.3 IWA/AWWA индикатори перформанси за губитке воде (AWWA 2003)

Ниво	Водни ресурси	Оперативни	Финансијски
Основни	Неефикасност употребе водних ресурса: стварни губици воде као % дотекле воде у ВДС	Губици воде: запремина/прикључку.годишње	NRW: NRW као проценат дотекле воде у ВДС
Средњи		Стварни губици воде: запремина/прикључку.дан (када је систем под притиском)	
		Привидни губици воде: запремина/прикључку.годишње	
Детаљни	Инфраструктурни индекс губитака воде (ILI)	NRW: вредност NRW као проценат годишњих трошкова рада ВДС	

Циљ BENCH-а је идентификовати такмичарске циљеве који ће учинити да слабе тачке у организацији буду видљиве и да се успоставе мере за њихово побољшање. То значи да основна идеја BENCH-а није сазнање колико други раде боље, већ више како то они то раде боље у одређеним областима.

Постоје различите методе BENCH-а, али се генерално може поделити у две категорије: процесни и метрички BENCH (Berg 2010).

Процесни BENCH је средство за поређење ефикасности процеса и процедура за извршење различитих функција између предузећа која се баве истим послом. Поређење омогућава откривање недостатака и помаже у прилагођавању и усвајању ефикаснијих и ефективнијих процеса и процедура. Процесни BENCH иде више у детаље анализирајући поједине радне активности водоводних предузећа (нпр. читавање водомера, замена водомера, третман воде за пиће, уградња цеви, инспекција водоводне мреже, управљање физичким губицима воде идр.).

У метричком BENCH-у користе се емпиријске процедуре за одређивање мере перформансе и идентификовање недостатака. Он се фокусира на оцену укупне перформансе, односно успешности предузећа.

Са аспекта управљања губицима воде спроведене су бројне BENCH студије у различитим земљама, укључујући Канаду (McCormack 2005), Јужну Африку (Seago et al. 2004), Нови Зеланд (McKenzie и Lambert 2008), Аустралију (Carpenter et al. 2003), Аустрију (Koelbl et al. 2009) и интернационалне (Lambert 2002; McKenzie et al. 2007).

2.4.2 Начин исказивања губитака воде

У прорачунима водног биланса и економским анализама губитке воде увек треба изражавати као количину (нпр. m^3/god) или у новчаној вредности, према актуелној цени воде. Међутим, у техничким анализама и поређењима јавља се потреба за поређењем рада и ефикасности различитих водоводних система. Водоводни системи се разликују по величини, типу (урбани и сеоски) и низу других показатеља па је за изражавање годишњих губитака воде потребно изабрати погодан именитељ како би се добили подаци који се могу поредити. Постоји велики број показатеља рада водоводних система, али у наставку ће бити приказани само најчешће коришћени показатељи који се односе на губитке воде.

Изражавање губитака у процентима од захваћене воде – стварни, привидни или укупни губици воде исказани су у % у односу на запремину воде које је унета у у систем. Овај показатељ је дуго присутан у пракси, и иако на изглед јасан и логичан у ствари је неадекватан, јер не садржи у себи податак о запремини изгубљене воде и не обухвата утицај кључних карактеристика дистрибуционог система, као што су дужина цеви, број прикључака, притисак и учесталост јављања пукотина.

Изражавање губитака воде по километру мреже, становнику или прикључку се добија када се стварни, привидни или укупни губици воде поделе са укупном дужином цевовода, бројем становника или бројем прикључака у систему. На овај начин не води се рачуна о висини притиска у систему али се у пракси показао као применљив и погодан за упоређивање губитака у различитим водоводним

системима. Тренутно је најчешће у употреби изражавање губитака воде у јединицама $m^3/km.dan$, $L/stan.dan$ и $L/priklj.dan$.

Губитке воде из дистрибутивног водоводног система је немогуће у потпуности елиминисати. Чак и ако нема нелегалне потрошње воде из водоводног система, без обзира на квалитет изведених радова и цевног материјала, редовно одржавање објеката и опреме, постојање система мерења и управљања водоводом, увек ће се јављати оштећења и пукотине кроз које ће нека количина воде процуривати из система. На основу података из великог броја водовода у свету и на основу података бројних истраживања, IWA је предложила следећу једначину за одређивање неизбежних годишњих стварних губитака воде (*Unavoidable Annual Real Losses – UARL*) (Alegre et al. 2006; Lambert et al. 1999):

$$UARL = (18 \times L_m + 0,8 \times N_{conn} + 25 \times L_{conn}) \times P \quad (2.7)$$

где су: *UARL* - неизбежни годишњи стварни губици воде изражени у литрима на дан (L/dan), L_m – укупна дужина дистрибутивне мреже (km), N_{conn} – број прикључака, L_{conn} – дужина прикључних цеви од прикључка на уличну водоводну цев до водомера (km), P – просечна висина радног притиска (Average Zone Pressure - *AZP*) у систему (m).

Из претходне једначине може се закључити:

- реални губици воде су директно пропорционални притиску;
- губици воде по јединици дужине су знатно већи на цевима прикључака него на цевима дистрибутивне мреже;
- процуривања и преливања из резервоара се правилном изградњом објеката и управљањем системом могу избећи тако да ове количине воде не улазе у неизбежне губитке воде.

Стандардне вредности за прорачун *UARL* приказане су у Таб. 2.4 (Lambert et al. 1999).

Међутим, једначина (2.7) за прорачун *UARL* има своја ограничења:

- Liemberger и McKenzie (2005) сматрају да минимални притисак мора да буде већи од 25 m и да број прикључака мора да буде већи од 3.000;

- Lambert (2009) сматра да треба да буде испуњен услов: $N_{conn} + 20 \times Lm > 3.000$, ограничење за величину система је комбинација броја прикључака N_{conn} и дужине цеви Lm (km)

Таб. 2.4 Стандардне јединичне вредности за прорачун UARL (Lambert et al. 1999)

Компонента инфраструктуре	Базни губици воде	Регистровани губици	Нерегистровани губици	Укупно UARL
Цеви	20 L/km.h	0,124 puk/km.god 12 m ³ /h и трајања 3 дана	0,006 puk/km.god 6 m ³ /h и трајања 50 дана	18L/km.dan.m притиска
Прикључне цеви до водомера	1,25 L/priklj.h	2,25/1.000 priklj.god. 1,6 m ³ /h и трајања 8 дана	0,75/1000 priklj.god. 1,6 m ³ /h и трајања 100 дана	0,8L/km.dan.m притиска
Прикључне цеви после водомера	0,5 L/priklj.h	1,5/1.000 priklj.god. 1,6 m ³ /h и трајања 9 дана	0, 5/1000 priklj.god. 1,6 m ³ /h и трајања 101 дан	25L/km.dan.m притиска
* Сви специфицирани протоци су за просечан притисак од 50 m				

У оквиру анализе биланса воде, вредности које се добију за стварне губитке воде представљају постојећи ниво стварних (*Current Annual Real Losses – CARL*) губитака у разматраном временском периоду.

IWA је препоручила нови показатељ стварних губитака под називом инфраструктурни индекс губитака (*Infrastructure Leakage Index – ILI*), који се израчунава применом једначине (2.8) (Alegre et al. 2006):

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (2.8)$$

Обе величине морају бити исказане у истим јединицама, тако да је величина *ILI* бездимензионални број већи од јединице.

Како *UARL* зависи од дужине цевовода и прикључака, броја прикључака и просечне висине радног притиска у систему, то овај показатељ укључује утицај ових параметара на показатељ *ILI*. Досадашња искуства говоре да вредности *ILI* могу варирати у широким границама. Индекс *ILI* је у ствари мера успешности управљања стварним губицима воде у ВДС при постојећем радном притиску.

У сваком случају, коришћење било ког показатеља рада и губитака има свој пуни смисао само ако водоводно предузеће редовно, из године у годину, прати биланс система, унапређује поузданост процене компоненти биланса воде и ако током времена показатељи губитака воде имају све боље вредности.

Аналогно прорачуну индекса *ILI*, предложен је нови индекс привидних губитака воде (*Apparent Leacage Index - ALI*) (Rizzo et al. 2007; Thornton et al. 2008). Индекс *ALI* се дефинише као однос постојећег нивоа годишњих привидних губитака воде (*Current Annual Apparent Losses – CAAL*) и неизбежних годишњих привидних губитака воде (*Unavoidable Annual Apparent Losses – UAAL*). У одсуству поузданог *UAAL* препоручена је референтна вредност од 5% од продате воде (Rizzo et al. 2007).

Високе вредности привидних губитака воде, изражених у процентима од продате воде (*RW*) регистроване су у бројним студијама: 33% у Лусаки, Замбија (Sharma и Chinokoro 2010); 26,5% Манила, Филипини (Dimaano и Jamora 2010). У Филадельфији, САД где се мерења потрошње воде врше код свих потрошача привидни губици воде су процењени да износе 9,6% од продате воде (AWWA 2009).

2.5 АНАЛИЗА НЕОДРЕЂЕНОСТИ ВОДНОГ БИЛАНСА

Тачност и поузданост прорачуна компоненти водног биланса, као и индикатора перформанси (ИП), зависи од тачности и поузданости мерених података. Да би испунили високе стандарде квалитета у поређењу ИП неопходно је познавање тачности и неодређености података. Подаци велике неодређености могу да наведу на погрешне закључке и самим тим до погрешних управљачких одлука. Квалитет улазних података треба проценити у смислу поузданости извора и тачности података (Alegre et al. 2006).

Пракса је показала да, генерално, извори који достављају податаке немају детаљне информације о поузданости и тачности, али да могу да обезбеде исправну претпоставку уколико се усвоје широки опсежи. Тестирање система IWA ИП

показало је да је изводљива употреба четири категорије тачности података (Таб. 2.5) и три њихове поузданости (Таб. 2.6).

Таб. 2.5 Препоручене границе тачности (Alegre et al. 2006)

Тачност података	Границе тачности	Неодређеност
A	0 - 5 %	мања или једнако $\pm 5\%$
B	5 - 20 %	већа од $\pm 5\%$, али мања или једнако $\pm 20\%$
C	20 - 50%	већа од $\pm 20\%$, али мања или једнако $\pm 50\%$
D	> 50 %	већа од $\pm 50\%$

Таб. 2.6 Препоручене границе за поузданост извора података (Alegre et al. 2006)

Граница поузданости	Дефиниција
+++	изузетно поуздан извор података: подаци засновани на регистрованим мерењима, процедурама, истраживањима или анализама које су прописно документоване и признате као најбоље расположиве методе процене.
++	релативно поуздан извор података: лошије од +++ али боље од +
+	непоуздан извор података: подаци засновани на екстраполацији недовољно поузданих узорака или претпоставки

Постоје различите методе за анализу неодређености и ни за један се не може тврдити да је савршен. Такође, треба напоменути да не постоји методологија која може дати тачне резултате на основу нетачних улазних података. Bargiela и Hainsworth (1989) су користили метод Monte Carlo симулација како би проценили неодређеност притиска и протока у водоводним ситемима. Mauris et al. (2001) су користили теорију фази скупа да би изразили неодређеност у мерењу и закључили да је приступ у складу са ISO стандардима. Sattary et al. (2002) користили су ISO смернице за изражавање неодређености мерења за процену неодређености прорачуна водног биланса. Herrero et al. (2003) такође су користили ISO методологију за пропагацију неодређености за процену утицаја неодређености улазних променљивих на вредност ИП. ISO методологија, која укључује и закон пропагације неодређености, данас је прихваћена као стандардна метода за процену неодређености у мерењима (ISO/IEC 2008).

2.5.1 Грешке и неодређености

Анализа грешака и неодређености обухвата проучавање и процену неодређености, обзиром да ни једно мерење, ма колико се пажљиво изводи, није без неодређености. Наравно, потребно је и квантификовати неодређеност, и на основу добијене вредности предузети мере за њено минимизирање.

Мерна неодређеност дефинисана је као параметар придружен резултату мерења који карактерише дисперзију вредности мерене величине (ISO:2008).

Приликом било каквог мерења могуће је направити грешку. Да би се та грешка дефинисала мора се препознати њена природа или тип, а затим и величина. Грешка је мера одступања измерене вредности од праве вредности. По природи грешка може бити апсолутна и релативна, а према типу систематска и случајна.

Апсолутна грешка је бројна вредност и у исто време физичка величина која описује разлику између праве и измерене вредности изражена у јединицама у којима је изражена мерена вредност. Релативна грешка је бројна вредност која се исказује као удео апсолутне грешке у величини стварне вредности или средње вредности више мерења.

Систематска грешка се не може сврстати у групу бројних вредности које описују величину грешке, већ у специфичан тип грешке који се може установити, а који систематски мења вредност одређеног сета мерења за неку одређену вредност, и она увек има исти знак и величину. Случајне грешке су увек присутне при било каквом мерењу. Код ових грешака се не може установити величина нити предзнак у коме ће се развијати. Иако непредвидиве случајне грешке имају једну добру особину, а то је да се веома добро уклапају у статистичка правила. Величина ових грешака умањује се само повећаним бројем мерења исте величине.

За неодређеност мерења постоји више разлога. То могу бити индивидуални разлози – они који зависе од оператера који мери и технички разлози који зависе од инструмента којим се мери. Први су променљиви, стицањем искуства оператер постаје све сигурнији у раду и тиме утиче на смањење неодређености, али са променом оператера неодређеност постаје поново велика. Други или технички

разлози су везани за перформансе уређаја и стабилност или репродуктивност услова рада.

Због неодређености при мерењу одређена величина се обично изражава као величина која се налази у неком интервалу мерних вредности.

Промашено мерење или омашка при мерењу је посебан вид грешке који се може препознати услед свог значајног одступања од праве вредности или средње вредности више мерења. Таквим грешкама треба придавати посебну пажњу јер својим вредностима могу знатно да искваре средњу вредност више мерења и тиме да проузрокују погрешно закључивање или неке друге нежељене последице. У случају прецизних мерења овакву вредност је лако препознати, али непрецизна мерења онемогућавају препознавање да ли је дато мерење заиста промашено или је настало као последица непрецизности. За овакву врсту проблематичних резултата мерења постоји посебан поступак њиховог препознавања и одбацивања.

Када се подаци користе у алгебарским операцијама за прорачун ИП, неодређеност резултата зависи од неодређености улазних података, и од круцијалне важности је да се она квантификује.

Неодређеност се може исказати димензионално, преко апсолутне неодређености, следећом једначином (Продановић, 2010):

$$\varphi = \varphi_{NP} \pm \delta\varphi \quad (2.9)$$

где је φ величина која се мери, φ_{NP} највероватнија процена мерне величине, а $\delta\varphi$ апсолутна неодређеност.

Бездимензионално, неодређеност се приказује помоћу релативне неодређености, једначином:

$$\varphi = \varphi_{NP} \cdot \left(1 \pm \frac{\delta\varphi}{|\varphi_{NP}|} \right) \quad (2.10)$$

где је $[(\delta\varphi)/(|\varphi_{NP}|)]$ релативна неодређеност. Релативна неодређеност се најчешће изражава у процентима.

Статистички гледано, неодређеност се исказује преко интервала поверења (вероватноћа да је тачна вредност у одређеном интервалу). Нпр., интервал поверења од 95% одговара претпоставци да је вероватноћа да је тачна вредност ван опсега $[\varphi - \delta\varphi; \varphi + \delta\varphi]$ мања од 5%.

Неодређеност је генерално проузрокована бројном комбинацијом фактора са случајно дистрибуираним ефектима. У том случају, разлика између тачне и оцењене (мерене) вредности је променљива са нормалном расподелом. Неодређеност може да се изрази и преко кореспондирајуће стандардне девијације (σ). У пракси, најчешћа мера неодређености је:

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

Математичка функција Гаусове нормалне расподела (f_g), једначина (2.11), описује учесталост којом се јавља нека девијација (одступање од праве вредности):

$$f_g(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\left[\frac{(\varphi - \varphi_{NP})^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (2.11)$$

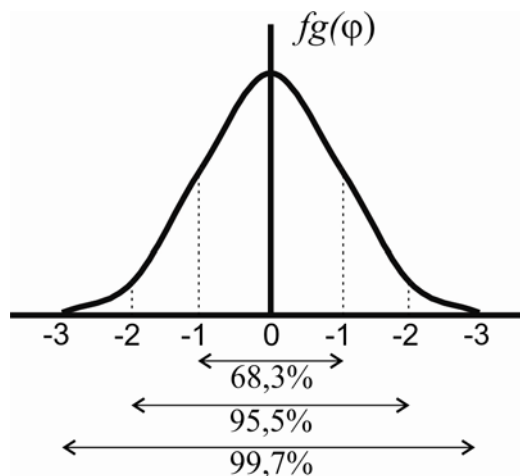
где су: $f_g(\varphi)$ вредност функције на y оси за дату девијацију $(\varphi - \varphi_{NP})$, φ мерена вредност, σ стандардна девијација.

Гаусову нормалну расподелу карактеришу:

- Средња вредност (аритметичка средина свих података)
- Приближно половина података је већа него, и половина мања, од средине
- Већа разлика од средине, значи мању вероватноћу
- Стандардна девијација – мера дисперзије око средње вредности.

Типична крива расподеле је приказана на наредној слици (Сл. 2.4).

Стандардна девијација утиче на ширину звона Гаусове криве, односно већа стандардна девијација значи да су одступања од средње вредности велика.



Сл. 2.4 Крива Гаусове нормалне расподеле

2.5.1.1 Пропагација неодређености

За прорачун ИП користе се разне променљиве. Јасно да се ни један податак не може посматрати као тачна вредност – сви они су “најбоље процењени” у мањој или већој мери. Консеквентно, питање које се често поставља је “Колико је тачан прорачун *NRW*, привидних губитака воде, стварних губитака воде и ИП?” Често се нека величина φ мери посредно, мерењем других величина X_1, \dots, X_N , преко функције $\varphi=f(X_1, \dots, X_N)$.

Да би се одредила укупна 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 мерача протока којим се мери доток воде у систем, тако и водомера којим се мери потрошња воде корисника. Такође, није могуће тачно 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 УК (Sattary et al. 2002).

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 (2.12):

$$\text{var}[f_k(x_1, \dots, x_n)] = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f_k(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} \right)^2 \text{var}[x_i] + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{i-1} \frac{\partial f_k(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} \frac{\partial f_k(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_j} \text{cov}[x_i, x_j] \quad (2.12)$$

где је $f_k(x_1, \dots, x_n)$ резултат модела, $\text{var}[f_k(x_1, \dots, x_n)]$ означава варијансу излазне променљиве, n је број улазних променљивих, $\text{var}[x_i]$ варијанса улаза x_i , и $\text{cov}[x_i, x_j]$ представља коваријансу између улаза x_i и x_j ($\text{cov}[x_i, x_j] = \sigma_{x_i x_j}$). 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 (2.12) 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.

Укупну неодређеност произвољне функције f могуће је релативно лако одредити када су у питању рачунске операције као што су сабирање, одузимање, множење и дељење.

Међутим, за неке комплексније прорачуне, вероватну неодређеност није могуће аналитички одредити, па је потребно применити неке друге методе. Једна од најчешће коришћених метода, за ову врсту прорачуна, је Monte Carlo метода.

2.5.1.2 Monte Carlo

Monte Carlo (MC) метода је врста рачунских алгоритама који се заснивају на понављању узимања узорка случајних променљивих, и користи се за симулацију физичких и математичких система (Hammersley и Handscomb, 1964). Да би симулација дала поуздане резултате, број симулационих корака мора бити довољно велик. Предност ове методе је у томе што омогућава добијање резултата за излазну величину без обзира на облик функције густине вероватноће (ФГВ) улазних величина, посебно код сложених модела мерења када је аналитички (детерминистички) приступ веома обиман (Вучијак и Маринковић, 2008).

Прорачун неодређености сложене функције реализује се имитационим моделирањем или симулирањем, помоћу случајних бројева. Након сваког понављања поступка, у резултату се добија по једна реализација проучаване појаве. Симулација се изводи одређени броја пута, а скуп добијених реализација представља статистички материјал, који се статистичким методама обрађује и интерпретира.

Поступак одређивања процене вредности излазне величине методом MC, њене стандардне неодређености и интервала обухвата вредности излазне величине, састоји се од следећих корака у случају некорелисаних улазних величина (Вучијак и Маринковић, 2008):

1. дефиниција излазне величине Y ,
2. одређивање улазних величина X_1, \dots, X_N од којих зависи излазна величина,
3. развој модела који показује зависност излазне величине од улазних величина,
4. избор броја понављања M ,
5. приписивање вредностима улазних величина одговарајуће функције густине вероватноће $g(\xi)$, где је ξ случајна променљива која описује могуће вредности X ,
6. генерисање M вектора N улазних величина узорковањем из одговарајућих ФГВ. Да би то било реализовано најчешће се користи

функција расподеле $G(\xi) = \int_{-\infty}^{\xi} g(z) dz$ из које се инверзном

трансформационом методом процењује вредност случајне улазне променљиве на основу $\xi = G^{-1}(\eta)$, где је η случајан број од 0 до 1,

7. на основу модела добије се M вредности излазне величине,
8. добијене вредности служе за израчунавање ФГВ излазне величине,
9. из ФГВ за вредност излазне величине одреди се њено математичко очекивање (које представља процену вредности излазне величине), стандардна девијација и интервал обухвата који садржи вредност излазне величине са одређеном вероватноћом.

Квалитет резултата МС симулације зависи од броја симулација и генератора случајних бројева који се користе. Број симулација се искуствено одређује. Критеријум завршетка прорачуна је да се вредности статистика генерисаног низа са даљим повећањем броја симулационих корака битно не мењају. Генератори случајних бројева које треба користити су Вох-Muller за Гаусову расподелу и Hill-Wichman за правоугаону расподелу (Вучијак и Маринковић, 2008).

2.6 РАЗВОЈ МЕТОДА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ПОУЗДАНОСТИ ИНДИКАТОРА ПЕРФОРМАНСИ, ОДРЕЂИВАЊЕ ПРИВИДНИХ ГУБИТАКА И ПОБОЉШАЊЕ ИНДИКАТОРА ПЕРФОРМАНСИ

Као што је већ поменуто, неодређеност прорачуна компоненти водног биланса, као и индикатора перформанси, зависи од тачности и поузданости улазних података. Препоручени IWA систем дефинише доста широке границе за тачност и поузданост података. У овој дисертацији биће дефинисани изрази којима би се аналитички квантификовала неодређеност ИП. Применом ISO методологије и FOSM методе пропагације неодређености у којој се неодређеност параметра модела преноси кроз модел користећи апроксимацију модела Тејлоровим редом око средње вредности сваког улазног параметра (једначина (2.12)) за одређивање пропагације неодређености, биће изведене једначине за неодређеност компоненти водног биланса и ИП. Такође, у раду ће се приказати које активности треба предузети како би се повећала поузданост ИП. Пратиће се следећи ИП:

- индекс *ILI*, једначина (2.8), који представља однос стварних и неизбежних губитака воде;
- неизбежни губици воде *UARL* (једначина (2.7));
- индекс ефикасности коришћења водних ресурса, *WRI* (%), који представља однос запремина стварних губитака воде и дотекле воде у ОЗБ или ВДС;
- губици воде по прикључку, *Op23* (L/priklj.dan), који представља однос запремине укупних губитака воде и броја прикључака у ОЗБ или ВДС;
- губици воде по дужини ценовода, *Op24* (L/km.dan), који представља однос запремине укупних губитака воде и дужине дистрибутивне водоводне мреже у ОЗБ или ВДС;
- привидни губици по запремини воде која дотиче у ВДС, *Op26* (%), који представља однос запремина привидних губитака воде и дотекле воде у ОЗБ или ВДС;
- стварни губици воде по прикључку, *Op27* (L/priklj.dan), који представља однос запремине стварних губитака воде и броја прикључака у ОЗБ или ВДС;
- губици воде по дужини ценовода, *Op28* (L/km.dan), који представља однос запремине стварних губитака воде и дужине дистрибутивне водоводне мреже у ОЗБ или ВДС;
- индекс запремине воде која не доноси приход, *Fi47* (%), који представља однос запремина воде која не доноси приход и дотекле воде у ОЗБ или ВДС.

У прегледу литературе је напоменуто да развој методологија за процену привидних губитака није пратио развој методологија за процену стварних (физичких) губитака вода, и да је он у великом заостатку. Разлог можда лежи у чињеници да оваква врста губитака није типична за водоводна предузећа у развијеним земљама, која су предузела мере за њихово минимизирање. У неразвијеним земљама је, међутим, ова врста губитака значајна. Због тога је у овој дисертацији развијена методологија за њихово одређивање. Методологија ће бити примењена на конкретном случају да би се анализирао њена употребљивост.

У раду ће бити развијена и методологија за побољшање ИП који се односе на стварне губитке воде. Управљање, односно контролисано смањење притиска, је једино проактивно и економично средство којим се могу смањити цурења воде из цевовода (Savic и Walters 1995; Ulanicki et al. 2000) и од суштинског значаја за ефикасну контролу губитака воде (Fanner et al. 2007; Thornton et al. 2008). Због тога развијена методологија ће проценити смањење укупних потреба за водом у ОЗБ или ВДС, смањење стварних губитака као и потрошње воде услед смањења притиска.

3 СМАЊЕЊЕ НЕОДРЕЂЕНОСТИ ВОДНОГ БИЛАНСА И ИНДИКАТОРА ПЕРФОРМАНСИ

Крајњи циљ сваког система индикатора перформанси је да пружи информације, односно податке који могу да се користе за потребе доношења одлуке. Систем индикатора перформанси нема за циљ само добијање вредности неколико показатеља, већ и приказ свих пратећих елемената који су потребни да би се донела правилна одлука (квалитет података, елементи који објашњавају вредност индикатора, елементи који пружају информације о карактеристикама предузећа). Дакле, систем ИП обухвата сет индикатора перформанси и података који репрезентују реално стање водоводног система.

Сви прорачуни, везани за водни биланс и индексе перформанси који из њега произилазе, укључују грешке и неодређеност. Њиховом квантификацијом омогућава се водоводном предузећу да одреди приоритете где треба концентрисати активности контроле квалитета података како би се побољшала поузданост прорачуна водног биланса и ИП, јер само на основу поузданих ИП могу да се доносе рационалне управљачке одлуке.

Из тих разлога у наредним поглављима биће приказана методологија за побољшање поузданости одређивања компоненти водног биланса и индикатора перформанси који из њега произилазе. Смањењем неодређености појединих компоненти водног биланса повећава се поузданост израчунатих ИП. Међутим, треба напоменути да предузете активности не доводе и до побољшања вредности ИП, јер за то морају да предузму друге мере. Само на основу поузданих

индикатора перформанси могуће је донети исправне управљачке одлуке за њихово побољшање, односно за повећање ефективности и ефикасности рада ВДС.

У првом кораку утврђују се основне компоненте биланса воде (приступ одозго на доле): доток воде у дистрибутивни водоводни систем и легална фактурисана потрошња воде, на основу којих се процењује количина воде која не доноси приход. Међутим, 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 индикаторе перформансе, па на основу добијених вредности није могуће донети исправне управљачке одлуке.

Такође, треба напоменути да развој методологија за процену привидних губитака није пратио развој методологија за процену стварних (физичких) губитака вода, и да је он у великом заостатку.

3.1 СМАЊЕЊЕ НЕОДРЕЂЕНОСТИ УЛАЗНИХ ПОДАТАКА И ПРИВИДНИХ ГУБИТАКА ВОДЕ

У овом поглављу приказаће се методологија смањења неодређености улазних података, односно компоненти водног биланса и ИП који из њега проистичу. Такође, приказаће се и методологија за одређивање привидних губитака воде, обзиром да још не постоји општеприхваћена метода. Наиме, методологија омогућава одређивање укупне стварне потрошње воде у ВДС, па се њеним поређењем са фактурисаном потрошњом воде може одредити вредност привидних губитака воде.

Методологија представља комбинацију, већ поменутих, приступа "одозго на доле" и "одоздо на горе" и састоји се из следећих корака:

1. Анализа постојећих подлога и расположивих података 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 ИП који из њега проистичу, као и неодређеност улазних података и њихова пропација.
2. Уградња мерача протока велике поузданости на свим извориштима ВДС-а, уколико не постоје. Уколико постоје, калибришу се и разматра

евентуална замена мерачима веће тачности. Врше се мерења, прерачунавају компоненте водног биланса и вредности ИП.

3. Пројектовање базе података и ГИС-а, како објеката ВДС тако и потрошача, укључујући и софтвер за наплату воде.
4. Евидентирање и лоцирање свих потрошача ВДС-а 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.
5. Очитавање водомера током периода од годину дана и уношење у базу, анализа потрошње воде свих категорија потрошача. Анализира се водни биланс и процењују вредности ИП.
6. Детекција и евидентирање свих објеката ВДС-а (пречник, дужина и врста цевног материјала, дужина прикључних цеви и др.) и уношење у ГИС. Прерачунавају се ИП који зависе од ових физичких величина.

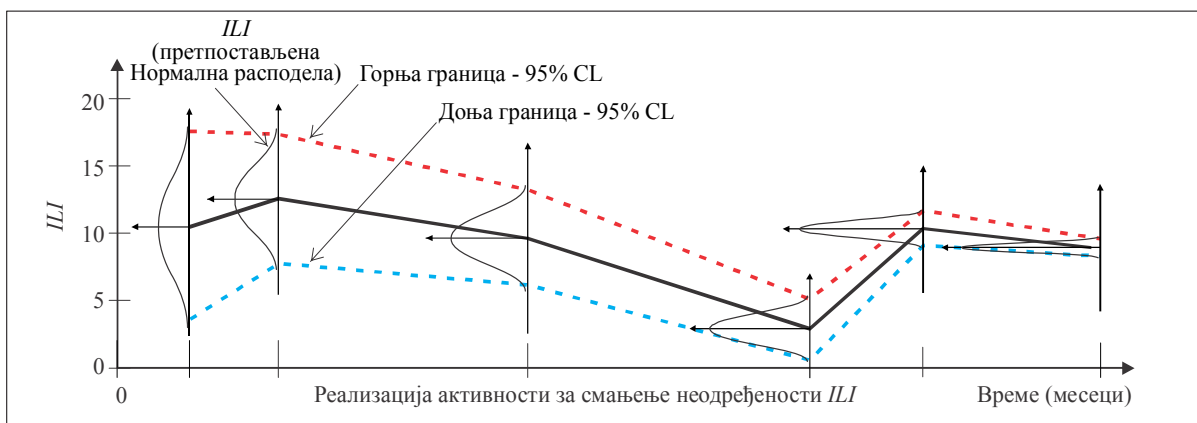
Прорачуни неких ИП, који проистичу из водног биланса, захтевају и поуздано познавање података о објектима ВДС. Упоредо са смањењем неодређености компоненти водног биланса неопходно је и извршити детекцију свих цеви ВДС и унети их у ГИС, не само због прорачуна ИП већ и за потребе израде математичког модела ВДС и његове калибрације. Ово је нарочито важно, обзиром да један од важнијих индекса ILI , између осталог, зависи и од $UARL$, а вредност индекса $UARL$ зависи од дужине дистрибутивних цевовода, броја прикључака, дужине прикључних цеви и директно је пропорционална просечном притиску P .

7. 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 свих категорија потрошача на нивоу средње годишње потрошње воде. 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-а и прерачунавају вредности ИП.
8. На основу калибрисаног математичког модела и процедура за формирање ОЗБ (Иветић et al., 2008), ВДС се дели у више ОЗБ-а (могу

бити сталне или повремене) и одређују мерна места протока и притиска за потребе анализе губитака воде применом методе минималне ноћне потрошње воде, и врше мерења. На основу анализе потрошње воде одређују се корисници система код којих се током ноћи мери њихова потрошња. Мерења се спроводе у периоду средње годишње потрошње воде у ВДС.

9. На основу мерења протока и притиска по ОЗБ врши се верификација калибрисаног математичког модела, и одређују стварни и привидни губици воде по ОЗБ и за цео ВДС. На основу добијених резултата врши се прорачун компоненти водног биланса и вредности ИП.
10. На основу резултата методе минималне ноћне потрошње могуће је одредити и "ноћни *ILI*", који представља однос ноћних стварних губитака воде и *UARL* (за прорачун *UARL* користи се вредност ноћног просечног притиска у ОЗБ). Ова вредност не би требало значајније да се разликује од индекса *ILI* добијеног на основу годишњег водног биланса (Lambert и Taylor 2010).
11. Током ових прорачуна врши се и пропација неодређености улазних података, односно рачуна се неодређеност коначних резултата, како компоненти водног биланса, тако и индикатора перформанси.

На наредној слици (Сл. 3.1) шематски је приказан утицај појединих фаза на смањење неодређености компоненти водног биланса и ИП.



Сл. 3.1 Промена неодређености индекса *ILI* након спровођења активности 1-7

Предложена методологија служи и за верификацију годишњег водног биланса, одређеног приступом одозго на доле. Такође, ова методологија омогућава да се одреде стварни (физички) губици воде, а онда на основу регистрованог дотока у ВДС или ОЗБ, за време средње годишње потрошње воде у систему, и укупна (стварна) средња годишња потрошња воде. Упоредивањем израчунате стварне потрошње и фактурисане потрошње воде из софтвера за наплату могуће је проценити колики су привидни губици воде. Ова методологија обрачунава и неодређеност компоненти водног биланса и ИП, на основу неодређености улазних података и њене пропагације.

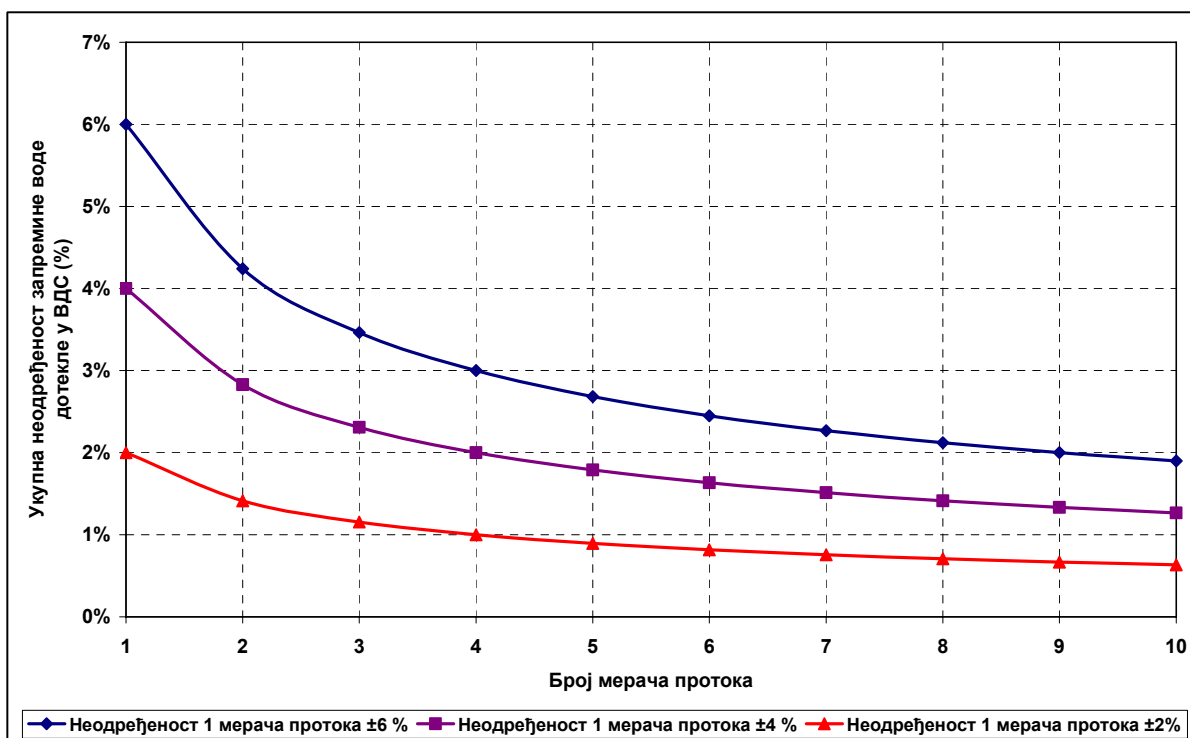
Треба напоменути да се наведеним акцијама само побољшава поузданост ИП, а не и њихова вредност. Вредност ИП, након спроведених активности, може чак да има и лошију вредност у односу на почетну.

У наредним поглављима биће дат детаљнији приказ неких од наведених активности.

3.1.1 Уградња (замена) главних мерача протока на извориштима ВДС-а

Уколико не постоје главни мерачи протока којим се региструје запремина воде која је дотекла у ВДС и запремина воде која је евентуално испоручена неком другом ВДС-у, онда је то апсолутно приоритетна активност. Без главних мерача протока није могуће направити било какву смислену процену компоненти водног биланса. Обзиром да запремина дотекле воде у ВДС има највећу вредност од свих компоненти водног биланса, од изузетне је важности да прецизност главних мерача протока буде велика, односно да неодређеност ове запремине буде што мања (нпр. мања од $\pm 2\%$, при интервалу поверења од 95%). Обзиром на пропагацију 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 нарочито значајно уколико постоји само једно извориште водоснабдевања. При већем броју изворишта укупна неодређеност запремине воде која је дотекла у ВДС се смањује, што се може видети на наредној слици 3.2 (претпоставка је да сви мерачи протока региструју сличну запремину воде). У већим системима са једним извориштем, инсталацију два мерача у серији треба

посматрати као стратегију за смањење неодређености у прорачуним водног биланса (Lambert и Taylor 2010).



Сл. 3.2 Неодређеност запремине воде дотекле у ВДС

Уколико у ВДС-у постоје главни мерачи протока неопходно је одредити њихову поузданост, односно извршити калибрацију. Ако постоји само једно извориште водоснабдевања са само једним мерачем протока, онда његову тачност треба проверавати и калибрисати редовно.

Пошто је телеметрија (SCADA) још један потенцијални извор грешке, сви главни мерачи протока требало би да имају на лицу места кумулативни регистар (бројач) који би се користио за водни биланс или проверу SCADA система (података) (Lambert и Taylor 2010).

У ВДС-у где постоји више главних мерача протока, укупна неодређеност запремине дотекле воде вероватно ће бити мања, пошто се претпоставља да неће сви мерачи протока регистровати мањи проток од стварног, односно већи. Ако, на пример, сви главни мерачи протока региструју сличну запремину воде (Сл. 3.2), укупна неодређеност је неодређеност једног мерача протока подељена са

квадратним кореном укупног броја мерача. Међутим, ако запремине воде које региструју мерачи протока нису сличне, смањење неодређености неће бити тако велико као што је приказано на Сл. 3.2. Ако има више мерача протока и сваки региструје различиту запремину воде и имају различиту неодређеност, приоритетно треба проверити прво мераче који имају највећу вредност производа регистроване запремине и % неодређености.

3.1.2 Евидентирање и лоцирање потрошача у ВДС-у, обрачун потрошње 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). Процена неодређености легалне фактурисане потрошње воде различитих категорија потрошача је од изузетне важности за поузданост прорачуна. Да би се смањила неодређеност ове компоненте неопходно је успоставити поуздану базу података потрошача и наплате, што укључује и евидентирање свих потрошача на терену (и код којих се мери потрошња преко водомера и код којих се паушално фактурише потрошња воде) и уношење података у базу и ГИС. Уколико база већ постоји, треба проверити њену поузданост, и по потреби је поправити. Смањивање неодређености ове компоненте водног биланса обухвата и анализу грешака у обради и руковању подацима о потрошњи воде. Током теренског рада могуће је открити и нелегалне потрошаче, неисправне водомере и неовлашћено подешавање водомера. Такође, неопходно је и анализирати и потрошаче који су имплицитно овлашћени да захвате воду из ВДС иако се та потрошња не мери (гашење пожара, прање улица, испирање цеви водовода и канализације и др.).

У ВДС-има увек постоје водомери који су се заглавили, оштетили и др. па из тих разлога мора да се процењује потрошња воде. Уколико се процена потрошње воде становништва врши без мерења преко водомера, она може да доведе до значајне грешке не само због стварне потрошње воде корисника већ и због бројних дуготрајних места процуривања на прикључним цевима. Из тих разлога у ВДС у којим се потрошња воде корисника не мери преко водомеа пожељно је да се процена стварних губитака воде утврди преко мерења минималне ноћне потрошње воде. У ВДС код којих се не мери потрошња воде становништва преко

водомера, процена потрошње воде је доминантни извор грешке, и може бити чак и већа од неодређености главних мерача протока.

Већина постојећих система наплате нису пројектовани за преузимање података за потребе водног биланса, и истраживања обично идентификују неколико потенцијалних извора „административних“ грешака. Потенцијално најозбиљнија грешка је покушај да се израчуна мерена легална потрошња, која се стварно догодила између два дискретна датума на почетку и на крају „водне године“. Обим ове грешке, познате као подешавање заостајања мерења (‘Meter Lag Adjustment’ - MLA), зависиће од бројних фактора, као што су:

- учестаност читања водомера (колико пута годишње),
- почетни и крајњи датум циклуса читавања водомера у односу на „водну годину“,
- да ли постоје рестрикције потрошње воде у сушном периоду на почетку или крају „водне године“.

Треба напоменути да није могуће елиминисати привидне губитке, али их треба свести на економски оправдани ниво. Ова фаза радова захтева велики напор запослених у водоводним предузећима, али то је једини начин да се повећа поузданост прорачуна водног биланса и ИП који из њега произилазе, и на крају повећају приходи водоводног предузећа.

Такође, 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 којим се добро управља, за ове привидне губитке препоручује се стандардна вредност од +/-2% од стварне запремине која је прошла кроз водомер (не 2% регистроване запремине). Спроведена истраживања широм света указују да се током времена погоршавају карактеристике водомера, пошто се повећава акумулирана запремина воде која је прошла кроз њега, и он више не региструје мале протоке, односно стварну потрошњу воде. Различити типови водомера, који региструју потрошњу воде у домаћинствима, имају различите карактеристике. Вишемлазни водомери услед старења имају тенденцију да не региструју мале протоке, али и при већим протицајима да региструју већу

потрошњу воде од стварне. Зато је пракса у ВДС-у, којим се добро управља, да се спроведе низ тестова тачности на структурисаном узорку водомера (по типу и старости и/или акумулираној запремини) како би се смањила ова неодређеност.

3.1.3 Реализација мерења током периода минималне ноћне потрошње воде

На основу калибрисаног математичког модела и процедура за формирање ОЗБ, ВДС се дели у више ОЗБ-а (могу бити сталне или повремене) и одређују мерна места протока и притиска за потребе анализе губитака воде, применом методе минималне ноћне потрошње воде. Минимални ноћни проток је најмањи проток у ОЗБ који се јавља сваке ноћи. У већини случајева овај проток се углавном састоји од губитака воде, са релативно малом потрошњом воде од стране корисника. У једноставним ОЗБ, овај ноћни проток може се регистровати само једним мерачем протока, уколико постоји само један доводни цевовод и нема "излаза" из ОЗБ. Међутим, у ОЗБ са више доводних и/или одводних цеви, минимални ноћни проток представљаће минимум укупних протока из неколико мерача (не укупни минимални проток сваког појединачног мерача). Одређивање губитака воде преко минималног ноћног протока прихваћено је у пракси као један од најпрецизнијих метода. Међутим, при прорачуну просечних дневних губитака воде преко ноћних губитака треба узети у обзир варијације притиска у ОЗБ. Ноћу је притисак обично највећи, и осцилује у току дана јер промена протока кроз водоводну дистрибутивну мрежу проузрокује различите хидрауличке губитке.

Подела велике водоводне мреже на ОЗБ је деликатна операција која, ако се не предузме пажљиво, може да проузрокује проблеме са снабдевањем и квалитетом воде. Из тих разлога важно је располагати калибрисаним математичким моделом ВДС. Ово је од нарочите важности, како би могле да се идентификују мртве тачке, и да успостављање сталних граница не би угрозило рад постојећег ВДС. Уобичајено, пројектовање ОЗБ треба да почне од главних цевовода и да се даље шири ка дистрибутивној мрежи. Циљ је да се ОЗБ одвоје од система главних цевовода што је више могуће, чиме се побољшава контрола ОЗБ без утицаја на флексибилност система главних цевовода (уколико је могуће, ОЗБ не треба да обухватају главне цевоводе). Мање градске и сеоске мреже су подесније за трансформацију у ОЗБ. Поделом ВДС на ОЗБ омогућава се и формирање система

сталне контроле притиска, чиме се смањују базни губици, проток кроз пукотине, као и степен учесталости појаве пукотина на годишњем нивоу.

На основу анализе потрошње воде одређују се корисници система код којих се током ноћи мери њихова потрошња. Потребно је спровести мониторинг потрошње воде репрезентативног узорка потрошача (мерење потрошње воде у 15-минутним интервалима у периоду од најмање 7 дана). Подаци о ноћној потрошњи воде различитих категорија потрошача за почетне анализе могу да се усвоје и из литературе, али треба напоменути да се поуздани подаци могу добити само на основу мерења.

За одређивање ноћне потрошња воде становништва (индивидуалне куће и стамбене зграде) неопходно је одредити и пилот зоне у којима би се она мерила. За категорију потрошача мала привреда и установе, пожељно је извршити, такође на основу пилот мерења, статистичку анализу ноћне потрошње ових категорија, или користити податке из литературе. Код великих потрошача (индустрија и др.) неопходно је вршити континуално мерење њихове потрошње воде у истом периоду.

За процену утицаја притиска на стварне губитке воде потребно је анализирати могућа места за уградњу регулатора притиска, како би се редуковањем притиска у ноћним часовима и мерењем дотока воде у ОЗБ одредио експонент притиска NI за губитке воде. Експонент притиска за губитке воде може се усвојити и на основу препорука из литературе водећи рачуна о врсти цевног материјала и типа цурења (McKenzie, 2001; Thornton et al. 2008). Међутим, поуздана вредност експонента губитака воде може се добити само прорачуном на основу резултата мерења типа "step test" током периода минималне ноћне потрошње воде. Овај начин одређивања експонента NI од нарочите је важности уколико се током дана у ОЗБ јављају велике осцилације притиска, јер је тада и већи његов утицај на поузданост прорачуна дневних губитака воде.

Након формирања мерних места, спроводи се мерење. Процес мерења треба организовати у периоду када нема потребе за изузетном потрошњом воде (не треба да се спроводи у летњем периоду, најбоље је касна јесен или рано пролеће),

како би регистровани ноћни протоци садржали највећим делом губитке воде (у Таб. 3.1 приказане су компоненте минималног ноћног дотока у ОЗБ).

Таб. 3.1 Компонентне минималног ноћног дотока воде у ОЗБ

Мерени минимални ноћни доток воде у ОЗБ	Ноћна потрошња воде (после водомера)	Коришћење воде - ноћу	Изузетна ноћна потрошња воде
			Процењена ноћна потрошња воде - становништво
		Процењена ноћна потрошња воде - остали	
		Цурење воде код корисника - ноћу	Унутар објекта
	Ван објекта		
	Ноћни губици воде на главним цевима и прикључцима до водомера	Прслине	Нерегистроване
			Регистроване, али још нису поправљене
		Базна (позадинска) цурења	На главним цевима
На прикључцима			

Након завршетка мерења, врши се статистичка анализа резултата мерења и одређује минимални ноћни доток воде у ОЗБ. На основу карактеристика мерне опреме и броја мерних места одређује се неодређеност ове запремине. Такође, на основу резултата мерења, статистичком анализом одређује се ноћна потрошња воде свих категорија потрошача (становништво у индивидуалним кућама и стамбеним зградама, велики потрошачи, установе и мала привреда), као и њена неодређеност. Вредност ноћних губитака воде WL_{night} (m^3/h) израчунава се на следећи начин:

$$WL_{night} = MNF - \text{ноћна потрошња воде свих категорија потрошача} \quad (3.1)$$

где је MNF (m^3/h) - минимални ноћни доток воде у ОЗБ.

"Степ тест" обично 2-3 сата, током којих је минимални ноћни проток релативно константан. У том периоду мери се доток воде у ОЗБ и притисак на доводу, и опционо притисак у тачкама ОЗБ које репрезентују просечан и критичан притисак у ОЗБ (ове вредности могу се добити и из резултата калибрисаног математичког модела). Притисак на доводу редукује се етапно, водећи рачуна да се систем стабилизије пре следеће редукције притиска. Током периода минималне ноћне потрошње воде обично се може постићи 2 до 3 смањења притиска. Након што потрошња воде почне да расте овај тест се прекида, јер не може да се тачно предвиди утицај притиска на потрошњу воде. Вредност $M1$ израчунава се на основу промене вредности ноћних губитака воде у ОЗБ и вредности притиска у

тачки која репрезентује просечан притисак у ОЗБ, коришћењем следеће једначине:

$$N1 = \frac{\log\left(\frac{WL_{night}^{ini}}{WL_{night}^{red}}\right)}{\log\left(\frac{AZNP^{ini}}{AZNP^{red}}\right)} \quad (3.2)$$

где су WL_{night}^{ini} и WL_{night}^{red} ноћни стварни губици воде при просечним притисцима $AZNP^{ini}$ (просечан притисак у ОЗБ за време минималне ноћне потрошње при иницијалном притиску) и $AZNP^{red}$ (просечан притисак у ОЗБ за време минималне ноћне потрошње при редукованом притиску).

3.1.4 Одређивање "ноћног" *ILI*

На основу резултата методе минималне ноћне потрошње могуће је одредити и "ноћни *ILI*", који представља однос ноћних губитака воде и $UARL_{night}$. За прорачун вредности $UARL_{night}$ користи се вредност ноћног просечног притиска $AZNP$ у ОЗБ, односно:

$$\text{"ноћни ILI"} = \frac{WL_{night}}{UARL_{night}} \quad (3.3)$$

Ова вредност не би требало значајније да се разликује од индекса *ILI* добијеног на основу годишњег водног биланса (Lambert и Taylor, 2010).

Одређивање "ноћног *ILI*" је веома користан и практичан приступ за брзу процену стварних губитака воде у ОЗБ, као и проверу вредности *ILI* израчунатог из годишњег водног биланса. Његова вредност добијена је из лимитираног сета података о минималном ноћном дотоку воде у ОЗБ, али требала би да варира око годишње вредности *ILI*. Међутим, његова вредност може бити и мања од 1,0 након интервенција активне контроле губитака воде у посматраној ОЗБ, када су сва регистрована и нерегистрована места цурења поправљена, и када су преостала само базна (позадинска) цурења. Из тих разлога, увек га треба посматрати као приближну вредност и са опрезом, и водити рачуна о његовом означавању како би се избегла забуна са вредношћу *ILI* добијеног из годишњег водног биланса.

3.2 АНАЛИЗА ПРОПАГАЦИЈЕ НЕОДРЕЂЕНОСТИ

Сви прорачуни, везани за водни биланс, и индексе перформанси који из њега произилазе, укључују грешке и неодређеност. Њиховом квантификацијом омогућава се водоводном предузећу да одреди приоритете где треба концентрисати активности контроле квалитета података да би се побољшала поузданост прорачуна водног биланса и ИП како би могле да се донесу рационалне управљачке одлуке.

У првом кораку утврђују се основне компоненте биланса воде: доток воде у дистрибутивни водоводни систем и легалне фактурисане потрошње, на основу којих се процењује количина воде која не доноси приход. Међутим, у већини ВДС у свету, нарочито у земљама у развоју, улазни подаци имају велику неодређеност. Ова неодређеност се у даљим прорачунима пропагира на ИП, па на основу добијених вредности није могуће донети исправне управљачке одлуке.

Као што је већ поменуто, пратиће се неодређеност компоненти водног биланса и ИП који из њега произилазе: $WR1$, $Op23$, $Op24$, $Op26$, $Op27$, $Op28$, $Op29$ и $Fi47$ (поглавље 2.6). У ВДС у којем нису поуздана мерења и процедуре руковања подацима на почетку (активност 1, Сл. 3.1) је велика неодређеност улазних података, која се даље пропагира на резултате прорачуна водног биланса и ИП.

У наредној табели (Таб. 3.2) приказана је неодређеност улазних података која одговара интервалу поверења од 95 %.

Таб. 3.2 Улазни подаци и њихова неодређеност (95%-ни интервал поверења)

Величина	95%-ни интервал поверења (\pm)
Доток воде са изворишта у ВДС (m^3) - $V_{inflow,i}$	$\Delta V_{inflow,i}$
Фактурисана измерена легална потрошња воде (m^3) - $V_{BMAC,i}$	$\Delta V_{BMAC,i}$
Фактурисана неизмерена легална потрошња воде (m^3) - $V_{BUMC,i}$	$\Delta V_{BUMC,i}$
Нефактурисана легална потрошња воде (m^3) - V_{UAC}	ΔV_{UAC}
Укупна легална потрошња воде (m^3) - V_{AC}	ΔV_{AC}
Нелегална потрошња воде (m^3) - V_{UC}	ΔV_{UC}
Нефактурисана вода услед грешки на водомерима (m^3) - V_{CME}	ΔV_{CME}

Величина	95%-ни интервал поверења (\pm)
Дужина главних цеви (km) - L_m	ΔL_m
Број прикључака (-) - N_{conn}	ΔN_{conn}
Дужина прикључних цеви (km) - L_{conn}	ΔL_{conn}
Просечан притисак у ВДС (m) - AZP	ΔAZP

Применом ISO методологија и FOSM методу пропације неодређености у којој се неодређеност параметра модела преноси кроз модел користећи апроксимацију модела Тејлоровим редом око средње вредности сваког улазног параметра (једначина (2.12)) за одређивање пропације неодређености, изведене су једначине за неодређеност компоненти водног биланса и ИП. У наставку су приложени изведени изрази за неодређеност компоненти водног биланса и ИП у ВДС са n_i изворишта воде и i категорија потрошача (Babic et al., 2014a):

- неодређеност укупног дотока воде у ВДС из n_i изворишта воде:

$$\Delta V_{inf\ low} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_i} (V_{inf\ low,i} \cdot \Delta V_{inf\ low,i})^2}}{\sum_{i=1}^{n_i} V_{inf\ low,i}} \quad (3.4)$$

- неодређеност укупне фактурисане легалне потрошња воде V_{BAC} (n_{BMAC} категорија потрошача код којих се мери потрошња воде преко водомера и n_{BUMC} категорија код којих се не мери):

$$\Delta V_{BAC} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_{BMAC}} (V_{BMAC,i} \cdot \Delta V_{BMAC,i})^2 + \sum_{i=1}^{n_{BUMC}} (V_{BUMC,i} \cdot \Delta V_{BUMC,i})^2}}{\sum_{i=1}^{n_{BMAC}} V_{BMAC,i} + \sum_{i=1}^{n_{BUMC}} V_{BUMC,i}} \quad (3.5)$$

- укупна запремина воде која не доноси приход NRW износи:

$$NRW = \sum_{i=1}^{n_i} V_{inf\ low,i} - \left(\sum_{i=1}^{n_{BMAC}} V_{BMAC,i} + \sum_{i=1}^{n_{BUMC}} V_{BUMC,i} \right) \quad (3.6)$$

а неодређеност

$$\Delta NRW = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_i} (V_{inflow_i} \cdot \Delta V_{inflow_i})^2 + \sum_{i=1}^{n_{BMAC}} (V_{BMAC_i} \cdot \Delta V_{BMAC_i})^2 + \sum_{i=1}^{n_{BUMC}} (V_{BUMC_i} \cdot \Delta V_{BUMC_i})^2}}{NRW} \quad (3.7)$$

▪ запремина укупних губитака воде WL износи:

$$WL = NRW - V_{UAC} \quad (3.8)$$

а неодређеност

$$\Delta WL = \frac{\sqrt{(NRW \cdot \Delta NRW)^2 + (V_{UAC} \cdot \Delta V_{UAC})^2}}{WL} \quad (3.9)$$

▪ запремина укупне легалне потрошње воде V_{AC} износи:

$$V_{AC} = V_{BAC} + V_{UAC} = \sum_{i=1}^{n_{BMAC}} V_{BMAC,i} + \sum_{i=1}^{n_{BUMC}} V_{BUMC,i} + V_{UAC} \quad (3.10)$$

а неодређеност

$$\Delta V_{AC} = \frac{\sqrt{(V_{BAC} \cdot \Delta V_{BAC})^2 + (V_{UAC} \cdot \Delta V_{UAC})^2}}{V_{AC}} \quad (3.11)$$

▪ укупна запремина привидних губитака воде V_{AL} износи:

$$V_{AL} = V_{UC} + V_{CME} \quad (3.12)$$

а неодређеност

$$\Delta V_{AL} = \frac{\sqrt{(V_{UC} \cdot \Delta V_{UC})^2 + (V_{CME} \cdot \Delta V_{CME})^2}}{V_{AL}} \quad (3.13)$$

▪ укупна запремина стварних губитака воде износи:

$$CARL = WL - V_{AL} \quad (3.14)$$

а неодређеност

$$\Delta CARL = \frac{\sqrt{(WL \cdot \Delta WL)^2 + (V_{AL} \cdot \Delta V_{AL})^2}}{CARL} \quad (3.15)$$

- неодређеност запремине неизбежних губитака воде UARL, изражених у L/dan (према једначини (2.7)), износи:

$$\Delta UARL = \sqrt{\frac{(18L_m \Delta L_m)^2 + (0,8N_{conn} \Delta N_{conn})^2 + (25L_{conn} \Delta L_{conn})^2}{(18L_m + 0,8N_{conn} + 25L_{conn})^2} + \Delta AZP^2} \quad (3.16)$$

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

$$\Delta UARL_{conn} = \sqrt{(\Delta N_{conn})^2 + (\Delta UARL)^2} \quad (3.17)$$

односно у L/km.dan

$$\Delta UARL_{Lm} = \sqrt{(\Delta L_m)^2 + (\Delta UARL^0)^2} \quad (3.18)$$

- неодређеност индикатора WR1 износи:

$$\Delta WR1 = \sqrt{(\Delta CARL)^2 + (\Delta V_{inf low})^2} \quad (3.19)$$

- неодређеност индикатора Op23 износи:

$$\Delta Op23 = \sqrt{(\Delta WL)^2 + (\Delta N_{conn})^2} \quad (3.20)$$

- неодређеност индикатора Op24 износи:

$$\Delta Op24 = \sqrt{(\Delta WL)^2 + (\Delta L_m)^2} \quad (3.21)$$

- неодређеност индикатора Op26 износи:

$$\Delta Op26 = \sqrt{(\Delta V_{AL})^2 + (\Delta V_{inf low})^2} \quad (3.22)$$

- неодређеност индикатора *Op27* износи:

$$\Delta Op27 = \sqrt{(\Delta CARL)^2 + (\Delta N_{conn})^2} \quad (3.23)$$

- неодређеност индикатора *Op28* износи:

$$\Delta Op28 = \sqrt{(\Delta CARL)^2 + (\Delta L_m)^2} \quad (3.24)$$

- неодређеност индикатора *Op29 (ILI)* износи:

$$\Delta Op29 = \Delta ILI = \sqrt{(\Delta CARL)^2 + (\Delta UARL)^2} \quad (3.25)$$

- неодређеност индикатора *Fi47* износи:

$$\Delta Fi47 = \sqrt{(\Delta NRW)^2 + (\Delta V_{inf low})^2} \quad (3.26)$$

где су n_{VMAC} и n_{BUMC} - укупан број категорија потрошача, V_{AL} - укупна запремина привидних губитака воде (m^3) и ΔV_{AL} - 95% CL, WL - запремина укупних губитака воде (m^3) и ΔWL - 95% CL.

Као што се може видети на Сл. 3.1 (страница 53), у ВДС у којем нису примењене наведене активности од 2-7 неодређеност компоненти водног биланса и ИП је велика, и резултати нису употребљиви за доношење управљачких одлука. У наредном поглављу, на примеру примене наведене методологије, приказаће се њихове вредности као и неодређеност.

Након спровођења активности 2-12, које укључују између осталог евидентирање свих објеката и корисника ВДС, калибрацију математичког модела и формирање ОЗБ, мерење ноћне потрошње воде различитих категорија потрошача, неодређеност улазних података и резултата који из њих проистичу се смањује. За примену развијене методологије, од изузетне важности је процена ноћне потрошње воде корисника ВДС.

4 РАЗВОЈ МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ПРИВИДНИХ ГУБИТАКА ВОДЕ И ПОБОЉШАЊЕ ИНДИКАТОРА ПЕРФОРМАНСИ

Као што је истакнуто у поглављу 1, у досадашњим истраживањима постигнути су значајни резултати у области стварних губитака воде, док је у области привидних губитака воде до сада мало урађено. Иако су учињени значајни напори на процени компоненти привидних губитака воде, они су се углавном сводили на процену нетачности водомера у ВДС у развијеним земљама (Lund 1988; Noss et al. 1987; Richards et al. 2010). Генерално, контрола привидних губитака воде је још увек у повоју и преостаје још доста напора да се доведе у исту равн са стварним губицима воде (AWWA 2003). Због тога је посебан акценат у овој дисертацији дат на развој нове методологије за одређивање привидних губитака воде, која је приказана у овом поглављу.

Такође, у овом поглављу биће приказана и нова методологија за побољшање ИП који се односе на стварне губитке воде. Као што је већ поменуто, методе активне контроле стварних губитака воде састоје се од управљања радним притиском, спровођења активне контроле процуривања (лоцирања места процуривања), унапређења управљања ВДС (избор материјала, квалитет радова, одржавање и замена цеви и опреме) и повећања брзине и квалитета поправки оштећења (смањења трајања процуривања). Међутим, управљање притиском је једино проактивно и економично средство којим се могу смањити цурења воде из ценовода (Savic и Walters 1995; Ulanicki et al. 2000). Управљање притиском у ВДС је од суштинског значаја за ефикасну контролу губитака воде (Fanner et al. 2007;

Thornton et al. 2008). Из тих разлога, развијена је методологија за процену смањења потреба за водом као резултат управљања притиском, услед смањења како стварних губитака воде, тако и потрошње воде.

Утицај смањења притиска на смањење стварних губитака воде је добро истражен и документован. Познато је да се редуковањем притиска смањује и потрошња воде, али је овај утицај много мање истражен. Због тога се указала потреба за развојем методе за предвиђање уштеда у укупним потребама за водом услед смањења притиска. Развијена метода обезбеђује бољу процену укупног смањења потреба за водом ВДС, што је од посебног значаја у ВДС-има са недовољном количином воде на извориштима и где постоји вишак притиска и нерационална потрошња воде.

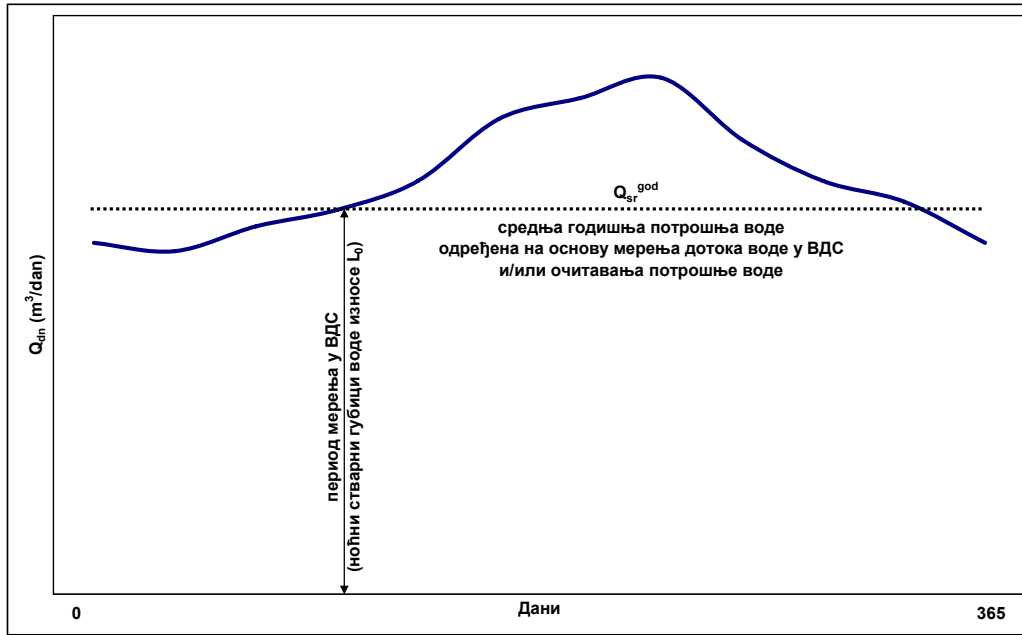
Нова методологија заснива се на методи минималне ноћне потрошње воде, приказане у поглављу 2.2.1.2 (страна 16). Метода је названа LCP (*енг. Leakage-Consumption-Pressure*) и успешно је тестирана на примеру Котежа, који припада Београдском водоводном систему, где су вршена мерења протока и притиска при иницијалном и редукованом притиску (Babic et al., 2014b).

4.1 МЕТОДОЛОГИЈА ОДРЕЂИВАЊА СТВАРНИХ И ПРИВИДНИХ ГУБИТАКА ВОДЕ

4.1.1 Методологија одређивања годишњих стварних губитака воде

Методологија одређивања годишњих стварних губитака воде подразумева да су спроведене активности од 1-8, наведене у поглављу 3.1 (страна 51). Напомиње се да се мерења дотока воде у ВДС и ОЗБ врше у периоду средње годишње потрошње воде у систему (Сл. 4.1).

Обављена мерења служе за верификацију калибрисаног математичког модела, одређивање просечног часовног притиска током дана у ВДС и ОЗБ, и експонента притиска за губитке воде (или се усваја на основу препорука из литературе). Методом минималне ноћне потрошње воде, на основу резултата мерења и статистичке анализе дотока и ноћне потрошње воде различитих категорија потрошача, одређени су ноћни стварни губици воде WL_{night} (m^3/h), (једначина (3.1)).



Сл. 4.1 Период мерења у ВДС и/или ОЗБ

Вредности часовних стварних губитака воде током посматраног дана, који репрезентује дан са средњом годишњом потрошњом воде (годишњи губици воде), рачунају се на следећи начин, једначина (4.1) и Сл. 4.2:

$$WL_h = WL_{night} \left(\frac{AZP_h}{AZNP} \right)^{N1} \quad (4.1)$$

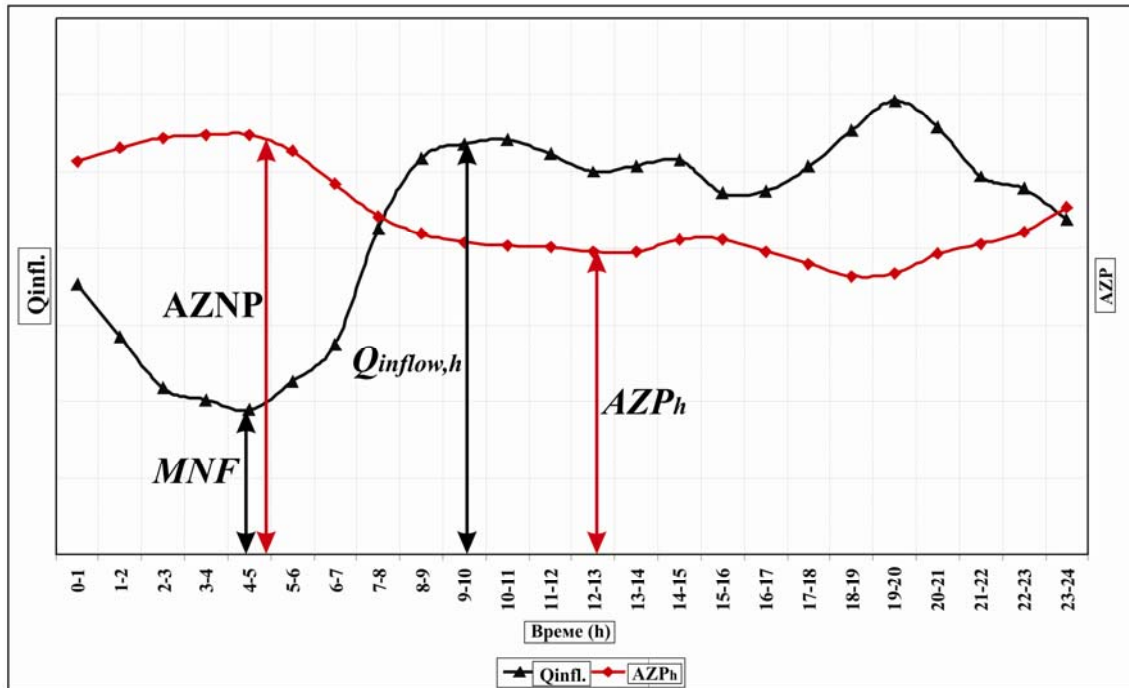
где је WL_{night} ноћни стварни губици воде (за време MNF) у дану са средњом годишњом потрошњом воде при просечном ноћном притиску $AZNP$, WL_h стварни губитак воде у посматраном сату при просечном притиску у ОЗБ од AZP_h . Просечан часовни притисак AZP_h у ОЗБ одређује се или на основу резултата мерења или резултата калибрисаног математичког модела. На Сл. 4.2 приказане су вредности које се користе у једначини (4.1) (резултати мерења дотока воде у ОЗБ и промена часовног просечног притиска на основу резултата калибрисаног математичког модела).

Сумирањем часовних губитака воде током дана могу се израчунати дневни стварни губици воде WL_{day} (m³/dan), на нивоу просечних годишњих губитака воде:

$$\sum_{h=1}^{24} WL_h = WL_{day} \quad (4.2)$$

односно просечни годишњи стварни губици воде WL_{year} (m^3/god):

$$WL_{year} = WL_{day} \cdot 365 \quad (4.3)$$



Сл. 4.2 Доток воде у ВДС и/или ОЗБ и просечан притисак у дану када се спроведе мерења (средња годишња потрошња воде)

4.1.2 Методологија одређивања годишњих привидних губитака воде

Одређивање привидних губитака воде наставља се након одређивања стварних губитака воде. Методологијом одређивања привидних губитака воде процењује се укупна стварна часовна потрошња воде $Q_{tot,h}$ (m^3/h) у ВДС и/или ОЗБ, на нивоу средње годишње потрошње воде (разматрани период мерења и прорачуна исти као и за одређивање стварних губитака воде).

На основу резултата мерења одређен је часовни доток воде $Q_{inflow,h}$ (m^3/h) у ВДС и/или ОЗБ. Одузимањем стварних часовних губитака воде од часовног дотока воде добија се стварна часовна укупна потрошња воде, једначина (4.4):

$$Q_{tot,h} = Q_{inf low,h} - WL_h \quad (4.4)$$

Сумирањем стварне часовне потрошње воде, током дана са средњом годишњом потрошњом воде, може се израчунати укупна стварна дневна потрошња воде WC_{day} (m^3/dan), на нивоу просечне годишње потрошње воде:

$$\sum_{h=1}^{24} Q_{tot,h} = WC_{day} \quad (4.5)$$

односно укупна стварна просечна годишња потрошња воде WC_{year} (m^3/god):

$$WC_{year} = WC_{day} \cdot 365 \quad (4.6)$$

Упоредивањем укупне стварне годишње потрошње воде са фактурисаном средњом годишњом потрошњом воде из базе наплате могуће је извршити верификацију годишњег водног биланса, и проценити привидне губитке воде.

Резултати, који се добију на овај начин, служе за коначно дефинисање компоненти водног биланса и ИП који из њега произилазе.

Као што је већ поменуто, у ВДС увек постоје водомери који су се заглавили, оштетили итд. па из тих разлога мора да се процењује потрошња воде, да је у системима код којих се не мери потрошња воде становништва процена потрошње воде доминантни извор грешке, да је потребно извршити процену тачности различитих категорија водомера код потрошача низом тестова који се врши на статистичком узорку водомера. Већина истраживача посветили су пажњу одређивању ових појединачних компоненти привидних губитака како би проценили укупне привидне губитке воде у ВДС. Међутим, овом методологијом проблеми који настају приликом таквих процена превазилазе се, јер се користе резултати мерења који служе и за одређивање стварних губитака воде. Овом методом процењује се стварна потрошња воде у ВДС и/или ОЗБ и упоређује са фактурисаном потрошњом воде и тако, на посредан начин, одређују се укупни привидни губици воде.

Такође, одређивањем стварних и привидних губитака воде омогућавају се и економске анализе, односно исказивање губитака воде (и стварних и привидних) у новчаној вредности. За исказивање изгубљене воде у новчаној противвредности користе се следеће цене:

- Цена воде изгубљена на стварним губицима воде обрачунава се коришћењем маргиналних трошкова производње и дистрибуције воде, односно повећања трошкова производње и транспорта воде при повећању капацитета захватања, прераде и пласмана воде за јединицу запремине или протока воде.
- Изгубљени приход од привидних губитака обрачунава се коришћењем продајне цене воде, јер су корисници воду утрошили али је нису платили.

Економска анализа указује на фаворизовање уклањања стварних или привидних губитака воде.

4.1.3 Неодређеност ноћне потрошње воде

Процена ноћне потрошње воде домаћинства и других категорија потрошача уобичајено се процењује из анализе резултата мерења ноћне потрошње воде репрезентативног статистичког узорка различитих потрошача. Резултати анализе обично се изражавају као просечна потрошња у литрима по прикључку на час, литрима по становнику на час или литрима по домаћинству на час, у зависности од примењене праксе у различитим земљама, као нпр. (Fantozzi и Lambert, 2012):

- УК, 1994 (Managing Leakage Report E, 1994) процењује да је потрошња становништва 1,7 L/domać.h, док су осатли корисници подељени у категорије од А до Е са просечном ноћном потрошњом воде од 1 до 60 L/priklj.h (пондерисано просечно 7,4 L/priklj.h)
- Малезија процењује ноћну потрошњу воде становништва од 5 L/domać.h.
- Немачка и Аустрија процењују ноћну потрошњу воде становништва од 0,4 до 0,8 L/st.h.

У пракси, различите компоненте ноћне потрошње воде нису фиксне и варирају како систематски тако и случајно у зависности од доба године, дана у недељи,

доба ноћи и временског трајања мерења минималне ноћне потрошње воде. Услед разлика у навикама потрошача у међународним оквирима, не постоји општеприхваћена стандардна вредност за ноћну потрошњу воде. Повећање доступности технологије "паметног" мерења (Smart Metering technology) пружа одличне могућности за побољшање разумевања ноћне потрошње воде. Међутим, пуна корист не може се остварити без:

- процеса избора када ће се вршити мерења минималне ноћне потрошње воде за потребе процене ноћних губитака воде у ВДС, времена и дужине трајања истраживања, и
- схватања и разумевања компоненти ноћне потрошње воде и њихове варијабилности.

Процес селекције почиње анализом годишњег дијаграма неравномерности дотока воде у ВДС (ако је расположиво и минималног ноћног дотока воде и притиска), што је од посебне важности у случајевима ВДС који су подложни значајном варирању или повећању ноћне потрошње воде у одређеном делу године или знатним променама броја његових корисника. Дакле, први циљ је идентификација доба године када је примерено извршити мерења која нису изложена овим додатним компонентама ноћне потрошње воде.

Доток воде у ОЗБ обично се региструје у временским интервалима од 1, 5 или 15 минута. Минимални ноћни доток воде у ОЗБ не јавља се у истом временском периоду сваке ноћи, чак ни у истој ОЗБ. У Аустралији су током 2008-2009. год. применили технологију "паметног" мерења (екстерна мерења) на 2.844 кућна прикључка у 4 ОЗБ (Cole, 2011). Мерења су показала да је минимална ноћна потрошња воде под великим утицајем периода мерења и релативно велике потрошње воде у малом броју домаћинстава.

М Fantozzi, А. Lambert (2012), анализирали су мерења на узорку од 128 стамбених објеката у ASEAN региону (екстерна мерења) и закључили да просечна минимална потрошња воде износи 5,9 L/priklj.h (у опсегу од 0 до 128 L/priklj.h). Такође, напоменули су да резултати немају нормалну расподелу, пошто је 60% водомера показивало потрошњу 0, а 40% потрошача је било "активно" током ноћи. Међутим, само 4% ових водомера, са ноћном потрошњом воде већом од 64 L/priklj.h,

утицало је на 60% вредности просечне ноћне потрошње. Ова одлика значи да је просечна ноћна потрошња воде процењена на основу малог узорка водомера прилично нестабилна, и може знатно варирати од једног до другог узорка. Из тих разлога предлаже се коришћење биномне расподеле, што је такође предложено и у UK 'Managing Leakage' Report E 'Interpreting Night Flows' (WSA/WSC 1994).

У примени развијене методологије за анализу пропагације неодређености улазних података, приказане у овом раду, предложено је мерење збирне ноћне потрошње становништва у пилот зони (већи број кућних прикључака) у дужем временском периоду. Приликом одабира пилот зоне треба водити рачуна да то буде зона са новијом секундарном дистрибутивном мрежом у добром стању (или зона у којој су спроведене мере активне контроле губитка и отклоњена сва детектована места цурења), како мерења не би садржала и губитке воде у спољној мрежи. Међутим, уколико није могуће наћи такву пилот зону, онда је неопходно прво одредити стварне ноћне губитке воде у пилот зони, како би се одузели од мереног дотока воде и на тај начин одредила ноћна потрошња воде. Дакле, не мери се појединачна ноћна потрошња воде кућних прикључака, већ укупна ноћна потрошња воде већег број потрошача. За ове резултате мерења може се усвојити да имају нормалну расподелу. Минимална ноћна потрошња воде категорије потрошача становништво $q_{res,mer}^{night}$, као и њена неодређеност $\Delta q_{res,mer}^{night}$, одређује се на основу статистичке анализе резултата мерења.

Минимална ноћна потрошња воде категорија потрошача мала привреда, установе и др. (потрошача који ноћу не користе воду за своје потребе) - $Q_{sc,night}$, и њена неодређеност $\Delta Q_{sc,night}$, одређује се на основу резултата мерења на статистичком узорку, или се усваја на основу препорука из литературе. Уколико нису вршена мерења потрошње воде на статистичком узорку, већ је њихова минимална ноћна потрошња воде усвојена, треба усвојити већу неодређеност појединачног корисника, мин. $\pm 50\%$.

Минимална ноћна потрошња воде категорија потрошача који ноћу користе воду за своје потребе (индустрија, болнице и др.) - $Q_{lc,night}$, као и њена неодређеност $\Delta Q_{lc,night}$, одређује се на основу статистичке анализе резултата мерења. Код ових потрошача неопходно је спровести мерења њихове потрошње воде.

Укупна минимална ноћна потрошња воде у ОЗБ добија се сумирањем појединачних минималних ноћних потрошњи воде свих категорија потрошача, односно:

$$Q_{mc,night} = q_{res,mer}^{night} + Q_{sc,night} + Q_{lc,night} \quad (4.7)$$

Неодређеност укупне минималне ноћне потрошње воде категорије потрошача становништво - индивидуалне куће, добија се коришћењем наредне једначине:

$$\Delta q_{res,mer}^{h,night} = \frac{\sqrt{N_{conn}^h \cdot (q_{h,mer}^{night} \cdot \Delta q_{h,mer}^{night})^2}}{(N_{conn}^h \cdot q_{h,mer}^{night})} \quad (4.8)$$

где је $\Delta q_{res,mer}^{h,night}$ укупна неодређеност ноћне потрошње воде свих индивидуалних кућа у ОЗБ, N_{conn}^h укупан број индивидуалних кућа у ОЗБ, $q_{h,mer}^{night}$ ноћна потрошња воде појединачне куће и $\Delta q_{h,mer}^{night}$ њена неодређеност (добијено статистичком анализом резултата мерења).

Неодређеност укупне минималне ноћне потрошње воде категорије потрошача становништво - стамбене зграде, добија се коришћењем наредне једначине:

$$\Delta q_{res,mer}^{rb,night} = \frac{\sqrt{N_{prop}^{rb} \cdot (q_{rb,mer}^{night} \cdot \Delta q_{rb,mer}^{night})^2}}{(N_{prop}^{rb} \cdot q_{rb,mer}^{night})} \quad (4.9)$$

где је $\Delta q_{res,mer}^{rb,night}$ укупна неодређеност ноћне потрошње воде свих стамбених зграда у ОЗБ, N_{prop}^{rb} укупан број станова у стамбеним зградама у ОЗБ, $q_{rb,mer}^{night}$ ноћна потрошња воде једног домаћинства у стамбеним зградама и $\Delta q_{rb,mer}^{night}$ њена неодређеност (добијено статистичком анализом резултата мерења), и

$$q_{res,mer}^{night} = N_{conn}^h \cdot q_{h,mer}^{night} + N_{prop}^{rb} \cdot q_{rb,mer}^{night} \quad (4.10)$$

Неодређеност укупне минималне ноћне потрошње воде категорија потрошача мала привреда, установе и др. (потрошача који ноћу не користе воду за своје потребе) - $Q_{sc,night}$, рачуна се једначином (4.11):

$$\Delta Q_{sc,night} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_{sc}} (q_{sc,i}^{night} \cdot \Delta q_{sc,i}^{night})}}{\sum_{i=1}^{n_{sc}} q_{sc,i}^{night}} \quad (4.11)$$

где је $q_{sc,i}^{night}$ ноћна потрошња воде сваког појединачног корисника који припада овој категорији потрошача и $\Delta q_{sc,i}^{night}$ њена неодређеност, а n_{sc} укупан број корисника у ОЗБ који припадају овој категорији потрошача.

Неодређеност укупне минималне ноћне потрошње воде категорија потрошача који ноћу користе воду за своје потребе (индустрија, болнице и др.) - $Q_{lc,night}$, рачуна се једначином (4.12):

$$\Delta Q_{lc,night} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_{lc}} (q_{lc,i}^{night} \cdot \Delta q_{lc,i}^{night})}}{\sum_{i=1}^{n_{lc}} q_{lc,i}^{night}} \quad (4.12)$$

где је $q_{lc,i}^{night}$ ноћна потрошња воде сваког појединачног корисника који припада овој категорији потрошача и $\Delta q_{lc,i}^{night}$ њена неодређеност, а n_{lc} укупан број корисника у ОЗБ који припадају овој категорији потрошача.

Неодређеност укупне минималне ноћне потрошње воде у ОЗБ рачуна се коришћењем једначине(4.13):

$$\Delta Q_{mc,night} = \frac{\sqrt{N_{conn}^h \cdot (q_{h,mer}^{night} \cdot \Delta q_{h,mer}^{night})^2 + N_{prop}^{rb} \cdot (q_{rb,mer}^{night} \cdot \Delta q_{rb,mer}^{night})^2 + (Q_{sc,night} \cdot \Delta Q_{sc,night})^2 + (Q_{lc,night} \cdot \Delta Q_{lc,night})^2}}{N_{conn}^h \cdot q_{h,mer}^{night} + N_{prop}^{rb} \cdot q_{rb,mer}^{night} + Q_{sc,night} + Q_{lc,night}} \quad (4.13)$$

4.1.4 Неодређеност стварних и привидних губитака воде и стварне потрошње воде

Након што је одређена минимална ноћна потрошња воде свих категорија потрошача, као и њена неодређеност, одређује се минимални ноћни проток у ОЗБ (MNF) и његова неодређеност (ΔMNF), такође на основу статистичке анализе резултата мерења.

Ноћни стварни губици воде - WL_{night} одређују се применом једначине (4.14):

$$WL_{night} = MNF - Q_{inc,night} \quad (4.14)$$

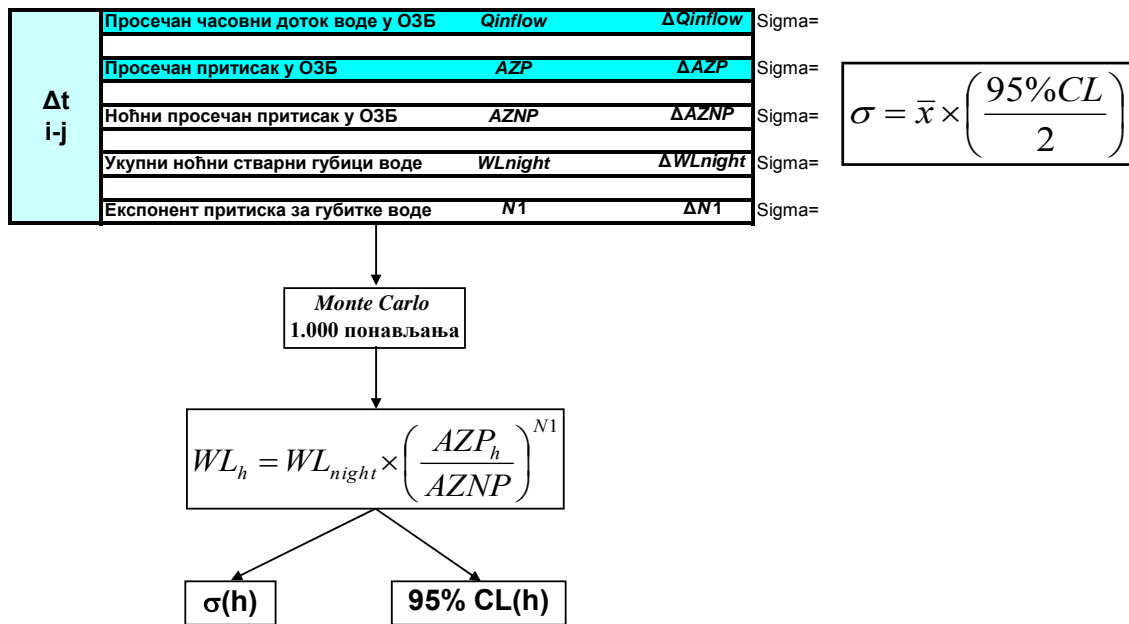
а њихова неодређеност ΔWL_{night} једначином (4.15):

$$\Delta WL_{night} = \frac{\sqrt{(MNF \cdot \Delta MNF)^2 + (Q_{inc,night} \cdot \Delta Q_{inc,night})^2}}{WL_{night}} \quad (4.15)$$

Ноћни просечан притисак у ОЗБ - $AZNP$, као и његова неодређеност - $\Delta AZNP$, одређује се на основу резултата калибрисаног математичког модела ВДС, или резултата мерења уколико постоје. На исти начин одређују се и часовни просечни притисци у ОЗБ - AZP_h и њихова неодређеност - ΔAZP_h .

Експонент губитака воде $N1$, као и његова неодређеност $\Delta N1$, добија се прорачуном на основу резултата мерења типа "степ тест" током периода минималне ноћне потрошње воде. Вредност $N1$ може се усвојити и на основу препоруке из литературе, уколико није рађен "степ тест", али тада је значајно већа његова неодређеност $\Delta N1$.

Након одређивања свих претходно поменутих величина, у следећем кораку одређују се часовни стварни губици воде - WL_h (једначина (4.1), страна 69) за дан са средњом годишњом потрошњом воде. Пошто је једначина (4.1) за одређивање часовних стварних губитака воде експоненцијална није могуће извести аналитички израз за одређивање њихове неодређености. Међутим, како су дефинисане све улазне величине и њихова функција густине вероватноће, као и њихова веза са излазном величином - WL_h , могуће је применити методу Monte Carlo како би се процениле вредности излазне величине, њена стандардна неодређеност и интервал обухвата вредности. Генерисано је 1.000 понављања прорачуна, на основу чега је израчуната функције густине вероватноће WL_h , математичко очекивање, стандардна девијација и интервал обухвата који садржи вредност WL_h са одређеном вероватноћом. Прорачуни се раде за сваки сат посматраног дана. На Сл. 4.3 приказана је шема прорачуна методом Monte Carlo.



Сл. 4.3 Шема прорачуна неодређености стварних часовних губитака воде

Укупни дневни и годишњи стварни губици рачунају се једначинама (4.2) и (4.3), а неодређеност укупних стварних дневних губитака воде - ΔWL_{day} , једначином (4.16):

$$\Delta WL_{day} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{24} (WL_{h,i} \cdot \Delta WL_{h,i})}}{\sum_{i=1}^{24} WL_{h,i}} \quad (4.16)$$

Након одређивања часовних стварних губитака воде сада је могуће и одредити стварну часовну потрошњу воде, једначина (4.4). Такође, применом једначина (4.5) и (4.6) одређује се укупна дневна и годишња стварна потрошња воде.

Неодређеност укупне стварне потрошње воде - ΔWC_{day} , одређује се применом једначине (4.17):

$$\Delta WC_{day} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{24} (WC_{h,i} \cdot \Delta WC_{h,i})}}{\sum_{i=1}^{24} WC_{h,i}} \quad (4.17)$$

4.2 МЕТОДА LCP

Основна претпоставка у LCP методи је да је укупан измерени доток у ВДС или ОЗБ зависан од притиска, односно да нису само стварни губици воде зависни од притиска већ и потрошња воде. Ова претпоставка важи само у случају да се мери тренутни доток воде у ВДС или ОЗБ (што је најчешће случај), а не запремина дотекле воде у неком временском интервалу. На дневном нивоу постоји одређена запремина коришћене воде, која је независна од притиска (водокотлићи у тоалету, машина за веш, машина за судове итд.). Међутим, уколико се на доводној цеви у ОЗБ мери тренутни доток воде, онда је у том тренутку и пуњење водокотлића и машина за прање веша и суђа зависно од притиска.

Према томе, укупан доток воде може се поделити на стварне губитке и на потрошњу воде, у складу са Таб. 4.1. Веза између просечног притиска у ВДС или ОЗБ и губитака/потрошње воде описана је једначином (4.1). У LCP методи, усвојено је да експонент притиска има различите вредности за губитке воде у дистрибутивној водоводној мрежи узводно од водомера ($N1$), потрошњу воде (иза водомера) ($N2$) и цурења иза водомера ($N3$). У Таб. 4.1 приказан је концепт процене експонената притиска, за различите компоненте ноћне потрошње воде.

Таб. 4.1 Концепт одређивања експонент притиска

Мерени минимални ноћни доток воде у ОЗБ за време MNF	Потрошња воде (после водомера)	Коришћење воде за време MNF	Становништво - количина воде која је коришћена за стварне потребе	$N2 = 0$
			Процењена ноћна потрошња воде - велики потрошачи	$N2 = 0,5$
	Цурење воде код корисника - ноћу		Унутар објекта	$N3$
			Ван објекта	
	Стварни губици воде на главним цевима и прикључцима (до водомера)	Прслине	Нерегистроване	$N1$
			Регистроване, али још нису поправљене	
Базна (позадинска) цурења		На главним цевима		
		На прикључцима		

Усвојено је да експонент притиска за потрошњу воде које су становници заиста користили за своје потребе ($N2$), има вредност 0,5 само за време MNF .

У овој методи, укупна просечна дневна потрошња воде у ВДС или ОЗБ (q_{tot}) дели са на потрошњу воде коју су потрошачи стварно користили за своје потребе (q_{wc}) и цурења воде иза водомера (q_{lib}) која се јављају због лошег одржавања инсталација, што је приказано једначином (4.18):

$$q_{tot} = q_{wc} + q_{lib} \quad (4.18)$$

где се q_{tot} добија из података којим располажу водоводна предузећа.

Усвојено је да стварна ноћна потрошња воде становништва у време MNF ($q_{wc,res}^{night}$) износи 0,6 L/stan.h, или 1,7 L/domać.h и усвојено је да је ова потрошња независна од притиска (McKenzie, 2001) и она се може израчунати коришћењем једначине (4.19):

$$q_{wc,res}^{night} = N_{pop}^{rb} \cdot 0,6 \frac{L}{st. \cdot h} + N_{conn}^h \cdot 1,7 \frac{L}{domać \cdot h} \quad (4.19)$$

где је N_{pop}^{rb} - укупан број становника у стамбеним зградама, N_{conn}^h - укупан број прикључака индивидуалних кућа (односи се на ОЗБ или ВДС).

Уколико се не располаже податком о броју становника у стамбеним зградама, већ само бројем станова, онда се користи једначина (4.20) (коригована једначина (4.19)):

$$q_{wc,res}^{night} = (N_{prop}^{rb} + N_{conn}^h) \cdot 1,7 \frac{L}{domać \cdot h} \quad (4.20)$$

где је N_{prop}^{rb} - укупан број станова у стамбеним зградама.

У методи LCP усваја се да категорије корисника за које се не очекује да ноћу користе воду за своје потребе (мала привреда, установе, комерцијала итд.) немају потрошњу воде независну од притиска у време MNF , већ да је сва процењена ноћна потрошња воде зависна од притиска и износи $Q_{sc,night}$ (придружује се q_{lib}).

Ноћна потрошња воде, у време MNF , корисника који ноћу користе воду за своје потребе (индустрија, болнице итд.) одређује се на основу мерења њихове потрошње воде.

Укупна ноћна потрошња воде у некој ОЗБ или ВДС, у време MNF , рачуна се коришћењем једначине (4.21):

$$Q_{inc,night} = q_{wc,res}^{night} + q_{lib} + Q_{sc,night} + Q_{lc,night} \quad (4.21)$$

где је $Q_{lc,night}$ - ноћна потрошња воде великих потрошача воде који ноћу користе воду за своје потребе и код којих се мери потрошња воде (индустрија, болнице итд.).

За прорачуне су потребни и подаци о укупном броју прикључака по категоријама потрошача, броју становника (N_{pop}) или домаћинстава (N_{prop}), подаци мерења протока и притиска на доводу у ОЗБ при нерегулисаном притиску и по могућству мерењима при редукованом улазном притиску.

Непознати параметри у LCP методи су: q_{wc} , q_{lib} , $N1$, $N2$ и $N3$. Прва три параметра (q_{wc} , q_{lib} и $N1$) рачунају се на основу резултата мерења или прорачуна, док преостала два параметра ($N2$ и $N3$) треба усвојити тако да се добије најбоље слагање са укупним потребама за водом при иницијалном притиску, односно резултатима мерења у постојећем режиму притисака.

Овај метод захтева одређивање вредности q_{lib} , односно колико је процентуално учешће процуривања од q_{tot} . Начин одређивања иницијалних вредности q_{lib} зависи од расположивих података и могућа су два различита случаја:

1. нису извршена мерења ноћне потрошње воде различитих категорија потрошача па се до стварне ноћне потрошње воде мора доћи прорачунима, итеративним поступком.
2. извршена су мерења ноћне потрошње воде становништва, установа и привреде на репрезентативном статистичком узорку и на основу тога је одређена меродавна вредност ноћне потрошње воде.

4.2.1 Примена методе LCP - без мерења ноћне потрошње воде

У првом случају, без мерења ноћне потрошње воде различитих категорија потрошача, прорачун се спроводи у итерацијама. Иницијална вредност q_{lib} , као процентуална вредност од q_{tot} . На основу иницијално усвојене вредности q_{lib} , могу се израчунати укупна дневна цурења иза водомера при нерегулисаном притиску - $Q_{waste,day}^{ini}$, у зависности од расположивих података. Уколико су на располагању подаци о просечној специфичној потрошњи воде становништва и свих осталих категорија корисника за које се не очекује да буду активни током ноћи (мала

привреда, установе, комерцијала итд.) - q_{tot} (L/st.dan), онда се укупна дневна цурења иза водомера рачунају применом једначине (4.22):

$$Q_{waste,day}^{ini} = q_{lib} \cdot N_{pop} \quad (4.22)$$

где су q_{lib} (L/st.dan) - процењена цурења воде иза водомера (% од q_{tot}), N_{pop} - број становника у ОЗБ или ВДС и $Q_{waste,day}^{ini}$ (L/dan) - укупна дневна цурења иза водомера при нерегулисаном притиску.

Међутим, уколико се располаже подацима о фактурисаној просечној дневној потрошњи воде свих наведених категорија потрошача - q_{tot} (L/dan), онда се укупна дневна цурења иза водомера рачунају применом једначине (4.23):

$$Q_{waste,day}^{ini} = q_{lib} = \% \cdot q_{tot} \quad (4.23)$$

где је q_{lib} (L/dan) - претпостављена процуривања воде иза водомера као % од q_{tot} .

Процењена цурења иза водомера за време минималне ноћне потрошње воде (MNF) и при нерегулисаном притиску могу се израчунати на основу једначине (4.24):

$$Q_{waste,night}^{ini} = Q_{waste,day}^{ini} \cdot \left(\frac{AZNP^{ini}}{AZP_{day}^{ini}} \right)^{N3} \quad (4.24)$$

где су AZP_{day}^{ini} (m) - просечан дневни притисак у ОЗБ или ВДС при нерегулисаном притиску, $AZNP^{ini}$ (m) - просечан ноћни притисак за време MNF, $Q_{waste,night}^{ini}$ (L/h) - просечна цурења иза водомера за време MNF, и $Q_{waste,h}^{ini}$ (L/h) - просечна часовна цурења ($Q_{waste,day}^{ini}/24h$).

Укупна ноћна потрошња воде за време MNF ($Q_{inc,night}^{ini}$) добија се додавањем стварне ноћне потрошње воде (једначине (4.19) и (4.20)) на, већ израчуната, цурења иза водомера, применом једначине (4.25):

$$Q_{inc,night}^{ini} = q_{wc,res}^{night} + Q_{waste,night}^{ini} + Q_{lc,night}^{ini} \quad (4.25)$$

Ноћни стварни губици воде (WL_{night}^{ini}) добијају се одузимањем укупне ноћне потрошње воде од регистрованог (измереног) минималног ноћног дотока воде (MNF^{ini}), применом једначине (4.26).

$$WL_{night}^{ini} = MNF^{ini} - Q_{inc,night}^{ini} \quad (4.26)$$

При редукованом притиску на доводном цевоводу у ОЗБ, процењена цурења воде иза водомера за време MNF рачунају се једначином (4.27):

$$Q_{waste,night}^{red} = Q_{waste,day}^{ini} \cdot \left(\frac{AZNP^{red}}{AZP_{day}^{ini}} \right)^{N3} \quad (4.27)$$

где су $Q_{waste,night}^{red}$ (L/h) - укупна цурења иза водомера и $AZNP^{red}$ - просечан ноћни притисак за време MNF у ОЗБ, оба при редукованом притиску.

Укупна ноћна потрошња воде великих потрошача воде, при редукованом притиску за време MNF , који ноћу користе воду за своје потребе и код којих се мери потрошња воде $Q_{lc,night}^{red}$ (индустрија, болнице и др.), рачуна се применом наредне једначине:

$$Q_{lc,night}^{red} = Q_{lc,night}^{ini} \cdot \left(\frac{AZNP^{red}}{AZNP^{ini}} \right)^{N2} \quad (4.28)$$

Додавањем стварне ноћне потрошње воде процењеним цурењима иза водомера, за време MNF , добија се укупна ноћна потрошња воде при редукованом притиску ($Q_{inc,night}^{red}$):

$$Q_{inc,night}^{red} = q_{wc,res}^{night} + Q_{waste,night}^{red} + Q_{lc,night}^{red} \quad (4.29)$$

Ноћни стварни губици воде при редукованом притиску (WL_{night}^{red}) рачунају се на сличан начин као и при нерегулисаном притиску, помоћу једначине (4.30):

$$WL_{night}^{red} = MNF^{red} - Q_{inc,night}^{red} \quad (4.30)$$

Коришћењем претходно срачунатих вредности може се израчунати експонент притиска за стварне губитке воде ($N1$) у ОЗБ, једначином (3.2).

4.2.1.1 Услови при иницијалном притиску

За сваки интервал током периода од 24 h, просечан часовни доток у ОЗБ и просечан часовни притисак у ОЗБ или ВДС одређују се из података мерења, или резултата калибрисаног математичког модела. Стварни часовни губици воде, током истог периода, рачунају се помоћу једначине (4.31):

$$WL_h^{ini} = WL_{night}^{ini} \cdot \left(\frac{AZP_h^{ini}}{AZNP^{ini}} \right)^{N1} \quad (4.31)$$

где су WL_h^{ini} (L/h) - часовни стварни губици воде, WL_{night}^{ini} - стварни губици воде за време MNF, $AZNP_h^{ini}$ - часовни просечни притисак у ОЗБ, $AZNP^{ini}$ - просечан ноћни притисак у ОЗБ (све вредности су при нерегулисаном притиску).

Укупна часовна потрошња воде ($Q_{tot,h}^{ini}$) рачуна се одузимањем стварних губитака воде од измереног дотока воде у ОЗБ, једначином (4.32):

$$Q_{tot,h}^{ini} = Q_{inflow,h}^{ini} - WL_h^{ini} \quad (4.32)$$

где је $Q_{inflow,h}^{ini}$ (L/h) - регистровани просечни часовни доток воде у ОЗБ или ВДС.

Међутим, израчуната вредност мора да одговара регистрованој потрошњи воде (q_{tot}). Ако то није случај, вредност процуривања воде иза водомера (q_{lib}) мора се кориговати за Δq , који се рачуна као разлика између регистроване и претходно израчунате укупне потрошње воде:

$$\Delta q(\text{L/st.dan}) = \frac{\sum_{i=1}^{24} Q_{tot,i}^{ini}}{N_{pop}} - q_{tot}(\text{L/st.dan}) \quad \text{или} \quad \Delta q(\text{L/h}) = \sum_{i=1}^{24} Q_{tot,i}^{ini} - q_{tot}(\text{L/h}) \quad (4.33)$$

Коригована вредност q_{lib} , која се користи у следећој итерацији износи: $q_{lib}^{iter} = q_{lib}^{iter-1} + \Delta q$. Следећа итерација почиње са једначином (4.22) или (4.23). LCP метод обично захтева само неколико итерација (најчешће до 3) да би се задовољила захтевана тачност од $\Delta q < 0,1 \text{ L/stan.dan}$, односно $\Delta q < 0,1 \text{ L/h}$.

Претходним фазама прорачуна одређени су параметри q_{wc} , q_{lib} и $N1$. Затим се укупна запремина воде која је испоручена потрошачима (низводно од водомера) дели на стварну потрошњу воде и процуривања из водомера. Процуривања воде из водомера, на часовној бази, рачунају се коришћењем једначине (4.34):

$$Q_{waste,h}^{ini} = Q_{waste,day}^{ini} \times \left(\frac{AZP_h^{ini}}{AZP_{day}^{ini}} \right)^{N3} \quad (4.34)$$

Стварна потрошња воде, током периода од 24 h, рачуна се коришћењем једначине (4.34):

$$Q_{realcons,h}^{ini} = Q_{tot,h}^{ini} - Q_{waste,h}^{ini} \quad (4.35)$$

где је $Q_{realcons,h}^{ini}$ (L/h) часовна стварна потрошња воде при иницијалном притиску.

4.2.1.2 Услови при регулисаном притиску (фиксни излазни притисак)

Прорачуни при регулисаном притиску изводе се на сличан начин као и при иницијалном притиску, коришћењем следећих једначина:

$$WL_h^{red} = WL_{night}^{ini} \cdot \left(\frac{AZP_h^{red}}{AZNP^{ini}} \right)^{N1} \quad (4.36)$$

где су WL_h^{red} (L/h) - стварни часовни губици воде, и AZP_h^{red} - часовни просечни притисци у ОЗБ или ВДС, при редукованом притиску.

Просечна часовна цурења воде из водомера при редукованом притиску рачунају се исти начин као и при иницијалном притиску, осим што AZP_h^{red} представља просечни дневни притисак у ОЗБ или ВДС за услове редукованог притиска:

$$Q_{waste,h}^{red} = Q_{waste,h}^{ini} \times \left(\frac{AZP_h^{red}}{AZP_{day}^{ini}} \right)^{N3} \quad (4.37)$$

Стварна часовна потрошња воде при редукованом притиску ($Q_{realcons,h}^{red}$) одређује се применом једначине (4.38):

$$Q_{realcons,h}^{red} = Q_{realcons,h}^{ini} \times \left(\frac{AZP_h^{red}}{AZNP^{ini}} \right)^{N2} \quad (4.38)$$

Коначан резултат LCP методе је прорачун дотока воде ($Q_{inflow,h}^{red}$) у ОЗБ или ВДС (укупне потребе за водом) при редукованом притиску:

$$Q_{inflow,h}^{red} = WL_h^{red} + Q_{waste,h}^{red} + Q_{realcons,h}^{red} \quad (4.39)$$

4.2.2 Примена методе LCP - са мерењем ноћне потрошње воде

У другом случају извршена су мерења ноћне потрошње воде становништва, установа и привреде на репрезентативном статистичком узорку и на основу тога је одређена меродавна вредност ноћне потрошње воде. За категорију потрошача, становништво, стварна ноћна потрошња воде становништва у време MNF ($q_{wc,res}^{night}$) рачуна се као и у првом случају, једначина (4.19) или (4.20). Уколико је мерењима добијена већа вредност ноћне потрошње воде ($q_{res,mer}^{night}$), вишак се придружује цурењима иза водомера - q_{lib}^{res} (зависни од притиска, експонент притиска $N3$), односно:

$$q_{lib}^{res} = q_{res,mer}^{night} - q_{wc,res}^{night} \quad (4.40)$$

Ноћна потрошња воде, за време MNF, категорија корисника за које се не очекује да ноћу користе воду за своје потребе (мала привреда, установе итд.) придружује се процуривању воде иза водомера.

На основу усвојених претпоставки укупна процуривања воде иза водомера у ОЗБ или ВДС, за време MNF ($Q_{waste,night}^{ini}$) могу се израчунати коришћењем једначине (4.41):

$$Q_{waste,night}^{ini} = q_{lib}^{res} + Q_{sc,night}^{ini} \quad (4.41)$$

Укупна ноћна потрошња воде за време MNF ($Q_{inc,night}^{ini}$) рачуна се, применом једначине (4.25), тако што се на већ израчунате вредности додаје и ноћна потрошња воде корисника који ноћу користе потребе за своје потребе (индустрија, болнице итд.). Процењени укупни стварни ноћни губици воде WL_{night}^{ini} добијају се тако што се од измереног дотока воде у ОЗБ или ВДС, за време MNF (MNF^{ini}), одузме укупна ноћна потрошња воде, односно применом једначине (4.26).

Просечна дневна цурења иза водомера при нерегулисаном притиску ($Q_{waste,day}^{ini}$), рачунају се применом једначине (4.42):

$$Q_{waste,day}^{ini} = Q_{waste,night}^{ini} \cdot \left(\frac{AZP_{day}}{AZNP^{ini}} \right)^{N3} \quad (4.42)$$

4.2.2.1 Услови при иницијалном (нерегулисаном) притиску

За сваки интервал током посматраног дана, просечан часовни доток воде у ОЗБ одређен је из резултата мерења, а просечан часовни притисак у ОЗБ из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела (или из резултата мерења). Стварни часовни губици воде, WL_h^{ini} , рачунају се применом једначине (4.31).

Укупна часовна потрошња воде ($Q_{tot,h}^{ini}$) рачуна се применом једначине (4.32). Затим се укупна запремина воде која је испоручена потрошачима (низводно од водомера) дели на стварну потрошњу воде и процуривања иза водомера. Укупна процуривања воде иза водомера, на часовној бази - $Q_{waste,h}^{ini}$, рачунају се коришћењем једначине (4.34).

Укупна стварна часовна потрошња воде, $Q_{realcons,h}^{ini}$, рачуна се коришћењем једначине (4.35).

4.2.2.2 Услови при регулисаном притиску (фиксни излазни притисак)

Прорачун укупних потреба за водом у ОЗБ при редукованом притиску ($Q_{\text{inflow},h}^{\text{red}}$) ради се итеративним поступком.

За прорачун укупних хидрауличких губитака воде на треће између "улазног" чвора у ОЗБ и чворова у ОЗБ који репрезентују просечан притисак (AZP) и "критичан" притисак могуће је користити два приступа. У првом користи се калибрисани математички модел, а у другом приступу може да се користи следећа једначина (4.43) (McKenzie, 2001):

$$\Delta h = K \cdot Q^2 \quad (4.43)$$

где је Q (m^3/h) просечан часовни доток у ОЗБ, а K (m^{-5}h^2) коефицијент хидрауличких губитака воде на треће. Часовни коефицијент K_h представља хидрауличке губитке на треће у ОЗБ за одређени сат посматраног дана. За анализу се користе два сета коефицијента K , један који представља хидрауличке губитке на треће од "улазног" чвора у ОЗБ до чвора који репрезентује AZP , и други који представља хидрауличке губитке на треће од "улазног" чвора у ОЗБ до "критичног" чвора. У овом поступку претпоставља се да коефицијент K варира током дана, али да има исту вредност у посматраном сату током сваког дана. Ова претпоставка нема значајан утицај на поузданост добијених резултата.

Два сета коефицијената K могу се израчунати за сваки сат коришћењем једначине (4.43), где је Δh разлика притисака између "улазне" тачке у ОЗБ и AZP , односно "улазне" тачке у ОЗБ и "критичне" тачке.

Обзиром да је укупан доток воде у ОЗБ подељен на различите компоненте потрошње и губитака воде (различити експоненти притиска N), након одређивања коефицијената K за сваки сат посматраног дана, могуће је извршити тестирање утицаја управљања притиском на укупне потребе за водом. Разматрана је само опција управљања притиском са фиксним излазним притиском (PRV), али се методологија на сличан начин може користити и за друге опције.

Инсталација PRV на "улазној" тачки треба да смањи притисак у ОЗБ, али тако да у "критичној" тачки буде задовољен минимални ниво услуге.

Прорачун смањења укупних потреба за водом при редукованом притиску ($Q_{inflow,h}^{red}$) појединачних ОЗБ ради се итеративним поступком. На основу анализе рада постојећег ВДС, односно просечног и критичног притиска у ОЗБ, за сваку ОЗБ иницијално се одређује могуће смањење притиска (ΔP_{tot}^0) као разлика између постојећег и минимално прихватљивог притиска у "критичној" тачки. Ово иницијално могуће смањење притиска (ΔP_{tot}^0) затим се одузима од постојећег притиска на "улазној" тачки у ОЗБ током часа са максималним дотоком воде. Међутим, у једначини (4.43) имамо две непознате величине Δh и $Q_{inflow,h}^{red}$, за стање при регулисаном притиску. Из наведеног разлога у првој итерацији усваја се да је Δh између "улазне" и "критичне" тачке исто као и при нерегулисаном притиску. На основу тако израчунаог притиска у "критичној" тачки могуће је израчунати стварне часовне губитке воде WL_h^{red} (једначина (4.36)), просечна часовна проциривања воде иза водомера при редукованом притиску $Q_{waste,h}^{red}$ (једначина (4.37)), стварну часовну потрошњу воде при редукованом притиску ($Q_{realcons,h}^{red}$) (једначина (4.38)) и укупан доток воде ($Q_{inflow,h}^{red}$) у ОЗБ (једначина (4.39)). На основу израчунате вредности $Q_{inflow,h}^{red}$ израчуна се нова вредност Δh између "улазне" и "критичне" тачке. Уколико постоји разлика прорачун се понавља у следећој итерацији са предходно срачунатим вредностима Δh . Прорачун се понавља све док се не добије разлика $\Delta h^{iter} - \Delta h^{iter-1} < 0,1$ m. Прорачун брзо конвергира, најчешће су потребне 3-4 итерације. Након добијених резултата проверава се да ли постоји могућност за додатно повећање ΔP_{tot}^0 , односно смањење притиска на доводу у ОЗБ. Уколико постоји могућност, прорачун се понавља са новом вредношћу фиксног излазног притиска на доводу све док вредност притиска у "критичној" тачки не задовољи минимални ниво услуге.

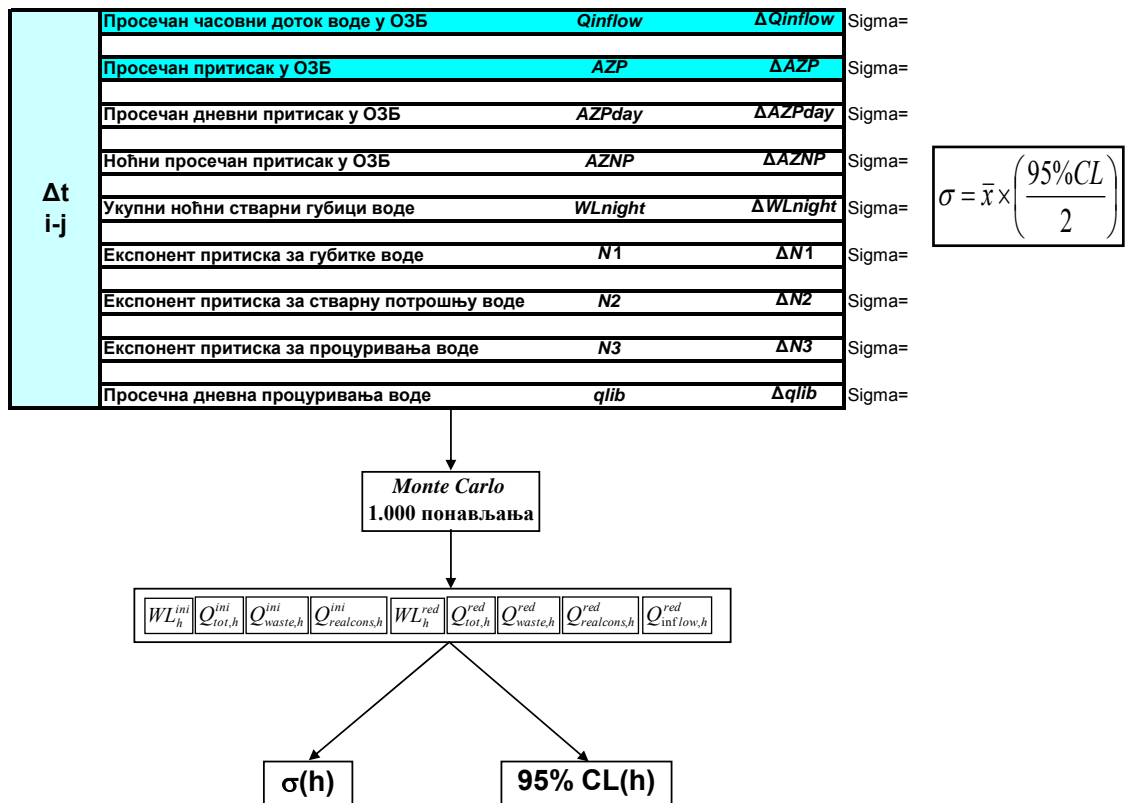
Израчунати нови излазни притисак примењује на све сате током дана (фиксни излазни притисак - PRV). Обзиром на нову, константну вредност излазног притиска током дана неопходно је израчунати нови AZP (на основу меродавног протока који се услед редукције притиска смањује у односу на иницијални).

Конечан резултат LCP методе је прорачун дотока воде ($Q_{\text{inflow},h}^{\text{red}}$) у ОЗБ или ВДС (укупне потребе за водом) при редукованом притиску, применом једначине (4.39).

4.2.3 Анализа пропагације неодређености

У овом поглављу анализираће се пропагација неодређености података на крајњи резултат, процену смањења укупних потреба за водом услед редуковања притиска - $Q_{\text{inflow},\text{day}}^{\text{red}}$. Претпоставља се да су претходно спроведене активности 2-8, јер само на тај начин методологија LCP може успешно да се примени. Обзиром на експоненцијални облик једначина које се користе у прорачунима компоненти потреба за водом, ни у овом случају није могуће извести аналитичке изразе за одређивање њихове неодређености. Из наведеног разлога примењује се метода Monte Carlo како би се процениле вредности излазних величина. Генерисано је 1.000 понављања прорачуна, на основу чега су израчунате функције густине вероватноће, математичко очекивање, стандардна девијација и интервал обухвата који садржи вредност излазних величина са одређеном вероватноћом. Излазне величине у овим прорачунима су часовни стварни губици воде, часовна укупна потрошња воде, часовна процуривања воде, часовна стварна потрошња воде, све и при иницијалном притиску и при редукованом притиску. На крају прорачунавају се укупне потребе за водом при редукованом притиску, $Q_{\text{inflow},h}^{\text{red}}$. Прорачуни се раде за сваки сат посматраног дана. На наредној слици (Сл. 4.4) приказана је шема прорачуна методом Monte Carlo.

Примена методе LCP биће приказана на ВДС Пожаревца и ОЗБ Котеж (део ВДС Београда).



Сл. 4.4 Шема прорачуна неодређености компоненти укупних потреба за водом

5 ПРИМЕНА МЕТОДОЛОГИЈЕ ОДРЕЂИВАЊА ПРИВИДНИХ И СТВАРНИХ ГУБИТАКА ВОДЕ У ВДС ПОЖАРЕВАЦ

Као што је већ поменуто у поглављу 3, тачност и поузданост прорачуна компоненти водног биланса, као и индикатора перформанси ИП, зависи од тачности и поузданости улазних (мерених) података. У овом поглављу биће приказан прорачун компоненти водног биланса и индекса *ILI*, као и пропаганција неодређености резултата, на примеру ВДС Пожаревца.

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

ВДС Пожаревца подељен је у 3 висинске зоне:

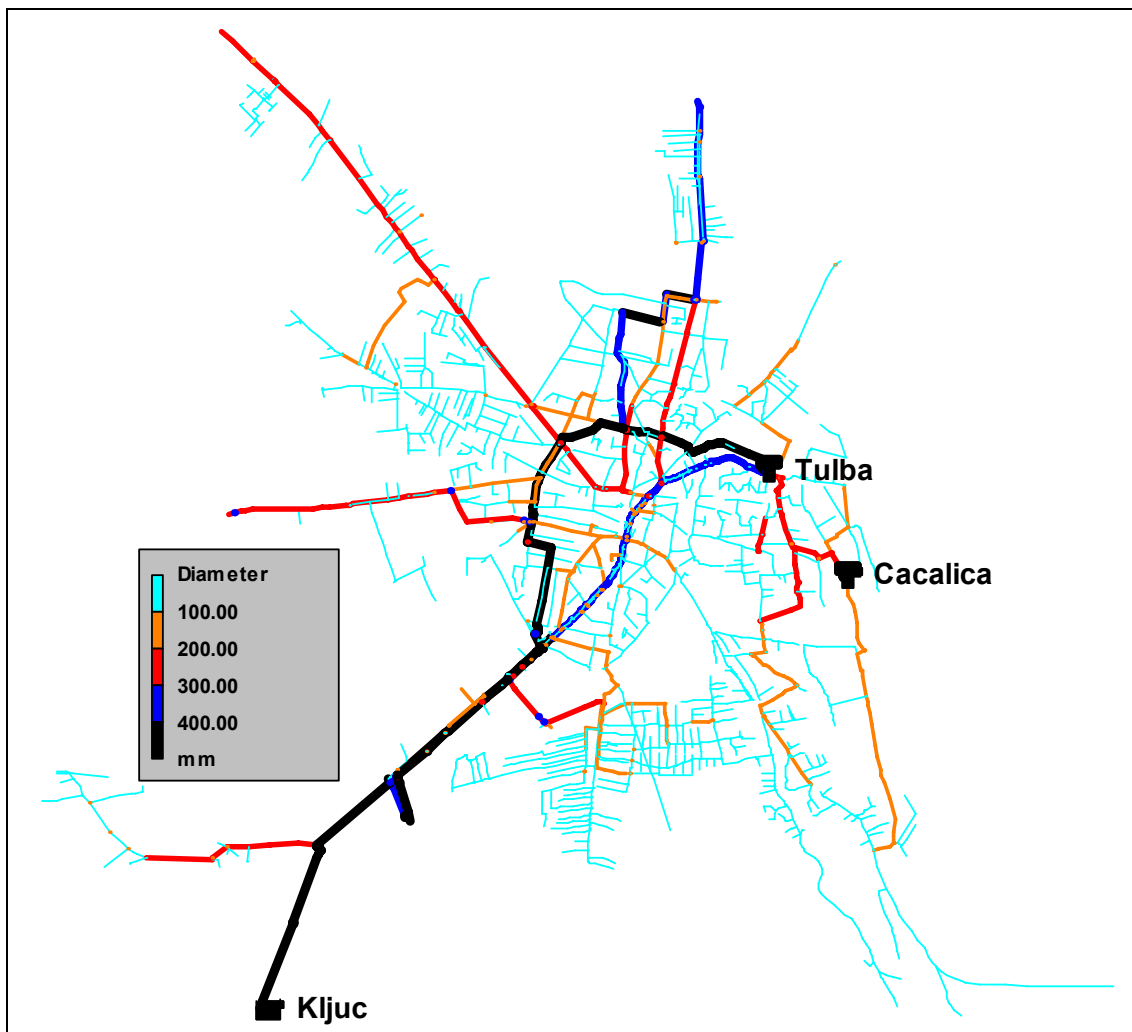
- I зона < 100 mm
- 100 mm < II зона < 150 mm
- 150 mm < III зона < 200 mm.

Највећи број потрошача налази се у I висинској зони.

Вода се обезбеђује црпењем подземне воде на изворишту Кључ, из шљунковите водоносне средине алувиона Велике Мораве. Захваћена подземна вода се након хлорисања испоручује потрошачима, без икаквог допунског третмана. Резултати испитивања квалитета воде показују да је санитарно исправна. Вода из бунара доводи се до резервоара Кључ ($V = 2 \times 2.500 \text{ m}^3$, $KД = 76,00 \text{ mm}$, $KП = 80,00 \text{ mm}$), а затим ПС Кључ потискује воду према граду и резервоару I висинске зоне - Тулба ($V = 2.000 \text{ m}^3$, $KД = 123,80 \text{ mm}$, $KП = 128,00 \text{ mm}$). У ПС Кључ инсталирано је укупно 4 пумпна агрегата (3+1) и два противударна казана. Три пумпе раде 24 сата и одржавају притисак од 5,0 – 5,4 bar (просечно 5,2 bar). Потис пумпи повезан је на потисно-дистрибутивни цевовод $\text{Ø}600/\text{Ø}500$ на коме је, у току пројекта, замењен стари и уграђен нови електромагнетни мерач протока. Из резервоара I висинске зоне, Тулба, пумпном станицом вода се потискује цевоводом пречника $\text{Ø}250$ ка резервоару II висинске зоне - Чачалица ($V = 500 \text{ m}^3$, $KД = 176,50 \text{ mm}$, $KП = 180,50 \text{ mm}$) и потрошачима у тој зони. У оквиру резервоара II висинске зоне, Чачалица, смештено је хидрофорско постројење за пласман воде у III висинску зону. На наредној слици (Сл. 5.1) приказана је шема ВДС Пожаревца.

Дистрибутивна водоводна мрежа Пожаревца је начелно прстенаста и развијала се упоредо са ширењем града и повећањем броја потрошача. Највећи профили цевовода у постојећој мрежи имају вредност од 350-600 mm, а изведени су дуж главних праваца потрошње у систему. Поменути потисни цевовод са изворишта “Кључ” ($\text{Ø}600/\text{Ø}500$) представља главни дистрибутивни вод у I висинској зони, са већим бројем прикључених латерала.

На почетку пројекта, крајем 2008. године, на основу података којима је располагало ЈКП "Водовод" Пожаревац, укупан доток воде у ВДС у 2008. години износио је око $6.540.000 \text{ m}^3/\text{god}$ (просечно 207,4 L/s). Укупна фактурисана потрошња воде износила је око $3.930.000 \text{ m}^3/\text{god}$ (124,6 L/s), од чега становништву 64,3% (индивидуалне куће 46,9%, 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.



Сл. 5.1 Шематски приказ ВДС Пожаревца

Подаци о укупној дужини цевовода били су 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%).

5.1 РЕАЛИЗАЦИЈА АКТИВНОСТИ ЗА СМАЊЕЊЕ НЕОДРЕЂЕНОСТИ КОМПОНЕНТИ ВОДНОГ БИЛАНСА И *ILI*

У почетном кораку (активност 1, поглавље 3) извршена је анализа постојећих подлога и расположивих података о ВДС Пожаревца, како о објектима тако и потрошачима и њиховој потрошњи воде, постојећим базама, мерењима итд. На основу постојећих података израчунате су компоненте водног биланса и индекса *ILI*, као и њихова неодређеност, коришћењем једначина (3.4)-(3.26), а резултати су приказани у Таб. 5.1. Резултати су приказани у складу са стандардном IWA терминологијом (Сл. 5.2).

Добијени резултати имају велику неодређеност и нису употребљиви за доношње исправних управљачких одлука. Након ове анализе приступило се спровођењу активности од 2 - 7, описаних у поглављу 3.

Након спроведене активности 2 (уградња мерача протока велике поузданости на изворишту), смањена је неодређеност *NRW* (са 54% на 17%) и индикатора *ILI* (са 87% на 40%). Након тога спроведене су активности 3, 4 и 5 и добијени су следећи резултати, приказани у Таб. 5.2 и Сл. 5.3.

Таб. 5.1 Процењене вредности компоненти водног биланса, индекса *ILI* и њихове неодређености на почетку пројекта

Улазни податак	Најбоље процењена вредност	95%-ни CL (±)
Доток воде са изворишта у ВДС (m ³ /god) - V_{inp}	6.539.440	± 20 %
Фактурисана измерена легална потрошња воде (m ³ /god) - $V_{VMAC,i}$	3.741.978	± 20 %
Фактурисана неизмерена легална потрошња воде (m ³ /god) - $V_{BUMC,i}$ - (5 % од $V_{VMAC,i}$)	196.454	± 50 %
Нефактурисана легална потрошња воде (m ³ /god) - V_{UAC} - (5 % од V_{inp})	326.972	± 80 %
Укупна фактурисана легална потрошња воде (m ³ /god) - V_{BAC}	3.929.075	± 14 %
Нелегална потрошња воде (m ³ /god) - V_{UC} - (2% од $V_{inp,i}$)	130.789	± 80 %
Запремина воде услед грешки на водомерима (m ³ /god) - V_{CME} - (10 % од $V_{VMAC,i}$)	374.198	± 50 %
Дужина главних цеви (km) - L_m	140	± 30 %
Број прикључака (-) - N_{conn}	11.000	± 30 %
Дужина прикључних цеви (km) - L_{conn}	110	± 50 %
Просечан притисак у ВДС (m) - P_{aver}	45	± 20 %
<i>NRW</i> (m ³ /god)	2.610.365	± 54,4 %
<i>ILI</i>	7,7	± 87,0 %

Доток воде са изворишта у ВДС (V_{inp}) 6.539.440 ± 20,0%	Легална потрошња (AC) 4.256.047	Фактурисана легална потрошња (BAC) 3.929.075 ± 14,1%	(RW) 3.929.075 ± 14,1%
	± 14,4%	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%	

Сл. 5.2 Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса *ILI* и њихове неодређености на почетку пројекта

Доток воде са изворишта у ВДС (V_{inp}) 7.284.590 ± 2,0%	Легална потрошња (AC) 3.591.725	Фактурисана легална потрошња (BAC) 3.518.879 ± 1,6%	(RW) 3.518.879 ± 1,6%
	± 2,3%	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%	

Сл. 5.3 Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса *ILI* и њихове неодређености након спровођења активности 2, 3, 4 и 5

Неизбежни годишњи стварни губици воде *U_{ARL}* износе $231.100 m^3/god$, а њихова неодређеност ± 29,6%. Неизбежни годишњи стварни губици воде *U_{ARL}* нису се променили обзиром да још нису мењани подаци о физичким величинама ВДС. Добијени резултати и даље имају велику неодређеност и нису употребљиви за доношње исправних управљачких одлука.

Након завршетка и активности 6, добијени су следећи резултати, приказани на Таб. 4.3 и Сл. 5.4.

Таб. 5.2 Процењене вредности компоненти водног биланса, индекса *ILI* и њихове неодређености након спровођења активности 2, 3, 4 и 5

Улазни податак	Најбоље процењена вредност	95%-ни CL (±)
Доток воде са изворишта у ВДС (m ³ /god) - V_{inp}	7.284.590	± 2 %
Фактурисана измерена легална потрошња воде (m ³ /god) - $V_{BMAC,i}$	3.351.314	± 2 %
Фактурисана неизмерена легална потрошња воде (m ³ /god) - $V_{BUMC,i}$ - (5 % од $V_{BMAC,i}$)	167.566	± 20 %
Нефактурисана легална потрошња воде (m ³ /god) - V_{UAC} - (1 % од V_{inp})	72.846	± 80 %
Укупна фактурисана легална потрошња воде (m ³ /god) - V_{BAC}	3.518.879	± 1,6 %
Нелегална потрошња воде (m ³ /god) - V_{UC} - (0.1% од V_{inp})	7.285	± 80 %
Запремина воде услед грешки на водомерима (m ³ /god) - V_{CME} - (10 % од $V_{BMAC,i}$)	335.131	± 50 %
Дужина главних цеви (km) - L_m	140	± 30 %
Број прикључака (-) - N_{conn}	13.190	± 2 %
Дужина прикључних цеви (km) - L_{conn}	110	± 50 %
Просечан притисак у ВДС (m) - P_{aver}	45	± 20 %
<i>NRW</i> (m ³ /god)	3.765.711	± 4,2 %
<i>ILI</i>	12,5	± 30,6%

Таб. 5.3 Процењене вредности компоненти водног биланса, индекса *ILI* и њихове неодређености након спровођења активности 2, 3, 4, 5 и 6

Улазни податак	Најбоље процењена вредност	95%-ни CL (±)
Доток воде са изворишта у ВДС (m ³ /god) - V_{inp}	7.284.590	± 2 %
Фактурисана измерена легална потрошња воде (m ³ /god) - $V_{BMAC,i}$	3.351.314	± 2 %
Фактурисана неизмерена легална потрошња воде (m ³ /god) - $V_{BUMC,i}$ - (5 % од $V_{BMAC,i}$)	167.566	± 20 %
Нефактурисана легална потрошња воде (m ³ /god) - V_{UAC} - (1 % од V_{inp})	72.846	± 80 %
Укупна фактурисана легална потрошња воде (m ³ /god) - V_{BAC}	3.518.879	± 1,6 %
Нелегална потрошња воде (m ³ /god) - V_{UC} - (0,1% од $V_{inp,i}$)	7.285	± 80 %
Запремина воде услед грешки на водомерима (m ³ /god) - V_{CME} - (10 % од $V_{BMAC,i}$)	335.131	± 50 %
Дужина главних цеви (km) - L_m	175	± 1 %
Број прикључака (-) - N_{conn}	13.190	± 2 %
Дужина прикључних цеви (km) - L_{conn}	131,9	± 10 %
Просечан притисак у ВДС (m) - P_{aver}	45	± 20 %
<i>NRW</i> (m ³ /god)	3.765.711	± 4,2 %
<i>ILI</i>	12,0	± 21,1 %

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%	
ИИ = 12,0		± 21,1%	

Сл. 5.4 Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса *III* и њихове неодређености након спровођења активности 2, 3, 4, 5 и 6

Неизбежни годишњи стварни губици воде *U_{ARL}* износе $279.217 m^3/god$, а њихова неодређеност $\pm 20,1\%$.

У наредној фази спроведена је активност 7, односно калибрација математичког модела ВДС, што је омогућило одређивање просечног притиска у систему са великом поузданошћу. Ово је веома важно, обзиром да је вредност *U_{ARL}* пропорционална притиску. Одређивањем вредности просечног притиска у систему израчунате су коначне вредности компоненти водног биланса ВДС Пожаревца и индекса *III*, као и њихова неодређеност, и приказане у Таб. 5.4 и на Сл. 5.4.

Процењена вредност *U_{ARL}* износи $263.700 m^3/god$, а његова неодређеност $5,5\%$. Добијени резултати указују на знатно већу поузданост израчунатих компоненти водног биланса и индекса *III*.

Напомиње се, још једном, да спроведене активности не служе за побољшање вредности ИП, већ само за повећање поузданости њихових вредности.

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 и износи око 17.730, од тога 10 % за привреду а 90 % за становништво (54 % индивидуалне куће и 36 % стамбене зграде).

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. Обзиром да ова активност није спроведена, привидни губици имају још увек велику неодређеност, што се може видети у Таб. 5.4 и Сл. 5.5.

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 *ILI*. Највећи извор грешке, односно неодређености, било је мерење дотока воде у систем, обзиром да се ВДС Пожаревца снабдева само из једног изворишта.

Таб. 5.4 Процењене вредности компоненти водног биланса, индекса *ILI* и њихове неодређености након спровођења активности од 2-7

Улазни податак	Најбоље процењена вредност	95%-ни CL (±)
Доток воде са изворишта у ВДС (m ³ /god) - V_{inp}	7.284.590	± 2 %
Фактурисана измерена легална потрошња воде (m ³ /god) - $V_{VMAC,i}$	3.351.314	± 2 %
Фактурисана неизмерена легална потрошња воде (m ³ /god) - $V_{BUMC,i}$ - (5 % од $V_{VMAC,i}$)	167.566	± 20 %
Нефактурисана легална потрошња воде (m ³ /god) - V_{UAC} - (1 % од $V_{inp,i}$)	72.846	± 80 %
Укупна фактурисана легална потрошња воде (m ³ /god) - V_{BAC}	3.518.879	± 1,6 %
Нелегална потрошња воде (m ³ /god) - V_{UC} - (0,1% од $V_{inp,i}$)	7.285	± 80 %
Запремина воде услед грешки на водомерима (m ³ /god) - V_{CME} - (10 % од $V_{VMAC,i}$)	335.131	± 50 %
Дужина главних цеви (km) - L_m	175	± 1 %
Број прикључака (-) - N_{conn}	13.190	± 2 %
Дужина прикључних цеви (km) - L_{conn}	131,9	± 10 %
Просечан притисак у ВДС (m) - P_{aver}	42,5	± 5 %
NRW (m ³ /god)	3.765.711	± 4,2 %
<i>ILI</i>	12,7	± 8,3 %

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%	

Сл. 5.5 Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса *ILI* и њихове неодређености након спровођења активности 2, 3, 4, 5, 6 и 7

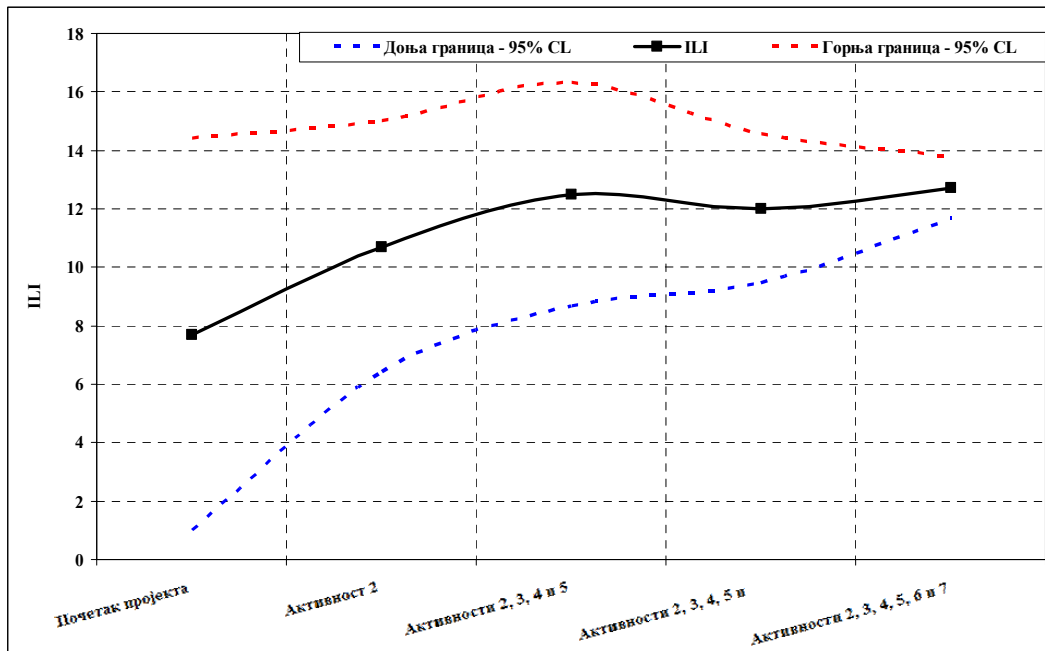
Из добијених резултата, након спровођења свих активности од 2 до 7, може се закључити да је лоцирање свих потрошача и њихово уношење у базу и ГИС значајно утицало на смањење неодређености. Формирањем нове базе значајно се повећао број месечних фактура (скоро за 50%) и број регистрованих водомера (за 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 пројект 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.

Калибрација математичког модела омогућила је поуздано одређивање просечног притиска у ВДС. Ово је од нарочите важности обзиром да је вредност *U_{ARL}* директно пропорционална притиску. На овај начин смањена је и неодређеност индекса *ILI*.

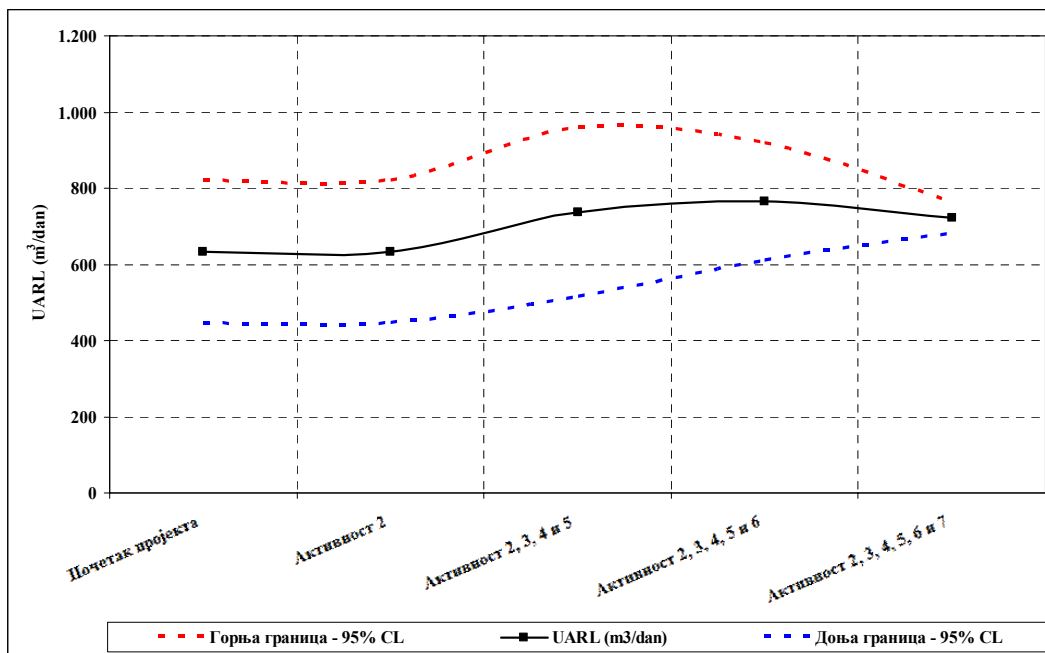
Након спроведених активности процењена вредност индикатора *ILI* се повећала са 7,7 на 12,7 (погоршала се), али се његова неодређеност значајно смањила са

87% на 8%. На наредној слици (Сл. 5.6) дат је приказ утицаја спроведених активности на промене вредности ILI и његове неодређености.

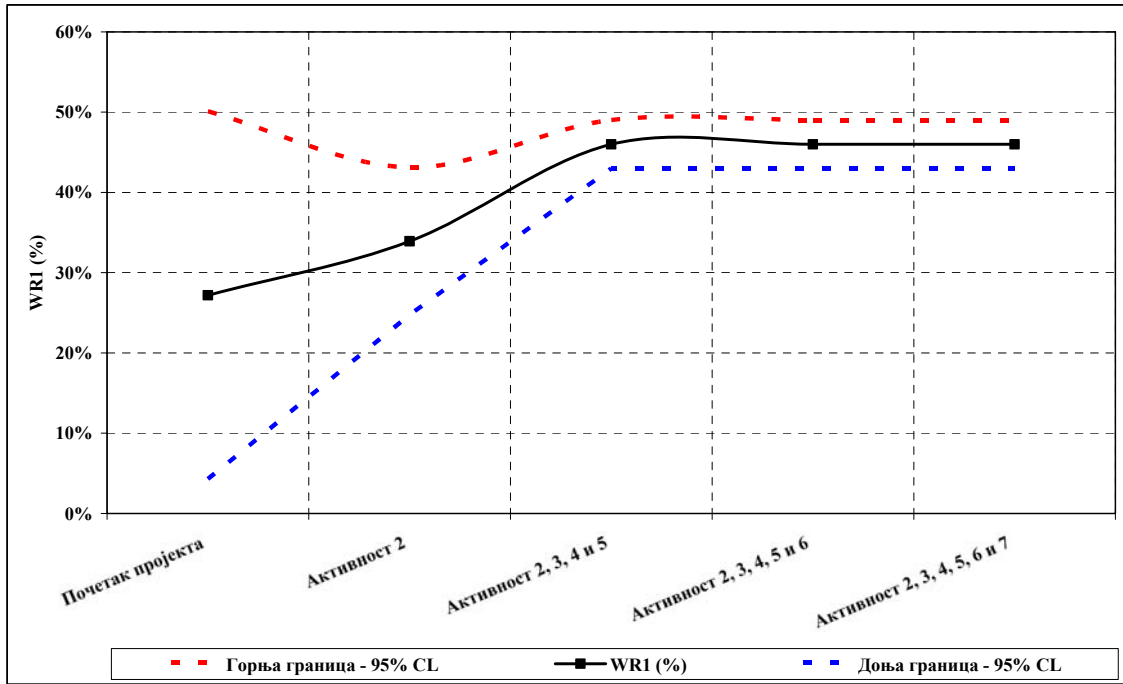


Сл. 5.6 Утицај спроведених активности на промену вредности ILI и његове неодређености

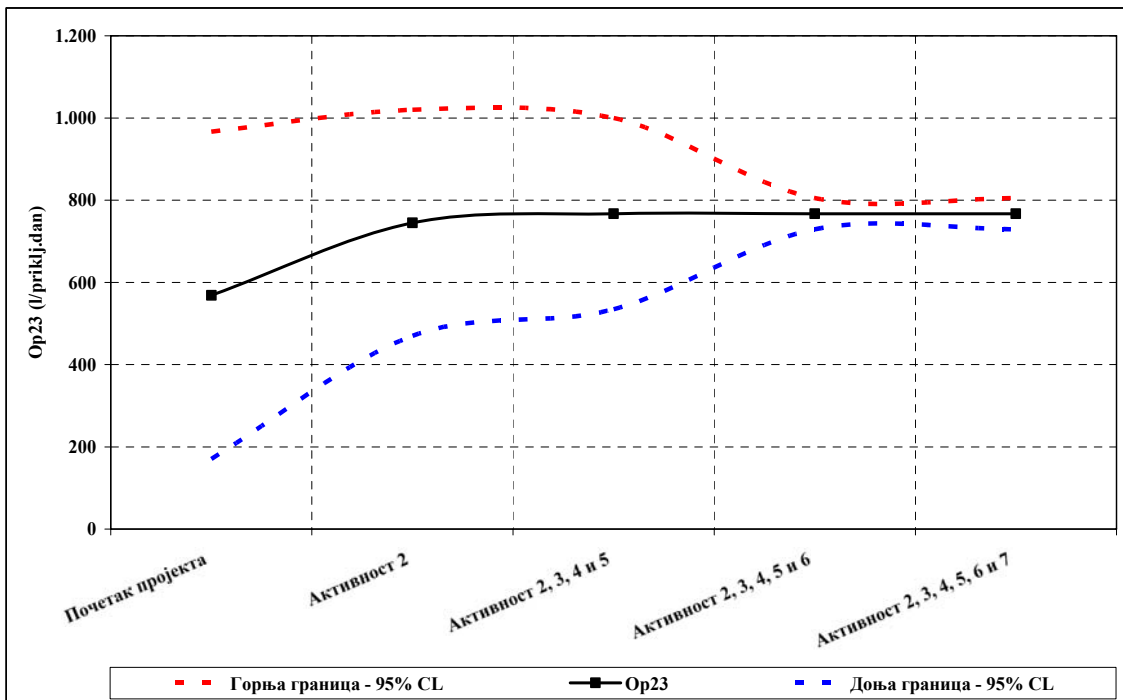
На наредним сликама приказаће се утицај спроведених активности на промену вредности осталих ИП који се прате, као и њихова неодређеност.



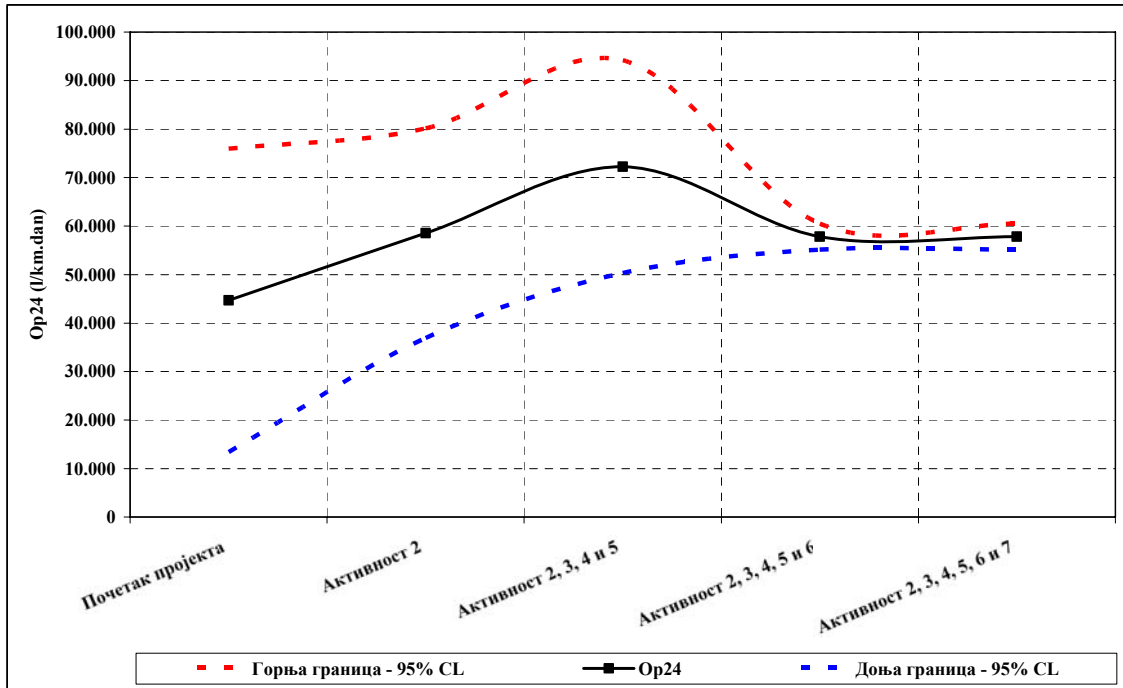
Сл. 5.7 Утицај спроведених активности на промену вредности $UARL$ и његове неодређености



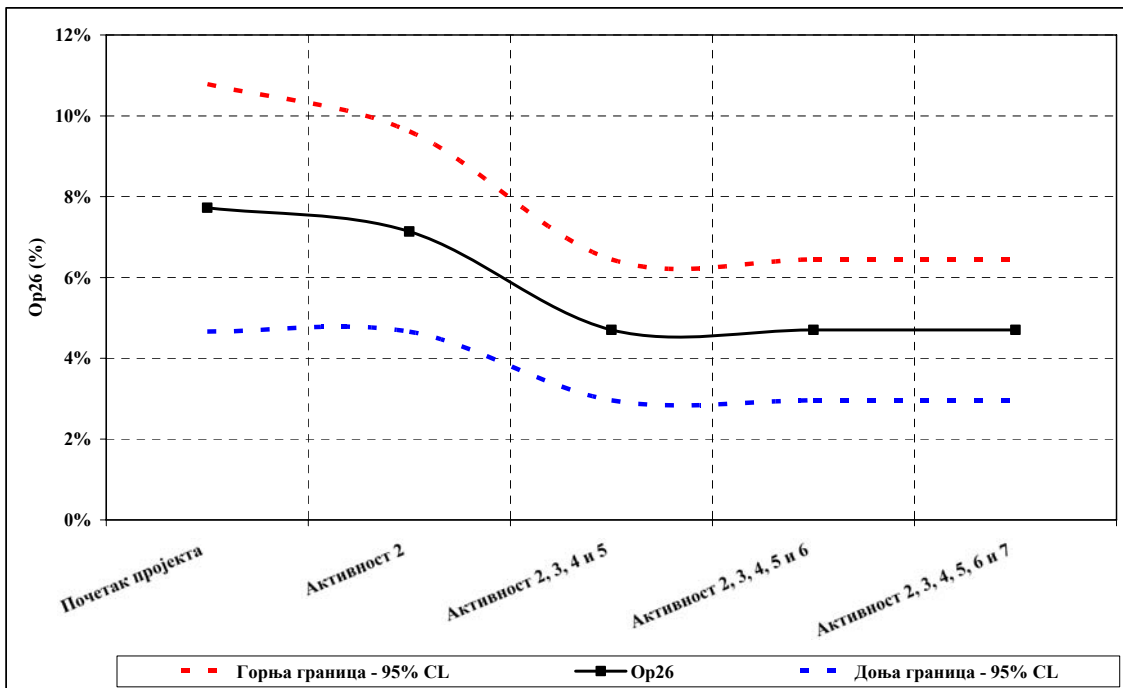
Сл. 5.8 Утицај спроведених активности на промену вредности WR1 и његове неодређености



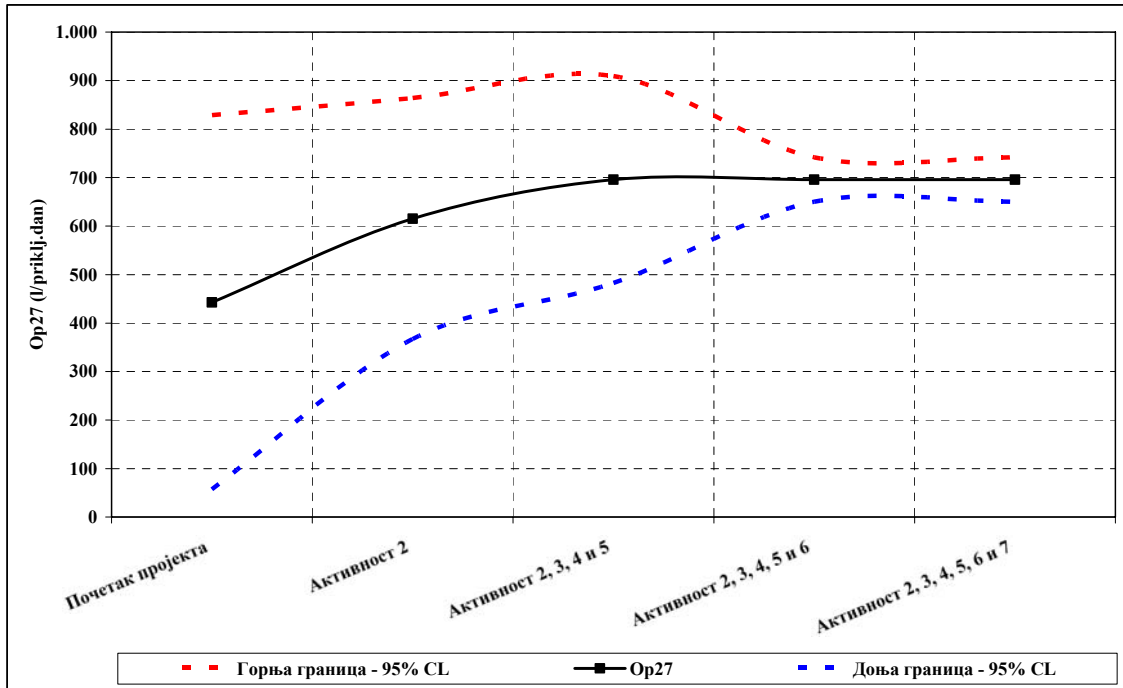
Сл. 5.9 Утицај спроведених активности на промену вредности Op23 и његове неодређености



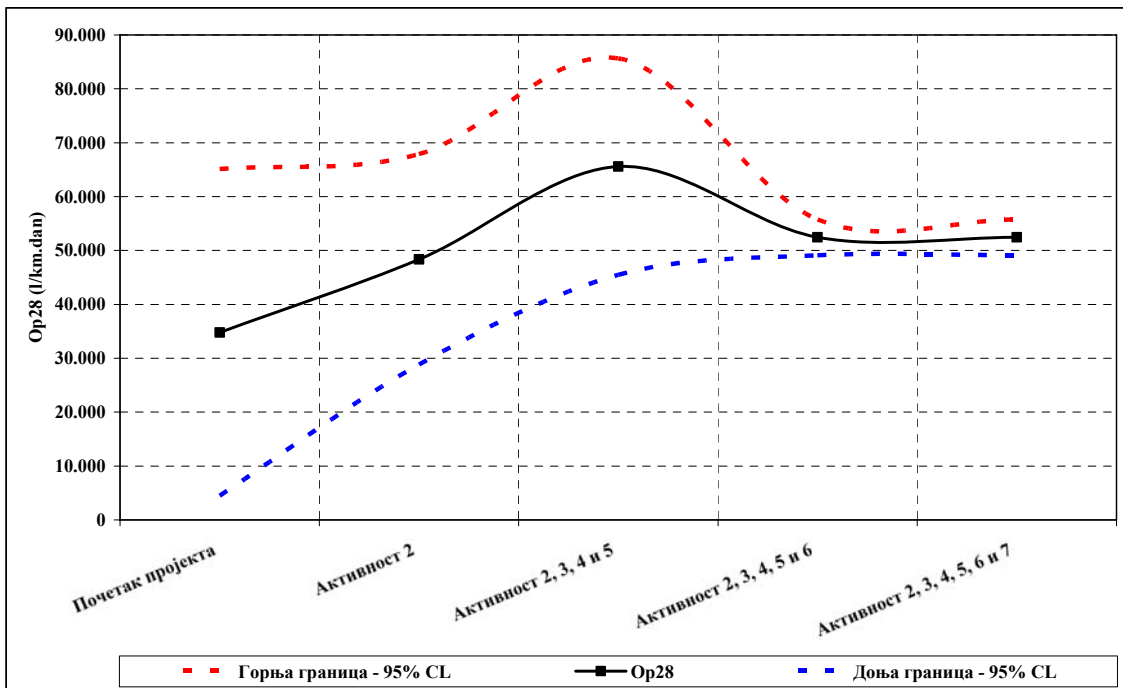
Сл. 5.10 Утицај спроведених активности на промену вредности Op_{24} и његове неодређености



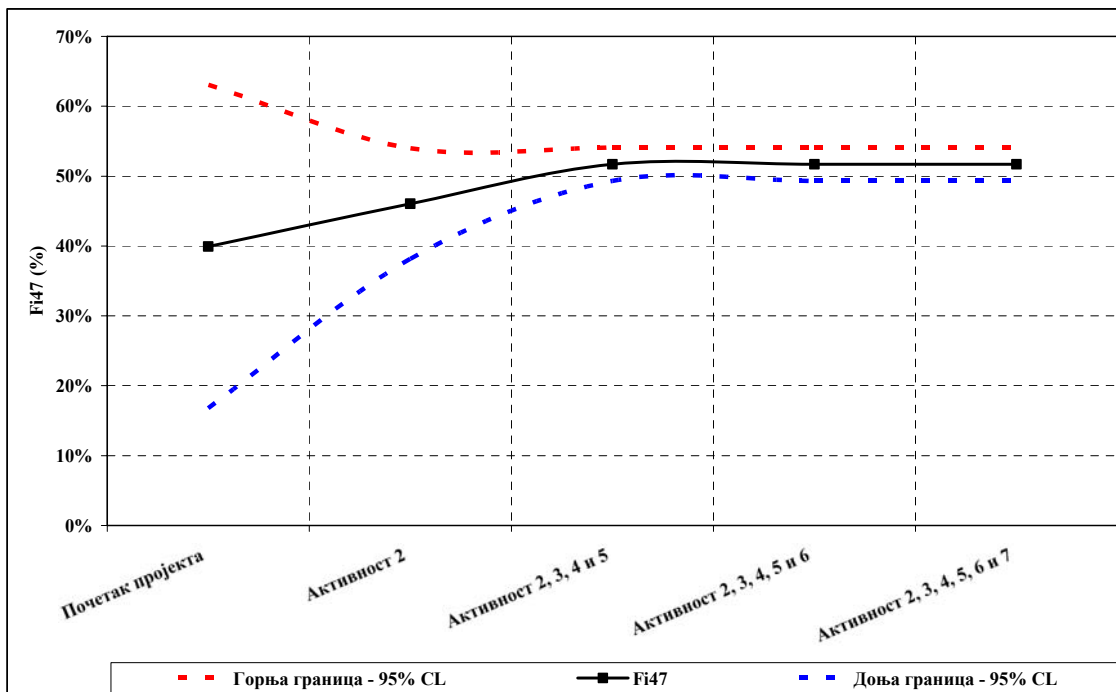
Сл. 5.11 Утицај спроведених активности на промену вредности Op_{26} и његове неодређености



Сл. 5.12 Утицај спроведених активности на промену вредности Op27 и његове неодређености



Сл. 5.13 Утицај спроведених активности на промену вредности Op28 и његове неодређености



Сл. 5.14 Утицај спроведених активности на промену вредности Fi47 и његове неодређености

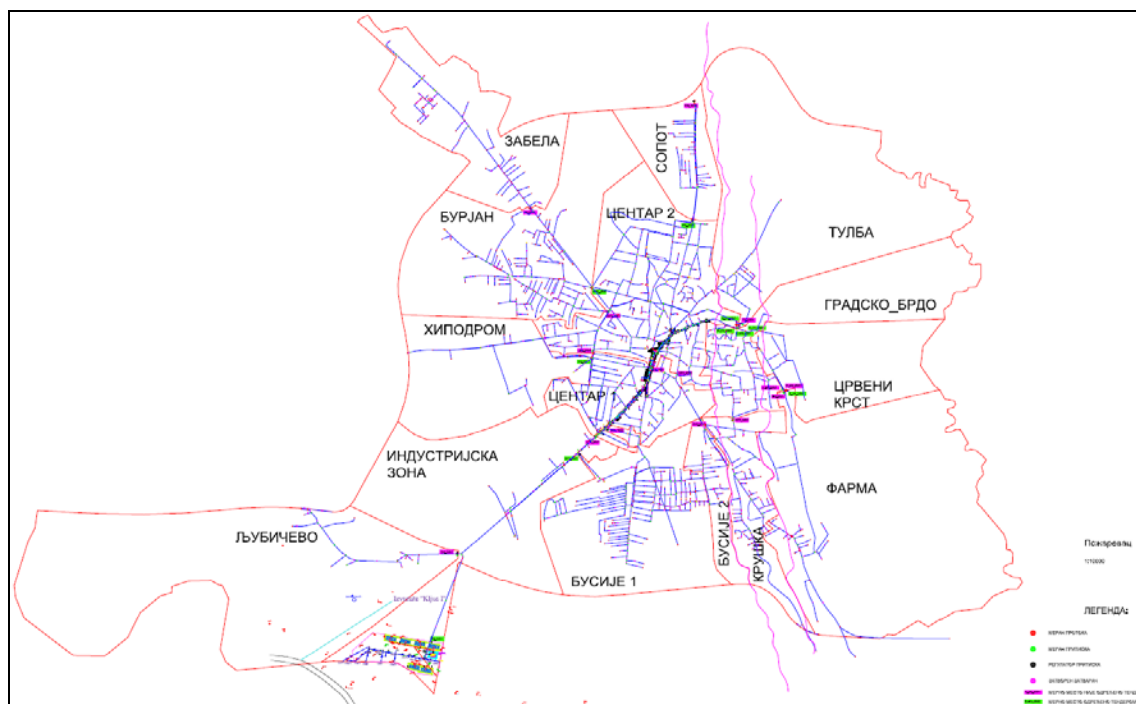
Да би се смањила неодређеност привидних губитака, која је још увек велика, примењена је методологија за њихову процену, приказана у поглављу 3. Методологија је успешно примењена на ВДС Пожаревца, а резултати су приказани у наредном поглављу.

5.2 ПРИМЕНА МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ПРИВИДНИХ ГУБИТАКА ВОДЕ

У поглављу 4 констатовано је да привидни губици воде доводе до осетних губитака прихода водоводних предузећа. Такође, напоменуто је да развој методологија за процену привидних губитака воде није пратио развој методологија за процену стварних губитака воде и да је у великом заостатку. Из наведених разлога, у истом поглављу, дат је приказ развијене методологије за одређивање привидних губитака воде, која ће се у овом поглављу применити на ВДС Пожаревца.

У поглављу 5.1 спроведене су активности како би се смањила неодређеност компоненти водног биланса и ИП. Међутим, добијени резултати указују да је неодређеност привидних губитака и даље велика, и износи $\pm 37\%$.

ВДС Пожаревца је подељен на 15 ОЗБ (Сл. 5.15) са циљем да се одреде компоненте водног биланса, као и приоритетне зоне у којима би требало приступити смањењу губитака воде.



Сл. 5.15 Подела ВДС Пожаревца на ОЗБ

Све ОЗБ су изоловане од осталог дела система преко постојећих затварача. За сваку зону дефинисана места дотока воде у ОЗБ, као и места излаза из ОЗБ (где постоје), и на тим "тачкама" система изграђени су шахтови и уграђени мерачи протока и притиска који су повезани са SCADA системом. Да би се методологија успешно применила (активности 8 и 9), пре њене примене неопходно је спровести активности од 1-7.

За сваку ОЗБ из базе података (ГИС) одређен је укупан број корисника по категоријама потрошача, као и њихова дневна потрошња, на нивоу средње годишње потрошње (статистичком анализом резултата мерења сваког водомера).

5.2.1 Минимална ноћна потрошња воде потрошача у систему

За потребе одређивања компоненти водног биланса и минималне ноћне потрошње воде (као и моделирања рада ВДС), потрошачи су подељени у неколико категорија:

- 1 Велики потрошачи - потрошња воде већа од $10 \text{ m}^3/\text{dan}$. Ови потрошачи су посебно разматрани, и код њих су спроведена мерења часовне потрошње воде у периоду од око 3 недеље, у периоду средњих годишњих потреба за водом. Минимална ноћна потрошња воде сваког потрошача из ове категорије, као и њена неодређеност, добијена је на основу статистичке анализе резултата мерења. Резултати су приказани на наредним сликама.

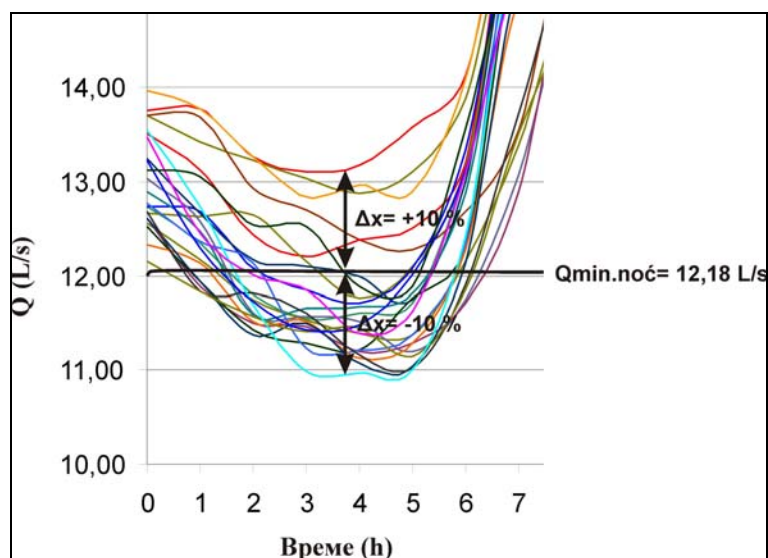
1.1 КПЗ Забела

На наредној слици приказани су резултати мерења потрошње воде у КПЗ Забела током периода од око 4 недеље у периоду средње годишње потрошње воде у ВДС Пожаревца.

Неодређеност минималне ноћне потрошње, на основу статистичке анализе резултата мерења, износи $\pm 10 \%$. Усвојена минимална ноћна потрошња воде КПЗ Забела износи 43.848 L/h . Минимални часовни коефицијент неравномерности потрошње воде износи $0,80$.

Мерења потрошње воде женског затвора рађена су 2011. год., односно нису рађена истовремено кад и сва остала мерења. Резултати мерења из тог

периода су такође показивала малу осцилацију часовне неравномерности потрошње, па је за даље прорачуне усвојена иста вредност минималног часовног коефицијента неравномерности потрошње воде као и за КПЗ Забела од 0,80. На основу претходно усвојене вредности и вредности средње годишње потрошње воде преузете из базе, прорачуном се добија да минимална ноћна потрошња воде износи 2.312 L/h, а обзиром на недостатак мерења усвојена је нешто већа неодређеност од $\pm 20\%$.



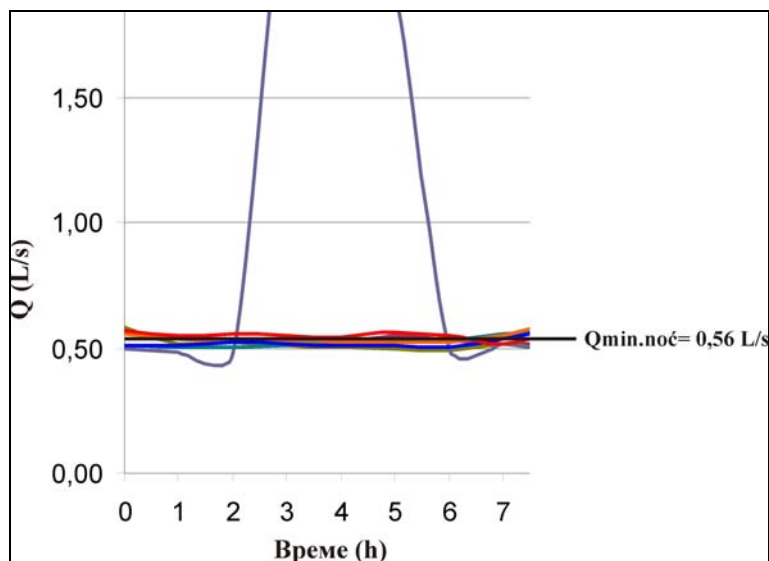
Сл. 5.16 Резултати мерења потрошње воде - КПЗ Забела

1.2 Веолија транс АД "Литас"

На наредној слици приказани су резултати мерења потрошње воде у Веолија транс АД "Литас" током периода од око 10 дана у периоду средње годишње потрошње воде у ВДС Пожаревац.

Неодређеност минималне ноћне потрошње, на основу статистичке анализе резултата мерења, износи $\pm 10\%$. Усвојена минимална ноћна потрошња воде КПЗ Забела износи 2.043 L/h. Минимални часовни коефицијент неравномерности потрошње воде износи 0,84.

Овај корисник има још 2 прикључка на ВДС Пожаревац. Њихова минимална ноћна потрошња воде усвојена је на основу укупне дневне потрошње на нивоу средње годишње потрошње и процене њихове активности током ноћи.



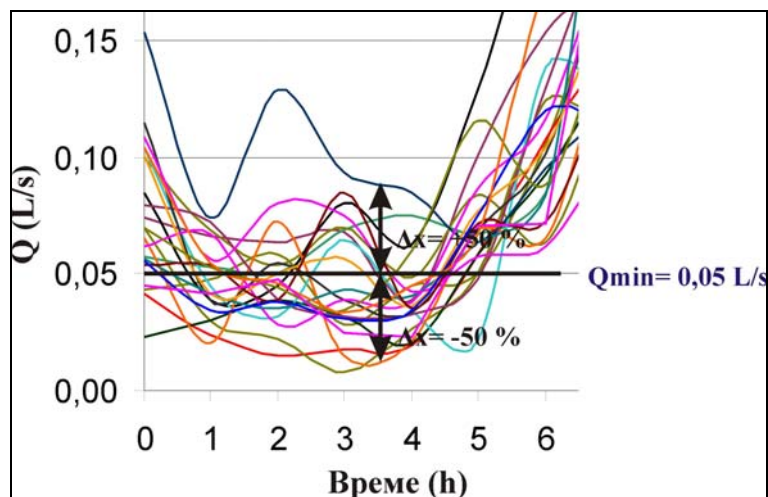
Сл. 5.17 Резултати мерења потрошње воде - Веолија транс АД "Литас"

Један прикључка има потрошњу воде од 58,4 m³/dan и за њега је усвојен исти минимални часовни коефицијент неравномерности од 0,8 па минимална ноћна потрошња воде износи 1.071 L/h. За овај прикључак усвојена је већа неодређеност од ±30 %.

Други прикључак има потрошњу воде од само 9,6 m³/dan и за њега је усвојен минимални часовни коефицијент неравномерности од 0,3 па минимална ноћна потрошња воде износи 120 L/h. И за овај прикључак усвојена је неодређеност од ±30 %.

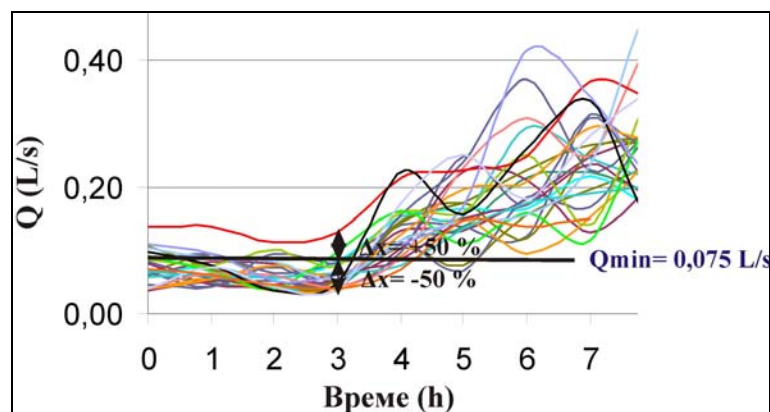
- 2 Индивидуалне куће центар (куће са окућницом). За потребе одређивања карактеристика потрошње ове групе потрошача издвојено је пилот подручје са 25 прикључака и новијом дистрибутивном мрежом укупне дужине 260 m. Доток воде у пилот зону мерен је у периоду од 05.03.2013. год. до 29.03.2013. год.

Укупна минимална ноћна потрошња воде одређена је на основу статистичке анализе резултата мерења и износи 180 L/h, односно 7,20 L/priklj.h. Неодређеност минималне ноћне потрошње, на основу статистичке анализе резултата мерења, износи ±50 %.



Сл. 5.18 Резултати мерења потрошње воде у пилот зони - индивидуалне куће центар

- 3 Индивидуалне куће периферија (куће са баштама). За потребе одређивања карактеристика потрошње ове групе потрошача издвојено је пилот подручје са 38 прикључака и новијом дистрибутивном мрежом укупне дужине 580 m. Доток воде у пилот зону мерен је у периоду од 12.04.2013. год. до 07.05.2013. год.

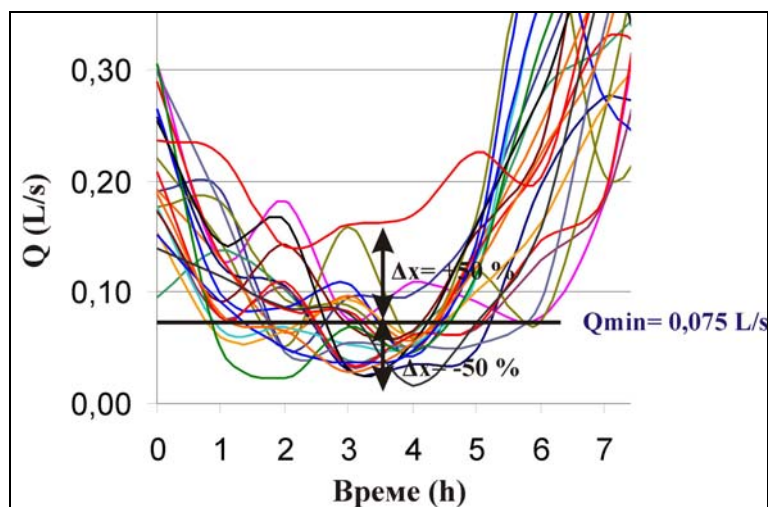


Сл. 5.19 Резултати мерења потрошње воде у пилот зони - индивидуалне куће периферија

Укупна минимална ноћна потрошња воде одређена је на основу статистичке анализе резултата мерења и износи 270 L/h, односно 7,10 L/priklj.h. Неодређеност минималне ноћне потрошње, на основу статистичке анализе резултата мерења, износи $\pm 50\%$.

- 4 Кућни савети. За потребе одређивања карактеристика потрошње ове групе потрошача мерена је потрошња воде на прикључку зграде са 59 станова. Потрошња воде мерена је у периоду од 09.02.2013. год. до 02.03.2013. год.

Укупна минимална ноћна потрошња воде одређена је на основу статистичке анализе резултата мерења и износи 270 L/h, односно 4,50 L/domać.h. Неодређеност минималне ноћне потрошње, на основу статистичке анализе резултата мерења, износи $\pm 50\%$.



Сл. 5.20 Резултати мерења потрошње воде у пилот зони - кућни савети

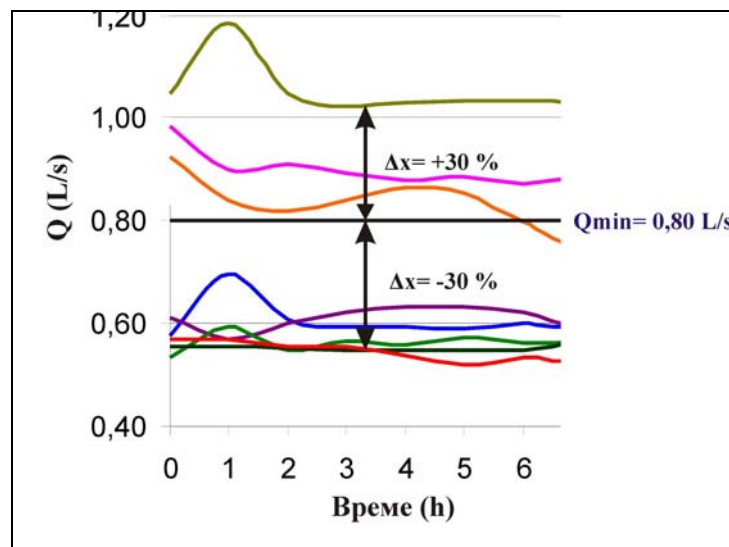
- 5 Мала привреда (локали и занатске радње). Као што је поменуто у поглављу 5, за ову категорију потрошача потребно је одредити репрезентативни статистички узорак на којем би се извршила мерења потрошње воде. Међутим, у ВДС Пожаревца ова мерења нису рађена. Усвојено је да минимални коефицијент часовни неравномерности износи 0,40 па је минимална ноћна потрошња воде ове категорије потрошача процењена на основу просечне фактурисане потрошње воде. Усвојена је неодређеност минималне ноћне потрошње, по једном потрошачу, од $\pm 50\%$.
- 6 Јавне установе. Код појединих потрошача које припадају овој категорији вршена су мерења часовне потрошња воде у периоду од око 3 недеље (општина, хала спортова). Код осталих потрошача који припадају овој

категорији, минимална ноћна потрошња воде процењена је на основу просечне фактурисане потрошње воде.

6.1 Хала спортова

На наредној слици приказани су резултати мерења потрошње воде у хали спортова током периода од око 2 недеље у периоду средње годишње потрошње воде у ВДС Пожареваца.

Неодређеност минималне ноћне потрошње ($Q_{\min.\text{ноћ}} = 2.770 \text{ L/h}$), на основу статистичке анализе резултата мерења, износи $\pm 30 \%$.



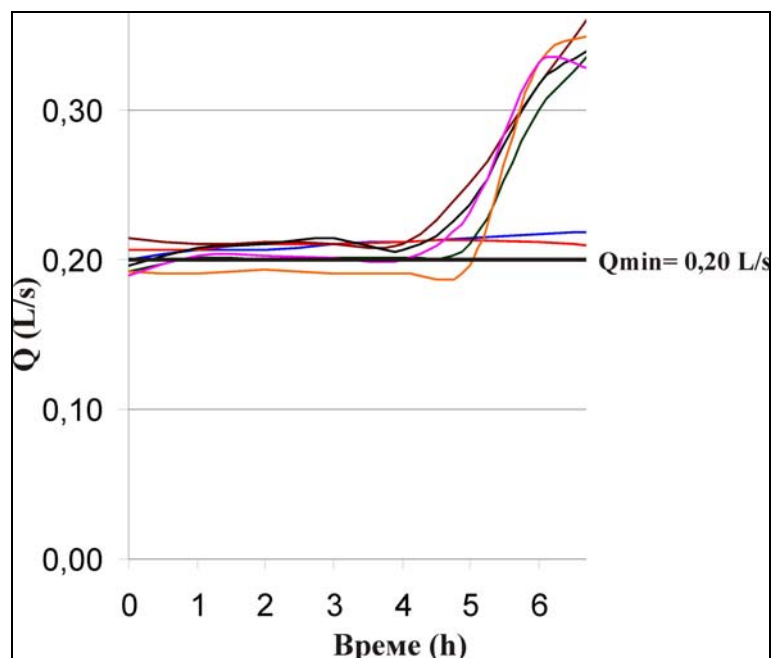
Сл. 5.21 Резултати мерења потрошње воде - хала спортова

6.2 СО Пожаревац

На наредној слици приказани су резултати мерења потрошње воде у скупштини општине Пожаревац током периода од око 2 недеље у периоду средње годишње потрошње воде у ВДС Пожареваца.

Неодређеност минималне ноћне потрошње ($Q_{\min.\text{ноћ}} = 703 \text{ L/h}$), на основу статистичке анализе резултата мерења, износи $\pm 5 \%$. За остале потрошаче, који припадају категорији јавне установе, минимална ноћна потрошња воде усвојена је на основу укупне дневне потрошње на нивоу средње годишње потрошње и процене њихове активности током ноћи. Усвојене минималне

ноћне потрошње воде, као и њена неодређеност, за категорију јавне установе, приказане су у наредној табели (Таб. 5.5).



Сл. 5.22 Резултати мерења потрошње воде - СО Пожаревац

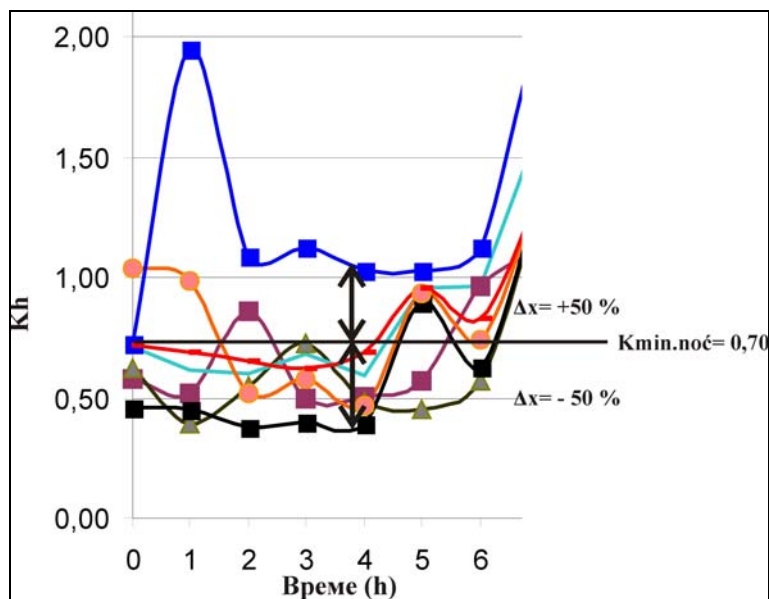
Таб. 5.5 Минимална ноћна потрошња воде категорије потрошача - јавне установе

	База потрошача			Kmin (ноћ)	Qmin.ноћ (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
	Qsr (m ³ /dan)	Qsr (l/h)	Qsr (l/s)			
Народни музеј	0,87	36,36	0,0101	0,30	11	20,0%
Народни музеј	0,64	26,64	0,0074	0,30	8	20,0%
Народни музеј	0,77	32,04	0,0089	0,30	10	20,0%
Народни музеј	0,02	0,72	0,0002	0,50	0	20,0%
ЈКП Ком, службе - гараже	2,14	89,28	0,0248	0,50	45	20,0%
Централна апотека	1,19	49,68	0,0138	0,50	25	20,0%
Апотека	0,30	12,6	0,0035	0,30	4	20,0%
Дечји вртић Невен	18,30	762,48	0,2118	0,30	229	20,0%
Дечји вртић Пчелица	4,61	191,88	0,0533	0,30	58	20,0%
Дечји вртић Лептирић	1,08	45	0,0125	0,30	14	20,0%
Завод за заштиту здравља	9,11	379,44	0,1054	0,30	114	20,0%
Центар за културу	2,52	105,12	0,0292	0,30	32	20,0%
Водомер - Ø32 mm	0,90	37,44	0,0104	0,30	11	20,0%
Савез слепих	0,10	3,96	0,0011	0,30	1	20,0%
СО Пожаревац	33,77	1.406,88	0,3908	0,50	703	5,0%
СО - хидрант	0,44	18,36	0,0051	0,30	6	20,0%
Центар за социјални рад	1,63	68,04	0,0189	0,30	20	20,0%
Шах клуб	0,11	4,68	0,0013	0,30	1	20,0%
Укупно:	78,49	3.270,60	0,9085		1.290	

- 7 Хотели. Мерена је часовна потрошња воде хотела "Дунав" у периоду од око 10 дана. Дијаграм часовне неравномерности потрошње воде овог хотела усвојен је да важи и за остале кориснике који припадају овој категорији потрошача.

На наредној слици (Сл. 5.23) приказани су коефицијенти неравномерности потрошње воде, израчунати на основу резултати мерења потрошње воде у хотелу Дунав током периода средње годишње потрошње воде у ВДС Пожаревца.

Измерени дијаграми неравномерности потрошње воде у хотелу Дунав, усвојени су да важе и за остале потрошаче који припадају овој категорији. Неодређеност минималне ноћне потрошње, на основу статистичке анализе резултата мерења, износи $\pm 50\%$. Усвојена минимална ноћна потрошња воде хотела Дунав износи 882 L/h.



Сл. 5.23 Коефицијенти неравномерности потрошње воде - хотел Дунав

- 8 Школе. Мерена је часовна потрошња воде основне школе "Вук Караџић" у периоду од око 7 дана током 2012. год., односно нису рађена истовремено кад и сва остала мерења, 2013. год. Процењене вредности минималне ноћне

потрошње воде, као и њена неодређеност, за ову категорију, приказане су у Таб. 5.6.

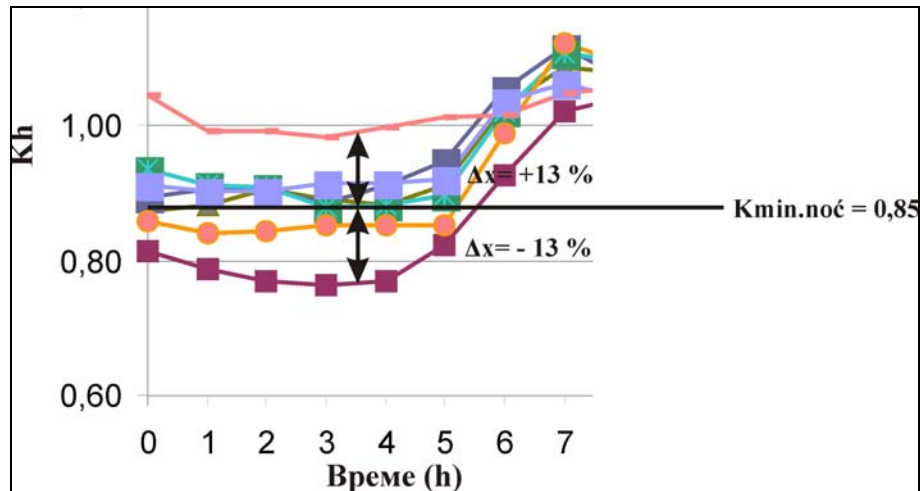
Таб. 5.6 Минимална ноћна потрошња воде категорије потрошача - школе

	База потрошача			Kmin (ноћ)	Qmin.ноћ (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
	Qsr (m ³ /dan)	Qsr (l/h)	Qsr (l/s)			
Висока техничка школа	0,48	20,16	0,006	0,80	16,13	30,0%
Пожаревачка гимназија	5,50	229,32	0,064	0,80	183,46	30,0%
Ромски едукативни центар	1,04	43,20	0,012	0,80	34,56	30,0%
Економско - трговинска школа	2,06	86,04	0,024	0,80	68,83	30,0%
Медицинска школа	0,17	7,20	0,002	0,80	5,76	30,0%
Медицинска школа	0,63	26,28	0,007	0,80	21,02	30,0%
Медицинска школа	0,11	4,68	0,001	0,80	3,74	30,0%
Медицинска школа	1,14	47,52	0,013	0,80	38,02	30,0%
Музичка школа Стеван Мокрањац	0,03	1,44	0,000	0,80	1,15	30,0%
Основна школа краљ Александар I	23,48	978,48	0,272	0,80	782,78	30,0%
Основна школа Свети Сава	3,81	158,76	0,044	0,80	127,01	30,0%
Основна школа Свети Сава	3,24	135,00	0,038	0,80	108,00	30,0%
Основна школа Вук Караџић	13,04	543,24	0,151	0,80	434,59	30,0%
Основна школа Доситеј Обрадовић	2,89	120,60	0,034	0,80	96,48	30,0%
Пољопривредна школа Соња Маринковић	11,61	483,84	0,134	0,80	387,07	30,0%
Пољопривредна школа Соња Маринковић	0,55	23,04	0,006	0,80	18,43	30,0%
Пољопривредна школа	0,05	2,16	0,001	0,80	1,73	30,0%
Политехничка школа	2,72	113,40	0,032	0,80	90,72	30,0%
Укупно:	72,58	3.024,36	0,840		2.419	

Резултати мерења из тог периода указују да минимални коефицијент часовне неравномерности потрошње воде, током ноћи, износи 0,80, па је за даље прорачуне усвојена поменута вредност за све школе. Минимална ноћна потрошња воде свих потрошача, који припадају овој категорији, процењена је на основу просечне годишње фактурисане потрошње воде. Усвојена је неодређеност минималне ноћне потрошње, по једном потрошачу, од ± 30 %.

- 9 Болнице. Мерена је часовна потрошња воде опште болнице "Воја Дулић" у периоду од око 20 дана. Дијаграм часовне неравномерности потрошње воде ове болнице усвојен је да важи и за остале кориснике који припадају овој категорији потрошача.

На наредној слици приказани су коефицијенти неравномерности потрошње воде, израчунати на основу резултати мерења потрошње воде у општој болници Воја Дулић током периода од око 3 недеље у периоду средње годишње потрошње воде у ВДС Пожаревца. Ова болница има највећу потрошњу воде у категорији медицинске установе.



Сл. 5.24 Коefицијенти неравномерности потрошње воде - општа болница Воја Дулић - стара зграда

Измерени дијаграми неравномерности потрошње у општој болници Воја Дугалић усвојени су да важе и за остале болнице. У оквиру медицинских установа постоје и домови здравља, који не раде ноћу, па је усвојени коefицијент неравномерности у време MNF знатно нижи. Неодређеност минималне ноћне потрошње усвојена је да износи $\pm 20\%$, осим за болницу Воја Дулић чија је неодређеност добијена на основу статистичке анализе резултата мерења. Усвојене минималне ноћне потрошње воде, као и њена неодређеност, за категорију медицинске установе, приказане су у Таб. 5.7.

Таб. 5.7 Минимална ноћна потрошња воде категорије потрошача - медицинске установе

	База потрошача			Kmin (ноћ)	Qmin.noć (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
	Qsr (m ³ /dan)	Qsr (l/h)	Qsr (l/s)			
Општа болница Пожаревац	128,65	5.360,40	1,49	0,85	4.556	13,0%
Општа болница Пожаревац	0,96	40,00	0,01	0,30	12	20,0%
Општа болница Пожаревац	5,18	216,00	0,06	0,80	173	20,0%
Општа болница Пожаревац	0,23	9,72	0,00	0,30	3	20,0%
Општа болница Пожаревац	16,42	684,36	0,19	0,80	547	20,0%
Ортопедија	10,86	452,50	0,13	0,80	362	20,0%
Дом здравља	22,34	930,96	0,26	0,30	279	20,0%
Дом здравља	28,38	1.182,60	0,33	0,30	355	20,0%
Медицина рада	18,92	788,40	0,22	0,30	237	20,0%
Укупно:	231,96	9.664,94	2,68		6.524	

5.2.2 Минимални ноћни проток воде у основним зонама билансирања

За сваку ОЗБ, одређен је минимални ноћни проток воде. Обзиром на велики број мерења урађена је статистичка анализа резултата мерења минималног ноћног протока. У ОЗБ у којим постоји више мерача протока ("улаза" и "излаза" из ОЗБ) минимални ноћни проток воде одређен је као минимум укупног протока (збира и/или разлике), а не као минимум сваког мерача протока.

5.2.3 Одређивање стварних и привидних губитака воде у основним зонама билансирања

Методом минималне ноћне потрошње воде одређени су ноћни стварни губици воде WL_{night} у свакој ОЗБ, као и у целом ВДС, једначина (4.14), за време MNF и при просечном притиску $AZNP$ у ОЗБ у том периоду.

Приликом реализације мерења у ВДС Пожаревца није рађен "степ тест" за одређивање експонента притиска стварних губитака воде $N1$, па је из тих разлога морао да се процени. Као што је већ поменуто, велики утицај на његову вредност има врста цевног материјала. У ВДС Пожаревца најзаступљенији цевни материјали су пластика (56,4 %) и азбест-цемент (31,7 %). Међутим, у насељу Котеж (Београдски водоводни систем) у којем је извршен "степ тест" (описано у наредном поглављу б) и у којем је цела дистрибутивна водоводна мрежа од азбест-цементних цеви, добијено је да експонент притиска за стварне губитке воде $N1$ износи 1,35. Такође, на основу препорука из литературе, уобичајена вредност експонента притиска за стварне губитке воде $N1$ за пластичне цеви износи око 1,50. На основу претходно наведеног, за даље прорачуне усвојена је вредност експонента притиска за стварне губитке воде $N1$ за ВДС Пожаревца од 1,40.

Из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела, за потрошњу воде на моделу која одговара средњој годишњој потрошњи воде, у свакој ОЗБ одређен је часовни просечан притисак током посматраног дана, AZP_h . Просечан притисак у ОЗБ за време минималне ноћне потрошње воде, при средњој годишњој потрошњи воде, означен је са $AZNP$. На основу једначине 3.1 израчунавају се ноћни стварни губици воде у дану са средњом годишњом потрошњом воде WL_{night} .

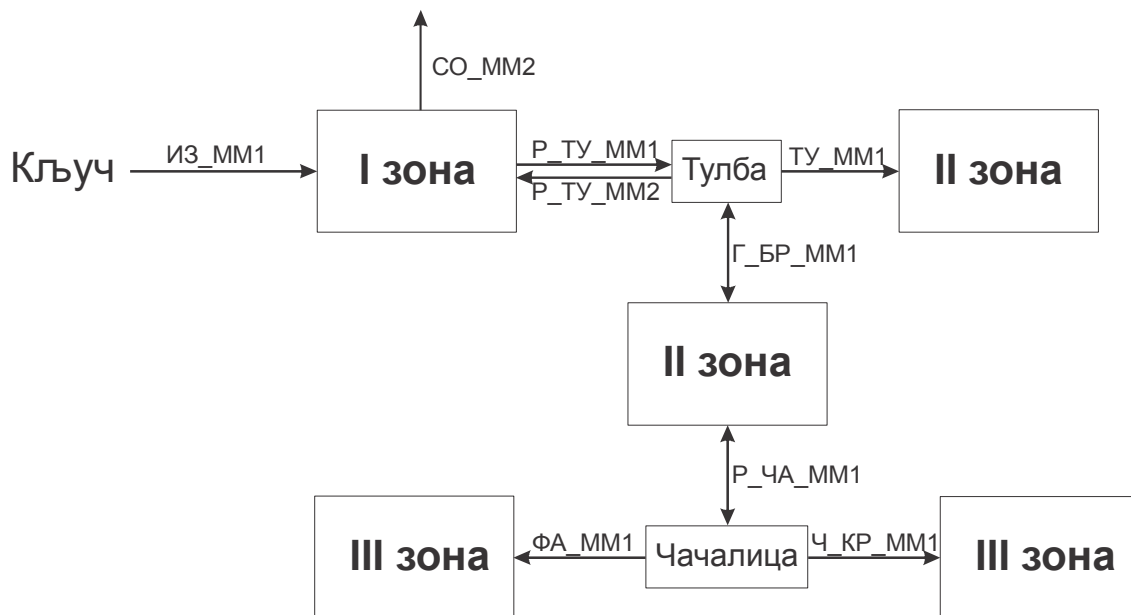
Након тога, на основу дијаграма просечног часовног притиска у ОЗБ током дана са средњом годишњом потрошњом воде, одређени су и часовни стварни губици воде током истог дана (једначина (4.1)). Одузимањем стварних часовних губитака воде од измереног дотока воде у ОЗБ у периоду средње годишње потрошње воде добија се часовна укупна стварна потрошња воде, односно укупна дневна потрошња воде (једначина (4.4)). Упоредивањем резултата прорачуна са средњом годишњом потрошњом воде из базе потрошача, одређују се укупни привидни губици воде.

Након добијених резултата одређује се и њихова поузданост, на начин приказан у поглављу 3. Процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате.

У наредним поглављима дат је приказ резултата прорачуна за цео ВДС Пожаревца, као и по ОЗБ.

5.2.3.1 Одређивање стварних привидних губитака воде у целом ВДС

На Сл. 5.24 дат је шематски приказ мерних места за одређивање водног биланса ВДС Пожаревца. Доток воде у ВДС региструје се преко једног мерног места опремљеног мерачем протока и притиска на потису са изворишта Кључ (ИЗ_ММ1). Мерна места Р_ТУ_ММ1 и Р_ТУ_ММ2 налазе се на доводно/одводним цевоводима резервоара Тулба и опремљени су само мерачима протока. Из резервоара Тулба вода се потискује са два крака ка потрошачима у II висинкој зони и резервоару Чачалица. Мерно место Р_ЧА_ММ1 налази се на доводно/одводном цевоводу резервоара Чачалица и опремљено је само мерачем протока. Код мерних места Г_БР_ММ1 и Р_ЧА_ММ1 течење воде могуће је у оба смера. Из резервоара Чачалица вода се потискује са два крака ка потрошачима у III висинској зони.



Сл. 5.25 Шематски приказ ВДС Пожаревца

У Таб. 5.8 приказан је број потрошача по категоријама потрошње у ВДС Пожаревца, чија потрошња је већа од 0, као и њихова средња годишња потрошња воде из базе потрошача.

Укупан број потрошача у бази потрошача је већи и износи 20.050, односно код 12,5 % потрошача потрошња воде износи 0 (767 који припадају категорији индивидуалне куће центар, 783 који припадају категорији индивидуалне куће перфиерија, 455 који припадају категорији кућни савети, 474 који припадају категорији мала привреда - укупан број свих потрошача је већи за 2.501 кад се додају и остале категорије потрошача). Ова разлика указује на могуће привидне губитке у ВДС.

За сваку категорију потрошача израчуната је укупна минимална ноћна потрошња воде као и њена неодређеност, у складу са претходним поглављем. За прорачун укупне неодређености минималне ноћне потрошње воде коришћене су једначине (3.4)-(3.25) из поглавља 3. У Таб. 5.9 приказани су добијени резултати.

Статистичком анализом резултата мерења 9 мерних места одређен је минимални ноћни проток у ВДС Пожаревца и он износи 158 L/s (Сл. 5.26).

Таб. 5.8 Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде - ВДС Пожаревца

Категорије потрошача из математичког модела	Бр.потрош. (-)	Потрошња (m ³ /dan)	Потрошња (l/s)	Потрошња	
				l/priklj.dan	l/priklj.h
Индивидуалне куће периферија	4.312	1.972,7	22,83	457	19
Индивидуалне куће центар	5.547	2.819,0	32,63	508	21
Кућни савети	6.244	2.095,2	24,25	336	14
Болнице	8	221,1	2,56	27.638	1.152
Хала спортова	2	81,6	0,94	40.820	1.701
Хотел Дунав	1	30,2	0,35	30.237	1.260
Јавне установе	25	136,1	1,58	5.445	227
Бамби 6/4"	1	28,4	0,33	28.432	1.185
Бамби II нова хала	1	84,6	0,98	84.647	3.527
Касарна	4	100,2	1,16	25.056	1.044
КПЗ Забела	2	1.221,2	14,13	610.576	25.441
КПЗ женски затвор	1	69,4	0,80	69.366	2.890
Литас	3	100,1	1,16	33.369	1.390
Ортопедија	1	48,1	0,56	48.063	2.003
Школе	23	102,7	1,19	4.466	186
Железничка станица	1	16,9	0,20	16.859	702
Мала привреда	1.348	674,7	7,81	501	21
Велика привреда	37	263,6	3,05	7.124	297
Укупно:	17.561	10.066	116,50		

На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 102,5 L/s (Таб. 5.9).

Као што је већ поменуто, усвојен је експонент притиска NI за стварне губитке воде од 1,40.

Обзиром да је у мају 2013. год. потрошња воде на нивоу средње годишње потрошње воде, преузета су мерења MNF из тог периода. Мерени резултати (9 мерних места) су осредњени по сатима за 31 дан и са таквим, осредњеним даном у мају месецу, ушло се у даље прорачуне.

Из калибрисаног математичког модела ВДС Пожаревца (потрошња воде на моделу одговара средњој годишњој потрошњи воде) добијени су часовни просечни притисци у ВДС Пожаревца.

На Сл. 5.25 приказан је дневни доток воде у ОЗБ и часовни просечан притисак током осредњеног дана у мају месецу 2013. год. (средња годишња потрошња воде). Укупан дневни доток воде износи 19.958 m³/dan, просечан дневни доток воде износи 831,6 m³/h, а минимални ноћни доток воде MNF износи 571,0 m³/h. Просечан дневни притисак AZP износи 42,6 m, а притисак за време MNF износи 45,7 m ($AZNP$).

Таб. 5.9 Минимална ноћна потрошња воде, *MNF* и неодређеност, по категоријама потрошача

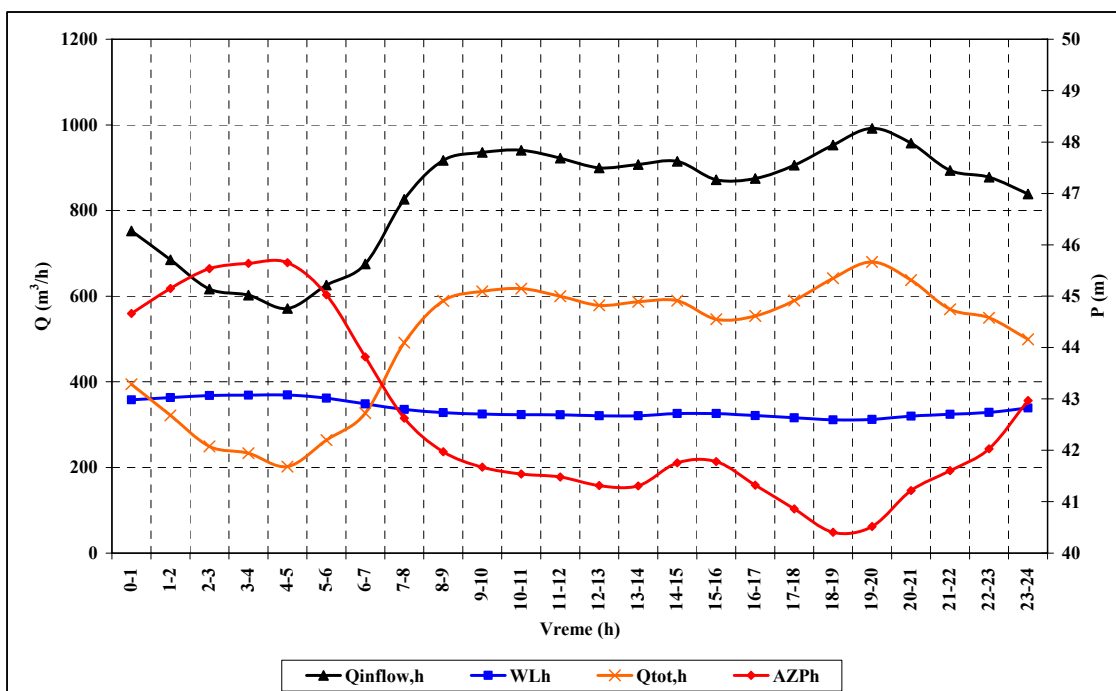
	Q_{min.ноћ} (l/s)	Q_{min.ноћ} (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
Доток у ВДС	158	568.800	2,0%
Болнице	1,63	5.873	14,8%
Хала спортова	0,86	3.104	29,7%
Хотел Дунав	0,25	882	50,0%
Јавне установе	0,80	2.873	7,6%
Касарна	0,75	2.694	19,6%
КПЗ Забела	12,18	43.848	10,0%
КПЗ женски затвор	0,64	2.312	12,0%
Литас	0,88	3.154	12,1%
Ортопедија	0,55	1.980	10,0%
Школе	0,97	3.488	10,3%
Железничка станица	0,25	900	10,0%
Бамби 6/4"	0,10	360	20,0%
Бамби II нова хала	0,80	2.880	50,0%
Мала привреда	3,12	11.245	1,4%
Велика привреда	1,22	4.393	4,9%
Индивидуалне куће	22,13	79.653	0,7%
Ккућни савети	8,37	30.146	0,6%
Укупна мин.ноћна потрошња воде	55,50	199.785	2,5%
Укупни ноћни губици воде	102,50	369.015	3,4%

Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* у мају месецу износи 199,8 m³/h, а ноћни стварни губици воде 369,0 m³/h.

Часовни стварни губици воде током посматраног дана израчунати су коришћењем једначине (4.1), а стварна укупна часовна потрошња воде коришћењем једначина (4.4). Резултати прорачуна приказани су на Сл. 5.26.

На основу резултата прорачуна укупни дневни стварни губици воде у дану са средњом годишњом потрошњом воде износе 8.036 m³/dan (40 % од укупног дневног дотока воде у ВДС), а укупна стварна потрошња воде 11.921 m³/dan. Израчуната стварна потрошња воде је за 18 % већа од фактурисане просечне дневне потрошње воде на нивоу средње годишње потрошње која износи 10.066

m^3/dan . Добијени резултати указују да привидни губици у ВДС Пожаревца износе $1.856 \text{ m}^3/\text{dan}$.



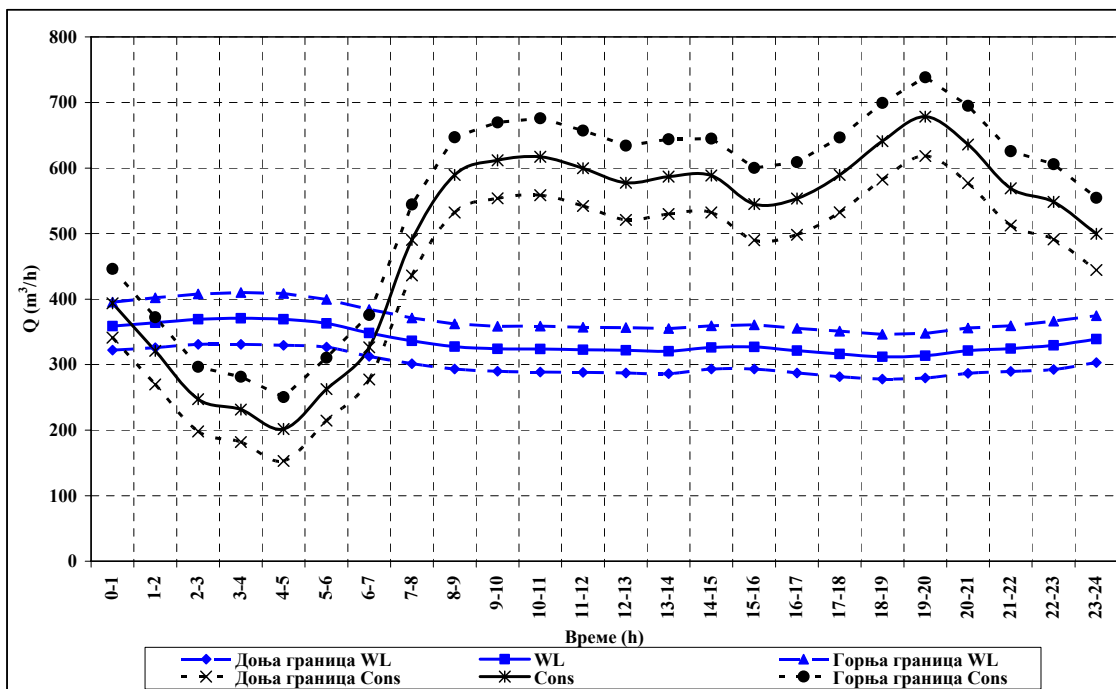
Сл. 5.26 Доток воде у ВДС, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак

Након добијених резултата процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате, како би се проверила њихова поузданост. У Таб. 5.9 дата је процена неодређености улазних података, за 95%-ни интервал поверења. За експонент притиска стварних губитака воде NI усвојена је неодређеност од $\pm 15\%$, а за часовне вредности притиска усвојена је мања неодређеност, од $\pm 5\%$, обзиром да су добијени на основу калибрисаног и верификованог математичког модела ВДС Пожаревца.

Након одређивања свих претходно поменутих величина, у следећем кораку одређују се часовни стварни губици воде - WL_h (једначина (4.1)) за дан са средњом годишњом потрошњом воде. Пошто је једначина (4.1) за одређивање часовних стварних губитака воде експоненцијална није могуће извести аналитички израз за одређивање њихове неодређености. Међутим, како су дефинисане све улазне величине и њихова функција густине вероватноће, као и њихова веза са излазном

величином - WL_h , могуће је применити методу Monte Carlo како би се процениле вредности излазне величине, њена стандардна неодређеност и интервал обухвата вредности. Генерисано је 1.000 понављања прорачуна, на основу чега је израчуната функције густине вероватноће WL_h , математичко очекивање, стандардна девијација и интервал обухвата који садржи вредност WL_h са одређеном вероватноћом. Прорачуни се раде за сваки сат посматраног дана. На Сл. 4.3 приказана је шема прорачуна методом Monte Carlo.

Резултати прорачуна приказани су на наредној слици Сл. 5.27. Међутим, треба напоменути да је укупна неодређеност дневних стварних губитака WL_{day} (m^3/dan) и укупне дневне стварне потрошње WC_{day} (m^3/dan) значајно мања и износи око ± 2 %.



Сл. 5.27 Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења

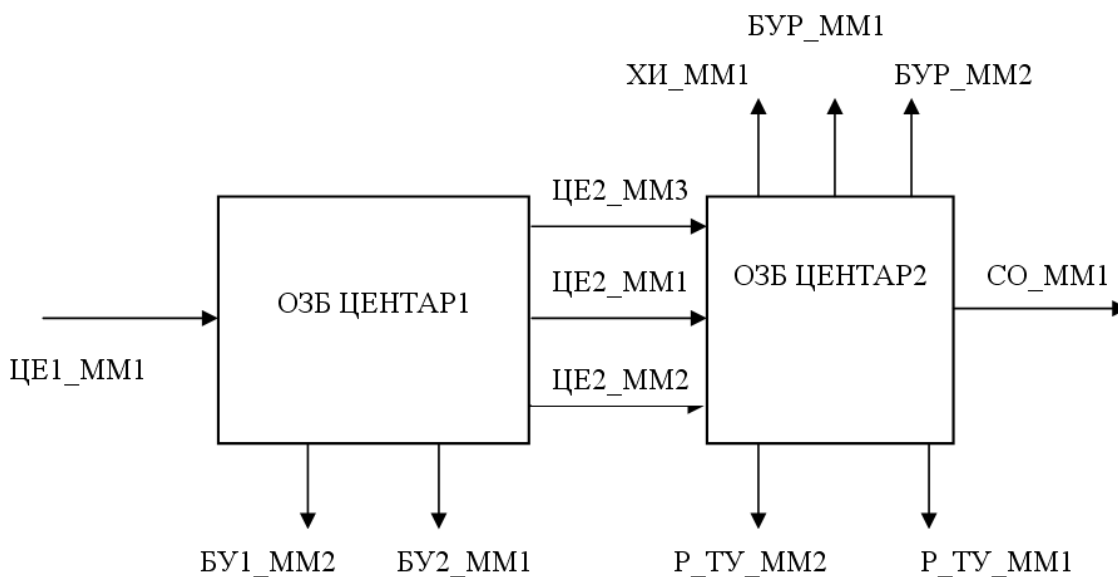
5.2.3.2 Одређивање стварних и привидних губитака воде у ОЗБ Центар 1 и 2

Приликом планирања формирања ОЗБ у ВДС Пожаревца било је предвиђено да се ВДС подели на 15 ОЗБ. Међутим, у неколико зона мерења нису успела, тако да у тим ОЗБ није могла да се изврши процена стварних и привидних губитака воде.

У наредном тексту приказан је прорачун стварних и привидних губитака воде за највећу ОЗБ Центар 1 и 2, док су резултати прорачуна за остале ОЗБ приказани у прилозима 2.1-2.9.

Приликом планирања формирања ОЗБ у ВДС Пожаревца било је предвиђено да се централно градско подручје подели у две ОЗБ, Центар 1 и Центар 2 (Сл. 5.28). Међутим, након формирања зона утврђено да је уколико се затвори један од вентила део потрошача остаје без воде. Обзиром да су радови потребни за превазилажење овог проблема захтевали додатно време и финансијска средства која нису била на располагању одлучено је да се ове две зоне споје у једну, Центар 1 и 2, а да се потпуно одвајање ових зона изврши накнадно.

На Сл. 5.28 дат је шематски приказ мерних места за ОЗБ Центар 1 и 2. Доток воде у ОЗБ региструје се преко једног новоформираног шахта (мерно место) са два мерача протока и притиска (два доводна паралелна цевовода). Мерно место је означено као ЦЕ1_ММ1. "Излаз" из ОЗБ региструје се преко 8 мерних места, следећих ознака: БУ1_ММ2, БУ2_ММ1, ХИ_ММ1, БУР_ММ1, БУР_ММ2, СО_ММ1, Р_ТУ_ММ1 и Р_ТУ_ММ2. Мерна места Р_ТУ_ММ1 и Р_ТУ_ММ2 налазе се на доводно/одводним цевоводима резервоара Тулба и опремљени су само мерачима протока.



Сл. 5.28 Шематски приказ ОЗБ Центар 1 и 2

У Таб. 5.10 приказан је број потрошача по категоријама потрошње, чија потрошња је већа од 0, који припадају ОЗБ Центар 1 и 2, и њихова средња годишња потрошња воде из базе потрошача.

Таб. 5.10 Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде - ОЗБ Центар 1 и 2

Категорије потрошача из математичког модела	Бр.потрош. (-)	Потрошња (m ³ /dan)	Потрошња (l/s)	Потрошња	
				l/priklj.dan	l/priklj.h
Индивидуалне куће периферија	15	6,0	0,069	397	17
Индивидуалне куће центар	4.199	2176,4	25,190	518	22
Кућни савети	5.722	1887,6	21,847	330	14
Болнице	8	221,1	2,559	27.638	1.152
Хала спортова	2	81,6	0,945	40.820	1.701
Хотел Дунав	1	30,2	0,350	30.237	1.260
Јавне установе	19	100,4	1,163	5.286	220
Касарна	1	1,6	0,018	1.566	65
КПЗ женски затвор	1	69,4	0,803	69.366	2.890
Литас	2	41,7	0,483	20.862	869
Ортопедија	1	48,1	0,556	48.063	2.003
Школе	19	83,7	0,969	4.405	184
Железничка станица	1	16,9	0,195	16.859	702
Мала привреда	1.155	515,7	5,969	447	19
Велика привреда	21	107,9	1,249	5.139	214
Укупно:	11.167	5.388	62,4		

Укупан број потрошача у бази потрошача је већи и износи 12.590, односно код 11,4 % потрошача потрошња воде износи 0 (574 који припадају категорији индивидуалне куће центар, 438 који припадају категорији кућни савети, 407 који припадају категорији мала привреда - укупан број свих потрошача је већи за 1.422 кад се додају и остале категорије потрошача). Ова разлика указује на могуће привидне губитке у ОЗБ.

За сваку категорију потрошача израчуната је укупна минимална ноћна потрошња воде као и њена неодређеност, у складу са претходним поглављем. У Таб. 5.11 приказани су добијени резултати.

Статистичком анализом резултата мерења 9 мерних места одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Центар 1 и 2 и он износи 86 L/s (Сл. 5.29).

На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 61,7 L/s (Таб. 5.11).

Као што је већ поменуто, усвојен је експонент притиска NI за стварне губитке воде од 1,40.

Обзиром да је у мају 2013. год. потрошња воде на нивоу средње годишње потрошње воде, преузета су мерења *MNF* из тог периода. Мерени резултати (9 мерних места) су осредњени по сатима за 31 дан и са таквим, осредњеним даном у мају месецу, ушло се у даље прорачуне.

Таб. 5.11 Минимална ноћна потрошња воде, *MNF* и неодређеност, по категоријама потрошача

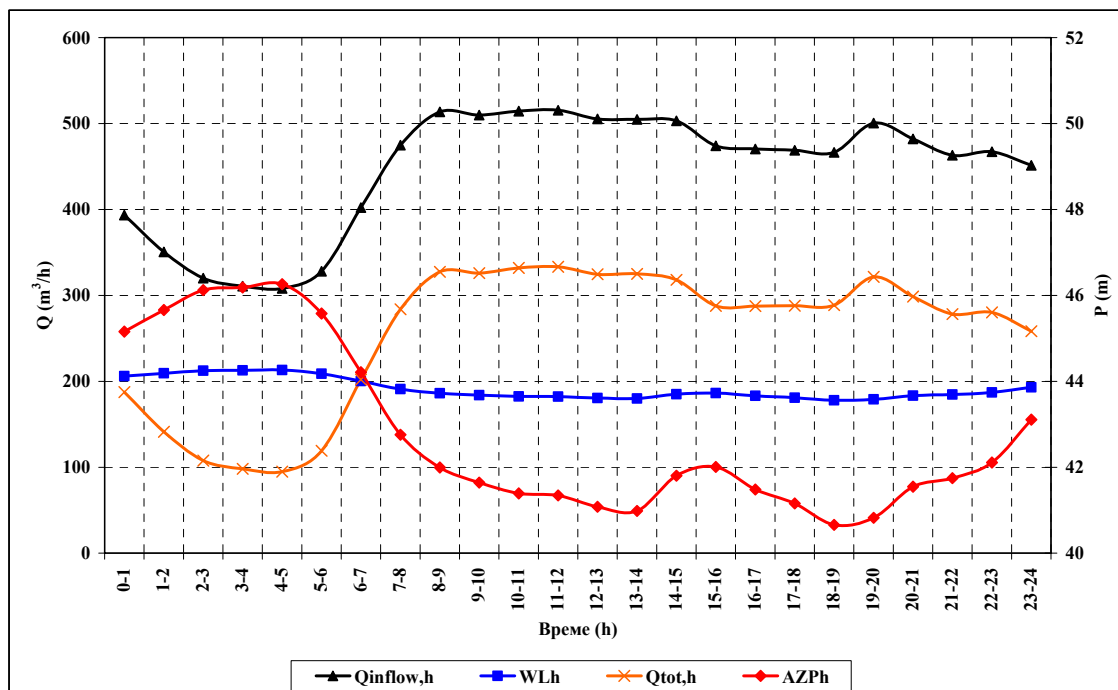
	Q_{min.noć} (l/s)	Q_{min.noć} (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
Доток у ОЗБ	85,60	308.160	5,0%
Болнице	1,63	5.873	14,8%
Хала спортова	0,86	3.104	29,7%
Хотел Дунав	0,25	882	50,0%
Јавне установе	0,60	2.175	8,7%
Касарна	0,01	26	10,0%
КПЗ женски затвор	0,64	2.312	12,0%
Литас	0,88	3.154	12,1%
Ортопедија	0,55	1.980	10,0%
Школе	0,79	2.851	11,1%
Железничка станица	0,25	900	10,0%
Мала привреда	2,39	8.595	1,5%
Велика привреда	0,50	1.799	6,5%
Индивидуалне куће	9,28	33.411	0,8%
Кућни савети	7,70	27.720	0,7%
Укупна мин. ноћна потрошња воде	26,28	94.608	1,7%
Укупни ноћни губици воде	59,32	213.552	7,3%

Из калибрисаног математичког модела ВДС Пожаревца (потрошња воде на моделу одговара средњој годишњој потрошњи воде) добијени су часовни просечни притисци у посматраној ОЗБ.

На Сл. 5.29 приказан је часовни доток воде у ОЗБ и часовни просечан притисак током осредњеног дана у мају месецу 2013. год. (средња годишња потрошња воде). Укупан дневни доток воде износи 10.698 m³/дан, просечан дневни доток воде износи 445,8 m³/h, а минимални ноћни доток воде *MNF* износи 308,2 m³/h. Просечан дневни притисак *AZP* износи 42,8 m, а притисак за време *MNF* износи 46,3 m (*AZNP*).

Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* у мају месецу износи 94,6 m³/h, а ноћни стварни губици воде 213,6 m³/h.

Часовни стварни губици воде током посматраног дана израчунати су коришћењем једначине (4.1), а стварна укупна потрошња воде коришћењем једначине (4.4). Резултати прорачуна приказани су на наредној Сл. 5.29.



Сл. 5.29 Доток воде у ОЗБ, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак

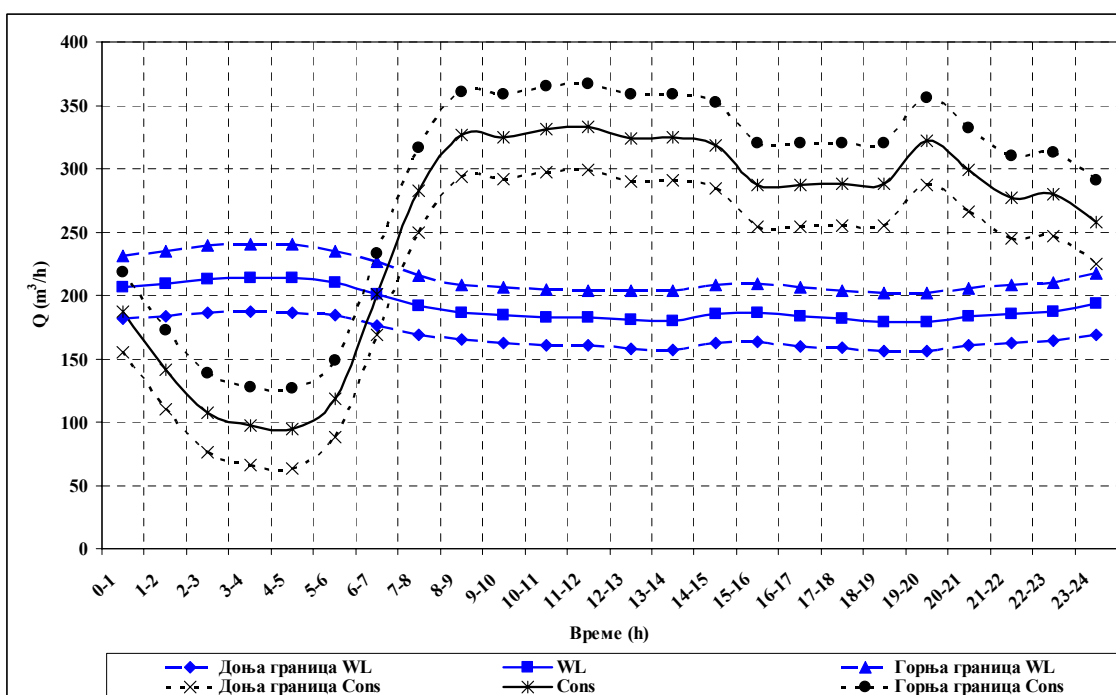
На основу резултата прорачуна укупни дневни стварни губици воде у дану са средњом годишњом потрошњом воде износе $4.589 \text{ m}^3/\text{dan}$ (43 % од укупног дневног дотока воде у ОЗБ), а укупна стварна потрошња воде $6.109 \text{ m}^3/\text{dan}$. Израчуната стварна потрошња воде је за 13,4 % већа од фактурисане просечне дневне потрошње воде на нивоу средње годишње потрошње која износи $5.388 \text{ m}^3/\text{dan}$. Добијени резултати указују да привидни губици у ОЗБ Центар 1 и 2 износе $721 \text{ m}^3/\text{dan}$.

Након добијених резултата процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате, како би се проверила њихова поузданост. У Таб. 5.11 дата је процена неодређености улазних података, за 95%-ни интервал поверења. За експонент притиска стварних губитака

воде NI усвојена је неодређеност од $\pm 15\%$, а за часовне вредности притиска усвојена мања неодређеност од $\pm 5\%$.

Обзиром да је једначина (4.1), која се користи за прорачун часовних стварних губитак воде експоненцијална, прорачун пропагације неодређености је урађен применом методе Monte Carlo, као и у претходном поглављу за цео ВДС.

Резултати прорачуна приказани су на наредној слици (Сл. 5.30). Међутим, треба напоменути да је укупна неодређеност дневних стварних губитака и укупне дневне стварне потрошње значајно мања и износи око $2,5\%$.



Сл. 5.30 Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења

5.2.3.3 Одређивање стварних и привидних губитака воде у осталим ОЗБ

Као што је већ поменуто, приликом планирања формирања ОЗБ у ВДС Пожаревца било је предвиђено да се ВДС подели на 15 ОЗБ. Међутим, централно градско подручје Центар 1 и Центар 2 морало је да се споји у 1 ОЗБ, а мерења нису успела у још 4 ОЗБ (табела 4.12), тако да у тим ОЗБ није могла да се изврши процена стварних и привидних губитака воде применом ове методологије.

Прорачуни стварних и привидних губитака у осталим ОЗБ извршени су на сличан начин као за цео ВДС и за ОЗБ Центар 1 и 2, а резултати прорачуна приказани су у прилозима 2.1-2.9. За сваку ОЗБ дат је шематски приказ мерних места, број потрошача по категоријама чија потрошња је већа од 0 и њихова средња годишња потрошња воде из базе потрошача, као и укупан број потрошача у бази потрошача. За сваку категорију потрошача израчуната је укупна минимална ноћна потрошња воде као и њена неодређеност. Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у савку ОЗБ. Из калибрисаног математичког модела ВДС Пожаревца (потрошња воде на моделу одговара средњој годишњој потрошњи воде) добијени су часовни просечни притисци у свакој ОЗБ. Такође, за сваку ОЗБ приказан је дневни доток воде у ОЗБ и часовни просечан притисак током осредњеног дана у мају месецу 2013. год. (средња годишња потрошња воде) и приказани су резултати часовних стварних губитака воде и стварне укупне часовне потрошње воде. Одређени су привидни губици воде за сваку ОЗБ. Након добијених резултата процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате.

У Таб. 5.12 дат је сумарни приказ резултата прорачана за сваку ОЗБ у ВДС Пожаревца.

Таб. 5.12 Резултати прорачуна стварних и привидних губитака по ОЗБ

ОЗБ	Бр.потрош. у бази (-)	Бр.потрош. у бази, Q>0 (-)	Укупна потрошња из базе (m ³ /dan)	Укупна стварна потрошња (m ³ /dan)	Укупни стварни губици воде (m ³ /dan)	Укупни привидни губици воде (m ³ /dan)	Просечан притисак (m)	Неодређеност	
								стварна потрошња (%)	губици воде (%)
Центар 1 и 2	12.590	11.167	5.388	6.109	4.589	721	42,8	2,6%	2,5%
Бурјан	1.346	1.198	562	764	856	202	38,5	3,5%	2,4%
Бусије 1	2.163	1.970	900	1.311	1.617	411	33,8	3,8%	2,5%
Црвени крст	193	146	63	95	42	32	30,8	2,4%	4,1%
Фарма	406	291	133	183	54	50	38,2	2,0%	5,0%
Хиподром	123	116	94	129	88	35	48,5	2,9%	3,4%
Крушка	750	605	255	345	133	91	60,5	2,3%	4,5%
Љубичево	185	127	77	92	57	14	50,6	3,0%	4,0%
Тулба	309	253	121	157	70	36	52,3	2,4%	4,1%
Забела	517	441	1.370	1.425	212	55	36,3	2,4%	14,5%
Бусије 2	-	-	-	-	-	-	нису успела мерења		
Градско брдо	-	-	-	-	-	-	нису успела мерења		
Индустријска зона	-	-	-	-	-	-	нису успела мерења		
Сопот	-	-	-	-	-	-	нису успела мерења		
Укупно:	18.582	16.314	8.962	10.612	7.718	1.649			

5.2.4 Одређивање индекса "ноћни *ILI*"

Одређивање "ноћног *ILI*" је веома користан и практичан приступ за брзу процену стварних губитака воде у ОЗБ, као и проверу вредности *ILI* израчунатог из годишњег водног биланса.

Након спроведене активности 9 извршен је прорачун вредности индекса "ноћни *ILI*" за цео ВДС Пожаревца (активност 10), који представља однос ноћних стварних губитака воде и *UARL* (за прорачун *UARL* користи се вредност ноћног просечног притиска у ОЗБ - *AZNP*). Ноћни стварни губици воде, WL_{night} , у ВДС Пожаревца износе 102,50 L/s, односно 369.015 L/h (Таб. 5.9), а просечан ноћни притисак, *AZNP*, у ВДС Пожаревца износи 45,7 m.

Неизбежни ноћни губици воде износе $UARL_{noc} = 32.434$ L/h, па вредност индекса "ноћни *ILI*" износи 11,4 (једначина (3.3)).

5.3 ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА ПРИМЕНЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ОДРЕЂИВАЊА ПРИВИДНИХ И СТВАРНИХ ГУБИТАКА ВОДЕ

У Таб. 5.12 и на Сл. 5.31 приказани су резултати прорачуна стварних и привидних губитака воде у 10 ОЗБ у којима су успешно спроведена мерења и у којима су могли да се процене стварни и привидни губици воде.

<p>Доток воде са изворишта у ВДС (V_{inflow})</p> <p>7.284.590</p> <p>± 2,0%</p>	<p>Укупна стварна потрошња воде</p> <p>4.351.305</p> <p>± 2,3%</p>	<p>(RW)</p> <p>3.518.879</p> <p>± 1,6%</p>
	<p>Укупни стварни губици воде (CARL)</p> <p>2.933.285</p> <p>± 2,2%</p>	<p>(NRW)</p> <p>3.765.711</p> <p>± 4,2%</p>
<p>ILI = 11,1 6,0%</p>		

Сл. 5.31 Процењене вредности компоненти водног биланса (m^3/god), индекса *ILI* и њихове неодређености након спровођења активности 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9

У наведеним ОЗБ прикључено је око 93% од укупног броја потрошача у целом ВДС Пожаревца.

Из добијених резултата може се закључити да су стварни губици воде велики, и да у разматраних 10 ОЗБ износе 7.718 m³/dan. Међутим, и укупни привидни губици у 10 ОЗБ су велики и износе 1.649 m³/dan. Ово је нарочито важно у економским анализама, обзиром да се у прорачунима губитка прихода водоводног предузећа услед привидних губитака воде, ова запремина ненаплаћене воде обрачунава по продајној цени воде. Укупна стварна потрошња воде је за 18,4 % већа од фактурисане потрошње воде.

У Таб. 5.13 приказани су сумарни резултати прорачуна стварних и привидних губитака воде за цео ВДС Пожаревца.

Таб. 5.13 Резултати прорачуна стварних и привидних губитака воде у ВДС Пожаревца

	Бр.потрош. у бази (-)	Бр.потрош. у бази, Q>0 (-)	Укупна потрошња из базе (m ³ /dan)	Укупна стварна потрошња (m ³ /dan)	Укупни стварни губици воде (m ³ /dan)	Укупни привидни губици воде (m ³ /dan)	Просечан притисак (m)	Неодређеност	
								стварна потрошња (%)	губици воде (%)
Цео ВДС	20.050	17.561	10.066	11.921	8.036	1.856	42,6	2,3%	2,2%

Упоређивањем резултата прорачуна стварних и привидних губитака воде у целом ВДС Пожаревца са прорачунима по ОЗБ, може се закључити да се резултати изузетно добро слажу. Укупни стварни губици воде износе 8.036 m³/dan (40 % у односу да запремину воде која је дотекла у ВДС). Укупни привидни губици воде износе 1.856 m³/dan. Укупна стварна потрошња воде је за 18,4 % већа од фактурисане потрошње воде, дакле у истом проценту као и за 10 ОЗБ.

Добијени резултати указују на исправност примењене методологије за одређивање привидних губитака воде, поготово што су улазни подаци за прорачуне по ОЗБ и за цео ВДС потпуно различити (у свакој ОЗБ је различит минимални ноћни проток воде, различит број потрошача, различит просечан и часовни дневни притисак и др.). Добијени резултати указују и на то да база потрошача још увек није потпуно поуздана, обзиром да је укупан број потрошача

знатно већи од броја потрошача код којих је фактурисана потрошња воде већа од нуле (код 12,5% потрошача потрошња воде износи нула).

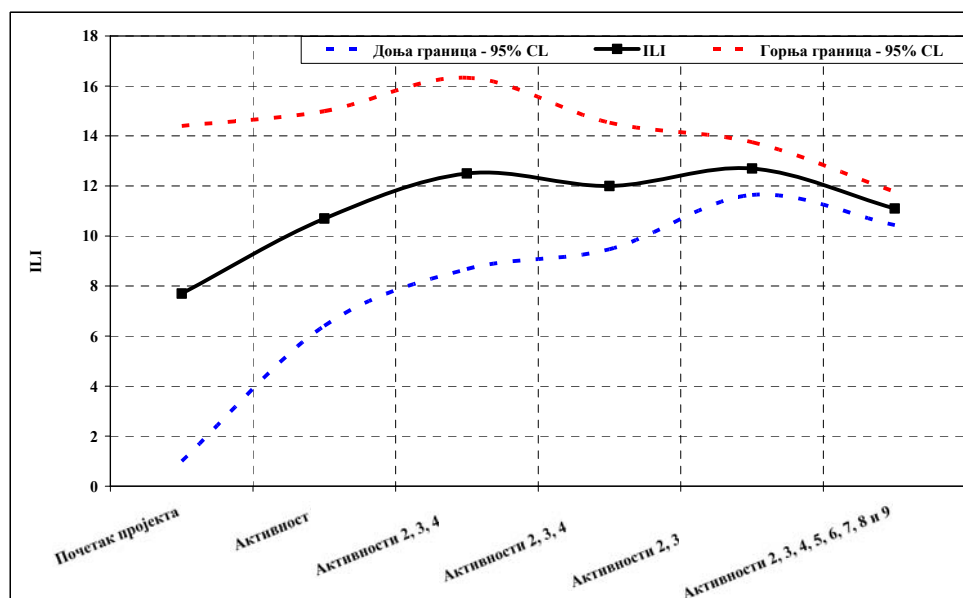
Прорачун пропагације неодређености улазних података указује на велику поузданост добијених резултата за укупну дневну стварну потрошњу воде и укупне дневне стварне губитке воде (око 2% - 3%).

Када се добијени резултати, након спроведених активности 8 и 9, упореде са резултатима после спроведених активности 2-7 (Сл. 5.5) може се закључити да постоје одређена неслагања. Након спроведених активности 2-7, израчунати годишњи стварни губици воде износе $3.692.865 \pm 4,5\%$ m³/god, укупни годишњи привидни губици воде $342.416 \pm 37\%$ m³/god, а нефактурисана легална потрошња воде $72.846 \pm 80\%$ m³/god. Након спроведених активности 8 и 9, односно методологије за одређивање привидних губитака воде, израчунати годишњи стварни губици воде износе $2.933.285 \pm 2,2\%$ m³/god, а укупни годишњи привидни губици воде $677.269 \pm 2,3\%$ m³/god. Обзиром да је примењеном методом рачуната укупна стварна потрошња воде од које се одузимала фактурисана потрошња воде, у привидне губитке воде израчунате на овај начин спада и нефактурисана легална потрошња воде. Како би се омогућило поређење истих компоненти водног биланса, онда укупни привидни губици воде након спроведених активности 2-7 износе $415.262 \pm 33,6\%$ m³/god. Разлог за ову разлику је потцењена вредност нелегалне потрошње воде (1% од запремине дотекле воде у ВДС) и процењене грешке на водомерима (10% од фактурисане потрошње). Међутим, треба напоменути да активности 2-7 спадају у приступ одређивању компоненти водног биланса "одозго на доле", а активности 8 и 9 приступу "одоздо на горе". Као што је већ раније поменуто, резултати добијени на основу прорачуна "одозго на доле" су углавном апроксимативни и једино се приступом "одоздо на горе" могу добити прецизније процене компоненти водног биланса.

Након спроведених активности и преостала компонента водног биланса, привидни губици воде, су мале неодређености. На основу овако одређених компоненти водног биланса и ИП могуће је доносити управљачке одлуке.

Након спроведених активности вредност индекса *ILI* износи $11,1 \pm 6\%$ ($CARL=2.933.285 \pm 2,2\% \text{ m}^3/\text{god}$, $UARL = 263.705 \pm 5,5\% \text{ m}^3/\text{god}$). На Сл. 5.32 приказана је промена вредности индекса *ILI* и његове неодређености, након спроведених активности 2-9.

Процењена вредност индекса "ноћни *ILI*" од 11,4 (активност 10) показује добра слагања са вредношћу индекса *ILI* одређеног на основу годишњих вредности стварних губитака воде и неизбежних губитака воде. Овај нови индикатор, дакле, може корисно да послужи за проверу израчунатог индекса *ILI* на основу годишњег водног биланса



Сл. 5.32 Утицај спроведених активности на промену вредности *ILI* и његове неодређености

6 ПРИМЕНА МЕТОДОЛОГИЈЕ LCP ЗА ПОБОЉШАЊЕ ИНДИКАТОРА ПЕРФОРМАНСИ

У овом поглављу приказаће се примена методологије LCP, која је описана у поглављу 4.2, на ОЗБ Котеж и ВДС Пожаревца. У ОЗБ Котеж спроведена су мерења и при иницијалном и при редукованом притиску, и LCP метода је успешно тестирана (Babic et al., 2014b). Искуства која су стечена применом LCP методе на ОЗБ Котеж примениће се и на ВДС Пожаревца, обзиром на недостатак мерења при редукованом притиску у овом систему.

6.1 ПРИМЕНА МЕТОДОЛОГИЈЕ LCP НА ОЗБ КОТЕЖ

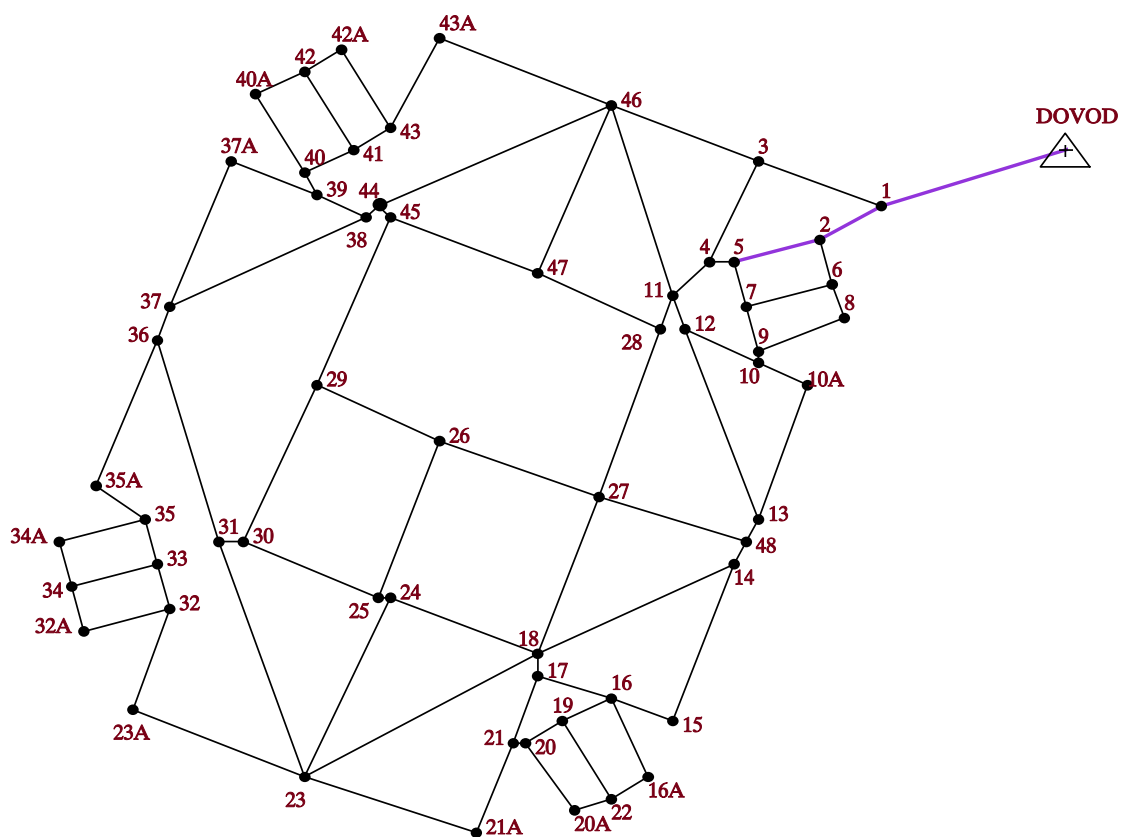
У овом поглављу приказаће се примена методологије LCP на ОЗБ Котеж. Насеље Котеж се налази на левој обали Дунава у I висинској зони водоводног система Београда, на његовој периферији. Шема ОЗБ Котеж приказана је на Сл. 6.1.

У периоду кад су вршена мерења насеље се снабдевало водом преко једног цевовода пречника 150 mm. Дистрибутивна водоводна мрежа у насељу је пречника 100 mm, а изграђена је 1970-их година од азбест-цементних цеви. Укупна дужина цеви износи 7.764 m. Насеље Котеж је равничарског карактера и налази се на коти од око 71,50 mnm.

Насеље је стамбеног карактера, без значајних комерцијалних или индустријских корисника ВДС.

Насеље Котеж је одабрано да буде пилот зона за анализу смањења стварних губитака и потрошње воде услед регулисања притиска на доводној цеви у

посматрану зону. На доводној цеви уграђен је аутоматски хидраулички регулатор притиска који одржава константним низводни притисак. Ради мерења и уградње регулатора притиска изграђен је нов шахт са уграђеним сталним мерним местом на којем се мерио притисак и проток пре и после уградње регулатора притиска. Мерење притиска и протока низводно од регулатора притиска вршено је "SPECTRASCAN-MICROLOG 2L" турбинским сондама са меморисањем података на сваких 15 минута.



Сл. 6.1 Шема дистрибутивне водоводне мреже насеља Котеж

У насељу Котеж постоје 203 прикључка за стамбене зграде са укупно 6.409 становника, 152 прикључка индивидуалних домаћинстава (двојне куће-два домаћинства по једном прикључку) и 1 комерцијални прикључак. Укупан број регистрованих становника у насељу износи 7.625.

На основу фактурисане потрошње воде специфична потрошња воде у претходном периоду је износила око 220 L/st.dan. У јуну месецу, када су вршена мерења у

систему, специфична потрошња воде је износила око 250 L/st.dan. Фактурисана потрошња воде комерцијалног прикључка у претходном периоду износи око 60 m³/god. Велика специфична потрошња воде указује на нерационално коришћење воде, као и већа цурења на неисправним водоводним инсталацијама иза водомера. Такође, на основу регистрованог дотока у систем и фактурисане потрошње воде, *NRW* износи око 18 % од дотока воде у ОЗБ.

Ова релативно висока специфична потрошња воде у Котежу, регистрована је и у другим деловима града током истраживања која су укључивала и развој математичког модела I висинске зоне Београдског ВДС (Martinet и Thetiot, 2006). Током ових истраживања основана је и пилот ОЗБ у једној стамбеној области (блок 45) где су вршена интензивна мерења протока и притиска воде. Регистрована специфична потрошња воде, у периоду мерења, износила је око 200 L/st.dan, док је фактурисана потрошња воде у претходном периоду била и већа. Измерена ноћна потрошња воде становништва у овој ОЗБ износила је 3 L/stan.h, што је значајно више од вредности регистрованих у другим студијама (WSA/WCA, 1994).

Расположиви подаци из других водоводних предузећа у Србији указују да специфична потрошња воде становништва у већим градским ВДС често износи око 200 L/stan.dan, па чак и више (Topalovic et al. 2012). Овако високе вредности специфичне потрошње воде становништва често се јављају и у земљама у развоју, где је ниска продајна цена воде и недовољно развијена свест о рационалној потрошњи воде. Такође, и цурења воде низводно од водомера могу значајно допринети високим вредностима специфичне потрошње воде (Lugoma et al. 2012).

Хидрауличка анализа ВДС Котежа извршена је на математичком моделу, помоћу софтверског пакета "Epanet" (Rossman, 2000). Сви неопходни подаци добијени су од БВК. Такође, треба напоменути да је извршено читавање водомера код потрошача пре и после завршетка мерења (експеримента). Чворна потрошња воде у математичком моделу одређена је на основу уцртаних водоводних прикључака на ситуацији. На основу резултата математичког модела одређени су чворови који репрезентују просечан (*AZP*) и критичан притисак у ОЗБ.

У периоду од 08. до 17. јуна вршена су мерења притиска и протока без регулатора притиска на мерном месту испред насеља Котеж. Одређивање минималног редукованог притиска на доводном цевоводу у ОЗБ често је сложен задатак који укључује математички модел ОЗБ за случај максималне часовне потрошње воде и анализу минималних притисака у критичним чворовима (Jacobs и Strijdom, 2009). Анализе резултата математичког модела указале су да минимални притисак на доводном цевоводу може бити у опсегу од 28 до 30 m. При том притиску гарантује се снабдевање водом без несташица за случај максималне часовне потрошње воде. Ова вредност регулисаног притиска је знатно мања од нерегулисаног притиска на доводу у ОЗБ (око 60 m током ноћи).

Међутим, како би се испитао утицај притиска на *MNF*, током ноћних часова између 17. и 18. јуна мерења су извршена при фиксном излазном притиску од 17,7 m. У јутарњим часовима 18. јуна притисак на доводном цевоводу је повећан на 29,5 m. Међутим, после 20. јуна дошло је до квара на мерним уређајима за мерење притиска (log sonde), тако да се након тог периода није располагало резултатима мерења.

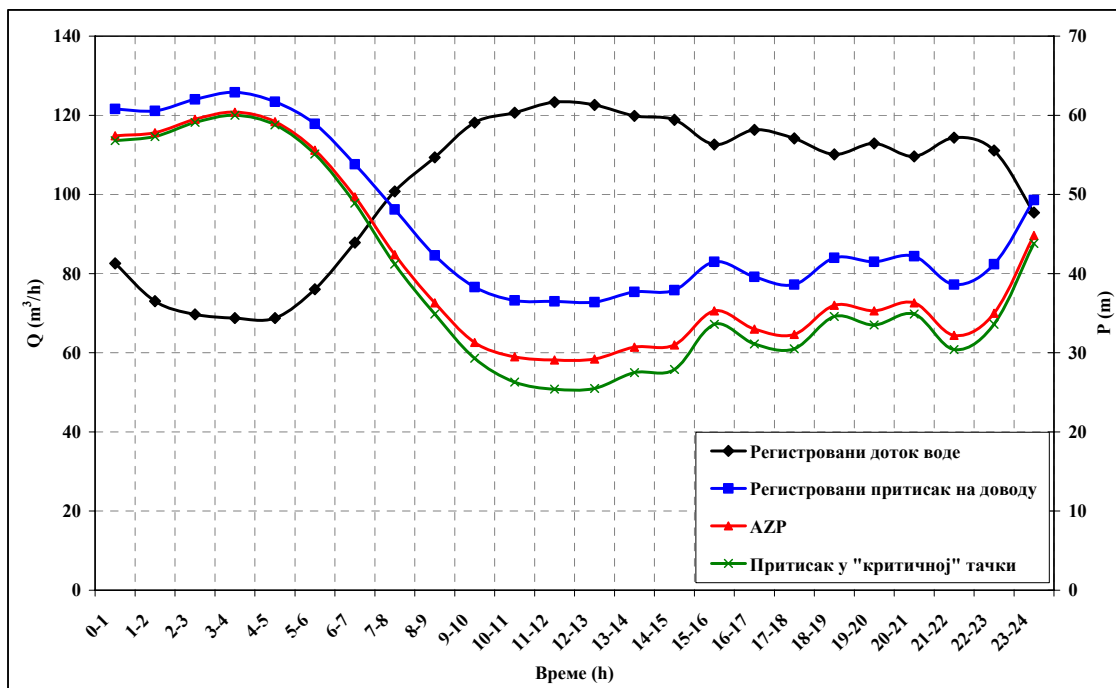
У математичком моделу довод воде у ВДС Котежа симулиран је као променљиви фиксни ниво. На основу измереног притиска иза хидрауличког регулатора притиска реконструисана је пијезометарска кота у овом чвору током дана и унета у модел. Такође, на основу регистрованог протока одређен је дијаграм часовне неравномерности потрошње воде. На овај начин формиран је математички модел ВДС и спроведени су одговарајући хидраулички прорачуни за дане са нерегулисаним притиском, и дане са регулисаним притиском.

6.1.1 Резултати мерења при нерегулисаним (иницијалном) притиску

Током мерења притиска и протока на доводном цевоводу у ОЗБ Котежа, при нерегулисаним притиску, регистроване су следеће вредности:

- просечан дневни доток воде у ОЗБ износи $2.450 \text{ m}^3/\text{dan}$ (28,5 L/s),
- максимални регистровани доток воде у ОЗБ износи 34,3 L/s,
- минимални регистровани доток воде у ОЗБ износи 19,1 L/s,
- максимални регистровани притисак на доводној цеви у ОЗБ износи 63 m,
- минимални регистровани притисак на доводној цеви у ОЗБ износи 36 m.

Током периода мерења при нерегулисаном притиску варијације потрошње воде и притиска биле су приближно исте сваког дана. За симулацију рада ВДС Котежа на математичком моделу, при иницијалном притиску, одабран је један дан из наведеног периода мерења, водећи рачуна да то буде исти дан у недељи када су вршена и мерења при регулисаном притиску. Резултати мерења и симулације рада ВДС на математичком моделу у Epanet-у приказани су на Сл. 6.2.



Сл. 6.2 Резултати мерења (доток воде у ОЗБ и притисак на доводу) при нерегулисаном притиску (недеља, 12. јун), и резултати симулације у Epanet-у (AZP и притисак у критичној тачки)

На математичком моделу, за сваки сат периода симулације, срачунат је просечан притисак у ОЗБ (*AZP*). Показало се да чвор 28, математичког модела, репрезентује *AZP*. Дневни *AZP* (*AZP_{day}*) је просечан 24-часовни притисак у ОЗБ. Просечан доток воде у ОЗБ износи 102,4 m³/h. *MNF* је регистрован у периоду од 03-04 сата ујутро и износи 68,74 m³/h (апсолутни минимум је 18,74 L/s). *AZNP* у чвору 28 износи 60,4 m, а дневни *AZP* (*AZP_{day}*) је 40,8 m.

На основу резултата мерења при нерегулисаном притиску могу се донети следећи закључци:

- јављају се велике осцилације притиска, од око 3 bar, што је веома неповољно за цевни материјал. Овакве осцилације притиска доводе до замора цевног материјала и повећавају могућност појаве оштећења. Узрок пада притиска у часу максималне потрошње воде може бити или узводна деоница малог пречника (недовољне пропусне моћи), или пригушени затварач.
- У периодима ноћне потрошње воде, јављају се високи притисци, до око 6,5 bar, што утиче на повећање губитака воде и на могућност појаве кварова на мрежи и кућним инсталацијама.
- Регистровани *MNF* од 18,74 L/s представља 67 % од просечног дневног дотока воде у ОЗБ, што указује да постоје велики стварни губици воде, обзиром на карактер потрошача у насељу (само становништво, без индустријских потрошача). Знатан део регистрованих протока припада проциривањима на кућним инсталацијама. Треба напоменути да је у периоду мерења протока и притиска био кишни период, тако да није било разлога за заливање башта.

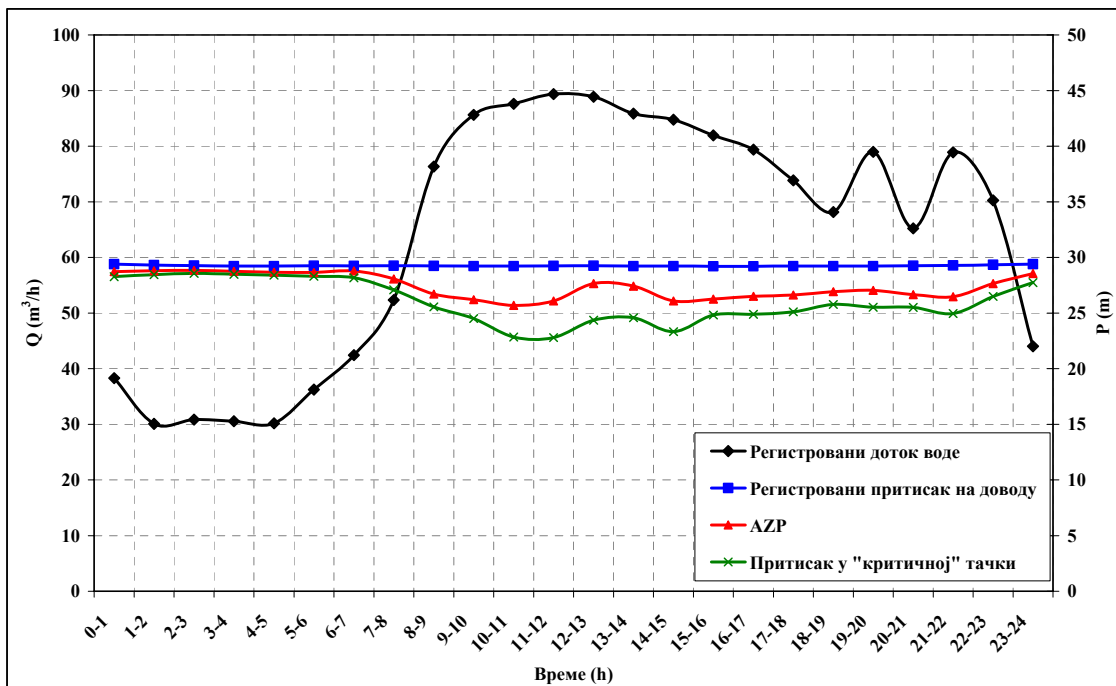
6.1.2 Резултати мерења при редукованом притиску

Током ноћног периода од 17-18. јуна мерен је проток и притисак на доводној цеви у ОЗБ Котеж, при фиксном излазном притиску од 17,7 m, са циљем испитивања утицаја притиска на *MNF*. *MNF* је измерен у 01 час ујутро и износио је 5,26 L/s.

Резултати мерења, 19. јуна, при фиксном излазном притиску од 29,5 m на доводној цеви у ОЗБ Котеж приказани су на Сл. 6.3, заједно са резултатима симулације на математичком моделу у Epanet-у.

Просечан доток воде у ОЗБ износи 63,8 m³/h. *MNF* је регистрован у периоду од 04 до 05 сата ујутро и износи 30,20 m³/h (апсолутни минимум је 7,24 L/s). *AZNP* у чвору 28 износи 28,7 m.

Резултати мерења јасно показују значајно смањење дотока воде у ОЗБ, односно смањење стварних губитака воде и укупне потрошње воде иза водомера, услед смањења притиска.



Сл. 6.3. Резултати мерења при редукованом притиску на доводу од 29,5 m (доток воде у ОЗБ и притисак на доводу), и резултати симулације у Epanet-у (AZP и притисак у критичној тачки)

Као што је већ поменуто у поглављу 3, основна претпоставка у LCP методи је да је укупан доток воде у ОЗБ зависан од притиска, што значи да је поред стварних губитака воде и потрошња воде зависна од притиска. Ова претпоставка важи у случају да се мери тренутни доток воде у ВДС или ОЗБ, као што је мерено у Котежу.

Укупни доток воде у ОЗБ Котеж подељен је на стварне губитке воде и компоненте потрошње воде (све категорије зависне од притиска), у складу са Сл. 4.1, односно на:

- стварне губитке воде у дистрибутивној водоводној мрежи и прикључцима узводно од водомера,
- потрошњу воде, која се састоји од:
 - воде коју су корисници стварно искористили за своје потребе, и
 - процуривања воде иза водомера, због лошег одржавања водоводних инсталација

Веза између стварних губитака воде/потрошње воде и притиска описана је једначином 3.3. Усвојено је да експонент притиска има различите вредности за стварне губитке воде у ВДС узводно од водомера ($N1$), стварну потрошњу воде корисника ($N2$) и процуривања воде иза водомера ($N3$).

Сагласно подацима мерења потрошње воде специфична потрошња воде (q_{tot}) у ОЗБ Котеж, током периода експеримента, износила је 250 L/st.dan. Укупан број становника у ОЗБ (N_{pop}) је 7.625, а број прикључака индивидуалних кућа N_{conn} је 152. Улазни подаци у LCP модел добијени су из резултата мерења и симулације на математичком моделу: $AZNP^{ini}=60,40$ m, $AZP_{day}^{ini} = 40,80$ m, $MNF_{night}^{ini} = 68,74$ m³/h, $MNF_{night}^{red} = 30,56$ m³/h и $AZNP^{red} = 28,75$ m.

Усвојено је да експонент притиска за стварну потрошњу воде $N2$ износи 0,5. Експонент притиска за процуривања воде $N3$ има вредност у опсегу од 0,5-1,5. У конкретном случају усвојена је просечна вредност од $N3= 1,0$ (обзиром да је вероватно да су прикључне цеви од различитог материјала). Да би се започели итеративни прорачуни вредности q_{lib} и q_{wc} , процењено је да процуривања воде иза водомера на водоводним инсталацијама (q_{lib}) износе 10% од укупне специфичне потрошње воде (q_{tot}). Као резултат итеративних прорачуна (једначине (4.34)), израчунато је да q_{lib} износи 50 L/st.dan, а да је $q_{wc} = 200$ L/st.dan.

Процењена дневна процуривања иза водомера у ОЗБ Котеж при нерегулисаном притиску (једначина (4.22)) износе:

$$Q_{waste,day}^{ini} = 50 \frac{\text{L}}{\text{st.dan}} \cdot 7.625 \text{ st.} = 15,9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Процењена ноћна процуривања иза водомера за време MNF и при $AZNP^{ini} = 60,40$ m (једначина 3.50) износе:

$$Q_{waste,night}^{ini} = Q_{waste,day}^{ini} \cdot \left(\frac{AZNP^{ini}}{AZP_{day}^{ini}} \right)^{1.0} = 23,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Укупна ноћна потрошња воде, $Q_{mc,night}^{ini}$, износи 27,9 m³/h (једначина (4.25)). Дакле, израчунати стварни ноћни губици воде, WL_{night}^{ini} , износе 40,86 m³/h (једначина (4.26)).

При редукованом притиску на доводу у ОЗБ од 29,5 m, процењена процуривања воде иза водомера за време MNF^{red} и при $AZNP^{red}$ од 28,75 m, (једначина (4.27)) су:

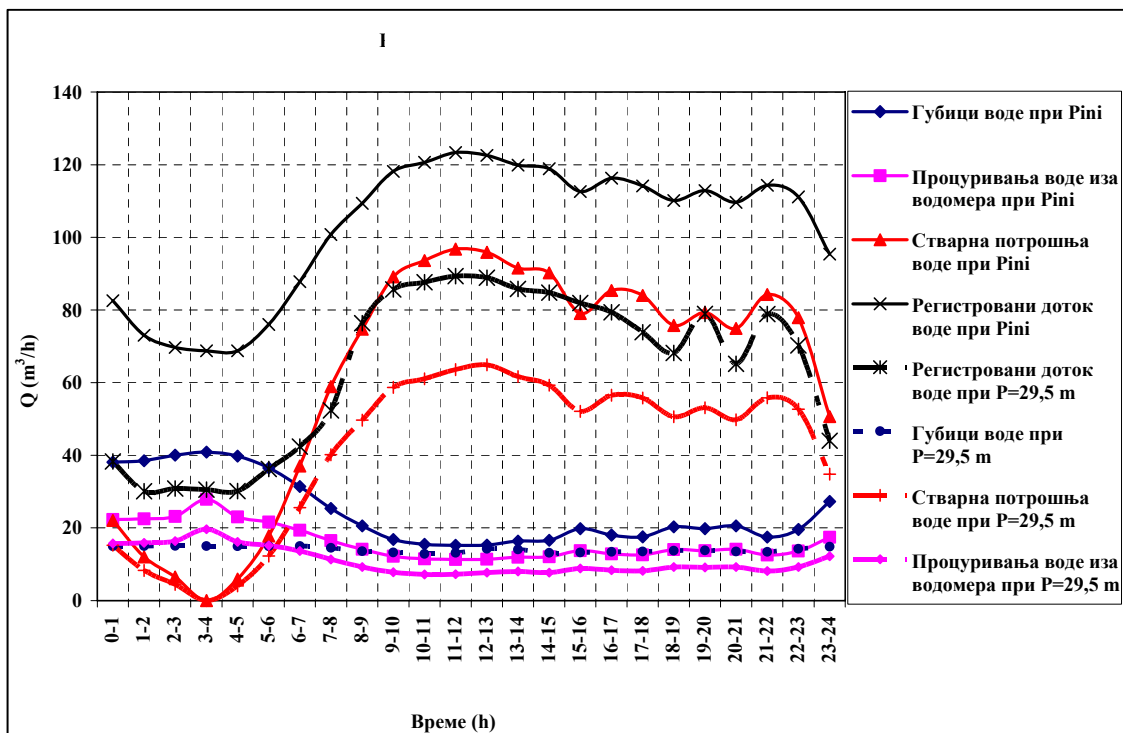
$$Q_{waste,night}^{red} = Q_{waste,day}^{ini} \cdot \left(\frac{28,75 \text{ m}}{AZP_{day}^{ini}} \right)^{1,0} = 11,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

док укупна ноћна потрошња воде, $Q_{inc,night}^{red}$, износи 15,6 m³/h (једначина (4.29)).

Израчунати ноћни стварни губици воде, WL_{night}^{rd} , износе 15,0 m³/h (једначина (4.30)). Експонент притиска за стварне губитке воде у ВДС (N1) износи (једначина (4.4)):

$$N1 = \frac{\log_{10} \frac{40,86 \text{ m}^3/\text{h}}{15,00 \text{ m}^3/\text{h}}}{\log_{10} \frac{60,40 \text{ m}}{28,75 \text{ m}}} = 1,35$$

Регистровани доток воде у ОЗБ, израчуната потрошња воде и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску приказани су на Сл. 6.4.



Сл. 6.4 Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску на доводу (LCP метод)

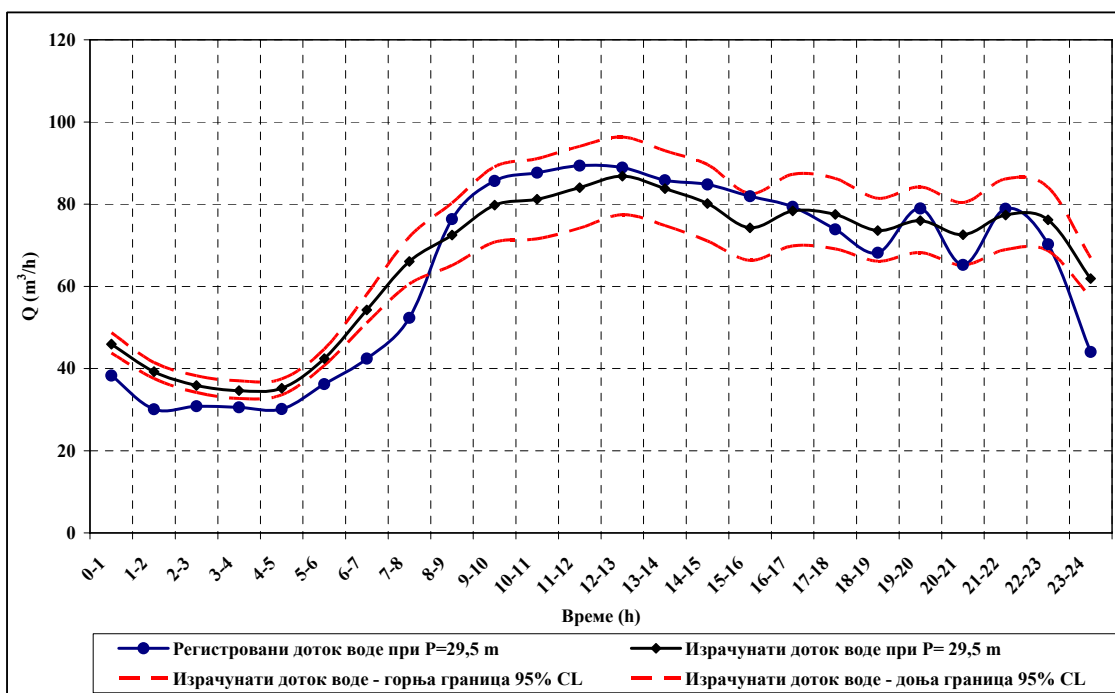
Сумарни резултати прорачуна LCP методом приказани су у Таб. 6.1.

Таб. 6.1 Резултати прорачуна LCP методом – ОЗБ Котеж

	При иницијалном притиску	При редукованом притиску на доводу (29,5 m)
Доток воде у ОЗБ (m ³ /dan)	2.457	1.590
Стварни губици воде у ВДС (m ³ /dan)	588	338
Укупна потрошња воде (m ³ /dan)	1.870	1.252
Стварно коришћена вода (m ³ /dan)	1.484	990
Процуривања иза водомера (m ³ /dan)	386	262

Процењена вредност запремине дотекле воде у ОЗБ Котеж при редукованом притиску износи 1.590 m³/dan, што представља смањење од 867 m³/dan у односу на измерени доток воде при иницијалном притиску. Мерењима је установљено да смањење укупног дотока воде у ОЗБ Котеж, услед смањења притиска, износи 927 m³/dan. Разлика између израчунатог и измереног смањења потреба за водом је веома мала и износи свега 6%.

Такође, резултати прорачуна показују добро слагање са измереним дотоком воде у ОЗБ током посматраног дана, што се може видети на Сл. 6.5.



Сл. 6.5 Регистровани и израчунати доток воде у ОЗБ Котеж при редукованом притиску на доводу од 29,5 m

Да би се тестирала осетљивост LCP методе на варијацију улазних параметара N_2 , N_3 и иницијалне вредности q_{lib} , спроведена је анализа осетљивости за посматрани дан при редукованом притиску. Претпостављена је нормална расподела улазних параметара са просечним вредностима: $N_2=0,5$, $N_3=1,0$ и $q_{lib}=50$ L/st.dan, и стандардна девијација 25 % од просечних вредности. Хиљаду пута су случајно генерисани параметри и резултати прорачуна за доток воде у ОЗБ, у форми 95% интервала поверења (метода Monte Carlo), приказани су на Сл. 6.5.

6.1.3 Примена других методологија за процену смањења потреба за водом

Разматрана је и примена још неких расположивих метода за одређивање смањења потреба за водом услед имплементације управљања притиском.

6.1.3.1 *LI метода*

У УК спроведени су опсежни експерименти у великом броју ОЗБ како би се одредио однос између $AZNP$ у ОЗБ и стварних губитака воде (WSA/WCA, 1994). Добијене су различите криве зависности нето ноћног протицаја од $AZNP$. Резултати су преведени на бездимензионални облик тако што се регистровани нето ноћни протицај при редукованим притисцима делио са нето ноћним протицајем при нередукованом притиску. Поменута бездимензионална величина названа је индекс губитака (*Leakage Index - LI*). Поређењем LI кривих добијених за различите ОЗБ, закључило се да оне имају сличан облик. Статистичком обрадом ових резултата добијена је општа зависност између LI и $AZNP$ у ОЗБ, приказана једначином (6.1) (WSA/WCA, 1994):

$$LI = 0,5 \cdot AZNP + 0,0042 \cdot AZNP^2 \quad (6.1)$$

Добијена веза може се користити за предвиђање вредности LI услед промене $AZNP$, предвиђање нето ноћног протицаја и стопе процуривања воде услед варијације притиска у ОЗБ, као и процене дневних стварних губитака воде. Извештај WSA/WCA, 1994 указује да се стварни однос притиска и губитака воде не може описати једном генералном једначином, али није предложена алтернативна методологија.

Процена дневних стварних губитака воде WL_{day} на основу регистрованог MNF захтева разматрање промене притиска током посматраног дана. Дневни стварни губици воде могу се добити тако што се ноћни стварни губици воде помноже временским фактором T у часовима, који зависи од варијације дневног притиска:

$$WL_{day} = T \cdot WL_{night} \quad (6.2)$$

У ОЗБ, где је дневна варијација притиска мања од 10 m, вредност временског фактора T може се усвојити да износи између 19 и 21 h. Уколико је дневна варијација притиска већа од 10 m вредност временског фактора T мора да се рачуна (WSA/WCA, 1994).

Применом LI методологије на ОЗБ Котеж и претпостављајући добро стање инфраструктуре базни губици воде износе 0,31 L/s а нето ноћни протицај 1,52 L/s (Babić 1997; Babić et al. 2014b). Значајно већа регистрована вредност MNF указује на лоше стање инфраструктуре, нерегистроване пукотине и вероватну нерационалну потрошњу воде, односно процуривања иза водомера. За случај лошег стања инфраструктуре базни губици воде износе 0,92 L/s, а нето ноћни протицај 2,14 L/s.

Применом једначине (6.1) добија се вредност LI од 45,5. Прорачуном се добила вредност временског фактора T од 14,7 h, а ноћних стварних губитак воде WL_{day} од 17,5 L/s. Применом једначине (6.3) добија се вредност дневних стварних губитака воде од 928 m³/dan.

При редукованим фиксним излазним притиском од 29,5 m вредност LI износи 17,8 па се добија да вредност MNF^{red} износи 7,3 L/s. Прорачуната вредност MNF^{red} се слаже са измереном вредношћу при редукованом притиску од 7,2 L/s.

При редукованом притиску, због мале дневне варијације притиска, усвојена је вредност временског фактора T од 21 h, па израчунато смањење укупних потреба за водом услед редукције притиска износи 468 m³/dan, што је знатно мање од измерене уштеде од 927 m³/dan.

Треба напоменути да овим прорачунима није обухваћено смањење потрошње воде, па је ово вероватни узрок неслагања резултата прорачуна и мерења.

Прорачун смањења потрошње воде услед редукције притиска од посебне је важности у ВДС са високим вредностима просечног притиска и великом специфичном потрошњом воде.

6.1.3.2 Примена модела PRESMAC

У 1999. год. South African Water Research Commission покренула је научни пројекат за истраживање, промовисање и имплементације технике и методологија смањења потреба за водом. Током пројекта развијен је модел управљања притиском - PRESMAC, заснован на BABE методологији (McKenzie, 2001). PRESMAC се користи за процене уштеда у потребама за водом имплементацијом различитих опција редукције притиска. Модел је заснован на примени једначина (3.2) и (4.43).

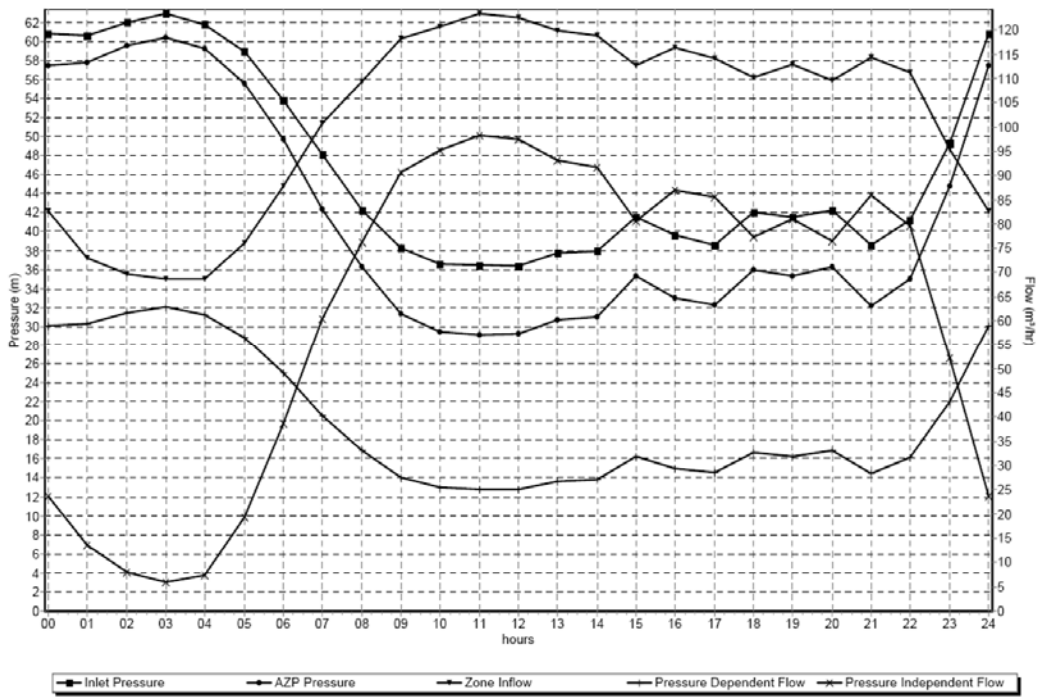
Применом PRESMAC модела добијени су следећи резултати за дан са нерегулисаним притиском:

- Укупна дневна запремина воде, зависне од притиска: 931,19 m³,
- Укупна дневна запремина воде, независне од притиска: 1525,40 m³,
- Укупна запремина дотекле воде у ОЗБ: 2456,60 m³,
- Временски фактор T = 14,8 h.
- MNF износи 68,74 m³/h (19,1 L/s).

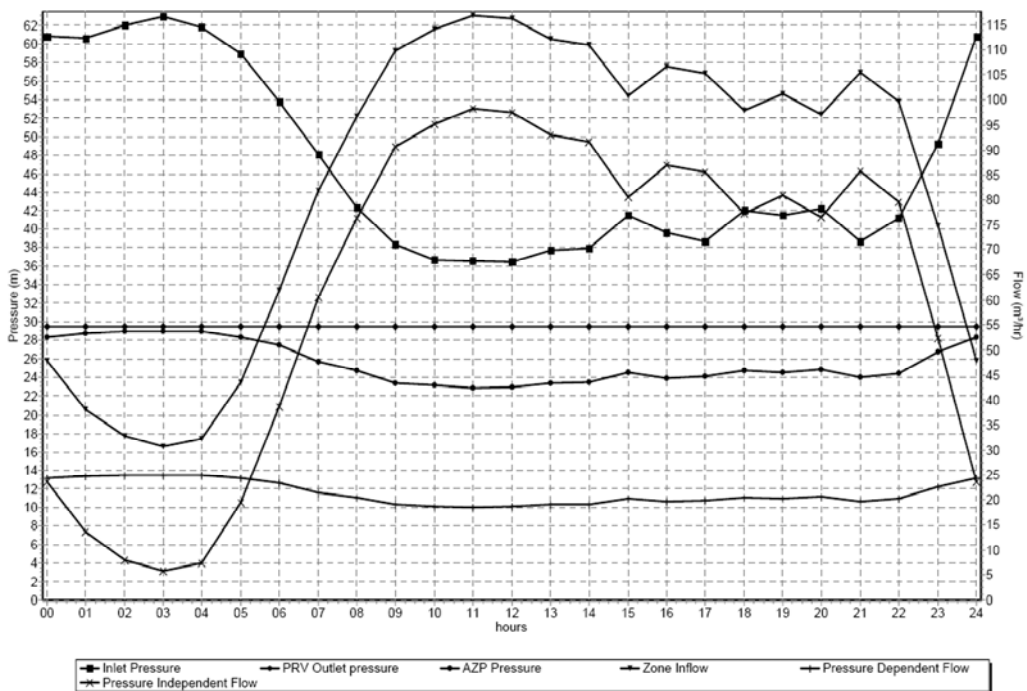
За дан са редукованим фиксним излазним притиском од 29,5 m, добијени су следећи резултати:

- Укупна дневна запремина воде, зависне од притиска: 509,29 m³,
- Укупна дневна запремина воде, независне од притиска: 1525,50 m³,
- Укупна запремина дотекле воде у ОЗБ: 2034,79 m³,
- Временски фактор T = 20,4 h.
- Процењена вредност MNF износи 30,8 m³/h (8,5 L/s).

На основу резултати прорачуна процењене уштеде у потребама за водом износе 422 m³/dan, што је знатно мање од регистроване вредности од 927 m³/dan. Резултати 24-чаовне симулације, применом PRESMAC модела, при иницијалном и редукованом притиску приказане су на сликама Сл. 6.6 и Сл. 6.7. респективно:



Сл. 6.6 Резултати 24-чаовне симулације, применом PRESMAC модела при иницијалном притиску



Сл. 6.7 Резултати 24-чаовне симулације, применом PRESMAC модела при редукованом притиску 29,5 m

6.2 ПРИМЕНА МЕТОДОЛОГИЈЕ LCP НА ВДС ПОЖАРЕВАЦ

У овом поглављу приказаће се примена методологије LCP на ВДС Пожаревца. У случају ВДС Пожаревца вршена су мерења ноћне потрошње воде становништва, установа и привреде на репрезентативном статистичком узорку и на основу тога је одређена меродавна вредност ноћне потрошње воде. У поглављу 5 дат је приказ резултата мерења потрошње воде наведених категорија потрошача, као и минималног ноћног протока по ОЗБ.

ВДС Пожаревца је подељен на 15 ОЗБ (Сл. 5.14) са циљем да се одреде компоненте водног биланса, као и приоритетне зоне у којима би требало приступити смањењу губитака воде. Међутим, као што је већ поменуто у поглављу 5, мерења су успела у 10 ОЗБ, тако да је утицај смањења притиска на укупне потребе за водом методом LCP могао да се анализира само у тим зонама. У наведеним ОЗБ одређена је минимална ноћна потрошња воде различитих категорија потрошача, као и стварни губици воде и укупна стварна потрошња воде.

Приликом реализације мерења у ВДС Пожаревца није рађен "степ тест" за одређивање експонента притиска стварних губитака воде $N1$, па је из тих разлога морао да се процени. Као што је већ поменуто у претходном поглављу 5, за прорачуне је усвојена вредност експонента притиска за стварне губитке воде $N1$ од 1,40.

Из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела, за потрошњу воде на моделу која одговара средњој годишњој потрошњи воде, у свакој ОЗБ одређен је часовни просечан притисак током посматраног дана, AZP_h . На основу анализе резултата рада постојећег ВДС, односно просечног и критичног притиска по ОЗБ, за сваку ОЗБ одређено је могуће смањење притиска.

Као што је већ поменуто, основна претпоставка у LCP методи је да је укупан доток воде у ОЗБ зависан од притиска, што значи да је поред стварних губитака воде и потрошња воде зависна од притиска. Ова претпоставка важи у случају да се мери тренутни доток воде у ВДС или ОЗБ, као што је мерено у Пожаревцу.

Укупни доток воде у ВДС Пожаревац подељен је на стварне губитке воде и компоненте потрошње воде, у складу са Таб. 4.1, односно на:

- стварне губитке воде у дистрибутивној водоводној мрежи и прикључцима узводно од водомера,
- потрошњу воде, која се састоји од:
 - воде коју су корисници стварно искористили за своје потребе, и
 - процуривања воде иза водомера, због лошег одржавања водоводних инсталација

Веза између стварних губитака воде/потрошње воде и притиска описана је једначином (4.1). Усвојено је да експонент притиска има различите вредности за стварне губитке воде у ВДС узводно од водомера ($N1$), стварну потрошњу воде корисника ($N2$) и процуривања воде иза водомера ($N3$). Усвојено је да експонент притиска за стварну потрошњу воде $N2$ износи 0,5. Експонент притиска за процуривања воде $N3$ има вредност у опсегу од 0,5-1,5. У конкретном случају усвојена је просечна вредност од $N3= 1,0$ (обзиром да је вероватно да су прикључне цеви од различитог материјала).

За категорију потрошача, становништво, укупна ноћна потрошња воде становништва у време MNF ($q_{res,mer}^{night}$) одређена је на основу резултата мерења. Укупна ноћна потрошња воде становника који припадају категорији индивидуалне куће износи 7,0 L/priklj.h, а категорији кућни савети 4,5 L/domać.h. Усвојено је да стварна ноћна потрошња воде становништва у време MNF ($q_{wc,res}^{night}$) износи 1,7 L/domać.h, односно 1,7 L/ priklj.h (независна од притиска). Разлике између измерене ноћне потрошње воде и стварне ноћне потрошње воде становништва придружене су процуривањима иза водомера - q_{lib}^{res} (зависни од притиска, експонент притиска $N3$), односно:

$$q_{lib}^{res,h} = \left(7,0 \frac{L}{priklj.h} - 1,7 \frac{L}{priklj.h} \right) \cdot \left(\frac{AZNP}{AZP} \right)^{N3} \quad (6.3)$$

$$q_{lib}^{res,rb} = \left(4,5 \frac{L}{\text{domać} \cdot h} - 1,7 \frac{L}{\text{domać} \cdot h} \right) \cdot \left(\frac{AZNP}{AZP} \right)^{N3} \quad (6.4)$$

$$q_{lib}^{res} = q_{lib}^{res,h} + q_{lib}^{res,rb} \quad (6.5)$$

Ноћна потрошња воде за време MNF, категорија корисника за које се не очекује да ноћу користе воду за своје потребе (мала привреда, установе итд.) такође се придружује процуривању воде иза водомера (зависни од притиска, експонент притиска $N3$), па се могу израчунати укупна цурења иза водомера за време MNF ($Q_{waste,night}^{ini}$) (једначина(4.41)).

Просечна дневна цурења иза водомера при нерегулисаном притиску ($Q_{waste,day}^{ini}$), рачунају се применом једначине (4.42).

Укупна ноћна потрошња воде за време MNF ($Q_{inc,night}^{ini}$) рачуна се, применом једначине 3.51, тако што се на већ израчунате вредности додаје и ноћна потрошња воде корисника који ноћу користе потребе за своје потребе (индустрија, болнице и др. - за ову категорију потрошача усвојен је експонент притиска $N2= 0,5$). Вредност укупне ноћне потрошње воде за време MNF мора да одговара већ израчунатој вредности у претходном поглављу. Овим се само укупна ноћна потрошња воде разврстава на компоненте ноћне потрошње воде, у зависности од вредности експонента притиска.

Такође, процењени укупни стварни ноћни губици воде WL_{night}^{ini} добијају се тако што се од измереног дотока воде у ОЗБ или ВДС, за време MNF (MNF_{night}^{ini}), одузме укупна ноћна потрошња воде, односно применом једначине (4.26) (и ова вредност мора да одговара већ израчунатој вредности у претходном поглављу).

Услови при иницијалном (нерегулисаном) притиску

За сваки интервал током посматраног дана, просечан часовни доток воде у ОЗБ одређен је из резултата мерења, а просечан часовни притисак у ОЗБ из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела ВДС Пожаревца. Стварни

часовни губици воде, WL_h^{ini} , рачунају се применом једначине (4.31). Као провера исправности прорачуна, упоређују се укупни стварни дневни губици воде са вредностима добијеним у претходном поглављу.

Укупна часовна потрошња воде ($Q_{tot,h}^{ini}$) рачуна се применом једначине (4.32). Затим се укупна запремина воде која је испоручена потрошачима (низводно од водомера) дели на стварну потрошњу воде и процуривања иза водомера. Укупна процуривања воде иза водомера на часовној бази - $Q_{waste,h}^{ini}$, рачунају се коришћењем једначине 3.60. Укупна стварна часовна потрошња воде, $Q_{realcons,h}^{ini}$, рачуна се коришћењем једначине (4.35). Као провера исправности прорачуна, упоређује се укупна стварна дневна потрошња воде ($Q_{waste,h}^{ini} + Q_{realcons,h}^{ini}$) са вредностима добијеним у претходном поглављу.

Услови при редукованом притиску

Прорачун укупних потреба за водом при редукованом притиску ($Q_{inflow,h}^{red}$) појединачних ОЗБ ради се итеративним поступком.

Као што је већ поменуто у поглављу 4, за прорачун укупних хидрауличких губитака воде на треће између "улазног" чвора у ОЗБ и чворова у ОЗБ који репрезентују просечан притисак (AZP) и "критичан" притисак могуће је користити два приступа. За прорачуне у ВДС Пожаревац коришћен је други приступ.

На конкретном примеру ВДС Пожареваца разматрана је само опција управљања притиском са фиксним излазним притиском (PRV).

Инсталација PRV на "улазној" тачки треба да смањи притисак у ОЗБ, али тако да у "критичној" тачки буде задовољен минимални ниво услуге.

Прорачун смањења укупних потреба за водом при редукованом притиску ($Q_{inflow,h}^{red}$) појединачних ОЗБ спроведен је итеративним поступком. На основу анализе рада постојећег ВДС, односно просечног и критичног притиска у ОЗБ, за сваку ОЗБ иницијално је одређено могуће смањење притиска (ΔP_{tot}^0) као разлика између постојећег и минимално прихватљивог притиска у "критичној" тачки. Ово

иницијално могуће смањење притиска (ΔP_{tot}^0) затим се одузима од постојећег притиска на "улазној" тачки у ОЗБ током часа са максималним дотоком воде. Међутим, у једначини 3.69 имамо две непознате величине Δh и $Q_{inflow,h}^{red}$, за стање при регулисаном притиску. Из наведеног разлога у првој итерацији усваја се да је Δh између "улазне" и "критичне" тачке исто као и при нерегулисаном притиску. На основу тако израчунатог притиска у "критичној" тачки могуће је израчунати стварне часовне губитке воде WL_h^{red} (једначина (4.36)), просечна часовна процуривања воде из водомера при редукованом притиску $Q_{waste,h}^{red}$ (једначина (4.37)), стварну часовну потрошњу воде при редукованом притиску ($Q_{realcons,h}^{red}$) (једначина 3.64) и укупан доток воде ($Q_{inflow,h}^{red}$) у ОЗБ (једначина (4.39)). На основу израчунате вредности $Q_{inflow,h}^{red}$ израчуна се нова вредност Δh између "улазне" и "критичне" тачке. Уколико постоји разлика прорачун се понавља у следећој итерацији са предходно срачунатим вредностима Δh . Прорачун се понавља све док се не добије разлика $\Delta h^{iter} - \Delta h^{iter-1} < 0,1$ m. Прорачун брзо конвергира, најчешће су потребне 3-4 итерације. Након добијених резултата проверава се да ли евентуално постоји могућност за додатно повећање ΔP_{tot}^0 , односно смањење притиска на доводу у ОЗБ. Уколико постоји могућност, прорачун се понавља са новом вредношћу фиксног излазног притиска на доводу све док вредност притиска у "критичној" тачки не задовољи минимални ниво услуге.

Израчунати нови излазни притисак примењује на све сате током дана (фиксни излазни притисак - PRV). Обзиром на нову, константну вредност излазног притиска током дана неопходно је израчунати нови AZP (на основу меродавног протока који се услед редукције притиска смањује у односу на иницијални).

Коначан резултат LCP методе је прорачун дотока воде ($Q_{inflow,h}^{red}$) у ОЗБ или ВДС, односно укупних потреба за водом при редукованом притиску.

У наредном поглављу приказаће се примена LCP методе на процену смањења дотока воде у ВДС Пожаревца услед смањења притиска. Обзиром на конфигурацију ВДС Пожаревца редукција притиска могућа је у периферним ОЗБ (9 ОЗБ).

На крају ће бити приказан и резултат могућег смањења дотока воде услед редуковања притиска у највећој ОЗБ Центар 1 и 2. Ова централна и највећа ОЗБ налази се између два главна транспортна цевовода ($\text{Ø}500$ и $\text{Ø}350$), на којима постоји већи број прикључних латерала. Услед великог броја прикључних латерала тренутно није могуће увести редукацију притиска у ову ОЗБ. Просечан притисак у овој ОЗБ од 42,8 m диктирају карактеристике пумпних агрегата на изворишту Кључ и висинске коте резервоара Тулба. Међутим, по техничким правилима, на главне транспортне цевоводе повезује се само минимално потребан број прикључних цевовода, већег пречника, који пласирају воду ка потрошачима. ОЗБ Центар 1 и 2 могуће је реконструисати по претходно поменутиим правилима, што би омогућило имплементацију редукације притиска и у ову зону. Из тих разлога дата је анализа смањења потреба за водом ове ОЗБ за случај смањења просечног притиска од 5 m.

У наредном поглављу, приказаће се примена LCP методе на ОЗБ Забела, пошто у овој зони постоје све категорије потрошача, па је могуће детаљно приказати примену наведене методе. Резултати прорачуна за остале ОЗБ приказани су у прилозима 3.1-3.8 .

6.2.1 Примена LCP методе на процену смањења потреба за водом у ОЗБ Забела

У табели 17 у прилогу бр. 2.9 дат је приказ броја потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде у ОЗБ Забела.

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Забела и он износи 15,8 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 2,8 L/s (табела 18, прилог бр. 2.9). Минимални ноћни доток воде MNF износи 57,0 m³/h. Просечан дневни притисак (AZP) износи 36,3 m, а притисак за време MNF ($AZNP$) износи 41,9 m.

Минимална ноћна потрошња воде за време MNF износи 46,64 m³/h, а ноћни стварни губици воде 10,40 m³/h. Минимална ноћна потрошња воде за време MNF подељена је на следеће компоненте потрошње воде:

- укупна стварна ноћна потрошња воде у ОЗБ Забела износи $0,86 \text{ m}^3/\text{h}$ (стварна ноћна потрошња воде: $1,7 \text{ L/priklj.h}$, односно $1,7 \text{ L/domać.h}$);
- процуривања воде иза водомера у ОЗБ Забела износе $2,58 \text{ m}^3/\text{h}$ (мала привреда и становништво - применом једначина 3.66 и 3.67);
- потрошња воде великих потрошача износи $43,20 \text{ m}^3/\text{h}$ (КПЗ Забела).

На основу резултата мерења добијен је дијаграм промене протока и притиска на доводу воде у ОЗБ Забела. Из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела, за потрошњу воде на моделу која одговара средњој годишњој потрошњи воде, одређен је часовни просечан притисак током посматраног дана AZP_h , као и часовна промена критичног притиска. На основу анализе резултата рада постојећег ВДС, односно просечног и критичног притиска у ОЗБ, процењено је могуће смањење притиска на доводу од око $\Delta P_{tot}^0 = 7 \text{ m}$ ($AZP^{red} \approx 29 \text{ m}$).

Применом једначине (4.31) одређени су часовни стварни губици воде, једначине (4.34) часовна процуривања воде иза водомера и једначине (4.35) часовна стварна потрошња воде - све за нерегулисани (иницијални) притисак.

Израчуната су два сета коефицијента K , за сваки сат, коришћењем једначине (4.43), где је Δh разлика притисака између "улазне" тачке у ОЗБ и AZP , односно "улазне" тачке у ОЗБ и "критичне" тачке.

Након одређивања иницијалне вредности могућег смањења притиска (ΔP_{tot}^0), у првој итерацији ова вредност је одузета од регистрованог притиска на "улазној" тачки у ОЗБ током часа са максималним дотоком воде. Као што је већ поменуто у поглављу 4, у првој итерацији усваја се да је Δh између "улазне" и "критичне" тачке исто као и при нерегулисаном притиску. На основу тако израчунатог притиска у "критичној" тачки могуће је израчунати стварне часовне губитке воде WL_h^{red} (једначина (4.36)), просечна часовна процуривања воде иза водомера при редукованом притиску $Q_{waste,h}^{red}$ (једначина (4.37)), стварну часовну потрошњу воде при редукованом притиску ($Q_{realcons,h}^{red}$) (једначина (4.38)) и укупан доток воде ($Q_{inflow,h}^{red}$) у ОЗБ (једначина (4.39)). На основу израчунате вредности $Q_{inflow,h}^{red}$

израчуна се нова вредност Δh између "улазне" и "критичне" тачке. Уколико постоји разлика прорачун се понавља у следећој итерацији са предходно срачунатим вредностима Δh . Прорачун се понавља све док се не добије разлика $\Delta h^{iter} - \Delta h^{iter-1} < 0,1$ m. Након добијених резултата проверава се да ли постоји евентуална могућност за додатно повећање ΔP_{tot}^0 , односно смањење притиска на доводу у ОЗБ. Уколико постоји могућност, прорачун се понавља са новом вредношћу фиксног излазног притиска на доводу све док вредност притиска у "критичној" тачки не задовољи минимални ниво услуге.

Израчунати нови излазни притисак примењује на све сате током дана (фиксни излазни притисак - PRV). Обзиром на нову, константну вредност излазног притиска током дана неопходно је израчунати нови AZP (на основу меродавног протока који се услед редукције притиска смањује у односу на иницијални).

Коначан резултат LCP методе је прорачун дотока воде ($Q_{inflow,h}^{red}$) у ОЗБ или ВДС (укупне потребе за водом) при редукованом притиску.

Након спроведених прорачуна добијена је нова вредност просечног притиска у ОЗБ Забела од $AZP^{red} = 29,3$ m.

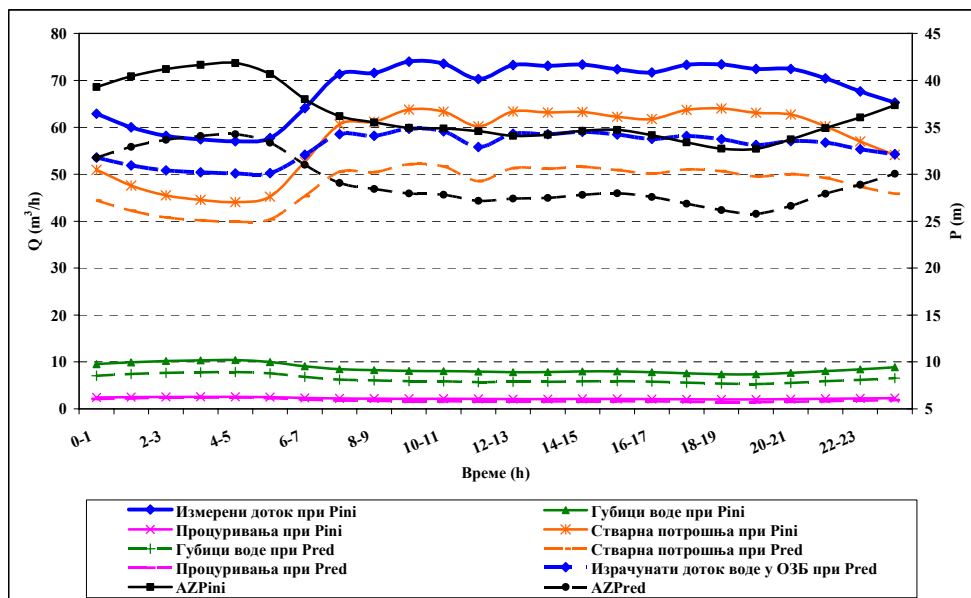
У Таб. 6.2 и на Сл. 6.8 дат је сумарни приказ резултата прорачуна, LCP методом, смањења потреба за водом у ОЗБ Забела услед смањења притиска на доводном цевоводу .

Таб. 6.2 Резултати прорачуна LCP методом – ОЗБ Забела

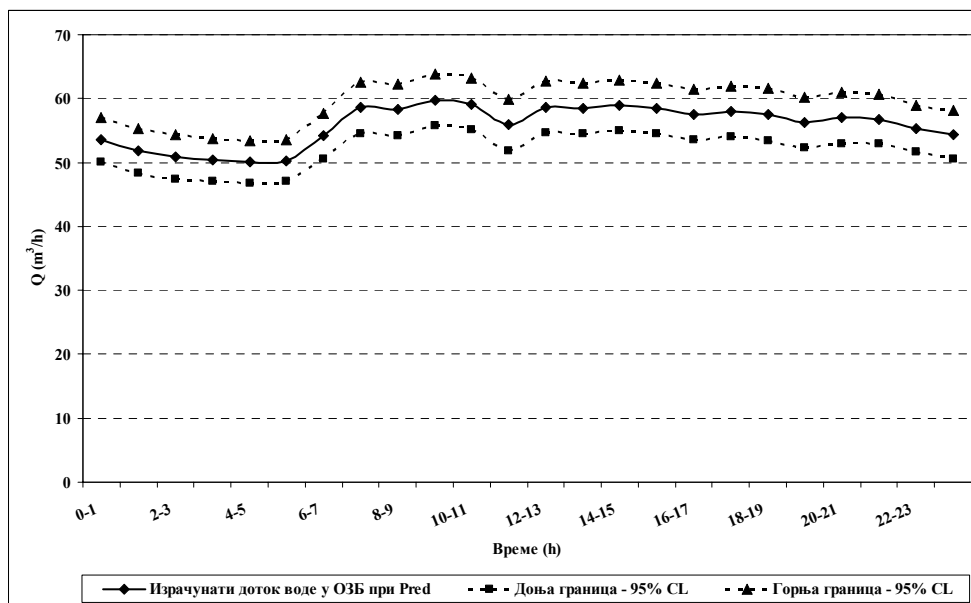
	Нерегулисан P	Регулисан P	Смањење (m ³ /dan)	Смањење (%)
Доток воде у ОЗБ - (m ³ /dan)	1.637	1.340	297	18,1
Стварни губици воде - (m ³ /dan)	205	151	54	26,1
Стварна потрошња воде - (m ³ /dan)	1.378	1.145	233	16,9
Процуривања воде - (m ³ /dan)	54	44	10	18,9
Укупна потрошња воде - (m ³ /dan)	1.432	1.189	243	17,0

Да би се тестирала осетљивост LCP методе на варијацију улазних параметара $N1$, $N2$, $N3$ и просечних дневних процуривања воде иза водомера, спроведена је анализа осетљивости за посматрани дан при редукованом притиску.

Претпостављена је нормална расподела улазних параметара са просечним вредностима: $N1=1,40$, $N2=0,5$, $N3=1,0$ и $q_{lib}=2,24$ m³/h, и стандардна девијација 15 % од просечних вредности. Хиљаду пута су случајно генерисани параметри (метода Monte Carlo) и резултати прорачуна за доток воде у ОЗБ, у форми 95% интервала поверења, приказани су на Сл. 6.9.



Сл. 6.8 Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску на доводу (LCP метод)



Сл. 6.9 Израчунати доток воде у ОЗБ Забела при редукованом притиску и 95%-ни интервали поверења

6.2.2 Примена LCP методе на процену смањења потреба за водом у осталим ОЗБ

Конечан резултат LCP методе је прорачун дотока воде ($Q_{inflow,h}^{red}$) у ОЗБ или ВДС (укупне потребе за водом) при редукованом притиску. Прорачуни за осталих 8 зона приказани су у прилозима 3.1-3.8.

У Таб. 6.3 дат је сумарни приказ резултата прорачуна, LCP методом, смањења потреба за водом у свих 9 ОЗБ услед смањења притиска на доводном цевоводу .

Таб. 6.3 Резултати прорачуна LCP методом – 9 ОЗБ у ВДС Пожаревац

ОЗБ	Смањење дотока воде (m ³ /dan)	Смањење губитака воде (m ³ /dan)	Смањење потрошње воде (m ³ /dan)	Смањење процуривања воде (m ³ /dan)	% СМАЊЕЊА			Pini	Pred	ΔAZP (m)
					Доток воде	Губици воде	Укупна потрошња			
Бурјан	354	222	103	29	22%	26%	17%	38,5	31,1	7,4
Бусије 1	519	330	144	45	18%	20%	14%	33,8	28,7	5,1
Црвени крст	14	6	6	2	10%	14%	8%	30,8	27,8	3,0
Фарма	53	18	23	12	22%	33%	19%	38,2	28,7	9,5
Хиподром	84	48	26	10	39%	54%	28%	48,5	27,9	20,6
Крушка	222	90	81	51	46%	67%	38%	60,5	27,8	32,7
Љубичево	64	33	16	14	43%	58%	33%	50,6	27,2	23,3
Тулба	90	42	30	19	40%	60%	31%	52,3	28,3	24,0
Забела	297	54	233	10	18%	25%	17%	36,3	29,3	7,1

Из резултата приказаних у Таб. 6.3 може се закључити да укупно смањење потреба за водом, услед редуковања притиска у 9 ОЗБ (обухваћено 30 % од укупног броја потрошача) износи 1.696 m³/dan, односно 8,50 % у односу на укупни доток воде у ВДС Пожареваца. Међутим, треба напоменути да је у 5 ОЗБ смањење просечног притиска мање од 10 m. Просечан притисак у целом ВДС Пожаревац смањен је за само 4,2 m (са 42,6 m на 38,4 m).

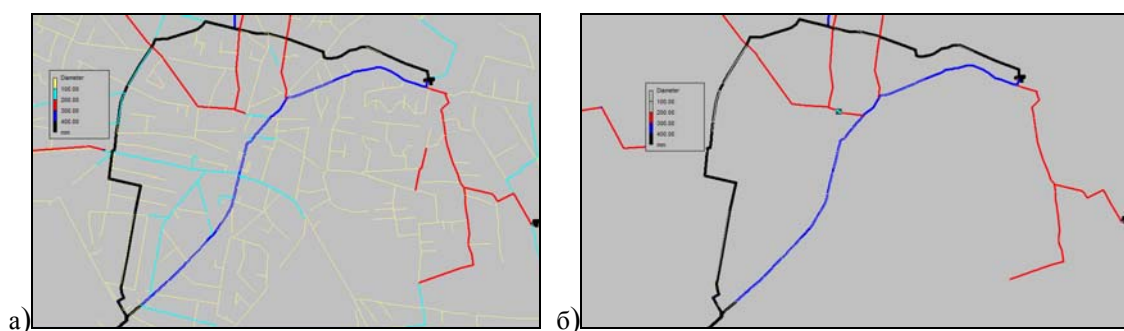
Укупно смањење стварних губитака воде износи 842 m³/dan, односно 10,50 % у односу на укупне стварне губитке воде у целом ВДС Пожаревац. Смањење стварне потрошње воде износи 662 m³/dan, а процуривања воде иза водомера 192 m³/dan (смањење укупне потрошње воде износи 854 m³/dan, односно 7,1 % у односу на укупну стварну потрошњу воде у целом ВДС Пожареваца).

Међутим, вредност индекса *ILI* није се променила и поред смањења губитака воде, јер су се услед смањења просечног притиска у ВДС Пожареваца смањили и неизбежни губици воде *UARL*. У наредној Таб. 6.4 приказане су вредности индекса *ILI* за нерегулисани и редуковани притисак.

Таб. 6.4 Вредности ИП при иницијалном и редукованом притиску

Индекс	Pini	Pred
CARL (m ³ /dan)	8.036	7.194
UARL (m ³ /dan)	722,5	640,9
ILI (-)	11,1	11,2

На крају разматраће се и могућност редуковања притиска у највећој ОЗБ Центар 1 и 2. Као што је већ поменуто, ова ОЗБ налази се између два главна транспортна ценовода на којима постоји већи број прикључних латерала, због чега тренутно није могуће увести редукацију притиска без реконструкције дистрибутивне водоводне мреже у ОЗБ. На левој страни Сл. 6.10 приказано је постојеће стање цевних веза у овој ОЗБ, а на десној страни само ценоводи који су везани на транспортне ценоводе, пречника ≥ 200 mm. Десна страна Сл. 6.10 указује да је могуће реконструисати цевне везе у овој ОЗБ тако да се са минималним бројем прикључних цеви, већег пречника, на главне транспортне ценоводе може пласирати вода ка потрошачима и истовремено омогућити управљање притиском.



Сл. 6.10 Постојећа дистрибутивна водоводна мрежа у ОЗБ Центар 1 и 2 (а) и дистрибутивна водоводна мрежа пречника ≥ 200 mm (б).

Просечан дневни притисак у овој ОЗБ износи 42,8 m, па је разматрана могућност редукације притиска од 5 m. За ову ОЗБ није могла директно да се примени LCP метода, већ само њена апроксимација, која се састојала у томе да је часовни просечан притисак при иницијалном притиску у сваком сату само умањен за 5 m ($AZP^{red} = 37,8$ m).

У Таб. 5.10 дат је приказ броја потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде у ОЗБ Центар 1 и 2.

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Центар 1 и 2 и он износи 86 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 61,7 L/s (Таб. 5.11). Минимални ноћни доток воде MNF износи 94,6 m³/h. Просечан дневни притисак износи 42,8 m, а притисак за време MNF износи 46,3 m.

Минимална ноћна потрошња воде за време MNF износи 94,5 m³/h, а ноћни стварни губици воде 213,6 m³/h. Минимална ноћна потрошња воде за време MNF подељена је на следеће компоненте потрошње воде:

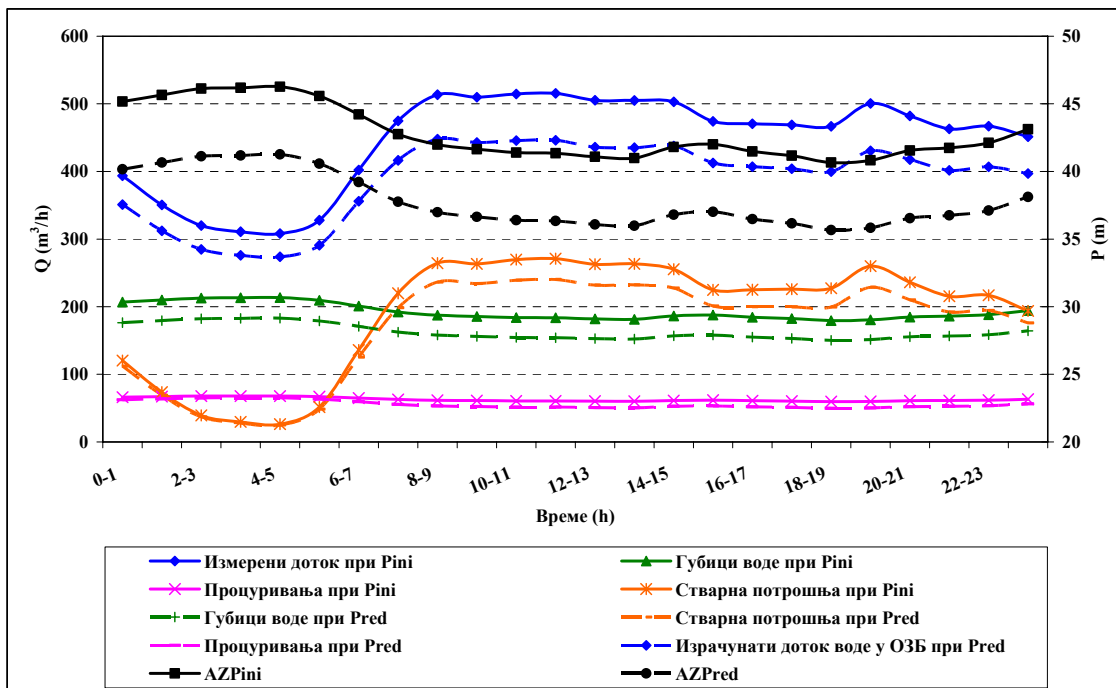
- укупна стварна ноћна потрошња воде у ОЗБ износи 18,6 m³/h (стварна ноћна потрошња воде: 1,7 L/priklj.h, односно 1,7 L/domać.h);
- процуривања воде иза водомера у ОЗБ износе 68,0 m³/h (мала привреда и становништво - применом једначина 3.66 и 3.67);
- потрошња воде великих потрошача износи 7,9 m³/h.

Из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела, за потрошњу воде на моделу која одговара средњој годишњој потрошњи воде, одређен је часовни просечан притисак током посматраног дана AZP_h , као и часовна промена критичног притиска. Као што је већ поменуто, усвојено је смањење притиска од $\Delta P_{tot}^0 = 5$ m.

Применом једначине 3.57 одређени су часовни стварни губици воде, једначине 3.60 часовна процуривања воде иза водомера и једначине (4.35) часовна стварна потрошња воде - све за нерегулисани (иницијални) притисак. Просечан редуковани дневни притисак у ОЗБ Центар 1 и 2 износи $AZP^{red} = 37,8$ m. У Таб. 6.5 и на Сл. 6.11 дат је сумарни приказ резултата прорачуна

Таб. 6.5 Резултати прорачуна апроксимираном LCP методом

	Нерегулисан P	Регулисан P	Смањење (m ³ /dan)	Смањење (%)
Доток воде у ОЗБ - (m ³ /dan)	10.698	9.327	1.371	12,8
Стварни губици воде - (m ³ /dan)	4.617	3.904	713	15,4
Стварна потрошња воде - (m ³ /dan)	4.572	4.087	485	10,6
Процуривања воде - (m ³ /dan)	1.509	1.336	173	11,5
Укупна потрошња воде - (m ³ /dan)	6.081	5.422	659	10,8



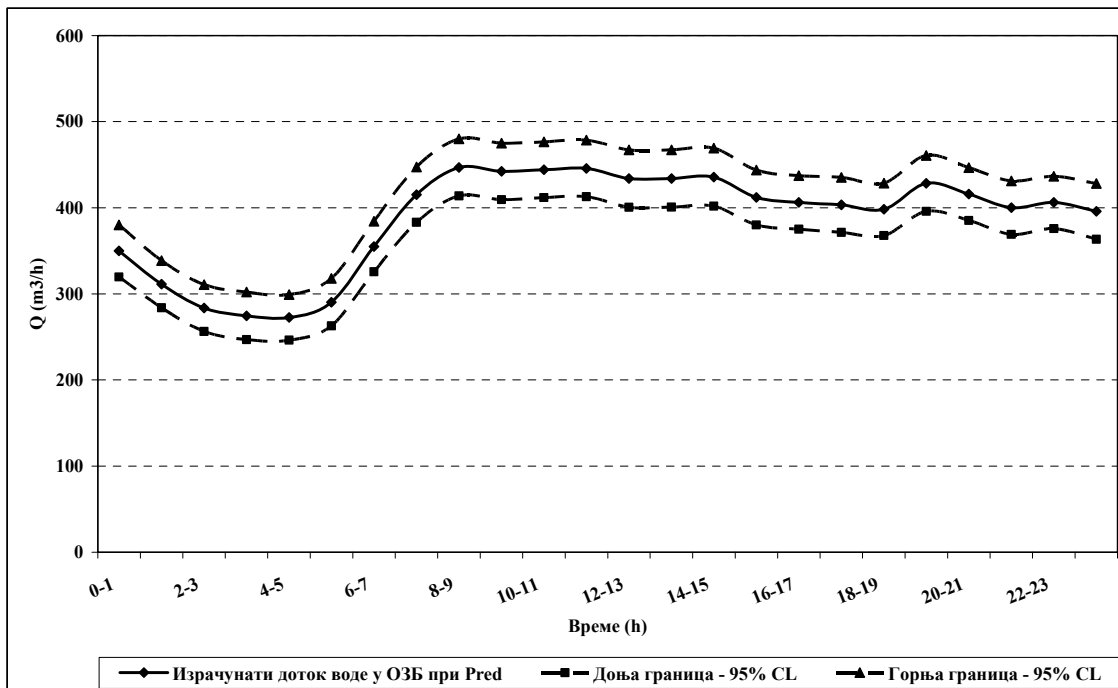
Сл. 6.11 Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску

На исти начин као и у случају ОЗБ Забела спроведена је анализа осетљивости LCP методе на варијацију улазних параметара N_1 , N_2 , N_3 и просечних дневних процуривања воде иза водомера за посматрани дан при редукованом притиску. Претпостављена је нормална расподела улазних параметара са просечним вредностима: $N_1=1,40$, $N_2=0,5$, $N_3=1,0$ и $q_{lib}=62,86 \text{ m}^3/\text{h}$, и стандардна девијација 15 % од просечних вредности. Хиљаду пута су случајно генерисани параметри (метода Monte Carlo) и резултати прорачуна за доток воде у ОЗБ, у форми 95% интервала поверења, приказани су на Сл. 6.12.

На основу добијених резултата може се видети да укупно смањење потреба за водом, услед редуковања притиска и у ОЗБ Центар 1 и 2 (обухваћено око 93 % од укупног броја потрошача), износи $3.067 \text{ m}^3/\text{dan}$, односно 15,40 % у односу на укупни доток воде у ВДС Пожаревац. Просечан притисак у целом ВДС Пожаревац смањен је за 7,6 m (са 42,6 m на 35,0 m).

Укупно смањење стварних губитака воде износи $1.555 \text{ m}^3/\text{dan}$, односно 19,30 % у односу на укупне стварне губитке воде у целом ВДС Пожаревац. Смањење

стварне потрошње воде износи $1.147 \text{ m}^3/\text{dan}$, а проценување воде иза водомера $366 \text{ m}^3/\text{dan}$ (смањење укупне потрошње воде износи $1.513 \text{ m}^3/\text{dan}$, односно $12,7 \%$ у односу на укупну стварну потрошњу воде у целом ВДС Пожаревца).



Сл. 6.12 Израчунате потребе за водом у ОЗБ Центар 1 и 2 при редукованом притиску и 95%-ни интервали поверења

Међутим, вредност индекса *ILI* и даље се не мења, и поред смањења губитака воде, јер су се услед смањења просечног притиска у ВДС Пожаревца смањили и неизбежни губици воде *UARL*. У наредној Таб. 6.6 приказане су вредности индекса *ILI* за нерегулисани и редуковани притисак.

Таб. 6.6 Вредности ИП при иницијалном и редукованом притиску

Индекс	Pini	Pred
CARL (m^3/dan)	8.036	6.482
UARL (m^3/dan)	722,5	595,0
ILI (-)	11,1	10,9

6.2.3 Дискусија резултата примене LCP методе на ВДС Пожаревац

Као што се може видети из претходно добијених резултата, редуковањем притиска значајно се смањују укупне потребе за водом у ОЗБ услед смањења

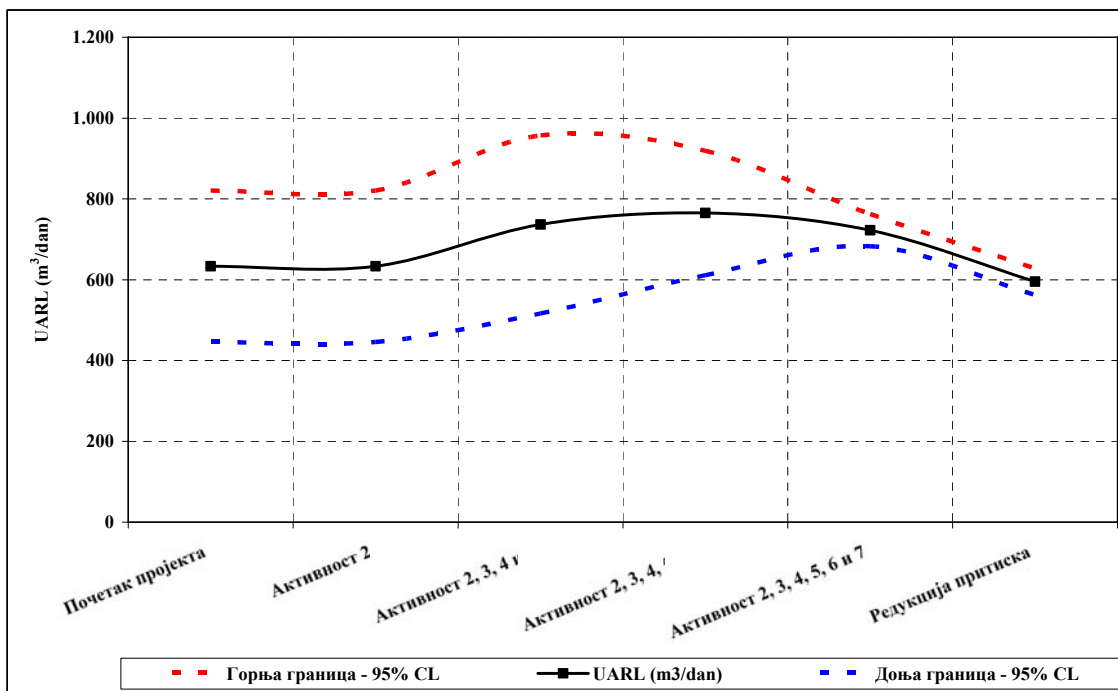
потрошње и губитака воде. Међутим, вредност индекса *ILI* остала је иста, јер се смањењем притиска смањују и неизбежни губици воде *UARL* који су директно пропорционални просечном притиску *AZP*. Треба напоменути да су *UARL* најнижи технички остварљиви стварни губици воде у ВДС којим се правилно управља, са инфраструктуром у добром стању која се редовно одржава. Једначина (2.7) којом се израчунава *UARL*, добијена је под претпоставком да се нова места губитака воде на цевоводима појављују са годишњом учестаношћу од 13 места на 100 km цеви, а на прикључцима са годишњом учестаношћу од 5 места на 1.000 прикључака (све при притиску од 50 m). Такође, претпоставља се да се редовно врши детекција места цурења воде (активна контрола губитака воде), тако да се значајно смањује време трајања нерегистрованих места цурења, и да се откривени кварови брзо поправљају. Индекс *ILI*, у ствари, указује како се анализираним ВДС управља и како се исти одржава у односу на најбољу светску праксу.

Смањење притиска је само једна од метода активне контроле стварних губитака воде, па није могуће применом само ове мере значајно побољшати вредност индекса *ILI*. За побољшање овог ИП неопходна је примена свих метода активне контроле стварних губитака воде, приказаних на Сл. 2.1. Редукцијом притиска постижу се уштеде у потребама за водом, услед смањења стварних губитака и потрошње воде, продужава се животни век инфраструктуре и смањује учестаност појаве нових места цурења воде.

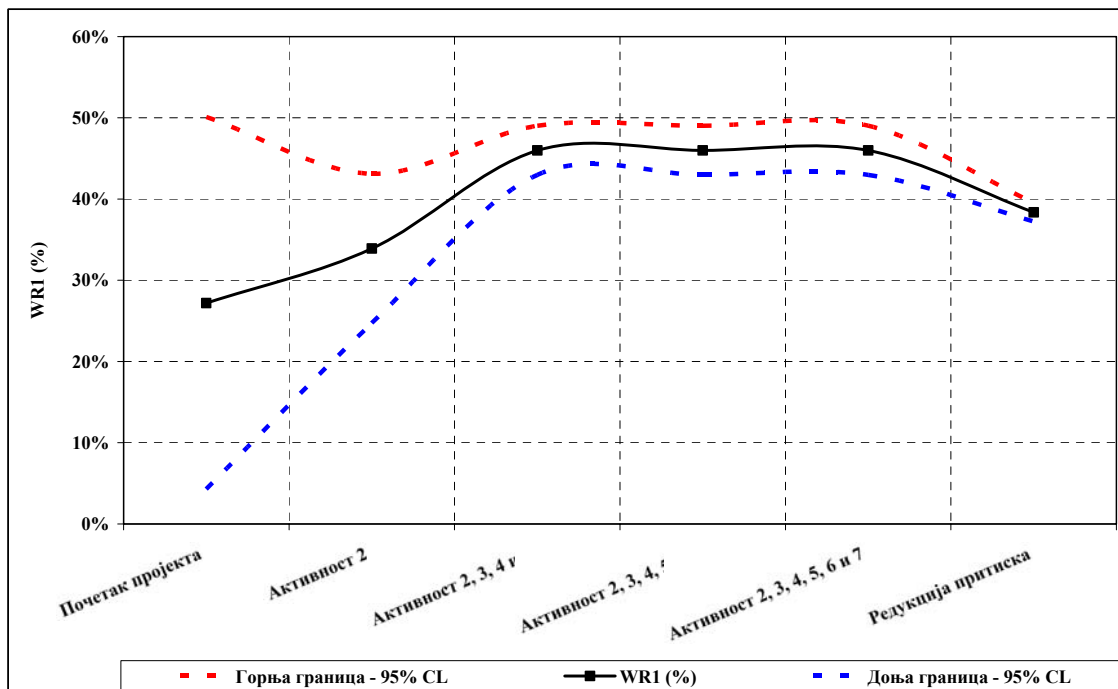
На наредним сликама (Сл. 6.13 - Сл. 6.16) приказаће се утицај редукције притиска на остале ИП на које ова мера има утицаја (*UARL*, *WR1*, *Op27* и *Op28*). Разлика приказаних резултата у односу на резултате приказане у поглављу 5 је што је на наредним сликама додат још и утицај редукције притиска на промену вредности ИП, након претходно спроведених активности 1-7 (поглавље 3) .

На Сл. 6.14 приказана је промена ИП *WR1*, који представља однос између стварних губитака воде и запремине дотекле воде. Међутим, треба напоменути да се вредност овог ИП, након редуковања притиска, рачуна у односу на нову запремину дотекле воде, која је мања од иницијалне запремине, због смањења укупних потреба за водом, односно запремине дотекле воде (иначе овај однос би

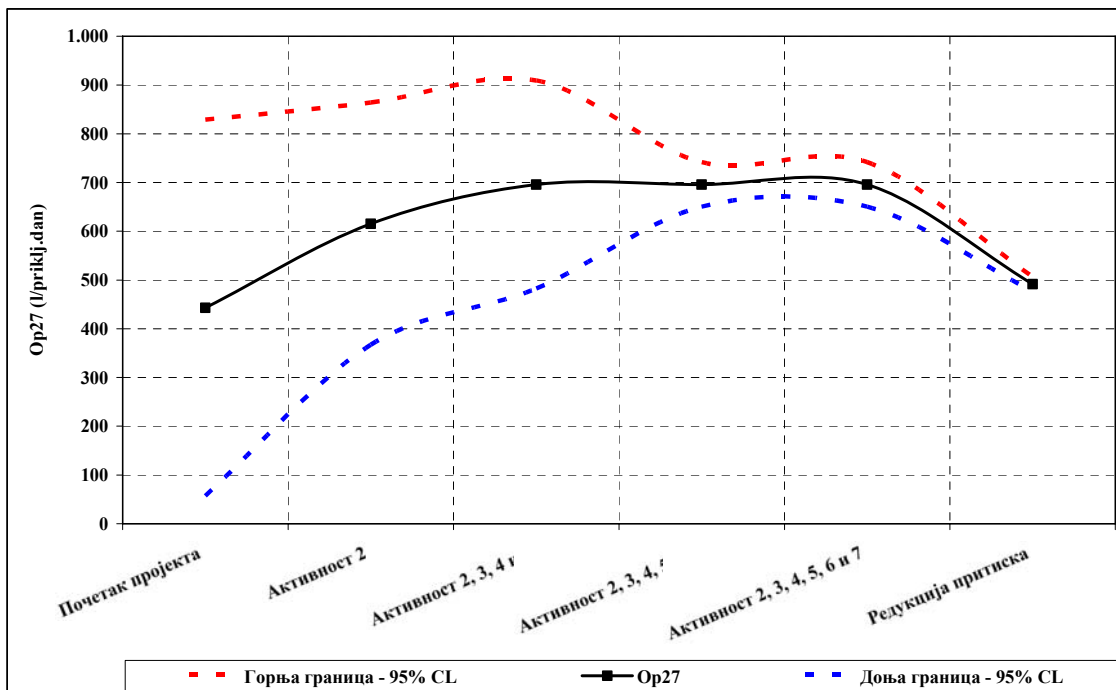
био знатно мањи ако би се рачунало у односу на иницијалну запремину дотекле воде).



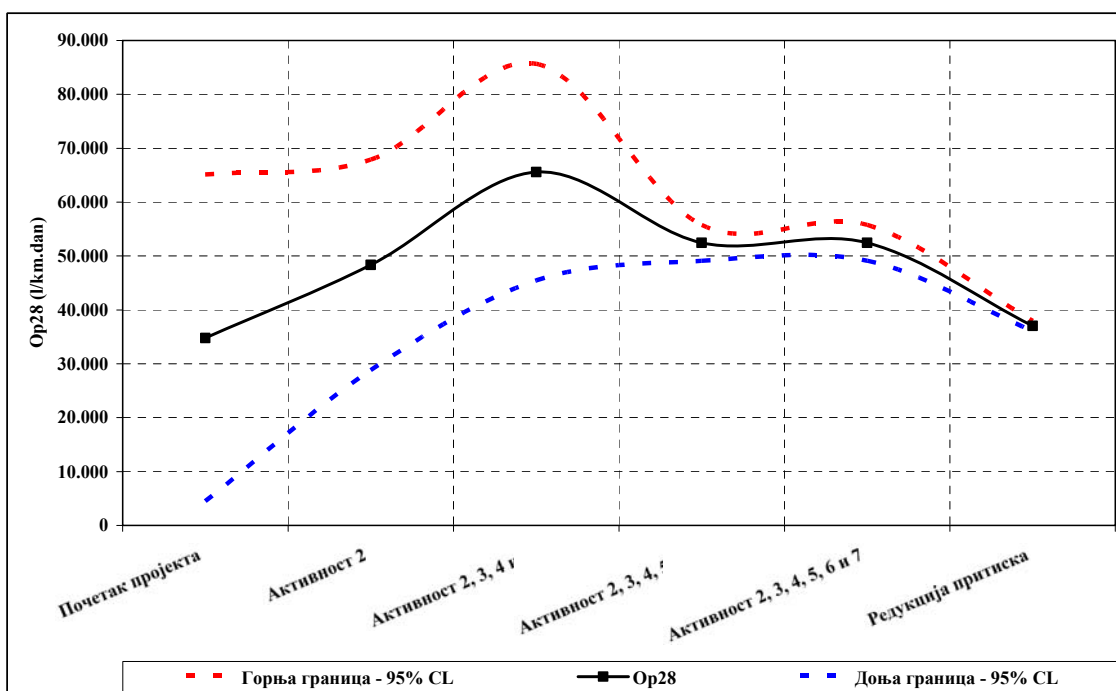
Сл. 6.13 Утицај спроведених активности на промену вредности $UARL$ и 95%-ни интервали поверења



Сл. 6.14 Утицај спроведених активности на промену вредности WRI и 95%-ни интервали поверења



Сл. 6.15 Утицај спроведених активности на промену вредности Op_{27} и 95%-ни интервали поверења



Сл. 6.16 Утицај спроведених активности на промену вредности Op_{28} и 95%-ни интервали поверења

6.3 ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА ПРИМЕНЕ LCP МЕТОДЕ

За проверу LCP методе коришћени су резултати теренских истраживања у ОЗБ Котеж (Београдски водоводни систем). У ОЗБ Котеж извршена су мерења протока и притиска при иницијалном и редукованом притиску током периода од 2 недеље, како би се истражио утицај притиска на укупне потребе за водом. Нова метода претпоставља да је и потрошња воде, поред стварних губитака воде, зависна од притиска. Ова метода подразумева да се мери тренутни доток воде у систем. Такође, претпоставља се да се потрошња воде иза водомера састоји од стварно коришћене воде од стране потрошача и процуривања иза водомера.

Резултати мерења при иницијалном и редукованом притиску искоришћени су за одређивање експонента притиска за стварне губитке воде $M1$. Експонент притиска за стварно коришћену воду усвојен је да износи 0,5 а за процуривања воде иза водомера 1,0. Процењено смањење потреба за водом услед редукције притиска применом методе LCP изузетно се добро слаже са резултатима мерења. Анализа осетљивости је показала малу осетљивост израчунатих потреба за водом у систему услед варијације улазних података. Претпоставке које су унете у LCP метод посебно имају значај у системима са великом специфичном потрошњом воде и великом осцилацијом притиска, како се не би потценила процена смањења потреба за водом.

Код других разматраних метода не разматра се смањење потрошње воде услед редукције притиска тако да се резултати прорачуна овим методама значајно разликују од резултата мерења. Додатно, друге методе дају потцењене вредности смањења потреба за водом.

Након провере исправности методе на ОЗБ Котеж, обзиром да су постојала мерења протока и притиска и при иницијалном и редукованом притиску, она је успешно примењена и на ВДС Пожаревца.

Треба напоменути да добијени резултати имају велику поузданост, која је одређена применом Monte Carlo рачунског алгоритма.

7 ЗАКЉУЧАК

Циљ истраживања ове дисертације обухвата више аспеката, који се односе на одређивање поузданости вредности компоненти водног биланса и ИП који из њега проистичу, као и активности које треба предузети како би се она повећала, а потом и на мере побољшања вредности ИП.

Постављени су следећи циљеви истраживања:

- Развој методологије за побољшање поузданости одређивања компоненти водног биланса и индикатора перформанси који из њега произилазе.
- Развој методологије за одређивање привидних и стварних губитака воде у водоводном систему, са акцентом на привидне губитке воде.
- Развој методологије за побољшање ИП, који се односе на стварне губитке воде и *NRW*, управљањем притиском, услед чега се смањују како стварни губици воде, тако и потрошња воде.

У оквиру ове тезе коришћени су резултати теренских истраживања у ВДС Пожаревац и у ОЗБ Котеж (Београдски водоводни систем). У ОЗБ Котеж извршена су мерења протока и притиска при иницијалном и редукованом притиску током периода од 2 недеље, како би се истражио утицај притиска на укупне потребе за водом. У ВДС Пожаревац извршена је детекција објеката ВДС и различитих категорија потрошача (укључујући и њихову потрошњу воде), спроведена су теренска мерења протока и притиска по ОЗБ у трајању од годину дана, и извршена калибрација математичког модела ВДС.

Резултати, остварени у оквиру ове дисертације, имају следећи научни допринос:

- формиран је модел за праћење пропагације неодређености улазних података на поузданост вредности компоненти водног биланса и ИП. Такође, дат је приказ

активности које треба предузети како би се смањила њихова неодређеност. Развијени модел прати промену неодређености ИП након сваке реализоване активности.

- Формиран је нови модел за одређивање укупних привидних и стварних губитака воде. Применом Monte Carlo рачунског алгоритма процењује се неодређеност добијених резултата.
- Развијен је нови модел за процену смањења стварних губитака и потрошње воде услед управљања притиском. Досадашњи модели нису успешно обрачунавали смањење потрошње воде услед редукције притиска. У овој методи први пут се потрошња воде иза водомера дели на компоненте стварне потрошње воде и процуривања воде иза водомера и имплементирају различите вредности експонената притиска за стварне губитке воде, стварно коришћену воду и процуривања воде иза водомера. Такође, применом Monte Carlo рачунског алгоритма процењује се неодређеност добијених резултата.

На основу добијених резултата примене развијених методологија, приказаних у овој дисертацији, формиран модели имају следећу применљивост у стручној пракси:

- Квантификација неодређености улазних података и праћење њихове пропагације омогућава водоводном предузећу да одреди приоритете где треба концентрисати активности контроле квалитета података како би се повећала поузданост вредности компоненти водног биланса и ИП. Реализација активности, предложених овом тезом, на ВДС Пожаревац, као и резултати модела који прате промену неодређеност ИП после сваке примењене активности, указују на оправданост и сврсисходност њихове примене. Само на основу овако одређених вредности компоненти водног биланса и ИП могуће је донети исправне и рационалне управљачке одлуке.
- Резултати примене нове методологије, развијене у оквиру ове тезе, за одређивање укупних привидних и стварних губитака воде у ВДС Пожаревац, приказани у поглављу 5, указују на исправност формираног математичког модела и његову практичну применљивост. Методологија је примењена на формиране ОЗБ и цео ВДС Пожаревац, а резултати су показали изузетно

добро слагање иако су улазни подаци за поједине зоне и цео ВДС потпуно различити. Такође, добијени резултати имају велику поузданост, која је одређена применом Monte Carlo рачунског алгоритма.

- Одређивање запремине стварних и привидних губитака воде омогућава њихово исказивање у новчаној вредности, као и спровођење економских анализа. Економска анализа указује на фаворизовање смањења стварних или привидних губитака воде.
- Резултати примене нове методе, развијене у оквиру ове тезе, за процену смањења стварних губитака и потрошње воде услед управљања притиском, на ОЗБ Котеж (Београдски водоводни систем) - приказано у поглављу 6, указују на изузетно добро слагање са резултатима мерења. Овом активношћу побољшава се већина вредности ИП који се односе на губитке воде и *NRW*. Нова метода успешно обрачунава осим смањења стварних губитака воде и смањење потрошње воде. Након провере исправности методе на ОЗБ Котеж, обзиром да су постојала мерења протока и притиска и при иницијалном и редукованом притиску, она је успешно примењена и на ВДС Пожаревац. Треба напоменути да добијени резултати имају велику поузданост, која је одређена применом Monte Carlo рачунског алгоритма.
- Резултати примене формираних модела (модел одређивање привидних и стварних губитака воде и модел одређивања смањења потреба за водом управљањем притиском) на реалне ВДС указују на исправност усвојене претпоставке у тези о различитим вредностима експонената притиска за стварне губитке воде, стварно коришћену воду од стране потрошача и проциривања воде иза водомера.
- Констатовано је да управљање притиском не мора нужно да побољша вредност индекса *ILI*, обзиром да се његовом редукацијом смањује и вредност неизбежних губитака воде *UARL*. У земљама у развоју ово је чест случај, обзиром на лоше стање инфраструктуре и лоше управљање ВДС, пошто је управљање притиском само једна од активности за смањење стварних губитака воде (што је био случај и у ВДС Пожаревац, поглавље 6).

Препоруке за даља истраживања треба да обухвате следеће активности:

- теренска мерења и примена "степ-теста" (поглавље 3) за одређивање експонента притиска за стварно коришћену воду од стране потрошача и процуривања воде иза водомера. Резултати примене нових методологија, добијени на основу вредности усвојених у овој тези, показали су добра слагања са мерењима извршеним у ОЗБ Котеж. Међутим, мерења треба извршити и на другим ВДС на репрезентативном статистичком узорку различитих категорија потрошача применом "степ-теста", како би се извршила провера усвојених вредности.
- Развој економских модела за одређивање оптималног нивоа стварних и привидних губитака воде који би били применљиви у ВДС у земљама у развоју. Постојећи економски модели који се примењују у ВДС у развијеним земљама, нажалост, нису применљивим у земљама у развоју због ограниченог фонда података неопходних за ове анализе.
- Развој алгоритама који би омогућили оптимално формирање ОЗБ у ВДС за потребе одређивање водног биланса у њима и праћење промене стварних губитака воде.
- Развој алгоритама који би омогућили формирање оптималног броја и распореда регулационих вентила за управљање притиском у ВДС.

ЛИТЕРАТУРА

Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J. M., and Parena, R. (2000): Performance indicators for water supply services. - IWA Manual of Best Practice, IWA Publishing, London, UK. ISBN: 1900222272.

Alegre, H., Baptista, J.M., Cabrera, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W. and Parena, R. (2006): Performance Indicators for Water Supply Services. - Second Edition, Manual of Best Practice, IWA Publishing, London, UK. ISBN: 1843390515.

Allander, H. D. (1996). "Determining the economical optimum life of residential water meters." *Water Engineering and Management*, 143(9), 20-24.

Almandoz, J., Cabrera, E., Arregui, F., Cabrera, Jr, E., and Cobacho, R. (2005). "Leakage Assessment through Water Distribution Network Simulation." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131, 458-466.

Armon, A., Gutner, S., Rosenberg, A., and Scolnicov, H. (2011). "Algorithmic monitoring for a modern water utility: a case study in Jerusalem." *Water Science and Technology*, 63(2), 233-239.

Arregui, F., Cabrera Jr, E., Cobacho, R., and Palau, V. (2003). "Management strategies for optimum meter selection and replacement." *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(1/2), 143- 152.

Arregui, F., Jr., C. E., and Cobacho, R. (2006). *Integrated Water Meter Management* IWA Publishing, London.

Arregui, F. J., Martinez, B., Soriano, J., and Parra, J. C. (2009). "Tools for Improving Decision Making in Water Meter Management." *Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*, Cape Town, SA, 225-232.

Arregui, F. J., Cobacho, R., Cabrera Jr, E., and Espert, V. (2011). "Graphical Method to Calculate the Optimum Replacement Period for Water Meters." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 137(1), 143-146.

Arregui, F. J., Soriano, J., Cabrera, E., and Cobacho, R. (2012a). "Nine steps towards a better water meter management." *Water Science and Technology*, 65(7), 1273-1280.

Arregui, F. J., Soriano, J., and Gavara, F. J. (2012b). "An integrated approach for large customers water meter management." *Proceedings of the 7th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*, February 26-29, Manila, Philippines.

Arreguin-Cortes, F. I., and Ochoa-Alejo, H. L. (1997). "Evaluation of Water Losses in Distribution Networks." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123(5), 284-291.

Awad, H., Kapelan, Z., and Savic, D. (2008). "Analysis of Pressure Management Economics in Water Distribution Systems." *Proceedings of the 10th Annual Water Distribution System Analysis Conference WDSA2008, August 17-20*, Kruger National Park, South Africa, 520-531.

Awad, H., Kapelan, Z., and Savic, D. A. (2009). "Optimal setting of time-modulated pressure reducing valves in water distribution networks using genetic algorithms." *Integrating Water Systems*, Boxall and Maksimovic, eds., Taylor and Francis Group, London, UK, 31-37.

AWWA. (2003). "Committee report: Applying worldwide BMPs in water loss control." *Journal AWWA*, 95(8), 65-79.

AWWA. (2005). "Computer Modeling of Water Distribution Systems - M32, Second Edition." American Water Works Association, Denver, Colorado, USA.

AWWA. (2009). "Water Audits and Loss Control Programs: AWWA Manual M36." American Water Works Association, Denver, USA.

- Babel, M. S., Islam, M. S., and Gupta, A. D. (2009). "Leakage Management in a low-pressure water distribution network of Bangkok." *Water Science and Technology: Water Supply*, 9(2), 141- 147.
- Babić, B. (1997). "Racionalizacija potrošnje i gubitaka vode u vodovodnim sistemima." *Magistarska teza, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu*. Beograd.
- Babić, B., Stanić, M., Prodanović, D., Džodanović, B., and Đukić, A. (2014a). "Reducing Uncertainty of Infrastructure Leakage Index – A Case Study." *Proceedings of the 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA 2014*, Bari, Italy - u štampi.
- Babić, B., Đukić, A., and Stanić, M. (2014b). "Managing water pressure for water savings in developing countries." *Water SA*, 40(2), 221-232.
- Barfuss, S. L., Johnson, M. C., and Neilsen. (2011). "Accuracy of In-Service Water Meters at Low and High Flow Rates." Water Research Foundation, Denver, CO, USA.
- Bargiela, A., and Hainsworth, G. D. (1989). "Pressure and Flow Uncertainty in Water Systems." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 115(2), 212-229.
- Berg, S. (2010). *Water Utility Benchmarking: measurements, methodologies and performance incentives* IWA Publishing, London.
- Buchberger, S. G., and Nadimpalli, G. (2004). "Leak Estimation in Water Distribution Systems by Statistical Analysis of Flow Readings." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130, 321-329.
- Burrows, R., Crowder, G. S., and Zhang, J. (2000). "Utilization of network modelling in the operational management of water distribution systems." *Urban Water*, 2(2), 83-95.
- Burrows, R., Mulreid, G., and Hayuti, M. (2003). "Introduction of a fully dynamic representation of leakage into network modelling studies using EPANET." Proceedings of the International Conference on Advances in Water Supply Management, C. Maksimovic, D. Butler, and F. A. Memon, eds., Swets & Zeitlinger, Lisses, 109-118.
- Brothers K. J. (2001). "Water Leakage and Sustainable Supply-Truth or Consequences?" *Journal American Water Works Association*, 93(4), 150-152.
- Brueck, T. M. (2005). *Developing and Implementing a Performance Measurement System*, Water Environment Research Foundation (WERF).
- Cabrera Jr, E., Dane, P., Haskins, S., and Theuretzbacher-Fritz. (2011). *Benchmarking Water Services: Guiding water utilities to excellence*, IWA Publishing, London.
- Carpenter, T., Lambert, A., and McKenzie, R. (2003). "Applying the IWA approach to water loss performance indicators in Australia." *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(1/2), 153-161.
- Cassa, A. M., Van Zyl, J. E., and Laubscher, R. F. (2010). "A numerical investigation into the effects of pressure on holes and cracks in water supply pipes." *Urban Water Journal*, 7(2), 109-120.
- Crotty, P. (2004). *Selection and Definition of Performance Indicators for Water and Wastewater Utilities*, Awwa Research Foundation, American Water Works Association (AWWA), Denver, Colorado, USA.
- Charalambous, B. (2008). "Use of district metered areas coupled with pressure optimization to reduce leakage." *Water Science and Technology: Water Supply*, 8(1), 57-62.
- Cheung, P. B., and Girol, G. V. (2009). "Night flow analysis and modeling for leakage estimation in a water distribution system." *Integrating Water Systems*, Boxall and Maksimovic, eds., Taylor and Francis Group, London.

- Cole, G. (2011). "Time of use tariffs: Reforming the economics of urban water supply." *Waterlines Report*, National Water Commission, Canberra. Wide Bay Water Corporation. Australia.
- De Witte, K., and Marques, R. C. (2010). "Designing performance incentives, an international benchmark study in the water sector." *Central European Journal of Operational Research*, 18, 189-220.
- Dimaano, I., and Jamora, R. (2010). "Embarking on the World's Largest NRW Management Project." *Proceedings of the 6th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*, Sao Paulo, Brazil.
- Egbars, C., and Tennakoon, J. (2005). "Ipswich Water's Meter Replacement Strategy." *Water Asset Management International*, 19-21.
- Ehting, (2013). "Program za povećanje efikasnosti smanjenja gubitaka vode u vodovodnom sistemu Požarevca". Beograd.
- Fanner, P., Sturm, R., Thornton, J., and Liemberger, R. (2007). *Leakage Management Technologies*, Awwa Research Foundation Denver, Colorado, USA.
- Fantozzi, M. and Lambert, A. (2007). "Including the effects of pressure management in calculations of Short-Run Economic Leakage Levels." *Proceedings, IWA Specialist Conference 'Water Loss 2007'*, Bucharest.
- Fantozzi, M. (2009). "Reduction of customer meters under-registration by optimal economical replacement based on meter accuracy testing programme and unmeasured flow reducers." *Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*, Cape Town, South Africa, 233-239.
- Fantozzi, M., Criminisi, A., Fontanazza, C. M., and Freni, G. (2011). "Investigations into underregistration of customer meters in Palermo (Italy) and effect of introducing low flow controllers." *Proceedings of the 6th IWA Specialist Conference on Efficient Water Use and Management*, Dead Sea, Jordan.
- Fantozzi, M., & Lambert, A. (2012). Residential Night Consumption–Assessment, Choice of Scaling Units and Calculation of Variability. *Water Loss*.
- Farley, M., and Trow, S. (2003). *Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*, IWA Publishing, London.
- Germanopoulos, G. (1985). "A Technical Note on the inclusion of Pressure Dependent Demand and Leakage terms in Water Supply Network Models." *Civil Engineering and Environmental Systems*, 2(3), 171-179.
- Girard, M., and Stewart, R. A. (2007). "Implementation of Pressure and Leakage Management Strategies on the Gold Coast, Australia: Case Study." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 133, 210.
- Giustolisi, O., Savic, D., and Kapelan, Z. (2008). "Pressure-Driven Demand and Leakage Simulation for Water Distribution Networks." *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(5), 626-635.
- Gomes, R., Marques, A. S., and Sousa, J. (2011). "Estimation of the benefits yielded by pressure management in water distribution systems." *Urban Water Journal*, 8(2), 65-77.
- Gomes, R., Marques, A. S., and Sousa, J. (2012). "Decision support system to divide a large network into suitable District Metered Areas." *Water Science and Technology*, 65(9), 1667-1675.
- Greyvenstein, B., and van Zyl, J. E. (2007). "An experimental investigation into the pressure-leakage relationship of some failed water pipes." *Journal of water supply: Research and Technology - AQUA*, 56(2), 117-124.
- Hammersley, J. M., and Handscomb, D. C. (1964). "Monte carlo methods (Vol.1)". London: Methuen. ISBN 0416523404.

- 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.
- ISO. (2008). "Uncertainty of Measurement - Part 3: Guide to expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)." International Organization for Standardization(ISO)/International Electrotechnical Commission (IEC), Geneva, Switzerland.
- Ivetić, M., Prodanović, D., Janković, Lj. (2008). "Osnovne zone bilansiranja-uputstvo". *Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu i Udruženje za tehnologiju voda i sanitarno inženjerstvo*. Beograd.
- Jacobs, H.E. and Strijdom, J.L. (2009). "Evaluation of minimum residual pressure as design criterion for South African water distribution systems." *Water SA* **35** (2) 183–191.
- Jankovic-Nisic, B., Makismovic, C., Butler, D., and Graham, N. J. D. (2004). "Use of flow meters for managing water supply networks." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(2), 171-179.
- Johnson, E. H. (2001). "Optimal water meter selection system." *Water S. A.*, 27(4), 481-488.
- Johnson, E. H. (2003). "Optimal water meter sizing and maintenance system." *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(1-2), 79-85.
- Kanakoudis, V. and Tsitsifli. (2010). "Results of an urban water distribution network performance evaluation attempt in Greece." *Urban Water Journal*, 7(5), 267-285.
- Kingdom, B., Liemberger, R. & P. Marin (2006): *The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries - How the Private Sector Can Help: A Look at Performance-Based Service Contracting*. Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series No. 8, The World Bank, Washington, DC, USA.
- Koelbl, J., Mayr, E., Theuretzbacher-Fritz, H., Neunteufel, R., and Perfler, R. (2009). "Benchmarking the process of physical water loss management." *Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*, Cape Town, South Africa 176-183.
- Lambert, A. (1994). "Accounting for losses: the bursts and background concept." *Water and Environment Journal*, 8(2), 205-214.
- Lambert, A., and Morrison, J. A. E. (1996). "Recent developments in application of "Bursts and Background Estimates" concepts for leakage management." *Water and Environment Journal*, 10(2), 100-104.
- Lambert, A.O. (1997). "Pressure Management/Leakage Relationships: Theory, Concepts and Practical Applications." *Conference on Minimising Losses in Water Supply Systems, Apr. 1997*. IQPC Ltd, London.
- Lambert, A., Brown, T.G., Takizawa, M., Weimer, D. (1999). "A review of performance indicators for real losses from water supply systems." *AQUA., December*. ISSN 0003-7214
- Lambert, A. O. (2002). "International Report: Water losses management and techniques." *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(4), 1-20.
- Lambert, A. (2009). "Ten years experience in using the UARL formula to calculate Infrastructure Leakage Index." *Water Loss*.
- Lambert, A. O., and Fantozzi, M. (2010). "Recent Developments in Pressure Management." *Proc. of the 6th IWA Water Loss reduction Specialist Conference, June 6-9, Sao Paulo, Brazil*.
- Lambert, A., and Taylor, R. (2010). "Water Loss Guidelines." *Water New Zealand*.

- Liemberger, R. and McKenzie, R.S. (2005). "Accuracy limitations of the ILI – is it an appropriate indicator for developing countries?" *IWA Conference 'Leakage 2005'*, Halifax, Nova Scotia.
- Lugoma, M.F.T., Van Zyl, J.E. and Ilemobade, A.A. (2012). "The extent of on-site leakage in selected suburbs of Johannesburg." *Water SA* **38** (1) 127–131.
- Lund, J. R. (1988). "Metering Utility Services: Evaluation and Maintenance." *Water Resources Research*, **24**(6), 802-816.
- Machell, J., Mounce, S. R., and Boxall, J. B. (2010). "Online modelling of water distribution systems: a UK case study." *Drinking Water Engineering and Science*, **3**, 21-27.
- Martinet, T, and Thetiot, L. (2006). "Improvement of Belgrade Water Supply System." *Final Report. SCE Aménagement-Environnement & Belgrade Water Utility*. Belgrade. 62–65.
- Mauris, G., Lasserre, V., and Foulloy, L. (2001). "A fuzzy approach for expression of uncertainty in measurement." *Measurement*, **29**, 165-177.
- May, J. (1994). "Pressure Dependent Leakage." *World Water and Environmental Engineering*, October 1994, 13.
- McCormack, C. A. (2005). "Canadian Utilities Learn to Fly through Benchmarking of Water Losses." *Leakage 2005*, Halifax, Canada
- McKenzie, R. (2001). *PRESMAC: Pressure Management Program*, WRC, Report TT 152/01, South Africa.
- McKenzie, R. S., Lambert, A. O., Kock, J. E., and Mtshweni, W. (2002). "Benchmarking of Leakage for Water Suppliers in South Africa: Users Guide for the BENCHLEAK Model." WRC, Report TT 159/01, South Africa.
- McKenzie, R. S., Mostert, H., and de Jager, T. (2004). "Leakage reduction through pressure management in Khayelitsha: two years down the line." *Water SA*, **30**(5), 13-17.
- McKenzie, R., Seago, C., and Liemberger, R. (2007). "Benchmarking of Losses from Potable Water Reticulation Systems - Results from IWA Task Team." *Proc. of the 4th IWA Specialised Water Loss Reduction Conference, September 23-26*, Bucharest, Romania, 161-175.
- McKenzie, R., and Lambert, A. (2008). "Benchmarking of Water Losses in New Zealand Manual." New Zealand Water and Wastes Association, Wellington.
- Mutikanga, H., Vairavamoorthy, K., Kizito, F., and Sharma, S. K. (2011). "Decision Support Tool for Optimal Water Meter Replacement." *Proceedings of the 2nd International Conference on Advances in Engineering Technology*, Entebbe, Uganda, February 2011, 649-655, ISBN 978-9970-214-00-7.
- Noss, R. R., Newman, G. J., and Male, J. W. (1987). "Optimal Testing Frequency for Domestic Water Meters." *Journal of Water Resources Planning and Management*, **113**(1), 1-14.
- Obradović, O., Čavor, R., Douglas, J. (1994). "Modeling in Design and Modernization of Water Supply Systems." *ASI New Technologies for Large Water Supply Projects*, Varna, Bulgaria.
- Palau, C. V., Arregui, F. J., and Carlos, M. (2012). "Burst detection in water networks using principal component analysis." *Journal of Water Resources Planning and Management*, **138**(1), 47-54.
- Pilcher, R., Hamilton, S., Chapman, H., Field, D., Ristovski, B., and Stapely, S. (2007). "Leak Location and Repair Guidance Notes, Version 1." IWA Publishing, London, UK.
- Pilipovic, Z., and Taylor, R. (2003). "Pressure management in Waitakere City, New Zealand-a case study." *Water Science and Technology: Water Supply*, **3**(1/2), 135-141.

- Prodanović, D., (2010). "Merenja u hidrotehnici". Skipta sa predavanja (radni materijal) u okviru predmeta Merenja u hidrotehnici na Građevinskom fakultetu u Beogradu.
http://hikom.grf.bg.ac.rs/web_stranice/KatZaHidr/Predmeti/Merenja/Literatura/Skripta/Tekst/Skripta.html
 (27.06.2014.)
- Richards, G. L., Johnson, M. C., and Barfuss, S. L. (2010). "Apparent losses caused by water meter inaccuracies at ultralow flows." *Journal of American Water Works Association*, 105(5), 123-132.
- Rizzo, A., M., V., Galea, S., Micallef, G., Riolo, S., and Pace, R. (2007). "Apparent Water Loss Control: The Way Forward." *IWA Water 21, August*
- Rossman, L. A. (2000). *EPANET 2 users manual*, USEPA, Cincinnati.
- Rossman, L. A. (2007). "Discussion of "Solution for Water Distribution Systems under Pressure-Deficient Conditions" by Wah Khim Ang and Paul W. Jowitt." *J. Water Resour. Plann. and Manage.*, 133(6), 566-567.
- 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.
- Savic, D. A., and Walters, G. A. (1995). "An Evolution Program for Optimal Pressure Regulation in Water Distribution Networks." *Engineering Optimization*, 24(3), 197-219.
- Savic, D. A., Kapelan, Z., and Jonkergouw, P. (2010). "Quo vadis water distribution model calibration." *Urban Water Journal*, 6(1), 3-22.
- Seago, C., Bhagwan, J., and McKenzie, R. (2004). "Benchmarking leakage from water reticulation systems in South Africa." *Water SA*, 30(5), 25-32.
- Sempewo, J., Pathirana, A., and Vairavamoorthy, K. (2008). "Spatial Analysis Tool for Development of Leakage Control Zones from the Analogy of Distributed Computing." *Proceedings of the 10th Annual Water Distribution System Analysis Conference (WSDA 2008), August 17-20, Kruger National Park, South Africa*, 676-690.
- Sharma, S. K., and Chinokoro, H. (2010). "Estimation of ELL and ELWL for Lusaka Water Distribution System." *Proceedings of the 6th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*, Sao Paulo, Brazil
- Speight, V., Khanal, N., Savic, D., Kapelan, Z., Jonkergouw, P., and Agbodo, M. (2010). "Guidelines for Developing, Calibrating, and Using Hydraulic Models." Water Research Foundation, Denver, Colorado.
- Stent, A. F., and Harwood, N. (2000). "Estimating Pipe Reticulation Losses in a Municipal Water Supply System." *Water and Environment Journal*, 14(4), 246-252.
- Tabesh, M., Asadiyani, Y., and Burrows, R. (2009). "An Integrated Model to Evaluate Losses in Water Distribution Systems." *Water Resources Management*, 23(3), 477-492.
- Thornton, J., and Rizzo, A. (2002). "Apparent losses, how low can you go." *Leakage Management Conference proceedings*, Lemesos, Cyprus.
- Thornton, J., Sturm, R., and Kunkel, G. (2008). *Water Loss Control*, McGraw-Hill, New York.
- Topalović, S., Đukić, A., and Naunović, Z. (2012). "Cost recovery of water and wastewater utilities in Serbia." *Water Res. Manage.* 2 (4) 19–32.
- Trifunovic, N., Sharma, S., and Pathirana, A. (2009). "Modelling Leakage in Distribution System using EPANET." *Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*, Cape Town, South Africa, 482-489.
- Tucciarelli, T., Criminisi, A., and Termini, D. (1999). "Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation." *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(3), 277-285.

Ulanicki, B., Bounds, P. L. M., Rance, J. P., and Reynolds, L. (2000). "Open and Closed Loop Pressure Control for Leakage Reduction." *Urban Water*, 2, 105-114.

UN(2013)The Millennium Development Goals Report 2013, United Nations.
http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/Goal_7_fs.pdf (27.06.2014.)

van den Berg, C., and Danilenko, A. (2011). *The IBNET Water Supply and Sanitation Performance Blue Book: The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Databook*, The World Bank, Washington, DC.

van der Linden, M. J. (1998). "Implementing a large meter replacement program." *AWWA*, 90(8), 50-56.

Van Zyl, J. E. (2011). "Introduction to integrated water meter management." Water Research Commission (WRC TT490/11), South Africa.

Van Zyl, J. E., and Cassa, A. M. (2011). "Linking the power and FAVAD equations for modelling the effect of pressure on leakage." *Proc. of the 11th Int. Conference on Computing and Control of the Water Industry (CCWI 2011) - Urban water management challenges and Opportunities, September 5-7*, Exeter, UK.

Vela, A., Perez, R., and Espert, V. (1991). "Incorporation of leakages in the mathematical model for a water distribution network." *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Methods in Water Resources*, Marrakesh, Morocco, 245-257.

Vučijak, N. i Marinković, P. (2008). "Ocenjivanje nesigurnosti rezultata merenja električne snage korišćenjem metode Monte Karlo". *Elektroprivreda br. 3, jul-septembar*, Beograd, 88-94.

Waldron, T. (2008). "Expertise in water loss control applied to extreme problems of water distribution management." *Water Science and Technology: Water Supply*, 8(1), 107-112.

Wallace, L. P., and Wheadon, D. A. (1986). "An Optimal Meter Change-out Program for Water Utilities." *AWWA Annual Conference*, Denver, Colorado, 1035-1042.

Walski, T., Bezts, W., Posluszny, E. T., Weir, M., and Whitman, B. E. (2006). "Modeling Leakage Reduction through Pressure Control." *Journal American Water Works Association*, 98(4), 147-155.

WSA/WCA Engineering and Operations Committee (1994). *Managing Leakage: UK Water Industry Managing Leakage Reports A-J. Report A – Summary Report; Report B – Reporting Comparative Leakage Performance; Report C - Setting Economic Leakage Targets; Report D – Estimating Unmeasured Water Delivered; Report E - Interpreting Measured Night Flows; Report F - Using Night Flow Data; Report F - Managing Water Pressure; Report h – Dealing With Customer's Leakage; Report J – Techniques, Technology and Training*. London: WRC/WSA/WCA, London

Wu, Z. Y., Sage, P., and Turtle, D. (2010). "Pressure-dependent leak detection model and its application to a district water system." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(1), 116-128.

Wu, Z. Y., Farley, M., Turtle, D., Kapelan, Z., Boxall, J., Mounce, S., Dahasahasra, S., Mulay, M., and Kleiner, Y. (2011). *Water Loss Reduction*, Bentley Institute Press, Exton, Pennsylvania, USA.

Yaniv, S. (2009). "Reduction of Apparent Losses Using the UFR (Unmeasured-Flow Reducer) - Case Studies." *Proceedings of the 5th IWA Specialist Conference on Efficient Water Use and Management*, Sydney, Australia.

Yee, M. D. (1999). "Economic Analysis for Replacing Residential Meters." *Journal American Water Works Association*, 91(7), 72-77.

ПРИЛОЗИ

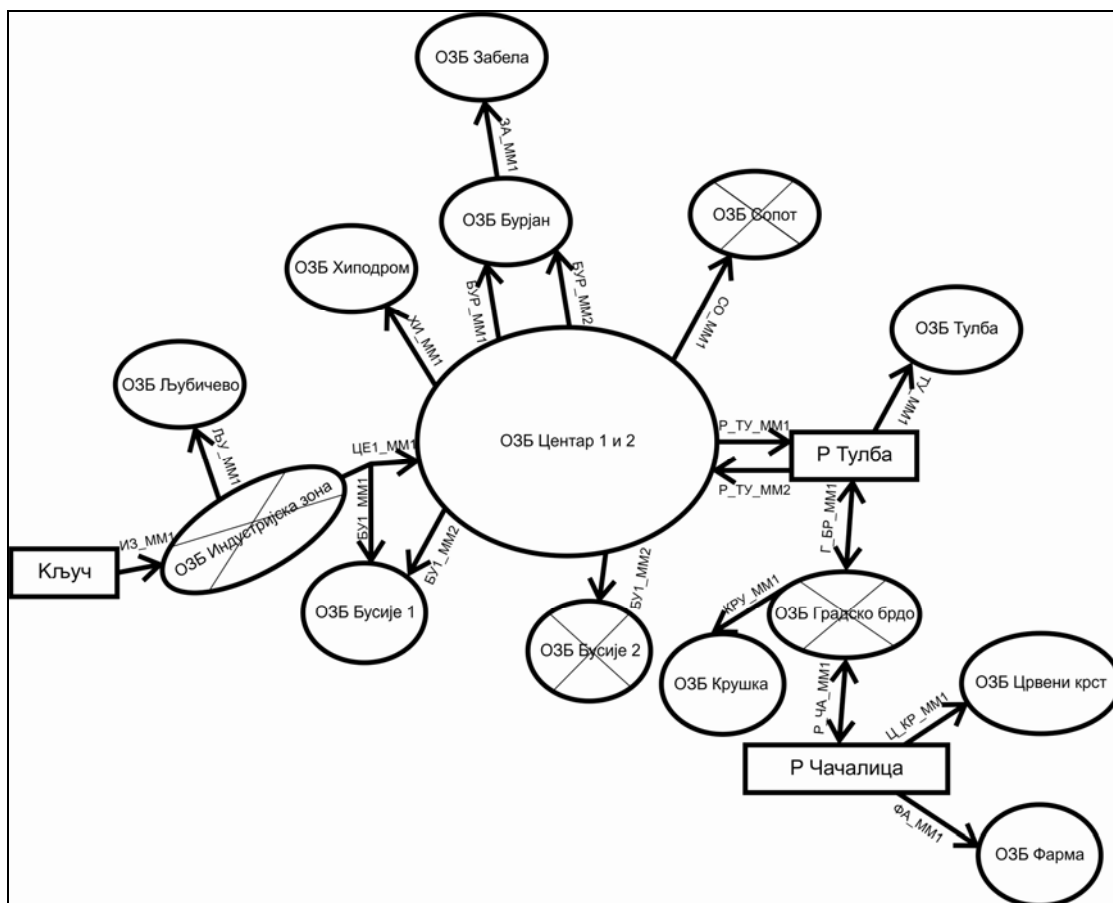
САДРЖАЈ ПРИЛОГА

1.	Увод	П-1
2.	Одређивање стварних и привидних губитака воде у ОЗБ водоводног система Пожаревца	П-3
2.1	ОЗБ Бурјан	П-4
2.2	ОЗБ Бусије 1	П-7
2.3	ОЗБ Црвени крст	П-10
2.4	ОЗБ Фарма	П-13
2.5	ОЗБ Хиподром	П-16
2.6	ОЗБ Крушка	П-19
2.7	ОЗБ Љубичево	П-22
2.8	ОЗБ Тулба	П-25
2.9	ОЗБ Забела	П-28
3.	Примена методологије LCP за за побољшање индикатора перформанси на ОЗБ водоводног система Пожаревца	П-31
3.1	ОЗБ Бурјан	П-32
3.2	ОЗБ Бусије 1	П-36
3.3	ОЗБ Црвени крст	П-40
3.4	ОЗБ Фарма	П-43
3.5	ОЗБ Хиподром	П-46
3.6	ОЗБ Крушка	П-49
3.7	ОЗБ Љубичево	П-52
3.8	ОЗБ Тулба	П-55

1. УВОД

ВДС Пожареваца је подељен на 15 ОЗБ (слика 5.15., поглавље 5.2) са циљем да се одреде компоненте водног биланса, као и приоритетне зоне у којима би требало приступити смањењу губитака воде. Све ОЗБ су изоловане од осталог дела система преко постојећих затварача. За сваку зону дефинисана места дотока воде у ОЗБ, као и места излаза из ОЗБ (где постоје), и на тим "тачкама" система изграђени су шахтови и уграђени мерачи протока и притиска који су повезани са SCADA системом.

На слици 1 дат је шематски приказ ОЗБ и мерних места водоводног система Пожареваца, с тим да су означене ОЗБ у којим нису успела мерења.



Слика 1 Шематски приказ ОЗБ у ВДС Пожаревац

У наредним прилозима дати су резултати примене примене методологије за одређивање привидних и стварних губитака воде по ОЗБ и резултати примене LCP методологије за процену смањења потреба за водом услед редукције притиска на ОЗБ водоводног система Пожаревац.

У прилозима 2.1-2.9 приказани су резултати примене методологије за одређивање привидних и стварних губитака воде по ОЗБ водоводног система Пожаревац.

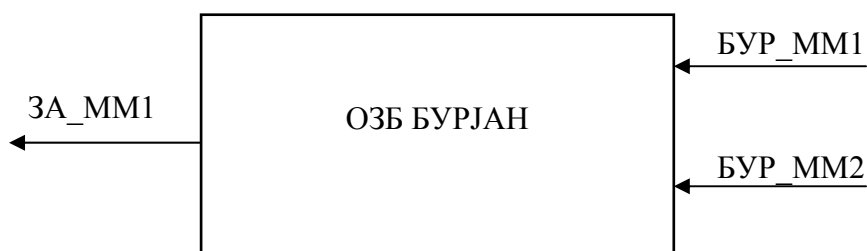
У прилозима 3.1-3.9 приказани су резултати примене LCP методологије за процену смањења потреба за водом услед редукције притиска.

ПРИЛОЗИ (2.1-2.9):

**ОДРЕЂИВАЊЕ СТВАРНИХ И ПРИВИДНИХ
ГУБИТАКА ВОДЕ У ОЗБ ВОДОВОДНОГ
СИСТЕМА ПОЖАРЕВАЦ**

ПРИЛОГ БР. 2.1 *ОЗБ Бурјан*

На слици 2 дат је шематски приказ мерних места за ОЗБ Бурјан. Доток воде у ОЗБ Бурјан региструје се преко два мерна места на улазу у зону. Мерна места су означена као БУРЈАН_ММ1 (скраћена ознака БУР_ММ1) и БУРЈАН_ММ2 (скраћена ознака БУР_ММ2). Излаз из ОЗБ мери се на једном мерном месту ЗАБЕЛА_ММ1 (скраћена ознака ЗА_ММ1).



Слика 2. Шематски приказ ОЗБ Бурјан

У наредној табели 1 приказан је број потрошача по категоријама потрошње, чија потрошња је већа од 0, који припадају ОЗБ Бурјан, и њихова средња годишња потрошња воде из базе потрошача. Укупан број потрошача у бази потрошача је већи и износи 1.346, односно код 11,0 % потрошача потрошња воде износи 0 (32 који припадају категорији индивидуалне куће центар, 107 који припадају категорији индивидуалне куће периферија - укупан број свих потрошача је већи за 148 кад се додају и остале категорије потрошача).

Табела 1 Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде - ОЗБ Бурјан

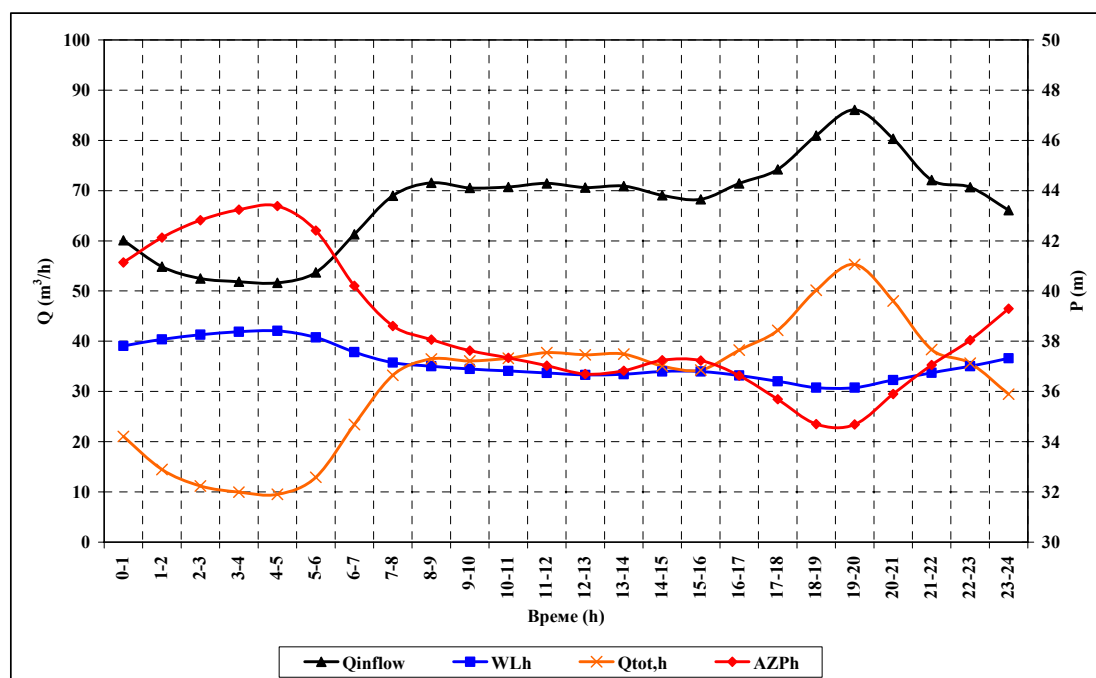
Категорије потрошача из математичког модела	Бр.потрош. (-)	Потрошња (m ³ /dan)	Потрошња (l/s)	Потрошња	
				l/priklj.dan	l/priklj.h
Индивидуалне куће центар	214	100,7	1,17	475	20
Индивидуалне куће периферија	962	452,3	5,24	470	20
Јавне установе	2	0,8	0,01	411	17
Мала привреда	20	7,9	0,09	396	16
Укупно:	1.198	562	6,5		

Статистичком анализом резултата мерења 3 мерна места одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Бурјан и он износи 14,3 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 11,7 L/s (табела 2). Усвојен је експонент притиска $N1$ за стварне губитке воде од 1,40.

Табела 2 Минимална ноћна потрошња воде, *MNF* и неодређеност, по категоријама потрошача

	MNF (l/s)	MNF (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
Доток у ОЗБ	14,30	51.480	5,0%
Јавне установе	0,01	27	20,0%
Мала привреда	0,05	165	11,2%
Индивидуалне куће периферија	2,08	7.483	2%
Индивидуалне куће центар	0,48	1.722	3%
Укупна мин. ноћна потрошња воде	2,61	9.397	1,4%
Укупни ноћни губици воде	11,7	42.083	6,1%

На слици 3 приказан је дневни доток воде у ОЗБ и часовни просечан притисак током осредњеног дана у мају месецу 2013. год. (средња годишња потрошња воде). Укупан дневни доток воде износи $1.620 \text{ m}^3/\text{dan}$, просечан дневни доток воде износи $67,5 \text{ m}^3/\text{h}$, а минимални ноћни доток воде *MNF* износи $51,6 \text{ m}^3/\text{h}$. Просечан дневни притисак *AZP* износи $38,5 \text{ m}$, а притисак за време *MNF* износи $43,4 \text{ m}$ (*AZNP*). Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* износи $9,4 \text{ m}^3/\text{h}$, а ноћни стварни губици воде $42,1 \text{ m}^3/\text{h}$. Резултати прорачуна приказани су на наредној слици 3.

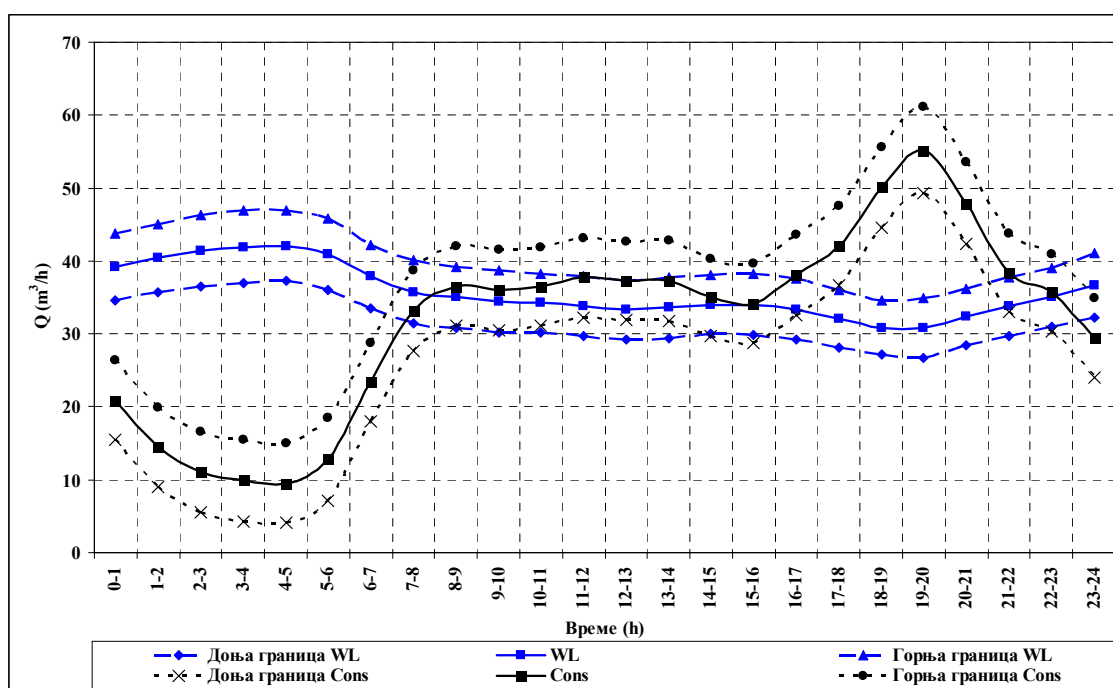


Слика 3 Доток воде у ОЗБ, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак

На основу резултата прорачуна укупни дневни стварни губици воде у дану са средњом годишњом потрошњом воде износе $856 \text{ m}^3/\text{dan}$ (53 % од укупног дневног

дотока воде у ОЗБ), а укупна стварна потрошња воде $764 \text{ m}^3/\text{dan}$. Израчуната стварна потрошња воде је за 36 % већа од фактурисане просечне дневне потрошње воде на нивоу средње годишње потрошње која износи $562 \text{ m}^3/\text{dan}$. Добијени резултати указују да привидни губици у ОЗБ Бурјан износе $202 \text{ m}^3/\text{dan}$.

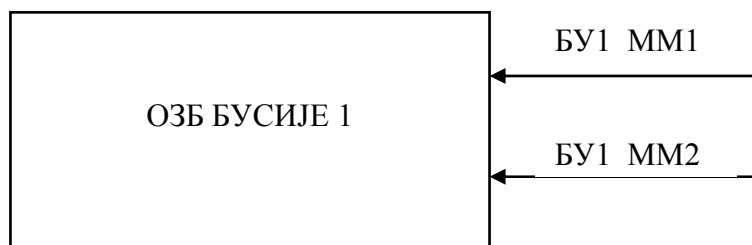
Након добијених резултата процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате. Резултати прорачуна приказани су на слици 4. Укупна неодређеност дневних стварних губитака и укупне дневне стварне потрошње износи око 3 %.



Слика 4 Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења

ПРИЛОГ БР. 2.2 *ОЗБ Бусије 1*

На слици 5 дат је шематски приказ мерних места за ОЗБ Бусије 1. Мерна места су означена као БУСИЈЕ1_ММ1 (скраћена ознака БУ1_ММ1) и БУСИЈЕ1_ММ2 (скраћена ознака БУ1_ММ2).



Слика 5 Шематски приказ ОЗБ Бусије 1

У наредној табели 3 приказан је број потрошача по категоријама потрошње, чија потрошња је већа од 0, који припадају ОЗБ Бусије 1, и њихова средња годишња потрошња воде из базе потрошача. Укупан број потрошача у бази потрошача је већи и износи 2.163, односно код 11,5 % потрошача потрошња воде износи 0 (80 који припадају категорији индивидуалне куће центар, 81 који припадају категорији индивидуалне куће периферија - укупан број свих потрошача је већи за 193 кад се додају и остале категорије потрошача).

Табела 3 Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде - ОЗБ Бусије 1

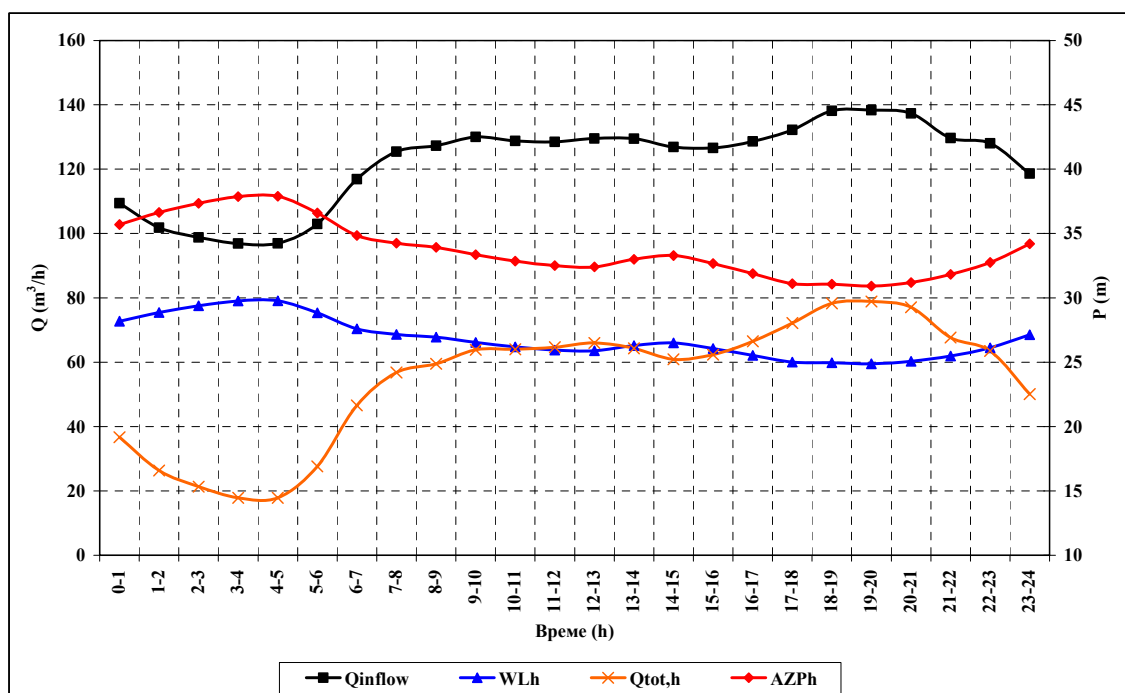
Категорије потрошача из математичког модела	Бр.потрош. (-)	Потрошња (m ³ /dan)	Потрошња (l/s)	Потрошња	
				l/priklj.dan	l/priklj.h
Индивидуалне куће центар	844	367,3	4,25	476	20
Индивидуалне куће периферија	774	297,8	3,45	476	20
Кућни савети	290	77,2	0,89	348	14
Јавне установе	1	25,5	0,30	25.508	1.063
Касарна	2	97,5	1,13	48.753	2.031
Школе	1	1,3	0,01	1.281	53
Мала привреда	55	32,0	0,37	604	25
Велика привреда	3	1,0	0,01	349	15
Укупно:	1970	900	10,4		

Статистичком анализом резултата мерења 2 мерна места одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Бусије 1 и он износи 26,9 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 22,0 L/s (табела 4). Усвојен је експонент притиска NI за стварне губитке воде од 1,40.

Табела 4 Минимална ноћна потрошња воде, *MNF* и неодређеност, по категоријама потрошача

	MNF (l/s)	MNF (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
Доток у ОЗБ	26,90	96.840	5,0%
Јавне установе	0,15	531	20,0%
Касарне	0,73	2.641	20,0%
Школе	0,01	43	30,0%
Мала привреда	0,19	667	6,9%
Велика привреда	0,01	22	17,3%
Индивидуалне куће	3,46	12.453	1,3%
Кућни савети	0,38	1.373	3,4%
Укупна мин. ноћна потрошња воде	4,92	17.729	3,2%
Укупни ноћни губици воде	22,0	79.111	6,2%

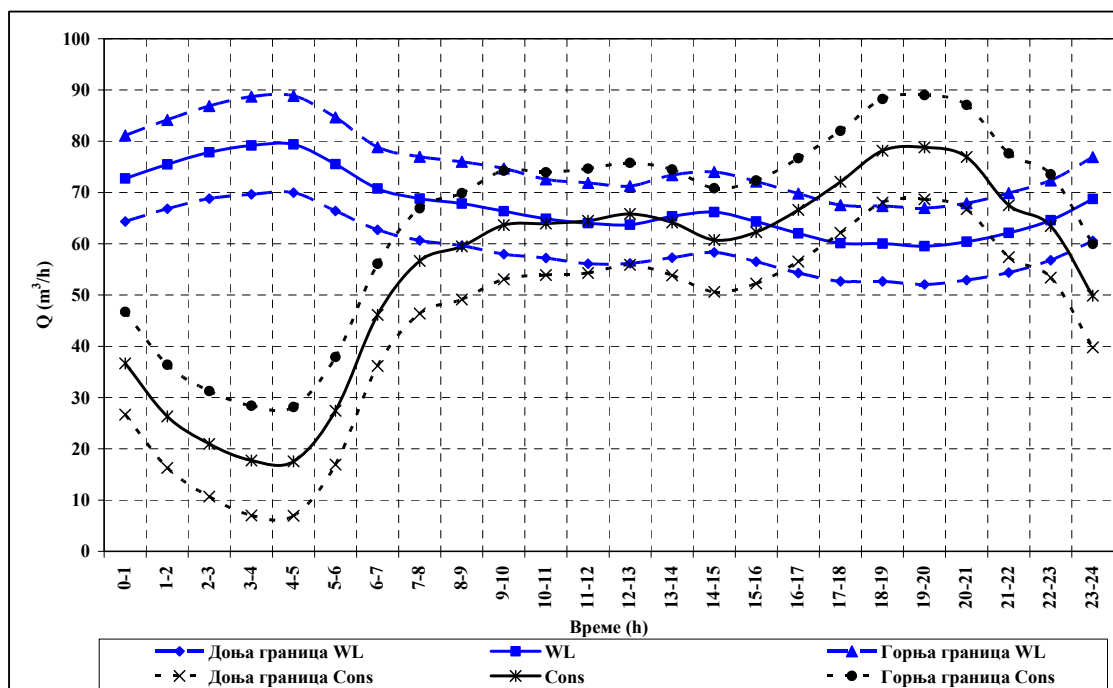
На слици 6 приказан је дневни доток воде у ОЗБ и часовни просечан притисак током осредњеног дана у мају месецу 2013. год. (средња годишња потрошња воде). Укупан дневни доток воде износи $2.927 \text{ m}^3/\text{dan}$, просечан дневни доток воде износи $122,0 \text{ m}^3/\text{h}$, а минимални ноћни доток воде *MNF* износи $96,9 \text{ m}^3/\text{h}$. Просечан дневни притисак износи $33,8 \text{ m}$, а притисак за време *MNF* износи $37,9 \text{ m}$. Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* износи $17,7 \text{ m}^3/\text{h}$, а ноћни стварни губици воде $79,1 \text{ m}^3/\text{h}$. Резултати прорачуна приказани су на наредној слици 6.



Слика 6 Доток воде у ОЗБ, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак

На основу резултата прорачуна укупни дневни стварни губици воде у дану са средњом годишњом потрошњом воде износе $1.617 \text{ m}^3/\text{dan}$ (55 % од укупног дневног дотока воде у ОЗБ), а укупна стварна потрошња воде $1.311 \text{ m}^3/\text{dan}$. Израчуната стварна потрошња воде је за 46 % већа од фактурисане просечне дневне потрошње воде на нивоу средње годишње потрошње која износи $900 \text{ m}^3/\text{dan}$. Добијени резултати указују да привидни губици у ОЗБ Бусије 1 износе $411 \text{ m}^3/\text{dan}$.

Након добијених резултата процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате. Резултати прорачуна приказани су на слици 7. Укупна неодређеност дневних стварних губитака и укупне дневне стварне потрошње износи око 3 %.



Слика 7 Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења

ПРИЛОГ БР. 2.3 *ОЗБ Црвени крст*

На слици 8 дат је шематски приказ мерних места за ОЗБ Црвени крст. Доток воде у ОЗБ Црвени крст региструје се преко једног мерног места на улазу у ОЗБ после ПС Чачалица. Мерно место је означено као ЦРВЕНИ_КРСТ_ММ1 (скраћена ознака Ц_КР_ММ1).



Слика 8 Шематски приказ ОЗБ Црвени крст

У наредној табели 5 приказан је број потрошача по категоријама потрошње, чија потрошња је већа од 0, који припадају ОЗБ Црвени крст, и њихова средња годишња потрошња воде из базе потрошача. Укупан број потрошача у бази потрошача је већи и износи 193, односно код 24,4 % потрошача потрошња воде износи 0 (46 који припадају категорији индивидуалне куће периферија и 1 који припада категорији мала привреда).

Табела 5 Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде - ОЗБ Црвени крст

Категорија потрошача из математичког модела	Бр.потрош. (-)	Потрошња (m ³ /dan)	Потрошња (l/s)	Потрошња	
				l/priklj.dan	l/priklj.h
Индивидуалне куће периферија	144	62,3	0,72	433	18
Мала привреда	2	0,6	0,01	324	14
Укупно:	146	62,9	0,73		

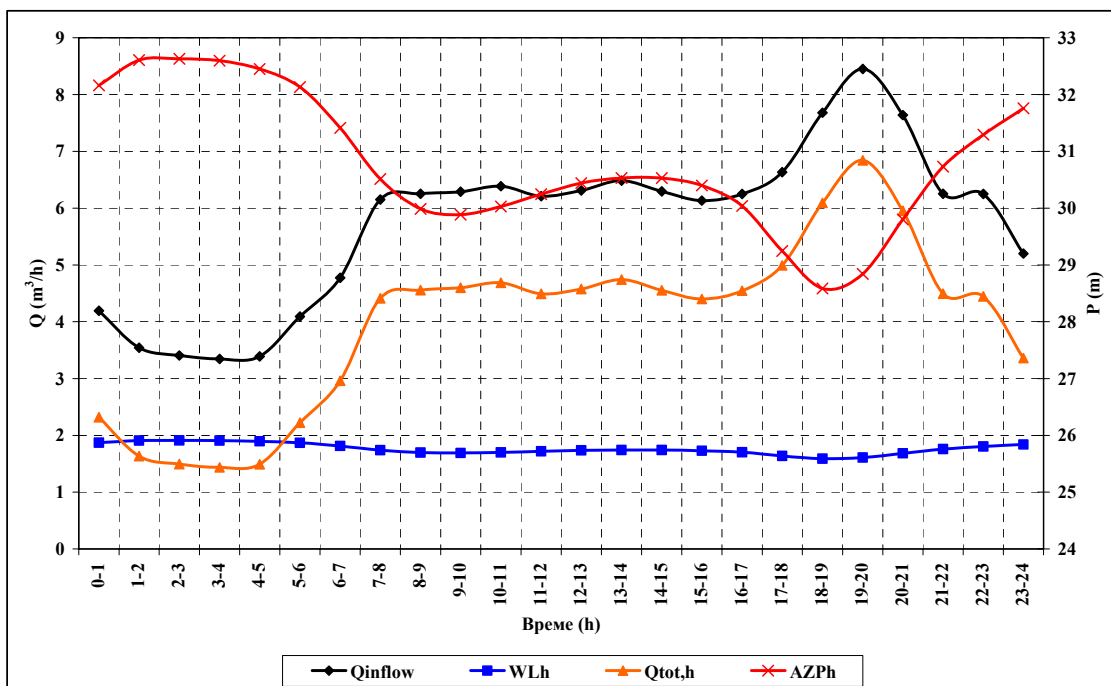
Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Црвени крст и он износи 0,9 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 0,5 L/s (табела 6). Усвојен је експонент притиска *NI* за стварне губитке воде од 1,40.

На слици 9 приказан је дневни доток воде у ОЗБ и часовни просечан притисак током осредњеног дана у мају месецу 2013. год. (средња годишња потрошња воде). Укупан дневни доток воде износи 138 m³/dan, просечан дневни доток воде

износи $5,7 \text{ m}^3/\text{h}$, а минимални ноћни доток воде MNF износи $3,3 \text{ m}^3/\text{h}$. Просечан дневни притисак износи $30,8 \text{ m}$, а притисак за време MNF износи $32,6 \text{ m}$. Минимална ноћна потрошња воде за време MNF износи $1,3 \text{ m}^3/\text{h}$, а ноћни стварни губици воде $1,9 \text{ m}^3/\text{h}$. Резултати прорачуна приказани су на наредној слици 9.

Табела 6 Минимална ноћна потрошња воде, MNF и неодређеност, по категоријама потрошача

	MNF (l/s)	MNF (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
Доток у ОЗБ	0,900	3.240	10,0%
Мала привреда	0,004	14	35,4%
Индивидуалне куће	0,369	1.330	3,6%
Укупна мин.ноћна потрошња воде	0,37	1.344	3,6%
Укупни ноћни губици воде	0,53	1.896	17,8%

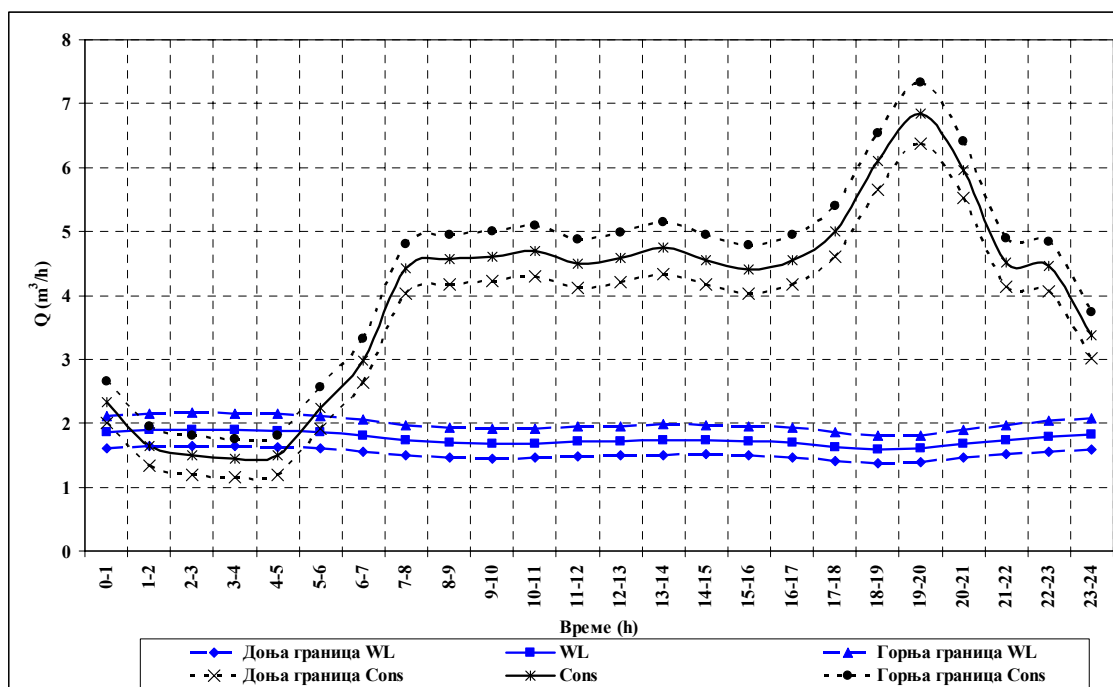


Слика 9 Доток воде у ОЗБ, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак

На основу резултата прорачуна укупни дневни стварни губици воде у дану са средњом годишњом потрошњом воде износе $42,3 \text{ m}^3/\text{dan}$ (31 % од укупног дневног дотока воде у ОЗБ), а укупна стварна потрошња воде $95,3 \text{ m}^3/\text{dan}$. Израчуната стварна потрошња воде је за 51 % већа од фактурисане просечне дневне потрошње воде на нивоу средње годишње потрошње која износи 63

m^3/dan . Добијени резултати указују да привидни губици у ОЗБ Црвени крст износе $32 m^3/dan$.

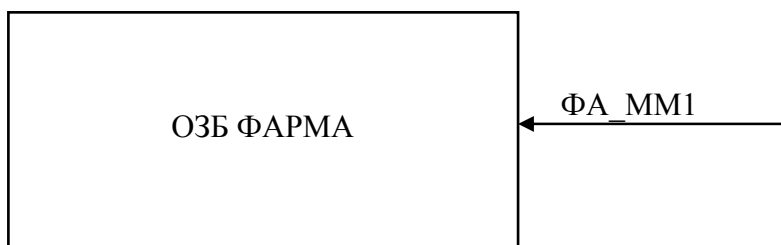
Након добијених резултата процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате. Резултати прорачуна приказани су на слици 10. Укупна неодређеност дневних стварних губитака и укупне дневне стварне потрошње износи око 3 %.



Слика 10 Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења

ПРИЛОГ БР. 2.4 *ОЗБ Фарма*

На слици 11 дат је шематски приказ мерних места за ОЗБ Фарма. Доток воде у ОЗБ Фарма региструје се преко једног мерног места на улазу у зону. Мерно место је означено као ФАРМА_ММ1 (скраћена ознака ФА_ММ1).



Слика 11 Шематски приказ ОЗБ Фарма

У наредној табели 7 приказан је број потрошача по категоријама потрошње, чија потрошња је већа од 0, који припадају ОЗБ Фарма, и њихова средња годишња потрошња воде из базе потрошача. Укупан број потрошача у бази потрошача је већи и износи 406, односно код 28,3 % потрошача потрошња воде износи 0 (109 који припадају категорији индивидуалне куће периферија и 6 који припада категорији мала привреда).

Табела 7 Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде - ОЗБ Фарма

Категорија потрошача из математичког модела	Бр.потрош.	Потрошња (m ³ /dan)	Потрошња (l/s)	Потрошња	
				l/priklj.dan	l/priklj.h
Индивидуалне куће периферија	276	126	1,5	442	18
Мала привреда	15	8	0,1	519	22
Укупно:	291	133	1,5		

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Фарма и он износи 1,5 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 0,7 L/s (табела 8). Усвојен је експонент притиска Nl за стварне губитке воде од 1,40.

На слици 12 приказан је дневни доток воде у ОЗБ и часовни просечан притисак током осредњеног дана у мају месецу 2013. год. (средња годишња потрошња воде). Укупан дневни доток воде износи 183 m³/dan, просечан дневни доток воде

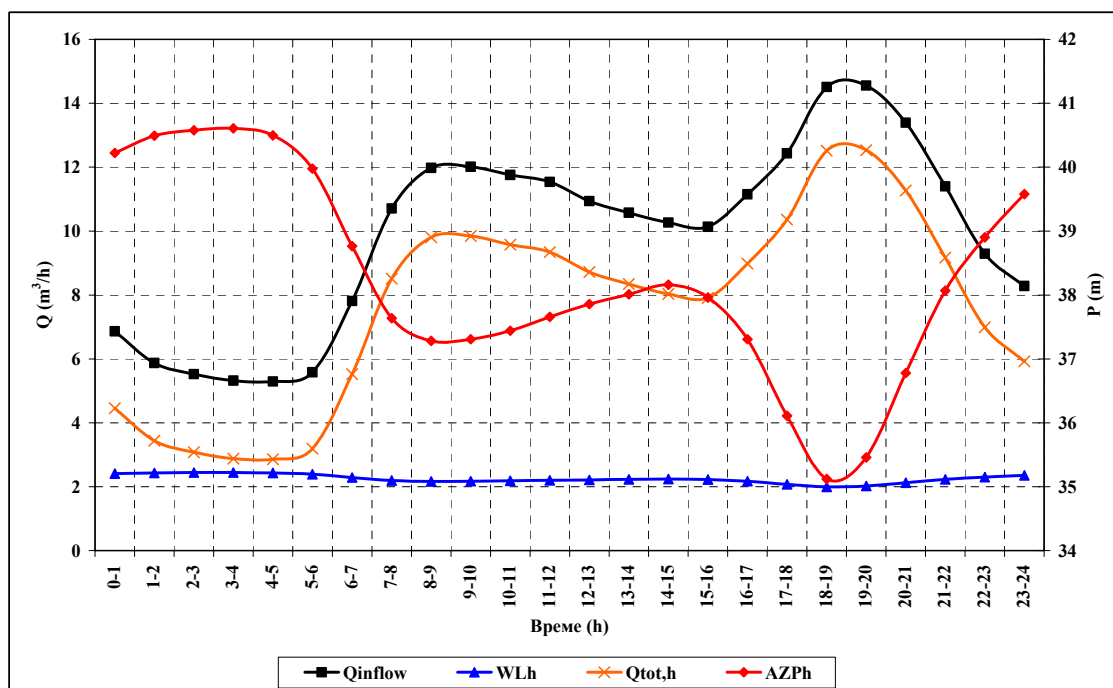
износи $9,9 \text{ m}^3/\text{h}$, а минимални ноћни доток воде MNF износи $5,3 \text{ m}^3/\text{h}$. Просечан дневни притисак износи $38,2 \text{ m}$, а притисак за време MNF износи $40,5 \text{ m}$.

Табела 8 Минимална ноћна потрошња воде, MNF и неодређеност, по категоријама потрошача

	MNF (l/s)	MNF (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
Доток у ОЗБ	1,47	5.292	10,0%
Мала привреда	0,05	162	12,9%
Индивидуалне куће	0,75	2.695	3%
Укупна мин.ноћна потрошња воде	0,79	2.857	3%
Укупни ноћни губици воде	0,68	2.435	22%

Минимална ноћна потрошња воде за време MNF износи $2,9 \text{ m}^3/\text{h}$, а ноћни стварни губици воде $2,4 \text{ m}^3/\text{h}$.

Резултати прорачуна приказани су на наредној слици 12.

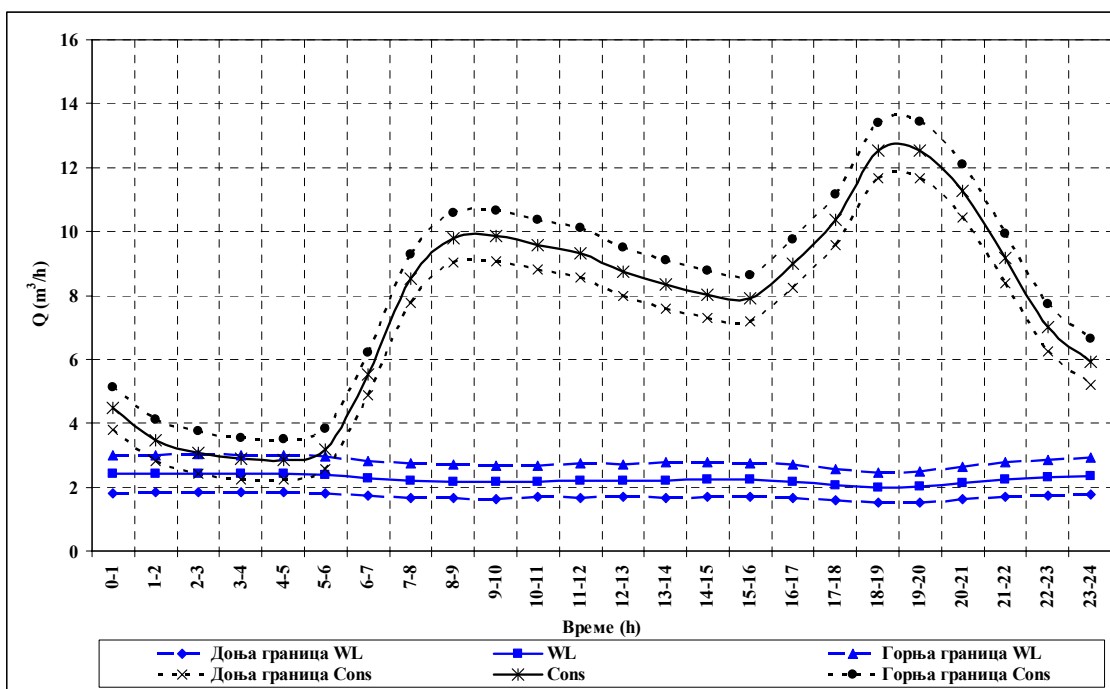


Слика 12 Доток воде у ОЗБ, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак

На основу резултата прорачуна укупни дневни стварни губици воде у дану са средњом годишњом потрошњом воде износе $54 \text{ m}^3/\text{dan}$ (23 % од укупног дневног дотока воде у ОЗБ), а укупна стварна потрошња воде $183,3 \text{ m}^3/\text{dan}$. Израчуната стварна потрошња воде је за 37 % већа од фактурисане просечне дневне

потрошње воде на нивоу средње годишње потрошње која износи $133 \text{ m}^3/\text{dan}$. Добијени резултати указују да привидни губици у ОЗБ Фарма износе $50 \text{ m}^3/\text{dan}$.

Након добијених резултата процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате. Резултати прорачуна приказани су на слици 13. Укупна неодређеност дневних стварних губитака и укупне дневне стварне потрошње износи око 5 %.



Слика 13 Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења

ПРИЛОГ БР. 2.5 *ОЗБ Хиподром*

На слици 14 дат је шематски приказ мерних места за ОЗБ Хиподром. Доток воде у ОЗБ Хиподром региструје се преко једног мерног места на улазу у зону. Мерно место је означено као ХИПОДРОМ_ММ1 (скраћена ознака ХИ_ММ1).



Слика 14 Шематски приказ ОЗБ Хиподром

У наредној табели 9 приказан је број потрошача по категоријама потрошње, чија потрошња је већа од 0, који припадају ОЗБ Фарма, и њихова средња годишња потрошња воде из базе потрошача. Укупан број потрошача у бази потрошача је већи и износи 123, односно код 5,7 % потрошача потрошња воде износи 0 (3 који припадају категорији индивидуалне куће периферија и 4 који припада категорији мала привреда).

Табела 9 Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде - ОЗБ Хиподром

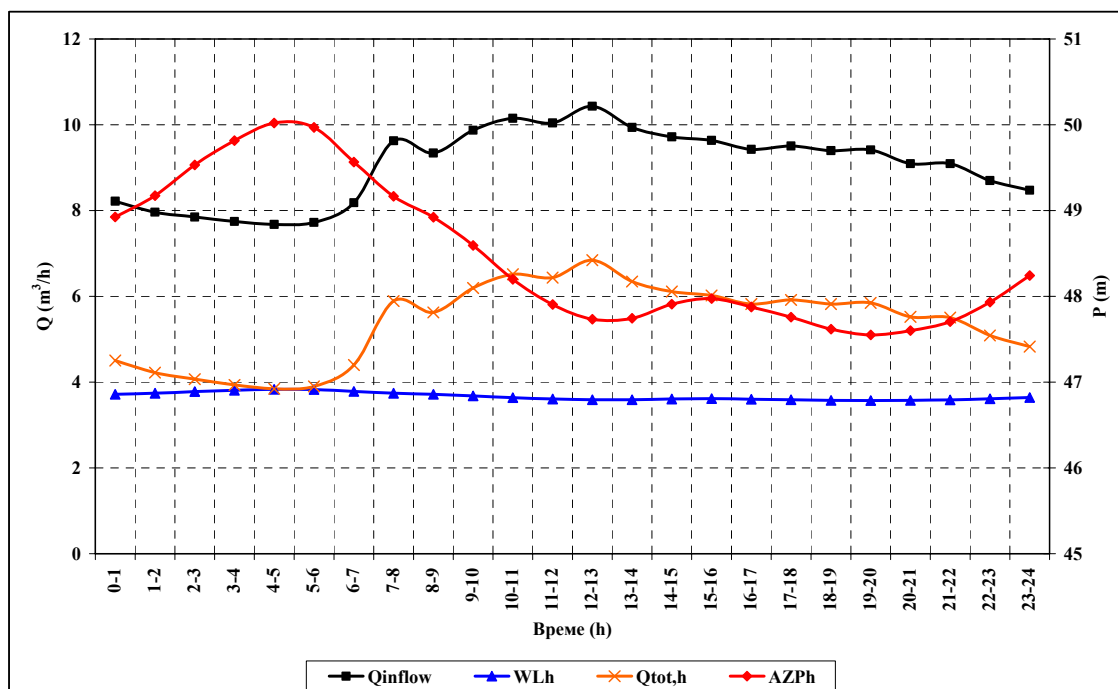
Категорија потрошача из математичког модела	Бр.потрош. (-)	Потрошња (m ³ /dan)	Потрошња (l/s)	Потрошња	
				l/priklj.dan	l/priklj.h
Индивидуалне куће периферија	32	18,3	0,21	571	24
Кућни савети	61	39,4	0,46	645	27
Јавне установе	1	7,5	0,09	7.475	311
Мала привреда	20	21,6	0,25	1.081	45
Велика привреда	2	7,0	0,08	3.490	145
Укупно:	116	93,7	1,08		

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Хиподром и он износи 1,4 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 1,1 L/s (табела 10). Усвојен је експонент притиска *NI* за стварне губитке воде од 1,40.

Табела 10 Минимална ноћна потрошња воде, *MNF* и неодређеност, по категоријама потрошача

	MNF (l/s)	MNF (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
Доток у ОЗБ	1,40	5.040	10,0%
Јавне установе	0,03	93	20,0%
Мала привреда	0,13	451	11,2%
Велика привреда	0,04	145	21,2%
Индивидуалне куће	0,07	245	8,8%
Кућни савети	0,08	275	6,4%
Укупна мин.ноћна потрошња воде	0,34	1.209	5,6%
Укупни ноћни губици воде	1,06	3.831	13,3%

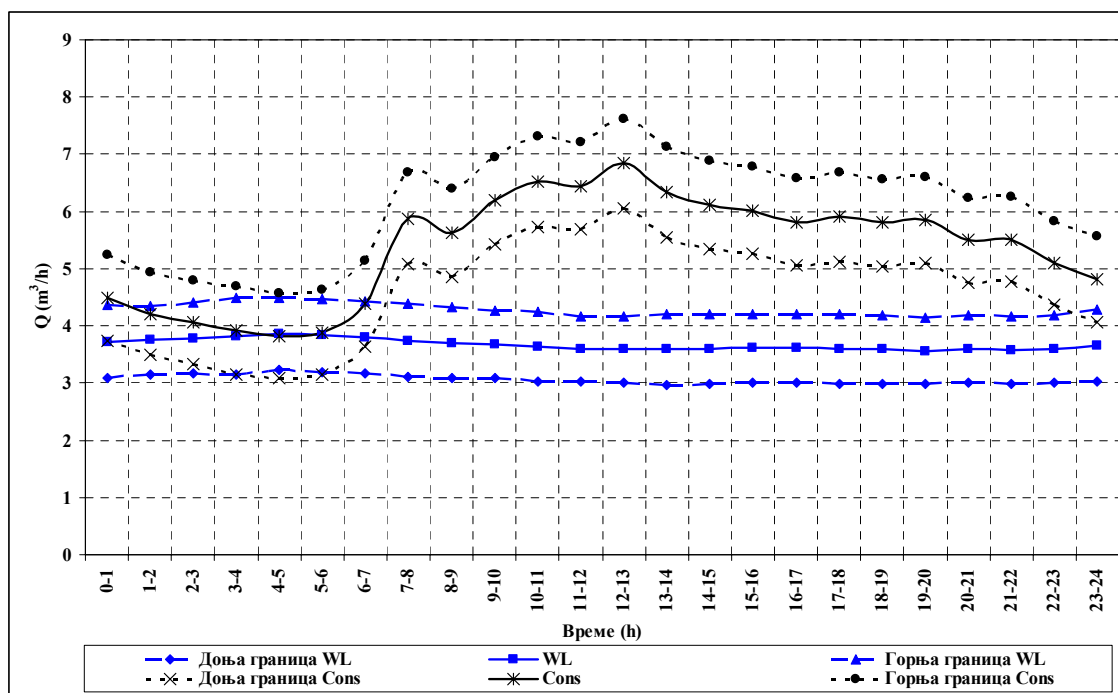
На слици 15 приказан је дневни доток воде у ОЗБ и часовни просечан притисак током осредњеног дана у мају месецу 2013. год. (средња годишња потрошња воде). Укупан дневни доток воде износи $217 \text{ m}^3/\text{dan}$, просечан дневни доток воде износи $9,1 \text{ m}^3/\text{h}$, а минимални ноћни доток воде *MNF* износи $7,7 \text{ m}^3/\text{h}$. Просечан дневни притисак износи $48,5 \text{ m}$, а притисак за време *MNF* износи $50,0 \text{ m}$. Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* износи $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$, а ноћни стварни губици воде $3,8 \text{ m}^3/\text{h}$. Резултати прорачуна приказани су на наредној слици 15.



Слика 15 Доток воде у ОЗБ, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак

На основу резултата прорачуна укупни дневни стварни губици воде у дану са средњом годишњом потрошњом воде износе $88 \text{ m}^3/\text{dan}$ (41 % од укупног дневног дотока воде у ОЗБ), а укупна стварна потрошња воде $129 \text{ m}^3/\text{dan}$. Израчуната стварна потрошња воде је за 38 % већа од фактурисане просечне дневне потрошње воде на нивоу средње годишње потрошње која износи $94 \text{ m}^3/\text{dan}$. Добијени резултати указују да привидни губици у ОЗБ Фарма износе $35 \text{ m}^3/\text{dan}$.

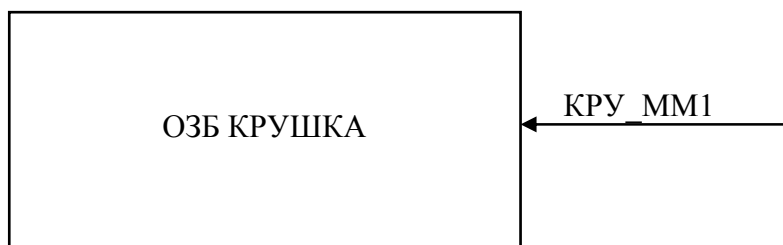
Након добијених резултата процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате. Резултати прорачуна приказани су на слици 16. Укупна неодређеност дневних стварних губитака и укупне дневне стварне потрошње износи око 3,5 %.



Слика 16 Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења

ПРИЛОГ БР. 2.6 *ОЗБ Крушка*

На слици 17 дат је шематски приказ мерних места за ОЗБ Крушка. Доток воде у ОЗБ Крушка региструје се преко једног мерног места на улазу у зону. Мерно место је означено као КРУШКА_ММ1 (скраћена ознака КРУ_ММ1).



Слика 17 Шематски приказ ОЗБ Крушка

У наредној табели 11 приказан је број потрошача по категоријама потрошње, чија потрошња је већа од 0, који припадају ОЗБ Крушка, и њихова средња годишња потрошња воде из базе потрошача. Укупан број потрошача у бази потрошача је већи и износи 750, односно код 19,3 % потрошача потрошња воде износи 0 (122 који припадају категорији индивидуалне куће периферија, 20 који припадају категорији индивидуалне куће центар и 3 који припада категорији мала привреда).

Табела 11 Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде - ОЗБ Крушка

Категорија потрошача из математичког модела	Бр.потрош. (-)	Потрошња (m ³ /dan)	Потрошња (l/s)	Потрошња	
				l/priklj.dan	l/priklj.h
Индивидуалне куће периферија	459	183,7	2,13	404	17
Индивидуалне куће центар	140	69,4	0,80	496	21
Мала привреда	6	1,7	0,02	280	12
Укупно:	605	254,8	2,95		

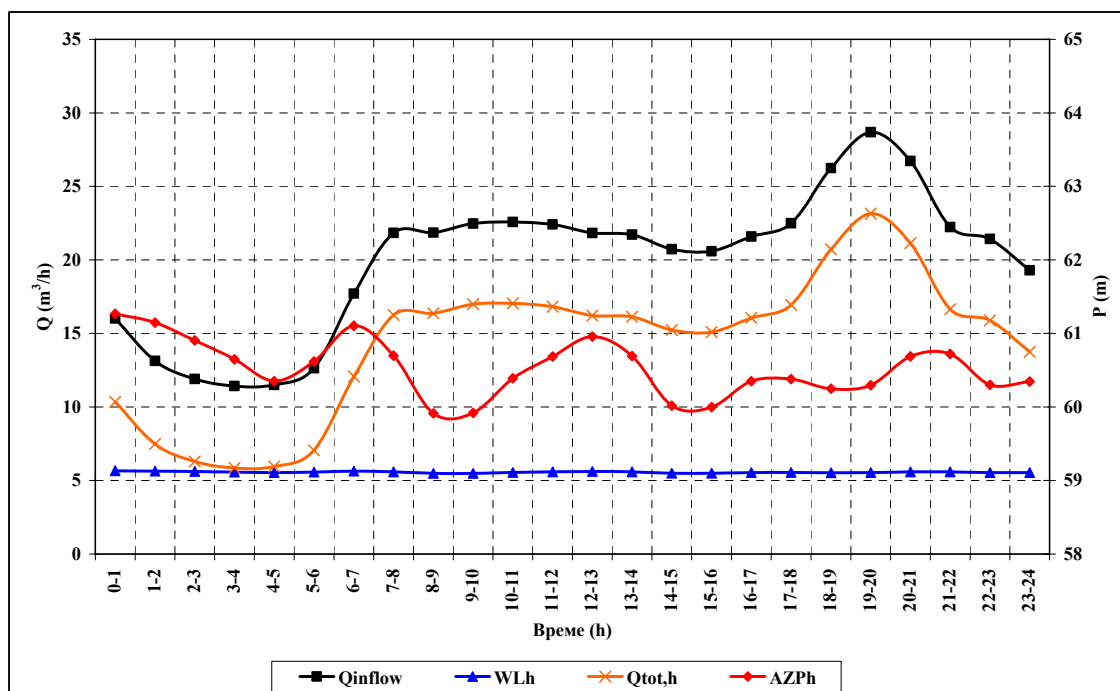
Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Крушка и он износи 3,0 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 1,5 L/s (табела 12). Усвојен је експонент притиска NI за стварне губитке воде од 1,40.

Табела 12 Минимална ноћна потрошња воде, *MNF* и неодређеност, по категоријама потрошача

	MNF (l/s)	MNF (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
Доток у ОЗБ	3,00	10.800	10,0%
Мала привреда	0,01	35	20,4%
Индивидуалне куће периферија	1,13	4.067	2,1%
Индивидуалне куће центар	0,31	1.120	4,0%
Укупна мин.ноћна потрошња воде	1,45	5.222	1,8%
Укупни ноћни губици воде	1,55	5.578	19,4%

На слици 18 приказан је дневни доток воде у ОЗБ и часовни просечан притисак током осредњеног дана у мају месецу 2013. год. (средња годишња потрошња воде). Укупан дневни доток воде износи $479 \text{ m}^3/\text{dan}$, просечан дневни доток воде износи $20,0 \text{ m}^3/\text{h}$, а минимални ноћни доток воде *MNF* износи $11,4 \text{ m}^3/\text{h}$. Просечан дневни притисак износи $60,5 \text{ m}$, а притисак за време *MNF* износи $60,6 \text{ m}$. Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* износи $5,2 \text{ m}^3/\text{h}$, а ноћни стварни губици воде $5,6 \text{ m}^3/\text{h}$.

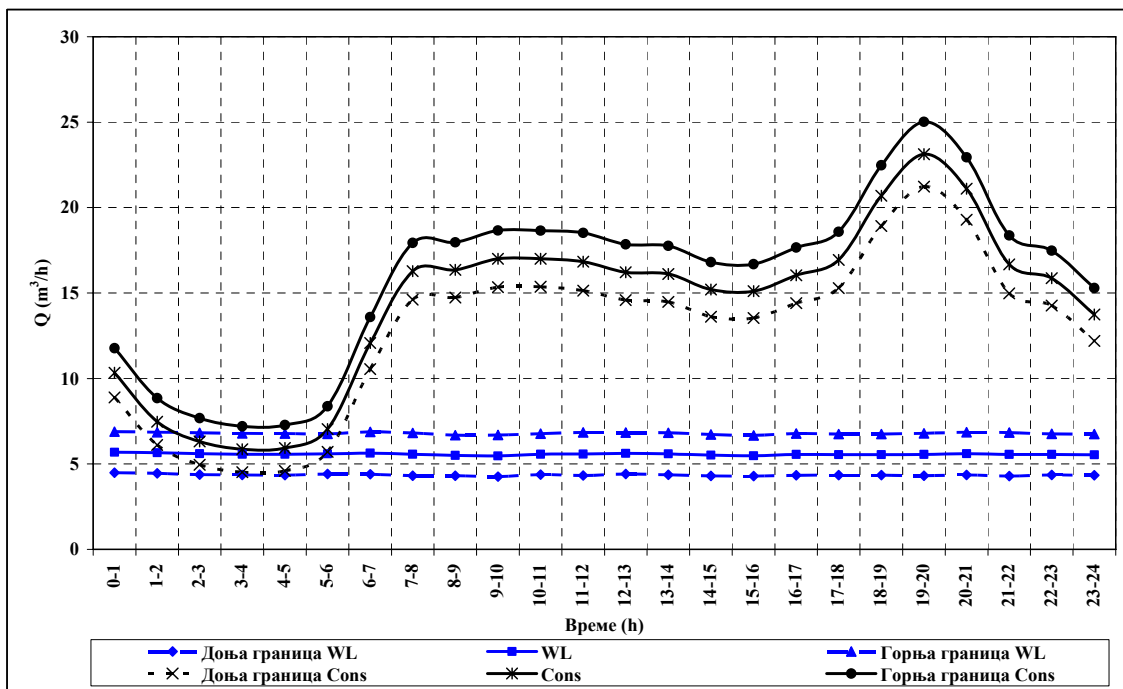
Резултати прорачуна приказани су на наредној слици 18.



Слика 18 Доток воде у ОЗБ, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак

На основу резултата прорачуна укупни дневни стварни губици воде у дану са средњом годишњом потрошњом воде износе $133,5 \text{ m}^3/\text{dan}$ (28 % од укупног дневног дотока воде у ОЗБ), а укупна стварна потрошња воде $345,5 \text{ m}^3/\text{dan}$. Израчуната стварна потрошња воде је за 36 % већа од фактурисане просечне дневне потрошње воде на нивоу средње годишње потрошње која износи $255 \text{ m}^3/\text{dan}$. Добијени резултати указују да привидни губици у ОЗБ Фарма износе $91 \text{ m}^3/\text{dan}$.

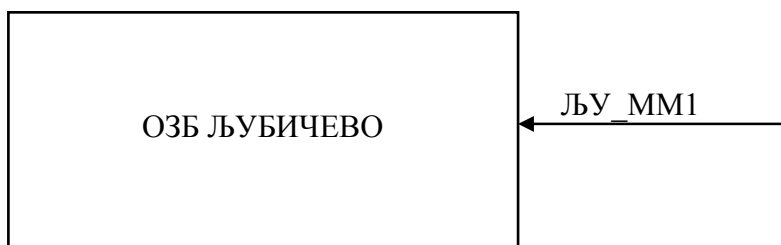
Након добијених резултата процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате. Резултати прорачуна приказани су на слици 19. Укупна неодређеност дневних стварних губитака и укупне дневне стварне потрошње износи око 4 %.



Слика 19 Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења

ПРИЛОГ БР. 2.7 *ОЗБ Љубичево*

На слици 20 дат је шематски приказ мерних места за ОЗБ Љубичево. Доток воде у ОЗБ Љубичево региструје се преко једног мерног места на улазу у зону. Мерно место је означено као ЉУБИЧЕВО_ММ1 (скраћена ознака ЉУ_ММ1).



Слика 20 Шематски приказ ОЗБ Љубичево

У наредној табели 13 приказан је број потрошача по категоријама потрошње, чија потрошња је већа од 0, који припадају ОЗБ Љубичево, и њихова средња годишња потрошња воде из базе потрошача. Укупан број потрошача у бази потрошача је већи и износи 185, односно код 31,4 % потрошача потрошња воде износи 0 (46 који припадају категорији индивидуалне куће периферија, 10 који припадају категорији кућни савети и 2 који припада категорији мала привреда).

Табела 13 Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде - ОЗБ Љубичево

Категорија потрошача из математичког модела	Бр.потрош. (-)	Потрошња (m ³ /dan)	Потрошња (l/s)	Потрошња	
				l/priklj.dan	l/priklj.h
Индивидуалне куће периферија	84	35,6	0,4	419	17
Кућни савети	31	12,3	0,1	397	17
Мала привреда	8	13,9	0,2	1741	73
Велика привреда	4	15,7	0,2	3914	163
Укупно:	127	77,5	0,9		

3

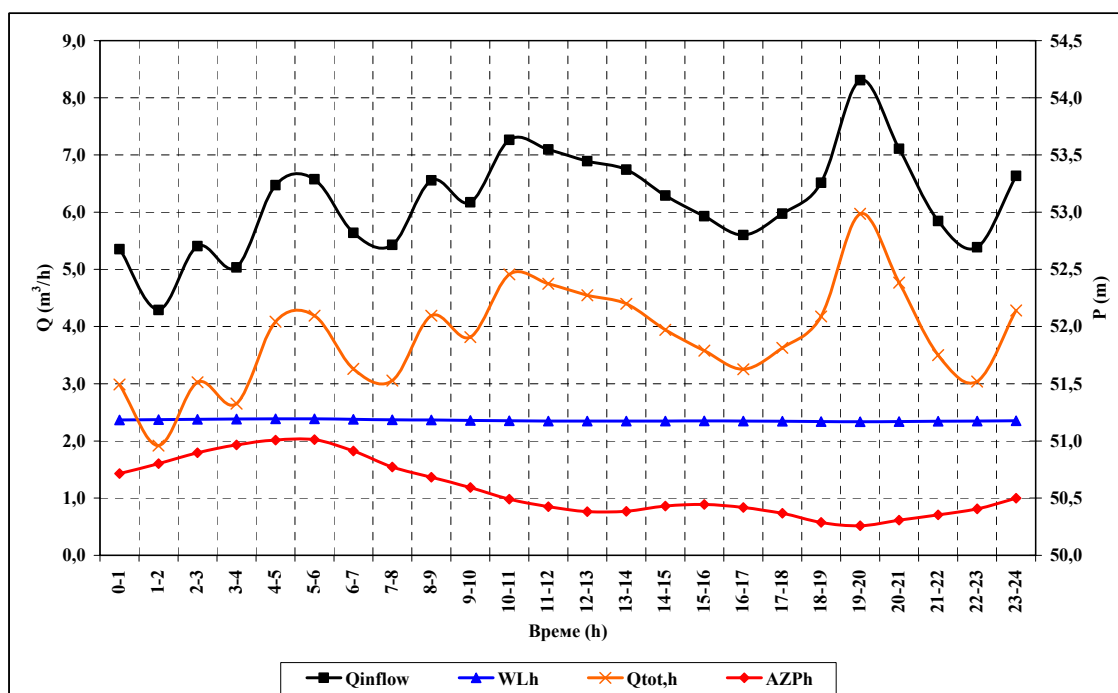
Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Љубичево и он износи 1,1 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 0,7 L/s (табела 14). Усвојен је експонент притиска *Nl* за стварне губитке воде од 1,40.

На слици 21 приказан је дневни доток воде у ОЗБ и часовни просечан притисак током осредњеног дана у мају месецу 2013. год. (средња годишња потрошња воде). Укупан дневни доток воде износи $148,5 \text{ m}^3/\text{dan}$, просечан дневни доток воде износи $6,2 \text{ m}^3/\text{h}$, а минимални ноћни доток воде *MNF* износи $5,0 \text{ m}^3/\text{h}$. Просечан дневни притисак износи $50,6 \text{ m}$, а притисак за време *MNF* износи $51,0 \text{ m}$.

Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* износи $1,6 \text{ m}^3/\text{h}$, а ноћни стварни губици воде $2,4 \text{ m}^3/\text{h}$. Резултати прорачуна приказани су на наредној слици 21.

Табела 14 Минимална ноћна потрошња воде, *MNF* и неодређеност, по категоријама потрошача

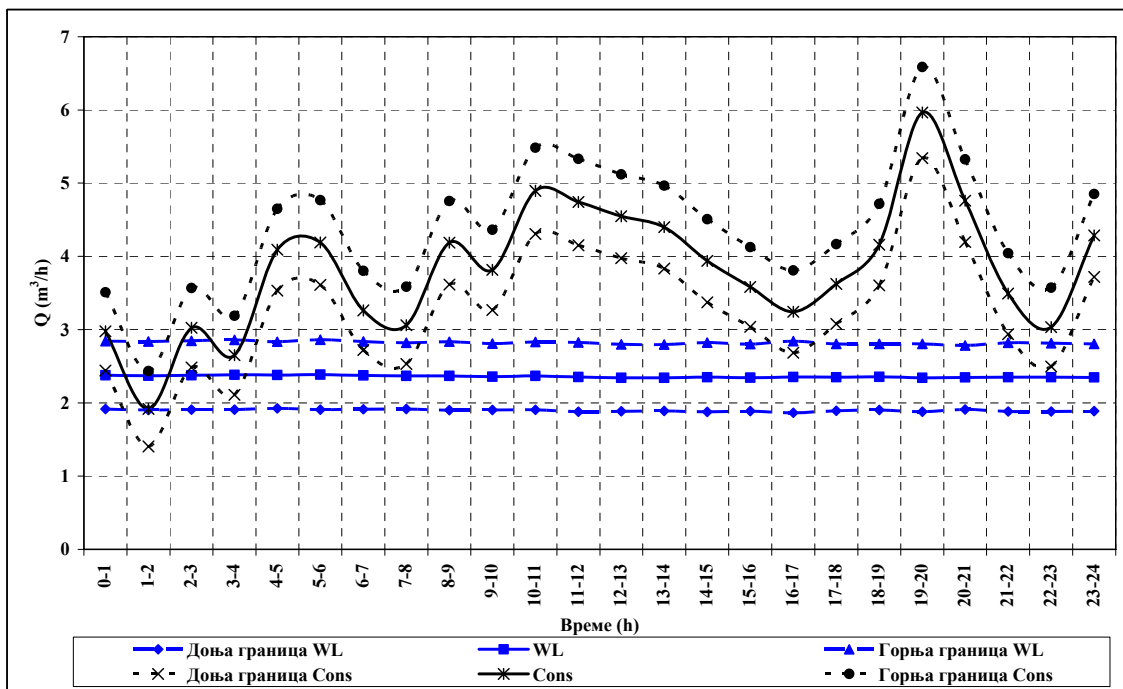
	MNF (l/s)	MNF (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
Доток у ОЗБ	1,10	3.960	10,0%
Мала привреда	0,06	232	17,7%
Велика привреда	0,07	261	15,0%
Индивидуалне куће	0,25	910	5,4%
Кућни савети	0,05	185	9,0%
Укупна мин.ноћна потрошња воде	0,44	1.588	4,8%
Укупни ноћни губици воде	0,66	2.372	17,0%



Слика 21 Доток воде у ОЗБ, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак

На основу резултата прорачуна укупни дневни стварни губици воде у дану са средњом годишњом потрошњом воде износе $56,6 \text{ m}^3/\text{dan}$ (38 % од укупног дневног дотока воде у ОЗБ), а укупна стварна потрошња воде $91,9 \text{ m}^3/\text{dan}$. Израчуната стварна потрошња воде је за 19 % већа од фактурисане просечне дневне потрошње воде на нивоу средње годишње потрошње која износи $77,5 \text{ m}^3/\text{dan}$. Добијени резултати указују да привидни губици у ОЗБ Фарма износе $14 \text{ m}^3/\text{dan}$.

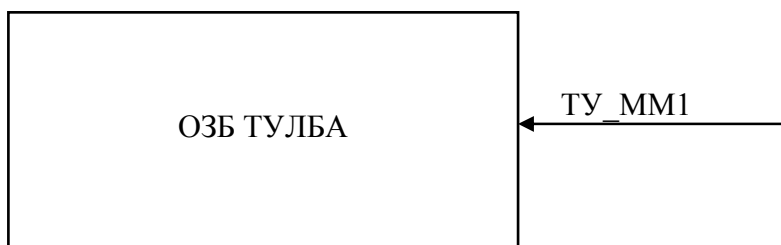
Након добијених резултата процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате. Резултати прорачуна приказани су на слици 22. Укупна неодређеност дневних стварних губитака и укупне дневне стварне потрошње износи око 3,5 %.



Слика 22 Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења

ПРИЛОГ БР. 2.8 *ОЗБ Тулба*

На слици 23 дат је шематски приказ мерних места за ОЗБ Тулба. Доток воде у ОЗБ Тулба региструје се преко једног мерног места на улазу у зону. Мерно место је означено као ТУЛБА_ММ1 (скраћена ознака ТУ_ММ1).



Слика 23 Шематски приказ ОЗБ Тулба

У наредној табели 15 приказан је број потрошача по категоријама потрошње, чија потрошња је већа од 0, који припадају ОЗБ Тулба, и њихова средња годишња потрошња воде из базе потрошача. Укупан број потрошача у бази потрошача је већи и износи 309, односно код 18,1 % потрошача потрошња воде износи 0 (35 који припадају категорији индивидуалне куће периферија, 13 који припадају категорији индивидуалне куће центар и 8 који припада категорији мала привреда).

Табела 15 Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишњапотрошња воде - ОЗБ Тулба

Категорија потрошача из математичког модела	Бр.потрош. (-)	Потрошња (m ³ /dan)	Потрошња (l/s)	Потрошња	
				l/priklj.dan	l/priklj.h
Индивидуалне куће периферија	174	82,3	0,95	473	20
Индивидуалне куће центар	72	33,0	0,38	459	19
Мала привреда	6	2,0	0,02	326	14
Велика привреда	1	3,5	0,04	3496	146
Укупно:	253	120,8	1,40		

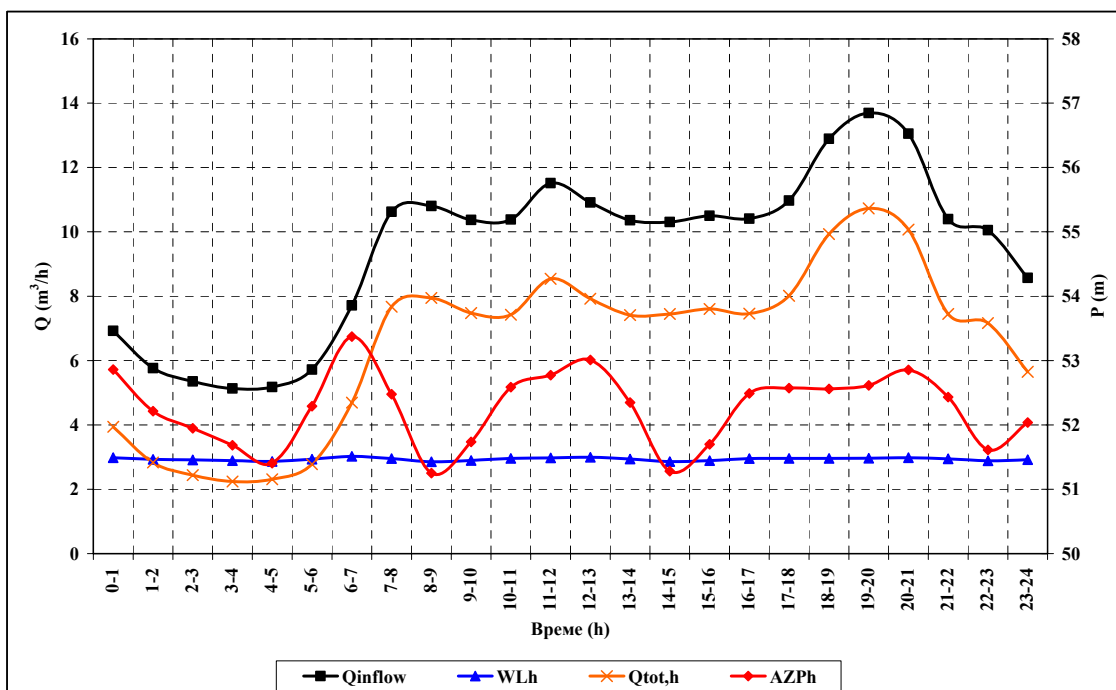
Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Тулба и он износи 1,4 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 0,8 L/s (табела 16). Усвојен је експонент притиска *NI* за стварне губитке воде од 1,40.

На наредњј слици 24 приказан је дневни доток воде у ОЗБ и часовни просечан притисак током осредњеног дана у мају месецу 2013. год. (средња годишња

потрошња воде). Укупан дневни доток воде износи $227,6 \text{ m}^3/\text{dan}$, просечан дневни доток воде износи $9,5 \text{ m}^3/\text{h}$, а минимални ноћни доток воде MNF износи $5,1 \text{ m}^3/\text{h}$. Просечан дневни притисак износи $52,3 \text{ m}$, а притисак за време MNF износи $51,7 \text{ m}$ (зависи од рада пумпне станице). Минимална ноћна потрошња воде за време MNF износи $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$, а ноћни стварни губици воде $2,9 \text{ m}^3/\text{h}$. Резултати прорачуна приказани су на наредној слици 24.

Табела 16 Минимална ноћна потрошња воде, MNF и неодређеност, по категоријама потрошача

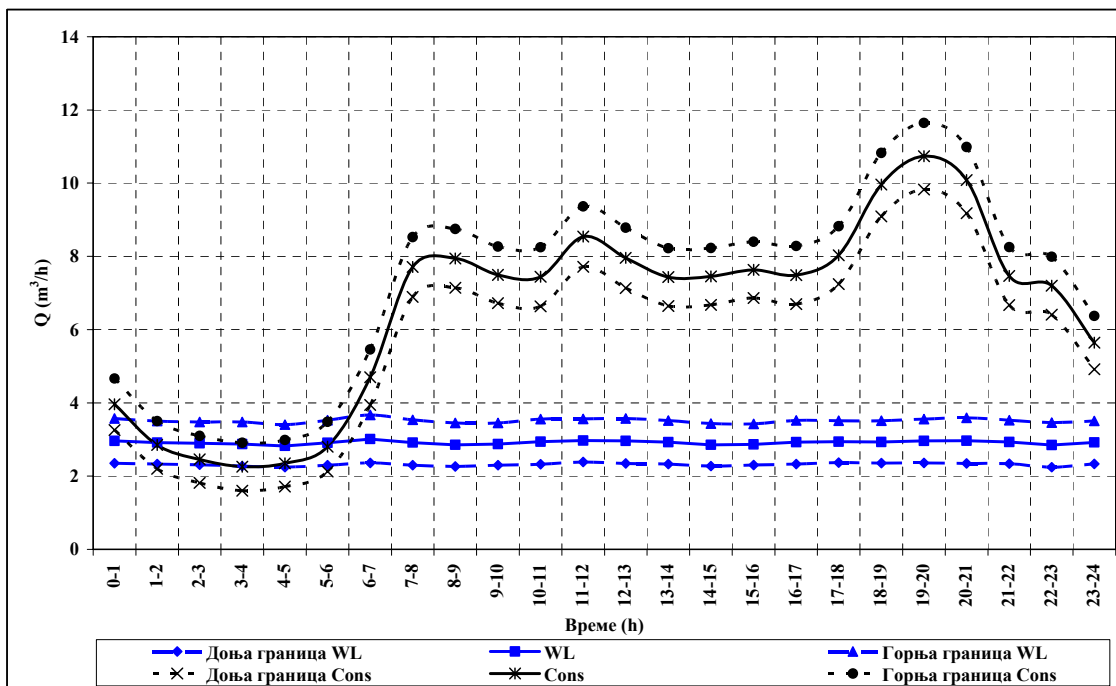
	MNF (l/s)	MNF (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
Доток у ОЗБ	1,40	5.040	10,0%
Мала привреда	0,01	41	20,4%
Велика привреда	0,02	73	30,0%
Индивидуалне куће периферија	0,41	1.463	3,8%
Индивидуалне куће центар	0,17	595	5,9%
Укупна мин.ноћна потрошња воде	0,60	2.172	3,2%
Укупни ноћни губици воде	0,80	2.868	17,7%



Слика 24 Доток воде у ОЗБ, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак

На основу резултата прорачуна укупни дневни стварни губици воде у дану са средњом годишњом потрошњом воде износе 70,4 m³/dan (31 % од укупног дневног дотока воде у ОЗБ), а укупна стварна потрошња воде 157,2 m³/dan. Израчуната стварна потрошња воде је за 30 % већа од фактурисане просечне дневне потрошње воде на нивоу средње годишње потрошње која износи 120,8 m³/dan. Добијени резултати указују да привидни губици у ОЗБ Тулба износе 36 m³/dan.

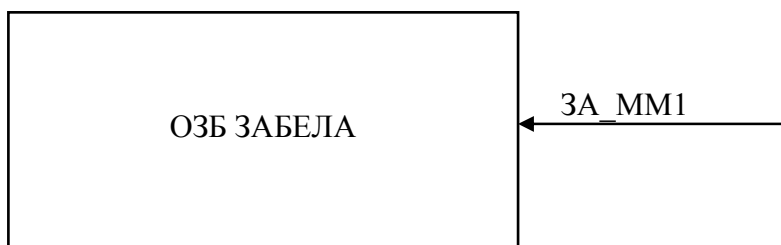
Након добијених резултата процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате. Резултати прорачуна приказани су на слици 25. Укупна неодређеност дневних стварних губитака и укупне дневне стварне потрошње износи око 3,5 %.



Слика 25 Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења

ПРИЛОГ БР. 2.9 *ОЗБ Забела*

На слици 26 дат је шематски приказ мерних места за ОЗБ Забела. Доток воде у ОЗБ Забела региструје се преко једног мерног места на улазу у зону. Мерно место је означено као ЗАБЕЛА_ММ1 (скраћена ознака ЗА_ММ1).



Слика 26 Шематски приказ ОЗБ Забела

У наредној табели 17 приказан је број потрошача по категоријама потрошње, чија потрошња је већа од 0, који припадају ОЗБ Забела, и њихова средња годишња потрошња воде из базе потрошача. Укупан број потрошача у бази потрошача је већи и износи 517, односно код 14,7 % потрошача потрошња воде износи 0 (57 који припадају категорији индивидуалне куће периферија, 19 који припадају категорији кућни савети).

Табела 17 Број потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде - ОЗБ Забела

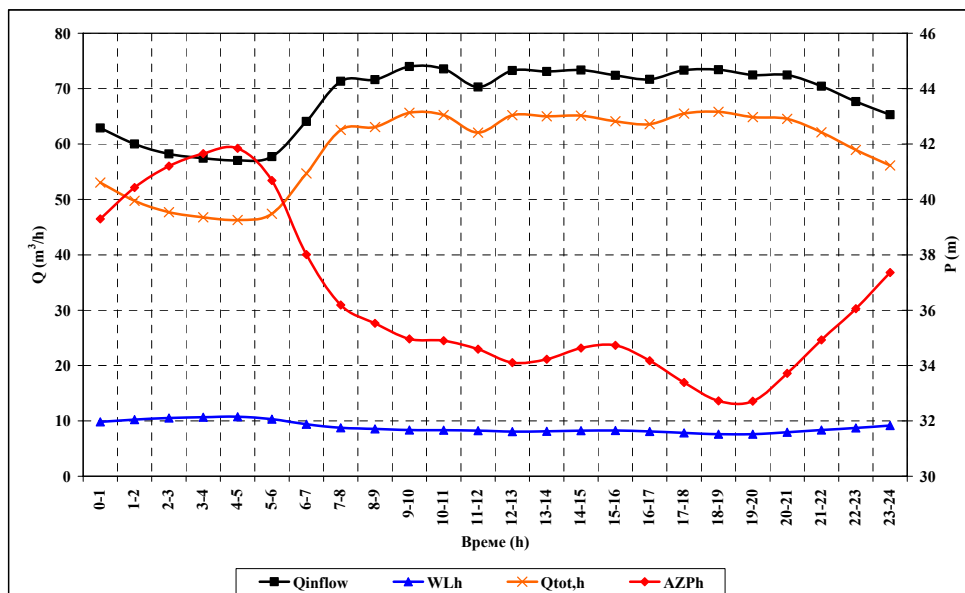
Категорија потрошача из математичког модела	Бр.потрош. (-)	Потрошња (m ³ /dan)	Потрошња (l/s)	Потрошња	
				l/priklj.dan	l/priklj.h
Индивидуалне куће периферија	336	139,1	1,610	412	17
Кућни савети	93	28,8	0,333	309	13
КПЗ Забела	1	1190,8	13,783	1.190.843	49.618
Школе	1	0,1	0,001	115	5
Мала привреда	9	10,8	0,125	1203	50
Велика привреда	1	0,3	0,003	276	12
Укупно:	441	1.370,0	15,856		

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Забела и он износи 15,8 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 2,8 L/s (табела 18). Усвојен је експонент притиска *NI* за стварне губитке воде од 1,40.

Табела 18 Минимална ноћна потрошња воде, *MNF* и неодређеност, по категоријама потрошача

	MNF (l/s)	MNF (l/h)	Неодређеност ΔQ (%)
Доток у ОЗБ	15,80	56.880	10,0%
Мала привреда	0,050	180	16,7%
Велика привреда	0,001	5	30,0%
КПЗ Забела	12,000	43.200	10,0%
Школе	0,001	4	30,0%
Индивидуалне куће	0,764	2.751	2,7%
Кућни савети	0,140	504	5,2%
Укупна мин.ноћна потрошња воде	12,957	46.644	9,3%
Укупни ноћни губици воде	2,84	10.236	69,8%

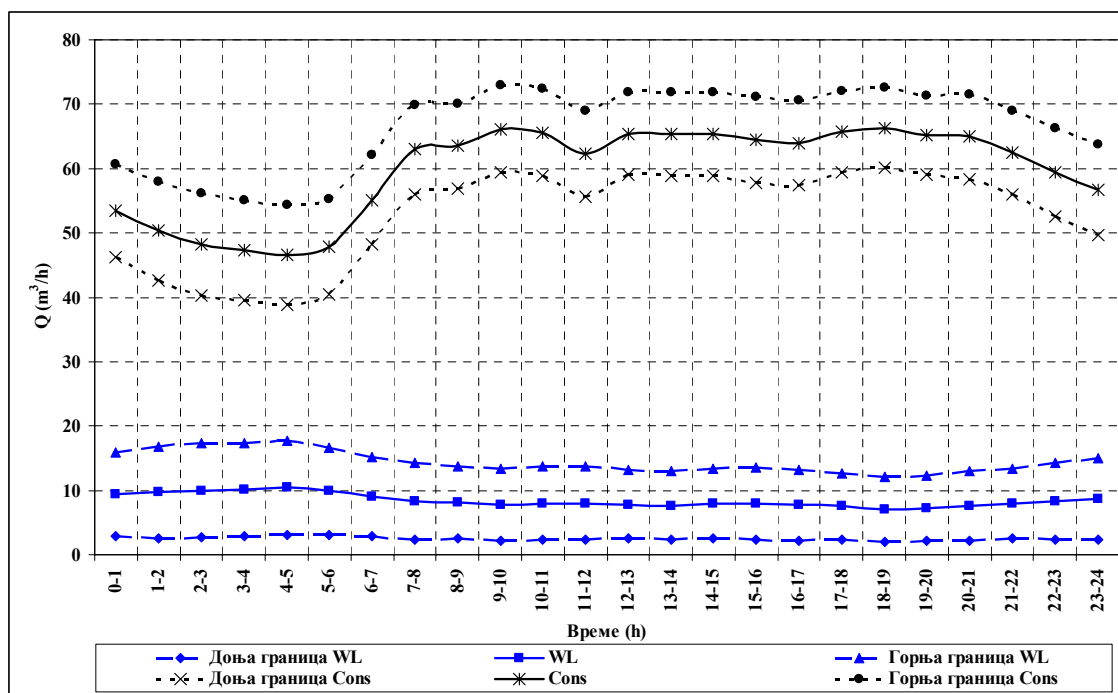
На наредњј слици 27 приказан је дневни доток воде у ОЗБ и часовни просечан притисак током осредњеног дана у мају месецу 2013. год. (средња годишња потрошња воде). Укупан дневни доток воде износи $1.637 \text{ m}^3/\text{дан}$, просечан дневни доток воде износи $68,2 \text{ m}^3/\text{h}$, а минимални ноћни доток воде *MNF* износи $57,0 \text{ m}^3/\text{h}$. Просечан дневни притисак износи $36,3 \text{ m}$, а притисак за време *MNF* износи $41,9 \text{ m}$. Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* износи $46,6 \text{ m}^3/\text{h}$, а ноћни стварни губици воде $10,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Резултати прорачуна приказани су на наредној слици 28.



Слика 27 Доток воде у ОЗБ, стварни губици и стварна потрошња воде и просечан часовни притисак

На основу резултата прорачуна укупни дневни стварни губици воде у дану са средњом годишњом потрошњом воде износе $212 \text{ m}^3/\text{dan}$ (13 % од укупног дневног дотока воде у ОЗБ), а укупна стварна потрошња воде $1.425 \text{ m}^3/\text{dan}$. Израчуната стварна потрошња воде је за 4 % већа од фактурисане просечне дневне потрошње воде на нивоу средње годишње потрошње која износи $1.370 \text{ m}^3/\text{dan}$. Добијени резултати указују да привидни губици у ОЗБ Забела износе $55 \text{ m}^3/\text{dan}$.

Након добијених резултата процењена је неодређеност сваког улазног података и извршен је прорачун пропагације неодређености на коначне резултате. Резултати прорачуна приказани су на слици 28. Укупна неодређеност дневних стварних губитака износи 14,5 %, а укупне дневне стварне потрошње износи око 2,5 %.



Слика 28 Стварни часовни губици и потрошња воде и 95%-ни интервали поверења

ПРИЛОЗИ (3.1-3.8):

**ОДРЕЂИВАЊЕ СМАЊЕЊА УКУПНИХ
ПОТРЕБА ЗА ВОДОМ УСЛЕД РЕДУКЦИЈЕ
ПРИТИСКА У ОЗБ ВОДОВОДНОГ СИСТЕМА
ПОЖАРЕВАЦ**

ПРИЛОГ БР. 3.1 Примена LCP методе на ОЗБ Бурјан

У табели 1 у прилогу бр. 1 дат је приказ броја потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде у ОЗБ Бурјан.

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Бурјан и он износи 14,3 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 11,7 L/s (табела 2, прилог бр. 1). Минимални ноћни доток воде MNF износи 51,6 m³/h. Просечан дневни притисак износи 38,5 m, а притисак за време MNF износи 43,4 m.

Минимална ноћна потрошња воде за време MNF износи 9,4 m³/h, а ноћни стварни губици воде 42,1 m³/h. Минимална ноћна потрошња воде за време MNF подељена је на следеће компоненте потрошње воде:

- укупна стварна ноћна потрошња воде у ОЗБ Бурјан износи 2,2 m³/h (стварна ноћна потрошња воде: 1,7 l/priklj.h, односно 1,7 l/domać.h);
- процуривања воде иза водомера у ОЗБ Бурјан износе 7,2 m³/h (мала привреда и становништво - применом једначина 3.66 и 3.67);
- нема великих потрошача.

На основу резултата мерења добијен је дијаграм промене протока и притиска на доводу воде у ОЗБ Бурјан. Из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела, за потрошњу воде на моделу која одговара средњој годишњој потрошњи воде, одређен је часовни просечан притисак током посматраног дана AZP_h , као и часовна промена критичног притиска. На основу анализе резултата рада постојећег ВДС, односно просечног и критичног притиска у ОЗБ, процењено је могуће смањење притиска на доводу од око $\Delta P_{tot}^0 = 9$ m ($AZP^{red} \approx 31$ m).

Применом једначине 3.57 одређени су часовни стварни губици воде, једначине 3.60 часовна процуривања воде иза водомера и једначине 3.61 часовна стварна потрошња воде - све за нерегулисани (иницијални) притисак.

Израчуната су два сета коефицијената K , за сваки сат, коришћењем једначине 3.69, где је Δh разлика притисака између "улазне" тачке у ОЗБ и AZP , односно "улазне" тачке у ОЗБ и "критичне" тачке.

Након одређивања иницијалне вредности могућег смањења притиска (ΔP_{tot}^0), у првој итерацији ова вредност је одузета од регистрованог притиска на "улазној" тачки у ОЗБ током часа са максималним дотоком воде. Као што је већ поменуто у поглављу 3.2, у првој итерацији усваја се да је Δh између "улазне" и "критичне" тачке исто као и при нерегулисаном притиску. На основу тако израчунатог притиска у "критичној" тачки могуће је израчунати стварне часовне губитке воде WL_h^{red} (једначина 3.62), просечна часовна процирувања воде иза водомера при редукованом притиску $Q_{waste,h}^{red}$ (једначина 3.63), стварну часовну потрошњу воде при редукованом притиску ($Q_{realcons,h}^{red}$) (једначина 3.64) и укупан доток воде ($Q_{inflow,h}^{red}$) у ОЗБ (једначина 3.65). На основу израчунате вредности $Q_{inflow,h}^{red}$ израчуна се нова вредност Δh између "улазне" и "критичне" тачке. Уколико постоји разлика прорачун се понавља у следећој итерацији са предходно срачунатим вредностима Δh . Прорачун се понавља све док се не добије разлика $\Delta h^{iter} - \Delta h^{iter-1} < 0,1$ m. Након добијених резултата проверава се да ли постоји евентуална могућност за додатно повећање ΔP_{tot}^0 , односно смањење притиска на доводу у ОЗБ. Уколико постоји могућност, прорачун се понавља са новом вредношћу фиксног излазног притиска на доводу све док вредност притиска у "критичној" тачки не задовољи минимални ниво услуге.

Израчунати нови излазни притисак примењује на све сате током дана (фиксни излазни притисак - PRV). Обзиром на нову, константну вредност излазног притиска током дана неопходно је израчунати нови AZP (на основу меродавног протока који се услед редукције притиска смањује у односу на иницијални).

Коначан резултат LCP методе је прорачун дотока воде ($Q_{inflow,h}^{red}$) у ОЗБ или ВДС (укупне потребе за водом) при редукованом притиску.

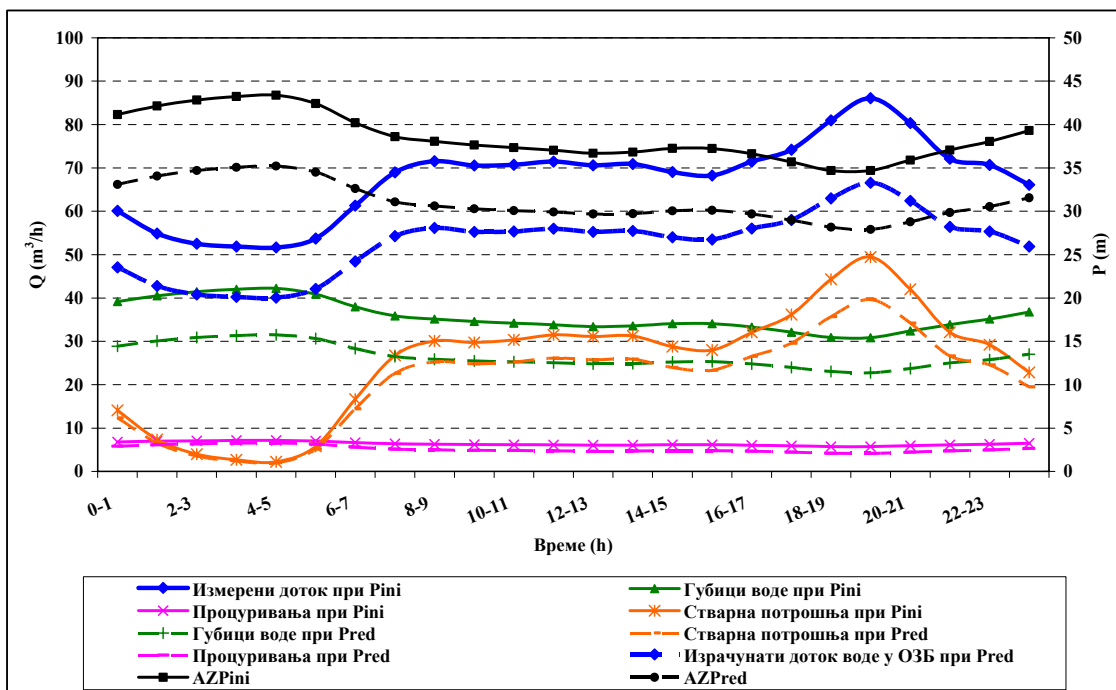
Након спроведених прорачуна добијена је нова вредност просечног притиска у ОЗБ Бурјан од $AZP^{red} = 31,1$ m. Разлог нешто веће вредности просечног дневног

притиска него у осталим ОЗБ је што се низводно од ове ОЗБ налази ОЗБ Забела, па је морао да се остави "вишак" притиска како би и у тој ОЗБ у "критичној" тачки био задовољен минимални ниво услуге.

У табели 19 и на слици 29 дат је сумарни приказ резултата прорачуна, LCP методом, смањења потреба за водом у ОЗБ Бурјан услед смањења притиска на доводном цевоводу .

Табела 19 Резултати прорачуна LCP методом

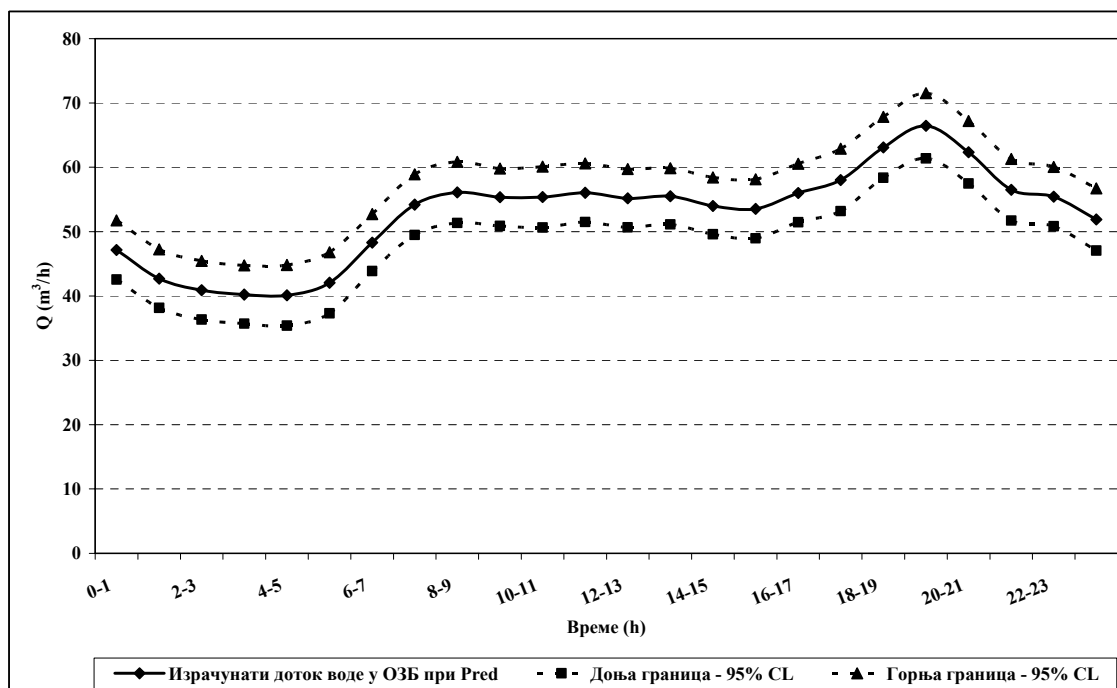
	Нерегулисан P	Регулисан P	Смањење (m ³ /dan)	Смањење (%)
Доток воде у ОЗБ - (m ³ /dan)	1.620	1.266	354	21,8
Стварни губици воде - (m ³ /dan)	858	636	54	25,9
Стварна потрошња воде - (m ³ /dan)	609	506	103	16,9
Процуривања воде - (m ³ /dan)	153	124	29	18,9
Укупна потрошња воде - (m ³ /dan)	762	630	132	17,3



Слика 29 Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску на доводу (LCP метод)

Да би се тестирала осетљивост LCP методе на варијацију улазних параметара N1, N2, N3 и просечних дневних процуривања воде иза водомера, спроведена је анализа осетљивости за посматрани дан при редукованом притиску. Претпостављена је нормална расподела улазних параметара са просечним

вредностима: $N1=1,40$, $N2=0,5$, $N3=1,0$ и $q_{lib}=6,37 \text{ m}^3/\text{h}$, и стандардна девијација 15 % од просечних вредности. Хиљаду пута су случајно генерисани параметри (метода Monte Carlo) и резултати прорачуна за доток воде у ОЗБ, у форми 95% интервала поверења, приказани су на слици 30.



Слика 30 Израчунати доток воде у ОЗБ Бурјан при редукованом притиску и 95%-ни интервали поверења

ПРИЛОГ БР. 3.2 Примена LCP методе на ОЗБ Бусије 1

У табели 3 у прилогу бр. 2 дат је приказ броја потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде у ОЗБ Бусије.

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Бусије 1 и он износи 26,9 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 22,0 L/s (табела 4, прилог бр. 2). Минимални ноћни доток воде *MNF* износи 96,9 m³/h. Просечан дневни притисак износи 33,8 m, а притисак за време *MNF* износи 37,9 m.

Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* износи 17,7 m³/h, а ноћни стварни губици воде 79,1 m³/h. Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* подељена је на следеће компоненте потрошње воде:

- укупна стварна ноћна потрошња воде у ОЗБ Бусије 1 износи 3,5 m³/h (стварна ноћна потрошња воде: 1,7 l/priklj.h, односно 1,7 l/domać.h);
- процуривања воде иза водомера у ОЗБ Бусије 1 износе 14,2 m³/h (мала привреда и становништво - применом једначина 3.66 и 3.67);
- нема великих потрошача.

На основу резултата мерења добијен је дијаграм промене протока и притиска на доводу воде у ОЗБ Бусије 1. Из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела, за потрошњу воде на моделу која одговара средњој годишњој потрошњи воде, одређен је часовни просечан притисак током посматраног дана AZP_h , као и часовна промена критичног притиска. На основу анализе резултата рада постојећег ВДС, односно просечног и критичног притиска у ОЗБ, процењено је могуће смањење притиска на доводу од око $\Delta P_{tot}^0 = 6$ m ($AZP^{red} \approx 28$ m).

Применом једначине 3.57 одређени су часовни стварни губици воде, једначине 3.60 часовна процирувања воде иза водомера и једначине 3.61 часовна стварна потрошња воде - све за нерегулисани (иницијални) притисак.

Израчуната су два сета коефицијента K , за сваки сат, коришћењем једначине 3.69, где је Δh разлика притисака између "улазне" тачке у ОЗБ и AZP , односно "улазне" тачке у ОЗБ и "критичне" тачке.

Након одређивања иницијалне вредности могућег смањења притиска (ΔP_{tot}^0), у првој итерацији ова вредност је одузета од регистрованог притиска на "улазној" тачки у ОЗБ током часа са максималним дотоком воде. Као што је већ поменуто у поглављу 3.2, у првој итерацији усваја се да је Δh између "улазне" и "критичне" тачке исто као и при нерегулисаном притиску. На основу тако израчунатог притиска у "критичној" тачки могуће је израчунати стварне часовне губитке воде WL_h^{red} (једначина 3.62), просечна часовна процирувања воде иза водомера при редукованом притиску $Q_{waste,h}^{red}$ (једначина 3.63), стварну часовну потрошњу воде при редукованом притиску ($Q_{realcons,h}^{red}$) (једначина 3.64) и укупан доток воде ($Q_{inflow,h}^{red}$) у ОЗБ (једначина 3.65). На основу израчунате вредности $Q_{inflow,h}^{red}$ израчуна се нова вредност Δh између "улазне" и "критичне" тачке. Уколико постоји разлика прорачун се понавља у следећој итерацији са предходно срачунатим вредностима Δh . Прорачун се понавља све док се не добије разлика $\Delta h^{iter} - \Delta h^{iter-1} < 0,1$ m. Након добијених резултата проверава се да ли постоји евентуална могућност за додатно повећање ΔP_{tot}^0 , односно смањење притиска на доводу у ОЗБ. Уколико постоји могућност, прорачун се понавља са новом вредношћу фиксног излазног притиска на доводу све док вредност притиска у "критичној" тачки не задовољи минимални ниво услуге.

Израчунати нови излазни притисак примењује на све сате током дана (фиксни излазни притисак - PRV). Обзиром на нову, константну вредност излазног притиска током дана неопходно је израчунати нови AZP (на основу меродавног протока који се услед редукције притиска смањује у односу на иницијални).

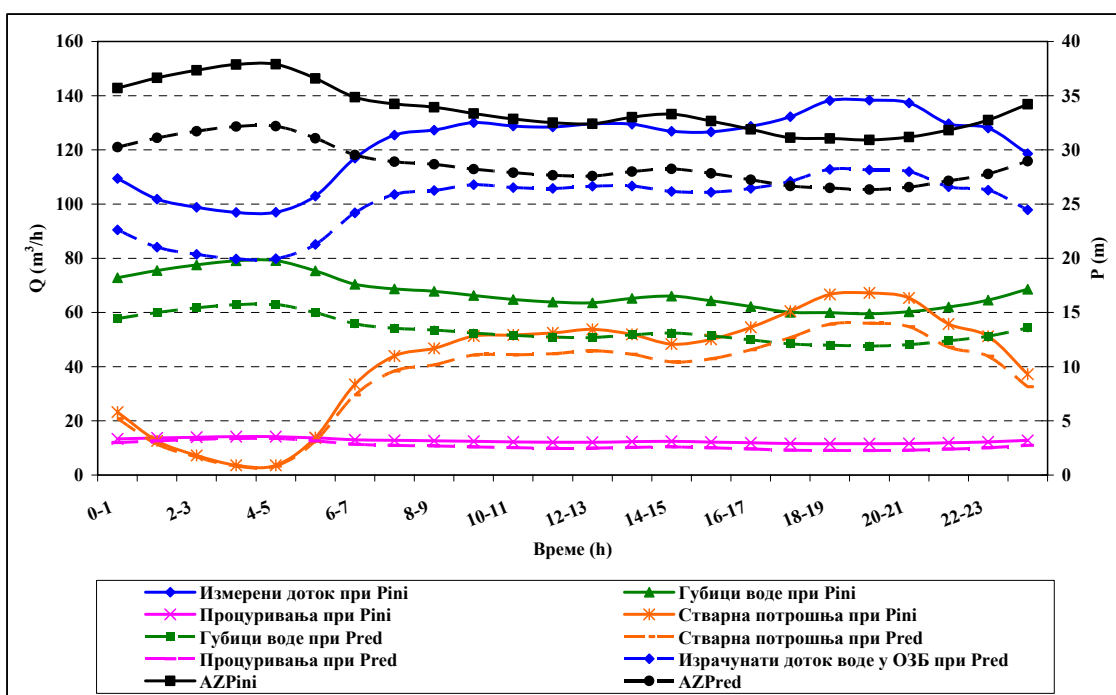
Конечан резултат LCP методе је прорачун дотока воде ($Q_{inflow,h}^{red}$) у ОЗБ или ВДС (укупне потребе за водом) при редукованом притиску.

Након спроведених прорачуна добијена је нова вредност просечног притиска у ОЗБ Бусије 1 од $AZP^{red} = 28,7$ m.

У табели 20 и на слици 31 дат је сумарни приказ резултата прорачуна, LCP методом, смањења потреба за водом у ОЗБ Бусије 1 услед смањења притиска на доводном цевоводу .

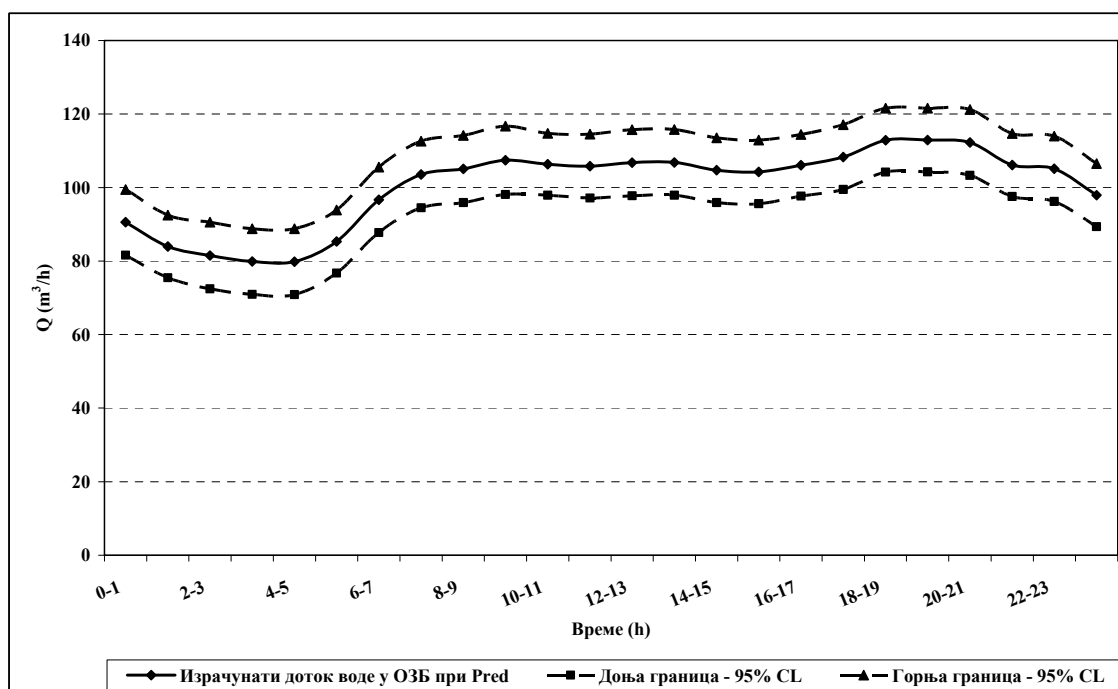
Табела 20 Резултати прорачуна LCP методом

	Нерегулисан P	Регулисан P	Смањење (m ³ /dan)	Смањење (%)
Доток воде у ОЗБ - (m ³ /dan)	2.927	2.408	519	17,7
Стварни губици воде - (m ³ /dan)	1.618	1.287	330	20,4
Стварна потрошња воде - (m ³ /dan)	1.007	862	144	14,3
Процуривања воде - (m ³ /dan)	303	259	45	14,7
Укупна потрошња воде - (m ³ /dan)	1.310	1.121	189	14,4



Слика 31 Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску на доводу (LCP метод)

Да би се тестирала осетљивост LCP методе на варијацију улазних параметара $N1$, $N2$, $N3$ и просечних дневних процуривања воде иза водомера, спроведена је анализа осетљивости за посматрани дан при редукованом притиску. Претпостављена је нормална расподела улазних параметара са просечним вредностима: $N1=1,40$, $N2=0,5$, $N3=1,0$ и $q_{lib}= 12,63 \text{ m}^3/\text{h}$, и стандардна девијација 15 % од просечних вредности. Хиљаду пута су случајно генерисани параметри (метода Monte Carlo) и резултати прорачуна за доток воде у ОЗБ, у форми 95% интервала поверења, приказани су на слици 32.



Слика 32 Израчунати доток воде у ОЗБ Бусије 1 при редукованом притиску и 95%-ни интервали поверења

ПРИЛОГ БР. 3.3 Примена LCP методе на ОЗБ Црвени крст

У табели 5 у прилогу бр. 3 дат је приказ броја потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде у ОЗБ Црвени крст.

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Црвени крст и он износи 0,9 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 0,5 L/s (табела 6, прилог бр. 3). Минимални ноћни доток воде *MNF* износи 3,3 m³/h. Просечан дневни притисак износи 30,8 m, а притисак за време *MNF* износи 32,6 m.

Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* износи 1,3 m³/h, а ноћни стварни губици воде 1,9 m³/h. Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* подељена је на следеће компоненте потрошње воде:

- укупна стварна ноћна потрошња воде у ОЗБ Црвени крст износи 0,3 m³/h (стварна ноћна потрошња воде: 1,7 l/priklj.h, односно 1,7 l/domać.h);
- процуривања воде иза водомера у ОЗБ Црвени крст износе 1,0 m³/h (мала привреда и становништво - применом једначина 3.66 и 3.67);
- нема великих потрошача.

На основу резултата мерења добијен је дијаграм промене протока и притиска на доводу воде у ОЗБ Црвени крст. Из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела, за потрошњу воде на моделу која одговара средњој годишњој потрошњи воде, одређен је часовни просечан притисак током посматраног дана AZP_h , као и часовна промена критичног притиска. На основу анализе резултата рада постојећег ВДС, односно просечног и критичног притиска у ОЗБ, процењено је могуће смањење притиска на доводу од око $\Delta P_{tot}^0 = 3$ m ($AZP^{red} \approx 28$ m).

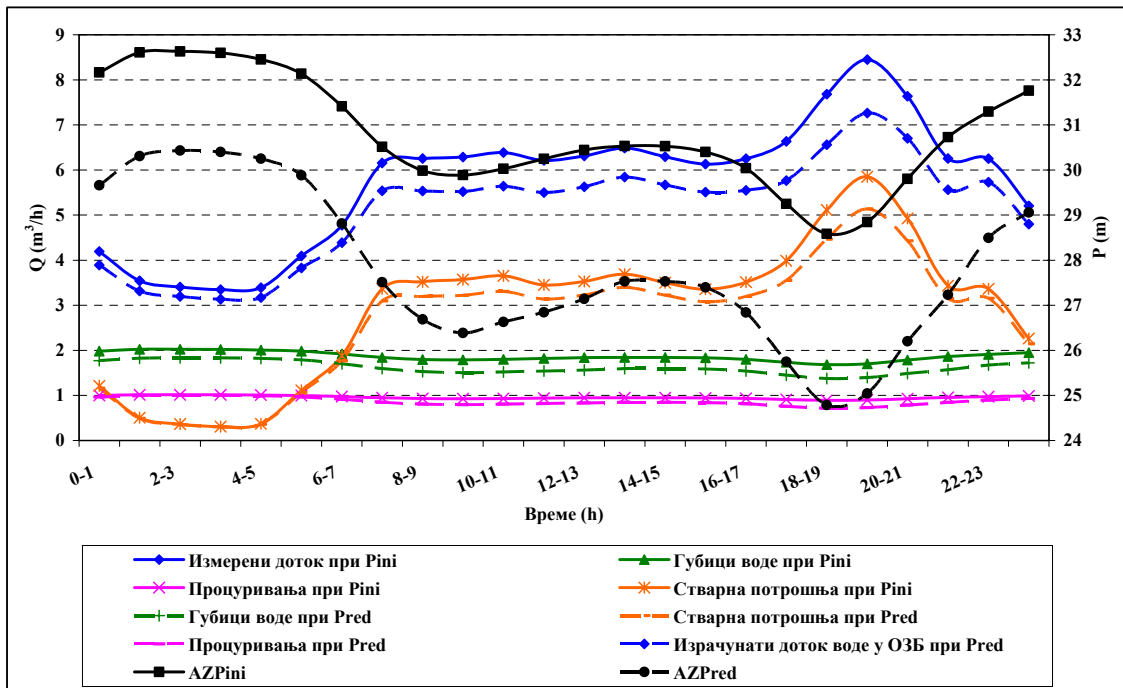
Применом једначине 3.57 одређени су часовни стварни губици воде, једначине 3.60 часовна процеђивања воде иза водомера и једначине 3.61 часовна стварна потрошња воде - све за нерегулисани (иницијални) притисак.

Након спроведених прорачуна добијена је нова вредност просечног притиска у ОЗБ Црвени крст од $AZP^{red} = 27,8$ m.

У табели 21 и на слици 33 дат је сумарни приказ резултата прорачуна, LCP методом, смањења потреба за водом у ОЗБ Црвени крст услед смањења притиска на доводном цевоводу .

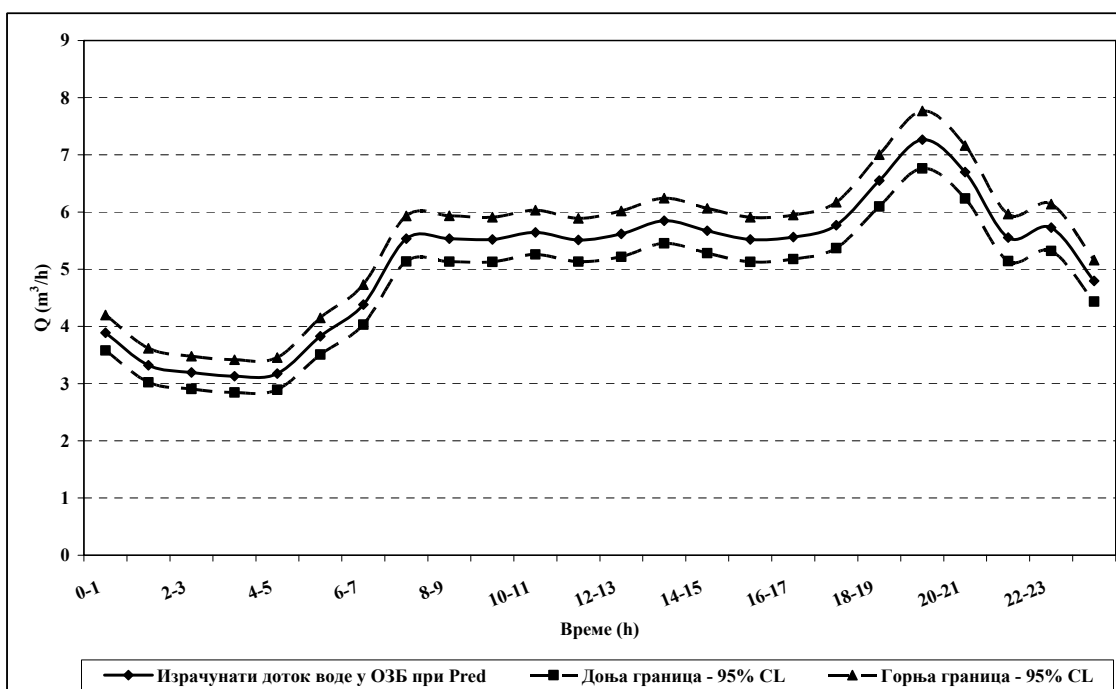
Табела 21 Резултати прорачуна LCP методом

	Нерегулисан P	Регулисан P	Смањење (m ³ /dan)	Смањење (%)
Доток воде у ОЗБ - (m ³ /dan)	138	123	14	10,5
Стварни губици воде - (m ³ /dan)	45	39	6	13,3
Стварна потрошња воде - (m ³ /dan)	70	64	6	8,9
Процеђивања воде - (m ³ /dan)	23	21	2	9,5
Укупна потрошња воде - (m ³ /dan)	93	84	8	9,1



Слика 33 Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску на доводу (LCP метод)

Да би се тестирала осетљивост LCP методе на варијацију улазних параметара $N1$, $N2$, $N3$ и просечних дневних процуривања воде иза водомера, спроведена је анализа осетљивости за посматрани дан при редукованом притиску. Претпостављена је нормална расподела улазних параметара са просечним вредностима: $N1=1,40$, $N2=0,5$, $N3=1,0$ и $q_{lib}=0,96 \text{ m}^3/\text{h}$, и стандардна девијација 15 % од просечних вредности. Хиљаду пута су случајно генерисани параметри (метода Monte Carlo) и резултати прорачуна за доток воде у ОЗБ, у форми 95% интервала поверења, приказани су на слици 34.



Слика 34 Израчунати доток воде у ОЗБ Црвени крст при редукованом притиску и 95%-ни интервали поверења

ПРИЛОГ БР. 3.4 Примена LCP методе на ОЗБ Фарма

У табели 7 у прилогу бр. 4 дат је приказ броја потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде у ОЗБ Фарма.

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Фарма и он износи 1,5 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 0,7 L/s (табела 8, прилог бр. 4). Минимални ноћни доток воде *MNF* износи 5,3 m³/h. Просечан дневни притисак износи 38,2 m, а притисак за време *MNF* износи 40,5 m.

Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* износи 2,9 m³/h, а ноћни стварни губици воде 2,4 m³/h. Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* подељена је на следеће компоненте потрошње воде:

- укупна стварна ноћна потрошња воде у ОЗБ Фарма износи 0,7 m³/h (стварна ноћна потрошња воде: 1,7 l/priklj.h, односно 1,7 l/domać.h);
- процуривања воде иза водомера у ОЗБ Фарма износе 2,2 m³/h (мала привреда и становништво - применом једначина 3.66 и 3.67);
- нема великих потрошача.

На основу резултата мерења добијен је дијаграм промене протока и притиска на доводу воде у ОЗБ Фарма. Из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела, за потрошњу воде на моделу која одговара средњој годишњој потрошњи воде, одређен је часовни просечан притисак током посматраног дана AZP_h , као и часовна промена критичног притиска. На основу анализе резултата рада постојећег ВДС, односно просечног и критичног притиска у ОЗБ, процењено је могуће смањење притиска на доводу од око $\Delta P_{tot}^0 = 10$ m ($AZP^{red} \approx 28$ m).

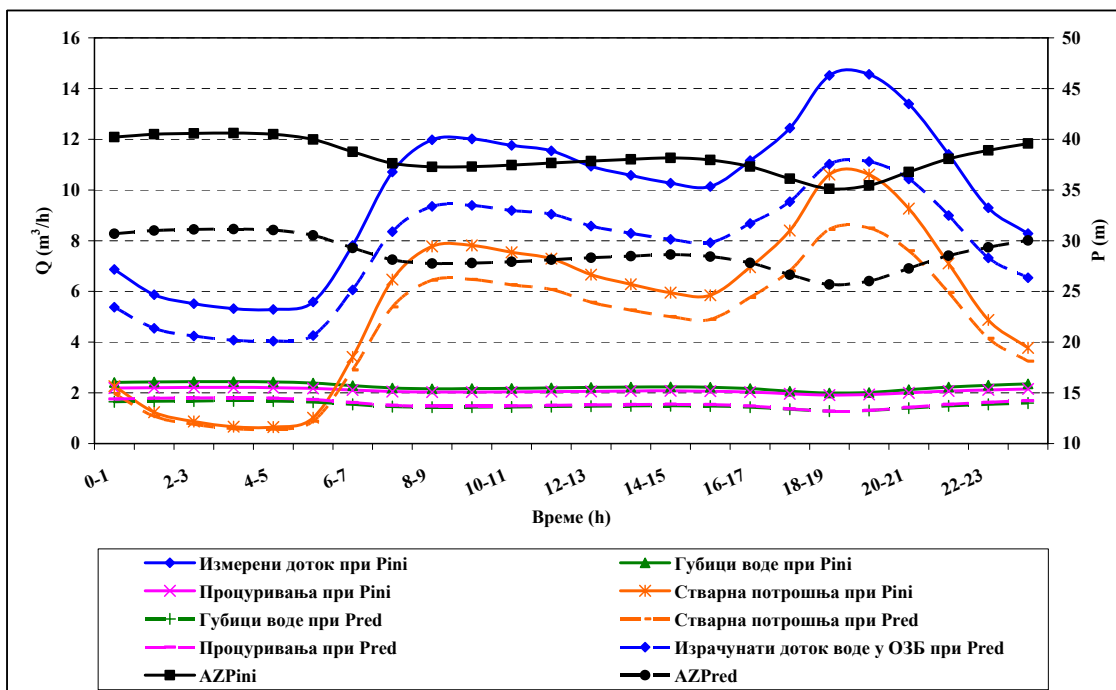
Применом једначине 3.57 одређени су часовни стварни губици воде, једначине 3.60 часовна процуривања воде иза водомера и једначине 3.61 часовна стварна потрошња воде - све за нерегулисани (иницијални) притисак.

Након спроведених прорачуна добијена је нова вредност просечног притиска у ОЗБ Фарма од $AZP^{red} = 28,7$ m.

У табели 22 и на слици 35 дат је сумарни приказ резултата прорачуна, LCP методом, смањења потреба за водом у ОЗБ Фарма услед смањења притиска на доводном цевоводу .

Табела 22 Резултати прорачуна LCP методом

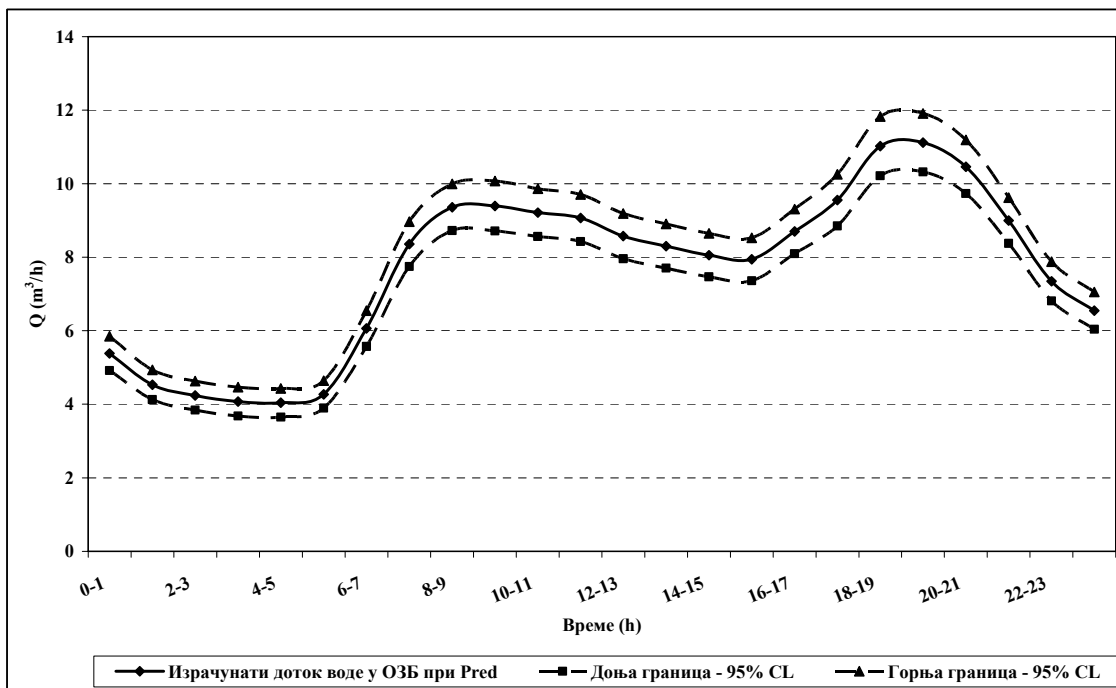
	Нерегулисан P	Регулисан P	Смањење (m ³ /dan)	Смањење (%)
Доток воде у ОЗБ - (m ³ /dan)	237	184	53	22,3
Стварни губици воде - (m ³ /dan)	54	36	18	32,9
Стварна потрошња воде - (m ³ /dan)	133	110	23	17,0
Процуривања воде - (m ³ /dan)	50	38	12	24,7
Укупна потрошња воде - (m ³ /dan)	183	148	35	19,1



Слика 35 Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску на доводу (LCP метод)

Да би се тестирала осетљивост LCP методе на варијацију улазних параметара $N1$, $N2$, $N3$ и просечних дневних процуривања воде иза водомера, спроведена је анализа осетљивости за посматрани дан при редукованом притиску. Претпостављена је нормална расподела улазних параметара са просечним

вредностима: $N1=1,40$, $N2=0,5$, $N3=1,0$ и $q_{lib}= 2,08 \text{ m}^3/\text{h}$, и стандардна девијација 15 % од просечних вредности. Хиљаду пута су случајно генерисани параметри (метода Monte Carlo) и резултати прорачуна за доток воде у ОЗБ, у форми 95% интервала поверења, приказани су на слици 36.



Слика 36 Израчунати доток воде у ОЗБ Фарма при редукованом притиску и 95%-ни интервал поверења

ПРИЛОГ БР. 3.5 Примена LCP методе на ОЗБ Хиподром

У табели 9 у прилогу бр. 5 дат је приказ броја потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде у ОЗБ Хиподром.

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Хиподром и он износи 1,4 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 1,1 L/s (табела 10, прилог бр. 5). Минимални ноћни доток воде MNF износи 5,1 m³/h. Просечан дневни притисак износи 48,5 m, а притисак за време MNF износи 50,0 m.

Минимална ноћна потрошња воде за време MNF износи 1,2 m³/h, а ноћни стварни губици воде 3,8 m³/h. Минимална ноћна потрошња воде за време MNF подељена је на следеће компоненте потрошње воде:

- укупна стварна ноћна потрошња воде у ОЗБ Хиподром износи 0,2 m³/h (стварна ноћна потрошња воде: 1,7 l/priklj.h, односно 1,7 l/domać.h);
- проциривања воде иза водомера у ОЗБ Хиподром износе 1,0 m³/h (мала привреда и становништво - применом једначина 3.66 и 3.67);
- нема великих потрошача.

На основу резултата мерења добијен је дијаграм промене протока и притиска на доводу воде у ОЗБ Хиподром. Из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела, за потрошњу воде на моделу која одговара средњој годишњој потрошњи воде, одређен је часовни просечан притисак током посматраног дана AZP_h , као и часовна промена критичног притиска. На основу анализе резултата рада постојећег ВДС, односно просечног и критичног притиска у ОЗБ, процењено је могуће смањење притиска на доводу од око $\Delta P_{tot}^0 = 20$ m ($AZP^{red} \approx 28$ m).

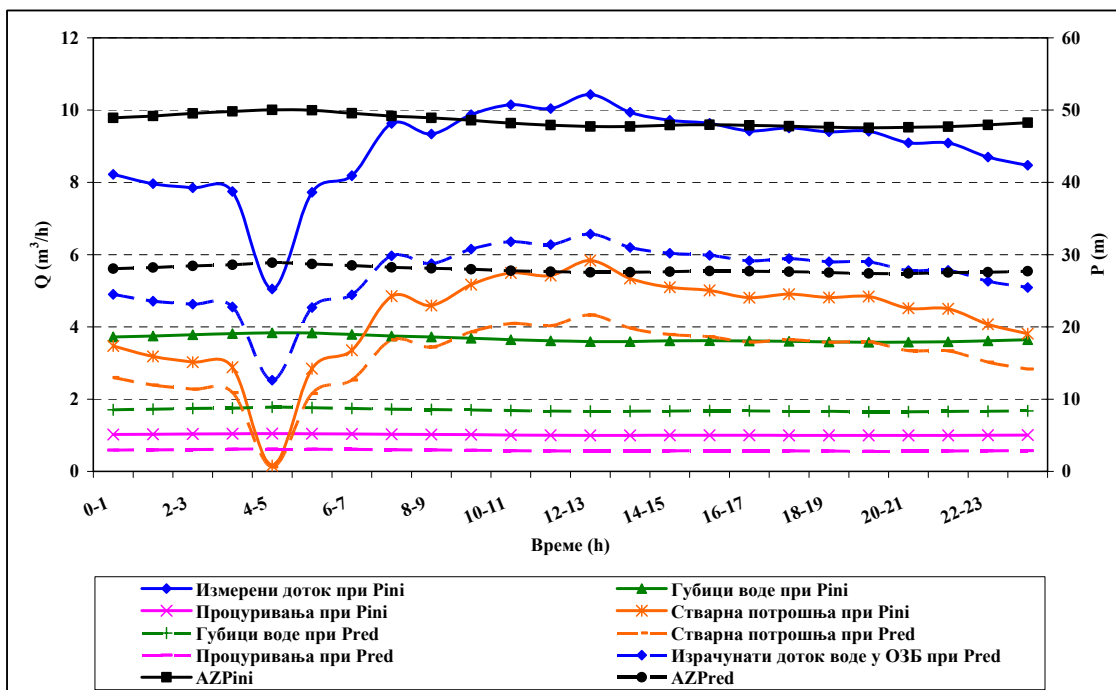
Применом једначине 3.57 одређени су часовни стварни губици воде, једначине 3.60 часовна проциривања воде иза водомера и једначине 3.61 часовна стварна потрошња воде - све за нерегулисани (иницијални) притисак.

Након спроведених прорачуна добијена је нова вредност просечног притиска у ОЗБ Хиподром од $AZP^{red} = 27,9$ m.

У табели 23 и на слици 37 дат је сумарни приказ резултата прорачуна, LCP методом, смањења потреба за водом у ОЗБ Хиподром услед смањења притиска на доводном цевоводу .

Табела 23 Резултати прорачуна LCP методом

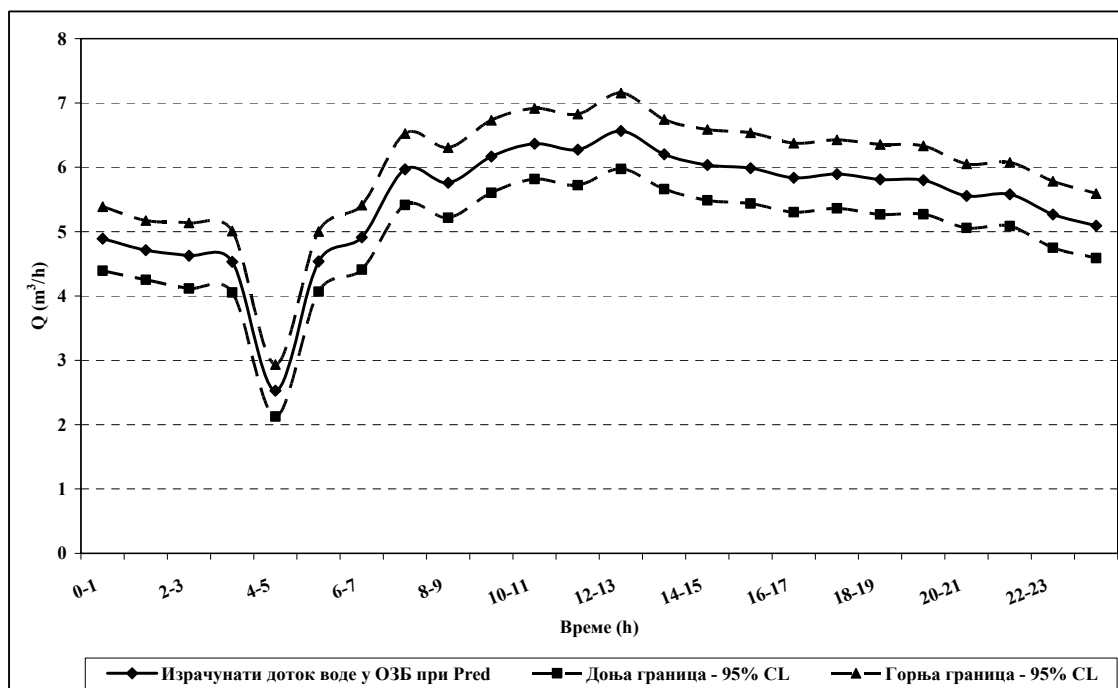
	Нерегулисан P	Регулисан P	Смањење (m ³ /dan)	Смањење (%)
Доток воде у ОЗБ - (m ³ /dan)	215	131	84	39,0
Стварни губици воде - (m ³ /dan)	88	41	47	53,8
Стварна потрошња воде - (m ³ /dan)	102	76	26	25,4
Процуривања воде - (m ³ /dan)	24	14	10	42,4
Укупна потрошња воде - (m ³ /dan)	126	90	36	28,7



Слика 37 Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску на доводу (LCP метод)

Да би се тестирала осетљивост LCP методе на варијацију улазних параметара $N1$, $N2$, $N3$ и просечних дневних процуривања воде иза водомера, спроведена је анализа осетљивости за посматрани дан при редукованом притиску. Претпостављена је нормална расподела улазних параметара са просечним

вредностима: $N1=1,40$, $N2=0,5$, $N3=1,0$ и $q_{lib}= 1,02 \text{ m}^3/\text{h}$, и стандардна девијација 15 % од просечних вредности. Хиљаду пута су случајно генерисани параметри (метода Monte Carlo) и резултати прорачуна за доток воде у ОЗБ, у форми 95% интервала поверења, приказани су на слици 38.



Слика 38 Израчунати доток воде у ОЗБ Хиподром при редукованом притиску и 95%-ни интервал поверења

ПРИЛОГ БР. 3.6 Примена LCP методе на ОЗБ Крушка

У табели 11 у прилогу бр. 6 дат је приказ броја потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде у ОЗБ Крушка.

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Крушка и он износи 3,0 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 1,5 L/s (табела 12, прилог бр. 6). Минимални ноћни доток воде *MNF* износи 10,8 m³/h. Просечан дневни притисак износи 60,5 m, а притисак за време *MNF* износи 60,6 m.

Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* износи 5,2 m³/h, а ноћни стварни губици воде 5,6 m³/h. Минимална ноћна потрошња воде за време *MNF* подељена је на следеће компоненте потрошње воде:

- укупна стварна ноћна потрошња воде у ОЗБ Крушка износи 1,3 m³/h (стварна ноћна потрошња воде: 1,7 l/priklj.h, односно 1,7 l/domać.h);
- процуривања воде иза водомера у ОЗБ Крушка износе 3,9 m³/h (мала привреда и становништво - применом једначина 3.66 и 3.67);
- нема великих потрошача.

На основу резултата мерења добијен је дијаграм промене протока и притиска на доводу воде у ОЗБ Крушка. Из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела, за потрошњу воде на моделу која одговара средњој годишњој потрошњи воде, одређен је часовни просечан притисак током посматраног дана AZP_h , као и часовна промена критичног притиска. На основу анализе резултата рада постојећег ВДС, односно просечног и критичног притиска у ОЗБ, процењено је могуће смањење притиска на доводу од око $\Delta P_{tot}^0 = 32$ m ($AZP^{red} \approx 28$ m).

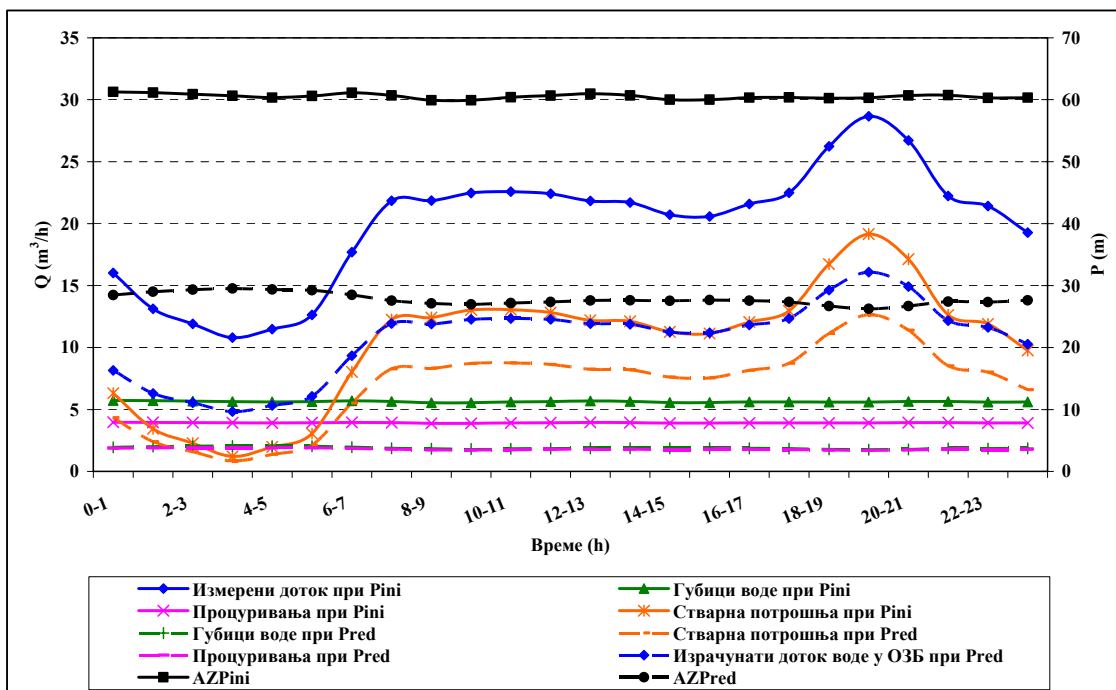
Применом једначине 3.57 одређени су часовни стварни губици воде, једначине 3.60 часовна процуривања воде иза водомера и једначине 3.61 часовна стварна потрошња воде - све за нерегулисани (иницијални) притисак.

Након спроведених прорачуна добијена је нова вредност просечног притиска у ОЗБ Крушка од $AZP^{red} = 27,8$ m.

У табели 24 и на слици 39 дат је сумарни приказ резултата прорачуна, LCP методом, смањења потреба за водом у ОЗБ Крушка услед смањења притиска на доводном цевоводу .

Табела 24 Резултати прорачуна LCP методом

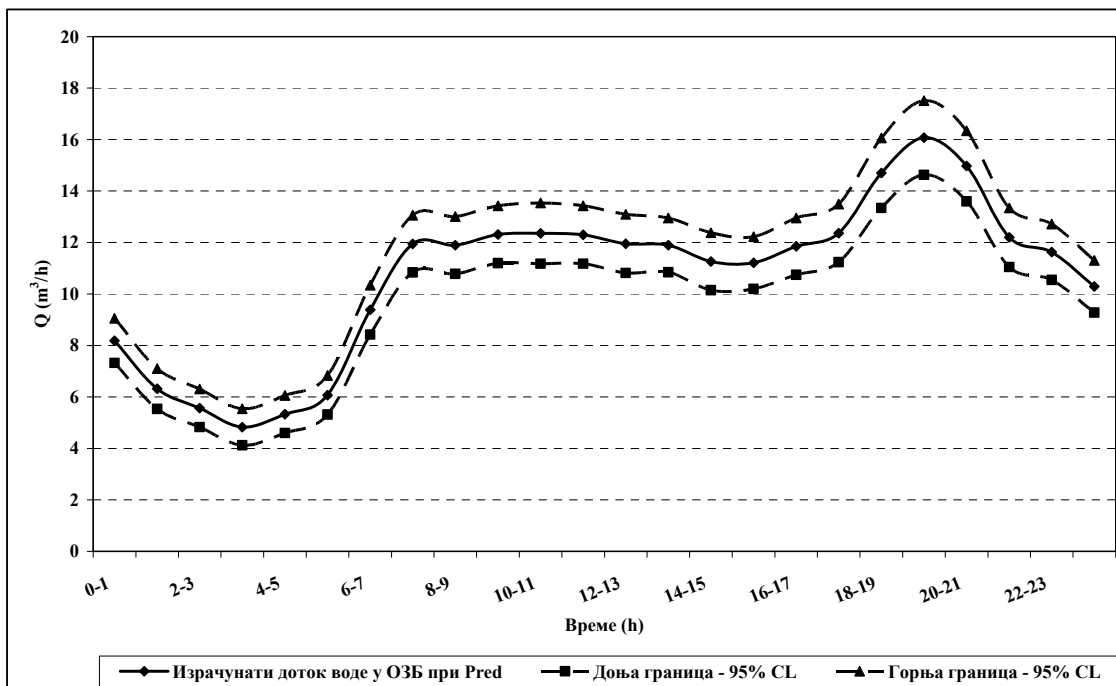
	Нерегулисан P	Регулисан P	Смањење (m ³ /dan)	Смањење (%)
Доток воде у ОЗБ - (m ³ /dan)	478	256	222	46,4
Стварни губици воде - (m ³ /dan)	135	45	90	66,3
Стварна потрошња воде - (m ³ /dan)	249	168	81	32,6
Процуривања воде - (m ³ /dan)	94	43	51	54,1
Укупна потрошња воде - (m ³ /dan)	343	211	132	38,5



Слика 39 Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску на доводу (LCP метод)

Да би се тестирала осетљивост LCP методе на варијацију улазних параметара $N1$, $N2$, $N3$ и просечних дневних процуривања воде иза водомера, спроведена је анализа осетљивости за посматрани дан при редукованом притиску. Претпостављена је нормална расподела улазних параметара са просечним

вредностима: $N1=1,40$, $N2=0,5$, $N3=1,0$ и $q_{lib}= 3,93 \text{ m}^3/\text{h}$, и стандардна девијација 15 % од просечних вредности. Хиљаду пута су случајно генерисани параметри (метода Monte Carlo) и резултати прорачуна за доток воде у ОЗБ, у форми 95% интервала поверења, приказани су на слици 40.



Слика 40 Израчунати доток воде у ОЗБ Крушка при редукованом притиску и 95%-ни интервал поверења

ПРИЛОГ БР. 3.7 Примена ЛСР методе на ОЗБ Љубичево

У табели 13 у прилогу бр. 7 дат је приказ броја потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде у ОЗБ Љубичево.

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Љубичево и он износи 1,1 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 0,7 L/s (табела 14, прилог бр. 7). Минимални ноћни доток воде MNF износи 4,0 m³/h. Просечан дневни притисак износи 50,6 m, а притисак за време MNF износи 51,0 m.

Минимална ноћна потрошња воде за време MNF износи 1,6 m³/h, а ноћни стварни губици воде 2,4 m³/h. Минимална ноћна потрошња воде за време MNF подељена је на следеће компоненте потрошње воде:

- укупна стварна ноћна потрошња воде у ОЗБ Љубичево износи 0,3 m³/h (стварна ноћна потрошња воде: 1,7 l/priklj.h, односно 1,7 l/domać.h);
- процуривања воде иза водомера у ОЗБ Љубичево износе 1,3 m³/h (мала привреда и становништво - применом једначина 3.66 и 3.67);
- нема великих потрошача.

На основу резултата мерења добијен је дијаграм промене протока и притиска на доводу воде у ОЗБ Љубичево. Из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела, за потрошњу воде на моделу која одговара средњој годишњој потрошњи воде, одређен је часовни просечан притисак током посматраног дана AZP_h , као и часовна промена критичног притиска. На основу анализе резултата рада постојећег ВДС, односно просечног и критичног притиска у ОЗБ, процењено је могуће смањење притиска на доводу од око $\Delta P_{tot}^0 = 22$ m ($AZP^{red} \approx 28$ m).

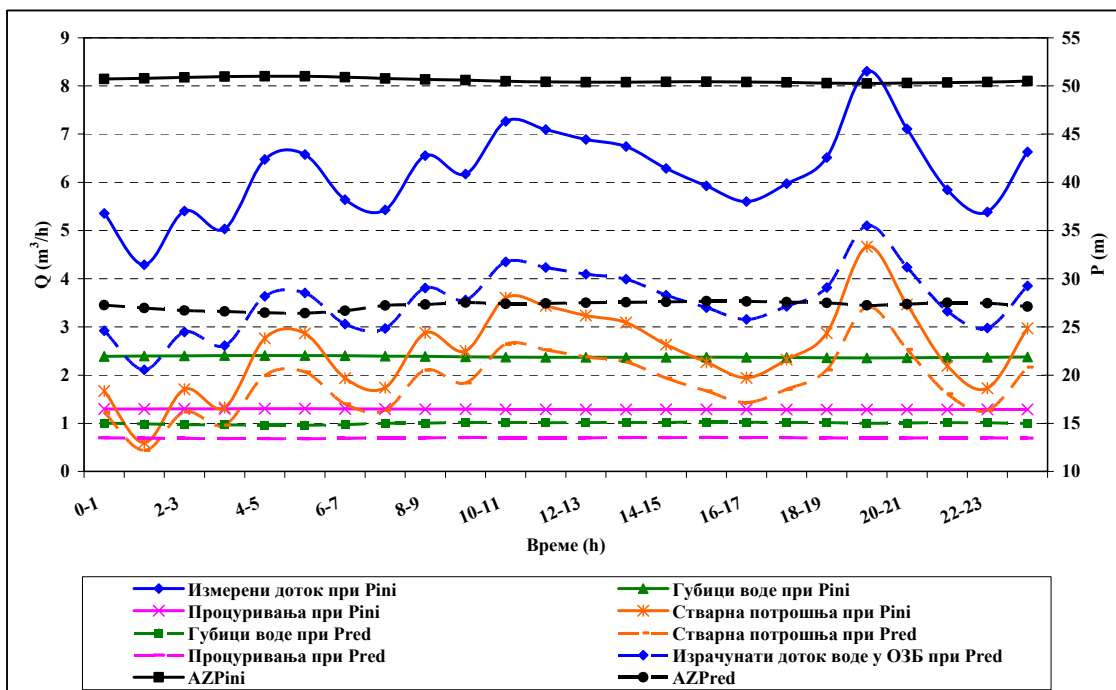
Применом једначине 3.57 одређени су часовни стварни губици воде, једначине 3.60 часовна процуривања воде иза водомера и једначине 3.61 часовна стварна потрошња воде - све за нерегулисани (иницијални) притисак.

Након спроведених прорачуна добијена је нова вредност просечног притиска у ОЗБ Љубичево од $AZP^{red} = 27,2$ m.

У табели 25 и на слици 41 дат је сумарни приказ резултата прорачуна, LCP методом, смањења потреба за водом у ОЗБ Љубичево услед смањења притиска на доводном цевоводу .

Табела 25 Резултати прорачуна LCP методом

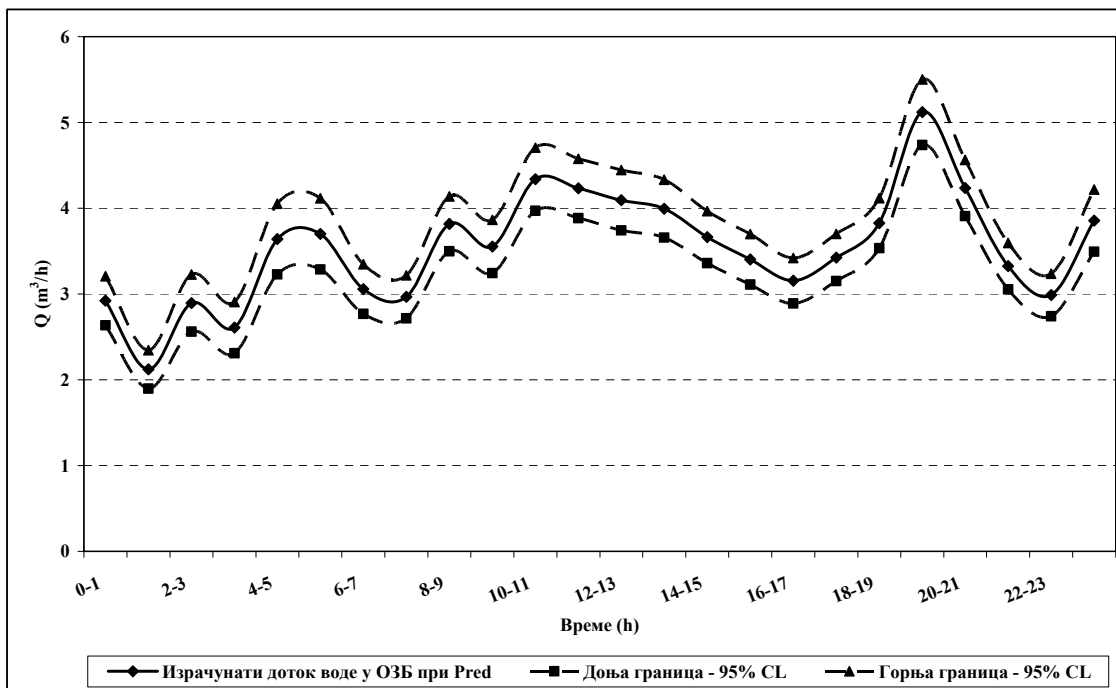
	Нерегулисан P	Регулисан P	Смањење (m ³ /dan)	Смањење (%)
Доток воде у ОЗБ - (m ³ /dan)	148	85	64	42,9
Стварни губици воде - (m ³ /dan)	57	24	33	58,0
Стварна потрошња воде - (m ³ /dan)	60	44	16	26,9
Процуривања воде - (m ³ /dan)	31	17	14	46,1
Укупна потрошња воде - (m ³ /dan)	91	61	31	33,4



Слика 41 Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску на доводу (LCP метод)

Да би се тестирала осетљивост LCP методе на варијацију улазних параметара $N1$, $N2$, $N3$ и просечних дневних процуривања воде иза водомера, спроведена је анализа осетљивости за посматрани дан при редукованом притиску. Претпостављена је нормална расподела улазних параметара са просечним

вредностима: $N1=1,40$, $N2=0,5$, $N3=1,0$ и $q_{lib}= 1,29 \text{ m}^3/\text{h}$, и стандардна девијација 15 % од просечних вредности. Хиљаду пута су случајно генерисани параметри (метода Monte Carlo) и резултати прорачуна за доток воде у ОЗБ, у форми 95% интервала поверења, приказани су на слици 42.



Слика 42 Израчунати доток воде у ОЗБ Љубичево при редукованом притиску и 95%-ни интервал поверења

ПРИЛОГ БР. 3.8 Примена ЛСР методе на ОЗБ Тулба

У табели 15 у прилогу бр. 8 дат је приказ броја потрошача по категоријама потрошње и њихова средња годишња потрошња воде у ОЗБ Тулба.

Статистичком анализом резултата мерења одређен је минимални ноћни проток у ОЗБ Тулба и он износи 1,4 L/s. На основу процењеног минималног ноћног протока и минималне ноћне потрошње воде израчунати су стварни ноћни губици воде од 0,8 L/s (табела 16, прилог бр. 8). Минимални ноћни доток воде MNF износи 5,1 m³/h. Просечан дневни притисак износи 52,3 m, а притисак за време MNF износи 51,7 m (зависи од рада пумпне станице).

Минимална ноћна потрошња воде за време MNF износи 2,2 m³/h, а ноћни стварни губици воде 2,9 m³/h. Минимална ноћна потрошња воде за време MNF подељена је на следеће компоненте потрошње воде:

- укупна стварна ноћна потрошња воде у ОЗБ Тулба износи 0,5 m³/h (стварна ноћна потрошња воде: 1,7 l/priklj.h, односно 1,7 l/domać.h);
- процуривања воде иза водомера у ОЗБ Љубичево износе 1,7 m³/h (мала привреда и становништво - применом једначина 3.66 и 3.67);
- нема великих потрошача.

На основу резултата мерења добијен је дијаграм промене протока и притиска на доводу воде у ОЗБ Тулба. Из резултата калибрисаног и верификованог математичког модела, за потрошњу воде на моделу која одговара средњој годишњој потрошњи воде, одређен је часовни просечан притисак током посматраног дана AZP_h , као и часовна промена критичног притиска. На основу анализе резултата рада постојећег ВДС, односно просечног и критичног притиска у ОЗБ, процењено је могуће смањење притиска на доводу од око $\Delta P_{tot}^0 = 24$ m ($AZP^{red} \approx 28$ m).

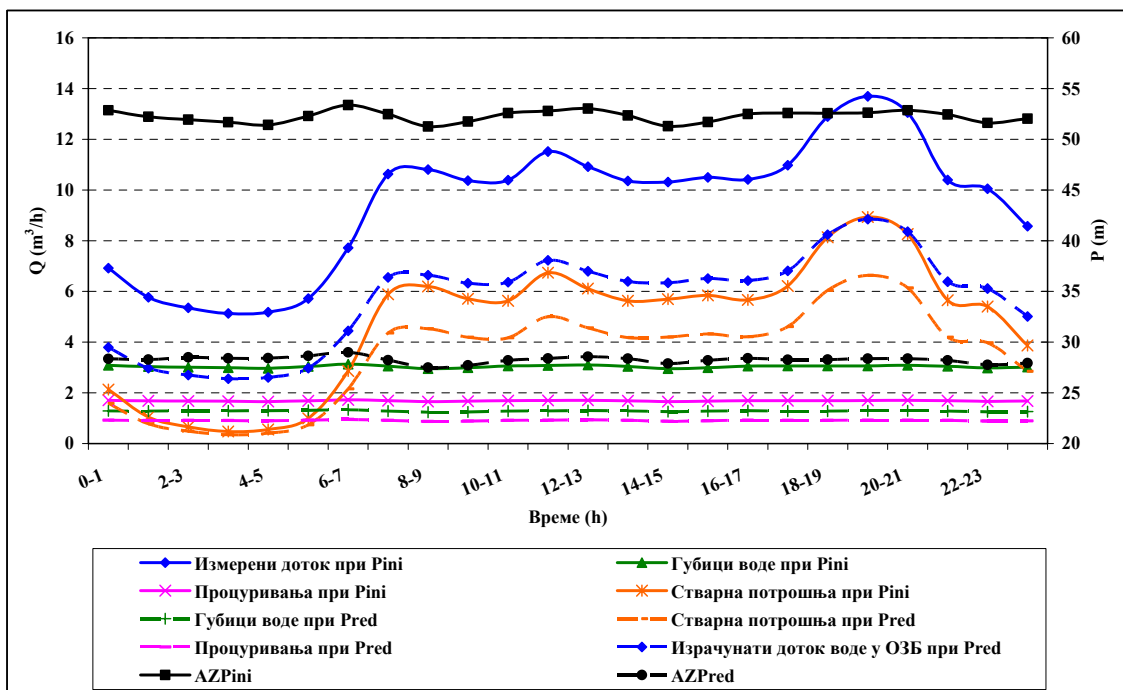
Применом једначине 3.57 одређени су часовни стварни губици воде, једначине 3.60 часовна процуривања воде иза водомера и једначине 3.61 часовна стварна потрошња воде - све за нерегулисани (иницијални) притисак.

Након спроведених прорачуна добијена је нова вредност просечног притиска у ОЗБ Тулба од $AZP^{red} = 28,3$ m.

У табели 26 и на слици 43 дат је сумарни приказ резултата прорачуна, LCP методом, смањења потреба за водом у ОЗБ Тулба услед смањења притиска на доводном цевоводу.

Табела 26 Резултати прорачуна LCP методом

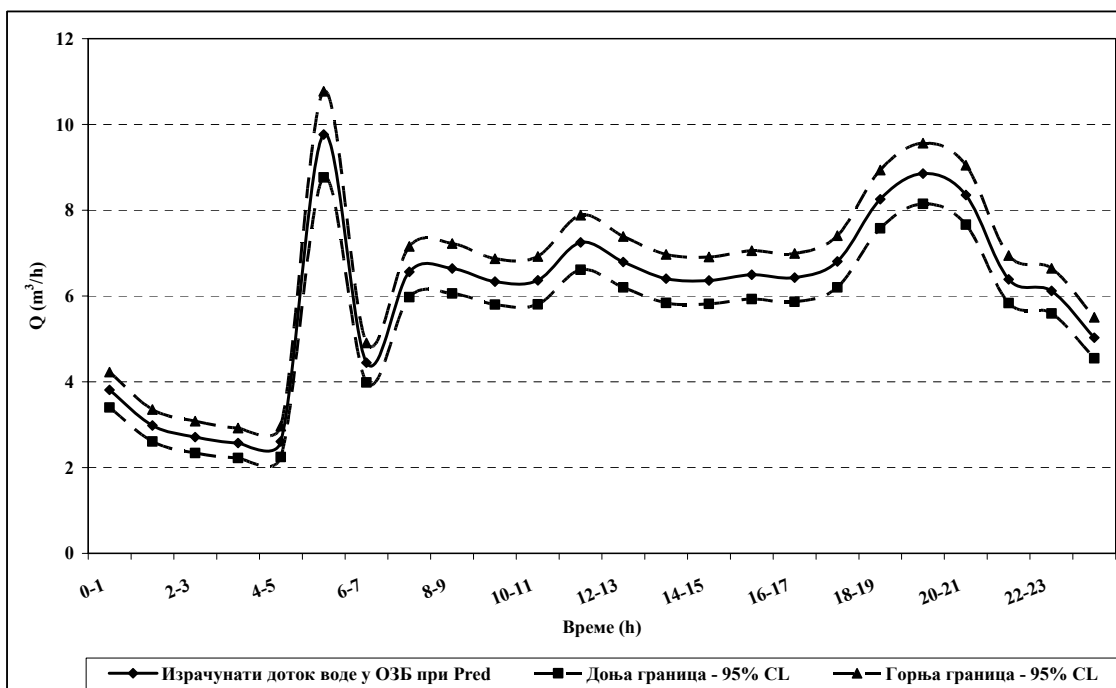
	Нерегулисан P	Регулисан P	Смањење (m ³ /dan)	Смањење (%)
Доток воде у ОЗБ - (m ³ /dan)	228	137	90	39,6
Стварни губици воде - (m ³ /dan)	73	31	42	57,7
Стварна потрошња воде - (m ³ /dan)	115	85	30	25,9
Процуривања воде - (m ³ /dan)	40	22	19	45,9
Укупна потрошња воде - (m ³ /dan)	155	107	48	31,1



Слика 43 Регистровани доток у ОЗБ, израчуната потрошња и стварни губици воде при иницијалном и редукованом притиску на доводу (LCP метод)

Да би се тестирала осетљивост LCP методе на варијацију улазних параметара $N1$, $N2$, $N3$ и просечних дневних процуривања воде иза водомера, спроведена је анализа осетљивости за посматрани дан при редукованом притиску. Претпостављена је нормална расподела улазних параметара са просечним

вредностима: $N1=1,40$, $N2=0,5$, $N3=1,0$ и $q_{lib}= 1,69 \text{ m}^3/\text{h}$, и стандардна девијација 15 % од просечних вредности. Хиљаду пута су случајно генерисани параметри (метода Monte Carlo) и резултати прорачуна за доток воде у ОЗБ, у форми 95% интервала поверења, приказани су на слици 44.



Слика 44 Израчунати доток воде у ОЗБ Тулба при редукованом притиску и 95%-ни интервал поверења

Биографија аутора

Бранислав Бабић је рођен 01.11.1962. године у Београду, где је завршио основну и средњу школу са одличним успехом. На Грађевински факултет Универзитета у Београду уписао се 1981. године, а студије започиње школске 1982/83. године, након одслужења војног рока. Дипломирао је 30. децембра 1987. године на Одсеку за хидротехнику.

Последипломске студије на Грађевинском факултету, Одсек за хидротехнику, уписао је школске 1988/89. године, а Магистарски рад под насловом "Рационализација потрошње и губитака воде у водоводним системима" одбранио је 20.11.1997. године, за који је добио награду Привредне коморе Београд за најбољу магистарску тезу.

Од фебруара 1988. године запослен је у „Енергопројект - Хидроинжењеринг“ (биро за комуналну хидротехнику). Марта месеца 1989. године изабран је за асистента приправника на Грађевинском факултету у Београду на предмету Снабдевање водом и каналисање насеља, који по важећем наставном плану прелази у наставне предмете Комунална хидротехника 1 и 2, а од 1998. године за асистента на истим предметима.

Током рада у „Енергопројекту“ и на Грађевинском факултету учествовао је на изради више студија и пројеката из области снабдевања водом и заштите вода. Коаутор је монографија „Пречишћавање отпадних вода“ и „Комунална хидротехника-примери из теорије и праксе“.

Члан је Инжењерске коморе Србије и Српског друштва за заштиту вода.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Бранислав Б. Бабић

број индекса 414/2005

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

**УНАПРЕЂЕЊЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА ВРЕДНОВАЊЕ И ПОБОЉШАЊЕ
ПЕРФОРМАНСИ ВОДОВОДНИХ СИСТЕМА**

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 03.07.2014.

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Бранислав Б. Бабић

Број индекса 414/2005

Студијски програм Грађевинарство

Унапређење методологије за вредновање и побољшање перформанси
Наслов рада водоводних система

Ментор Проф.др Дејан Љубисављевић и проф.др Душан Продановић (ГФ, Београд)

Потписани/а Бранислав Б. Бабић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 03.07.2014.

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

УНАПРЕЂЕЊЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА ВРЕДНОВАЊЕ И ПОБОЉШАЊЕ
ПЕРФОРМАНСИ ВОДОВОДНИХ СИСТЕМА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 03.07.2014.

1. Ауторство - Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.