

UTICAJ OTPADNIH VODA NA BIOLOŠKE PARAMETRE RIJEKE ŽELJEZNICE

Trožić-Borovac S., Trakić, S., Škrijelj, R., Đug, S., Šabić A., Gvožđar A., Šarić M., Hrapović M., Abdulovski E., Čota N., Borovac B., Golijanin B., Huremović S., Jonjić I., Mešković E., Skopljak S., Stipinović M., Topalović A.

Prirodno-matematički fakultet Zmaja od Bosne 33-35 Sarajevo, e-mail: sadberatb@outlook.com

REZIME

U radu su prikazani rezultati višegodišnjih istraživanja sastava makrofita i makrozoobentosa u rijeci Željeznici gornjeg, srednjeg i donjeg toka (2012-2015). Primjenom MTR indeksa i indeksa diverziteta za makrofite, a za makroinvertebrate EPT% i BMWP indeksa, dobivene su vrijednosti koje jasno odvajaju gornji i srednji dio toka, a najjači intenzitet utoka otpadnih voda izražen je u dijelu toka od Ilidže do Otesa (ušće). Primjenjeni indeksi analiziranih bioloških parametara su pokazali adekvatnost u ocjeni stanja rijeke Željeznice, i na potrebe ekotoksikoloških istraživanja koji će determinirati intenzitet tih uticaja na floru i faunu vodotoka Željeznice.

Ključne riječi: ekotoksikologija, teški metali, kontaminacija, raznovrsnost

UVOD

Postoji veliki broj različitih organizama u tekućim vodama, od mikroba i gljivica do viših biljaka, a od životinja protozoa do kičmenjaka, kao što su ribe i sisari. u lentičkim vodama. Planktonski organizmi dominiraju, posebno u otvorenim vodama. Bentoski organizmi su ograničeni na dno i dominiraju u tekućicama. U tekućicama, planktonski organizmi se pojavljuju samo u donjem toku, gdje korito postaje široko i duboko (potamoplankton). U gornjem i srednjem toku, planktonski organizmi zbog brzog protoka ne maju izražen razvoj (osim u velikim ravničarskim rijekama srednji dio toka). Bentoski organizmi čine niz taksa varijabilne veličine koje naseljavaju različita staništa. Nekton je uglavnom ograničen na ribe čije se populacije na uzdužnom profilu vodotoka razlikuju u kvalitetu i kvantitetu. Makrofite, alge i cijanobakterije (plavo-zelene alge) su komponenta autotrofa u tekućim vodama. Makrofite uključuju vaskularne biljake i Bryophyte. Od algi se ističu: Chlorophyta (zelene alge), Rhodophyta (crvene alge), Euglenophyta, Zygnemathophyceae, a najraznovrsnije su silikatne alge Diatomea (Bacillariophyceae). Većina mikroskopskih autotrofa egzistira kao perifiton ili kao epilitske, a neke postaju potamoplanktonske u donjem toku tekućica. Makrofite su relativno siromašne u tekućim vodama u odnosu na stajanje vode. Cvjetnice, mahovine i jetrenjače čine makrofitne vegetacije u lotičkim vodama. Mogu biti plutajuće, potopljene i polupotopljene prema načinu života i mjestu razvoja. Vrste porodice Ranunculaceae se razvijaju u brzim i hladnim dijelovima vodotoka, dok vrste porodice Potamogetonaceae su karakteristične za sporotekuće i ravničarske dijelove tekućica, plutajuće vrste rodova *Lemna* i *Azolla* su karakteristične za efemernu potoku (Wilhm & Dorris 1968).

Makroinvertebrate su dominantne i raznolike u bentoskoj zajednici rijeka. Ove životinje su dobile mnogo pažnje u ekologiji i biologiji tekućih voda. Oni predstavljaju važnu vezu između mikroorganizama i kičmenjaka. Usljed velike raznovrsnosti, skupine koje izgrađuju makrozoobentos, pokrivaju širok broj staništa i područja, veliki broj vrsta pokriva širok spektar zagađenja i zagađivača, a sedentarni život omogućuje prostornu analizu zagađenja, i relativno dug život jedinki omogućava da se razjasne vremenske promjene (kontinuirano praćenje). Biomonitoring koristeći makroinvertebrate, treba manje skupu opremu od hemijskih analiza, a ponekad ima veću osjetljivost na zagađivače. Ekološka stabilnost odotoka tj. ekološki integritet, može se adekvatno pratiti pomoću makroinvertebrata. Otpadne vode predstavljaju veliki problem našeg društva u cjelini kao direktan nus proizvod zadovoljavanja čovjekovih životnih potreba koje danas prelaze granicu racionalnog i održivog korištenja. Nakon što pritisak pređe granicu, ekosistem gubi svoju elastičnost i prelazi u alternativno, relativno stabilno, stanje sa znatno manjim kapacitetom za određene servise koje nudi (Holling, 2001). Otpadne vode se definišu kao kombinacija: vode iz domaćinstva koje podrazumijevaju „crnu vodu“ sa ekskretima, urinom i fekalnim otpadom i „sivu vodu“ koja obuhvata potrošenu vodu kuhinje i kupatila; vode javnih ustanova sa posebnim namjerama, bolnice, laboratorije i sl.; industrijske ispuste, kišnicu, poljoprivredne otpadne vode, hortikulture i vode akvakulture, bilo u rastvorenom obliku ili suspendovanom (Agić, 2016). Poseban problem predstavljaju urbani centri, sve veća ekspanzija gradova koja odavno prevazilazi planirane kapacitete kako za vodom, tako i ostalim potrebnim parametrima prirode. Urbani centri proizvode velike količine otpadnih voda koje najčešće, u nedostatku kvalitetne infrastrukture i mehanizama za sanaciju i upravljanje istim, završavaju direktno u najbližem vodnom tijelu. Ispuštanjem otpadnih voda u zdrav akvatični ekosistem, dolazi do različitih promjena biljnog i životinjskog svijeta u ovisnosti od sastava otpadnih voda. Promjene se ogledaju kroz pojave različitih bolesti, genetske promjene, fiziološke smetnje, fizičke deformacije, kao i uginuće pojedinih vrsta biljaka i životinja. Ovakve aktivnosti utiču na

strukturu i funkciju ekosistema (Stoddard et al., 2006). Otpadne vode u akvatičnim ekosistemima svojim utokom iniciraju smanjenje koncentracije kisika, povećanje koncentracije nutrijenata koje uzrokuje prekomjeren rast i razmnožavanje algi, zagađenje suspendovanim materijama, teškim metalima i sl. Na globalnom nivou se samo 20% otpadne vode pravilno tretira i prečišćeno vrati u ekosistem ne ostavljajući mogućnost za kontaminacijom potencijalno opasnim materijama, dok ostalih 80% odlazi direktno, najčešće u rijeke.

Rijeka Željeznica ima nekoliko pravaca pružanja. Njena dužina iznosi oko 40 km od samog izvora do ušća u rijeku Bosnu. Dužina toka Željeznice, od izvora do Trnova iznosi oko 7,0 km. Od izvorišnog područja do Tošića ova rijeka se pruža pravcem zapad-istok u dužini od oko 5 km. Nizvodno od Tošića naglo mijenja pravac toka prema sjeverozapadu u dužini oko 2 km sve do Trnova i dalje ka Sarajevu. Od Trnova do ušća u Bosnu rijeka Željeznica ima dužinu toka od oko 30 km.

Rijeka Željeznica prihvata vode sjeveroistočnog dijela planine Treskavice. Formira se, uglavnom, od izvora "Željezničko vrelo", te brojnih izvora i potoka sjeveroistočnih padina Treskavice među kojima su, sve do Turova, veće desne pritoke Bijeli potok, Klesni potok i Hrasnica, a lijeve pritoke Bjelutovac i Runjavica. Najveće pritoke Željeznice između Trnova i Krupca su Crna rijeka (desna pritoka) i Presjenica sa Bijelom rijekom (lijeva pritoka). U Sarajevskom polju u Željeznicu se ulijevaju Kasindolski potok kao najveća desna pritoka i riječica Večerica koja je vještački kanalom dovedena u Željeznicu u općini Ilidžu. HE Bogatići je formirana 1947. godine na rijeci Željeznici i danas radi. Kao poseban fenomen u koritu rijeke Željeznice je pojava „kazana“ koji su posebni prirodni fenomeni koji ovoj rijeci dodatno daju originalnost i jedinstvenost, a rezultat je specifičnosti geološke podloge.

MATERIJAL I METODIKA RADA

Uzorkovanja makrozoobentosa izvršeno je na lokalitetima gornjeg toka (nizvodno od izvora – Godinja-Kazani), srednji tok (Vojkovići) i donji tok (Ilidža-Sarajevo), 2012-2015 godine (maj i septembar). Istraživanje je izvršeno na lokalitetima koji predstavljaju reprezentativne segmente gornjeg, srednjeg i donjeg dijela toka rijeke Željeznice. Lokaliteti odgovaraju ekološki homogenim, longitudinalnim transektima vodotoka, dužine 100 m. Prema primjenjenoj metodologiji istraživanja akvatičnih organizama, na lokalitetima su rekonoscirani osnovni fizičko-geografski i fizički parametri (Tab. 1).

Tabela 1. Pregled osnovnih ekoloških karakteristika istraživanih lokaliteta

Lokalitet	Koordinate	n.v (m)	Š.k.(m)	Dub. (m)	Brz.pr.	substrat	Veg.ob.
Kazani (L1)	43.64659°N; 018.42062°E	896	3	0,2	2	Megalital	<i>Salicetum incanae</i>
Kanjon (L2)	43.77637°N; 018.36812°E	548	8	0,4	3	Makrolital/akal	<i>Alnetum incanae</i>
Ilidža (L3)	43.831037°N; 018.304595°E	506	20	0,7	1	Psamal	Antropogeno

Metodologija istraživanja akvatičnih makrofita

Terenska istraživanja akvatičnih makrofita na rijeci Željeznici su realizirana prema standardu EN 14184: 2003. Uzorkovane su vaskularne biljke, mahovine, jetrenjarke i makroalge koje naseljavaju vodena staništa ili staništa koja su barem $\frac{3}{4}$ godine pokrivena vodom. Na lokalitetima je procjenjena abundanca makrofita na skali od 1 do 5 (Kohler, 1978), pri čemu je izvršena transformacija vrijednosti abundance definisanih u metodologiji MTR indeksa (Birk, 2009). Provjera i/ili identifikacija vrsta je realizirana u laboratorijskim uslovima uz korištenje ključeva za determinaciju (Pavletić, 1968, Watson,

1968, Cook et al., 1974, Domac, 1979, Smith, 1978, 1991, Javorka et Csapody, 1979, Whitton et al. 2011). Nomenklatura sjemenjača i papratnjača je data prema Flora Europaea (Tutin et al., 1964-1985). Nomenklatura mahovina i jetrenjarki je data prema The moss flora of Britain and Ireland (Smith, 1978) i The liverwort of Britain and Ireland (Smith, 1991). U biološkoj procjeni kvaliteta vode rijeke Željeznice primjenom akvatičnih makrofita korišten je MTR (Mean Trophic Rank) indeks (Holmes et al., 1999). MTR indeks je razvijen u Velikoj Britaniji u skladu sa smjernicama Direktive o tretmanu gradskih otpadnih voda (UWWTD, 91/271/EEC). Vrijednosti MTR se kreću u rasponu od 10 do 100, pri čemu niže MTR vrijednosti korespondiraju sa porastom eutrofikacije. Shodno navedenom, MTR indeks se izračunava preko formule: $MTR = (\sum CVS / \sum SCV) * 10$ SCV (Species Cover Value) - abundanca za indikatorske vrste CVS (Cover Value Score) – umnožak abundance i STR vrijednosti za indikatorske vrste. Vrijednosti MTR indeksa veće od 65 indiciraju staništa koja nisu eutroficirana, dok vrijednosti ispod 25 odgovaraju teško eutroficiranim staništima. U rasponu vrijednosti između 25 i 65 postoji veća ili manja mogućnost (rizik) za eutrofikaciju na staništima (Holmes et al., 1999). Za analizu diverziteta vrsta akvatičnih makrofita primjenjen je Shannon-Weaver indeks (1949).

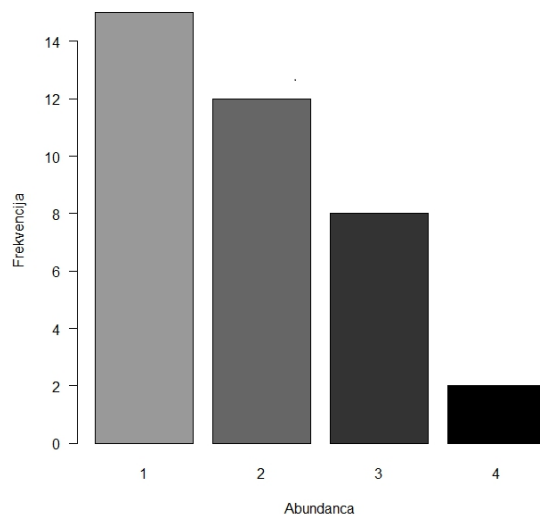
Uzorkovanje makrozoobentosa

Pri uzorkovanju makrozoobentosa korištene su odredbe standarda BAS EN 16150:2013 i BAS EN ISO 10870:2014 koji su usmjereni na odabir adekvatne metodologije za različite tipove staništa tekućica. U skladu sa odredbama standarda, korištena je ručna mreža ali je izvršeno i sakupljanje organizama pomoću pincete naročito za vrste preimaginalnih stadija vodenih moljaca reda Trichoptera i vrste puževa familije Planorbidae (*Ancylus fluviatilis* npr.). Uzorkovanjem je obuhvaćeno 20 mikrostaništa tako da su prikupljeni zbirni uzorci koji su obuhvatili veći broj ekoloških niša, a koji bi trebali dati što objektivniji podatak o biodiverzitetu animalne komponente bentosa. Uzorci su na terenu fiksirani 4% formaldehidu, etiketirani sa podacima o datumu, vremenu uzorkovanja i nazivu lokaliteta.

Za analizu dobivenih podataka primjenjena je kombinacija biotičkih indeksa EPT% (indeks degradacije staništa) i BMWP indeks (saprobnosti).

REZULTATI

Na istraživanom longitudinalnom transektu rijeke Željeznice su konstatovane 32 vrste akvatičnih makrofita. Za najveći broj vrsta je procjenjena abundanca od 1 do 3 (Graf. 1), što indicira da analizirani vodotok nije adekvatan tip za primjenu makrofita kao bioloških elemenata kvaliteta vode.



Grafikon 1 – Učestalost kategorija abundanca za akvatične makrofite

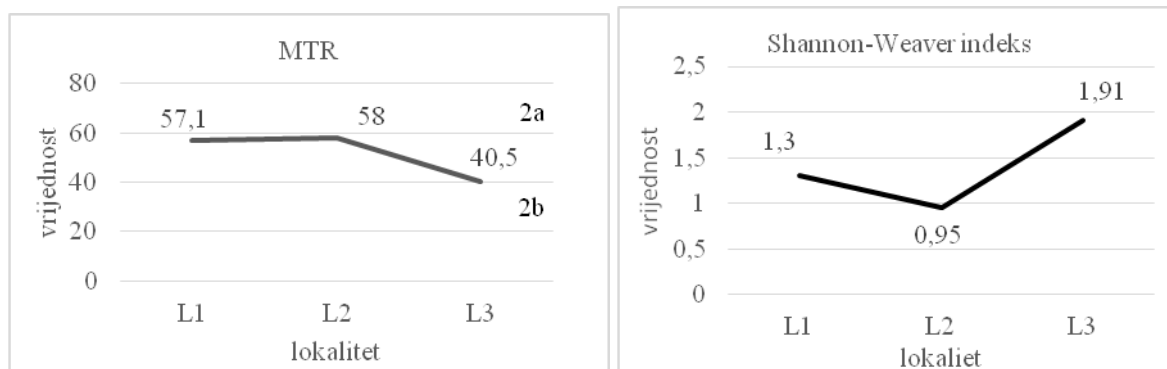
Rezultati kvalitativno-kvantitativne analize sastava zajednica akvatičnih makrofita po lokalitetima su dati u nastavku (Tab.2). U tabelama su navedene STR vrijednosti za indikatorske vrste makrofita, kao i MTR vrijednost za dati lokalitet. Raznovrsnost makrofita je veća u gornjem i donjem dijelu toka, ali pokazuje značajne razlike u sastavu.

Tabela 2. Popis vrsta makrofita konstatovanih na lokalitetima rijeke Željeznice sa vrijednostima MTR indeksa

Takson	SCV			STR			CVS		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
<i>Lemanea fluviatilis</i> (L.) C. Agardh		3			7			21	
<i>Lythrum salicaria</i> L.		1			.			.	
<i>Nostoc</i> sp.	2	1		
<i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	-	2	1	-	5	5	-	10	5
<i>Orthotrichum</i> sp.		3			.			.	
<i>Oscillatoria</i> sp.	3			.			.		
<i>Racomitrium aciculare</i> (Hedw.) Brid.		2			10			20	
<i>Cinclidotus riparius</i> (Host ex Brid.) Arn.		4				.		.	
<i>Coscinodon cribrosus</i> (Hedw.) Spruce		1				.		.	
<i>Cladophora glomerata</i> (L.) Kutzing		2		1	1		1	2	1
<i>Callitriche stagnalis</i> Scop.			1			.			.
<i>Enteromorpha flexuosa</i> (Wul.) J. Agardh	2			1			2		
<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. & Schult.			3			6			18
<i>Brachythecium plumulosum</i>	2			9			18		
<i>Anomobryum conncinatum</i> (Spr.) Lindb.	3			.			.		
<i>Agrostis stolonifera</i> L.			2			.			.
<i>Eupatorium cannabinum</i> L.	2			.			.		
<i>Petasites albus</i> (L.) Gaertn.	1			.			.		
<i>Equisetum fluviatile</i> L.	2	1		5	5		10	5	
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	1			.			.		
<i>Blindia acuta</i> (Hedw.) Bruch & Schimp.	1			10			10		

<i>Parnassia palustris</i> L.	1			.			.		
<i>Carex hirta</i> L.	2			.			.		
<i>Juncus articulatus</i> L.	1			.			.		
<i>Juncus effusus</i> L.			1			.			.
<i>Lycopus europaeus</i> L.			1			.			.
<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix.			3			5			15
<i>Potamogeton natans</i> L.			4			5			20
<i>Potamogeton crispus</i> L.			3			3			9
<i>Scirpus</i> sp.			2			.			.
<i>Sparganium erectum</i> L.			3			3			9
<i>Typha latifolia</i> L.			2			2			4
Total	21	20	26	26	28	29	40	58	81

Dibivene vrijednosti MTR se kreću od 57,1 na lokalitetu gornjeg toka nizvodno je blago povećana vrijednost 58 (graf.2), a najmanja vrijednost izračunata je za sastav makrofita donjeg toka – Ilidža (40,5). Shannon-Weaver indeks pokazuje nižu vrijednost na srednjem dijelu toka, a nizvodno dolazi do povećanja odnosno najveći diverzitet (graf.2).



Grafikon 2. Vrijednost MTR indeksa i Shannon-Weaver indeksa za sastav makrofita na lokalitetima rijeke Željeznice

U sastavu makrozoobentosa gornjeg i srednjeg toka konstatovana je relativno visoka raznovrsnost invertebrata sa dominacijom preimaginalnih stadija senzibilnih insekata iz redova Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera (tab.3). Nizvodno na lokalitetu donjeg toka istaknuta je smanjena raznovrsnost (15 taksa) sa dominacijom puževa i taksa koje su tolerantne na organsko onečišćenje.

Tabela 2. Kvalitativno-kvantitativni sastav makroinvertebrata zoobentosa uzoraka na lokalitetima gornjeg, srednjeg i donjeg toka rijeke Željeznice

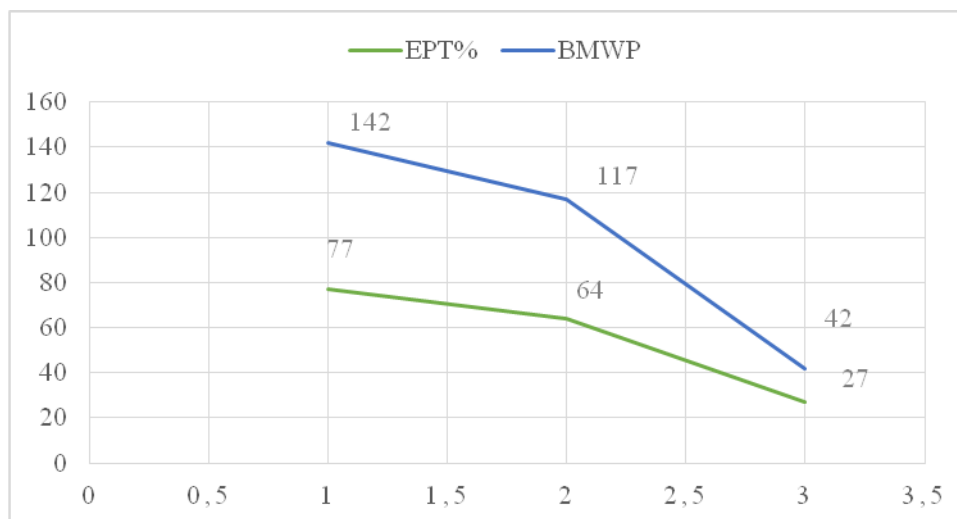
Takson	Gornji tok	Srednji tok	Donji tok
GASTROPODA			
<i>Ancylus fluviatilis</i>		8	
<i>Bythinia leachi</i>		3	

<i>Holandria holandri</i>			11
<i>Viviparus viviparus</i>			27
<i>Physa acuta</i>			2
<i>Radix ovata</i>			3
OLIGOCHAETA			
Lumbriculidae			12
Naididae			17
HIRUDINEA			
<i>Erpobdella octoculata</i>	6	8	7
<i>Hellpobdela stagnalis</i>			2
CRUSTACEA			
Amphipoda			
<i>Gammarus balcanicus</i>	20		
<i>G. fossarum</i>			21
Decapoda			
<i>Austropotamobius torrentium</i>	2		
ARACHNIDA			
Hydrachnida	7	7	
INSECTA			
<i>Baetis sp.</i>		18	19
<i>Baetis alpinus</i>	15		
<i>Baetis rhodani</i>	30		15
<i>Caenis horaria</i>		4	
<i>Ephemerella mucronata</i>	8		
<i>Ecdyonurus venosus</i>	12		
<i>Ecdyonurus sp.</i>		17	
<i>Ephemera danica</i>	4		
<i>Epeorus sp.</i>	8		
<i>Heptagenia sp.</i>	8		
<i>Rhithrogena semicolorata</i>	17		
<i>Serratella ignita</i>	12	22	
Plecoptera			
<i>Leuctra sp.</i>	8	24	
<i>Perla marginata</i>	6	8	
<i>Protonemura auberti</i>	15		
<i>Perlodes dispar</i>	8		
Trichoptera			
<i>Agapetus fuscipes</i>	12		
<i>Agapetus nimbulus</i>	8	28	
<i>Athripodes bilineatus</i>		3	
<i>Halesus tessellatus</i>	7		
<i>Micrasema sp.</i>	2		
<i>Micropterna nycterobia</i>		3	
<i>Hydropsyche sp.</i>		12	26
<i>Hydropsyche pellicidula</i>		4	
<i>Hydroptila oculata</i>		12	18
<i>Polycentropus irroratus</i>		4	
<i>Rhyacophila sp. (lutka)</i>	7		
<i>Sericostoma sp.</i>	4	6	

Nastavak tab.2

Takson	Gornji tok	Srednji tok	Donji tok
Coleoptera			
<i>Limnius volckmari</i>	5	8	
<i>Elmis aenea</i>		10	
Diptera			
Chironomidae	18	8	24
Simuliidae	27	7	2
∑ broj jedinki	276	224	206
∑ broj taksa	26	22	15

Prema dobivenim vrijednostima za indekse primjenjene na sastav makrozoobentosa uzoraka rijeke Željeznice (graf.3) uočava se da srednji i gornji tok karakteriše prirodno do malo izmjenjeno ekološko stanje, dok nizvodno u području donjeg toka vrijednosti EPT% (27) i BMWP (42) indiciraju srednje zagađenje (III klasa).



Grafikon 3. Vrijednosti EPT% i BMWP za sastav makrozoobentosa uzoraka rijeke Željeznice gornjeg, srrdenjeg i donjeg toka

DISKUSIJA

Rijeka Željeznica je istraživana u više različitih studija i elaborata, a Nacrtom plana upravljanja za rijeku Savu određena je kao Tip 7 ili male ili srednje velike brdsko-planinska rijeke sa dominacijom finog i srednje krupnog supstrata dna. Vrijednosti MTR indeksa na analiziranim segmentima rijeke Željeznice ukazuju na ujednačen i relativno povoljan trofički status u gornjem i srednjem dijelu toka, sa malom mogućnošću eutrofikacije. U donjem dijelu toka je evidentan trend porasta vjerovatnoće za nastanak eutrofikacije. Interpretacija rezultata MTR indeksa je složena zbog toga što se metodologija ne zasniva na analizi referentnih lokaliteta (Holmes et al., 1999) i nemogućnosti cjelovitog sagledavanja efekata izmjenjenih fizičkih uslova u vodotoku. U donjem dijelu toka rijeke Željeznice (Ilidža), riječno korito je potpuno izmjenjeno sa betoniranim obalama, kaskadama u koritu i uklonjenom priobalnom vegetacijom, što se može reflektirati kroz sniženu

vrijednost MTR indeksa. Međutim prema dobivenim vrijednostima lokalitet Kazani i kanjon rijeke Željeznice su na riziku da budu eutrofični i zahtijevaju monitoring nutrijenata, dok lokalitet na Ilidži zahtijeva monitoring i mjere redukcije nutrijenata. S druge strane, indeks diverziteta pokazuje najnižu vrijednost u srednjem dijelu toka koji je kanjonskog karaktera. U kanjonu je distribucija makrofita ograničena insolacijom, te velikom brzinom i turbulencijom toka. Posljedično tome, najviša vrijednost indeksa diverziteta je utvrđena u donjem dijelu toka koji izložen punom intenzitetu insolacije i maloj brzini protoka. Osim toga, veličina čestica dominantnog substrata u donjem dijelu toka favorizuje razvoj i diverzitet vaskularnih vrsta makrofita. U ukupnoj analizi sastava makrozoobentosa u uzorcima gornjeg toka konstatovan je visok diverzitet i dominacija EPT skupine, sa 19 taksa i vrstama koje su oligovalentne. Nizvodno u rijeci Željeznici dolazi do blagih izmjena, koje još uvijek ne utiču direktno na ukupno bogastvo i raznovrsnost faune dna. Dok na području donjeg toka, konstatovanih hidromorfoloških izmjena, pritiska tačkastih i difuznih izvora zagađenja, dolazi do izmjena kako u vrijednosti trofičkog indeksa za makrofite (MTR) tako i u sastavu makrozoobentosa. Lokalitet rijeke Željeznice u donjem toku, trpi najveće izmjene pod uticajem otpadnih voda različite prirode što je i potvrđeno analizom odabranih bioloških parametara. Ekosistem je integracija abiotičkih i biotičkih elemenata koja egzistira na interakcijama koje obezbjeđuju razmjenu materije i protok energije. Akcije abiotičkog okruženja i interakcije između biotičke komponente rezultirale su osebjunost biocenoza. Prirodne biotičke zajednice su vremenom izmjenjenje zagađenjem i degradacijom vodenih ekosistemima. Promjene u kvalitativno-kvantitativnom sastavu biocenoza su objektivni indikator poremećaja ekoloških uvjeta uzrokovanih antropogenim faktorom. Pretpostavka da prirodne zajednice predstavljaju smislene sklopove zahtijeva raznovrsni niz analiza. Jedan od najjednostavnijih i najviše obećavajući metode analize je indeks raznolikosti. To su matematički izrazi koji opisuju strukturu zajednica i obezbjeđuju velike količine informacija o broju i vrstama organizama. Struktura biotičkih zajednica može se sažeti u indekse različitosti izvedene iz teorije informacija (Wilhm & Dorris 1968). Veliki broj jedinki i mali broj vrsta obično se nalaze u područja vodotoka koji je recipijent alohtonog organskog otpada. Područja tekućice uzvodno od ispusta kanalizacije pokazuju veći biodiverzitet od dijela vodotoka nizvodno. Za adekvatno i objektivno utvrđivanje stanja biološke komponente tekućica neophodno je veći broj uzorkovanja u različitim sezonama i vremenskim periodima. Prema podacima EPT skupina je pokazala tolerantnost prema kontaminaciji bentosa teškim metalima (Clements et al. 2000), a Hydropsychide su najčešće konstatovane u uzorcima kontamiranim metalima (Armitage, 1980; Gower et al, 1994). U uzorcima na lokalitetu Vojkovića u rijeci Željeznici konstatovano je dominantno prisustvo tulara familije Hydropsychidae i Hydroptilidae, što je odgovor na utok otpadnih voda deponije Krupac koje su obogaćene teškim metalima. Iz reda Ephemeroptera vrste familije Leptophlebiidae, su najosjetljivije na zagađenje teškim metalima (Wright & Burgin 2009a, Mackey, 1988, Shorts et al., 1990), što je potvrđeno i u istraživanju u Portugalu (Gerhardt et al., 2004). U ispitivanjima uticaja utoka industrijskih otpadnih voda na sastav makrozoobentosa tekućice, pokazala su da identifikacija do nivoa porodice daje najpouzdanije podatke pri determinaciji stupnja uticaja ovih voda na vodno tijelo tekućice (Wright et al. 2016). Objektivnost primjene biotičkih indeksa, kao i analize bioloških parametara tekućice, koje svojim prisustvom ili izostankom indiciraju promjene u vodotoku, neophodno je dopuniti analizama živog svijeta pojedinačno (tkiva, organa jedinki) jer se opasne materije iz vode akumuliraju u tkivima i organima akvatičnih životinja, te ih je ne moguće konstatovati standardnim hemijskim analizama voda. Vrste roda *Gammarus* su korišteni u brojnim ekotoksikološkim studijama jer su akumulatori (Rainbow & Moore, 1986, Rainbow, 2002) i dobri biomonikator metala prisutnih u životnoj sredini, a utvrđen je negativan uticaj metala iz rudnika gipsa na egzoskelet i DNA integritet vrste *Gammarus balcanicus* (Ternjej et al. 2014) iz rijeke Kosovčice (sliv Krke). Kroz lanac ishrane u akvatičnim ekosistemima degradacija ili iščezavanje na bilo kom trofičkom nivou inicira promjene kod drugih organizama što na kraju utiče na povećanje stupnja zagađenosti i degradacije životne sredine. Uslijed sve veće kontaminacije prirode, potrebno je razvijati nove metode analize posebno životinjskog svijeta iz akvatičnih ekosistema, koja će dati daleko preciznije i potpunije podatke, a u tome je i prednost biomonitoringa.

Literatura

1. Agić, A. 2016. Procjena efikasnosti postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda na lokalitetu Trnovo. Magistarki/završni rad. Prirodno-amatematički fakultet, Sarajevo
2. Armitage, P. D., 1980. The effects of mine drainage and organic enrichment on benthos in the River Nent system, Northern Pennines. *Hydrobiologia* 74: 119–128.
3. Armitage PD, Moss D, Wright JF, Furse MT (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted runningwater sites. *Water Res* 17: 333–347.
4. Bailey, R. C., R. H. Norris & T. B. Reynoldson, 2001. Taxonomic resolution of benthic macroinvertebrate communities
5. Birk, S., 2009. Intercalibration of national methods to assess the ecological quality of rivers in Europe using benthic invertebrates and aquatic flora. Inaugural-Dissertation zur Erlangung Doktorgrades. Universität Duisburg-Essen.
6. Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment
7. Clements, W. H., D. M. Carlisle, J. M. Lazorchak & P. C. Johnson, 2000. Heavy metals structure benthic communities
8. Cook, C.D.K., Gut, B.J., Rix, E.M., Schneller, J., Seitz, M., 1974. *Water Plants of the World. A Manual for the identification of the Genera of Freshwater Macrophytes*. Dr. W. Junk B.V., The Hague.
9. Council of the European Communities, 1991. Urban Waste Water Treatment Directive 91/271/EEC. Official Journal of the European Communities, L35/40-52, 30 May 1991, Brussels.
10. Domac, R., 1979. Mala flora Hrvatske i susjednih područja. Školska knjiga, Zagreb.
11. Holmes, N.T.H., Newman, J.R., Chadd, S., Rouen, K.J., Saint, L., Dawson, F.H., 1999. Mean Trophic Rank: A User's Manual. R et D Technical Report E38. Environment Agency, Bristol.
12. Foulkes, 1994. Relationships between macroinvertebrate communities and environmental variables in metal-contaminated streams in south-west England. *Freshwater Biology* 32:199–221.
13. Gower, A. M., G. Myers, M. Kent & M. E. Mackey, A. P., 1988. The biota of the River Dee (central Queensland, Australia) in relation to the effects of acid mine drainage. *Proceedings of the Royal Society of Queensland* 99: 9–19.
14. Holing, C.S. 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4(5):390-405
15. Holmes, R. M., Aminot, R. Kèrouel, Hooker, B.A., Peterson. B.J. 1999.. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 1801-1808.
16. Javorka, S., Csapody, V., 1979. *Ikonographie der Flora des südlichen mittel Europa*, Akademia Kiado, Budapest.
17. John, D.M., Whitton, B.A., Brook, A.J., (eds.) 2011. *The Freshwater Algal Flora of the British Isles*. Cambridge University Press, Cambridge.
18. Kohler, A., 1978. Methoden der Kartierung von Flora and Vegetation von Süßwasserbiotopen. *Landschaft et Stadt* 10: 73-85.
19. Pavletić, Z., 1968. *Flora mahovina Jugoslavije*. Institut za botaniku Sveučilišta, Zagreb.
20. Rainbow, P.S., 2002. Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what? *Environ. Pollut.* 120: 497-507
21. Rainbow, P.S., Moore, P.G., 1986. Comparative metal analyses in amphipod crustaceans. *Hydrobiologia* 141: 273-289
22. Shannon, C. E., Weaver, W., 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press.
23. Short, T., J. A. Black & W. J. Birge, 1990. Effects of acid-mine drainage on the chemical and biological character of an alkaline headwater stream. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 19: 241–248.
24. Smith, A.J.E., 1978. *The moss flora of Britain and Ireland*. University College of Wales.
25. Smith, A.J.E., 1991. *The liverworts of Britain and Ireland*. University College of Wales.

26. Stoddard, J.L., D.P. Larsen, C.P. Hawkins, R. Johnson, and R. Norris. 2006. Setting expectations for ecological condition of streams: the concept of reference conditions. *Ecological Applications* 16:1267-1276.
27. Ternjej, I., Mihaljevic, A., Ivkovic, M. Previšić, I., Stanković, I., Maldini, K., Zelježić, D., Kopjar, N. 2014. The impact of gypsum mine water: A case study on morphology and DNA integrity in the freshwater invertebrate, *Gammarus balcanicus*. *Environmental Pollution* 189: 229-238
28. Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., (eds.) 1964-1985. *Flora Europaea* 1-5. Cambridge University Press, Cambridge.
29. Watson, E.V., 1968. *British Mosses and Liverworts*. Cambridge University Press, Cambridge
30. Wilhm J. L. & Dorris T. C. 1968. Biological Parameters for Water Quality Criteria. *BioScience*, 18: 477-481
31. Wright, I. A. & S. Burgin, 2009a. Comparison of sewage and coal-mine wastes on stream macroinvertebrates within an otherwise clean upland catchment, south-eastern Australia. *Water, Air and Soil Pollution* 204: 227–241.
32. Wright I. A. . Ryan M. M. 2016. Impact of mining and industrial pollution on stream macroinvertebrates: importance of taxonomic resolution, water geochemistry and EPT indices for impact detection. *Hydrobiologia* 772: 103–115

