# АНАЛИЗА ГУБИТАКА ВОДЕ У СИСТЕМУ ВОДОСНАБДИЈЕВАЊА БИЈЕЛОГ ПОЉА И МЈЕРЕ ЗА ЊИХОВО СМАЊЕЊЕ

# ANALYSIS OF WATER LOSSES IN THE BIJELO POLJE WATER SUPPLY SYSTEM AND LOSS REDUCTION MEASURES

ЕСАД КАСУМОВИЋ[1]
ИВАНА ЋИПРАНИЋ[2]
ГОРАН СЕКУЛИЋ[3]

Стручни рад
DOI: 10.5937/GV26077K

**Резиме:** Рад се бави анализом губитака воде у бодоводном систему Бијелог Поља и могућностима њиховог смањења. Због недостатка поузданих података о произведеној количини воде, анализа губитака извршена је на основу фактурисане потрошње и процјена Регулаторне агенције за енергетику и регулисане комуналне дјелатности. Анализа указује да на вриједност губитака значајан утицај има застарјела инфраструктура и неуједначени притисци. У раду су предложене мјере за унапређење управљања системом, укључујући успостављање основних зона билансирања, контролу притисака, активну детекцију цурења и увођење система даљинског надзора (SCADA), са циљем постепеног смањења губитака и повећања ефикасности водоводног система.
**Кључне речи:** губици воде, водоводни систем, неприходована вода (NRW), DMA зоне, управљање притиском

**Abstract:** This paper analyses water losses in the Bijelo Polje water supply system and explores possibilities for their reduction. Due to the lack of reliable data on the total volume of produced water, the assessment of losses was carried out using billed water consumption data and hydraulic modelling of the system. The analysis indicates that ageing infrastructure, uneven pressure distribution and insufficient monitoring significantly contribute to water losses. The paper proposes several measures to improve system management, including the

[1] Есад Касумовић, Инг Инвест д.о.о. Подгорица, Црна Гора, esadk1998@gmail.com
[2] Ивана Ћипранић, Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет, Џорџа Вашингтона бб, Подгорица, Црна Гора, ivanac@ucg.ac.me, ORCID 0000-0002-6081-3965
[3] Горан Секулић, Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет, Џорџа Вашингтона бб, Подгорица, Црна Гора, goransek@ucg.ac.me, ORCID: 0000-0002-0530-4199

establishment of District Metered Areas, pressure management, active leakage detection and the introduction of a SCADA monitoring system, with the aim of gradually reducing losses and improving the overall efficiency of the water supply system
**Key Words:** water losses, water supply system, non-revenue water (NRW), district metered areas (DMA), pressure management

## 1. Увод

Контрола губитака у водоводним системима има кључан значај за економичност, поузданост и одрживост снабдијевања водом, посебно у условима ограничених водних ресурса, раста цијена енергената и све већих захтјева у погледу квалитета услуге [3]. Савремено управљање водоводним системима не подразумијева само обезбјеђивање довољних количина воде за потрошаче, већ и смањење губитака на ниво који је технички и економски оправдан. У том смислу, губици воде представљају један од најважнијих показатеља стања дистрибутивне мреже, ефикасности управљања и укупне успјешности рада водоводног предузећа.

Губици воде могу бити физички, који настају услед цурења, кварова, преливања и других недостатака у мрежи, као и комерцијални, који су последица неисправних водомјера, грешака у евиденцији потрошње и нелегалних прикључака (AWWA, 2016). Оба типа губитака директно утичу на смањење прихода, повећање оперативних трошкова и смањење ефикасности система. Поред економског аспекта, висок ниво губитака утиче и на квалитет услуге, јер је често повезан са нестабилним притисцима, честим прекидима у снабдијевању и већим ризиком од контаминације воде у мрежи. Због тога контрола губитака није само финансијско, већ и техничко, еколошко и јавно-здравствено питање.

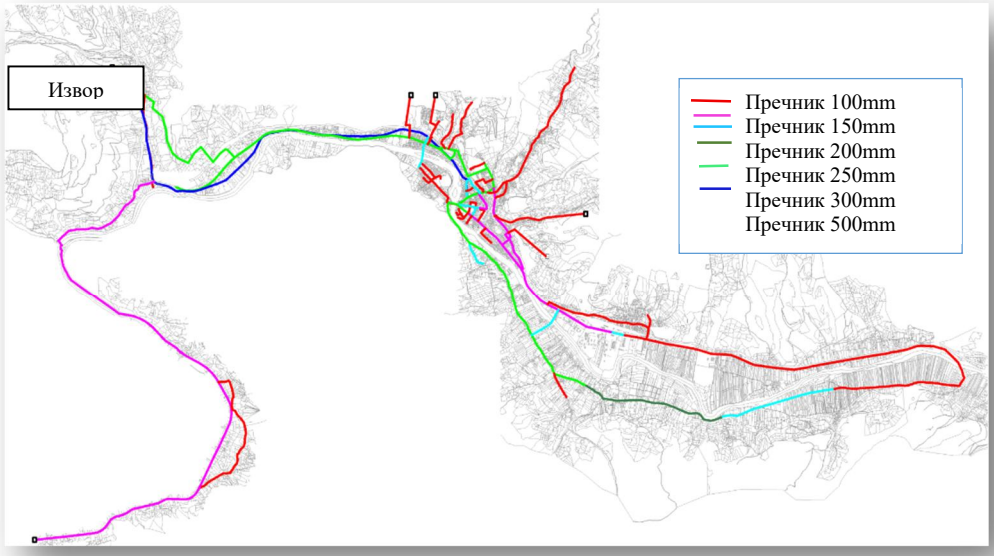
У систему снабдијевања водом Бијелог Поља овај проблем је додатно изражен због застарјеле дистрибутивне мреже, учесталих кварова и неуједначених притисака у различитим дијеловима система. Старост инфраструктуре, присуство дотрајалих цијеви и недовољно развијен систем мјерења значајно отежавају прецизно сагледавање стварног нивоа губитака и планирање одговарајућих мјера [7]. Посебан проблем представља чињеница да не постоји потпуно поуздан податак о укупно произведеној, односно потиснутој количини воде, што онемогућава израду потпуног водног биланса и прецизно утврђивање неприходоване воде.

Због тога је циљ овог рада процјена нивоа губитака у водоводном систему Бијелог Поља на основу доступних података о фактурисаној потрошњи, као и дефинисање мјера за њихово смањење. Посебан акценат ставља се на успостављање зона контроле и мјерења тј. основних зона билансирања (District

Metered Areas - DMAs), активну контролу цурења, управљање притисцима и примјену SCADA система, као основних алата савременог управљања дистрибутивним системима [3]. На тај начин рад има за циљ да, на основу расположивих података и хидрауличког моделирања, пружи основу за ефикасније управљање системом и дугорочно смањење губитака воде.

## 2. Основне карактеристике система водоснабдијевања Бијелог Поља

Извор пијаће воде за снабдијевање водом Бијелог Поља је ријека Бистрица, односно изворište Мајсторовина. Прекидна комора, са хлорном станицом, из које почиње гравитационо снабдијевање система, налази се у насељу Равна Ријека, на надморској висини од 686 m. Систем снабдијевања водом је претежно гравитациони, уз додатну подршку шест пумпних станица које омогућавају дистрибуцију воде до резервоара у насељима смјештеним на вишим котама града. Из резервоара Медановићи 1 (716 m н.в.), Медановићи 2 (684,3 m н.в.), Џафића брдо (758,6 m н.в.), Липница (712,8 m н.в.), Недакуси и Лознице, вода се даље гравитационо дистрибуира ка насељима (слика 1).




*Слика 1. Главни дистртибутивни систем*

У дистрибутивној мрежи старог дијела система доминирају азбестноцементне цијеви, док су у новијим и реконструисаним дјеловима мреже заступљене углавном полиетиленске цијеви високе густине (PEHD) цијеви.

Већи дио мреже стар је између 50 и 60 година, што указује на изражен степен дотрајалости и повећан ризик од честих кварова и губитака воде [1]. У градском језгру притисци у мрежи крећу се углавном између 5 и 6 бара, док у нижим дјеловима града достижу и до 10 бара. Насупрот томе, на вишим котама система притисци су недовољни, што отежава стабилно снабдијевање, а према информацијама које имамо и од грађана и од запослених у предузећу које управља системом, управо су ти дјелови града међу најпогођенијима када је ријеч о слабом дотоку и честим поремећајима у водоснабдијевању. Фактурисана потрошња воде у 2024. години, приказана је у табели 1.

*Табела 1. Фактурисана потрошња воде у 2024. години (подаци из ЈП Водовод Бистрица, Бијело Поље)*

| Мјесец | Фактурисана потрошња воде ($m^3$) |
|---|---|
| Јануар | 145.834,87 |
| Фебруар | 125.215,82 |
| Март | 134.737,38 |
| Април | 131.552,71 |
| Мај | 142.713,45 |
| Јун | 157.093,70 |
| Јул | 169.355,88 |
| Август | 162.812,51 |
| Септембар | 171.333,72 |
| Октобар | 152.449,94 |
| Новембар | 143.950,94 |
| Децембар | 126.685,01 |

Као један од највећих недостатака система издваја се чињеница да тренутно не постоји мјерење количине произведене, односно потиснуте воде. Такође, не постоје ни мјерења и анализе минималног ноћног протока у систему. То представља озбиљно ограничење, јер није могуће прецизно одредити проценат неприходоване воде (Non-Revenue Water - NRW), нити извршити потпун хидраулички и економски увид у губитке у систему. Недостатак ових података представља основни проблем за анализу система и планирање ефикасних мјера за смањење губитака.

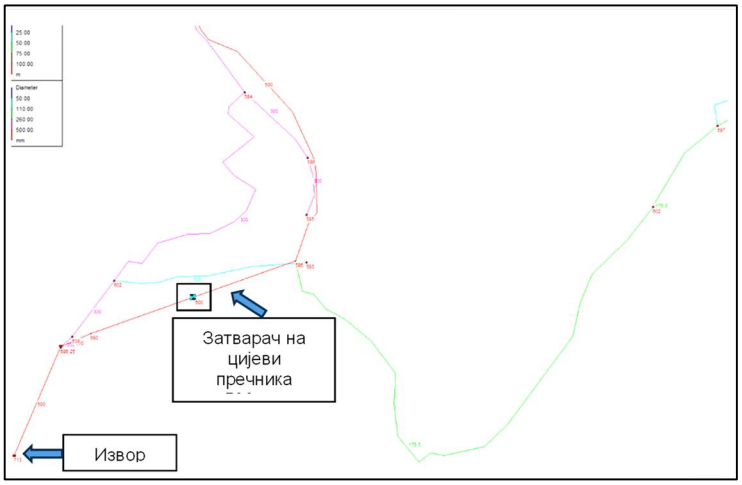
## 3. Процјена губитака и калибрација хидрауличког модела

У систему тренутно не постоји мјерење протока на главним излазним цјевоводима из прекидне коморе, нити на главним цјевоводима пречника 300

mm и 500 mm. Као оријентациони показатељ коришћена је процјена Регулаторне агенције за енергетику и регулисане комуналне дјелатности (REGAGEN), према којој укупни губици у систему износе приближно 60% од укупно произведене воде (https://regagen.co.me).

Систем је моделиран у програму EPANET (U.S. Environmental Protection Agency). Основни улазни податак представљала је фактурисана потрошња воде. На основу података за 2024. годину израчуната је просјечна мјесечна фактурисана потрошња од приближно 146.000 m³ на нивоу цијелог система.

Полазећи од претпоставке да фактурисана потрошња представља око 40% укупне произведене воде, процјењена укупна количина воде која улази у систем износи приближно 366.000 m³. Ова количина воде распоређена је у хидрауличком моделу кроз потрошњу у чворовима (у l/s), на основу просторне расподјеле потрошача. Губици у систему симулирани су употребом функције „emiter“ у чворовима, при чему су њихове вриједности одређене на основу притисака у мрежи, старости инфраструктуре и искуствених процјена о интензитету цурења [6]. Једини елемент за регулацију притиска у систему представља вентил на цјевоводу пречника 500 mm (слика 2), који у пракси функционише као главни регулатор притиска у систему.




*Слика 2. Положај затварача за регулацију притиска*

Према расположивим подацима из Водовода „Бистрица“, притисак у централном дијелу града износи приближно 5 до 6 бара, те је вентил у моделу подешен тако да симулира исти ниво притиска у контролној тачки. Тако дефинисан хидраулички модел може послужити као основа за даљу анализу и планирање мјера управљања системом, укључујући формирање основних зона

билансирања, постављање мјерача протока и оптимизацију управљања притисцима.

Додатно, у моделу је имплементирана часовна неравномјерност потрошње. Дијаграм часовне потрошње формиран је на основу расположивих података о дневној динамици потрошње у систему, типичних образаца потрошње у урбаним водоводним системима, као и инжењерских процјена за систем сличних карактеристика.

На основу тако дефинисаног обрасца потрошње у моделу се у сату максималне потрошње (16 h) јављају негативни притисци у појединим дијеловима мреже. Ово одговара реалним условима на терену, гдје у тим периодима долази до проблема у снабдијевању водом, што додатно потврђује адекватност усвојеног модела.

## 4. Изазови у анализи потрошње и утврђивању губитака воде

Анализа фактурисане потрошње не показује изразито наглашене сезонске варијације, што може бити резултат више међусобно повезаних фактора које без комплетног водног биланса није могуће прецизно раздвојити.

Физички губици повезани су са старошћу дистрибутивне мреже, која у великој мјери износи 50–60 година, као и са присуством азбестно-цементних цијеви и зона високог притиска (8–10 bar). Ови услови погодују настанку цурења и честих кварова, због чега се значајан дио воде губи прије него што стигне до крајњих корисника.

Привидни губици могу бити посљедица нетачних мјерења водомјера, грешака у евиденцији или присуства нелегалних прикључака. У таквим условима дио стварне потрошње није регистрован нити фактурисан, што додатно отежава реалну процјену потрошње и губитака. Климатски и социоекономски фактори такође могу утицати на варијације потрошње воде, посебно током љетњих мјесеци када се повећавају потребе за водом. Ипак, стабилна индустријска потрошња утиче на релативно уједначену укупну потрошњу током године.

Кључно ограничење анализе представља чињеница да у систему не постоји поуздано мјерење укупно произведене воде, што онемогућава израду потпуног водног биланса и прецизно одређивање процента неприходоване воде (NRW).

## 5. Приоритетна мјерења и организационе мјере

У водоводном систему Бијелог Поља неопходно је прво спровести мјере које омогућавају добијање основних података о функционисању система, уз

минимална финансијска улагања. Такве мјере представљају основу за касније техничке интервенције и системско управљање губицима воде.

- Уградња главних мјерача протока

Постављање поузданог мјерача протока на мјесту улаза воде у дистрибутивни систем представља основни предуслов за анализу губитака. Овај податак омогућава израду водног биланса и израчунавање неприходоване воде (NRW). Без мјерења укупне количине воде која улази у систем није могуће прецизно утврдити ниво губитака нити раздвојити физичке и привидне губитке.

У постојећем систему вода из прекидне коморе улази у дистрибутивну мрежу преко двије главне цијеви, пречника 500 и 300 mm. У складу с тим, неопходно је предвидјети уградњу мјерача протока на обје цијеви, и то непосредно након изласка из прекидне коморе. Мјерење протока на наведеним мјестима би омогућило праћење количине воде која улази у систем.

- Зонирање система

Подјела дистрибутивне мреже на мање хидрауличке зоне (District Metered Areas – DMA) омогућава локализацију губитака и ефикасније управљање системом. У оквиру сваке зоне прати се улазни проток и ноћна минимална потрошња, што представља поуздан индикатор реалних губитака [5]. На основу анализе хидрауличких карактеристика система, као и топографије терена, предлажу се следеће зоне:

Зона 1 – Насеље Никољац (835 прикључака);

Зона 2 – Горњи дио града, Бабића бријег, Расадник (око 900 прикључака);

Зона 3 – Љешница (600 прикључака);

Зона 4 – Центар града (1300 прикључака);

Зона 5 – Горњи дио града (300 прикључака);

Зона 6 – Насеље Прушка (860 прикључака);

Зона 7 – Насеље Ресник (1200 прикључака);

Зона 8 – Индустријска зона и Недакуси (700 прикључака);

Зона 9 – Насеља Поткрајци, Сутиван, Његњево, Олуја, Уневине, Расово, Стројтаница, Губавач (1.500 прикључака).

- Мјерење притиска и протока

Постављање мјерача притиска и протока у критичним тачкама система омогућава бољу контролу рада мреже. Управљање притисцима има директан утицај на смањење цурења и броја кварова у систему.

- Евиденција кварова

Успостављање базе података о кваровима и интервенцијама омогућава систематско праћење стања мреже. Повезивањем ових података са географским информационим системом (Geographic Information System - GIS) могуће је идентификовати критичне дионице мреже и дефинисати приоритете реконструкције.

## 6. Програм смањења губитака воде

Смањење губитака у водоводном систему представља дугорочан процес који захтијева систематски приступ и постепену имплементацију различитих техничких и организационих мјера. На основу резултата анализе и постојећег стања система, програм смањења губитака може се подијелити на више фаза, у зависности од временског оквира и сложености активности. У том смислу, предложене мјере груписане су на краткорочне, средњорочне и дугорочне активности, чији је циљ постепено унапређење управљања системом и смањење губитака воде.

### *6.1. Краткорочне мјере (0–6 мјесеци)*

У почетној фази потребно је обезбиједити основне податке неопходне за анализу система и управљање губицима. Кључне активности су:

- уградња и калибрација главних мјерача протока
- успостављање базе података о кваровима
- провјера и постепена замјена дотрајалих водомјера
- идентификација и легализација нелегалних прикључака

Ове активности омогућавају успостављање основног система праћења рада водоводне мреже.

### *6.2. Средњорочне мјере (6–24 мјесеца)*

Након успостављања основног система мјерења приступа се активном управљању губицима воде.

- Формирање зона

Подјелом мреже на контролисане зоне омогућава се праћење протока и локализација дијелова система са повећаним губицима.

- Управљање притисцима

Оптимизација притиска у мрежи, укључујући постављање регулатора притиска, може значајно смањити интензитет цурења и број кварова.

- Активна детекција цурења

Систематско тражење цурења коришћењем акустичних метода и анализом ноћног протока омогућава рано откривање скривених губитака.

*6.3. Дугорочне мјере (2–5 година)*

Дугорочна стратегија усмјерена је на модернизацију управљања системом и постепену реконструкцију инфраструктуре.

- Увођење SCADA система

SCADA систем омогућава континуирано праћење протока, притисака и рада пумпи у реалном времену, што омогућава бржу реакцију на кварове и ефикасније управљање системом.

- Планирана реконструкција мреже

Инвестиције треба усмјерити на најкритичније дионице мреже, односно сегменте са највећим бројем кварова и губитака воде.

## 7. Закључак

Анализа фактурисане потрошње омогућава уочавање основних трендова у потрошњи воде, али без поузданог мјерења укупне количине воде која улази у систем није могуће прецизно одредити ниво губитака. Увођење поузданог система мјерења представља основни предуслов за израду водног биланса и управљање неприходованом водом.

Након успостављања водног биланса могу се примјењивати савремене методе управљања губицима, као што су DMA зоне, управљање притисцима и активна детекција цурења. Смањење губитака воде представља дугорочан процес који захтијева континуирано праћење система, анализу података и постепена улагања у модернизацију инфраструктуре.

## 8. Литература


[1] Alegre, H., Baptista, J., Cabrera, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., & Parena, R. *Performance Indicators for Water Supply Services*. IWA Publishing, 2006.

[2] American Water Works Association (AWWA). *Water Audits and Loss Control Programs (Manual M36)*. Denver: AWWA, 2016.

[3] Farley M. & Trow S. *Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*. IWA Publishing, 2003.

[4] International Water Association (IWA). *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*. IWA Publishing, 2007.

[5] Lambert A. & Hirner W. *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*. International Water Association, 2000.

[6] Rossman L. A. *EPANET 2 Users Manual*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, 2000.

[7] Taha AL-Washali S, Sharma S, Lupoja R, AL-Nozaily F, Haidera M. & Kennedy M. Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104515. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104515, 2020.

[8] Regulatory Agency for Energy and Regulated Utilities (REGAGEN). (2026). Available at: https://regagen.co.me (accessed March 10, 2026).