



INFORMACIONI SISTEM KVALITETA VODE – SATELITSKI PODRŽAN MONITORING

WATER QUALITY INFORMATION SYSTEM - SATELLITE ASSISTED MONITORING

REZIME

U radu je predstavljen „Informacioni sistem za vode“ (*Water Information System - WIS*) koji prikuplja osmotrene i prognozirane parametre kvaliteta vode akumulacija i pripadajućeg slivnog područja u cilju poboljšanja procesa odlučivanja namenjenog korisnicima i donosiocima odluka. WIS je deo platforme *SPACE-O* koja funkcioniše za sada kao prototip proizvod u razvoju. Trenutno se vrše testiranja, unapređenja i prilagođavanje realnim uslovima rada kako bi se osiguralo da su sve opcije u skladu sa zahtevima u sektoru snabdevanja vodom za piće. Prezentovani su rezultati primene na dve lokacije radi analize sistema snabdevanja vodom i procesa unapređenja donošenja odluka za proces koji se odvija od akumulacije do postrojenja za prečišćavanje vode za piće.

Ključne reči: monitoring, status voda, štetno cvetanje algi

SUMMARY

The paper presents the “Water Information System”, which collects monitored and forecasted parameters of reservoir water quality and associated catchment area in order to improve the decision-making process for users and decision makers. The *SPACE-O* platform is currently functioning as a prototype – a product is at developing stage. Testing, upgrading and adapting to the actual operational conditions is currently being carried out to ensure that all options are in line with the requirements in drinking water supply sector. The results of the application on two locations were presented for analyzing water supply systems and decision making process from the reservoir to the water treatment plant.

Key words: monitoring, water status, harmful algal bloom

1. UVOD

Istorijski osvrt ukazuje da je prve satelitske fotografije Zemlje napravio 1959. godine američki satelit *Explorer 6*, što je bio izazov za Sovjete koji su uzvratili 1962. godine fotografijama sa svog satelita *Kosmos*. SAD su odgovorile pokrenuvši 1972. godine program *Landsat*, najveći do tada program za prikupljanje snimaka Zemlje iz svemira. Evropljani su se kasnije priključili tako što je Francuska 1986. godine lansirala satelit *SPOT (Satellite Pour l’Observation de la Terre)* opremljen kamerama sa različitim vrstama senzora. Malo reda u ovoj svemirskoj trci uvela je Rezolucija Ujedinjenih nacija (No. 41/65) doneta 1986. godine. U načelima ove rezolucije piše da “daljinsko osmatranje označava praćenje površine Zemlje iz svemira korišćenjem svojstva emitovanih elektromagnetnih talasa, reflektovanih ili difraktovanih od strane osmatranih objekata, u svrhu poboljšanja upravljanja prirodnim resursima, korišćenja zemljišta i zaštite životne sredine”, kao i da će se „aktivnosti daljinskog osmatranja sprovoditi u korist i u interesu svih zemalja, bez obzira na stepen njihovog ekonomskog, socijalnog ili naučnog i tehnološkog razvoja i

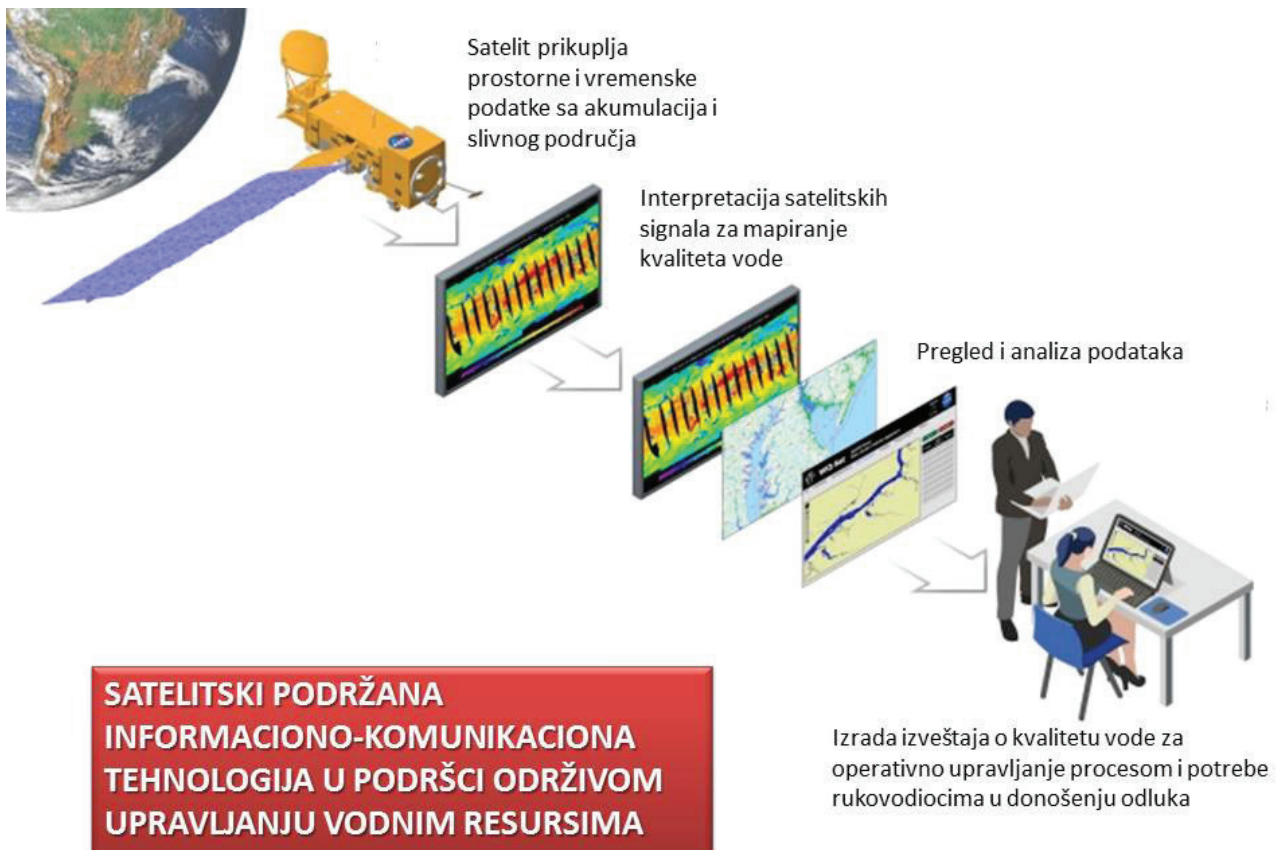
uzimajući u obzir naročito potrebe zemalja u razvoju“ [1].

Polu veka od prvih fotografija, danas se savremenim multispektralnim sensorima za satelitska snimanja može dobiti veliki broj različitih podataka, a korisnicima predstoji preuzimanje, pozicioniranje i analiza u odnosu na predmet istraživanja i odgovarajuća stručna interpretacija. Satelitske tehnologije su postale toliko moćne i pristupačne da ova vrsta osmatranja i analiza postaju sastavni deo multidisciplinarnih ekoloških istraživanja, u toj meri da će u bliskoj budućnosti zajedno sa zemaljskim informacionim i komunikacionim tehnologijama biti nedeljiv deo informacionog sistema za upravljanje podacima i procesima donošenja odluka [2].

U ovom radu je predstavljen „Informacioni sistem za vode“ (*Water Information System*) koji prikuplja osmotrene i prognozirane parametre kvaliteta vode akumulacija i pripadajućeg slivnog područja u cilju poboljšanja procesa odlučivanja namenjenog korisnicima i donosiocima odluka. Osmotreni parametri kvaliteta vode obuhvataju podatke sa satelita i podatke merene *in situ*. Podaci su: (a) set

¹ Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo – Beograd,

² MZZŽS/Agencija za zaštitu životne sredine, aleksandar.sotic@utvsi.com



Slika 1. Šematski prikaz integracije satelitske i zemaljske informaciono-komunikacione tehnologije

hidro-klimatskih i promenljivih koji se odnose na kvalitet vode procenjen iz hidroloških modela za svaki podsliv akumulacije, i (b) niz parametara vezanih za kvalitet vode procenjeni iz hidrodinamičkih i modela kvaliteta vode u samoj akumulaciji [3].

2. SATELITSKI PODRŽANA PLATFORMA ZA PROGNOZU KVALITETA VODE

Satelitski podržana platforma za prognozu kvaliteta vode u cilju optimizacije donošenja odluka u sektoru snabdevanja vodom (*SPACE-O, Space Assisted Water Quality Forecasting Platform for Optimized Decision Making in Water Supply Services*) integriše najsavremeniju satelitsku i zemaljsku informaciono-komunikacionu tehnologiju - zajedno sa *in-situ* monitoringom i naprednim hidrološkim modelima i praćenjem kvaliteta vode - u moćni sistem za donošenje odluka. Platforma generiše za realno vreme, kratkoročne i srednjoročne prognoze oticaja vode i podatke o kvalitetu vode u akumulacijama koje se koriste za optimizaciju rada postrojenja za prečišćavanje vode za piće. Platforma uspostavlja liniju budućnosti - od nauke ka sektoru voda - iz Svemira ka Zemlji (Slika 1). Satelitski podaci se obrađuju pomoću najsavremenijeg sistema (Modular Inversion and Processing System, MIP) koji je razvio

OMAPeoWaterQuality korišćenjem podataka sa dva satelita, *Sentinel-z A/B* i *Landsat 8* [4].

Platforma *SPACE-O* funkcioniše za sada kao prototip proizvod u razvoju. Trenutno se vrše testiranja, unapređenja i prilagođavanje uslovima operativnog rada kako bi se osiguralo da su sve opcije u skladu sa zahtevima sektora za snabdevanje vodom za piće. Opcije uključuju sistem za podršku odlučivanju na osnovu rizika kako bi se omogućio ekonomičan i održiv rad postrojenja za prečišćavanje vode. Koriste se podaci o satelitskom osmatranju Zemlje kako bi obezbedile informacije kao što su prognoze kvaliteta vode u akumulacijama, podaci monitoringa *in-situ* i podaci prikupljeni putem SCADA sistema za kontrolu procesa na postrojenju za prečišćavanje vode za piće.

Satelitski monitoring Zemlje obuhvata sledeće parametre koji se prate više puta nedeljno:

- Hlorofil-indikator (*CHL*) dobija se iz informacija o organskoj apsorpciji u vodi i spektralnim karakteristikama odgovarajućeg vodnog tela.
- Mutnoća je ključni parametar kvaliteta vode i linearno je povezan sa povratnim rasipanjem svetlosti organskih i neorganskih čestica u vodi. Jedinica merenja je NTU (Nephelometric Turbidity Unit).
- Dubina prodiranja svetlosti (*Z90*) pokazuje dubinu od koje dolazi 90% reflektovanog svetla. U vezi

s tim, indikator dubine je *Secchi Depth* (SDD) i izražava se u (m) i označava providnost vodenog stuba.

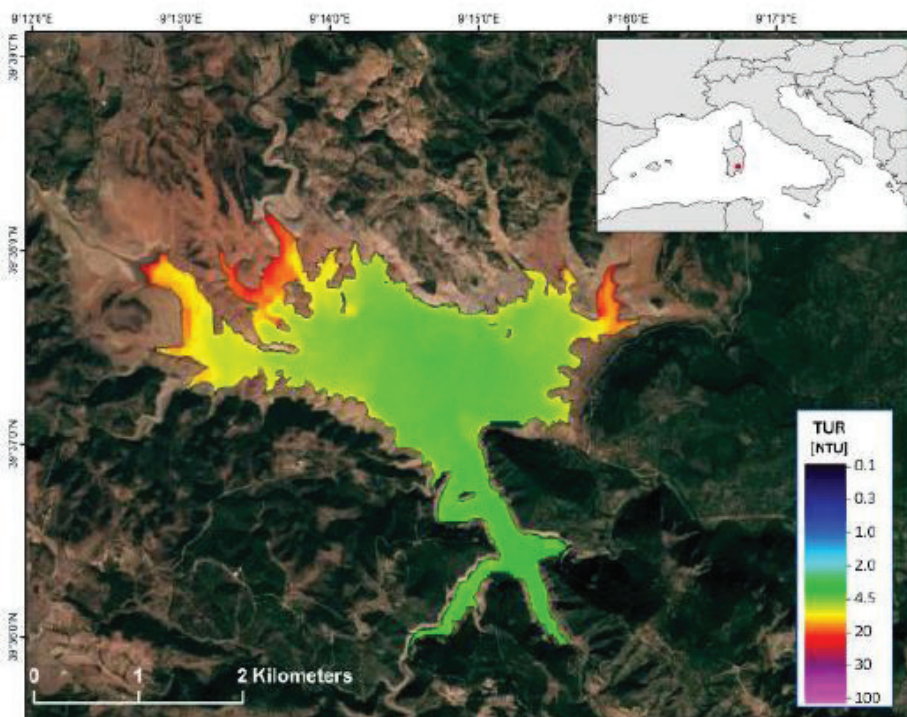
- d. Dostupna je površinska temperatura vode akumulacije.
- e. Raspoloživ je indikator štetnog cvetanja algi (*Harmful Algae Bloom*, *HAB*) za cijanobakterije (*Cyanobacteria*). Indikator *HAB* je osetljiv na povećanje *Phycocyanin* i *Phycocerythrin* pigmente.

Platforma *SPACE-O* se testira i primenjuje na dve lokacije za analizu sistema snabdevanja vodom u upravljanje procesom od akumulacije do postrojenja za prečišćavanje vode za piće. Prva je, akumulacija *Mulgaria* u Italiji, visoka 99 m, zapremine 347 mil.m³ i površine vodenog ogledala 5 km². Postrojenje za prečišćavanje vode za piće je kapaciteta 2500 l/s i snabdeva 700000 stanovnika u regiji *Kalgarija* (*Sardinija*). Druga je, akumulacija *Aposelemis* u Grčkoj, visoka 62 m, zapremine 27 mil. m³ i površine vodenog ogledala 2 km². Postrojenje za prečišćavanje vode za piće je kapaciteta 1300 l/s i snabdeva 30000 stanovnika u *Iraklionu* i okolini (*Krit*). Za ove dve akumulacije, studije slučaja, na osnovu seta podataka iz 2013-2016. godine urađene su procenjene vrednosti za rano upozorenje korišćenjem satelitskih podataka visoke rezolucije sa satelita *Sentinel 2* i *Landsat 7/8* (Slika 2 i 3), [5].

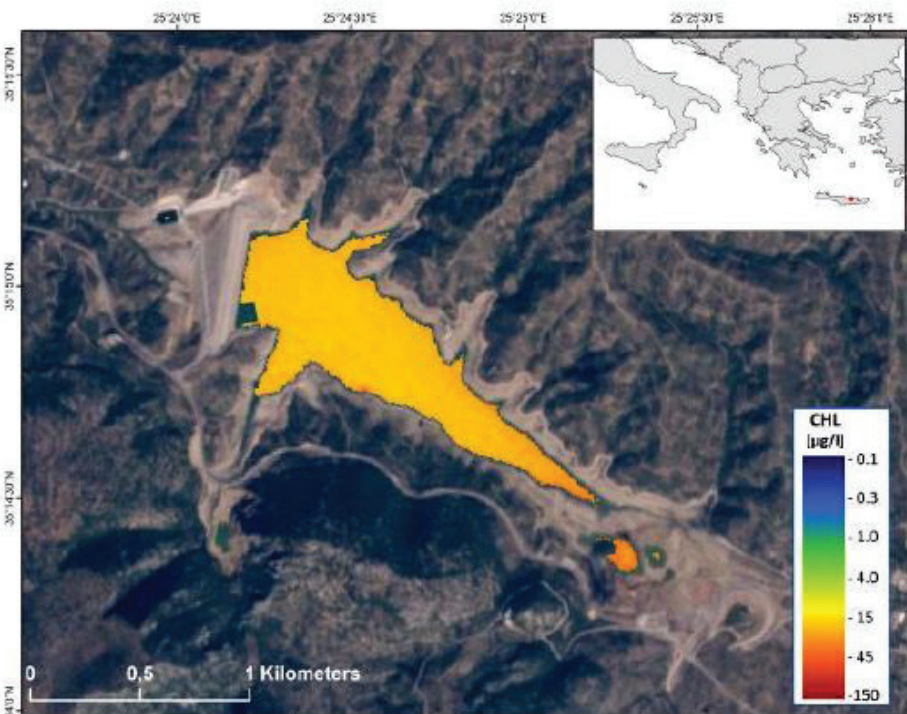
Klasifikacija ranih upozorenja u pogledu mutnoće vode ukazuje na situacije koje mogu ometati funkcionisanje postrojenja za prečišćavanje vode za piće. Zbog toga je definisana *maksimalna dostižna vrednost* (*maximum workable turbidity*, *MWT*), nakon čega je postrojenje za prečišćavanje vode ne može „podneti“ (Slika 2).

- Zelena: mutnoća ostaje ispod 75% granice *MWT*;

- Žuta: mutnoća prelazi 75% *MWT*, ali je i dalje niža od granice *MWT*;



Slika 2. Indikator mutnoća za akumulaciju *Mulgaria* (Italija) dobijen obradom satelitskog snimka (Izvor: *Sentinel-2A* recorded on 2016-10-16, processed with *EOMAP MIP-EWS*, Heege *et al.* 2014).



Slika 3. Indikator Hlorofil-a za akumulaciju *Aposelemis* (Grčka) dobijen obradom satelitskog snimka (Izvor: *Sentinel-2A* recorded on 2016-10-15, processed with *EOMAP MIP-EWS*; Heege *et al.*, 2014)

- Crvena: mutnoća prelazi granicu *MWT*.

Koncentracija hlorofila se koristi kao pokazatelj



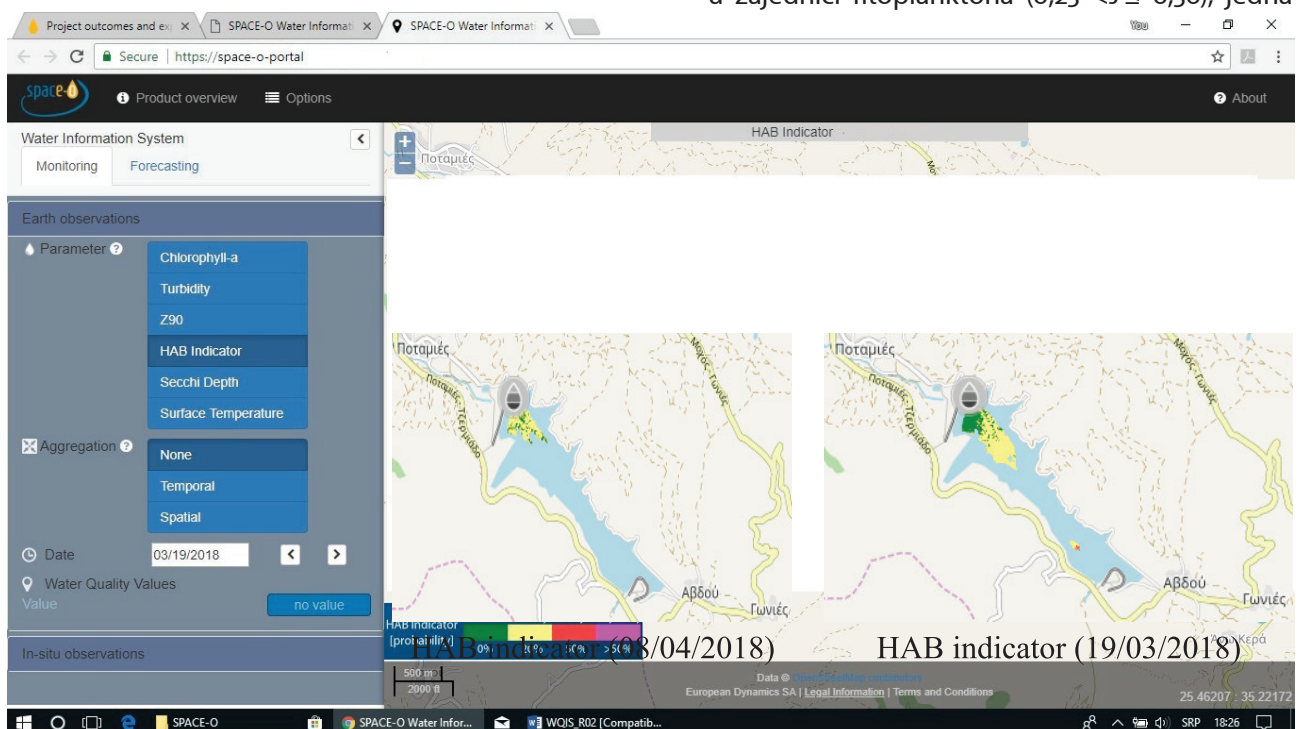
za ukupan broj vrsta algi, pri čemu su testirane sa graničnim vrednostima *dobro/umereno* (good/moderate, G/M) i *granična kritična gustina* (critical bloom density, CBD), (Slika 3):

- Zelena: koncentracije hlorofila su ispod *dobro/umereno* granične vrednosti (i.e. 5.1 µg/l);
- Žuta: koncentracija hlorofila je veća od granice *dobro/umereno*, ali ne prelazi *graničnu kritičnu gustinu* (i.e. 7.7 µg/l);
- Crvena: koncentracija hlorofila nadmašuje *graničnu kritičnu gustinu* od 7,7 µg/l.

3. SISTEM RANOG UPOZORAVANJA

Sistem ranog upozoravanja za kvalitet vode (Early Warning System - EWS), razvijen kao modul u okviru platforme SPACE-O, ima za cilj povećanje spremnosti donosilaca odluka u oblasti voda za sektor snabdevanje vodom za piće, na moguće kratkoročne i srednjoročne promene količine i kvaliteta površinskih voda u akumulacijama i jezerima (Slika 4). EWS se bazira na generičkom konceptu koji je osnov za razvoj efikasnog sistema ranog upozoravanja (UN-ISDR, 2006), to jest na:

- identifikaciji rizika,
- sistemu monitoringa i upozorenja,
- informisanju i komunikaciji, i
- sposobnosti za odgovor.



Slika 4. Indikator HAB za akumulaciju Aposelemis (Grička) za dva karakteristična vremenska preseka dobijeni iz satelitskih snimaka i integrirani u platformu, modifikovano (Izvor: www.space-o.eu/)

Ovakav sistem može da generiše upozorenja u vezi sa sekvencama stratifikacije ili destratifikacije indukovanih vetrom ili promenama temperature,

upozorenja na fiziko-hemijske parametre koje utiču na funkcionisanje nizvodnog snabdevanja vodom za piće, kao i na upozorenja na dešavanje, intenzitet i trajanje štetnog cvetanja algi. Platforma SPACE-O integriše IT inovacije osmišljene da povećaju interoperabilnost između satelitski podržanog osmatranja Zemlje (Earth Observations - EO) i modela optimizacije procesa prečišćavanja vode. Integrisanjem inovacija u korišćenje i pristup satelitskim podacima od strane operatera sistema za vodosnabdevanje, SPACE-O ima za cilj da ponudi moćan sistem za podršku odlučivanju i alat za procenu rizika za operatere postrojenja za prečišćavanje vode.

Osim indikatora hlorofil-a i mutnoće (navedenih u prethodnom poglavlju), platforma omogućuje procenu vrednosti za rano upozorenje i za:

- Vrednosti koncentracija nitrata NO_3 koje se određuju prema maksimalnoj dozvoljenoj koncentraciji od 50 mg/l, u skladu sa Direktivom o vodi za piće (Drinking Water Directive Council Directive 98/83/EC).
- Indeks jednakosti (Evenness Index, J') služi kao procena raznovrsnosti zajednica algi u akumulaciji. Koristi se kao indikator cvetanja algi na sledeći način: jednako raspoređena zajednica fitoplanktona ($J' > 0,75$); jedna populacija algi je blago dominantna u zajednici fitoplanktona ($0,50 < J' \leq 0,75$); jedna vrsta algi je umereno dominantna u zajednici fitoplanktona ($0,25 < J' \leq 0,50$); jedna

populacija algi je visoko dominantna u zajednici fitoplanktona, tj. ako je $J' \leq 0,25$.

- Rana upozorenja vezana za *biozapreminu* (Biovolume) populacija cijanobakterija podržavaju odgovarajući i efikasan odgovor na pojavu potencijalno štetnog cveta algi. Prognozirana populacija cijanobakterija se upoređuje sa nivoima niskog i srednjeg rizika koji su definisani

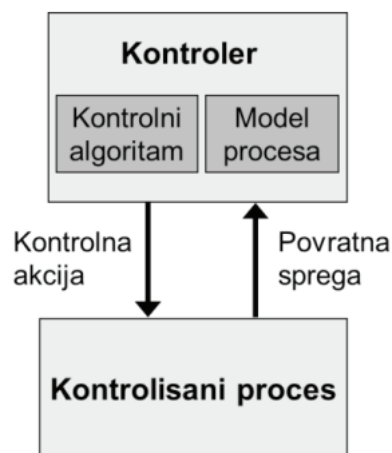
preporukom Svetske zdravstvene organizacije (WHO, 2004), i odgovaraju brojnosti 20.000 ćelija/ml i 100.000 ćelija /ml. cijanobakterija.

Ovi indikatori omogućavaju optimizaciju procesa prečišćavanja vode na postrojenjima korišćenjem preciznih kratkoročno prognoziranih informacija o kvalitetu vode i bolje razumevanje ekoloških izazova kroz integraciju satelitskih, *in situ* i modeliranih podataka.

4. PROCENA RIZIKA I DONOŠENJA ODLUKA

Komponenta *Procene rizika* za sliv SPACE-O portala donosiocima odluka i operaterima u sektoru voda obezbeđuje način za identifikaciju opasnosti unutar uzvodnog slivnog područja, uključujući pritiske industrije, promenu namene površina i klimatske promene, kao i procenu nivoa rizika za vodne (hidrotehničke) sisteme. U suštinskom smislu, pitanje rizika je centralno pitanje procesa donošenja odluka. Proces donošenja odluka može da se okarakterise i kao deo procesa upravljanja nekim sistemom, kojim se donose odluke o izboru upravljačkih aktivnosti potrebnih za funkcionisanje tog sistema [6]. Planeri i projektanti hidrotehničkih sistema odavno su prepoznali da je rizik neodvojiv sa radom kojim se bave [7]. Rizik je uključen u inženjering na mnogo načina, pri određivanju koliko truda i resursa treba uzeti u obzir tokom razvoja (planiranja i projektovanja) nekog inženjerskog sistema da bi se sprečile opasnosti ili štete, ili pri obezbeđivanju prihvatljivog nivoa rizika za sistem. Takođe, može se koristiti da se izabere koji događaji ili uslovi trebaju biti razmatrani tokom funkcionisanja sistema da bi se sprečile štete koji bi se mogle javiti uprkos analizi sprovedenoj tokom razvoja sistema. Mesto rizika u donošenju odluka može da se sagleda ako se pogleda kako se, prema teoriji sistema, sistemom upravlja, tj. kako se neki sistem/proces kontroliše. U tom smislu, kontroler mora da: ima cilj, ima model sistema, bude u stanju da utiče na sistem, i bude u stanju da utvrdi stanje sistema [8], a koncept je prikazan na slici 5.

Prethodnim je na kondenzovani način prikazano mesto monitoringa (povratne sprege) u konceptu donošenja odluka i upravljanja nekim sistemom/procesom. Na osnovu monitoringa (WIS modul SPACE-O satelitski podržane platforme za prognozu kvaliteta vode je svakako napredni deo te povratne sprege o stanju procesa/monitoringa tj. o statusu voda), donosilac odluka formira svoju percepciju procesa (model procesa) kojim upravlja (proces snabdevanja vodom), na osnovu toga definiše šta treba da radi (kontrolni algoritam) i konačno preduzima neku upravljačku akciju ili ne (kontrolna akcija).



Slika 5. Osnovna kontrolna petlja teorije sistema [9]

5. ZAKLJUČAK

Satelitski podržana ekološka istraživanja danas postaju nedeljivi deo globalnog monitoringa čitave planete. Podaci dobijeni satelitskim osmatranjem i snimanjem koriste se u svim prirodnim naukama, primenjuju u praksi i postaju osnova razvoja civilizacije. Prezentovana satelitski podržana platforma SPACE-O za prognozu kvaliteta vode u cilju optimizacije donošenja odluka u sektoru snabdevanja vodom i upravljanja procesom od akumulacije do postrojenja za prečišćavanje vode za piće predstavlja primer iskoraka u budućnost. Satelitski podržan monitoring kvaliteta voda ima svojstvo da unapredi donošenje odluka tako što može da obezbedi dragocene informacije (i prostorne i vremenske), pre svega, o akumulacijama namenjenih vodosnabdevanju.

Rezultati sprovedenog operativnog monitoringa osam akumulacija namenjenih vodosnabdevanju u Srbiji za period 2012-2016. pokazuju da je izostao odličan i dobar ekološki potencijal, a da je umeren ekološki potencijal utvrđen kod tri (3), slab ekološki potencijal kod tri (3), i loš ekološki potencijal kod dve (2) akumulacije [10].

U tom smislu, (a) satelitski podržan monitoring sa (b) korisničkim monitoringom (kvaliteta vode akumulacija kao izvorišta i tokom procesa prečišćavanja od ulaza do izlaza) i (c) nacionalni program monitoringa statusa akumulacija usklađen prema Okvirnoj direktivi o vodama (WFD) koji sprovodi Agencija za zaštitu životne sredine, predstavljaju pravi primer budućeg spregnutog monitoringa voda u sektoru snabdevanja vodom za piće.

Uzimajući u obzir navedeno stanje kvaliteta vode akumulacija za snabdevanje vodom u Republici Srbiji, koje se odražava na stepen efikasnost postrojenja za prečišćavanje i kvalitet vode za piće, satelitski podržan monitoring kvaliteta voda, kao što



je platforma SPACE-O, može da unapredi donošenje odluka u procesu upravljanja snabdevanjem vodom, a time i bude podrška unapređenju javnog zdravlja.

Zahvalnost

Autor se zahvaljuje IWA (International Water Association), članicama konzorcijuma SPACE-O projekta (<http://www.space-o.eu/>) i IAWD (tj. podpredsedniku g-dinu Vladimiru Taušanoviću) na pozivu za učešće na radionici Projekta 'Korišćenje prognoza kvaliteta vode u donošenju odluka', održanoj 19. aprila 2018. godine u Briselu.

LITERATURA

1. [1] *Principles relating to remote sensing of the Earth from space*, General Assembly (A/RES/41/65), 3 December 1986.
2. [2] Veljković N. (2017), *Informacione tehnologije u zaštiti životne sredine*, UTVSI, Beograd.
3. [3] *SPACE-O (Space Assisted Water Quality Forecasting Platform for Optimized Decision Making in Water Supply Services*, <http://www.space-o.eu/>
4. [4] *EOMAPeoWaterQuality – Detailed description*, <https://www.eomap.com/>
5. [5] Tzimas A. et al (2017), *Space assisted water quality forecasting platform for optimized decision making in water supply services*, 15th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece.
6. [6] Šotić A., Ivetić M. (2016), *Metodologija analize rizika za sisteme za snabdevanje vodom za piće*, Voda i sanitarna tehnika XLVI (3-4) 5-14 (2016) YU ISSN 0350-5049, UDK: 628.147.25.
7. [7] Haimes, Y. Y. (2004) *Risk Modelling, Assessment, and Management*, 2nd edn. New Jersey. Wiley. ISBN 978-0470282373. p.837
8. [8] Ashby, W. R. (1956) *An Introduction to Cybernetics*, Chapman and Hall, London.
9. [9] Leveson, N. (2004) A New Accident Model for Engineering Safer Systems. *Safety Science* 42 (4), 237-270.
10. [10] *Status površinskih voda Srbije – Razvoj monitoringa u okviru planova upravljanja rečnim slivovima (Ekološki potencijal i hemijski status akumulacija namenjenih vodopsnabdevanju)*, Agencija za zaštitu životne sredine, 2018.