

PRIMJENA SAVREMENIH TEHNOLOGIJA U MONITORINGU VODNIH RESURSA/ APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES IN WATER RESOURCES MONITORING

Aida Varupa¹, Selma Dogan¹, Krsto Mijanović¹

¹ Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku, Ekološki fakultet Travnik, Aleja Konzula –
Meljanac bb, Travnik, BiH

e-mail: aida.varupa@iu-travnik.com, dselma429@gmail.com, krsto.mijanovic@unmo.ba

Stručni članak

<https://www.doi.org/10.58952/zr20261501214>

UDK / UDC 556.18:004:502.3

Sažetak

U radu je prikazana primjena savremenih tehnologija u monitoringu kvaliteta vodnih resursa, s osvrtnom na rijeku Lašvu. Istaknuta je važnost fizičko-hemijskih parametara kao osnovnih pokazatelja kvaliteta vode i stanja vodenih ekosistema. Tradicionalni pristupi monitoringu zasnovani na povremenom uzorkovanju imaju određena ograničenja, zbog čega se u savremenoj praksi sve više primjenjuju digitalne tehnologije poput IoT senzora i GIS sistema. IoT senzori omogućavaju kontinuirano prikupljanje podataka u realnom vremenu, dok GIS sistemi omogućavaju njihovu prostornu analizu i vizualizaciju. U radu je prikazana mogućnost primjene ovih tehnologija na primjeru rijeke Lašve, gdje bi se njihovom integracijom unaprijedilo praćenje kvaliteta vode i identifikacija izvora zagađenja. Također su predstavljeni primjeri primjene savremenih tehnologija u Bosni i Hercegovini kroz projekte monitoringa voda, što ukazuje na njihov sve veći značaj u zaštiti okoliša i održivom upravljanju vodnim resursima.

Ključne riječi: monitoring voda, IoT senzori, GIS sistemi, kvalitet vode, održivi razvoj

JEL klasifikacija: Q25, Q56, O33

Abstract

This paper presents the application of modern technologies in the monitoring of water resources, with a focus on the Lašva River. The importance of physico-chemical parameters as key indicators of water quality and the state of aquatic ecosystems is emphasized. Traditional monitoring approaches based on periodic sampling have certain limitations, which is why modern practice increasingly relies on digital technologies such as IoT sensors and GIS systems. IoT sensors enable continuous real-time data collection, while GIS systems allow spatial analysis and visualization of collected data. The paper highlights the potential application of these technologies in the case of the Lašva River, where their integration could improve water quality monitoring and the identification of pollution sources. Examples of the application of modern technologies in Bosnia and Herzegovina are also presented, indicating their growing importance in environmental protection and sustainable water resource management.

Keywords: water monitoring, IoT sensors, GIS systems, water quality, sustainable development
JEL classification: Q25, Q56, O33

UVOD

Kvalitet vode predstavlja skup fizičkih, hemijskih i bioloških karakteristika koje određuju njenu upotrebljivost za piće, poljoprivredu, industriju i očuvanje ekosistema. Ove karakteristike uključuju pH vrijednost, temperaturu, elektroprovodljivost, mutnoću, kao i prisustvo različitih hemijskih supstanci poput nitrata i fosfata.

Fizičko-hemijski parametri vode su osnovni indikatori njenog stanja, jer direktno ukazuju na prisustvo zagađenja i promjene u prirodnoj ravnoteži vodenih ekosistema. Povećane koncentracije hranjivih materija mogu dovesti do eutrofikacije, što uzrokuje prekomjerni rast algi i smanjenje količine rastvorenog kisika u vodi.

Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji, voda za piće mora ispunjavati stroge kriterije kvaliteta kako bi bila bezbjedna za ljudsku upotrebu i ne smjela sadržavati štetne koncentracije hemijskih i mikrobioloških zagađivača.

Tradicionalni sistemi monitoringa zasnivaju se na povremenom uzorkovanju i laboratorijskoj analizi, što ne omogućava kontinuirano praćenje promjena u realnom vremenu. Zbog toga se u savremenoj praksi sve više koriste digitalne tehnologije poput IoT senzora i GIS sistema, koje omogućavaju efikasnije upravljanje vodnim resursima.

1. ZNAČAJ MONITORINGA VODENIH EKOSISTEMA

Monitoring kvaliteta vode je sistematsko prikupljanje, analiza i praćenje uzoraka vode kako bi se procijenio njihov kvalitet, utvrdilo prisustvo zagađivača i pratile promjene tokom vremena. To je ključan proces za zaštitu životne sredine i zdravlja ljudi, koji obuhvata fizičko-hemijske i bakteriološke analize.⁶⁷

Prema stručnim materijalima sistema voda u BiH, monitoring omogućava pravovremeno uočavanje promjena u kvalitetu vode i predstavlja osnovu za donošenje ekoloških mjera zaštite.⁶⁸

Značaj monitoringa ogleda se u:

- zaštiti zdravlja ljudi
- očuvanju biodiverziteta
- održivom upravljanju vodnim resursima
- identifikaciji izvora zagađenja

Antropogeni uticaji, poput industrijskih i poljoprivrednih aktivnosti, značajno utiču na promjene u hemijskom sastavu voda.

Monitoring stanja voda podijeljen je u tri osnovne cjeline u skladu s ciljevima: nadzorni monitoring, operativni monitoring i istraživački monitoring.

Nadzorni monitoring koji ima ciljeve

- ocjenjivanja dugoročnih promjena prirodnih uvjeta
- ocjenjivanja dugoročnih promjena uzrokovanih intenzivnim ljudskim aktivnostima
- planiranja budućeg monitoringa
- dopune i vrednovanje postupka ocjene uticaja ljudskih aktivnosti na stanje voda.

Operativni monitoring s ciljevima

- utvrđivanje stanja površinskih i podzemnih vodnih tijela za koja je utvrđen rizik nepostizanja ciljeva zaštite voda,
- utvrđivanje stanja površinskih voda u koje se ispuštaju prioritetne tvari i stanja podzemnih voda radi utvrđivanja znatno i trajno rastućih trendova koncentracija onečišćujućih tvari uslijed uticaja ljudskih aktivnosti,

⁶⁷ <https://ba.huihuan-tech.com/blog/what-is-water-quality-monitoring-1445205.html>

⁶⁸ Agencija za vodno područje rijeke Save (BiH), *Informacioni sistem voda i monitoring*, <http://www.voda.ba>

- utvrđivanje bilo kakvih promjena u stanju takvih vodnih tijela koja su rezultat provedbe Programa mjera.

Istraživački monitoring se provodi

- kad razlozi prekoračenja graničnih vrijednosti pokazatelja za ocjenu stanja voda unutar DPSIR1 ciklusa nisu poznati,
- kad nadzorni monitoring ukazuje na malu vjerojatnost da određeno tijelo površinske vode postigne ciljeve zaštite voda, a operativni monitoring još nije uspostavljen, kako bi se utvrdili razlozi nepostizanja ciljeva zaštite voda,
- radi utvrđivanja veličine i uticaja iznenadnog onečišćenja, te
- radi osiguranja informacija za uspostavljanje programa mjera za postizanje ciljeva zaštite voda i određivanja programa posebnih mjera za otklanjanje posljedica iznenadnih onečišćenja.⁶⁹

2. SAVREMENE TEHNOLOGIJE U MONITORINGU VODA

Informacioni sistem voda omogućava sistematično i kontinuirano skladištenje i obradu podataka, pregled, analizu, modeliranje i prezentaciju prostornih i ostalih informacija iz sektora voda u cilju ostvarenja strateških, planskih i operativnih zadataka od značaja za upravljanje vodama.⁷⁰

Na osnovu ovakvih sistema razvijaju se savremeni pristupi monitoringu koji uključuju primjenu digitalnih tehnologija i kontinuirano praćenje stanja voda.

2.1. IOT SENZORI

Senzori predstavljaju uređaje koji detektuju promjene u okolini, kao što su temperatura, svjetlost ili hemijski sastav, te ih pretvaraju u mjerljive signale koji se mogu dalje analizirati.

U okviru IoT sistema, senzori imaju ključnu ulogu jer omogućavaju prikupljanje podataka iz okoline i njihovo slanje putem mreže drugim uređajima ili sistemima na obradu i analizu.⁷¹

Primjena IoT sistema u upravljanju vodnim resursima omogućava optimizaciju korištenja vode i efikasnije praćenje stanja vodnih ekosistema. Na temelju online sustava praćenja izgrađenog putem IoT, podaci o vodnom okolišu s prostornim atributima koriste se kao objekt istraživanja.

U monitoringu voda, IoT senzori se koriste za kontinuirano mjerenje parametara kao što su:

- pH vrijednost
- temperatura
- elektroprovodljivost
- koncentracija hemijskih supstanci

Ovi sistemi omogućavaju:

- stalni nadzor vodnih sistema
- brzu detekciju zagađenja
- smanjenje potrebe za čestim terenskim uzorkovanjem

2.1. GIS SISTEMI

Geografski informacioni sistem (GIS), prikuplja, smješta i analizira podatke koji su povezani s lokacijom na kojoj se oni nalaze, upravlja tim podacima i vrši njihov prikaz na svim medijima (monitori, štampa, web).⁷²

Geografski informacijski sustav (GIS) prema definiciji NCGIA (National Center for Geographic Information and Analyses, USA) je sustav hardware-a, software-a i procedura koje omogućuju menadžment, obrade, analize, modeliranje, predstavljanje i prikaz georeferenciranih podataka sa svrhom rješavanja kompleksnih problema planiranja i gospodarenja prostorom.

⁶⁹ Institut za vode Josip Juraj Strossmayer, <https://institutjjs.hr/>

⁷⁰ Agencija za vodno područje rijeke Save (BiH), *Informacioni sistem voda i monitoring*, <http://www.voda.ba>

⁷¹ CARNET Edutorij, *Senzori*, obrazovni materijal

⁷² Kantonalni zavod za urbanizam i prostorno uređenje ZDK-a, <http://www.urbzdk.ba/>

GIS je skup alata koji omogućuju pojednostavljenje opisa stvarnog svijeta i postavljanje takvih podataka u preglednu prostornu bazu podataka (Biondić R., 2010) ⁷³

GIS se koristi i u hidrogeologiji. Procesi otjecanja u slivovima svojstvenog su prostornog karaktera pa se GIS koristi kao alat za organiziranje podataka i formuliranje hidroloških modela. Hidrologija površinskih voda je područje za koje se GIS najviše primjenjuje u vodnim resursima u zaštiti okoliša.

U oblasti zaštite voda, GIS se koristi za:

- mapiranje zagađenja
- analizu riječnih tokova
- identifikaciju kritičnih zona

Tabela 1. Poređenje klasičnog i savremenog monitoringa voda
 Izvor (autor - na osnovu analizirane literature)

Karakteristika	Klasični monitoring	Savremeni monitoring (IoT + GIS)
<i>PRIKUPLJANJE PODATAKA</i>	<i>POVREMENO UZORKOVANJE</i>	<i>KONTINUIRANO</i>
<i>OBRADA PODATAKA</i>	<i>LABORATORIJSKA ANALIZA</i>	<i>AUTOMATSKA DIGITALNA OBRADA</i>
<i>VRIJEME REAKCIJE</i>	<i>SPORO</i>	<i>BRZO</i>
<i>PROSTORNA ANALIZA</i>	<i>OGRANIČENA</i>	<i>GIS ANALIZA I MAPIRANJE</i>
<i>DUGOROČNI TROŠKOVI</i>	<i>VEĆI</i>	<i>MANJI</i>
<i>PRECIZNOST</i>	<i>OGRANIČENA</i>	<i>VEĆA</i>

3. STUDIJA SLUČAJA - RIJEKA LAŠVA

U ranijem istraživanju provedena je analiza fizičko-hemijskih karakteristika vode rijeke Lašve na tri lokaliteta u području Travnika (ruralna, industrijska i urbana zona).

Analizirani parametri uključivali su:

- pH vrijednost
- temperaturu
- elektroprovodljivost
- TDS
- nitrate
- fosfate

Rezultati tih analiza ukazuju na varijacije u kvalitetu vode duž riječnog toka, što predstavlja osnovu za razmatranje primjene savremenih sistema monitoringa.

Klasični pristup analizi daje važne podatke o trenutnom stanju vode, ali ne omogućava kontinuirano praćenje promjena.

Primjena IoT senzora na rijeci Lašvi omogućila bi kontinuirano praćenje ključnih fizičko-hemijskih parametara u realnom vremenu.

Takav sistem bi omogućio:

- rano upozorenje na zagađenje
- praćenje promjena tokom vremena

⁷³ Biondić, R. (2010). Uvod u GIS. Skripta iz predmeta geografski informacijski sustav. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet. Str. 1.

- bolju kontrolu izvora zagađenja
GIS sistemi bi omogućili prostornu analizu podataka i identifikaciju kritičnih tačaka zagađenja duž riječnog toka.
Integracijom IoT i GIS tehnologija omogućava se modernizacija upravljanja vodnim resursima i unapređenje zaštite okoliša.

4. PRIMJENA SAVREMENIH TEHNOLOGIJA U MONITORINGU VODNIH RESURSA U BOSNI I HERCEGOVINI

4.1. GEOGRAFSKI INFORMACIONI SISTEMI U SEKTORU VODA U BIH

Razvoj Geografskog informacionog sistema (GIS) u sektoru voda u Bosni i Hercegovini predstavlja dio šireg procesa uspostave jedinstvenog Informacionog sistema voda. Ovaj sistem je razvijen s ciljem unapređenja upravljanja vodnim resursima kroz sistematsko prikupljanje, obradu, analizu i prezentaciju prostornih podataka.

Informacioni sistem voda u BiH omogućava integraciju podataka iz različitih izvora, uključujući monitoring vodnih tokova, hidrometeorološke podatke i podatke o kvalitetu voda. Poseban značaj GIS-a ogleda se u mogućnosti prostorne analize i vizualizacije podataka, što olakšava planiranje i donošenje odluka u sektoru voda.

Razvoj ovog sistema podržan je kroz međunarodne projekte i programe, uključujući EU CARDS program i Svjetsku banku, kao i kroz usklađivanje sa evropskim direktivama u oblasti voda, posebno Okvirnom direktivom o vodama Evropske unije. GIS aplikacije u okviru sistema omogućavaju unos, ažuriranje i pregled podataka, kao i razmjenu informacija između institucija i korisnika. Na taj način se osigurava efikasnije upravljanje vodnim resursima i bolja zaštita vodenih ekosistema.⁷⁴

4.2. PRIMJENA IoT I SAVREMENIH TEHNOLOGIJA U BIH – SMART-WATER PROJEKAT

U Bosni i Hercegovini primjena savremenih tehnologija u monitoringu vodenih ekosistema realizuje se kroz regionalne projekte, među kojima se izdvaja projekat **SMART-Water**. Ovaj projekat obuhvata Bosnu i Hercegovinu, Hrvatsku i Crnu Goru, a fokusiran je na unapređenje praćenja kvaliteta voda u jezerskim ekosistemima.

U okviru projekta planira se uspostava kontinuiranog monitoringa kvaliteta vode korištenjem klasičnih metoda uzorkovanja, ali i savremenih tehnologija kao što su umjetna inteligencija, geoprostorni senzori i satelitski podaci. Na ovaj način omogućava se obrada podataka u realnom vremenu i predviđanje potencijalnih promjena u stanju vodenih ekosistema.

Pilot lokacija u Bosni i Hercegovini je Deransko jezero u Parku prirode Hutovo blato, dok se u Hrvatskoj i Crnoj Gori monitoring provodi na Vranskom i Skadarskom jezeru. Projekat ima za cilj jačanje saradnje institucija, razmjenu podataka i unapređenje upravljanja vodnim resursima kroz primjenu savremenih digitalnih tehnologija.⁷⁵

Glavni rezultati SMART-Water projekta su:

- Baza podataka o kvaliteti unutrašnjih voda ažurirana za tri istražena područja
- Zajednički plan aktivnosti za prikupljanje i obradu podataka za upravljanje kvalitetom unutrašnjih voda
- Online proizvod daljinskog satelitskog praćenja – AI/ML prediktivni model za praćenje kvalitete unutrašnjih voda u gotovo stvarnom vremenu
- Web GIS platforma s geoprostornim podacima za tri istražena područja

⁷⁴ Agencija za vodno područje rijeke Save (BiH), *Informacioni sistem voda i monitoring*, <http://www.voda.ba>

⁷⁵ <https://federalna.ba/rozie-projekt-smart-water-omogucit-ce-kontinuiran-monitoring-pracenja-kvalitete-vode-cc9pk>

- Smjernice za implementaciju tehnika praćenja kvalitete vode uslijed klimatskih promjena
- Edukacija javnosti i obuka za nadležna tijela jezera za nove postupke praćenja i inspekcije.⁷⁶



Slika 1. Park prirode Hutovo Blato

⁷⁶ JP Park prirode Hutovo Blato, <https://hutovo-blato.ba/smart-water/>

ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenog istraživanja može se zaključiti da savremene tehnologije imaju sve značajniju ulogu u monitoringu i upravljanju vodnim resursima. Primjena IoT senzora i GIS sistema omogućava kontinuirano praćenje kvaliteta vode, bržu obradu podataka i efikasnije donošenje odluka u zaštiti vodenih ekosistema.

Klasične metode monitoringa, iako i dalje važne, imaju određena ograničenja jer ne omogućavaju stalno praćenje promjena, što dodatno naglašava potrebu za uvođenjem savremenih digitalnih rješenja.

Primjeri iz Bosne i Hercegovine, uključujući aktivnosti u Park prirode Hutovo Blato i projekat SMART-Water, pokazuju da se moderni sistemi monitoringa već primjenjuju u praksi, te doprinose unapređenju upravljanja vodnim resursima i zaštiti okoliša.

Rezultati ranijih istraživanja na rijeci Lašva potvrđuju značaj kontinuiranog praćenja kvaliteta vode i ukazuju na potrebu integracije savremenih tehnologija u cilju preciznijeg i efikasnijeg monitoringa.

U budućnosti se očekuje šira primjena IoT i GIS sistema, što će doprinijeti održivom upravljanju vodnim resursima i očuvanju biodiverziteta.

Ovaj rad može poslužiti kao osnova za dalja istraživanja i implementaciju savremenih tehnologija u monitoringu voda u Bosni i Hercegovini.

LITERATURA

1. Agencija za vodno područje rijeke Save (BiH), Informacioni sistem voda i monitoring, <http://www.voda.ba>
2. Biondić, R. (2010). Uvod u GIS. Skripta iz predmeta geografski informacijski sustav. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet. Str. 1.
3. CARNET Edutorij, Senzori, obrazovni materijal
4. <https://ba.huihuan-tech.com/blog/what-is-water-quality-monitoring-1445205.html>
5. <https://federalna.ba/rozic-projekt-smart-water-omogucit-ce-kontinuiran-monitoring-pracenja-kvalitete-vode-cc9pk>
6. Institut za vode Josip Juraj Strossmayer, <https://institutjjs.hr/>
7. JP Park prirode Hutovo Blato, <https://hutovo-blato.ba/smart-water/>
8. Kantonalni zavod za urbanizam i prostorno uređenje ZDK-a, <http://www.urbzdk.ba/>