

Značaj monitoringa kvaliteta vode u jezerima hidroelektrana

The Significance of Water Quality Monitoring in Hydropower Lakes

Vladana N. Rajaković-Ognjanović*, Tina Dašić *

Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Rezime - Pri planiranju akumulacionih hidroelektrana, važan segment je i adekvatan monitoring kvaliteta vode. Uz odgovarajući monitoring program omogućava se višenamensko korišćenje veštačkih jezera. Eutrofikacija vode u jezeru je fenomen koji je prisutan kod svih jezera. Posledica eutrofikacije jeste ugroženost akvatičnog ekosistema. Eutrofikacija je fenomen koji nastaje kao odgovor akvatičnog ekosistema na povećanu koncentraciju nutrijenata, fosfora (P) i azota (N), usled prirodnih i antropogenih aktivnosti. Pored osnovnih, klasičnih pokazatelja kvaliteta vode koji su u korelaciji sa eutrofikacijom najnovija istraživanja pokazuju da su jezera sve više izložena eutrofikaciji usled klimatskih promena i opšte prisutnog zagađenja životne sredine. U ovom radu prikazani su rezultati analize kvaliteta vode reke Komarnice, u Crnoj Gori na kojoj se planira izgradnja akumulacione pribranske HE Komarnica. Ključni zaključci istraživanja su: uvesti monitoring (permanentnu kontrolu) kvaliteta vode u jezerima kako bi se što uspešnije kontrolisala i sprečila eutrofikacija. Izuzetno je važno razumeti da ne postoji jedinstvena jednačina ili formula koja bi mogla da važi za monitoring svih jezera. Svako jezero ima svoje jedinstvene karakteristike. Zavisnost hlorofila, koncentracije fosfora i zapremine jezera menja se u zavisnosti od meseca, sezone i godine. Predlog za monitoring kvaliteta vode na jezeru koje će biti izgrađeno na Komarnici, koje predstavlja deo sistema buduće hidroelektrane je mesečno praćenje koncentracije hlorofila, nutrijenata i zapremine jezera. Sezonsko praćenje zavisi od padavina, hidroloških i limnoloških karakteristika i trendova sušnih i kišnih epizoda. Analize i dosadašnja istraživanja su pokazala da uvođenje obaveznih parametara za praćenje kvaliteta vode ne poskupljuje proizvodnju električne energije i očuvanje energije, a značajno poboljšava i unapređuje kvalitet životne sredine.

Ključne reči - monitoring, kvalitet vode, eutrofikacija, hidroelektrane.

Abstract - When planning the construction of a hydroelectric power plant, an important segment is adequate monitoring of water quality. With an appropriate monitoring program, the multifunctional use of artificial lakes is enabled. Eutrophication (nutrient over-enrichment) of water in a lake is a phenomenon that has been noticed in all lakes. The consequence of eutrophication is the endangerment of the aquatic ecosystem. Eutrophication is a phenomenon that occurs as a response of the aquatic ecosystem to the increased concentration of nutrients,

phosphorus (P) and nitrogen (N), due to natural and anthropogenic activities. Recent research indicates a correlation between local climate change and water circulation and the impact of climate change on all phenomena in the hydrological cycle. Temperature fluctuations, huge amounts of rain when precipitation is analysed, constant heating and increase in humidity all affect more intense eutrophication. The key conclusions of the research dealing with the construction of the hydroelectric power plant in Komarnica are: to introduce monitoring (permanent control) of water quality in lakes in order to minimize or control, even prevent eutrophication. Each artificial lake has its own unique characteristics. The dependence of chlorophyll, phosphorus and lake volume varies depending on the month, season and year. The proposal for the lake that will be built on Komarnica, which is part of the future hydroelectric power plant, is a monthly monitoring of the concentration of chlorophyll, nutrients and the volume of the lake. Seasonal monitoring depends on precipitation, hydrological and limnological characteristics and trends of dry and rainy episodes. Analyzes and previous research have shown that the introduction of mandatory parameters for monitoring water quality does not increase the cost of electricity production and energy conservation, but significantly improves and enhances the quality of the environment.

Index terms - monitoring, water quality, eutrophication, hydropower plants.

I UVOD

Eutrofikacija jezerskih voda fenomen je koji je prisutan kod svih jezera (veštačkih i prirodnih), a posebno je važna sa aspekta uticaja na kvalitet vode jer od dobrog kvaliteta vode zavisi mogućnost korišćenja akumulacije za planirane namene. Proces eutrofikacije posledica je činjenice da su jezera (akumulacije) otvoreni dinamički ekosistemi u kojima se odvijaju sukcesivne promene sastava biocenoze dok se ne uspostavi neko ravnotežno (klimaksno) stanje, u kome je biocenoza stabilizovana i u ravnoteži sa biotopom [1, 2]. Nivo trofičnosti na kom će se uspostaviti ravnotežno stanje zavisi od različitih parametara kao što su: klimatski, hidrogeološki, morfolometrijske karakteristike jezera (akumulacije), karakteristike sliva (vegetacija, gustina naseljenosti, način korišćenja sliva), antropogeni uticaji i drugi. Ključni parametar, prema brojnim istraživanjima, je koncentracija nutrijenata koji dospevaju u jezero. Od nutrijenata posebno se ističu koncentracija fosfora (P)

i azota (N). Navedeni nutrijenti predstavljaju hranljivu materiju za alge (fitoplankton) i vodene biljke i veća koncentracija azota i fosfora uzrokuje prekomerni rast i razmnožavanje fitoplanktona i akvatičnog bilja. Bujanjem prve karike u lancu ishrane, dolazi do porasta brojnosti i biomase i viših nivoa akvatičnih organizama (zooplankton, ribe i ostala vodena fauna). Životni procesi kao što su disanje, ekskrecija i izumiranje dovode do narušavanja kvaliteta vode (smanjuje se providnost i koncentracija rastvorenog kiseonika, a povećava se HPK, BPK, pH vrednost), jezero stari, odnosno pogoršava se njegovo trofičko stanje.

U prvim godinama nakon punjenja, akumulacije predstavljaju mlade ekosisteme, sa malim brojem biljnih i životinjskih vrsta i malom biomasom i uglavnom se nalaze u oligotrofnom stanju (stanju najboljeg kvaliteta). Vremenom, u jezeru dolazi do sukcesivnih promena koje u velikoj meri zavise od količine hranljivih materija koje dospevaju iz spoljašnje sredine. Permanentnim praćenjem parametara kvaliteta vode moguće je pravovremeno reagovati i preduzeti odgovarajuće mere kako bi se kvalitet vode u akumulaciji održao na zahtevanom nivou. Za kontrolu eutrofikacije potrebno je pratiti i meriti koncentracije nutrijenata (obavezno meriti ukupnu koncentraciju azota (N_{tot}) i fosfora (P_{tot})), koncentraciju hlorofila, prozračnost vode merenjem dubine pomoću seki diska (SD) i hemijsku potrošnju kiseonika (HPK) [3, 4].

II OCENA STEPENA TROFIČNOSTI

Za ocenu stepena trofičnosti jezera moraju biti poznati i usvojeni određeni standardi. Najčešće se koristi i primenjuje Karlsonov standard o indeksu trofičnosti, mada postoje i druge klasifikacije [3]. Vrednosti koje definišu trofičnost jezera prema ovom standardu prikazane su u tabeli 1 [4]. U prvoj koloni je opisno prikazan stepen trofičnosti, a u drugim kolonama date su vrednosti parametara koje definišu odgovarajući stepen trofičnosti. Za sve navedene parametre (ukupna koncentracija fosfora i azota, koncentracija hlorofila i hemijska potrošnja kiseonika) sa većom vrednošću raste i stepen eutrofikacije jezera. Samo za parametar kojim se određuje prozračnost jezera seki diskom je obrnuto proporcionalna zavisnost. Što je veća prozračnost vode to je trofičnost jezera manja.

Tabela 1. Standardne vrednosti za ocenu stepena trofičnosti jezera [4]

Stepen eutrofikacije	Sadržaj hlorofila (mg/m ³)	P _{tot} (mg/m ³)	N _{tot} (mg/m ³)	HPK (mg/L)	SD (m)
Oligotrofno	0-1,0	0-2,5	0-30	0-0,3	5,0-10,0
Slabo mezotrofno	1,0-2,0	2,5-5,0	30-50	0,3-0,4	1,5-5,0
Mezotrofno	2,0-4,0	5,0-25	50-300	0,4-2,0	1,0-1,5
Izraženo mezotrofno	4,0-10,0	25-50	300-500	2,0-4,0	0,4-1,0
Eutrofno	10,0-65	50-200	500-2000	4,0-10	0,3-0,4
Hipereutrofno	65,0-100	200-600	2000-6000	10,0-25	0-0,3

Pored osnovnih, klasičnih pokazatelja kvaliteta vode koji su u korelaciji sa eutrofikacijom najnovija istraživanja pokazuju da su jezera sa hladnom vodom, na visokoj nadmorskoj visini, izložena eutrofikaciji usled klimatskih promena i opšte prisutnog zagađenja životne sredine. U studiji koju je grupa kinsekih istraživača objavila [5] istaknuta je zavisnost između lokalnih klimatskih promena i kruženja vode i uticaja klimatskih promena na sve pojave u hidrološkom ciklusu. Promena (fluktuacija) temperature, anomalije (ogromne količine kiše) koje se javljaju

kod analiza padavina, uz konstantno zagrevanje i porast vlage ukazale su da su svi navedeni faktori značajni za eutrofikaciju. Studija je ukazala na sledeće: jezera na visokoj nadmorskoj visini u kojima je hladna voda, kod kojih je antropogeno zagađenje skoro zanemarljivo izložena su klimatskim promenama i utiču na stepen trofičnosti (podstiču eutrofikaciju) jezerske vode [5].

Da bi se kvalitet vode u budućoj akumulaciji mogao predvideti i modelirati neophodno je poznavanje parametara kvaliteta vodotoka koji se pregrađuje, odnosno na kome će biti formirana akumulacija. Dobar kvalitet vode u vodotoku, posebno niska koncentracija nutrijenata, povoljni su pokazatelji koji ukazuju na malu mogućnost razvoja eutrofikacionih procesa. U suprotnom, ako parametri kvaliteta nisu povoljni, potrebno je preduzeti odgovarajuće mere na slivu, već u periodu planiranja sistema i njegove izgradnje, kako bi se kvalitet vode doveo do zadovoljavajućih vrednosti. Dobar primer takvih aktivnosti je sliv reke Komarnice, na kojoj se planira izgradnja akumulacione hidroelektrane. U naselju Šavnik, koje će se nalaziti na rubu buduće akumulacije, izgrađeno je postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda, kako bi kvalitet vode u reci bio što višeg kvaliteta.

Rezultati dobijeni nakon analize uzoraka vode duž toka reke Komarnice prikazani su u tabeli 2. Svi parametri, odnosno svi dobijeni rezultati ukazuju da vode na ispitivanim mernim mestima odgovaraju klasi vode koja se u prirodnom stanju može koristiti za piće, uz eventualnu dezinfekciju. Sa aspekta mogućeg razvoja procesa eutrofikacije posebno je značajno (ohrabrujuće) veoma malo prisustvo azotnih i fosfatnih jedinjenja, koji predstavljaju glavne nutrijente, odnosno pokretače procesa eutrofikacije. Na slici 1 prikazan je merni instrument za merenje koncentracije kiseonika u vodi, koji je korišćen pri analizi kvaliteta vode reke Komarnice.

Tabela 2. Rezultati analiza uzoraka iz toka reke Komarnice

parametri, jedinice	Uzorci*			
	#1	#2	#3	#4
Boja (°Pt-Co)	0	0	0	0
Mutnoća (NTU)	0,36	0,20	0,41	0,29
Temperatura (°C)	7,9	7,4	8,2	9,3
Rastvoreni kiseonik, O ₂ , mg/L	10,83	10,86	10,32	10,28
pH	7,81	7,78	7,70	7,99
EC, µS/cm	168	170	174	225
TDS, mg/L	81,5	85,3	82,9	106,9
Ukupna tvrdoća, mg/L CaCO ₃ ; °dH	132; 7,4	126; 7,0	134; 7,5	164; 9,2
Bikarbonati, HCO ₃ ⁻ , mg/L	166,76	154,74	124,16	205,16
Litijum, Li ⁺ , mg/L	0	0	0	0
Natrijum, Na ⁺ , mg/L	2,18	2,56	0,07	1,43
Amonijum, NH ₄ ⁺ , mg/L	0,05	0	0	0
Kalcijum, Ca ²⁺ , mg/L	49,6	46	54	62
Magnezijum, Mg ²⁺ , mg/L	2,1	1,6	0,1	1,8
Kalijum, K ⁺ , mg/L	3,4	2,7	0	7,2
Fluoridi, F ⁻ , mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00
Hloridi, Cl ⁻ , mg/L	1,29	0,98	1,31	1,25
Nitrati, NO ₃ ⁻ , mg/L	0	0	0	0
Nitriti, NO ₂ ⁻ , mg/L	0	0	0	0,38
Fosfati, PO ₄ ³⁻ , mg/L	0	0	0	0
Sulfati, SO ₄ ²⁻ , mg/L	3,22	2,37	2,60	3,96

*Legenda (lokacije uzorkovanja): #1-Dubravka vrela; #2-Uzvodno od Dubravskih vrela; #3-Izvor na levoj obali Komarnice; #4-Reka Komarnica-profil Duži.



Slika 1. Određivanje sadržaja koncentracije rastvorenog kiseonika na licu mesta duž reke Komarnice

Izbor mera koje će se sprovesti u cilju zaštite akumulacije od eutrofikacije zavise od karakteristika konkretnog problema, ekoloških i ekonomskih faktora. Ipak, neke opšte mere koje se po pravilu sprovode za svaku akumulaciju su: čišćenje akumulacije do kote normalnog uspora neposredno pre prvog punjenja, kontrola kvaliteta voda koje ulaze u jezero i po potrebi planiranje izgradnje postojenja za prečišćavanje otpadnih voda kako bi se sprečilo unošenje nutrijenata, kontrola upotrebe đubriva u slivu akumulacije i izbegavanje dugih plitkih deonica. Važan segment pri planiranju brana i akumulacija je i planiranje adekvatnog monitoringa kvaliteta vode.

III MONITORING KVALITETA VODE U JEZERIMA

Pri razmatranju sistema brana – akumulacija jedno od ključnih pitanja je aspekt bezbednosti. Bezbednost samog pregradnog objekta – brane definisana je normativnim dokumentima, od kojih je najvažniji Pravilnik o tehničkom osmatranju visokih brana, u okviru koga je striktno definisan način kontinuiranog praćenja stanja brane i pripadajućih objekata. Važan segment je i adekvatan monitoring kvaliteta vode. Uz odgovarajući monitoring program omogućava se pravovremeno reagovanje u slučaju da dođe do pogoršanja parametara kvaliteta vode [6].

Nulto stanje je važno merenje, koje je neophodno sprovesti nakon prvog punjenja akumulacije, kako bi se kasnijim redovnim osmatranjima mogle pratiti promene kvaliteta vode. Dalje osmatranje podrazumeva kontinuirano praćenje (najmanje jednom mesečno) manjeg broja ključnih parametara kvaliteta i povremeno sprovođenje kompletnih analiza kvaliteta vode. Ključni parametri koje je neophodno pratiti [6]:

- koncentracija ukupnog fosfora,
- koncentracija nitrata,
- sadržaj hlorofila (mg/L),
- ukupne rastvorene materije (*eng.* total dissolved solids-TDS),

- mutnoća,
- sadržaj rastvorenog kiseonika,
- pH vrednost vode,
- biohemijska potrošnja kiseonika za pet dana (BPK₅) na 20 °C,
- gustina cijanobakterija.

IV ZAKLJUČAK

Veštačka jezera osim njihove osnovne funkcije (hidroenergetsko korišćenje, snabdevanje vodom stanovništva i/ili industrije, navodnjavanje), uz adekvatno održavanje, praćenje i kontrolu kvaliteta vode, mogu imati i druge koristi za stanovništvo. Akumulacije se mogu koristiti za različite aktivnosti, od rekreativnih, sportskih, do komercijalnih i mogu biti korisne za širu zajednicu. Eutrofikacija jezerske vode može ugroziti sve te aktivnosti, zbog čega je potrebno preduzeti odgovarajuće mere u cilju zaštite kvaliteta vode u akumulacijama [1]. Pored opštih mera, koje se sprovode za svaku akumulaciju (čišćenje akumulacije do kote normalnog uspora neposredno pre prvog punjenja, kontrola kvaliteta voda koje ulaze u jezero), primenjuju se i mere specifične za svaki objekat. Važan segment pri planiranju brana i akumulacija je i planiranje adekvatnog monitoringa kvaliteta vode. Praćenje koncentracije najznačajnijih parametara kvaliteta potrebno je sprovesti stalno (na mesečnom nivou), a posebno su značajne koncentracije hlorofila i nutrijenata. Sezonsko praćenje zavisi od padavina, hidroloških i limnoloških karakteristika i trendova sušnih i kišnih epizoda. Analize i dosadašnja istraživanja su pokazala da uvođenje obaveznih parametara za praćenje kvaliteta vode značajno poboljšava brigu i unapređuje kvalitet životne sredine.

LITERATURA

- [1] Đorđević, B. i dr.: Izbor mera zaštite akumulacija od eutrofikacije, in Proc. Zbornik radova Akumulacije kao izvorišta za snabdevanje vodom, Leskovac, 13-15. decembar 1995.
- [2] Đorđević, B., Dašić, T. *Ekologija vodoprivrednih sistema*, Građevinski fakultet Univerzitet u Beogradu, Akademija inženjerskih nauka Srbije, 2019.
- [3] *Eutrophication of Water, Monitoring, Assessment and Control*, OECD, pp. 154, 1982. <https://doi.org/10.1002/iroh.19840690206>
- [4] Du, H., Chen, Z., Mao, G., Chen, L., Crittenden, J., Li, Y.R.M., Chai, L. Evaluation of eutrophication in freshwater lakes: A new non-equilibrium statistical approach, *Ecological indicators*, Vol. 102, pp. 686-692, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.032>
- [5] Lu, X., Lu, Y., Chen, D., Su, C., Song, S., Wang, T., Tian, H., Liang, R., Zhang, M., Khan, K. Climate change induced eutrophication of cold-water lake in an ecologically fragile nature reserve, *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 75, pp. 359-369, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.05.018>
- [6] Valle, A.C.M., Aguiar, M.A.A., Cruz G.Jr. The impact of water quality as an environmental constraint on operation planning of a hydro-thermal power system, *Renewable Energy*, Vol. 34, Issue. 3, pp. 655-659, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.024>

AUTORI

dr Vladana N. Rajaković - Ognjanović, vanredni profesor, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za hidrotehniku i vodno ekološko inženjerstvo, vladana@grf.bg.ac.rs

dr Tina Dašić, vanredni profesor, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za hidrotehniku i vodno ekološko inženjerstvo, mtina@grf.bg.ac.rs