

# ULOGA SAVREMENIH UPRAVLJAČKIH SISTEMA I SENZORA U UPRAVLJANJU GUBICIMA VODE

## THE ROLE OF MODERN CONTROL SYSTEMS AND SENSORS IN WATER LOSS MANAGEMENT

STANKO STANKOV<sup>1</sup>

*Pregledni stručni rad*  
DOI: 10.5937/VIK24205S

**Rezime:** U savremenim gradovima sve više se primenjuju inteligentna rešenja za praćenje vodosnabdevanja i garantovanje potrebnih količina vode za građane i privredu. Jedan od glavnih ciljeva inteligentnog upravljanja vodnim resursima je minimiziranje gubitaka od curenja, upotrebom savremenih elektronskih uređaja, čime se povećava efikasnost korišćenja vode za piće. U radu se razmatra upravljanje i praćenje skrivenih curenja na osnovu odgovarajućih senzora, metode i savremena oprema za otkrivanje tih curenja. Pametna vodovodna mreža nije samo samostalan sistem koji optimizuje efikasnost, već je i sredstvo za povezivanje mnogih sistema i deljenje podataka preko platformi. Nove tehnologije produžavaju životni vek i povećavaju pouzdanost opreme merenjem, prikupljanjem i analizom podataka iz širokog spektra događaja unutar mreže. Informacione tehnologije u vodosnabdevanju omogućavaju: praćenje u realnom vremenu, automatizaciju i optimizaciju složenih procesa, deljenje i sinhronizaciju baze podataka, izbegavanje neefikasnog dupliranja i nedoslednosti, vizuelizaciju podataka koji dolaze iz različitih sistema, uporedivost podataka i izveštavanje, planiranje procesa. Osim smanjenja gubitaka vode, primena novih tehnologija doprinosi većoj produktivnosti mreže.

**Ključne reči:** vodosnabdevanje, curenje, gubici, inteligentni sistemi, efikasnost

**Abstract:** Intelligent solutions for monitoring water supply and guaranteeing the necessary quantities of water for citizens and the economy are increasingly being applied in modern cities. One of the main goals of the intelligent control of water resources is the minimization of leakage losses, using modern electronic devices, which increases the efficiency of drinking water use. The paper discusses the control and supervision of hidden leaks based on appropriate sensors, methods and modern equipment for detecting those leaks. A smart water network is not only a stand-alone system that optimizes efficiency, but also a means of connecting many systems and sharing data across platforms. New technologies extend the life and

<sup>1</sup> Stanko Stankov, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, Aleksandra Medvedeva 12, stanko.stankov@elfak.ni.ac.rs, ORCID: 0009-0002-4264-3111

increase the reliability of equipment by measuring, acquisition and analyzing data from a wide range of events within the network. Information technologies in water supply enable: real-time monitoring, automation and optimization of complex processes, database sharing and synchronization, avoidance of inefficient duplication and inconsistency, visualization of data coming from different systems, data comparability and reporting; process planning. In addition to reducing water losses, the application of new technologies contributes to greater network productivity.

**Key Words:** water supply, leakage, losses, intelligent systems, efficiency

## 1. Uvod

Savremeni tehnološki izazovi u sektoru gradskog vodosnabdevanja i kanalizacije zahtevaju integrisane pristupe, uključujući napredne metode prečišćavanja vode, praćenja i upravljanja vodnim resursima, kao i aktivno uključivanje pametnih zgrada i stanovnika gradova u proces. Ove inovacije i tehnologije poboljšavaju kvalitet i efikasnost sistema vodosnabdevanja i kanalizacije, obezbeđujući održivu budućnost urbane sredine [1, 2]. U današnjim uslovima, gradsko vodosnabdevanje i kanalizacija su kritično važne komponente, koje obezbeđuju ne samo komfor i higijenu stanovništva, već i održavanje javnog zdravlja i ispunjavanje ekoloških standarda. Razvoj i održavanje ovih sistema je složen proces koji se suočava s mnogim tehnološkim izazovima, pri čemu se zahtevaju inovativni pristupi i rešenja [3]. Nove tehnologije nude mogućnosti za poboljšanje efikasnosti i pouzdanosti gradskih vodovodnih i kanalizacionih sistema, ali i nameću nove zahteve vezane za upravljanje i adaptaciju. Glavni izazovi su: zastarela infrastruktura, potreba za održivim upravljanjem vodnim resursima, očuvanje kvaliteta vode za piće, integracija pametnih tehnologija upravljanja i monitoringa, kao i finansijska i operativna ograničenja. Globalna dešavanja kao što su urbanizacija, klimatske i demografske promene, dovode do povećanog pritiska na vodne resurse i infrastrukturu, dodatno aktuelizujući pomenute izazove. Zastarela infrastruktura u sektoru gradskog vodosnabdevanja i kanalizacije je složen problem koji utiče na mnoge aspekte upravljanja. Mnogi od postojećih vodovodnih i kanalizacionih sistema projektovani su i izgrađeni u periodu posle Drugog svetskog rata i od tada su podvrgnuti ograničenom renoviranju i modernizaciji. To dovodi do povećanja učestalosti havarija, gubitaka vode usled curenja, smanjene efikasnosti postrojenja za prečišćavanje i u krajnjoj liniji do povećanog rizika od zagađivanja vodnih resursa i životne sredine. Vremenom su materijali od kojih su izgrađeni cevovodi i druge komponente sistema podložni habanju i koroziji, što smanjuje njihovu pouzdanost i povećava verovatnoću kvarova. Mnogi sistemi projektovani za potrebe naselja i industrije u ranijem periodu danas su nedovoljnog kapaciteta. Rast i urbanizacija dovode do preopterećenja postojeće infrastrukture. Istovremeno, curenja u staroj infrastrukturi uzrok su značajnih gubitaka vode, koji ne samo da povećavaju operativne troškove već i

smanjuju efikasnost čitavog sistema. Rešavanje svih ovih problema zahteva integrisani pristup koji uključuje i tehnološke inovacije i strateško planiranje. Implementacija pametnih senzora i sistema za praćenje može pomoći u identifikaciji curenja i havarija u realnom vremenu, omogućavajući bržu i efikasniju intervenciju [3, 4]. Daljinsko upravljanje i automatizacija takođe nude mogućnosti za optimizaciju rada i smanjenje gubitaka vode. S druge strane, uspostavljanje dugoročnih programa obnavljanja i zamene stare infrastrukture ključno je za poboljšanje pouzdanosti i održivosti sistema vodosnabdevanja i kanalizacije. Informisanje i angažovanje javnosti o značaju ulaganja u vodnu infrastrukturu takođe može podržati napore da se obezbede neophodna finansijska sredstva i podrška reformama. Upravljanje vodnim resursima je još jedan ključan aspekt, budući da nestašica vode postaje sve hitnije pitanje za mnoge regione sveta.

Tehnologije za efikasno korišćenje i reciklažu vode, kao i inovacije u ovoj oblasti, nude rešenja za ovaj problem, ali zahtevaju i značajna sredstva i prilagođavanje lokalnim uslovima. Savremeno upravljanje vodnim resursima iziskuje kompleksan i integrisan pristup, posebno u kontekstu sve veće globalne potražnje za vodom, klimatskih promena i urbanizacije. U tom pogledu, tehnološke inovacije i digitalne mogućnosti igraju ključnu ulogu u optimizaciji korišćenja, praćenja i upravljanja vodnim resursima [5]. Digitalni blizanci, IoT (Internet of thing) tehnologije, automatizacija, akvizicija i analiza podataka nude nove mogućnosti za povećanje efikasnosti i održivosti sistema vodosnabdevanja. Digitalni blizanci kao virtuelne replike fizičkih sistema omogućavaju simulaciju, analizu i optimizaciju njihovog rada u realnom vremenu. Pomoću njih se mogu modelirati vodovodne mreže, postrojenja za prečišćavanje i druge ključne komponente, pružajući korisne informacije o potencijalnim poboljšanjima efikasnosti i smanjenju rizika od havarija. Kroz kontinualno praćenje i analizu, digitalni blizanci pomažu u predviđanju ponašanja sistema u različitim uslovima, olakšavajući upravljanje i održavanje.

IoT tehnologije transformišu upravljanje vodnim resursima omogućavajući kontinuiranu akviziciju i analizu podataka sa više senzora koji se nalaze u vodovodnoj mreži, postrojenjima za prečišćavanje i drugim kritičnim tačkama. Ovo pruža detaljan pregled statusa sistema u realnom vremenu, uključujući detekciju curenja, praćenje kvaliteta vode i optimizaciju rada pumpi i druge opreme. Integracija IoT-a sa automatskim upravljanjem olakšava implementaciju efikasnih strategija za raspodelu vodnih resursa, smanjenje gubitaka vode i poboljšanje ukupne operativne efikasnosti. Automatizacija, podržana naprednom analizom podataka, omogućava vodovodnim preduzećima da optimizuju svoje odluke na osnovu duboke analize i predviđanja. Algoritmi mašinskog učenja i veštačka inteligencija mogu da analiziraju ogromne količine podataka koji se odnose na trendove, anomalije i potencijalne opasnosti, nudeći predloge za efikasno upravljanje. Tu spada auto-

matska regulacija protoka vode u zavisnosti od potražnje, predviđanje potreba za održavanjem i optimizacija procesa prečišćavanja [1, 5, 6].

## **2. Kvalitet vode za piće**

Kvalitet vode za piće je od suštinskog značaja za javno zdravlje. Problemi kao što su zagađenje iz industrijskih i poljoprivrednih izvora zahtevaju razvoj i primenu naprednih metoda tretmana i monitoringa kako bi se osigurala bezbednost i kvalitet vode. Napredne metode tretmana i praćenja nude mogućnosti za istraživanje inovativnih pristupa i tehnologija koje su ključne za održavanje visokog kvaliteta vode za piće i zaštitu javnog zdravlja. Ove metode uključuju fizičke i hemijske procese kao i biološke tehnologije, a potpomognute su napretkom senzorske tehnologije i podacima u realnom vremenu za praćenje kvaliteta vode. Metode prečišćavanja vode za piće su skupa rešenja i njihova primena je opravdana u prisustvu određenih zagađivača [4, 5, 6]. Stoga je dostupnost adekvatnih informacija o potencijalnim zagađivačima od ključnog značaja za efikasan rad sistema za prečišćavanje vode za piće. S tim u vezi savremeni senzori omogućavaju kontinualno praćenje kvaliteta vode merenjem hemijskih, fizičkih i bioloških parametara u realnom vremenu. Senzori mogu otkriti različite zagađivače, kao što su teški metali, organska jedinjenja i mikroorganizmi, omogućavajući brzu reakciju kada se otkriju problemi. Integracija IoT uređaja i cloud tehnologija u sisteme za monitoring vode omogućava daljinsko praćenje i analizu podataka sa više lokacija, što doprinosi efikasnom upravljanju resursima i sprečavanju zagađenja vode [4, 5]. Veštačka inteligencija i mašinsko učenje nude mogućnosti za analizu velikih podataka o monitoringu vode, identifikaciju modela i predviđanje potencijalnih rizika za kvalitet vode. Ove tehnologije mogu poboljšati tačnost monitoringa i efikasnost rešenja za upravljanje kvalitetom vode. Napredne metode prečišćavanja i praćenja su od suštinskog značaja za osiguranje bezbednosti i kvaliteta vode za piće. Tehnološke inovacije nude nove mogućnosti za rešavanje današnjih izazova vodosnabdevanja i omogućavanje pristupa čistoj i bezbednoj vodi za stanovništvo na globalnom nivou [5, 6].

## **3. Uticaj pametnih zgrada**

Nastankom pametnih zgrada stvaraju se i preduslovi za optimizaciju i povećanje kvaliteta sistema vodosnabdevanja i kanalizacije u urbanim sredinama. Pametne zgrade koriste napredne sisteme upravljanja vodom koji uključuju senzore i automatizovanu kontrolu potrošnje. Ovi sistemi mogu da identifikuju i spreče curenja, regulišu potrošnju u realnom vremenu i usmeravaju upotrebu reciklirane vode npr. u toaletima, za zalivanje zelenih površina i dr. Time se smanjuje ukupna potrošnja vode u gradu i povećava efikasnost gradskih vodovodnih sistema. Pametne

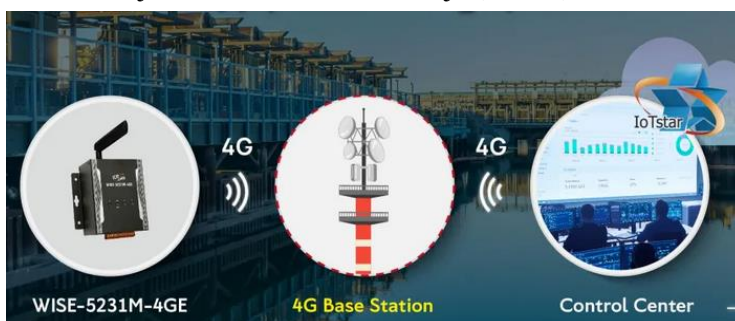
zgrade mogu smanjiti svoju zavisnost od centralnih vodovodnih sistema integracijom tehnologija za sakupljanje i recikliranje kišnice, što smanjuje pritisak na gradske vodovodne i kanalizacione mreže, posebno tokom suše ili visoke potrošnje, i omogućava održivo upravljanje urbanim vodnim resursima. Pametne zgrade takođe mogu uključiti sisteme za predtretman vode čime se poboljšava kvalitet vode čak i pre nego što se koristi u zgradi. Ovo ne samo da obezbeđuje veći kvalitet života stanovnika, već i smanjuje opterećenje gradskih postrojenja za prečišćavanje, jer su otpadne vode koje se vraćaju u sistem manje zagađene. Sistemi u pametnim zgradama mogu se integrisati u širu mrežu pametnih gradskih sistema, razmenjujući podatke i informacije o potrošnji i kvalitetu vode, a time se omogućava gradskim upravnim organima da dobiju korisne informacije za planiranje resursa i reagovanje u vanrednim situacijama u realnom vremenu, što dovodi do efikasnijeg i održivijeg upravljanja gradskim sistemima vodosnabdevanja i kanalizacije. Optimizacijom potrošnje vode, smanjenjem pritiska na infrastrukturu, poboljšanjem kvaliteta vode i integracijom sa sistemima pametnih gradova, pametne zgrade doprinose održivom razvoju i poboljšanju života u urbanim sredinama. Stanovnici gradova imaju veoma značajnu ulogu u održivom upravljanju vodnim resursima, jer njihove svakodnevne navike, svest i angažovanje mogu imati veliki uticaj na potrošnju i kvalitet vode. Učešće građana u programima očuvanja vode, reciklaže i upravljanja otpadnim vodama je od značaja za smanjenje pritiska na gradske vodovodne sisteme. Svest korisnika o uticaju njihovog delovanja na vodne resurse i podrška investicijama u pametne tehnologije i održive prakse mogu pomoći u poboljšanju kvaliteta sistema vodosnabdevanja i kanalizacije. Savremeni gradovi sve više pribegavaju inteligentnim rešenjima za praćenje vodosnabdevanja i distribucije vode kako bi se obezbedilo da građani i industrijska preduzeća imaju pristup potrebnim količinama vode. Ciljevi inteligentnog upravljanja vodnim resursima su dvostruki: minimiziranje gubitaka i rasipanja zbog curenja, kao i racionalno upravljanje potrošnjom. Iako se različite strategije i programi za smanjenje gubitaka vode i upravljanja vodosnabdijevanjem sprovode na mnogim mestima širom sveta, gubici zbog neefikasne distribucije i curenja i dalje predstavljaju ozbiljan problem u sektoru voda. Evropska agencija za životnu sredinu predviđa da će do 2030. godine globalne potrebe za vodom porasti za čak 40 odsto. Savremene smart tehnologije i mobilne aplikacije pružaju moćne alate za uključivanje stanovnika gradova u procese upravljanja vodama, promovisanje održivih navika, podizanje svesti i poboljšanje ukupne efikasnosti gradskih vodovodnih sistema. Mobilne aplikacije omogućavaju korisnicima da prate svoju potrošnju vode u realnom vremenu pružajući korisne informacije koje mogu pomoći u identifikaciji nepotrebne potrošnje ili curenja. Pomenute aplikacije mogu da šalju alarmne poruke kada je potrošnja izuzetno visoka, podstičući brzu reakciju i sprečavajući gubitak vode. Takođe, aplikacije i platforme koje šalju obaveštenja o hitnim slučajevima ili planiranim isključenjima

vode pomažu stanovnicima da se efikasnije pripreme i upravljaju svojim resursima [2]. Na slici 1 prikazan je sistem upravljanja vodama [7].



*Slika 1. Tehnologija sistema upravljanja vodama*  
*Figure 1. Water management system technology*

Ilustracije radi, dat je primer savremenog upravljanja vodnim resursima u gradu Indore u Indiji. Primenom računarstva na ivici, inteligentnih kontrolera ICP DAS serije i IoTstar i IIoT softvera za upravljanje oblačnom infrastrukturom, podaci o sistemima vodosnabdevanja koji se nalaze u pomenutom gradu mogu se bežično preneti u realnom vremenu do centralnog sistema nadzora i upravljanja preko 4G mreže, omogućavajući daljinsko upravljanje i nadzor vodosnabdevanja po celom gradu [8]. Status sistema vodosnabdevanja može se pratiti u bilo kom trenutku preko operatorskih panela, a dobijene informacije se mogu koristiti kao referenca za preventivno održavanje sistema vodosnabdevanja (slika 2).



*Slika 2. Ilustracija nadzora i upravljanja sistemom vodosnabdevanja grada Indore u Indiji*  
*Figure 2. Illustration of supervision and control of the water supply system of the Indore city, India*

#### 4. Upravljanje gubicima vode

Veliki gubici vode u sistemu vodosnabdevanja značajan su problem za vodovodna preduzeća u našoj zemlji, koja nije tako bogata vodnim resursima. Glavni razlog za velike gubitke najčešće je zastarela vodovodna mreža i brojne havarije. Međutim, zamena vodovodne mreže zahteva značajna finansijska sredstva, koja bi vodovodna preduzeća teško mogla sama da obezbede. Da bi se prevazišao problem velikih gubitaka vode, pored zamene zastarele cevovodne mreže i izvođenja neophodnih remontnih radova, potrebno je preduzeti i druge mere vezane za upravljanje curenjima u sistemu. Performanse i profitabilnost sistema vodenog transporta u velikoj meri zavise od toga da se voda transportuje sa što manjim gubicima. Curenje u cevovodima ne znači samo gubitak vode za piće koja je prečišćena uz visoke troškove, već i potencijalni ekonomski gubitak uzrokovan mogućim posledničnim oštećenjima, posebno usled podrivanja zgrada. Zato je cilj otkrivanje i lociranje curenja u transportnim cevovodima. Curenje može prouzrokovati ozbiljne finansijske gubitke sistemu vodosnabdevanja. Npr. proboj od 5 mm pri pritisku od 5 bar generiše godišnje gubitke od oko 12000 m<sup>3</sup>. Uz prosečnu potrošnju od 160 litara dnevno, ova količina je dovoljna da obezbedi godišnju potrebu pijaće vode za oko 200 ljudi. Tipično, aktivnosti upravljanja curenjem su povezane sa upravljanjem pritiskom i pronalaženjem lokacija curenja. Jedan od načina koji se koristi za procenu količine vode izgubljene kroz mrežu je merenje minimalnog noćnog protoka. U ovom slučaju, meri se količina vode koja se po satu isporučuje u mrežu u periodu kada postoji najmanja potražnja, obično između 1 i 4 sata noću. Shodno tome, u delovima mreže gde su curenja dobro kontrolisana, vrednost izmerenog minimalnog noćnog protoka ne bi bila mnogo iznad nule. Što je veći minimalni noćni protok, veća su curenja u sistemu.

##### 4.1. Lokalizacija i detekcija curenja

Budući da preliminarna analiza pruža pregled curenja u mreži u celini, najefikasniji pristup sa ekonomskog aspekta je da se identifikuje i locira 20% najvećih curenja, pošto u principu ona čine 80% gubitaka. Uobičajena strategija je određivanje zona u sistemu vodosnabdevanja, što omogućava da se najozbiljnija curenja izoluju na određeno područje, koja se zatim mogu preciznije proceniti korišćenjem odgovarajuće opreme za detekciju curenja. Strateški instalirani merači protoka dele mrežu na specifične sektore ili zone koje se mogu nezavisno analizirati. Oprema za otkrivanje curenja uključuje osnovne i relativno jednostavne tehnologije kao i one sofisticiranije. Jedan od najjednostavnijih uređaja je zvučni detektor (mikrofon). U praksi se radi o mikrofону koji se postavlja na tlo. Mikrofon pojačava nastali šum kada voda pod pritiskom izlazi iz oštećene cevi. Pronalaženje lokacije sa najglasnijim šumom ukazuje gde je najverovatnije curenje. Prednost digitalnih mikrofona je u tome što razlikuju stvarni šum curenja od okolnih šumova. Postoje

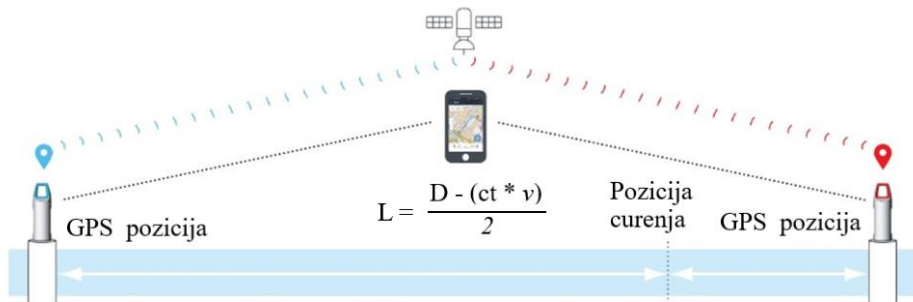
eletronski zvučni detektori za snimanje i pojačavanje zvučnih oscilacija svih vrsta koje nastaju u samoj strukturi koja se ispituje. Takav detektor je Stethophon 04. Oscilatorni senzor omogućava reprodukciju zvuka bez distorzije čak i kad je šum jedva čujan. Mikrofon za tlo se može povezati s detektorom Stethophon 04 radi slušanja zvukova ispod zemlje. Funkcija filtriranja omogućava korisnicima da zvuk slušaju na frekvenciji koja najbolje odgovara njihovom sluhu i šumu koji se upravo sluša. Filtri olakšavaju da se čuju određeni šumovi kao što su duboki zvuci karakteristični za curenje iz plastičnih cevi i više frekvencije iz metalnih cevi. Funkcija zaštite sluha operatera automatski obezbeđuje da se slušalice isključe kada se iznenada pojave jaki šumovi. Radi olakšavanja postupka lociranja curenja, na digitalnom displeju se ne prikazuje samo tekući najniži šum, već i najniži izmereni šum od prethodne lokacije, tako da operater može da vidi da li se približava ili udaljava od izvora zvuka [9]. Pored toga, za merenje tačne digitalne vrednosti u realnom vremenu, nivo šuma se predstavlja grafički.

Snimanjem nivoa šuma za nekoliko lokacija, može se odrediti mesto curenja s velikom preciznošću. Postoje komplikovaniji uređaji - korelatori šuma. U principu, korelacija je otkrivanje curenja na osnovu računarskog procesa za podzemne cevovode s protokom. Šum izazvan curenjem širi se duž cevi i stiže do dva fittinga (ventila, hidranata, protivpožarnih hidranata itd) u različito vreme u zavisnosti od udaljenosti od mesta curenja do kontaktnih tačaka. Koriste se visokoosetljivi senzori koji detektuju rezultujući šum od fittinga, a radio predajnik ih prosleđuje prijemniku (korelatoru) koji određuje lokaciju curenja izračunavanjem vremenske razlike na osnovu različitog rastojanja između kontaktnih tačaka i curenja. Da bi se preciznije odredila lokaciju curenja, potrebno je uzeti u obzir materijal, prečnik i dužinu merenog dela cevovoda. Uz upotrebu korelatora, curenje se može locirati s preciznošću do nekoliko santimetara. Intenzitet pozadinskog šuma nema uticaja na rezultate merenja.

#### *4.2. Funkcija korelacije*

Konvencionalni korelatori zahtevaju da visokokvalifikovani operater pretrage ubaci tražene podatke u softver, uključujući materijal, prečnik i tačnu dužinu svakog segmenta cevi između senzora. Kvalitet rezultata uveliko zavisi od sposobnosti operatera da dobije čist korelacioni vrh koristeći ručno podešavanje opsega filtra. Odluku o tome da li postoji curenje ili ne je na samom operateru i u brojnim slučajevima je ovde reč o umetnosti, a ne nauci. Ukoliko je korelacija bila neuspešna, korisnik nema načina da reprodukuje rezultate kasnije (ili nedostatak istih), a nikako ne može da ih stavi u kontekst sa celom okolinom; rezultati su u suštini pojedinačni i nezavisni. Postoje i savremeni inteligentni lokatori curenja poput EASYSCAN sistema. On otklanja potrebu za ručnim merenjem rastojanja: operater automatski dobija GPS poziciju dva senzora koji mogu ručno da se podešavaju preko ulične

mape samog uređaja (slika 3). Bilo koja otkrivena curenja će se automatski prikazivati na preciznoj geolokaciji na uličnoj mapi. EASYSCAN sadrži „auto filter“ koji je razvijen za visokokvalitetne korelatore Gutermann proizvoda. Čim se senzori programiraju i postave, rezultat korelacije se pojavljuje automatski, pri čemu ne postoji dvosmislenost rezultata. Na kraju merenja EASYSCAN zaključuje da li postoji ili ne postoji curenje. Ukoliko postoji operater uključuje funkciju slušanja pritiskom na dugme i može da preslušava šum curenja na naznačenoj poziciji. Sva merenja, bilo da postoji ili ne postoji curenje, mogu biti snimljena u memoriji uređaja s mogućnošću kasnijeg pregledavanja [10].



*Slika 3. Ilustracija određivanja lokacije curenjaa pomoću EASYSCAN sistema*  
*Figure 3. Determining the location of the leakage with the help of the EASISCAN system*

Nakon tačnog određivanja lokacije curenja uz pomoć funkcije korelacije, akustično slušanje se koristi da bi se potvrdila tačna lokacija iznad površine zemlje. Koristeći GPS koordinate, EASYSCAN aplikacija vodi operatera do očekivane lokacije curenja. Precizna lokacija se može videti na uličnoj mapi. Sve informacije koje sadrže snimke zvukova se mogu sačuvati na mapi, i mogu se kasnije pregledati i ponovo preslušati. Tačna pozicija se locira uz pomoć GPS-a i prikazuje na uličnoj mapi aplikacije. Ukoliko je pronađeno curenje, ono se može snimiti na mapi, zajedno sa originalom zvuka pretrage. EASYSCAN aplikacija ima lako razumljiv i intuitivan interfejs uz pomoć kojeg se može upravljati celokupnim procesom detekcije curenja. Povezana je sa svim sensorima koji su dostupni radio vezom preko EASYSCAN linka tako da nisu potrebni nikakvi dodatni kablovi za povezivanje. Aplikacija kombinuje GPS i podatke sa ulične mape, i time omogućava obiman pregled lokacija i udaljenosti svih mogućih mesta curenja. Merenja koje se snime mogu se sačuvati za kasniji pregled i preslušavanje. Za napredno slušanje tokom rada sa zemnim mikrofonom, postoje opcione slušalice koje se mogu povezati s pametnim telefonom. Softver koristi automatske filtre frenkvencija za postavljanje najboljih parametara, da bi se dobili tačni rezultati. Aplikacija radi na svim Android OS tabletima i pametnim telefonima. Čak i u najvećem drumskom saobraćaju korelacija

se obavlja uspešno. Faktori kao što su dubina cevi, površina, tip tla, različiti vremenski uslovi ne mogu uticati na korelacionu detekciju curenja. Drugi uređaji koji se koriste su akustični logeri. Oni mere intenzitet šuma tokom određenog vremenskog perioda kada se traže najniži nivoi šuma ili mogućih smetnji. Veoma niski nivoi (izmerene vrednosti oko 0) ne ukazuju na curenje. U slučaju curenja, šum je konstantan i u idealnom slučaju to je jedini šum, koji se meri. Logeri se obično postavljaju na površinsku opremu kao što su protivpožarni hidranti i mogu se trajno instalirati ili koristiti po potrebi u kratkim periodima od oko dva dana.

#### *4.3. Upravljanje pritiskom*

Pogodna metoda za smanjenje gubitaka vode zbog curenja je upravljanje pritiskom u vodovodnoj mreži. Poznata je činjenica da postoji direktna veza između pritiska i gubitaka vode. Smanjenje pritiska vode u mreži smanjuje količinu vode koja izlazi kroz bilo koji postojeći otvor ili curenje u cevi. Mere za održavanje pritiska u optimalnim granicama pri maloj potrošnji smatraju se veoma efikasnim i brzo su isplativi, jer takođe doprinose produženju veka cevi. Ovim se omogućava uravnoteženje pritiska unutar mreže, tako da se može opslužiti veći broj klijenata uz vrlo malo povećanje ulazne vode.

Dobro rešenje je korišćenje automatskih ventila za smanjenje pritiska i priključne opreme tako da se pritisak može fleksibilno podešavati uzimajući u obzir fluktuacije kao što je npr. promena ulaznog pritiska, koji se može dodatno smanjiti noću kada postoji mala potrošnja. U situacijama kada podzemni cevovodi imaju višestruka curenja, upravljanje pritiskom može biti među najisplativijim metodama za smanjenje gubitaka, naravno isključujući velika curenja koja zahtevaju intervenciju. Siemens nudi rešenje koje u kontinuitetu prati vrednost protoka u različitim granama vodovodne mreže, čime se značajno smanjuju vreme otkrivanja curenja, troškovi povezani sa ovim procesom, kao i gubici vode. Siemens-ov sistem za nadzor Siva LeakControl zasnovan je na konceptu rešenja u tri koraka. Tokom prvog koraka preduzimaju se mere za automatsko otkrivanje curenja kontinuiranim merenjem protoka u definisanim delovima mreže.

Metoda se zasniva na kompleksnom sistemu za praćenje koji meri protok pomoću ultrazvučnih merača protoka za neinvazivnu ugradnju - Sitrans FST020. Visoka tačnost i ponovljivost merenja su od primarnog značaja. Merač protoka FST020 omogućava tačno merenje čak i pri malim brzinama. Jednostavni za montažu i demontažu, pretvarači nemaju kontakt s pijaćom vodom i mogu se postaviti u zemlju čak i bez okna. Podaci sa merača protoka se prenose do centralne jedinice, gde se prikupljaju i estimiraju, a u slučaju sumnje na curenje generiše se alarmni signal. U drugom koraku, curenje se locira privremenim postavljanjem dodatnih akustičnih senzora. Poslednji korak je tačno određivanje lokacije curenja pomoću korelatora.

## 5. Zaključak

Gubici vode imaju socio-ekonomske i ekološke aspekte. Borba protiv nestašice vode i upravljanje vodnim resursima je sve aktuelnija zbog klimatskih promena. Pored ljudskih potreba, voda je potrebna i za održavanje prirodnih ekosistema. Cene vode već izazivaju napetost u nekim regionima, a nestašica vode bi mogla da dovede do pritiska da se povuče više vode iz prirodnih ekosistema, od kojih neki već pate od nestašice. Tehnološke i digitalne inovacije nude značajne mogućnosti za poboljšanje upravljanja vodnim resursima. Implementacija digitalnih blizanaca, IoT tehnologija, automatizacije i analize podataka mogu značajno da unaprede praćenje, analizu i optimizaciju sistema vodosnabdevanja. Ovi pristupi ne samo da povećavaju efikasnost i smanjuju operativne troškove, već i pomažu u održivom upravljanju vodnim resursima u budućnosti, osiguravajući njihovu dostupnost i kvalitet za sadašnje i buduće generacije. Integracija IoT uređaja i cloud tehnologija u sisteme za monitoring vode omogućava daljinsko praćenje i analizu podataka sa više lokacija, što doprinosi efikasnom upravljanju resursima i sprečavanju zagađenja vode. Veštačka inteligencija i mašinsko učenje nude mogućnosti za analizu velikih podataka o monitoringu vode, identifikaciju modela i predviđanje potencijalnih rizika za kvalitet vode.

Napredne metode prečišćavanja i praćenja su od suštinskog značaja za osiguranje bezbednosti i kvaliteta vode za piće. Tehnološke inovacije nude nove mogućnosti za rešavanje današnjih izazova vodosnabdevanja i omogućavanje pristupa čistoj i bezbednoj vodi za stanovništvo na globalnom nivou. Razvijeni su različiti softverski alati pomoću kojih se može utvrdi verovatnoća curenja, kao i mogući izvori međutim, svi oni zahtevaju dostupnost nekih osnovnih podataka o sistemu vodosnabdevanja, kao što su količina isporučene vode, fakturisana i izmerena potrošnja, kao i prosečni radni pritisak. Tipično, takva softverska rešenja nisu namenjena i ne mogu da zamene obavljanje temeljne provere, ali su dobar način za pokretanje programa za upravljanje curenjem, budući da softver koristi unos za izračunavanje različitih tipova stvarnih i prividnih gubitaka kao i pokazatelja efikasnosti. Gubici preduzeća za distribuciju vode mogu se kontrolisati godišnjom revizijom aktivnosti vodosnabdevanja i sprovođenjem programa za identifikaciju i ograničavanje onih koji loše funkcionišu. Takvi programi uključuju upravljanje curenjima, testiranje tačnosti vodomera i preduzimanje mera protiv zloupotrebe vodnih resursa. Komercijalni gubici nastaju zbog netačnosti vodomera potrošača, nedoslednosti u podacima iz sistema naplate ili neovlašćenog korišćenja. Ovi gubici dolaze na štetu komunalnih prihoda i iskrivljuju podatke o obrascima potrošnje potrošača. Gubici su takođe stvarni (fizički), uključujući vodu koja napušta vodovodnu mrežu zbog curenja ili preliivanja. Za prevazilaženje problema velikih

gubitaka vode, pored zamene zastarele cevovodne mreže i izvođenja neophodnih remontnih radova, potrebno je preduzeti i druge mere vezane za upravljanje curenjima u sistemu. Tipično, aktivnosti upravljanja curenjem su povezane sa upravljanjem pritiskom i pronalaženjem lokacija curenja.

## 6. Literatura

- [1] Stankov S, Razvoj upravljačko nadzornih sistema – izazovi i tendencije, časopis *Bakar*, vol. 46, No. 2, str. 43-56, Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor, 2021.
- [2] Stankov S, Building management – modern tendencies, *Journal Annals of Faculty Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering*, Volume XXI, fascicule 1, pp. 71-78, University politehnica Timisoara, Faculty of engineering Hunedoara, Romania, 2023.
- [3] Stankov S, Sistem nadzora i upravljanja postrojenjem za prečišćavanje vode, časopis *Vodoprivreda*, broj 4-6, vol. 50, str. 319-332, Srpsko društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje, Beograd, 2018.
- [4] Stankov S, Antić D, Petronijević M, Danković N, Automatizacija vodozahvata i mehaničkog prečišćavanja vode u fabrici vode „Mediana 2“, časopis *Procesna tehnika*, broj 2, decembar, godina 30, str. 18-22, Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera Srbije (SMEITS), Beograd, 2018.
- [5] Stankov S, Water Purification in the Process Industry, *Trideset sedmi međunarodni kongres o procesnoj industriji PROCESING 24*, Beograd, 29-31 maj, Zbornik radova, str. 121-140, DOI: 10.24094/ptk.024.121, SMEITS, Društvo za procesnu tehniku Beograd, 2024.
- [6] Stankov S, Big Data in Water Supply and Sewerage System, *journal Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, Tome XV, Fascicule 1 [January-March], pp. 21-25, Faculty of engineering Hunedoara, Romania, 2022.
- [7] <https://waterapp.in/technology/>
- [8] <https://icpdas.blog/2022/06/30/icp-dass-solution-for-cloud-data-visualization-in-water-supply-monitoring-system-india/>
- [9] [https://www.minal.rs/pdf/Stethophon%2004\\_srb\\_web.pdf](https://www.minal.rs/pdf/Stethophon%2004_srb_web.pdf)
- [10] <https://www.dukamam.co.rs/Gutermann/EasyScan.pdf>
- [11] [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/075/104423075/att\\_112125/v1/FST02\\_0\\_IP65\\_NEMA\\_4x\\_OI\\_EN\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/075/104423075/att_112125/v1/FST02_0_IP65_NEMA_4x_OI_EN_en-US.pdf)