

Identifikacija značajnih pritisaka i procena uticaja ispuštanja otpadnih voda na kvalitet vode reke Krivaje

Vesna Ž. Pešić, Milena R. Bečelić-Tomin, Đurđa V. Kerkez, Božo D. Dalmacija, Dejan M. Krčmar, Snežana P. Maletić, Nataša S. Varga

Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno–matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad

Izvod

Procena uticaja ispuštanja otpadnih voda je proces koji pomaže da se razume i oceni veličina rizika kao i verovatnoća da dođe do rizika. U radu je primenjen analitički okvir analize pritisaka i uticaja na reku Krivaju. Za procenu uticaja korišteni su podaci o izvoru i značaju pritisaka zagađenja iz koncentrisanih izvora i podaci o stanju vodotoka dobijeni na osnovu monitoringa. Kako bi se uzelo u obzir kumulativno opterećenje izvršen je proračun maksimalnog opterećenja koje reka može da primi, a da ne dođe do narušavanja njenog kvaliteta. Analize količine i kvaliteta otpadnih voda ukazuju na značajne pritiske svih zagađivača, zbog prekoračenja graničnih vrednosti emisije, pre svega biološke potrošnje kiseonika i amonijaka. Većina pokazatelja kvaliteta vode reke Krivaje prekoračuju zahtevane vrednosti za dobar status. U slučaju parametara kiseoničnog režima i nutrijenata prekoračenje je veće od deset puta, te oni spadaju u parametre visokog rizika. Emitovano opterećenje iz koncentrisanih izvora je veće od prihvatne moći recipijenta pri svakom od merenih proticaja (pri maksimalnom izmerenom protoku opterećenje je 3 puta veće za organske materije i 11 puta za azot). Na osnovu sprovedenog monitoring programa i procene rizika ustanovljeno je da je Krivaja verovatno pod rizikom od nepostizanja zahtevanog kvaliteta vode.

Ključne reči: otpadne vode, procena uticaja, DPSIR, Krivaja, ekološki status.

Dostupno na Internetu sa adrese časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

Jedan od načina na koji čovek upotrebljava prirodne vodne resurse je njihovo korišćenje za prihvatanje i asimilaciju otpadnih voda, pri čemu se narušava kvalitet vodoprijemnika što se ogleda u pogoršavanju fizičkih osobina vode (mutnoće, boje, mirisa), pojavi plivajućih materija na površini i akumuliranju otpadnog mulja na dnu, promeni hemijskih osobina vode (pH, sadržaj organskih i neorganskih materija), smanjenja koncentracije rastvorenog kiseonika i osiromašenju akvatične populacije. Glavnu ulogu u zagađivanju voda imaju gradske i industrijske otpadne vode, koje se ispuštaju u prirodne recipijente, kao i spiranje sa poljoprivrednih površina koje otiče u prirodne vodotoke i izaziva niz ekoloških i sanitarnih problema [1,2]. Izvori zagađivanja voda mogu biti [3]: tačkasti (koncentrisani), koji su potpuno lokacijski definisani i koji se mogu mnogo lakše kontrolisati (npr. ispušt komunalne ili industrijske otpadne vode u recipijent kroz cev ili kanal) i rasuti (difuzni), koje je mnogo teže kontrolisati (npr. površinsko oticanje sa urbanih površina ili sa poljo-

privrednog zemljišta). Zagađujuće materije koje dospevaju u vodenu sredinu karakterišu različita fizičko–hemijska svojstva i različita perzistentnost, toksičnost i mogućnost bioakumulacije. Zagađenje površinskih voda hemijskim materijama predstavlja veliku pretnju za vodene organizme, usled akumulacije zagađenja u vodenom staništu, akutne i hronične toksičnosti, što dovodi do gubitka staništa i biodiverziteta a time predstavlja i pretnju za ljudsko zdravlje [4].

Pristup upravljanju vodama zasnovan je na konceptu održivog razvoja i integralnom upravljanju, koje uzima u obzir sveukupni vodni ciklus sa svim prirodnim i antropogenim aspektima, kao i interesima korisnika voda. Jednu od ključnih faza procesa pripreme planova upravljanja rečnim slivom predstavlja analiza pritisaka i uticaja, kao i procena rizika nepostizanja ekoloških ciljeva. Pritisak zagađenja je rezultat aktivnosti koja može direktno prouzrokovati pogoršanje statusa vodnog tela. U većini slučajeva, takav pritisak se odnosi na dodavanje ili ispuštanje supstanci u okolinu, što može biti ispuštanje otpadnih materija, ali i propratni efekat ili nusproizvod neke druge aktivnosti (spiranje sa poljoprivrednog zemljišta) [5]. DPSIR okvir (*Driving Forces-Pressure-State-Impact-Response*), je razvijen od strane Evropske agencije za zaštitu životne sredine (*European Environmental Agency*, EEA) [6] i uveden je kao mogući analitički okvir za determinaciju pritisaka i uticaja [7,8].

NAUČNI RAD

UDK 628.3(497.11):502/504

Hem. Ind. 71 (5) 407–418 (2017)

Preписка: V. Pešić, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno–matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad.

E-pošta: vesna.pesic@dh.uns.ac.rs

Rad primljen: 3. jun, 2016

Rad prihvaćen: 19. oktobar, 2016

<https://doi.org/10.2298/HEMIND160603002P>

Može se posmatrati kao sredstvo za dobijanje korisnih informacija i za demonstraciju uzročno-posledičnih veza između indikatora životne sredine, što služi kreatorima planova i politike upravljanja. DPSIR okvir je primer integracije znanja iz nekoliko disciplina, na osnovu čega mogu da se objasne odnosi uzrok–efekat, tj. odnosi između životne sredine i socio-ekonomskih faktora [9]. DPSIR analitički okvir čini konceptualnu osnovu za analizu pritisaka i uticaja, uvažavajući složenost interakcija u životnoj sredini i predstavlja sredstvo za njihovo analiziranje [10]. Kao varijanta DPSIR modela može poslužiti koncept „DPCER“, kod kojeg je stanje (S) protumačeno kao hemijski status vodnog tela (C), a uticaj (I) kao ekološki status (E). Ovo tumačenje koncepta polazi od toga da se u Okvirnoj Direktivi o vodama status površinskih voda primarno definiše pomoću ekoloških indikatora. Procena verovatnoće da vodno telo neće postići dobar hemijski i ekološki status vrši se na osnovu poređenja hemijskog (C) i/ili ekološkog (E) statusa i graničnih vrednosti odabranih bioloških, hemijskih i fizičkih indikatora [11,12].

Četiri su ključne faze u analizi pritisaka i uticaja: identifikovanje vodećih sila i pritisaka; identifikovanje značajnih pritisaka; procenjivanje uticaja i procenjivanje verovatnoće neispunjavanja ciljeva. Procena uticaja na vodno telo zahteva neke kvantitativne informacije da se opiše stanje samog vodnog tela i/ili pritisaka koji na njega deluju. Mogući uticaji ili promene stanja se mogu identifikovati iz monitoring podataka. Pravilna identifikacija pritisaka zahteva konzistentnu identifikaciju relevantnih ciljeva, njihovu veličinu i osetljivost na uticaje. Jedno od glavnih pitanja koje treba rešavati u proceni uticaja je određivanje značajnih pritisaka, kako prirodnog okruženja, tako i društveno-ekonomskih faktora [13,14]. Procena da li je pritisak na vodno telo značajan, predstavlja saznanje da pritisak može prouzrokovati uticaj zbog načina na koji funkcioniše sistem sliva. Pri određivanju značaja pritiska važno je posmatrati i sa aspekta propisa, smernica, zakonodavstva, uzimajući u obzir i dostizanje ciljeva životne sredine, resursa, korišćenja zemljišta [15].

Procena uticaja se vrši na osnovu poređenja rezultata monitoringa stanja vodnog tela sa propisanim graničnim vrednostima parametara za dobar status voda, koji se u domaćoj praksi utvrđuje preko fizičko–hemijskih i hemijskih pokazatelja kvaliteta, dok su biološki elementi kvaliteta znatno manje zastupljeni. Kvalitet vode na svakoj mernoj stanici procenjuje se na osnovu najboljih vrednosti pojedinih parametara. Odabir kriterijuma za procenu uticaja zasniva se na kvantitativnom i kvalitativnom sadržaju polutanata u vodama, u poređenju sa odgovarajućom zakonskom regulativom.

Agencija za zaštitu životne sredine (*Environmental Protection Agency, EPA*) je razvila smernice za početnu procenu rizika za površinske vode [16,17]. Imajući u

vidu ograničenu raspoloživost podataka o pritiscima i stanju vodnih tela u Srbiji, za procenu rizika se može primeniti metodologija, koja predstavlja iterativni postupak čiji su koraci povezani sa vrstom i detaljnošću dostupnih podataka o izvorima pritisaka, transportu zagađenja i stanju recipijenta [18]. U tom kontekstu postoji pet mogućnosti za procenu rizika: na osnovu evidencije da nema izvora pritisaka, kada nema podataka o izvorima pritisaka, kada postoje pritisci, ali nisu definisani, na osnovu značaja pritisaka i na osnovu podataka iz monitoringa.

U Sjedinjenim Američkim Državama je problematika kontrole zagađenja površinskih voda regulisana Zakonom o čistim vodama SAD (*Clean Water Act*), koji je implementiran od strane US EPA (*US Environmental Protection Agency*). Osnovni ciljevi ovog zakona su: obnavljanje i održavanje hemijskog, fizičkog i biološkog integriteta svih voda, obezbeđivanje kvaliteta vode u cilju zaštite i održanja biodiverziteta i moguće korišćenje vode za rekreaciju i kontrola ispuštanja zagađujućih materija. Vodeći princip kod obnavljanja oštećenih akvatičnih ekosistema u SAD je princip maksimalnog dnevnog opterećenja (*Total Maximum Daily Loads, TMDL*), koji je primenljiv kako za tačkaste tako i za difuzne zagađivače [19]. TMDL predstavlja najveću količinu opterećenja koje vodno telo može da primi, a da ne dođe do prekoračivanja vrednosti propisanih standardom kvaliteta voda i čini ga suma individualnih opterećenja iz koncentrisanih izvora i opterećenja iz rasutih izvora uključujući opterećenje koje potiče iz prirode, sa uračunatom granicom sigurnosti (nesigurnost u vezi sa odnosom između opterećenja zagađivačima i kvaliteta vode vodoprijemnika ili merna nesigurnost) [20,21].

Proračun maksimalnog ukupnog dnevnog opterećenja može doprineti saznanju za koliko je potrebno smanjiti emitovano opterećenje u cilju efikasnijeg upravljanja vodnim telima i dostizanja kvaliteta propisanog standardima [22,23]. U SAD su se još od 1996. godine počeli usvajati propisi na osnovu ukupnog maksimalnog dnevnog opterećenja, kojim se ograničava ukupna masa (opterećenje) zagađujućih materija koje se može ispustiti u vodno telo a da se ne naruši njegov kvalitet [24–26].

U ovom radu je izvršena karakterizacija vode reke Krivaje i procena uticaja ispuštanja otpadnih voda na osnovu monitoringa otpadnih voda, ukupnog maksimalnog dnevnog opterećenja i monitoringa vodotoka.

EKSPERIMENTALNI DEO

Opis ispitivanog područja

Krivaja je reka u severnoj Bačkoj, desna pritoka Velikog bačkog kanala. Krivaja je duga 109 km, pa je to najduža reka koja u celosti teče kroz Vojvodinu. Povr-

šina sliva je 956 km² i pripada crnomorskom slivu. Reka Krivaja je dobija ime po svom krivudavom toku, što je posebno osobeno za najniži deo toka. Krivaja prvobitno teče pravcem sever-jug pored sela Malog Beograda i Zobnatic. Tu je reka veštački pregrađena, pa je obrazovano 5,5 km dugo veštačko Zobnatičko jezero. Reka Krivaja se uliva u Veliki Bački kanal na potezu između Srbobrana i Turije na nadmorskoj visini od 76 m.

Na osnovu Pravilnika o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda [27] vodotok Krivaja je identifikovana kao reka na celom svom toku, sa izuzetkom akumulacije Zobnatica, koja je značajno izmenjeno vodno telo. Svrstana je u Tip 5 (vodotoci područja Panonske nizije, izuzev vodotoka svrstanih u Tip 1).

Metode uzorkovanja i analize vode

Program ispitivanja vode Krivaje je obuhvatio 7 mernih profila (tabela 1). Monitoring vode je sproveden pri maksimalnom i minimalnom proticaju vode u toku 2015. godine. Uzorkovanje pri maksimalnom proticaju obavljeno je u junu mesecu, a pri minimalnom protoku u septembru. Mesta uzorkovanja i analize vode kanala su odabrana tako da obuhvataju lokacije uzvodno i nizvodno od mesta ispuštanja zagađujućih materija iz koncentrisanih izvora zagađivanja, i na taj način se uzimaju u obzir različiti potencijalni izvori zagađenja površinske vode.

Tabela 1. Lokacije uzorkovanja vode na reci Krivaji
Table 1. Sampling locations of water on the river Krivaja

Profili uzorkovanja	Lokacija mesta GPS
Krivaja uzvodno od naselja Bajmok	N 45°58'54.25" E 19°24'41.20"
Krivaja nizvodno od akumulacije Zobnatica (uzvodno od Bačke Topole)	N 45°49'55.90" E 19°37'86.30"
Krivaja nizvodno od Bačke Topole	N 45°47'35.93" E 19°37'25.00"
Ulaz sa akumulacije Moravica	N 45°49'40.59" E 19°30'32.19"
Nizvodno od Ustave III Mali Idoš	N 45°42'09.15" E 19°39'56.69"
Krivaja nizvodno od ustave I Feketić	N 45°33'36.97" E 19°47'04.08"
Krivaja kod uliva u Kanal Bečej-Bogojevo (nizvodno od Srbobrana)	N 45°32'47.56" E 19°50'53.30"

U cilju identifikacije vodećih sila i značajnih pritisaka na vodotok Krivaja izvršeno je uzorkovanje i analiza otpadnih voda zagađivača koji svoje otpadne vode direktno ili indirektno ispuštaju u Krivaju. Uzorkovanje otpadne vode vršeno je prema smernicama za uzimanje uzoraka otpadnih voda SRPS ISO 5667-10:2007. Uzimani su dvočasovni kompozitni uzorci (sadržaj dobijen mešavinom sadržaja zahvaćenih svakih 15 min u toku 2

časa). Površinske vode su uzorkovane prema standardnoj proceduri SRPS ISO 5667-4:1997. Svi uzorci su konzervisani i transportovani u laboratoriju prema smernicama za zaštitu i rukovanje uzorcima vode SRPS ISO 5667-3, gde je izvršena analiza otpadne vode na ispitivane parametre. Metali su, nakon pripreme uzorka mikrotalasnom digestijom, analizirani na atomskom apsorpcionom spektrofotometru Analyst 700 Perkin Elmer precisely. Za analizu parametara iz oblasti spektrofotometrije primenjen je dvozračnu spektrofotometar UV-1800 Shimadzu. Ukupan azot po Kjeldalu je analiziran na Kjeldahl Line Destillation/Digestion Unite (Büchi). Za određivanje hemijske potrošnje kiseonika korišćen je termoreaktor Velp Scientifica ECO 6, dok je biološka potrošnja kiseonika određena manometarsko metodom koristeći Velp Scientifica FOC 225E, BOD sensor system 10. Korišćene metode za analizu voda su prikazane u tabeli 2.

Kvalitet otpadnih voda je upoređivan sa vrednostima koje propisuje Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje [28] uzimajući u obzir delatnosti zagađivača, a kvalitet površinskih voda sa vrednostima koje propisuje uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje [29], uredba o graničnim vrednostima prioriternih i prioriternih hazardnih supstanci koje zagađuju površinske vode i rokovima za njihovo dostizanje [30] i pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda [31].

Za svaki lokalitet na kojem je vršeno uzorkovanje izračunati su specifični količnici rizika za površinske vode (SKR), kao odnos koncentracije svakog polutanta u površinskoj vodi na mestu uzorkovanja i standarda kvaliteta životne sredine za polutante, uspostavljeni kako bi se procenio dobar hemijski status površinske vode [32,33]. Sumiranjem polutant specifičnih SKR vrednosti izračunati su integrisani indeksi rizika (IR) za svaki lokalitet. Na osnovu izračunatih SKR vrednosti izvršena je kategorizacija polutanata prema prioritetu, a na osnovu izračunatih IR vrednosti je izvršeno određivanje delova vodotoka sa najgorim kvalitetom i izračunavanje doprinosa svakog polutanta zasebno ukupnoj vrednosti indeksa rizika na svakoj lokaciji uzorkovanja.

U cilju integrisanog sagledavanja procesa u reci Krivaju, uzimajući u obzir kumulativne efekte iz koncentrisanih izvora, primenjen je koncept ukupnog maksimalnog dnevnog opterećenja (TMDL), pomoću kojeg je izračunata količina zagađenja koja se dnevno može ispustiti u vodotok a da se pri tome ne naruši njegov propisani/zahtevani kvalitet. Za proračun TMDL su korišćeni standardi kvaliteta, tj. ciljne vrednosti propisane

Tabela 2. Metode analize fizičko–hemijskih i hemijskih parametara
 Table 2. Methods for the analysis of physical-chemical and chemical parameters

Ispitivani parametar	Jed. mere	Oznaka metode	Detekcioni limit metode	Praktična granica kvantitacije
pH	–	SRPS H.Z1.111:1987	–	–
Elektroprovodljivost	μS/cm	SRPS EN 27888:1993	0,51	2,57
Rastvoreni kiseonik	mgO ₂ /l	SRPS EN 25814:2009	0,01	0,02
Suspendovane materije	mg/l	SM 2540 D	6	13
Ukupan suvi ostatak	mg/l	SM 2540 B	23	133
HPK	mgO ₂ /l	SRPS ISO 6060:1994	16	32
BPK ₅	mg O ₂ /l	H1.002	4	9
TOC	mg/l	SRPS ISO 8245:2007	0,20	0,46
Utrošak kalijum-permanganata	mg/l	SRPS EN ISO 8467:2007	0,5	1,5
Amonijak	mgN/l	SRPS ISO H.Z1.184:1974	0,02	0,06
Nitrati	mgN/l	SRPS ISO 7890-3:1994	0,01	0,02
Nitriti	mgN/l	SRPS EN 26777:2009	0,002	0,005
Ukupan fosfor	mgP/l	SRPS EN ISO 6878:2008	0,005	0,011
Ortofosfati	mgP/l	SRPS EN ISO 6878:2008	0,005	0,011
Hloridi	mgCl ⁻ /l	SRPS ISO 9297:1997	3,5	12
Sulfati	mgSO ₄ ²⁻ /l	P-V-44/A	1	6
Deterdženti	mg/l	SRPS H.Z1.149:1987	0,02	0,1
Fenoli	mg/l	SRPS ISO 6439:1997	0,025	0,037
Indeks ugljovodonika	mg/l	ISO 9377-2:2000(E)	0,44	1,0
Gvožđe	mg/l	EPA 7000b	0,068	0,14
Mangan	μg/l	EPA 7010	0,49	1
Nikl	μg/l	EPA 7010	1,09	2,2
Cink	mg/l	EPA 7000b	0,011	0,023
Kadmijum	μg/l	EPA 7010	0,15	0,3
Hrom, ukupan	μg/l	EPA 7010	0,44	0,9
Bakar	μg/l	EPA 7010	0,44	0,89
Olovo	μg/l	EPA 7010	2,92	5,9
Arsen	μg/l	EPA 7010	1,37	2,64
Živa	μg/l	H1.004	0,16	0,5

za II klasu vodotoka (dobar status) prema aktuelnoj zakonskoj regulativi [29–31], prema jednačini (2):

$$TMDL = c_{pII} Qp \quad (1)$$

gde c_{pII} predstavlja koncentraciju pokazatelja kvaliteta propisanu za drugu klasu, a Qp protok vode vodotoka. Merenje protoka vode u Krivaji je izvršeno za vreme niskog i visokog vodostaja i za oba slučaja su proračunati *TMDL*. Izvršena su poređenja emitovanog opterećenja iz koncentrisanih izvora zagađivanja sa maksimalnim dozvoljenim. Pored toga, proračunato je kakva bi situacija bila kada bi svi zagađivači (oni koji premašuju) postigli granične vrednosti emisije i za koliko bi se smanjilo opterećenje.

REZULTATI I DISKUSIJA

Proces analize pritisaka i uticaja je obuhvatio identifikaciju i karakterizaciju izvora pritisaka, analizu značajnih pritisaka, procenu uticaja i procenu rizika.

Identifikacija i karakterizacija pritisaka zagađenja

U Krivaju se direktno ili indirektno ispuštaju otpadne vode više zagađivača, ali je u toku sprovođenja monitoringa otpadne vode proizvelo samo 6 zagađivača, koji preko 9 izliva ispuštaju otpadne vode (tabela 3). Pored toga, na slivu reke Krivaje je locirano i nekoliko manjih naselja, koji takođe spadaju u koncentrisane izvore zagađivanja, a koja nemaju izgrađenu kanalizaciju.

Na osnovu podataka prikupljenih u toku monitoringa otpadnih voda ustanovljeno je da se većina otpadnih voda ispitivanih zagađivača ispušta neprečišćena ili nedovoljno prečišćena (samo primarni tretman). Sekundarno prečišćavanje je zastupljeno na 25% izliva otpadnih voda, dok kompletno tercijarno prečišćavanje ne postoji ni kod jednog zagađivača.

Izvori pritisaka na reku Krivaju predstavljaju industrijske otpadne vode, komunalne vode i vode sa farmi. Na osnovu merenih protoka (količine) otpadnih voda

Tabela 3. Identifikovani koncentrisani izvori zagađenja na reci Krivaji
Table 3. Identified point sources of pollution in the Krivaja river

Naziv zagađivača, mesto	Delatnost	Prečišćavanje otpadnih voda
Perutnina Ptuj –Topiko d.o.o., Bačka Topola	Uzgoj živine (prehrambena industrija)	Sekundarno
AIK "Bačka Topola" doo, Bačka Topola, RJ Žibel	Proizvodnja gotove hrane za domaće životinje	Primarno
Standard Komunalno preduzeće d.o.o., Stara Moravica	Sakupljanje, prečišćavanje i distribucija vode	Sekundarno
Industrija mesa "Topola" DOO Bačka Topola	Klanje krupne stoke sa preradom mesa	Primarno
J.P. "Komgrad" Bačka Topola	Sakupljanje, prečišćavanje i distribucija vode	Primarno
		Bez prečišćavanja
		Bez prečišćavanja
		Bez prečišćavanja
I.M. "Matić" –stočarstvo Srbobran	Poljoprivreda (farma)	Primarno

zagađivača izračunata opterećenja, tj. količina zagađenja (tabela 4). Kako bi se utvrdila delatnost koja predstavlja značajni pritisak, izračunata opterećenja otpadnih voda su izražena prema vrstama otpadnih voda.

Od ukupne količine otpadnih voda koja se dnevno ispusti u Krivaju, najveći deo (69%) potiče od komunalnih otpadnih voda. Kada su organske materije (HPK, BPK) u pitanju, 81% od ukupne količine potiče od industrije. Veća količina azota potiče od industrije, a fosfora od komunalnih otpadnih voda.

Analiza značajnih pritisaka

Granične vrednosti za utvrđivanje značaja izvora zagađenja su zasnovane na kvantitativnom i kvalitativnom sadržaju polutanata u otpadnim vodama, a na osnovu Uredbe o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje [28]. Za procenu značaja pritisaka kao kriterijumi koriste se granične vrednosti indikatora organskog zagađenja, nutrijenata i opasnih materija. To su vrednosti za koje se smatra da usled uticaja pritiska mogu da dovedu u pitanje ispunjenje ciljeva postizanja dobrog kvaliteta vode. Ustanovljeno je prekoračenje kod većeg broja zagađivača za sve parametre. U tabeli 5 je prikazano sumarno, uzimajući u obzir sve zagađivače i sve njihove izlive, kolika je usklađenost pojedinačnih parametara u otpadnim vodama sa propisanim graničnim vrednostima emisije.

Ustanovljeno je da postoje prekoračenja propisanih zahtevanih vrednosti u čak 67% slučajeva. Ovo ukazuje na to da tretmani otpadnih voda nisu adekvatni za uklanjanje zagađujućih materija iz otpadnih voda.

Tabela 4. Opterećenja otpadnih voda razvrstana prema delatnosti
Table 4. Wastewater load classified by the activity

Vrsta otpadnih voda	Količina vode m ³ /dan	HPK kg/dan	BPK kg/dan	Azot kg/dan	Fosfor kg/dan	Suspendovane materije kg/dan
Komunalne otpadne vode	922	193	137	46	2,3	110
Otpadne vode poljoprivrede	20	2	2	0,3	0,04	7
Industrijske otpadne vode	390	804	583	98	2	510

Tabela 5. Usklađenost koncentracija zagađujućih materija u otpadnim vodama sa graničnim vrednostima emisije
Table 5. Compliance of pollutants concentration in wastewaters with the emission limit values

Parametar	Procenat usklađenosti, %
Temperatura vode	100
pH	100
suspendovane materije	0
HPK	12
BPK	0
azot	12
amonijak	0
ukupan fosfor	25
masti	50

Kvalitet vode Krivaje

Merenja protoka vode u Krivaji takođe su izvršena u dva perioda (jun i oktobar) na dva merna mesta: kod Bačke Topole i kod Srbobrana. U oba perioda protok vode u Krivaji je veoma mali. Za izmerene vrednosti protoka vode izračunate su minimalne, maksimalne i srednje vrednosti, koje preračunate na dnevnom nivou iznose: 5875, 44237 i 21211 m³/dan, redom. U Krivaju je u toku 2015. godine ispušteno oko 1300 m³ otpadnih voda/dan, što je u periodu malog proticaja (letnji period) oko 22% od ukupne količine vode u reci. Količine otpadnih voda mogu varirati zbog kapaciteta rada pojedinih industrija, ali svakako u količini doprinose i otpadne vode iz manjih okolnih naselja bez izgrađene kanalizacije, tj. pražnjenje septičkih jama.

Izmerene vrednosti parametara zagađujućih materija u Krivaji su upoređivane sa aktuelnom zakonskom regulativom [29–31], na osnovu čega je izvršena klasifikacija vode na svakom ispitivanom lokalitetu (tabela 6). Voda je najlošijeg kvaliteta u delu oko Bačke Topole, gde postoji najveći broj parametara koji odstupaju od druge klase. Ovo je i očekivano, jer se upravo u Bačkoj Topoli nalazi najveći broj zagađivača, koji ispuštaju otpadne vode u Krivaju, uglavnom nedovoljno prečišćene.

Konačna ocena kvaliteta vode Krivaje je da na svim profilima pripada petoj klasi u oba perioda uzorkovanja. Voda je veoma lošeg kvaliteta i ne može se koristiti ni za jednu svrhu.

Procena uticaja ispuštanja otpadnih voda

Na osnovu izmerenih koncentracija svih pokazatelja izračunat je specifični količnik rizika za površinske vode (SKR) na svakom lokalitetu u oba perioda uzorkovanja, kao i indeks rizika (IR) i prikazani u tabelama 7 i 8.

Kriterijumi za specifični količnik rizika propisuju da polutanti koji prelaze maksimalne dozvoljene koncentracije, date u domaćoj zakonskoj regulativi [29–31], manje od deset puta se svrstavaju u kategoriju polutanata srednjeg prioriteta a ukoliko prelaze više od deset puta svrstavaju se u kategoriju polutanata visokog prioriteta. Na osnovu dobijenih rezultata i izračunatih specifičnih količnika rizika, dolazi se do zaključka da se većina analiziranih parametara na svim lokalitetima mogu svrstati u kategoriju srednjeg rizika. Parametri visokog rizika su parametri kiseoničnog režima i nutrijenti. Zastupljeni su u manjoj ili većoj meri na svim

lokalitetima, a najviše ih je u delu oko Bačke Topole. Nizak sadržaj rastvorenog kiseonika, odnosno povećane koncentracije hemijske i biohemijske potrošnje kiseonika, ukazuju na prisutno organsko zagađenje, koje ima dva potencijalna negativna rizika: nagomilavanje mulja u vodotoku i ekološka šteta usled smanjivanja koncentracije rastvorenog kiseonika ispod biološkog minimuma. Ovaj problem posebno je izražen u periodu godine koji karakterišu niski vodostaji i povišene temperature.

Na slici 1 su grafički prikazani indeksi rizika prema lokacijama uzorkovanja vode Krivaje. Za proračun indeksa rizika uzeto je u obzir 24 parametra, što znači da je svaki lokalitet sa indeksom rizika većim od 24 pod rizikom nepostizanja dobrog statusa. Najugroženija deonica kanala je nizvodno od Bačke Topole. Loš kvalitet vode je zabeležen u oba perioda uzorkovanja (I – jun, II – oktobar), a parametri koji intenzivno doprinose visokom indeksu rizika su HPK, BPK, amonijum jon, fosfor i ortofosfati. Ovi pokazatelji su svakako bitni jer izazivaju niz direktnih negativnih efekata u recipijentu (smanjenje koncentracije rastvorenog kiseonika, eutrofikaciju) i verovatno predstavljaju posledicu ispuštanja otpadnih voda.

Na osnovu raspoloživih podataka o kvalitetu i količini otpadnih voda i vode same reke izračunato je tzv. dozvoljeno opterećenje, odnosno maksimalno opterećenje koje Krivaja može da primi bez narušavanja kvaliteta (TMDL), odnosno da kvalitet bude na nivou klase 2, što odgovara dobrom statusu vode.

Tabela 6. Klasifikacija vode Krivaje na osnovu fizičko-hemijskih i hemijskih parametara
Table 6. Classification of Krivaje water based on physico-chemical and chemical parameters

Grupa parametara	Uzvodno od naselja Bajmok		Uzvodno od Bačke Topole		Nizvodno od Bačke Topole		Ulaz sa akumulacije Zobnatica	
	Jun	Oktobar	Jun	Oktobar	Jun	Oktobar	Jun	Oktobar
Opšti	III	III	III	III	III	III	III	III
Kiseonični režim	IV	V	V	V	V	V	IV	V
Nutrijenti	V	III	V	V	V	V	V	V
Salinitet	V	II	II	II	II	II	II	II
Metali	II	II	III	IV	II	II	II	III
Organske supstance	III	II	I	III	I	IV	IV	I
Konačna klasifikacija	V	V	V	V	V	V	V	V

Grupa parametara	Nizvodno od ustave III Mali Idoš		Nizvodno od ustave I Feketić		Pre uliva u kanal DTD (nizvodno od Srbobrana)	
	Jun	Oktobar	Jun	Oktobar	Jun	Oktobar
Opšti	III	III	III	III	I	I
Kiseonični režim	IV	V	IV	V	IV	V
Nutrijenti	V	V	V	V	V	V
Salinitet	II	III	III	IV	II	I
Metali	II	III	II	II	II	II
Organske supstance	III	III	III	I	III	I
Konačna klasifikacija	V	V	V	V	V	V

Tabela 7. Specifični količnik rizika za površinske vode za lokalitete Bajmok, Bačka Topola i Zobnatica
 Table 7. Specific risk quotient for surface water for localities Bajmok, Backa Topola and Zobnatica

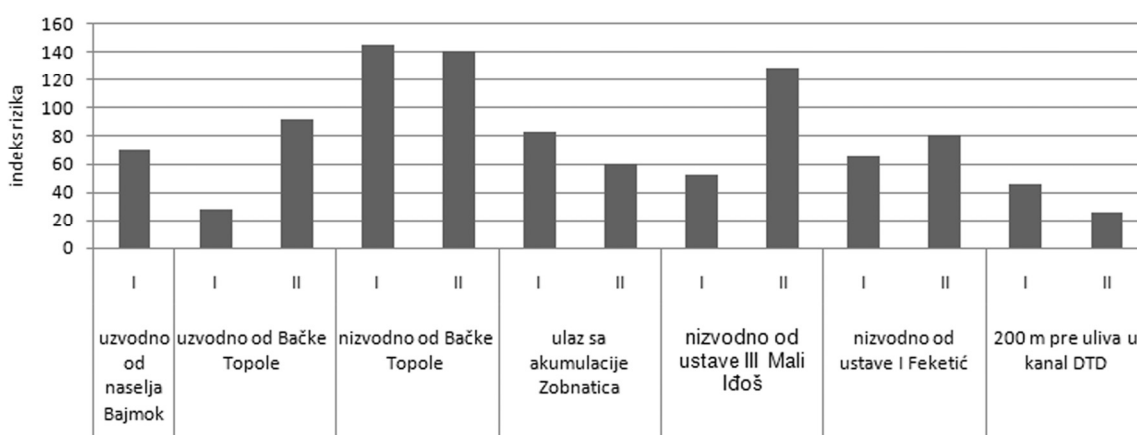
Parametar	Uzvodno od naselja Bajmok		Uzvodno od Bačke Topole		Nizvodno od Bačke Topole		Ulaz sa akumulacije Zobnatica	
	Jun	Okto	Jun	Okto	Jun	Okto	Jun	Okto
Suspendovane materije	4,0	3,7	2,4	7,7	0,7	3,1	3,1	
Rastvoreni kiseonik	1,0	1,2	3,0	3,0	2,9	1,0	2,6	
BPK ₅	2,6	3,7	6,7	13,9	1,3	1,5	1,2	
HPK (bihrom.metoda)	3,8	5,6	5,6	25,2	1,9	4,0	1,6	
HPK (permang.metoda)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
TOC	1,0	0,8	2,7	3,0	1,0	0,4	0,6	
Ukupan azot	10,9	2,0	16,2	18,3	2,0	7,9	3,9	
Nitrati	0,5	1,3	44,3	49,1	0,4	6,6	7,7	
Nitriti	6,6	0,8	1,5	3,3	0,2	4,2	1,1	
Amonijum jon	17,6	2,6	0,4	1,4	4,0	9,2	26,6	
Ukupan fosfor	0,4	0,7	1,6	3,7	8,4	0,5	1,9	
Ortofosfati	0,7	0,1	7,1	4,1	0,4	0,6	2,0	
Hloridi	2,3	1,1	1,9	1,5	0,9	0,9	0,9	
Sulfati	3,6	1,0	0,4	0,8	0,8	0,5	0,9	
Ukupna mineralizacija	0,7	0,7	1,0	0,9	0,7	0,6	0,7	
Elektroprovodljivost	0,6	0,8	0,9	0,8	0,9	0,6	1,0	
Arsen	0,0	0,5	0,0	0,0	0,7	0,7	1,1	
Bakar	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	
Cink	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	
Hrom (ukupni)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	
Gvožđe (ukupno)	0,1	0,7	1,5	2,1	0,9	0,0	1,1	
Mangan (ukupni)	1,0	0,4	1,7	0,6	0,7	0,8	0,9	
Fenolna jedinjenja	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	
Površinski aktivne materije	11,9	0,0	0,0	5,8	0,0	39,2	0,0	

Tabela 8. Specifični količnik rizika za površinske vode za lokalitete Mali Idoš, Feketić i Srbobran
 Table 8. Specific risk quotient for surface water for localities Mali Idjos, Feketic and Srbobran

Parametar	Nizvodno od ustave III Mali Idoš		Nizvodno od ustave I Feketić		Pre uliva u kanal DTD (nizvodno od Srbobrana)	
	Jun	Okto	Jun	Okto	Jun	Okto
Suspendovane materije	2,5	4,6	9,6	2,3	2,3	1,0
Rastvoreni kiseonik	1,4	19,4	1,1	2,4	0,8	3,1
BPK ₅	0,5	9,5	1,7	4,1	1,9	2,1
HPK (bihrom.metoda)	0,8	17,4	4,0	5,9	4,0	4,6
HPK (permang.metoda)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOC	0,8	2,6	1,4	1,0	1,1	1,3
Ukupan azot	6,8	25,6	4,6	7,4	2,1	2,1
Nitrati	21,1	76,9	20,2	21,3	2,3	3,9
Nitriti	1,5	0,9	0,1	1,3	0,9	0,2
Amonijum jon	1,7	0,2	5,1	18,6	15,2	0,1
Ukupan fosfor	1,5	5,0	3,2	4,6	2,0	0,5
Ortofosfati	1,8	4,4	1,8	4,5	1,5	1,6
Hloridi	1,0	1,2	1,3	1,3	0,9	0,6
Sulfati	1,0	0,5	1,2	2,0	0,9	0,4
Ukupna mineralizacija	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,4
Elektroprovodljivost	0,6	1,4	0,6	1,3	0,7	0,9

Tabela 8. Nastavak
Table 8. Continued

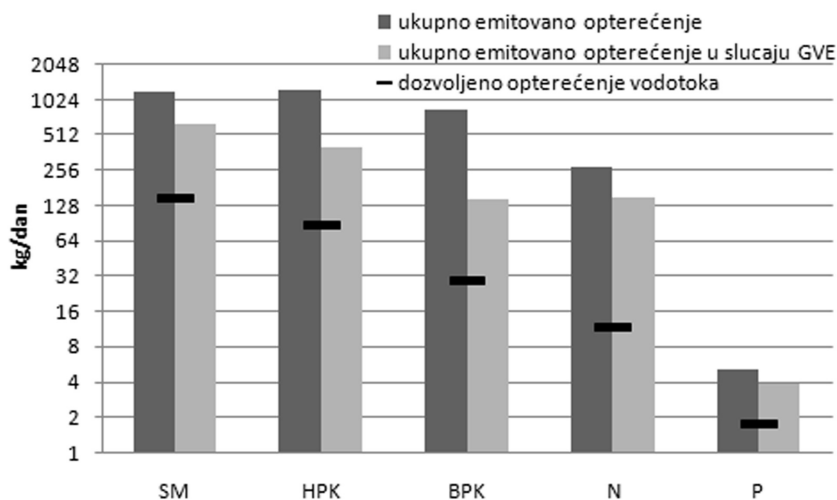
Parametar	Nizvodno od ustave III Mali Idoš		Nizvodno od ustave I Feketić		Pre uliva u kanal DTD (nizvodno od Srbobrana)	
	Jun	Oktobar	Jun	Oktobar	Jun	Oktobar
Arsen	0,3	0,3	0,3	0,8	0,7	0,5
Bakar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Cink	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hrom (ukupni)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gvožđe (ukupno)	0,3	1,2	0,8	0,4	0,0	0,8
Mangan (ukupni)	0,5	1,4	0,9	1,0	0,5	0,8
Fenolna jedinjenja	0,5	1,4	0,4	0,2	0,4	0,4
Površinski aktivne materije	6,9	14,0	6,0	0,0	7,0	0,0



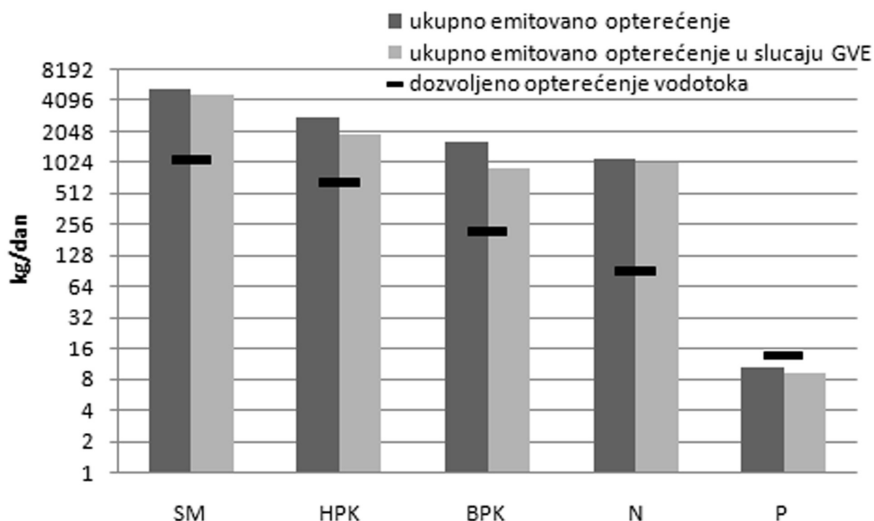
Slika 1. Indeksi rizika za analizirane polutante prema lokacijama uzorkovanja.
Figure 1. The risk index for analyzed pollutants according to sampling locations.

Sa druge strane, ukupno emitovano opterećenje vodotoka predstavlja zbir opterećenja koje potiče od otpadnih voda i tzv. pozadinskog nivoa koncentracije hemijskih materija (onog koje sama voda Krivaje već ima). Za ovaj proračun su uzeti podaci sa najzuvodnijeg

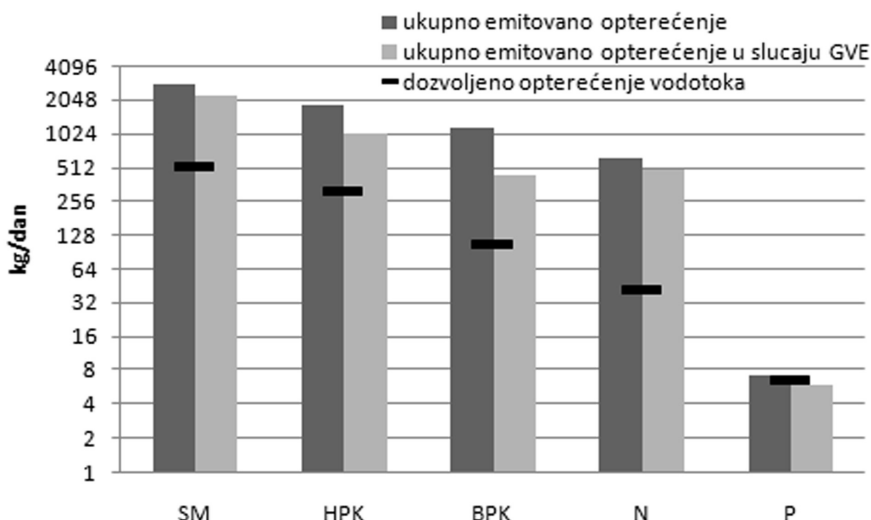
profila (uzvodno od Bajmoka). Ukupno emitovano opterećenje je upoređeno sa dozvoljenim za sve parametre pri minimalnom, maksimalnom i srednjem protoku (slike 2–4). U sva tri slučaja (minimalan, maksimalan i srednji protok vode u Krivaji) ispušteno opterećenje



Slika 2. Poređenje ukupnog emitovanog opterećenja sa dozvoljenim pri minimalnom protoku vode.
Figure 2. Comparison of the total emitted load with allowable limits at a minimum water flow.



Slika 3. Poređenje ukupnog emitovanog opterećenja sa dozvoljenim pri maksimalnom protoku vode.
Figure 3. Comparison of the total emitted load with allowable limits at a maximum water flow.



Slika 4. Poređenje ukupnog emitovanog opterećenja sa dozvoljenim pri srednjem protoku vode.
Figure 4. Comparison of the total emitted load with allowable limits at an average water flow.

otpadnih voda je mnogo veće od prihvatne moći recipijenta. Čak i pri maksimalnom izmerenom protoku, opterećenje iz koncentrisanih izvora je 3 puta veće u slučaju HPK i čak 11 puta veće u slučaju azota. Jedino je opterećenje otpadnih voda fosforom i to samo pri maksimalnom protoku vode u reci, manje od dozvoljenog opterećenja vodotoka.

Izvršen je proračun opterećenja iz koncentrisanih izvora za slučaj kada bi koncentracije zagađujućih materija kod svih zagađivača bile na nivou propisanih graničnih vrednosti emisije (GVE). Ukupno emitovano opterećenje bi se smanjilo za oko 40% za organske materije i za oko 20% za nutrijente. Ustanovljeno je da čak i tada emitovano opterećenje iz koncentrisanih izvora premašuje dozvoljeno u znatnoj meri pri sva tri slučaja različitih protoka vode u reci (slike 2–4). Samo u

slučaju fosfora, opterećenje bi se smanjilo tačno do nivoa dozvoljenog opterećenja pri srednjem protoku vode u reci.

Opterećenju iz koncentrisanih izvora treba dodati i opterećenje iz difuznih izvora, (koje u ovom radu nije uzeto u obzir), pri čemu njihova suma treba da bude u okviru dozvoljenog opterećenja. Zbog karakteristika okolnog zemljišta, može se pretpostaviti da je difuzno opterećenje veliko, a rezultati rada pokazuju da samo opterećenje iz koncentrisanih izvora već premašuje dozvoljeno, tj. prihvatnu moć recipijenta.

ZAKLJUČAK

Cilj rada je bio da se utvrdi uticaj ispuštanja otpadnih voda na vodotok Krivaja. Procena uticaja je izvršena

na osnovu podataka o otpadnim vodama zagađivača i podataka o monitoringu vode Krivaje.

Otpadne vode zagađivača lociranih na Krivaji su, zbog nedovoljnog prečišćavanja, veoma opterećene organskim materijama i nutrijentima. Krivaja dnevno primi 1332 m³ otpadnih voda, 999 kg HPK, 722 kg BPK, 144 kg azota, 4,3 kg fosfora i 627 kg suspendovanih materija. Od ukupne količine otpadnih voda, najveći deo (69%) potiče od komunalnih otpadnih voda, 81% od ukupne količine organskih materija potiče od industrije, dok nutrijenti najvećim delom dospevaju iz komunalnih otpadnih voda. Opterećenost Krivaje otpadnim vodama je velika, neujednačena i neravnomerna, pri čemu je najveća u delu oko Bačke Topole i nizvodno.

Na osnovu izmerene količine otpadnih voda i određivanja njihovog sastava, može se reći da svi zagađivači predstavljaju značajan pritisak na vodotoku, iz razloga što kod svakog zagađivača postoji prekoračenje graničnih vrednosti emisije. Najviše prekoračenih vrednosti je u slučaju suspendovanih materija, biološke potrošnje kiseonika i amonijaka.

Kvalitet vode Krivaje je nezadovoljavajući. Prema domaćoj zakonskoj regulativi postoji prekoračenje maksimalnih dozvoljenih vrednosti za II klasu vodotoka (dobar status) za većinu parametara na svim lokacijama uzorkovanja i u oba perioda uzorkovanja. Vrednosti koje su prekoračile vrednosti za II klasu su rastvoreni kiseonik, sadržaj organskih materija izražen kao rastvoreni kiseonik, BPK, HPK, TOC, suspendovane materije, nutrijenti (amonijum jon, fosfor). Prekoračenje ovih vrednosti posledica je ispuštanja otpadnih voda. Najugroženije lokacije su oko Bačke Topole, gde je i skoncentrisan najveći broj zagađivača, što doprinosi kumulativnom opterećenju vodotoka. Poredeći rezultate merenja parametara u oba perioda ispitivanja, utvrđeno je da je voda kanala sličnog kvaliteta u pogledu sadržaja zagađujućih materija, jer su i protoci vode u kanalima bili mali i približni. Na osnovu izračunatih vrednosti specifičnih količnika rizika na svim lokalitetima, može se reći da su polutanti visokog prioriteta azot, amonijak, HPK, BPK.

Protok vode u reci nije dovoljan da primi svu količinu opterećenja iz koncentrisanih izvora zagađivanja, jer od protoka zavisi samoprečišćavajuća moć vodotoka. Pri tome ne treba zanemariti opterećenje iz difuznih izvora, koje je sigurno značajno zbog poljoprivrednih aktivnosti okolnog zemljišta.

Procena rizika na osnovu rezultata monitoringa ukazuje da je reka Krivaja verovatno pod rizikom od nepostizanja zahtevanog kvaliteta vode, iz razloga što većina vrednosti prekoračuju granične vrednosti standarda kvaliteta. Na ovo su ukazali i podaci o pritiscima, značajnim pritiscima iz koncentrisanih izvora i rezultati monitoringa vode Krivaje.

Zahvalnost

Zahvalnost dugujemo Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja (Projekat TR37004), Pokrajinskom sekretarijatu za urbanizam, graditeljstvo i zaštitu životne sredine i JVP "Vode Vojvodine" Novi Sad.

LITERATURA

- [1] C.S. Gilbert, A.T. Wendy, Watershed scale assessment of nitrogen and phosphorus loadings in the Indian River Lagoon Basin, Florida, *Environ. Manage.* **67** (2003) 363–372.
- [2] P.S. Kunwar, M. Amrita, S. Sarita, Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti River (India) using multivariate statistical techniques – A case study, *Anal. Chim. Acta* **538** (2005) 355–374.
- [3] G. Burke, B. Singh, L. Theodore, *Handbook of Environmental Management and Technology*. John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada, 2005.
- [4] E. Malaj, P.C. Von der Ohe, M. Grote, R. Kühne, C.P. Mondy, P. Usseglio-Polatera, W. Brack, R.B. Schäfer, Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale, *Proc. Natl. Sci.* **111** (2014) 9549–9554.
- [5] Guidance document on Analysis of Pressures and Impacts (CIS Working Group 2.1 – IMPRESS) Final version, European Communities, 2002.
- [6] *Environmental Indicators: Typology and Overview*, Technical report no. 25, European Environment Agency, Copenhagen, 1999.
- [7] P. Kristensen, *The DPSIR Framework*, European Topic Centre on Water, European Environment Agency. National Environmental Research Institute, Department of Policy Analysis, Denmark, 2004, pp. 1–10.
- [8] G. Tsakiris, D. Alexakis, Water quality models: An overview, *European Water* **37** (2012) 33–46.
- [9] C. Lundberg, Conceptualizing the Baltic Sea ecosystem: an interdisciplinary tool for environmental decision making, *Ambio* **34** (2005) 433–439.
- [10] H. Svarstad, L.K. Petersen, D. Rothman, H. Sieple, F. Wätzold, Discursive biases of the environmental research framework DPSIR, *Land Use Policy* **25** (2008) 116–125.
- [11] S. Rekolainen, J. Kamari, M. Hiltunen, T.M. Saloranta, A conceptual framework for identifying the need and role of models in the implementation of the Water Framework Directive, *Intl. J. River Basin Manag.* **4** (2003) 347–352.
- [12] B. Stojanović, M. Milovanović, D. Vulić, Primena „DPCER“ koncepta za analizu pritiska i uticaja na vodna tela, *Zbornik radova Konferencije „VODA 2008“*, Srpsko društvo za zaštitu voda, Mataruška banja, 2008, str. 1–4.
- [13] L.W. Canter, G.A. Canty, Impact significance determination basic considerations and a sequenced approach, *Environ. Impact. Asses. Rev.* **13** (1993) 275–297.

- [14] D.M. Dzidzornu, Environmental Impact Assessment procedure through the conventions. *Eur. Environ. Law. Rev.* **10** (2001) 15–27.
- [15] United Nations Environment Program - Environmental impact assessment training resource manual, 2nd ed., Australian EIA Network; 2002 (http://www.unep.ch/etu/publications/EIAMan_2edition_toc.htm).
- [16] Guideline for environmental management – Risk-based assessment of ecosystem protection in ambient waters. EPA publication 961, Australia, 2004.
- [17] Guidelines for risk assessment of wastewater discharges to waterways. EPA publication 1287, Australia, 2009.
- [18] B. Stojanović, M. Milovanović, D. Vulić, Opšti koncept analize pritisaka i procene uticaja, U.B. Stojanović (Ur.) Analiza antropogenih pritisaka i procena uticaja na vodne resurse, Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi”, Beograd, 2010, str. 6–25.
- [19] B.K. Park, J.H. Park, S.Y. Oh, D.S. Kong, D.H. Rhew, D.I. Jung, Y.S. Kim, S.I. Choi, Z.W. Yun, K.S. Min, Determination of target quality indicators and values on total maximum daily loads management system in Korea, *Desalin. Water Treat.* **6** (2009) 12–17.
- [20] D. Schneider, R. Anderson, Wenatchee River Watershed Temperature Total Maximum Daily Load Water Quality Improvement Report. Washington State Department of Ecology, 2007.
- [21] S. Zhang, Y. Li, T. Zhang, Y. Peng, An integrated environmental decision support system for water pollution control based on TMDL e A case study in the Beiyun River watershed. *J. Environ. Manag.* **156** (2015) 31–40.
- [22] L. Zhao, X. Zhang, Y. Liu, B. He, X. Zhu, R. Zou, Y. Zhu, Three-dimensional hydrodynamic and water quality model for TMDL development of Lake Fuxian, China. *J. Environ. Sci.* **24** (2012) 1355–1363.
- [23] C. Wang, J. Bi, R.B. Ambrose, Development and application of mathematical models to support total maximum daily load for the Taihu Lake’s influent rivers, China. *Ecol. Eng.* **83** (2015) 258–267.
- [24] W.T. Stringfellow, Ranking tributaries for setting remediation priorities in a TMDL context, *Chemosphere* **71** (2008) 1895–1908.
- [25] W. Stringfellow, S. Borglin, J. Hanlon, J. Graham, R. Burks, Scientific studies supporting development of a dissolved oxygen TMDL, *Water Practice* **2** (2008) 1–10.
- [26] B. Tiemeyer, P. Kahle, B. Lennartz, Designing monitoring programs for artificially drained catchments, *Vadose Zone J.* **9** (2010) 14–24.
- [27] Pravilnik o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda, *Službeni glasnik RS*, br. 96/2010.
- [28] Uredba o izmenama i dopunama uredbe o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje, *Sl.glasnik RS*, br. 67/2011, 48/2012, 1/2016.
- [29] Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje, *Sl.glasnik RS*, br. 50/2012.
- [30] Uredba o graničnim vrednostima prioriternih i prioriternih hazardnih supstanci koje zagađuju površinske vode i rokovima za njihovo dostizanje, *Službeni glasnik RS*, br. 24/2014.
- [31] Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda, *Službeni glasnik RS*, br. 74/2011.
- [32] Risk-based approach to assessment of water pollution sources. Institute for Ecology of Industrial Areas, Katowice, Central Europe and European Union, FOKS Report 2011, pp. 12–27.
- [33] V. Pešić, M. Bečelić-Tomin, B. Dalmacija, D. Krčmar, Procena uticaja ispuštanja otpadnih voda na kvalitet vode kanala DTD Bečej–Bogojevo, *Hem. Ind.* **69** (2015) 219–229.

SUMMARY

IDENTIFICATION OF SIGNIFICANT PRESSURES AND ASSESSMENT OF WASTEWATER DISCHARGE ON KRIVAJA RIVER WATER QUALITY

Vesna Z. Pesic, Milena R. Becelic-Tomin, Djurdja V. Kerkez, Bozo D. Dalmacija, Dejan M. Krcmar, Snezana P. Maletic, Natasa S. Varga

University of Novi Sad Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Trg Dositeja Obradovica 3, 21000 Novi Sad, Serbia

(Scientific paper)

One of the key stages of the process of preparing management plans for the river basin is the analysis of pressures and impacts, as well as the risk assessment of failing to achieve the environmental objectives. DPSIR framework (Driving Forces-Pressure-State-Impact-Response) was developed by the European Agency for the environmental protection, and makes the conceptual basis for the pressures and impacts analysis, taking into account the complexity of the interactions in the environment and represents the tool for their analysis. Impact assessment of the water body requires some quantitative information to describe the condition of the water body and/or the pressures that act on it. The aim of the study was to determine the effect of wastewater discharge on Krivaja watercourse. Impact assessment is carried out based on data of polluters' wastewater and monitoring information for water in Krivaja. For each site at which sampling was performed, the specific risk quotients for surface water were calculated, as the ratio of the each pollutant concentration in surface water at the sampling point and environmental quality standards for pollutants, as well as their sum that represents the risk index. In order to have the integrated perceive of processes in the Krivaja River, taking into account cumulative effects from point sources, the concept of total maximum daily load was applied, using which the pollution amount, that can be discharged daily in a water body without degrading his prescribed/required quality, was calculated. Comparison of emitted loads from pollution point sources with maximum allowable ones was performed. Wastewaters of different polluters located on Krivaja are, due to insufficient treatment, very loaded with organic matter and nutrients. Krivaja receives daily 1332 m³ of wastewater, 999 kg COD, 722 kg BOD, 144 kg of nitrogen, 4.3 kg of phosphorus and 627 kg of suspended solids. Of the total wastewater volume, the majority (69%) originates from municipal wastewater, 81% of the total amount of organic matter comes from the industry, while nutrients mostly originate from municipal wastewater. Loading of Krivaja with wastewater is major, uneven and unbalanced. Water quality of Krivaja is unsatisfactory. According to national legislation there is the exceedance of maximum permissible values for Class II for watercourse (good status) for most parameters, in all sampling locations and in both sampling periods. Parameters that exceeded the value for the Class II are dissolved oxygen, organic matter content, suspended solids, nutrients. Water flow in the river is not sufficient to receive the total amount of the pollutant load from point sources. Risk assessment, based on the monitoring results, indicates that the river Krivaja is possibly at risk of failing to meet the required water quality because the most of the values exceeded the limit values.

Keywords: Wastewater • Impact assessment • DPSIR • Krivaja • Ecological status