



Stanko Stankov<sup>1</sup>

Pregledni naučni rad  
DOI: 10.5937/VIK25333S

## KONCEPCIJA VODA 4.0 – BUDUĆNOST VODOVODNOG SEKTORA

**Rezime:** Voda 4.0 stavlja digitalizaciju i automatizaciju u srž strategije za efikasno, fleksibilno i konkurentno upravljanje vodnim resursima. Koncept uključuje iste osnovne karakteristike i koristi iste termine povezane s revolucijom Industry 4.0, kao što su umrežavanje mašina, procesa, sistema za skladištenje, pametne mreže, Internet stvari i usluga, objedinjujući ih u sistemski kontekst upravljanja vodama. Prilikom implementacije Vode 4.0 korišćenjem sajber-fizičkih sistema postiže se optimalna veza virtuelnih i stvarnih vodnih sistema, pri čemu se planiranje, izgradnja i rad u velikoj meri obavljaju pomoću softvera. Ovo omogućava inteligentno povezivanje korisnika vode (poljoprivrede, industrije i domaćinstava) i komponenti vodovodnog sistema u održivu infrastrukturu sa životnom sredinom i lancem snabdevanja vodom, prateći holistički pristup tokom odvijanja procesa zahvatanja, prečišćavanja i distribucije vode.

**Ključne reči:** Voda 4.0, Internet stvari, digitalni blizanac, prečišćavanje vode, vodosnabdevanje

## CONCEPT WATER 4.0 – the FUTURE of WATER SUPPLY

**Abstract:** Water 4.0 places digitalization and automation at the heart of the strategy for efficient, flexible and competitive management of water resources. The concept encompasses the same basic features and uses the same terms associated with the Industry 4.0 revolution, such as the networking of machines, processes, data storage systems, smart grids, the Internet of Things and services, and brings them together in the systemic context of water management. When implementing Water 4.0 with the help of cyber-physical systems, an optimal connection of virtual and real water systems is achieved, in which planning, construction and operation are largely taken over by software. This enables the intelligent connection of water users (agriculture, industry and households) and components of the water system to form a sustainable infrastructure with the environment and the water supply chain, taking a holistic approach across the entire process of water capture, treatment and distribution.

**Key Words:** Water 4.0, Internet of Things, digital twin, water purification, water supply

### 1. Uvod

Digitalizacija omogućava preduzećima u sektoru vodosnabdevanja i prečišćavanja otpadnih voda da se prilagode klimatskim, demografskim i strukturnim promenama. Fraza - život je nemoguć bez vode, koja zvuči kao kliše, uskoro bi mogla postati sumorna prognoza ukoliko se ostvare sadašnji statistički trendovi. U današnje vreme 3,6 milijardi ljudi se suočava s nedovoljnim pristupom vodi najmanje jedan mesec u toku godine. Nestašica vode

<sup>1</sup> Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, e-mail: [stanko.stankov@elfak.ni.ac.rs](mailto:stanko.stankov@elfak.ni.ac.rs), ORCID: 0009-0002-4264-3111



nije problem samo u sušnim, ruralnim ili nerazvijenim regionima, već sve više pogađa bogate nacije i urbana područja. Prema podacima UN-Water, broj gradskih stanovnika bez bezbedne vode za piće povećao se za više od 50% od 2000. godine [1]. Klimatske promene, urbanizacija i zagađenje iz poljoprivrede i industrije ugrožavaju kvalitet vode u jezerima, rekama i vodonosnim slojevima u mnogim regionima širom sveta, čineći čistu vodu sve oskudnijim i vrednijim resursom. Prema Beloj knjizi kompanije Global Water Intelligence vodovodne mreže su odgovorne za 135 miliona tona emisije CO<sub>2</sub>. Smanjenje ove brojke za 30% izbegavanjem curenja značajno bi smanjilo ugljenični otisak vodovodne infrastrukture [2]. Nove tehnologije mogu pomoći u otkrivanju i lociranju curenja svih vrsta i veličina. Digitalna rešenja pružaju poboljšani monitoring sistema vodovodne i kanalizacione infrastrukture i optimizovan rad postrojenja i instalacija obezbeđujući pri tome usklađenost sa sve strožim regulatornim zahtevima u pogledu kvaliteta pijaće vode i otpadnih voda, kao i bezbednost i kvalitet snabdevanja. Umrežavanjem i integracijom procesnih, inženjerskih i operativnih podataka, ceo tehnički i organizacioni proces i lanac vrednosti vodovodne industrije može se predstaviti u obliku digitalnog modela. Ovo je tzv. digitalni blizanac – model vođen podacima koji uključuje sve projektne i operativne podatke za ceo životni ciklus postrojenja. Digitalni blizanac podržava kontinualnu optimizaciju postupaka projektovanja, rada i održavanja. Inteligentno povezivanje podataka o performansama postrojenja s globalnim podacima kao što su izveštaji o vremenu, u kombinaciji s naprednim metodama analize poput mašinskog učenja, omogućava vodovodnim preduzećima da optimizuju svakodnevni rad i bolje reaguju na neuobičajene događaje (npr. obilne padavine, curenja iz mreže itd). Takva rešenja su već danas dostupna [3, 4]. Jedna od primena digitalnih rešenja je optimizacija potrošnje električne energije pumpnih postrojenja. Pumpanje vode tokom transporta ili tretmana zahteva često pumpne agregate velike snage koji su odgovorni za veliki deo energije potrošene u vodoprivrednom sektoru. Stoga, optimizacija potrošnje energije pumpi može pomoći u značajnom smanjenju troškova i ugljeničnog otiska vodovodnih i kanalizacionih sistema. Pored toga, optimizovan rad instalacija smanjuje opterećenje opreme i povećava raspoloživost i vek trajanja pumpi i pratećih komponenti. Međutim, energetska efikasnost ne bi trebalo da ide na uštrb bezbednosti. Zato moraju da se analiziraju podaci u realnom vremenu, kako iz instalacija tako i iz drugih izvora. Inteligentne aplikacije kao što je npr. SIWA Optim prikupljaju podatke iz sistema za upravljanje procesima i povezuju ih s podacima o komunalnim uslugama, prognozama potrošnje i dr. Aplikacija integriše sve parametre analize koristeći napredne algoritme, što rezultira smanjenjem operativnih troškova uz zaštitu snabdevanja i većoj bezbednosti resursa [5, 6]. Jedan od najčešćih uzroka nastajanja gubitaka vode širom sveta su curenja ili krađe, što predstavlja veliki problem za vodoprivredu. Ovo ne samo da utiče na ekonomske performanse vodovodnih preduzeća, već i povećava pritisak na prirodne vodne resurse. Pored toga, neprijavljena curenja otpadnih voda često su glavni izvor zagađenja i mogu uticati na kvalitet vode i stanje životne sredine. Iz tog razloga vodovodna preduzeća moraju biti u stanju da brzo i s velikom tačnošću otkriju i lociraju curenja. Koristeći tehnologiju sličnu onoj koja se koristi za otkrivanje vode na drugim planetama, sateliti mogu da obezbede slike koje pomažu u identifikaciji curenja u vodovodnim sistemima na Zemlji. Napredni alati kao što je aplikacija SIWA Leak koriste podatke iz postojećih sistema za merenje i automatizaciju i kombinuju različite metode merenja (protok, bilans mase, analiza pritiska, padovi pritiska)



kako bi otkrili curenja s minimalnim kašnjenjem i velikom tačnošću. Pored toga, aplikacije u oblaku kao što je SIWA LeakPlus kombinuju podatke iz mreže za distribuciju vode s računarstvom u oblaku, veštačkom inteligencijom i hidrauličnim simulacijama kako bi otkrili skrivene anomalije koje ukazuju na curenja. Koristeći ove digitalne alate mogu se otkriti curenja brže i preciznije nego ranije, smanjujući vreme i procenat curenja i do 50% [3, 4, 7, 8].

Digitalizacija takođe nudi prednosti u pogledu upravljanja kapacitetom, npr. za kanalizacione sisteme. Ovi sistemi su već pogođeni efektima klimatskih promena. Kada se površinsko oticanje i kanalizacija sakupljaju u kombinovani kanalizacioni sistem, obilne padavine (za koje se predviđa da će se češće javljati zbog klimatskih promena, posebno u Evropi) mogu dovesti do nekontrolisanog ispuštanja kontaminirane vode u prirodne vodene površine. Suše, zauzvrat, dovode do „suvih“ cevi u kojima nastaje sedimentacija, pri čemu se oslobađaju neprijatni mirisi iz kanalizacionog sistema. Da bi se nosili sa obilnim padavinama i nedovoljnim čišćenjem kanalizacije, vodovodnom sistemu je potrebno optimizovano upravljanje pumpnim postrojenjima i adekvatan kapacitet rezervoara.

Inteligentno centralizovano rešenje za upravljanje i kontrolu kanalizacije može omogućiti da se taj kapacitet u kanalizacionoj mreži koristi za rasterećenje rada cevi i izjednačavanje protoka do postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Aplikacije kao što je SIWA Sewer omogućavaju dinamičku onlajn optimizaciju rada kanalizacije na osnovu trenutnih nivoa u cevima, sabirnim i prelivnim rezervoarima. Ventilima i pumpama može se upravljati na osnovu trenutnih prognoza padavina kako bi se optimizovalo upravljanje kanalizacijom i povećala efikasnost prečišćavanja otpadnih voda, čime se sprečava nekontrolisano ispuštanje kanalizacije u životnu sredinu. [9–11].

Kao što ovi primeri pokazuju, digitalizacija može doprineti sigurnijem snabdevanju vodom za piće i odvođenju otpadnih voda, smanjenju potrošnje energije i nižim operativnim troškovima. Integracijom naprednih rešenja i usluga kao što su digitalni blizanci i mašinsko učenje, industrija može imati koristi od aplikacija i digitalnih usluga koje omogućavaju veću transparentnost tokom celog životnog ciklusa postrojenja i lanca vrednosti. Na taj način komunalna preduzeća povećavaju efikasnost i potencijal uštede u mnogim oblastima uz istovremeno obezbeđivanje pouzdanog snabdevanja. Da bi podržao ove napore Simens je razvio paket za industriju vodosnabdevanja i otpadnih voda. Kroz potpunu interoperabilnost aplikacija i sveobuhvatnu i fleksibilnu analizu podataka postrojenja u virtuelnom okruženju MindSphere aplikacija povećava dostupnost informacija tokom celog životnog ciklusa. Paket takođe uključuje Simensove aplikacije za vodu (SIWA), koje su razvijene posebno za industriju vodosnabdevanja i otpadnih voda, kombinujući digitalizaciju sa inženjerskim stručnim znanjem [9].

## 2. IoT tehnologije i protokoli komunikacije u sistemu vodovoda i kanalizacije

Potreba za usvajanjem inovativnih tehnologija kao što su Internet stvari (IoT-Internet of Things), virtuelizacija zasnovana na oblaku i modeliranje postaju sve važniji, posebno u oblasti prečišćavanja otpadnih voda. Upravljanje vodama je odgovoran proces u kome je margina za greške mala. Ako čak i jedan uređaj za praćenje u protokolu komunikacije izgubi



povezanost, to može dovesti do značajnog gubitka vode ili kvara na vodovodnoj mreži. Pouzdanost i izdržljivost komponenata su od najveće važnosti, kao i interoperabilnost između senzora i komunikacionih predajnika. Svi ovi faktori moraju biti prisutni da bi implementacija daljinskog monitoringa bila efikasna. U oblasti prečišćavanja vode, industrijski IoT sistemi nalaze primenu, npr. u praćenju sadržaja hlora u mrežama vodosnabdevanja u realnom vremenu, praćenju promena pritiska u cevima i korišćenju ultrazvučnih senzora koji rano upozoravaju operatere o predstojećim događajima [10, 11]. Sada organizacije u vodovodnom sektoru u velikoj meri zavise od sistema za akviziciju podataka, nadzor i upravljanje (SCADA) za praćenje određenih delova sistema za distribuciju vode. Međutim, praktično postavljanje tačaka za praćenje često ograničava primenu ovih rešenja. Napredak IoT u sektoru voda pomaže u poboljšanju upravljanja vodama obezbeđivanjem bežične automatizacije u celoj vodovodnoj mreži. IoT povezuje sve objekte i uređaje opremljene elektronskim sensorima u mreži i omogućava im da međusobno komuniciraju i izdaju komande aktuatorima za obavljanje različitih funkcija. Implementacija internet konekcije u industrijskim objektima sa disperzovanom distribucijom je posebno izazovan poduhvat. Industrijski IoT (IIoT) uređaji se obično raspoređuju na udaljenim lokacijama kako bi dosegli fizički nepristupačne lokacije i pružili informacije u realnom vremenu (npr. senzori koji se nalaze u udaljenim rezervoarima ili podzemnim šahtovima) [12].

Ovi uređaji moraju biti dovoljno robusni da izdrže korozivne hemikalije, agresivne gasove i tečnosti. Pored toga, da bi operateri mogli da primaju informacije u realnom vremenu u vodovodnom sistemu mogu biti potrebne stotine senzora. Svaki senzor zahteva pouzdano napajanje i komunikacionu mrežu da bi stalno radio. Pristupačnost je takođe izazov u mnogim slučajevima – npr. da bi se izgradila mreža za praćenje vodonik-sulfida ( $H_2S$ ) u kanalizacionom sistemu, senzori moraju biti napajani baterijama koje imaju dug vek trajanja. Ako se to ne učini, dovešće do povećanih troškova održavanja. Nove IoT tehnologije koriste prednosti automatizacije kako bi smanjile potrebu za učesćem operatera. U upravljanju vodama koristi se koncept pametnih senzora instaliranih na različitim tačkama u vodovodnom sistemu. Oni mogu prikupljati podatke i slati ih nazad u sisteme za praćenje. Uz pomoć pametne IoT tehnologije implementirane u više komponenata vodovodne mreže, takođe se može osigurati da se gubici smanje. Implementacija ovog novog tehnološkog pristupa je u nekim slučajevima uslovljena i regulatornim zahtevima. Koncept IoT tehnologija u prečišćavanju vode zasniva se na pouzdanom komunikacionom sistemu koji se koristi za bežično slanje podataka sa fizičkih objekata na računar povezan sa oblakom, koji ima odgovarajući softver za analizu ovih informacija. Putem aplikacija za pametne telefone i tablete koje se povezuju sa oblakom, vodovodna preduzeća mogu pristupiti podacima sa IoT senzora u realnom vremenu. Ovi mobilni uređaji mogu, npr. pružiti korisne informacije o celoj mreži tehničarima, inženjerima i drugom osoblju odgovornom za upravljanje i održavanje postrojenjima za prečišćavanje vode [12, 13].

S pametnim sensorima za detekciju curenja, kvarovi poput pucanja cevi mogu se brzo i lako locirati. Kada se otkrije curenje, senzori generišu trenutno upozorenje i šalju ga na daljinski upravljački panel. Zahvaljujući blagovremenim korektivnim merama, šteta se može sprečiti i ograničiti, čime se smanjuju gubici. IoT tehnologije se takođe koriste u prečišćavanju otpadnih voda putem pametnih senzora za merenje količine preostalih hemikalija



nakon tretmana. Informacije koje pružaju mogu poslužiti za izračunavanje efikasnosti izabranog procesa tretmana i osiguravanje da količina ispuštenih hemikalija ostane u prihvatljivim granicama. Ova mreža senzora i komunikacionih tehnologija za pametno upravljanje vodama omogućava kompanijama da iskoriste prednosti analize velikih podataka, (big data) u oblaku i mobilnog računarstva, što doprinosi praktičnim poboljšanjima i smanjenju troškova. Uvođenje IoT-a u sektor voda omogućava da se operativni centri sistema za upravljanje i praćenje voda nalaze bilo gde [3, 4, 14].

Troškovi upravljanja vodama mogu se smanjiti poboljšanjem iskorišćenja opreme, efikasnosti i produktivnosti, kao i poboljšanjem usluga. Praćenje pritiska u vodovodnim mrežama omogućava sprečavanje havarija i ograničavanje gubitaka i šteta u slučaju pucanja i curenja cevovoda. Operateri vodosnabdevanja mogu koristiti praćenje pritiska kako bi osigurali da vrednost pritiska u sistemu vodosnabdevanja bude što je moguće niža. Pored toga, optimizovani pritisak pomaže u optimizaciji rada pumpnih stanica, što dovodi do smanjenja potrošnje energije. S druge strane, praćenje pritiska obezbeđuje efikasno upravljanje protokom vode i sprečava moguće povećanje količine vode koja se ispušta u kanalizaciju, dovodeći vodovodni sistem u skladu sa zahtevima regulatornih organa. Takođe, moderna rešenja za daljinsko praćenje zasnovana na IoT-u su znatno jeftinija od svojih prethodnika. Druge prednosti IoT tehnologija za vodovodni sektor su efikasnije održavanje i poboljšana usluga.

Odgovarajući programi za analizu podataka mogu značajno pomoći preduzećima u donošenju odluka i izradi preventivnih i prediktivnih strategija održavanja. Ovo može uključivati npr. merenje ukupnog sadržaja hlora u udaljenim rezervoarima kako bi se olakšalo blagovremeno mešanje ili doziranje hemikalija za sprečavanje nitrifikacije, ili određivanje nivoa podzemnih voda i njihove provodljivosti kako bi se pravilno modelirali podzemni vodonosni slojevi i sprečili eventualne havarije. Ove prednosti dodatno povećavaju performanse mreže i pomažu u ostvarivanju dodatnih smanjenja troškova. Efikasnije upravljanje vodovodnom mrežom pruža bolju uslugu korisnicima obezbeđivanjem konstantnog pritiska u sistemu, manje prekida u vodosnabdevanju i pravilno hlorisanje.

### **3. Koncept Voda 4.0 u svetlu Industrije 4.0**

Značaj digitalizacije stalno raste, pri čemu se popularizuju termini kao što su veliki podaci, Internet stvari – IoT, industrijski IIoT i sajber-fizički sistemi (CPS-Cyber-physical systems) [12]. Vodoprivreda stalno traži mogućnosti da se prilagodi promenljivim graničnim uslovima, kao i da pronađe efikasna rešenja za suočavanje s globalnim izazovima. Klimatske promene i urbanizacija, samo dve od važnih pokretačkih snaga u vodovodnom sektoru širom sveta kontinualno povećavaju potražnju za vodnim resursima koji su sve manji.

Voda 4.0 je koncept koji je nedavno prihvaćen kao budućnost vodoprivrede. Ali da bi se objasnila suština ove koncepcije prvo se moraju razmotriti principi Industrije 4.0. Industrija 4.0 je kolektivni termin za tehnologije i koncepte vezane za organizovanje lanaca vrednosti. Na osnovu tehnoloških koncepata sajber-fizičkih sistema, Interneta stvari i Interneta usluga, Industrija 4.0 pomaže u ostvarivanju vizije pametne fabrike. U okviru modularno strukturiranih pametnih fabrika sajber-fizički sistemi prate tekuće procese,



kreiraju virtuelne kopije fizičkog sveta i donose decentralizovane odluke. Ovi sistemi komuniciraju i saraduju jedni s drugima, kao i s ljudima u realnom vremenu putem ИоТ. Концепт Индурије 4.0 заснива се на шест принципа:

- interoperabilnost – sposobnost sajber-fizičkih sistema (tj. uređaje koji učestvuju u izradi određenih elemenata, montažnih traka i proizvoda), ljudi i pametnih fabrika da se povežu i komuniciraju jedni sa drugima putem Interneta stvari i Interneta usluga;
- virtuelizacija – virtuelna kopija pametne fabrike, kreirana povezivanjem podataka sa senzora koji detektuju parametre fizičkog procesa s virtuelnim i simulacionim modelima;
- decentralizacija – sposobnost sajber-fizičkih sistema da sami donose odluke;
- praćenje u realnom vremenu – sposobnost akvizicije i analize podataka i pružanja trenutnih zaključaka;
- orijentacija na usluge – ponuda usluga (sajber-fizičkim sistemima, ljudima i pametnim fabrikama) putem Internet usluga;
- modularnost – fleksibilno prilagođavanje pametnih fabrika promenljivim zahtevima pojedinačnih modula [15, 16].

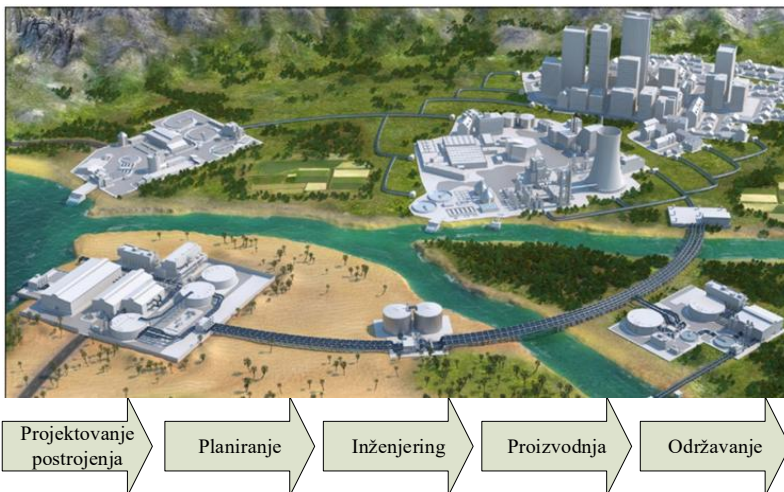
Svi koncepti od Industrije 1.0 do 4.0 odnose se na proizvodnu industriju, koja je relativno jednostavna: nešto se pravi i sklapa korišćenjem odvojenih delova. Na čelu koncepcije Voda 4.0 su digitalizacija i automatizacija, a cilj je efikasno, fleksibilno i konkurentno upravljanje vodnim resursima. Voda 4.0 pruža visok stepen transparentnosti za korisnike, čime pokriva trenutne potrebe i pruža mogućnosti za održive aktivnosti u upravljanju vodama. Implementacija Vode 4.0 putem sajber-fizičkih sistema postiže optimalnu vezu virtuelnih i stvarnih vodovodnih sistema, pri čemu se planiranje, izgradnja i rad u velikoj meri obavljaju pomoću softvera.

#### 4. Realizacija koncepta Voda 4.0

Ostvarivanje koncepta Voda 4.0 (inteligentna vodoprivreda ili jednostavno efikasna eksploatacija vodnih resursa), koji je neophodan za budućnost sektora, može se postići primenom osnovnih principa Industrije 4.0. Međutim, postoji nekoliko prepreka uspešnoj implementaciji pristupa koje treba razmatrati ne na nivou kompanije, već na nivou industrije u celini. Prva od ovih prepreka odnosi se na protokole komunikacije - do sada su vodovodni i kanalizacioni sistemi uglavnom radili sa analognim signalima i Profibus protokolom u većim instalacijama, a budući koncepti su više fokusirani na Ethernet [10, 15, 16].

Veliki broj tehničko tehnoloških celina koji su u sastavu jednog vodovodnog sistema (izvorišta, brane, rečni vodozahvati, bunarska postrojenja, rezervari, pumpna postrojenja, transportni cevovodi i dr. često raspoređeni na velikim prostranstvima i međusobno udaljenim lokacijama) poseduju senzore za merenje raznih procesnih veličina i parametara (nivo, pritisak, protok, temperatura, koncentracija štetnih elemenata poput mangana, gvožđa, arsena i sl, hemikalija – hlora, fluora, aluminijum sulfata). Dostignuća u tehnologiji senzora i bežičnih protokola komunikacije omogućili su primenu IoT u raznim granama industrije. To je slučaj i sa sektorom vodovoda i kanalizacije. Podaci se sa senzora šalju preko bežičnih mreža do baznih stanica. U novije vreme sve veću popularnost i primenu ima LoRa (Long-

Range) protokol. Više stotina miliona IoT uređaja u više od sto zemalja povezano je u LoRa mrežni sistem komunikacije, koji omogućava prenos podataka na veće daljine (do 10 km) uz malu potrošnju energije. Prema predviđanjima preko 50% IoT uređaja koristiće LoRa protokol tokom 2026. godine LoRa radi sa spektrom frekvencijskih opsega. U našoj zemlji koriste se frekvencijski opsezi 433 MHz i 868 MHz, pri čemu nisu potrebne posebne dozvole ako se ne prelazi maksimalna dozvoljena transmisiona snaga. LoRa podržava upotrebu različitih širina propusnih opsega počevši (od 7,8 kHz do 500 KHz) čime je omogućen rad većeg broja nezavisnih mreža u različitim delovima frekvencijskog opsega. Brzina prenosa podataka proporcionalna je širini propusnog opsega. Najveće brzine prenosa postižu se korišćenjem propusnog opsega od 500 KHz, ali u tom slučaju moguć je rad maksimalno dve do tri nezavisne mreže po frekvencijskom opsegu. Treba imati u vidu da domet bežične komunikacije između predajnika i prijemnika zavisi od gubitaka na putanji prostiranja signala. Ovi gubici rastu s kvadratom razdaljine u prostoru bez prepreka, dok u brdskim ili urbanim područjima zbog raznih prepreka gubici rastu znatno brže, sa eksponentom koji je u opsegu od 3 do 5 [12]. Na slici 1 prikazana je konfiguracija vodovodnog sistema prema koncepciji Voda 4.0 [17].



Slika 1. Voda 4.0 – Skica kompleksnog vodovodnog sistema

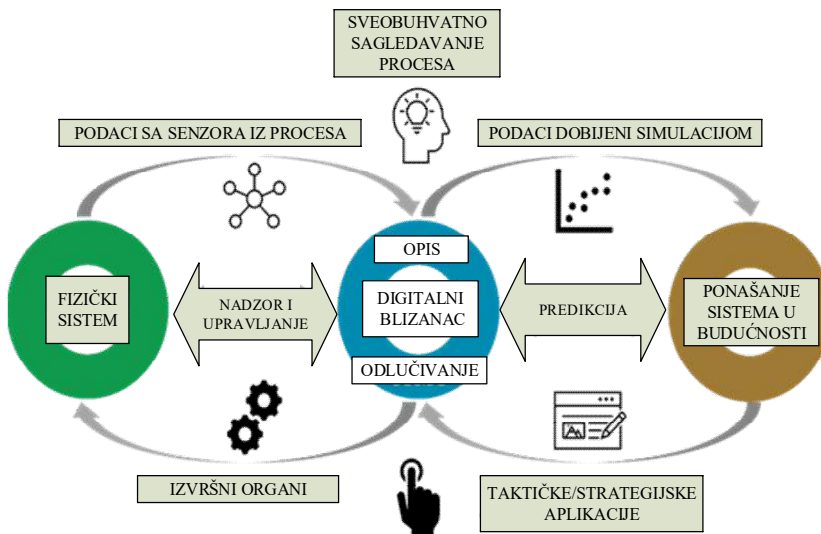
Figure 1. Water 4.0 - Sketch of a complex water supply system

Drugi problem je sajber bezbednost, koja postaje veoma ozbiljno pitanje. Obezbeđivanje potpune bezbednosti je apsolutna neophodnost za svakoga ko koristi cloud ili IoT okruženja. Problem postaje još važniji i relevantniji s obzirom na hakerske napade. Takvi napadi povezani npr. s doziranjem hemikalija, mogu imati ozbiljan uticaj na korisnike vodovodnih usluga ili životnu sredinu [18]. Treći izazov za implementaciju koncepta je kvalitet alata i podataka i eliminisanje situacija u kojima postoji mnogo dostupnih podataka, ali se ne izvlače korisne informacije. Vodoprivreda ima raznovrsnu opremu i uređaje koji generišu ogromnu količinu podataka, koji ne pružaju uvek osnovu za preduzimanje potrebnih akcija. Stoga je neophodno preći na pristup koji obezbeđuje dostupnost bogatih i tačnih

informacija, ali u razumljivom i lako dostupnom formatu. Ovo naravno zahteva ulaganje, instalaciju, upravljanje i pravilno održavanje odgovarajuće opreme. Voda 4.0 nudi ogroman potencijal za optimizaciju upravljanja sistemima vodoprivredne infrastrukture i postizanje racionalnog i efikasnijeg korišćenja resursa (npr. energije, vode, radne snage), u kombinaciji s poboljšanom bezbednošću vodosnabdevanja i prečišćavanja otpadnih voda. Studije pokazuju da je ključna tačka u umrežavanju i automatizaciji vodoprivredne infrastrukture povezana sa obrazovanjem, obukom i veštinama svih zaposlenih koji su uključeni u stvaranju vrednosti. Da bi se ispunili novi zahtevi, trebalo bi utvrditi koje su tačno veštine potrebne i kako usavršavati znanje uključenih subjekata. U budućnosti i iskusno i novozaposleno osoblje moraće da se nosi s novom situacijom, uz potrebu da se obrazovanje i obuka fokusiraju na aktuelne izazove. Implementacija Vode 4.0 je evolutivni proces - postojeće osnovne tehnologije i stručnost moraju se prilagoditi posebnim potrebama vodoprivrede, naročito u međunarodnom kontekstu.

## 5. Digitalni blizanci u sektoru vodosnabdevanja i kanalizacije

U svojim nastojanjima da obezbede pouzdane, stabilne i pristupačne sisteme, kompanije za vodosnabdevanje i kanalizaciju suočavaju se s problemima kao što su rastuće cene električne energije, amortizovana infrastruktura, nestašice i gubici vode, prirodne katastrofe povezane s klimatskim promenama itd. Rešenja za ove probleme su podjednako brojna i raznolika – od javno-privatnih partnerstava do svesti o potrebi očuvanja vodnih resursa i primeni pametnih tehnologija.

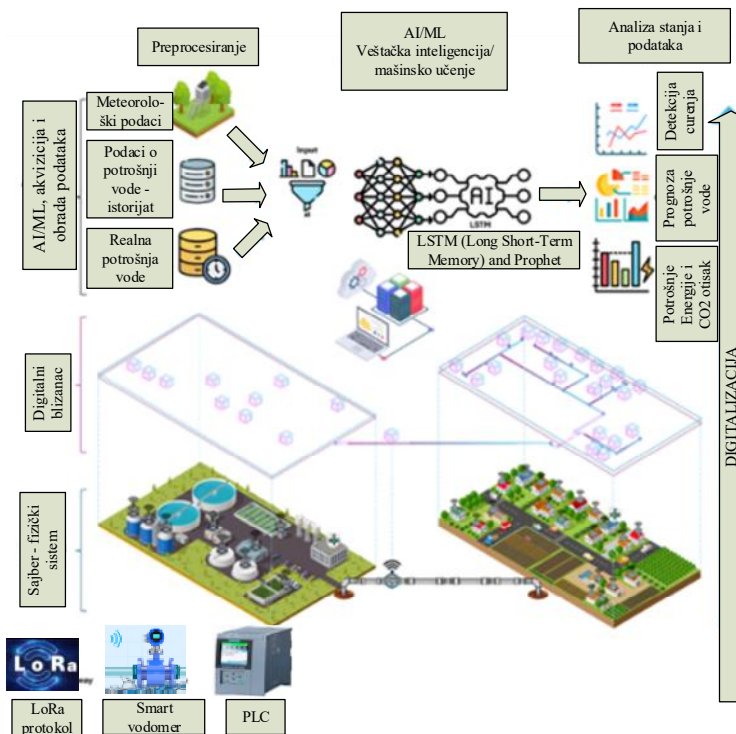


Slika 2. Dijagram digitalnog blizanca, gde leva strana predstavlja operativne aplikacije (sadašnjost), a desna strana taktičke i strateške aplikacije (šta ako i budući scenariji)

Figure 2. Digital twin diagram, with the left side representing operational applications (present) and the right side tactical and strategic applications (what if and future scenarios)



Dostupnost kvalitetnih podataka je od fundamentalnog značaja za donošenje optimalnih odluka. Preduzeća u sektoru vodosnabdevanja i kanalizacije nastoje da pronađu efikasan način kako bi koristili podatke koje već imaju i one koji se redovno prikupljaju, a često su izolovani u nepovezanim IT rešenjima, tabelama i papirnim evidencijama. Digitalizacija podataka i poslovnih procesa koje ona podržava može pomoći pomenutim preduzećima da maksimalno iskoriste podatke prilikom donošenja odluka, povećaju efikasnost i kvalitet usluga koje nude. Jedan od najmoćnijih alata u ovoj oblasti je tehnologija digitalnih blizanaca. Na slici 2 prikazana je uloga digitalnog blizanca u kreiranju savremenog vodovodnog sistema [17].



Slika 3. Digitalni bliznac u konfiguraciji distributivne mreže vodovodnog sistema  
Figure 3. Digital twin in configuration of the distribution network of water supply system

Slika 3 prikazuje ulogu digitalnog blizanca u platformi optimalne distribucije vode [17]. Digitalni bliznac je virtuelni prikaz fizičke opreme, procesa ili sistema. Kreiranje digitalnog blizanca sistema za vodosnabdevanje i kanalizaciju podrazumeva integraciju virtuelnih inženjerskih modela s realnim modelima i GIS podacima. Pored toga, digitalni blizanci se kontinualno ažuriraju operativnim podacima iz SCADA sistema, senzora, merača itd. To je ono što razlikuje digitalne blizance od statičkih 3D modela. Krajnji rezultat je inteligentan i povezan model digitalne infrastrukture koji podržava planiranje, projektovanje, izgradnju i rad pametnih vodovodnih i kanizacionih mreža. Digitalni blizanci sistema za vodo-



snabdevanje i kanalizaciju pružaju tačne i pouzdane podatke koje preduzeća mogu koristiti za analize „šta ako“ i za donošenje odluka tokom životnog ciklusa sistema - od dugoročne prognoze npr. kapaciteta do neposrednog praćenja operativnih parametara i reagovanja u slučaju havarija. Uvođenjem modela hidrauličnih karakteristika sistema i kvaliteta vode koji odražava postojeće uslove, digitalni blizanci omogućavaju simulaciju događaja kao što su kvarovi cevovoda, nestanak struje, požari, zagađenje itd. Kao rezultat toga, vodovodna preduzeća mogu analizirati otpornost svojih sistema i proceniti odgovarajuće rizike. Digitalni blizanci efikasno koriste podatke iz različitih sistema upravljanja, čime podržavaju strateško upravljanje opremom na osnovu procene rizika. Ove prednosti doprinose optimizaciji troškova, produžavanju veka opreme i davanju prioriteta određenim projektima u cilju poboljšanja rada. Kontinualno ažuriranje digitalnih blizanaca s najnovijim operativnim podacima pomaže komunalnim preduzećima da lociraju potencijalna curenja i smanje gubitke vode.

Većina vodovodnih preduzeća već ima hidraulični model svog sistema, koji se koristi za planiranje i projektovanje. Integracijom hidrauličnih modela s podacima iz SCADA sistema digitalni blizanci omogućavaju određivanje svojstava sistema vodosnabdevanja koja se ne mogu direktno meriti. Ovo pruža potpuniji uvid u sistem, što može pomoći u povećanju bezbednosti i smanjenju havarija (npr. pucanja cevovoda).

## 6. Zaključak

S pojavom digitalizacije sve više procedura, alata i drugih resursa postaje dostupno, što doprinosi novoj eri u upravljanju vodama. Kao i druge industrije i vodoprivreda je u mogućnosti da dodatno poboljša svoju buduću konkurentnost savremenom automatizacijom. Kroz povećanu implementaciju IT tehnologija, senzora i aplikacija za modeliranje, stvaraju se mogućnosti za bolje razumevanje sistema upravljanja vodama u smislu njihove složenosti. Integracija procesa planiranja i rada uz pomoć inteligentnog hardvera, softvera i nezavisne razmene informacija (od potrošača do pojedinačnih komponenti pa sve do preduzeća za vodosnabdevanje i kanalizaciju) postaje sve neophodnija za postizanje visoke produktivnosti i efikasnog korišćenja resursa. Internet stvari i usluga takođe igra važnu ulogu u ovim sistemima u realnom vremenu, jer podatke o procesima i karakteristikama vezanim za vodu čine trajnijim, dostupnijim i upotrebljivijim kad god i gde god je potrebno. Takođe je moguće dalje umrežiti druge podatke (npr. kratkoročne i dugoročne informacije o vremenskim prilikama) kako bi se pripremile prognoze koje se mogu uneti u upravljačke algoritme za procese u vodovodnom sektoru. Važna karakteristika sadašnje faze razvoja kako Industrije 4.0 tako i Vode 4.0 je spajanje realnih i virtuelnih modela u sajber-fizičke sisteme. Ovo se ogleda u povezivanju senzora, računarskih modela i kontrolera u realnom vremenu sa stvarnim vodovodnim sistemima korišćenjem pametnih mreža i intraneta/interneta. Odvija se povezivanje procesa, mera i tehnologija u IT sistem, pri čemu se uključuju klasične, proverene metode, kao i novi, inovativni pristupi. Mogu se implementirati i kao centralizovana i kao distribuirana rešenja. Jedini preduslov je postojanje razmene podataka i informacija, koje se beleže onlajn ili unose oflajn (ručno) u digitalni model određenog sistema, kao i interakcije između virtuelnog i realnog sistema. Voda 4.0 je interakcija inovativnih, sadašnjih i budućih mrežnih tehnologija, u kojima se voda posmatra kao prirodni



resurs, proizvod ili sirovina, s ciljem održivog upravljanja, korišćenja i smanjenja rizika, uzimajući u obzir interese svih direktnih i indirektnih korisnika i zainteresovanih strana. Umrežavanje sistema upravljanja i merenja s rešenjima za analizu podataka i modeliranje dovodi do dobijanja informacija koje podržavaju ili pružaju osnovu za donošenje odluka, sprovođenje mera i praćenje njihovog funkcionisanja u vodovodnom sistemu. Pored toga, informacije prikupljene tokom vremena mogu pružiti nove načine za obezbeđivanje efikasnijeg korišćenja vode u različitim oblastima primene. Ovo čini Vodu 4.0 holističkim pristupom koji procenjuje digitalne podatke i koristi ih za predviđanja, oslanjajući se na podatke iz drugih tehničkih oblasti, omogućavajući tako donošenje održivih odluka. Koncept Voda 4.0 nije statičan, već prati tehnički razvoj i koristi nove mogućnosti koje se pružaju. Izbor prave komunikacione mreže takođe nije lak, zbog broja konkurentskih mreža dostupnih na tržištu. Iako moderne IIoT tehnologije čine daljinsko praćenje udaljenih lokacija pristupačnijim u poređenju sa zastarelim telemetrijskim rešenjima, investicija u njih je značajna. Pozitivna činjenica je da je period povrata investicije otprilike godinu dana. Međutim, sama onlajn infrastruktura predstavlja pretnju po bezbednost opreme vodovodnih kompanija i povezana je s rizikom od zloupotreba. Internet stvari može biti jedan od najvažnijih pristupa u razvoju upravljanja komunalnim sistemima, što će doprineti efikasnijem korišćenju vodnih resursa. IoT rešenja za praćenje i upravljanje vodom pružaju mogućnost prikupljanja podataka sa velikog broja uređaja, analize i slanja podataka ili obrađenih rezultata različitim aplikacijama ili drugim uređajima, što omogućava optimizaciju procesa upravljanja i sprečavanje ili ograničavanje mogućih havarija.

## 7. Literatura

- [1] Stankov S, Control of Pumping Stations in Water Supply Systems, *Voda i sanitarna tehnika*, godina XLI, br. 3-4, juni–septembar 2011, str. 47-54, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo Beograd, 2011.
- [2] <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:782cf8bb-2fe7-4232-9b0e-49a7fbcc2b64/vrws-b10003-00onepagerdigi-waterleakenus-144.pdf>
- [3] [https://www.iwra.org/wp-content/uploads/2024/03/Bora-Helvaci\\_IWRA-digital-transformation.pdf](https://www.iwra.org/wp-content/uploads/2024/03/Bora-Helvaci_IWRA-digital-transformation.pdf)
- [4] <https://www.vertexgrp.com/solutions/water/ai-monitoring/>
- [5] <https://plm.sw.siemens.com/en-US/insights-hub/>
- [6] <https://www.siemens.com/us/en/industries/water.html>
- [7] <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/digital-applications-and-services-for-process-industries.html>
- [8] <https://www.youtube.com/@SiemensKnowledgeHub>
- [9] <https://www.sw.siemens.com/en-US/>
- [10] Stankov S, Sistem nadzora i upravljanja postrojenjem za prečišćavanje vode, *Vodoprivreda*, broj 4-6, vol. 50, str. 319-332, Srpsko društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje, Beograd, 2018.
- [11] 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, Izdavač: SMEITS, Društvo za procesnu tehniku Beograd, 2024.



- [12] Stankov S, Modern Concepts of Supervisory Control Systems Based on PLC and SCADA Configuration, Part of the book *New Trends in Engineering Research 2024*, vol. 1216, pp. 289–313, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-78635-8\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-031-78635-8_24), Publisher: Springer, Cham. 2024.
- [13] [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-78635-8\\_24](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-78635-8_24) Stankov S: Savremen način upravljanja procesom proizvodnje mineralne vune, časopis *Hemijska industrija*, vol. 67, br. 2, 2013, str. 375 - 384, DOI: 10.2298/HEMIND120428069S, Izdavač: Institut SANU, Beograd, Srbija, 2013. <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0367-598X/2013/0367-598X1302375S.pdf>
- [14] 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, University Politehnica Timisoara, Faculty of engineering Hunedoara, Romania, 2022. <https://acta.fih.upt.ro/-pdf/2022-1/ACTA-2022-1-03.pdf>
- [15] Stankov S, Automation and Industry 4.0, *Journal Acta Technica Corviniensis–Bulletin of Engineering*, Tome XIV, Fascicule 2 [April–June], pp. 59-63, University Politehnica Timisoara, Faculty of engineering Hunedoara, Romania, 2021. <https://acta.fih.upt.ro/pdf/2021-2/ACTA-2021-2-10.pdf>
- [16] Stankov S, Development of Automation in the Direction of Hyperautomation, *Journal Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, Volume XXI, fascicule 1, pp. 179-184, University politehnica Timisoara, Faculty of engineering Hunedoara, Romania, 2024. <https://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2024/ANNALS-2024-1-23.pdf>
- [17] [https://germanwaterpartnership.de/wp-content/uploads/2019/05/GWP\\_Brochure\\_Water\\_4.0.pdf](https://germanwaterpartnership.de/wp-content/uploads/2019/05/GWP_Brochure_Water_4.0.pdf)
- [18] Stankov S, Security and protection of supervisory control systems in light of industry 4.0, *19th International Conference “Man and Working Environment” - Occupational and Environmental Safety Engineering & Management (OESEM)*, Proceedings, Faculty of Occupational Safety, University of Niš, Niš, November, pp. 299–306, 24–25. 2022. <https://www.znrfak.ni.ac.rs/oesem2022/assets/Proceedings/OESEM%202022%20Conference%20Proceedings.pdf>