

Časopis "Poslovne studije", 2016, 15–16:

Rad primljen: 16.05.2016.

Rad odobren: 06.06.2016.

UDK 628.385:504.45

DOI: 10.7251/POS1616339V

Stručni rad

Mr Slobodanka Vujčić<sup>1</sup>

Mr Dragana Đurica<sup>2</sup>

## TIPOVI ZAGAĐENJA I MOGUĆNOST UNAPREĐENJA MONITORINGA POVRŠINSKIH VODA U CILJU PREVENCIJE I KONZERVACIJE

**Rezime:** *Značajan problem u zaštiti životne sredine, posebno u oblasti vodnih resursa, jeste kvalitet površinskih voda. Velike količine otpadnih voda, neprečišćenih ili nedovoljno prečišćenih, dospijevaju direktno u otvorene vodotoke i podzemlje, degradirajući i narušavajući njihovu prirodnu ekološku ravnotežu. Kompleksno korištenje površinskih voda nameće potrebu da se stalno prati njihov kvalitet i da se što bolje zaštite od zagađenja.*

*Najizrazitije efekte zagađenja vode susrećemo kod površinskih voda, iako nisu pošteđene ni podzemne vode. Pod zagađenjem vode podrazumijeva se degradacija kvaliteta vode koja djelimično ili potpuno onemogućuje njenu upotrebu za potrebe za koje je namijenjena. Zaštita voda je složen problem i zahtijeva interdisciplinarnan pristup problematici zaštite voda i timski rad.*

**Ključne riječi:** *zagađenja vode, eutrofizacija, cijanotoksini, monitoring.*

**JEL klasifikacija:** *Q2, P25.*

---

<sup>1</sup> Viši asistent, Fakultet za ekologiju, Univerzitet za poslovne studije, Jovana Dučića 23a, Banja Luka, vujcicslobodanka@yahoo.com

<sup>2</sup> Viši asistent, Fakultet za ekologiju, Univerzitet za poslovne studije, Jovana Dučića 23a, Banja Luka, draganaristic16@yahoo.com

## UVOD

Danas su dobro poznati tipični izvori pojedinačnih grupa zagađujućih materija, kao i njihovo dejstvo (efekti) na recipijentne vodene ekosisteme (Gajin i Svirčev 2002, 46). Međutim, značajno je da se ne izostave i ostali tipovi zagađivanja, jer se u kruženje materija u hidrosferi uključuje i kruženje svih zagađujućih materija, a teško biorazgradljive hemikalije djeluju nepovoljno (selektivno letalno) na hidrobionte, ili dolazi do njihove bioakumulacije.

Intenzitet, priroda i dužina dejstva zagađenja na sanitarni režim, hemijski sastav vode i uslove života vodenih organizama determinišu njihova svojstva. Redukujuća jedinjenja, koja se lako oksiduju kiseonikom rastvorenim u vodi, izazivaju naglo remećenje ravnoteže vodenog basena odmah poslije upuštanja otpadnih voda. Nasuprot tome, neka biološki nerazgradiva organska jedinjenja (pesticidi sa organskim jedinjenjima hlora) mogu se otkriti u vodi daleko (na desetine i čak stotine kilometara) od mjesta njihovog uliva u basen. Narušavanje životne aktivnosti vodenih organizama i pogoršanje kvaliteta vode mogu izazvati jedinjenja koja produkuju neke grupe mikroorganizama u samom basenu (toksini mikroalgi, antibiotici i dr.).

Za stajaće i sporotekuće površinske vode, kojima pripadaju i hidroakumulacije, karakterističan je masovni razvoj algi. Ekološki značaj mikroalgi i cijanobakterija kao producenata organskih materija u akvatičnim ekosistemima može se sagledati sa pozitivnog i negativnog aspekta. Kao primarni producenti vodenih ekosistema, sa izuzetno visokim nutritivnim vrijednostima biomase, mikroalge i cijanobakterije su od neprocjenjivog značaja za život svih hidrobionata. Međutim, primarni producenti mogu pod izvjesnim uslovima biti i značajan izvor nepoželjnih, najčešće otrovnih supstanci za živi svijet akvatičnih, kao i obližnjih terestričnih ekosistema (Gajin i sar. 1998, 64).

## 1. IZVORI ZAGAĐENJA SLATKOVODNIH EKOSISTEMA

Zagađivači voda su mnogobrojni i možemo ih razvrstati na „koncentrisane“ i „rasute“ (difuzne) zagađivače (Dalmacija 2000, 22).

Treba imati u vidu da se nepovoljni efekti difuznih zagađivača najčešće ne manifestuju trenutno, nego djeluju kumulativno u dužem vremenskom periodu, što dodatno otežava analizu njihovih uticaja i mogućih posljedica.

Poljoprivreda se, inače, ubraja u najveće zagađivače površinskih i podzemnih voda. Prema navodima *Environmental Protection Agency* (EPA), poljoprivreda predstavlja preovlađujući faktor degradacije akvatorija. Pritom, najčešći nepovoljni uticaji difuznih zagađivača na akvatorije, prema *Food and Agriculture Organization* (FAO), nastaju usljed nagomilavanja nutrijenata (37% kod rijeka, 40% kod akumulacija) i sedimenata (45% kod rijeka, 22% kod akumulacija), a zatim slijede, sa udjelom 20%–30%, pesticidi, teški metali, patogeni mikroorganizmi itd. (Savić i sar. 2002, 16). Povećana koncentracija azota i fosfora u vodi uzrokuje jači razvoj viših vodenih biljaka koje imaju sposobnost zarastanja vodenog okna (rezervoara, kanala) i drugih voda sa usporenim tokom. Za masovno razviće fitoplanktona, algi koje izazivaju cvjetanje, dovoljno je povećanje koncentracije fosfora u vodi do nekoliko mg u 1 l. Promjena kvaliteta vode u vrijeme cvjetanja i narušavanje kiseoničnog režima pri masovnom odumiranju fitoplanktona i vodenog rastinja doprinosi pogoršanju kvaliteta vode. Kao rezultat tih procesa javlja se povećanje organskih jedinjenja u nanosima i hranljivih materija u vodenoj masi, odnosno dolazi do ubrzane eutrofizacije basena (Đukić i Ristanović 2005, 227).

### **1.1. Eutrofizacija i „cvjetanje“ vodenih ekosistema**

Cvjetanja cijanobakterija, koja posebno izazivaju pažnju javnosti, dešavaju se u akumulacijama za vodosnabdijevanje, navodnjavanje, rekreaciju, u ribnjacima i hidrosistemu. Opasnost usljed pojave cvjetanja cijanobakterija u vodenim ekosistemima dolazi iz nekoliko razloga. Gusto cvjetanje može blokirati prolazak svjetlosti u vodu, sprečavajući proces fotosinteze, što dovodi do pomora živog svijeta u vodi usljed potpunog nedostatka kiseonika. Toksično cvjetanje može ugroziti zdravlje ljudi i životinja, i stabilnost cvjetajućih i okolnih ekosistema. Najčešće se tokom cvjetanja u vodu izlučuju cijanotoksini, koji se ubrajaju među najpotentnije prirodne toksine, za koje ne postoji odgovarajući protivotrov. Iz tih razloga potrebno je poznavati uslove koji pospješuju cvjetanje cijanobakterija, sprovesti mjere prevencije i sanacije vodenih ekosistema (Svirčev i sar. 2011, 12). Zbog brojnih prilagođavanja i nezahtjevnosti u eutrofnim vodama, sposobne su potpuno prevladati druge vrste i stvoriti izuzetno veliku biomasu, što nazivamo cvjetanjem cijanobakterija (Sedmak i Svirčev 2011, 16).

Sve promjene stanja i procesa u vodenim sistemima direktno utiču na živi svijet voda, a biljne i životinjske vrste kao indikatori kvaliteta vode istovremeno svojom životnom djelatnošću predstavljaju aktivnog učesnika u formiranju tog kvaliteta. Zbog značaja uticaja eutrofizacije na kvalitet voda, u svijetu se ovom procesu poklanja velika pažnja (Dalmacija 2001, 25).

## 1.2. Efekti cijanotoksina

Različiti cijanotoksini imaju različite načine djelovanja. Ciklični peptidi mikrocistinskog tipa su u svom djelovanju usmjereni na jetru, alkaloidi djeluju na nervni sistem i neurotoksični su, lipopolisaharidi, koji su dermatotoksični, djeluju na kožu i sluzokožu (Sedmak i Svirčev 2011, 7).

Uzimajući u obzir da cijanotoksini mogu biti letalni u relativno malim količinama, svaka pojava cvjetanja cijanobakterija u vodenim ekosistemima mora se posmatrati kao potencijalna opasnost po živi svijet. Donedavno se smatralo da je svega 10% cvjetanja toksično, međutim, novija istraživanja u Evropi, Kanadi i Americi su pokazala da je taj procenat znatno veći i da se kreće od 45% do 75%. Među cijanotoksinima najrasprostranjeniji i najbolje ispitan je mikrocistin (MC).

Prisustvo 3-amino-9-metoksi-2-6,8-trimetil-10-fenil-deka-4,6-dienoične kiseline (ADDA) jedinstveno je i specifično u strukturi mikrocistina i ima važnu ulogu u njegovoj biološkoj aktivnosti. Toksičnost mikrocistina ogleda se kroz inhibiciju serin/treonin protein fosfataza 1 i 2A, enzima koji su posebno važni u regulaciji genetičkih, metaboličkih i fizioloških procesa kod svih živih organizama (Stryer 1995, 67). Posebno osjetljive prema ovim toksinima su ćelije jetre jer, kada jednom uđu u hepatocite, mikrocistini se lokalizuju u jedru, gdje ADDA lanac toksina blokira aktivno mjesto jedarnih protein-fosfataza. Na taj način, toksikacija dovodi do poremećaja strukture i funkcije jetre, nekroze hepatocita i na kraju do hemoragije. Osim oštećenja jetre, u slučaju akutnog trovanja mogu se javiti i hipoksemija, kolaps srca i šok.

Zbog učestalih problema koji se javljaju usljed izloženosti ljudske populacije cijanotoksinima, Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) utvrdila je najvišu dozvoljenu koncentraciju mikrocistina LR (leucin arginin) u vodi za piće u vrijednosti od 1 µg/l. Moguće je da se u nekim slučajevima desi

da koncentracija mikrocistina u vodi bude značajno veća, pogotovo u zemljama gdje nema zakonom propisanih dozvoljenih vrijednosti i monitoringa ovih parametara. Iz tog razloga, granične vrijednosti za cijanotoksine treba da budu revidirane i pažljivo uvedene u domaću legislativu (Svirčev i sar. 2011, 13).

### **1.3. Kontrola cvjetanja cijanobakterija**

Najefikasnija i dugoročna mjera je sprečavanje ili smanjenje unosa hranljivih materija iz sliva u vodno tijelo. To je najbolja mjera jer nema nuspojava. Tako u vodu ne unosimo nove opasne hemikalije i smanjujemo mogućnost nastanka kancerogenih materija u kontaktu sa organskim produktima, kao što je to slučaj kod hlorisanja u pripremi vode za piće dobijene iz površinskih akumulacija. Kod drugačije obrade cijanobakterija u vodenim tijelima može se dogoditi nenadano oslobađanje velikih količina štetnih biološki aktivnih materija u vodenu sredinu. Tretiranje cvjetajućih vodenih ekosistema herbicidima, algicidima, bakarsulfatom ili krečom nije preporučljivo zbog toga što dovodi do naglog uginuća ćelija cijanobakterija i trenutnog oslobađanja velike količine cijanotoksina u vodu. Pored toga, dolazi do dodatnog opterećenja ekosistema nepotrebnim hemikalijama (Sedmak i Svirčev 2011, 9).

Jedan od načina za kontrolu uključuje redovno održavanje rijeka i voda koje se koriste za vodosnabdijevanje, kombinujući tehnike za eliminisanje stratifikacije i redukcije oslobađanja nutrijenata iz sedimenata u vodenom spremištu.

Mjere sprečavanja spoljašnjeg i unutrašnjeg opterećenja nutrijentima mogu redukovati učestalost i veličinu cijanobakterijskog cvjetanja u određenom akvatičnom sistemu. Unutrašnji ciklus nutrijenata se obično sprečava tretmanom jezera kao što je aeracija. Na taj način se postiže kretanje vode, pri čemu se održava konstantna temperatura od vrha do dna vodenog ekosistema.

Posebnu ulogu u obnavljanju ekosistema ima ekoremedijacija. Prirodno čišćenje u ekosistemima zasniva se, prije svega, na djelovanju mikroorganizama i biljaka, koji mogu da prežive u zagađenoj vodi ili zemljištu tako što apsorbuju, razgrađuju ili neutrališu štetne otpadne materije.

#### 1.4. Fekalno zagađenje površinskih voda

Fekalna kontaminacija je jedan od najvažnijih problema kada je riječ o mikrobiološkom kvalitetu vode. Prisustvo fekalnih mikroorganizama u vodi smatra se dobrim pokazateljem potencijalnog prisustva crijevnih patogenih mikroorganizama u vodi. U površinskim vodama, patogeni mikroorganizmi porijeklom iz crijevnog trakta ljudi nisu poželjni iz razloga što se rastući problem vodosnabdijevanja sve češće rješava njihovom upotrebom kao objekata vodozahvata.

U prirodnim i otpadnim vodama mogu biti prisutni različiti mikroorganizmi – bakterije, virusi, protozoe.

Virusi posjeduju veći stepen stabilnosti nego patogene bakterije u odnosu na uslove spoljašnje sredine i duže se održavaju u vodi. Kompleksna ispitivanja su pokazala da se među enterovirusima kao sanitarni pokazatelji mogu koristiti bakteriofagi crijevnih bakterija. Protozoe su jednoćelijski organizmi. Neke protozoe imaju sposobnost da formiraju ciste (začahureni oblici mikroorganizma koji čekaju povoljne uslove za razvoj), koje mogu preživjeti u vodi ili fekalijama dugo vremena, i u uslovima u kojima protozoa ne bi preživjela. Organizmi kao što su *Entamoeba histolytica*, *Giardia* i *Cryptosporidium* dospijevaju u vode za vodosnabdijevanje (izvorišta) putem fekalne kontaminacije (ljudskog ili animalnog porijekla). Ciste protozoa kao što su *Cryptosporidium* i *Giardia* mogu iz vode namijenjene za ljudsku upotrebu biti efikasno uklonjene pomoću sporih pješčanih filtera (Đukić i sar. 2000, 47).

## 2. MONITORING SLATKOVODNIH EKOSISTEMA I UNA PREĐENJE MONITORINGA

Cilj ispitivanja kvaliteta površinskih akvatičnih ekosistema jeste utvrđivanje stanja, identifikacija zagađenja i ugroženih zona, kao i obezbjeđivanje ulaznih podataka za projektovanje sveobuhvatnog monitoringa voda u narednom periodu i pristupanje integralnom upravljanju slivom, u skladu sa ekosistemskim pristupom i održivim razvojem regiona.

Kako bi se obezbijedila dugotrajna racionalna eksploatacija vode, neophodno je sačuvati funkcionalni integritet akvatičnog ekosistema (Gajin i Svirčev 2000, 274).

Najvažniji parametri od koristi za monitoring su temperatura vode i vazduha, salinitet, hlorofil, kao i vertikalna i horizontalna strujanja vode zbog prenošenja toksičnih producenata. Poznavanje vremenske i geografske distribucije neorganskih materija i njihovih izvora, kao i ostalih faktora rasta fitoplanktona, svakako su od velikog značaja za planiranje i izvođenje programa monitoringa.

Kontrola koncentrisanih izvora zagađenja je prva karika u složenom lancu mjera u cilju očuvanja hidroekosistema. Međutim, emisioni standardi, koji u svijetu imaju izuzetno značajnu ulogu u politici zaštite voda, kod nas, praktično, nisu zakonski regulisani, a regulativ u oblasti zaštite voda bazira se na tzv. imisionim standardima. Umjesto emisionih standarda, zakonodavac predviđa, u slučajevima ispuštanja otpadnih voda direktno u površinske vode, analizu njihovog uticaja na vodotok. U praksi se ovo svodi na uzimanje jednog trenutnog uzorka na rijeci uzvodno i nizvodno od ispusta, a ispitivanja podrazumijevaju iste parametre kao i kod efluenta (Dalmacija 2001, 25).

Neophodni su tzv. monitoring sistemi na širim područjima – slivovima rijeka, na osnovu kojih je moguće uspostaviti informacioni sistem u kome se pohranjuju svi podaci o kvalitetu voda, na osnovu čega se donose konkretni planovi zaštite i koriguju postojeće preventivne mjere.

Regulisanje ispuštanja opasnih i štetnih supstanci u prirodne vode mora biti u saglasnosti sa Zakonom o vodama, sa Uredbom o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka, kao i svim drugim propisima za zaštitu okoline, propisima za otpadne vode i postrojenja za prečišćavanje, pri čemu lokalni uslovi u recipijentu treba da budu uzeti u obzir u tehnološkom, ekološkom i ekonomskom smislu. Problem naše regulative je u tome što je zasnovana samo na principu fizičko-hemijskih analiza kao jedinih pokazatelja kvaliteta vode i korisničkog, umjesto ekosistemskog pristupa problematici zaštite.

Ukoliko se radi o supstancama za koje ne postoje odgovarajući međunarodni standardi, utvrđivanje graničnih dozvoljenih vrijednosti provodi se po posebnoj proceduri na osnovu podataka o toksičnosti, bioakumulativnosti i perzistentnosti ovih supstanci u akvatičnoj sredini, pri čemu se uzimaju u obzir tehničke mogućnosti njihovog uklanjanja, rizik po ljudsko zdravlje i tehnoeкономska analiza različitih postupaka uklanjanja. Pitanje

zaštite voda je izuzetno složen problem koji zahtjeva interdisciplinarnan pristup i timski rad stručnih ljudi raznih profila.

Pri tome se propisuju različite norme i standardi o kvalitetu voda, kao i zabrane unošenja otpadnih i štetnih materija, zabrana stavljanja u promet materija koje se ne razgrađuju i dr. Bitna mjera je obaveza izgradnje kanalizacione mreže i postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda.

## ZAKLJUČAK

Zagađivanje vodenih ekosistema uglavnom je rezultat nekontrolisanih ispuštanja zagađujućih materija različitog porijekla.

Veliki doprinos očuvanju vodenih ekosistema je zakonska regulativa kojom se tačno propisuju dozvoljene koncentracije svih materija koje se unose u vodotokove, i uvođenje bioloških parametara kao obaveznih. Opterećenja bi trebalo mjeriti i biološkim parametrima, međutim, biološki pokazatelji, zbog njihove često nekvantitativne prirode, bivaju zapostavljeni.

Neophodno je uvođenje redovnog monitoringa koji bi obuhvatao redovnu analizu vodenih uzoraka radi utvrđivanja stepena saprobnosti vode, analizu hlorofila, a i utvrđivanje fosfatzne aktivnosti vode. Nivo fosfatzne aktivnosti odslikava stanje ukupnog organskog opterećenja vodenih ekosistema kao recipijenta alohtonih kontaminanata.

Praćenje zastupljenosti toksičnih i potencijalno toksičnih sojeva cijanobakterija u vodenim ekosistemima neophodno je kako bismo mogli procijeniti i ekološke i zdravstvene rizike zbog prisustva cijanotoksina. Poseban akcenat bi trebalo da bude na mikrocininima pošto se smatra da su i najviše prisutni u vodama sa izraženom pojavom cvjetanja.

Zaštita voda je složen problem i zahtijeva interdisciplinarnan pristup problematici zaštite voda i timski rad.

## LITERATURA

1. Dalmacija, Božo. 2000. *Kontrola kvaliteta voda u okviru upravljanja kvalitetom*. Novi Sad: Institut za hemiju.
2. Dalmacija, Božo. 2001. *Kontrola kvaliteta voda*. Novi Sad: Institut za hemiju.



3. Đukić, Dragutin i Gajin, Slavka i Matavulj, Milan i Mandić, Leka. 2000. *Mikrobiologija voda*. Beograd: Prosveta.
4. Đukić, Dragutin i Ristanović, Vitko. 2005. *Hemija i mikrobiologija voda*. Novi Sad: Stylos.
5. Gajin, Slavka i Svirčev, Zorica. 2000. „Biološki aktivne materije mikroalgi i zdravlje ljudi“. VIII Kongres mikrobiologa Jugoslavije – uvodno predavanje. Kratki sadržaji radova, 273–274.
6. Gajin, Slavka i Svirčev Zorica. 2002. *Prirodne organske materije u vodi*. Novi Sad: Departman za hemiju, PMF.
7. Gajin, Slavka i Svirčev, Zorica i Matavulj, Milan. 1998. *Biološki aktivne materije viših biljaka, algi, gljiva i bakterija*. Novi Sad: Institut za biologiju PMF-a.
8. Savić, Radovan i Belić, Sima i Belić, Anđelka. 2002. “Poljoprivreda kao rasuti zagađivač voda“. Rad prezentovan na konferenciji Zaštita voda 02, Kopaonik, Srbija, april, 15–20.
9. Sedmak, Bojan i Svirčev, Zorica. 2011. *Cijanobakterije i njihovi toksini – Ekološki i toksikološki rizici i cvjetanje cijanobakterija u Srbiji*, Visoka škola za varstvo okolja/ EPC – Environmental Protection College, Velenje, Slovenia.
10. Stryer, Lubert. 1995. *Biochemistry*. W.H. Freeman & Co, ISBN-10: 0716720094.
11. Svirčev, Zorica i Baltić, Vladimir i Simeunović, Jelica. 2011. *Cvetanje cijanobakterija u Srbiji. Putevi ekspozicije, zdravstveni i zakonodavni aspekt*. Novi Sad.
12. World Health Organization. 1998. Guidelines for drinking water quality, 2 ed. Addendum to Vol.1., pp. 13–14. Geneva.