

UTJECAJ FIZIKALNO-KEMIJSKIH POKAZATELJA I METALA NA ZAJEDNICU VODENCVJETOVA, OBALČARA I TULARA (EPT)

Lidija Kladarić, dipl. ing. biol.
Hrvatske vode,
Glavni vodnogospodarski
laboratorij,
Ulica grada Vukovara 220,
Zagreb, Hrvatska
lvukovic@voda.hr

Ivor Dukić
Sveučilište u Splitu,
Prirodoslovno-matematički
fakultet u Splitu,
Ruđera Boškovića 33,
Split, Hrvatska

Renata Ćuk, dipl. ing. biol.
Hrvatske vode,
Glavni vodnogospodarski
laboratorij,
Ulica grada Vukovara 220,
Zagreb, Hrvatska

Krešimir Maldini, dipl. ing. kem.
Hrvatske vode,
Glavni vodnogospodarski
laboratorij,
Ulica grada Vukovara 220,
Zagreb, Hrvatska

Simana Milović, dipl. ing. bioteh.
Hrvatske vode,
Glavni vodnogospodarski
laboratorij,
Ulica grada Vukovara 220,
Zagreb, Hrvatska

dr. sc. Aleksandar Popijač
Javna ustanova
"Nacionalni park Mljet",
Pristanište 2, Govedari, Hrvatska

U ovom smo radu istraživali vezu između broja svojiti unutar triju redova vodenih kukaca: vodencvjetova (Ephemeroptera), obalčara (Plecoptera) i tulara (Trichoptera), ukupnog broja svojiti (EPT), kao i udjela EPT jedinki u zajednici bentoskih makrobekralješnjaka (EPT[%]) te metala otopljenih u vodi i fizikalno-kemijskih pokazatelja. Prisustvo EPT zajednice s velikim brojem svojiti i velikim udjelom u ukupnoj zajednici bentoskih makrobekralješnjaka se obično povezuje s dobrom kvalitetom slatkovodnih ekosustava. Svi podatci su prikupljeni u sklopu programa sustavnog praćenja stanja površinskih voda tijekom 8 godina (2010.-2017.). Ukupno je analizirano 247 uzoraka bentoskih makrobekralješnjaka na 172 postaje uzorkovanja, a svi uzorci prikupljeni su koristeći AQEM metodu uzorkovanja. Voda za određivanje koncentracije otopljenih metala i osnovnih fizikalno-kemijskih pokazatelja uzorkovana je u godini kad je prikupljen uzorak bentoskih makrobekralješnjaka, a svi navedeni pokazatelji mjereni su standardnim analitičkim metodama za analizu kakvoće površinskih voda (ISO norme). Pronađena je negativna veza EPT zajednice (broj svojiti vodencvjetova (E), obalčara (P), tulara (T) i ukupno (EPT), te udio jedinki EPT u ukupnom uzorku (EPT [%]) s fizikalno-kemijskim pokazateljima kao što su to npr.: temperatura i $P = -0,528$, električna vodljivost i $P = -0,491$, ukupna tvrdoća i $EPT = -0,493$) te slaba negativna veza s alkalitetom i ukupnom suspendiranom tvari. Spearmanov koeficijent korelacije ukazuje i na statistički značajnu negativnu povezanost između koncentracije mangana s P i T (-0,540, -0,380 slijedom) te arsena s EPT[%] (-0,421). S ostalim metalima (bakar, cink, kadmij, krom, nikal, olovo, živa i željezo) korelacije su slabe do beznačajne. Rezultati ovog istraživanja ukazuju da bi uporaba EPT kao bioindikatora mogla biti važna strategija pri određivanju zagađenja manganom i arsenom u vodenom okolišu.

Ključne riječi: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, fizikalno-kemijski pokazatelji, metali, biomonitoring, arsen

1. UVOD

Posljednjih je godina mnogo truda uloženo u zakonodavstvo, kako bi se postigao ekološki integritet po pitanju slatkovodnih ekosustava diljem svijeta, a naročito u Europi (npr. Okvirna direktiva o vodama) (Poikane i dr., 2016.). Upotreba bioloških varijabli u europskim nadzornim i provedbenim programima ima dugačku povijest (Metcalfe, 1989.), proizlazeći s početka 20. st. kad su njemački biolozi počeli koristiti saprobni indeks, kako bi se uočili utjecaji organskog onečišćenja na vodotoke. Kasnije su prepoznati i drugi pritisci: hidromorfološki, specifične i onečišćujuće tvari, zakiseljavanje, teški metali i dr. (Stanners i Bourdeau, 1995.). S obzirom da utjecaj teških metala na živi svijet nije čest predmet proučavanja, nema puno radova na tu temu. Tek se u posljednje vrijeme više pažnje posvećuje tom području (Carsten von der Ohe i Liess, 2004.; Girgin i dr., 2010.; Bukvić i dr. 2011.; Malaj i dr., 2012.; de Moura Guimarães Souto i dr., 2019.). Utjecaj teških metala istraživani su u rijekama i potocima Walesa i Cornwalla, gdje je pronađeno da makrozoobentos najjače odražava zagađenje metalima kroz biološku raznolikost (Hirst i dr., 2002.)

Teški metali mogu dospjeti u rijeke prirodnim putem ili kao rezultat ljudske aktivnosti, a izvor zagađenja rijeka može biti točkast ili linijski. Uz veća urbana područja veće su i koncentracije teških metala, posebno cinka, bakra, olova, kroma i kadmija (Wilber i Hunter, 2007.). Cink nastaje kao produkt prerade metala te izgaranja ugljena i otpada. Često u okoliš prelazi i iz raznih pocinčanih materijala, a prisutan je u rijekama i zbog odbačenih automobilskih guma (Mulligan i dr., 2001.). Olovo se nalazi u bojama, baterijama i cijevima, a iz zraka u vodu prelazi kao posljedica izgaranja olovnog benzina (Hudak i Banks, 2006.; Naushad i Al-Othman, 2012.). Krom koristi nekoliko industrija, poput željezara, čeličana i štavionica. Njime se presvlače drugi metali, a njegovi spojevi upotrebljavaju se kao pigmenti za boje. Krom u podzemne vode dospijeva ispiranjem iz tla (Rakhunde i dr., 2012.). Bakar se nalazi u pesticidima, fungicidima i gnojivima, a arsen u pesticidima i konzervansima za drvo (Tošić i dr., 2019.). Kadmij u rijeke dospijeva iz odbačenih baterija, plastike i kanalizacije (Young i Lund, 2006.). Rudarenje i izgaranje fosilnih goriva glavni su izvori onečišćenja niklom, koji u rijekama završava i preko tokova otpadnih voda, dok se živa u najvećoj mjeri oslobađa izgaranjem ugljena (Wuana i Okieimen, 2011.).

Onečišćenje teškim metalima proučavalo se uglavnom na temelju riba (Alabaster i Lloyd, 1980.; Prosi, 1981.; Bukvić i dr. 2011.) zbog njihove tržišne vrijednosti. Između mnogih taksonomskih skupina koje se koriste u biomonitoringu slatkih voda, bentoski makrobekralješnjaci su također skupina koja je dosta korištena, a koja zadovoljava brojne kriterije kao idealni alat za istraživanje (Clements, 1991.; Hickey i Clements, 1998.).

Među vodenim bentoskim makrobekralješnjacima, vodencvjetovi, obalčari i tulari, obično poznati pod kraticom EPT (od lat. Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) sadrže bogatu zajednicu svojiti u manjim

i srednje velikim rijekama s valutičastom podlogom (Everall, 2019.), iako ih nalazimo i u drugim tipovima supstrata, međutim s manjom ukupnom brojnošću i raznolikošću (Pennak & Van Gerpen, 1947.; Ulfstrand, 1967., Cheney et al., 2019.).

Općenito, ova tri reda vodenih kukaca osjetljiva su na zagađenje i/ili na degradaciju slatkovodnih ekosustava (Hickey i Clements, 1998.). Iz tog razloga, EPT zajednica je često upotrebljavan alat za procjenu kakvoće slatkovodnih ekosustava (Girgin i dr., 2010.).

Istraživači koji se bave bentoskim makrobekralješnjacima su ustanovili njihov predvidljivi, graduirani odgovor na zagađenje metalima u vidu smanjenja bioraznolikosti i rasprostranjenosti (Winner i dr., 1975., 1980.).

U Hrvatskoj su relativno česta istraživanja koja uključuju utjecaj fizikalno-kemijskih pokazatelja na pojedine segmente ili čitavu zajednicu makrozoobentosa (Čuk et al., 2010.; 2019.; Matić et al., 2016.; Miliša et al., 2010.; Perić et al., 2018.; Rađa & Puljas, 2008., 2010.; Urbanič, 2020.; Vučković et al., 2009.). EPT zajednica je slabo istražena iako svaki od redova zasebno ima određeni broj radova: vodencvjetovi (Vilenica i dr., 2014., 2015., 2016., 2017.), obalčari (Popijač i Sivec, 2009., 2010., 2011.; Ridl i dr., 2018.), tulari (Čuk i dr., 2015.; Kučinić i dr., 2011., 2013., 2015., 2017a., 2017b.; Malicky 2009; Previšić i Popijač, 2010.; Previšić i dr. 2012., 2013.; Vučković i dr., 2016.).

U ovom radu je istraživana veza između triju redova vodenih kukaca i to vodencvjetova, obalčara i tulara (broj svojiti vodencvjetova (E), obalčara (P), tulara (T) te ukupno (EPT), udio jedinki EPT u cijelom uzorku (EPT [%]), fizikalno-kemijskih pokazatelja (temperatura vode, vodljivost, pH, električna vodljivost, ukupne suspendirane tvari, alkalitet, tvrdoća) te teških i lakih metala (bakar, cink, kadmij, krom, nikal, olovo, živa, arsen, mangan i željezo) otopljenih u vodi.

2. Materijali i metode

Podatci su prikupljeni u sklopu sustavnog praćenja stanja površinskih voda u Republici Hrvatskoj te iz na ukupno 172 mjerne postaje tijekom razdoblja od 8 godina (2010.-2017.) (slika 1). Ukupan broj uzoraka makroskopskih beskralješnjaka iznosi 247.

Način uzorkovanja bentoskih makrobekralješnjaka se temelji na multi-habitat metodi uzorkovanja (AQEM, 2002.) kojom se prikuplja biološki materijal sa svih raspoloživih supstrata unutar vodotoka koji su zastupljeni s minimalno 5% površine. Sakupljanje makrobekralješnjaka se obavilo kick-tehnikom uz pomoć mrežice (25 x 25 cm, promjer oka 500 µm), a uzorkovani biološki materijal se na terenu konzervirao 96%-tnim etanolom u odgovarajuće spremnike. Izolacija i determinacija organizama se obavila u laboratoriju pod lupom, a sve prikupljene životinje su određivane

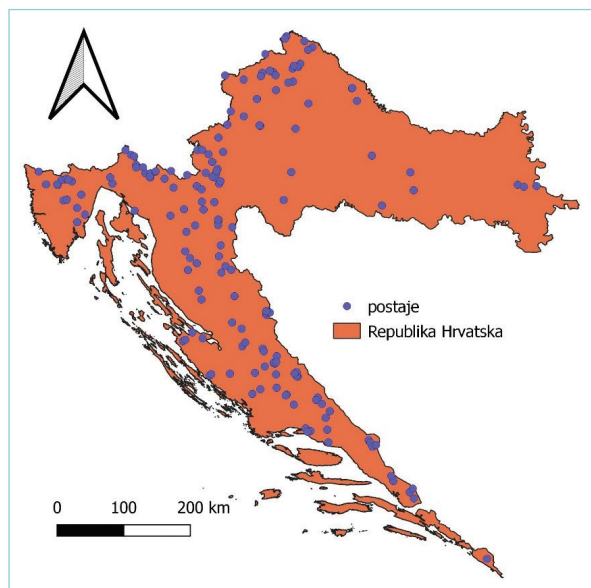
do najniže moguće sistematske kategorije, odnosno minimalno do kategorije propisane Metodologijom uzorkovanja, laboratorijskih analiza i određivanja omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće. Hrvatske vode, ožujak, 2016. (<https://www.voda.hr/hr/novosti/uredba-o-standardu-kakvoce-voda-metodologije>).

Osnovni fizikalno-kemijski pokazatelji uključuju: temperaturu vode (°C), pH vrijednost, električnu vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$), ukupne suspendirane tvari (mg/l), alkalitet m-vrijednost ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$) i ukupnu tvrdoću

($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$). Za sve fizikalno-kemijske pokazatelje, u godinama u kojima je uzorak makrozoobentosa prikupljan, utvrđene su vrijednosti medijana, te je na temelju njih provedena statistička analiza.

Koncentracije metala otopljenih u stupcu vode (Cu, Zn, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, As, Mn i Fe) mjerene su od najmanje jedanput do najviše 13 puta, a analizirane su prema standardnim analitičkim metodama za obradu površinskih voda (ISO norme). Za tako utvrđene koncentracije metala također su izračunate vrijednosti medijana, koje su korištene u analizi.

U istraživanju su sve korištene biološke metrike (E, P, T, EPT, EPT [%]) izračunate pomoću programa ASTERICS (AQEM/STAR Ecological River Classification System, verzija 4.0.4), a i primijenjene su metode deskriptivne statistike te je provedena korelacijska analiza. Deskriptivni statistički pokazatelji determinirani su za broj svojti triju redova vodenih kukaca (vodencvjetova, obalčara i tulara) te ukupno za EPT-Taxa, a također smo koristili i metriku za EPT[%], koja se odnosi na udio jedinki vodencvjetova, obalčara i tulara u cjelokupnom uzorku bentoskih makrobeskralješnjaka. Osim toga, njihove razdiobe prikazane su box-plot dijagramima. Povezanost između broja svojti triju redova te fizikalno-kemijskih parametara i metala ispitana je pomoću Spearmanovog koeficijenta korelacije. U okviru korelacijske analize također je testirana statistička značajnost izračunatih koeficijenata korelacije na razini signifikantnosti $p < 0,01$, odnosno $p < 0,05$. Statistička analiza podataka provedena je pomoću programskih paketa Statistica 12 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA) i IBM SPSS Statistics Version 24 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).



Slika 1: Karta Republike Hrvatske sa lokacijama mjernih postaja

Tablica 1: Deskriptivna statistika fizikalno-kemijskih pokazatelja i metala (2010.-2017. god.)

Pokazatelji		n	Aritmetička sredina	Min	Max
Fizikalno-kemijski pokazatelji	Temperatura vode (°C)	247	11,74	6,00	17,80
	pH vrijednost	247	8,01	7,27	8,53
	Električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	244	457,89	114,00	2020,00
	Ukupne suspendirane tvari (mg/l)	237	4,13	0,40	106,00
	Alkalitet m-vrijednost ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)	247	206,81	53,50	390,90
	Tvrdoća ukupna ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)	217	250,47	75,50	1416,00
Metali	Bakar, otopljeni ($\mu\text{g Cu}/\text{l}$)	114	1,75	0,06	51,90
	Cink, otopljeni ($\mu\text{g Zn}/\text{l}$)	105	5,27	0,50	276,65
	Kadmij, otopljeni ($\mu\text{g Cd}/\text{l}$)	84	0,08	0,01	3,52
	Krom, otopljeni ($\mu\text{g Cr}/\text{l}$)	89	0,43	0,05	1,90
	Nikal, otopljeni ($\mu\text{g Ni}/\text{l}$)	84	0,84	0,05	3,85
	Olovo, otopljeno ($\mu\text{g Pb}/\text{l}$)	70	0,52	0,03	8,55
	Živa, otopljena ($\mu\text{g Hg}/\text{l}$)	79	0,05	0,00	0,25
	Arsen, otopljeni ($\mu\text{g As}/\text{l}$)	44	0,58	0,11	2,77
	Mangan, otopljeni ($\mu\text{g Mn}/\text{l}$)	66	5,47	0,25	43,60
	Željezo, otopljeni ($\mu\text{g Fe}/\text{l}$)	65	17,66	0,30	78,30

3. REZULTATI, FIZIKALNO-KEMIJSKI POKAZATELJI + METALI

3.1. Deskriptivna statistika

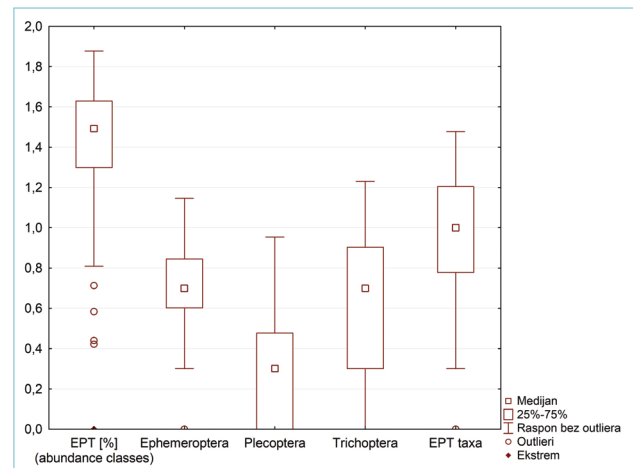
Rijeke i potoci su okarakterizirani s temperaturom vode koja se kreće od 6 do 18 °C, pH vrijednošću koja je za hrvatske vode u alkalnom dijelu spektra te s kreće od 7,27 do 8,53, električnom vodljivošću od 114 do 2020 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ukupnom suspendiranom tvari koja je u rasponu 0,40 i 106 mg/l. Alkalitet m-vrijednost je između 53 i 390 mg CaCO_3/l . U Hrvatskoj su vode tvrde, što dokazuju i mjerenja gdje se ukupna tvrdoća kreće u rasponu 75 i 1416 mg CaCO_3/l . (tablica 1).

U uzorcima je najveća bioraznolikost zabilježena kod tulara, jer je dosegla vrijednost i po 16 svojiti unutar jednog uzorka, uzorkovanog na Kupi, u blizini mjesta Blaževci, Zapeć 2016. godine. Najviše svojiti vodencvjetova, i to 13, utvrđeno je 2015. godine na rijeci Ivanečka Železnica na utoku u Bednju. Najveća raznolikost obalčara, od 8 svojiti, zabilježena je na potoku Curak prije utoka u Kupicu 2013. godine (tablica 2). Prema aritmetičkim sredinama, vodencvjetovi su bili najraznolikija skupina EPT, dok su obalčari na zadnjem mjestu po bioraznolikosti. Za obalčare je utvrđena i najmanja disperzija podataka. Bilo je uzoraka, njih 10, gdje nije zabilježen niti jedan pripadnik EPT skupine. To su uglavnom uzorci u Panonskoj ekoregiji, njih 8 (Vuka, Tordinci 2011., Šumetlica, uzvodno od Visoke Grede 2011., Zbel, izvorište 2011., potok Bliznec 2012., potok Sutlišće III 2015., Donji obodni kanal HE Čakovec, Štefanec 2015., Korušćak, Novi Marof 2015., Spojni kanal Zelina-Lonja-Glogovnica-Česma 2016., dok je takvih uzoraka u Dinaridskoj ekoregiji zabilježeno svega 2 (Mislina 2010. i Obuhvatni kanal Krapanj, most u naselju Raša 2013.) u promatranom razdoblju. Vidi se iz priloženog da se radi većinom o kanalima.

Tablica 2: Deskriptivna statistika broja svojiti redova Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (2010.-2017. god.)

Metrika	n	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Standardna pogreška	Min	Max
EPT [%]	247	29,83	15,43	0,98	0	74,42
Ephemeroptera	247	4,54	2,74	0,17	0	13
Plecoptera	247	1,34	1,71	0,11	0	8
Trichoptera	247	4,26	3,52	0,22	0	16
EPT	247	10,14	6,55	0,42	0	29

Slika 2 prikazuje box-plot dijagrame razdioba EPT [%], broja svojiti tri analizirana reda vodenih kukaca te broja svojiti EPT. Prikazane varijable su $\log(x+1)$ transformirane.



Slika 2: Box-plot dijagrami broja svojiti redova Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera i EPT

Spearmanovi koeficijenti korelacije, koji su navedeni u tablici 3, sugeriraju da EPT reagiraju na promjene fizikalno-kemijskih uvjeta u okolišu. No, iako između broja svojiti i fizikalno-kemijskih pokazatelja uglavnom postoji značajna korelacija, ona je najviše osrednje jakosti. Na temelju izračunatih koeficijenata korelacije može se zaključiti da EPT više preferiraju hladnije vode. To se prije svega odnosi na obalčare s koeficijentom korelacije $-0,528$ ($p < 0,01$), ali i na tulare i vodencvjetove ($-0,377$ i $-0,212$). Osim toga dobivena je negativna korelacija broja svojiti obalčara, vodencvjetova i tulara s električnom vodljivošću ($-0,477$, $-0,416$, $-0,387$, uz $p < 0,01$) te korelacija $-0,485$ ukupno s EPT, a $0,491$ s EPT [%], a sve na razini signifikantnosti $p < 0,01$. Ta sposobnost ovisi o prisutnosti iona, odnosno o njihovoj ukupnoj koncentraciji. Sva tri analizirana reda vodenih kukaca slično su negativno povezana i s ukupno suspendiranim tvarima. U okviru analize utvrđeno je i da uglavnom slaba negativna korelacija postoji između broja svojiti EPT i alkaliteta. Iz rezultata također proizlazi da ukupna tvrdoća utječe na manju vrijednost svih 5 metrika: EPT Taxa, Plecoptera, EPT [%], Trichoptera i Ephemeroptera ($-0,493$, $-0,468$, $-0,444$, $-0,425$, $-0,389$).

Korelacijska analiza ukazala je i na utjecaj koncentracije teških metala na bioraznolikost vodencvjetova, obalčara i tulara (tablica 3). Istraživanje je pokazalo da EPT najlošije reagiraju na povećanu koncentraciju mangana, pogotovo Plecoptera, ali i Trichoptera, EPT i EPT [%] ($-0,540$, $-0,380$, $-0,295$, $-0,259$). Također, arsen negativno utječe na pojavnost ovih kukaca, i to najbolje kroz EPT [%] metriku s kojom je korelacija $-0,421$, dok je s brojem svojiti iz reda Plecoptera $-0,366$. Statistički značajna, ali slaba negativna korelacija utvrđena je između broja svojiti reda Plecoptera te željeza ($-0,316$, $p < 0,05$). Prema Spearmanovim koeficijentima korelacije, uz više koncentracije žive i kadmija zabilježene su i više vrijednosti bioraznolikosti EPT. Korelacije broja svojiti iz redova EPT s bakrom, cinkom, kromom, niklom i olovom nisu se niti u jednom slučaju pokazale statistički značajnima.

Tablica 3: Spearmanovi koeficijenti korelacije između udjela EPT svojti [%], broja svojti redova Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera i ukupno za EPT te fizikalno-kemijskih pokazatelja i koncentracije metala na bazi medijana

Pokazatelji		EPT [%]	Ephemeroptera	Plecoptera	Trichoptera	EPT
Fizikalno-kemijski pokazatelji	Temperatura vode (°C)	-0,430**	-0,212**	-0,528**	-0,377**	-0,412**
	pH vrijednost	0,310**	0,324**	0,256**	0,218**	0,317**
	Električna vodljivost (µS/cm)	-0,491**	-0,416**	-0,477**	-0,387**	-0,485**
	Ukupne suspendirane tvari (mg/l)	-0,207**	-0,223**	-0,257**	-0,231**	-0,263**
	Alkalitet m-vrijednost (mg CaCO ₃ /l)	-0,289**	-0,242**	-0,267**	-0,351**	-0,340**
	Tvrdoća ukupna (mg CaCO ₃ /l)	-0,444**	-0,389**	-0,468**	-0,425**	-0,493**
Metali	Bakar, otopljeni (µg Cu/l)	-0,067	0,171	-0,082	-0,066	0,012
	Cink, otopljeni (µg Zn/l)	-0,155	-0,149	0,037	-0,001	-0,052
	Kadmij, otopljeni (µg Cd/l)	0,257*	0,033	0,321**	-0,030	0,046
	Krom, otopljeni (µg Cr/l)	0,086	0,059	-0,090	-0,205	-0,137
	Nikal, otopljeni (µg Ni/l)	0,171	0,147	0,091	0,021	0,098
	Olovo, otopljeno (µg Pb/l)	0,134	-0,173	0,172	-0,149	-0,136
	Živa, otopljena (µg Hg/l)	0,269*	0,057	0,393**	0,005	0,104
	Arsen, otopljeni (µg As/l)	-0,421**	-0,257	-0,366*	-0,095	-0,283
	Mangan, otopljeni (µg Mn/l)	-0,259*	0,029	-0,540**	-0,380**	-0,295*
Željezo, otopljeni (µg Fe/l)	-0,141	0,157	-0,316*	-0,189	-0,105	

** Statistički značajno na razini $p < 0,01$ * Statistički značajno na razini $p < 0,05$

Spearmanovim koeficijentima korelacije (tablica 4) ispitan je i odnos između brojnosti svojti redova EPT. Utvrđeno je da su sva tri reda međusobno pozitivno povezana. Dakle, ako u nekoj rijeci ima više vrsta jednog reda vodenih kukaca EPT, može se očekivati da će se u njoj nalaziti i više vrsta druga dva reda vodenih kukaca EPT.

Tablica 4: Spearmanovi koeficijenti korelacije između broja svojti unutar redova Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera

Redovi	Ephemeroptera	Plecoptera	Trichoptera
Ephemeroptera	1		
Plecoptera	0,471**	1	
Trichoptera	0,511**	0,600**	1

** Statistički značajno na razini $p < 0,01$

4. RASPRAVA

Mangan je u ovom istraživanju bio glavni uzročnik smanjenja broja svojti EPT. Iako ne spada među teške, već lake metale, često ga se koristi u istraživanjima. Njegova negativna korelacija sa brojem svojti iz redova Plecoptera i Trichoptera je u skladu sa istraživanjem iz Pensilvanije (Kimmel & Argent, 2019.) gdje se pokazalo da uzrokuje veliko smanjenje vodenog svijeta. To malo začuđuje, jer je mangan neophodan element

koji sudjeluje u nizu metaboličkih funkcija. Povijesno gledano, neurotoksičnost mangana najčešće je povezana sa: rudarstvom, proizvodnjom baterija i proizvodnjom čelika (Santamaria i dr., 2007.).

Arsen se prirodno nalazi u tlu, pa stoga i u nadzemnim i podzemnim vodama, s posebnim naglaskom na vode s područja Panonskog bazena (Oreščanin, 2013.). U našoj studiji se pokazao i kao jako loš utjecaj na bioraznolikost EPT, tj. na broj svojti. Korelacije arsena sa svakom skupinom, i vodencvjetovima i obalčarima i tularima, su se pokazale dosta značajne, a i s EPT ukupno, gdje je korelacija najjača.

Cink, krom, nikal i bakar nisu pokazali statističku značajnu korelaciju sa svojatama iz porodica vodencvjetova, obalčara i tulara, kao što je utvrđeno prijašnjim radovima da su vodencvjetovi i obalčari vrlo otporni na utjecaje cinka (npr. Jones, 1958.). S druge strane, studija iz Velike Britanije ukazuje na vrlo jaku negativnu vezu između cinka i bioraznolikosti bentičkih makrobekralješnjaka (Malmqvist i Hoffsten, 1999.). Slično su Beasley i Kneale (2003.) ustanovili da cink i nikal uzrokuju najjači negativan utjecaj na EPT.

Ono što je najviše iznenadilo u ovom istraživanju jeste to da je na lokacijama s višim koncentracijama žive i kadmija zabilježena i veća bioraznolikost EPT. To svakako nije u skladu s brojnim do sada objavljenim radovima (Beauvais i dr., 1995.; Brinkman i Johnston, 2008.), u kojima je dokazana toksičnost ovih metala i njihova

negativna veza s ovim vodenim organizmima. Međutim, veza je jako slaba i može se smatrati beznačajnom, osim u slučaju Plecoptera.

U nekim radovima (npr. Clements, 1994.) je primijećeno da unutar EPT skupine nisu svi redovi jednako osjetljivi na teške metale, što je vidljivo i iz našeg istraživanja. U nekoliko istraživanja je pronađeno da je rasprostranjenost vodencvjetova dobar pokazatelj koncentracije teških metala u površinskim vodama (Hickey i Clements, 1998.), a to je vidljivo na primjeru rasprostranjenosti porodice Heptageniidae (Ephemeroptera), koja se smanjila prilikom povećanja koncentracije teških metala (Clements i dr., 2000.).

Van Hassel i Gaulke (1986.) su predložili da se opadanje brojnosti vodencvjetova s povećanjem koncentracije metala može koristiti kao koristan indeks zagađenja voda teškim metalima. Nisu svi članovi EPT zajednice jednako osjetljivi na zagađenje teškim metalima, kao što je Clements (1991.) primijetio povećanje osjetljivosti koja prati niz Trichoptera < Plecoptera < Ephemeroptera.

Iznenadujuće je da kadmij i živa pokazuju pozitivan trend s EPT, odnosno sa porodicom Plecopteraa, iako su poznati po svojoj visokoj toksičnosti u slatkovodnim ekosustavima (IPCS, 1992.). Štoviše, kadmij, živa, olovo i nikal se nalaze na listi prioritetnih tvari prema ODV sa naznačenim graničnim vrijednostima (*Uredba o Standardu Kakvoće Voda, NN 96/19*). Jedno od objašnjenja leži u činjenici da biodostupnost kadmija (USEPA, 2005.) opada s rastom tvrdoće vode. Poznato je da su vode u Hrvatskoj jako tvrde, posebice u krškom području, što doprinosi objašnjenju. Tvrdoća vode može imati glavni utjecaj na toksičnost kadmija na slatkovodne organizme (Beeson i dr., 1998.). Girgin i dr. (2010.) su također zabilježili pozitivnu korelaciju kadmija s EPT i

vretencima (Odonata). Može se zaključiti da ne postoji negativna veza kadmija s EPT.

Drugi važan čimbenik za slatkovodne ekosustave, iako nije bio tema našeg istraživanja, je sediment. Sediment u slatkovodnim sustavima je stanište za različite makrobekralješnjake, a može služiti i kao spremište teških metala. Sjedilačka aktivnost nekih bentoskih organizama može voditi do kronične izloženosti teškim metalima pohranjenim u sedimentu (Stoyanova i dr., 2012.). Sediment igra važnu ulogu u hranidbenom lancu, bioakumulaciji i protoku tvari kroz hranidbeni lanac (Burton, 2002.; Slukovskii i Polyakova, 2017.).

5. ZAKLJUČAK

U našem istraživanju dokazali smo da zajednica vodencvjetova, obalčara i tulara dobro reagira na povišene koncentracije metala u vodi tako što opada njihova raznolikost i zastupljenost. Zajednica najbolje reagira na povišene koncentracije mangana i to prvenstveno obalčari, a slijede ih i tulari. Također je utvrđeno da arsen, koji se prirodno nalazi u tlima Hrvatske, negativno utječe na obalčare.

Teški metali kao bakar, cink, krom i nikal nisu pokazali utjecaj na brojnost i dio EPT zajednice u vodama RH. Kadmij i živa su pokazali pozitivnu vezu sa zajednicom, ali je veza uglavnom jako slaba.

Od svih metrika koje smo koristili u radu EPT [%] najbolje je reagirala na promjene u vodenom okolišu što se tiče metala otopljenih u vodi.

Također su se promjene fizikalno-kemijskih parametara dobro odražavale na pojavnost svojti iz EPT skupina, posebice sniženje temperature, električne vodljivosti, alkaliteta, ukupno otopljenih tvari i tvrdoće. ■

LITERATURA

- Alabaster, J. S.; Lloyd, R. (Eds.). (1980.): *Water quality criteria for freshwater fish*. Published by arrangement with the Food and Agriculture Organization of the United Nations by Butterworths.
- ASTERICS (AQEM/STAR Ecological River Classification System) software (2013.) Version 4.
- Beasley, G.; Kneale, P. E. (2003.): Investigating the influence of heavy metals on macroinvertebrate assemblages using Partial Canonical Correspondence Analysis (pCCA). *Hydrobiology and Earth System Sciences*, 7(2), 221–233.
- Beauvais, S. L.; Wiener, J. G.; Atchison, G. J. (1995.): Cadmium and mercury in sediment and burrowing mayfly nymphs (Hexagenia) in the upper Mississippi River, USA. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 28(2). <https://doi.org/10.1007/BF00217614>
- Beeson, D. R.; Lewis, M. C.; Powell, J. M.; Nimmo, D. R. (1998.): Effects of pollutants on freshwater organisms. *Water Environment Research*, 70(4), 921–931.
- Brinkman, S. P.; Johnston, W. D. (2008.): Acute Toxicity of Aqueous Copper, Cadmium, and Zinc to the Mayfly *Rhithrogena hageni*.docx. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 54, 466.
- Bukvić, V.; Dušak, V.; Kućinić, M.; Delić, A.; Dulčić, J. & Glamuzina, B. (2011.): Arsenic in the water, sediment and tissues of fish in the Neretva River Delta, Croatia. *Journal of Applied Ichthyology*, 27 (3), 908–911.
- Burton, G. A. (2002.): Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, 3, 65–76.
- Carsten von der Ohe, P., Liess, M. (2004.): Relative sensitivity distribution of aquatic invertebrates to organic and metal compounds. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(1), 150. <https://doi.org/10.1897/02-577>
- Cheney, K. N.; Roy, A. H.; Smith, R. F.; & Dewalt, R. E. (2019.). Effects of Stream Temperature and Substrate Type on Emergence Patterns of Plecoptera and Trichoptera From Northeastern United States Headwater Streams.

- Environmental Entomology*, 48(6), 1349–1359. <https://doi.org/10.1093/ee/nvz106>
- Clements, W. H. (1991.): Community responses of stream organisms to heavy metals: A review of observational and experimental approaches. In *Metal Ecotoxicology, Concepts and Applications* (Michael C. Newman & Alan W. McIntosh, p. 424). Lewis Publishers.
- Clements, W. H. (1994.): Benthic Invertebrate Community Responses to Heavy Metals in the Upper Arkansas River Basin, Colorado. *Journal of the North American Benthological Society*, 13(1), 30–44. <https://doi.org/10.2307/1467263>
- Clements, W. H.; Carlisle, D. M.; Lazorchak, J. M.; Johnson, P. C. (2000.): Heavy Metals Structure Benthic communities in Colorado Mountain Streams. *Ecological Applications*, 10(2), 13.
- Corbi, J. J.; Froehlich, C. G.; Strixino, S. T.; Santos, A. dos. (2010.): Bioaccumulation of metals in aquatic insects of streams located in areas with sugar cane cultivation. *Química Nova*, 33(3), 644–648. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000300030>
- Ćuk, R.; Miliša, M.; Atanacković, A.; Dekić, S.; Blažeković, L.; & Žganec, K. (2019.). Biocontamination of benthic macroinvertebrate assemblages in Croatian major rivers and effects on ecological quality assessment. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, 420, 11. <https://doi.org/10.1051/kmae/2019003>
- Ćuk, R.; Vučković, I.; Kučinić, M.; Valić, D.; Waringer, J. (2015.): First record of *Beraea dira* McLachlan 1875 (Insecta, Trichoptera, Beraeidae) in Croatia. *Natura Croatica*, 24(2), 311–316. <https://doi.org/10.20302/NC.2015.24.20>
- Ćuk, R.; Vučković, I.; Šikoronja, M.; Šurmanović, D.; Širac, S.; Kerovec, M.; Mihaljević, Z. (2010.): Saprobic status of running waters in Croatia based on benthic macroinvertebrates. *Natura Croatica*, 19(2), 389–406.
- Ćuk, R.; Vučković, I.; Stanković, I.; Andreis, S.; Grubiša, D. (2011.): Obilježja zajednica bentičkih beskraljčnjaka u potocima na području Grada Zagreba i Zagrebačke županije. *Hrvatske vode*, 75(19), 1–12.
- Ćuk, R.; Vučković, I.; Tomas, D.; Marijanović Rajčić, M. (2009.): Sastav i struktura zajednice makrozoobentosa na rijeci Sutli. *Hrvatske vode*, 17, 79–86.
- Dahl, J.; Johnson, R. K.; Sandin, L. (2004.): Detection of organic pollution of streams in southern Sweden using benthic macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, 516, 161–172.
- de Moura Guimarães Souto, R.; Corbi, J. J.; Buzá Jacobucci, G. (2019.): Aquatic insects as bioindicators of heavy metals in sediments in Cerrado streams. *Limnetica*, 38(2), 575–586. <https://doi.org/10.23818/limn.38.33>
- Everall N. C.; Johnson M. F.; Wood P.; Paisley M. F.; Trigg D. J.; Farmer A. (2019.) Macroinvertebrate community structure as an indicator of phosphorus enrichment in rivers. *Ecological Indicators*, 107(2019)105619
- Girgin, S.; Kazancı, N.; Dügel, M. (2010.): Relationship between aquatic insects and heavy metals in an urban stream using multivariate techniques. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(4), 653–664. <https://doi.org/10.1007/BF03326175>
- Hickey, C. W.; Clements, W. H. (1998.): Effects of heavy metals on benthic macroinvertebrate communities in New Zealand streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17(11), 2338–2346. <https://doi.org/10.1002/etc.5620171126>
- Hirst, H.; Juttner, I.; Ormerod, S. J. (2002.): Comparing the responses of diatoms and macro- invertebrates to metals in upland streams of Wales and Cornwall. *Freshwater Biology*, 47(9), 1752–1765. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00904.x>
- Hudak, P. F.; Banks, K. E. (2006.): Compositions of first flush and composite storm water runoff in small urban and rural watersheds, north-central Texas. *Urban Water Journal*, 3(1), 43–49. <https://doi.org/10.1080/15730620600578678>
- Hynes, H. B. N. (1960.): *The Biology of Polluted Waters*. Liverpool University Press. <http://doi.wiley.com/10.1002/iroh.19610460321>
- IPCS. (1992.): Cadmium: Environmental Health Criteria 134 (International Program on Chemical Safety). In *IPCS* (1st ed., p. 217). World Health Organisation.
- IPCS. (1999.): Copper: Environmental Health Criteria 200 (International Program on Chemical Safety). In *IPCS* (1st ed., p. 382). World Health Organisation.
- Jacobsen, D. (1998.): The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams. *Fundamental and Applied Limnology*, 143(2), 179–195. <https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/143/1998/179>
- Jones, J. R. E. (1958.): A Further Study of the Zinc-Polluted River Ystwyth. *The Journal of Animal Ecology*, 27(1), 1–14. <https://doi.org/10.2307/2169>
- Kimmel, W. G.; & Argent, D. G. (2019.). Impacts of point-source Net Alkaline Mine Drainage (NAMD) on stream macroinvertebrate communities. *Journal of Environmental Management*, 250, 109484. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109484>
- Kučinić, M.; Cerjanec, D.; Vučković, I.; Mihoci, I.; Perović, F.; Kutnjak, H.; Ibrahimi, H.; Pelić Fixa, D.; Žalac, S.; Mrnjavčić Vojvoda, A.; Plankat, M. (2015.): Some new and interesting species of caddisflies (Insecta, Trichoptera) found in Croatia. *Natura Croatica*, 24(2), 293–310. <https://doi.org/10.20302/NC.2015.24.19>
- Kučinić, M.; Čukušić, A.; Žalac, S.; Podnar, M.; Kamarovich Akhmetov, K.; Akimbekova, N.; Moldazhanovna Zhumadina, S. & Vučković, I. (2017.a): First DNA barcoding and new records of the Mediterranean caddisfly species *Micropterna wagneri* Mal. (Trichoptera, Limnephilidae) in Croatia with note on DNA barcoding and diversity of genus *Micropterna* in Croatia. *Natura Croatica*, 26 (1), 81–98.
- Kučinić, M.; Previšić, A.; Vajdić, M.; Tunjić, M.; Mihoci, I.; Žalac, S.; Sviben, S.; Vučković, I.; Trupković, M.; Habdija, I. (2017.b): First systematic investigation of adults and second checklist of caddisflies of the

- Plitvice Lakes National Park with notes on research history, biodiversity, distribution and ecology. *Natura Croatica*, 26(2), 225–260. <https://doi.org/10.20302/NC.2017.26.19>
- Kučinić, M.; Szivak, I.; Pauls, S.; Balint, M.; Delić, A.; Vučković, I. (2013.): *Chaetopteryx buchari* sp. N., a new species from the *Chaetopteryx rugulosa* group from Croatia (Insecta, Trichoptera, Limnephilidae) with molecular, taxonomic and ecological notes on the group. *ZooKeys*, 320, 1–28. <https://doi.org/10.3897/zookeys.320.4565>
- Kučinić, M.; Vučković, I.; Kutnjak, H.; Šerić Jelaska, L.; Marguš, D. (2011.): Diversity, distribution, ecology and biogeography of caddisflies (Insecta: Trichoptera) in the Krka River (National Park "Krka", Croatia). *Zoosymposia*, 5, 255–268.
- Malaj, E.; Grote, M.; Schäfer, R. B.; Brack, W.; von der Ohe, P. C. (2012.): Physiological sensitivity of freshwater macroinvertebrates to heavy metals. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(8), 1754–1764. <https://doi.org/10.1002/etc.1868>
- Malicky, H. (2009.): Die Köcherfliegen (Insecta, Trichoptera) der Sammlung von Franjo Koščec im Museum Varaždin, Kroatien. *Natura Croatica*, 18 (1), 129–134
- Malmqvist, B.; Hoffsten, P.-O. (1999.): Influence of drainage from old mine deposits on benthic macroinvertebrate communities in central Swedish streams. *Water Research*, 33(10), 2415–2423. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00462-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00462-X)
- Matić, N.; Maldini, K.; Tomas, D.; Ćuk, R.; Milović, S.; Miklavčić, I.; & Širac, S. (2016.). Geochemical characteristics of the Gacka River karstic springs (Dinaric karst, Croatia) with macroinvertebrate assemblages overview. *Environmental Earth Sciences*, 75(19), 1308. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6087-2>
- Metcalf, J. L. (1989.): Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. *Environmental Pollution*, 60(1–2), 101–139. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(89\)90223-6](https://doi.org/10.1016/0269-7491(89)90223-6)
- Miliša, M.; Živković, V.; Kepčija, R. M. & Habdija, I. (2010.). Siltation disturbance in a mountain stream: Aspect of functional composition of the benthic community. *Periodicum Biologorum*, 112(2), 173–178.
- Mulligan, C. N.; Yong, R. N.; Gibbs, B. F. (2001.): Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: An evaluation. *Engineering Geology*, 60(1–4), 193–207. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00101-0](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00101-0)
- Naushad, Mu.; AL-Othman, Z. A. (2012.): Ion Exchange Materials and Environmental Remediation. In Inamuddin, M. Lugman (Eds.) Ion exchange technology II: applications. *Dordrecht: Springer*, 217–235. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4026-6_10
- Oreščanin, V. (2013.): Arsen u vodama—Porijeklo, toksični učinak i metode uklanjanja. *Hrvatske vode*, 83, 273–282.
- Pennak, R. W.; & Van Gerpen, E. D. (1947.). Bottom Fauna Production and Physical Nature of the Substrate in a Northern Colorado Trout Stream. *Ecology*, 28(1), 42–48. <https://doi.org/10.2307/1932916>
- Perić, M. S.; Kepčija, R. M.; Miliša, M.; Gottstein, S.; Lajtner, J.; Dragun, Z.; Marijić, V. F.; Krasnići, N.; Ivanković, D. & Erk, M. (2018.). Benthos–drift relationships as proxies for the detection of the most suitable bioindicator taxa in flowing waters – a pilot-study within a Mediterranean karst river. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 163, 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.068>
- Poikane, S.; Johnson, R. K.; Sandin, L.; Schartau, A. K.; Solimini, A. G.; Urbanič, G.; Arbačiauskas, K.; Aroviita, J.; Gabriels, W.; Miler, O.; Pusch, M. T.; Timm, H.; Böhmer, J. (2016.): Benthic macroinvertebrates in lake ecological assessment: A review of methods, intercalibration and practical recommendations. *Science of The Total Environment*, 543, 123–134. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.021>
- Popijač, A. (2016.): Završno izvješće za skupinu Plecoptera. U: Mrakovčić, M.; Mustafić, P.; Jelić, D.; Mikulić, K.; Mazija, M.; Maguire, I.; Šašić Kljajo, M.; Kotarac, M.; Popijač, A.; Kučinić, M.; Mesić, Z. (ur.) Projekt integracije u EU Natura 2000 – Terensko istraživanje i laboratorijska analiza novoprikupljenih inventarizacijskih podataka za taksonomske skupine: Actinopterygii i Cephalaspidomorphi, Amphibia i Reptilia, Aves, Chiroptera, Decapoda, Lepidoptera, Odonata, Plecoptera, Trichoptera. OIKON–HID–HYLA–NATURA–BIOM–CKFF–GEONATURA–HPM–TRAGUS, Zagreb: 267–314.
- Popijač, A.; Sivec, I. (2009.): Stoneflies (Insecta, Plecoptera) from museum collections in Croatia. *Natura Croatica*, 18(2), 243–254.
- Popijač, A.; Sivec, I. (2010.): The stonefly fauna (Insecta: Plecoptera) of the Mediterranean River Cetina, Croatia. *Entomologica Croatica*, 14(1), 103–120.
- Popijač, A.; Sivec, I. (2011.): Stoneflies (Plecoptera) fauna in the lower reach of the Una River in Croatia. *Entomologica Croatica*, 15(1), 131–143.
- Popijač, A.; Sivec, I.; Pušić, I.; Popijač, E. (2017.): Projekt inventarizacije obalčara (Plecoptera) u Hrvatskoj 2014.–2016. U: Gračan, R.; Matonićkin Kepčija, R.; Miliša, M.; Ostojić, A. (ur.) Knjiga sažetaka 2. Simpozija o biologiji slatkih voda, 17. veljače, Zagreb, Hrvatsko udruženje slatkovodnih ekologa, Zagreb: 26 (usmeno priopćenje)
- Previšić, A.; Popijač, A. (2010.): Caddisfly (Insecta: Trichoptera) fauna of Kupa and Čabranka Rivers and their tributaries, Gorski Kotar, W Croatia. *Natura Croatica*, 19(2), 357–368.
- Previšić, A.; Brigić, A.; Sedlar, Z. & Šoštarić, R. (2013.): First data on caddisfly (Insecta, Trichoptera) fauna of peatlands in Croatia. *Natura Croatica*, 22 (2), 235–242.
- Previšić, A.; Cerjance, D.; Graf, W. & Kučinić, M. (2012.): *Drusus chrysotus* (Rambur, 1842) (Trichoptera: Limnephilidae: Drusinae): a new caddisfly species in the Croatian fauna. *Natura Croatica*, 21 (2), 419–425.
- Prosi, F. (1981.): *Heavy metals in aquatic organisms* (2nd ed.). Springer-Verlag.

- Rada, B. & Puljas, S. (2008.): Macroinvertebrate diversity in the karst Jadro River (Croatia). *Archives of Biological Sciences*, 60(3), 437–448. <https://doi.org/10.2298/ABS0803437R>
- Rada, B. & Puljas, S. (2010.): Do Karst Rivers 'deserve' their own biotic index? A ten years study on macrozoobenthos in Croatia. *International Journal of Speleology*, 39(2), 137–147. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.39.2.7>
- Rakhunde, R.; Deshpande, L.; Juneja, H. D. (2012.): Chemical Speciation of Chromium in Water: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(7), 776–810. <https://doi.org/10.1080/10643389.2010.534029>
- Ridl, A.; Vilenica, M.; Ivković, M.; Popijač, A.; Sivec, I.; Miliša, M.; Mihaljević, Z. (2018.): Environmental drivers influencing stonefly assemblages along a longitudinal gradient in karst lotic habitats. *Journal of Limnology*. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2018.1816>
- Rosenberg, D.; Resh, V. H. (1993.): Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates David M. Rosenberg, Vincent H. Resh [Review of *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates David M. Rosenberg, Vincent H. Resh*, by D. R. Lenat]. *Journal of the North American Benthological Society*, 12(2), 220–222. <https://doi.org/10.2307/1467358>
- Santoro, A.; Blo, G.; Mastrolitti, S.; Fagioli, F. (2009.): Bioaccumulation of Heavy Metals by Aquatic Macroinvertebrates Along the Basento River in the South of Italy. *Water, Air, and Soil Pollution*, 201(1–4), 19–31. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9923-5>
- Slukovskii, Z. I.; Polyakova, T. N. (2017.): Analysis of accumulation of heavy metals from river bottom sediments of the urban environment in the bodies of oligochaetes. *Inland Water Biology*, 10(3), 315–322. <https://doi.org/10.1134/S1995082917030154>
- Stanners, D. A.; Bourdeau, P. (1995.): *Europe's Environment: The Dobris Assessment.docx*. European Environment Agency.
- Stoyanova, T.; Traykov, I.; Yaneva, I.; Bogoev, V. (2012.): Accumulation of Heavy Metals in the Macrozoobenthos of the Luda River, Bulgaria. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 26(3), 2981–2986. <https://doi.org/10.5504/BBEQ.2012.0027>
- Tošić, I.; Vujević, D.; Stančić, Z. (2019.): Utjecaj poplava na povišeni sadržaj teških metala u inundacijskom području rijeke Drave u Varaždinskoj županiji. *Hrvatske vode*, 27, 305–316.
- Ulfstrand, S. (1967.): Microdistribution of Benthic Species (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera: Simuliidae) in Lapland Streams. *Oikos*, 18(2), 293–310. <https://doi.org/10.2307/3565106>
- Urbanič, G.; Mihaljević, Z.; Petkovska, V. & Pavlin Urbanič, M. (2020.): Disentangling the Effects of Multiple Stressors on Large Rivers Using Benthic Invertebrates—A Study of Southeastern European Large Rivers with Implications for Management. *Water*, 12(3), 621. <https://doi.org/10.3390/w12030621>
- Uredba o standardu kakvoće voda, NN 96/19.*
- USEPA United States Environmental Protection Agency (2005.): National recommended water quality criteria. (n.d.)*
- Vilenica, M.; Brigić, A.; Kerovec, M.; Gottstein, S.; Ternjej, I. (2016.): Spatial distribution and seasonal changes of mayflies (Insecta, Ephemeroptera) in a Western Balkan peat bog. *ZooKeys*, 637, 135–149. <https://doi.org/10.3897/zookeys.637.10359>
- Vilenica, M.; Gattolliat, J.-L.; Ivković, M.; Kučinić, M.; Mičetić Stanković, V.; Mihaljević, Z. & Sartori, M. (2014.): The mayfly fauna (Insecta, Ephemeroptera) of the Plitvice lakes National park, Croatia. *Natura Croatica*, 23 (2), 349–363.
- Vilenica, M.; Gattolliat, J.-L.; Mihaljević, Z.; Sartori, M. (2015.): Croatian mayflies (Insecta, Ephemeroptera): Species diversity and distribution patterns. *ZooKeys*, 523, 99–127. <https://doi.org/10.3897/zookeys.523.6100>
- Vilenica, M.; Ivković, M.; Sartori, M.; Mihaljević, Z. (2017.): Mayfly emergence along an oligotrophic Dinaric karst hydrosystem: Spatial and temporal patterns, and species–environment relationship. *Aquatic Ecology*, 51(3), 417–433. <https://doi.org/10.1007/s10452-017-9626-3>
- Vučković, I.; Božak, I.; Ivković, M.; Jelenčić, M.; Kerovec, M.; Popijač, A.; Previšić, A.; Širac, S.; Zrinski, I.; Kučinić, M. (2009.): Composition and structure of benthic macroinvertebrate communities in the mediterranean karst river the Cetina and its tributary Ruda, Croatia. *Natura Croatica*, 18(1), 49–82.
- Vučković, I.; Čuk, R.; Cerjanec, D.; Vidaković, I.; Plantak, M.; Srebočan, M.; Kučinić, M. (2016.): The genus *Ecclisopteryx* (Insecta: Trichoptera: Limnephilidae) in Croatia: Distribution and conservation aspects. *Natura Croatica*, 25(2), 267–278.
- Wilber, W. G.; Hunter, J. V. (2007.): The impact of urbanisation on the distribution of heavy metals in bottom sediments of the Saddle river. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 15(3), 790–800. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1979.tb00397.x>
- Winner, R. W.; Boesel, M. W.; Farrell, M. P. (1980.): Insect Community Structure as an Index of Heavy-Metal Pollution in Lotic Ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(4), 647–655. <https://doi.org/10.1139/f80-081>
- Winner, Robert W.; van Dyke, J. S.; Caris, N.; Farrell, M. P. (1975.): Response of the macroinvertebrate fauna to a copper gradient in an experimentally polluted stream. *Internationale Vereinigung Für Theoretische Und Angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 19, 2121–2127.
- Wuana, R. A.; Okieimen, F. E. (2011.): Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology*, 2011, 1–20. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>
- Young, K. L.; Lund, K. (2006.): An investigation of cadmium and lead from a High Arctic waste disposal site, Resolute Bay, Nunavut, Canada. *Hydrology Research*, 37(4–5), 441–453. <https://doi.org/10.2166/wh.2006.025>

The impact of physico-chemical indicators and metals on the EPT community of mayflies, stoneflies and caddisflies (EPT)

Abstract. The paper investigates the relationship between the number of taxa within three orders of aquatic insects - Ephemeroptera (mayflies), Plecoptera (stoneflies) and Trichoptera (caddisflies), the total taxa (EPT) and EPT individuals in the benthic macroinvertebrate community (EPT[%]), including dissolved metals in the water and physico-chemical parameters. The presence of EPT community with numerous taxa and a large share in the total macroinvertebrate community is usually associated with good water quality of freshwater ecosystems. All collected data used in this study originate from the national monitoring programme of surface water quality within a period of 8 years (2010 - 2017). In total, 247 samples of benthic macroinvertebrates from 172 sampling stations were analysed. All samples were collected according to the AQEM sampling protocol. The water used for determining the concentrations of dissolved metals and basic physico-chemical parameters was sampled in the same year when the samples of macrozoobenthos were collected, and all mentioned parameters were measured according to standard analytical methods for analysing surface water quality (ISO standards). The statistical analysis showed a significant negative correlation of the EPT assemblage (number of taxa of Ephemeroptera (E), Plecoptera (P), Trichoptera (T) and altogether (EPT)), as well as the share of EPT individuals in the sample (EPT [%]) with physico-chemical parameters, such as temperature and (P) = -0.528, electric conductivity and (P) = -0.485, total hardness and EPT = -0.493, including a weak negative correlation with alkalinity and total suspended solids. The Spearman's coefficient of the correlation indicated a statistically significant negative correlation of Manganese with P and T (-0.540 and -0.380, respectively) and of Arsenic with EPT[%] (-0.421). The correlations with other metals (Copper, Zinc, Cadmium, Chrome, Nickel, Lead, Mercury and Iron) were weak to insignificant. The results of the present study suggest that the use of EPT as bioindicators may be an important strategy for detecting Manganese and Arsenic pollution in aquatic environments.

Key words: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, physico-chemical indicators, metals, biomonitoring, arsenic

Der Einfluss von physikalischen und chemischen Indikatoren und Metallen auf die Gemeinschaften von Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen (EPT)

Zusammenfassung. In diesem Artikel wurde das Verhältnis untersucht zwischen der Anzahl von Taxa innerhalb drei Ordnungen von Insekten, nämlich Eintagsfliegen (Ephemeroptera), Steinfliegen (Plecoptera) und Köcherfliegen (Trichoptera), der Gesamtzahl von Taxa (EPT), dem Anteil der EPT-Individuen in der Gemeinschaft von Makrozoobenthos (EPT[%]) sowie im Wasser gelösten Metallen und den physikalischen und chemischen Indikatoren. Die Anwesenheit der EPT-Gemeinschaft mit einer großen Anzahl von Taxa und großem Anteil an der Gesamtgemeinschaft von Makrozoobenthos verbindet man gewöhnlich mit sehr guter Qualität von Süßwasserökosystemen. Alle Daten wurden im Rahmen des Programms zur systematischen Überwachung des Zustandes von Oberflächengewässern im Laufe von acht Jahren (2010-2017) gesammelt. Insgesamt wurden 247 Makrozoobenthosproben von 172 Probenstationen analysiert, wobei alle Proben nach der AQEM-Methode gesammelt wurden. Die Wasserproben zur Bestimmung der Konzentration von im Wasser gelösten Metallen und den physikalischen und chemischen Indikatoren wurden im gleichen Jahr wie die Makrozoobenthosproben entnommen. Alle Indikatoren wurden mit den üblichen Methoden zur Analyse der Qualität von Oberflächengewässern (ISO-Normen) gemessen. Der negative Zusammenhang zwischen der EPT-Gemeinschaft (Anzahl von Taxa von Eintagsfliegen (E), Steinfliegen (P), Köcherfliegen (T) und Gesamtzahl (EPT) sowie dem Anteil der EPT-Individuen in der Gesamtprobe (EPT[%]) und den physikalischen und chemischen Indikatoren, z. B. Temperatur und P = -0,528, elektrische Leitfähigkeit und P = -0,491, Gesamthärte und EPT = -0,493 wurde festgestellt sowie der schwache negative Zusammenhang zur Alkalität und Gesamtschwebstoffen. Der Spearman-Korrelationskoeffizient weist auf einen statistisch signifikanten negativen Zusammenhang zwischen der Mangankonzentration und P und T (-0,540 bzw. -0,380) und der Arsenkonzentration und EPT[%] (-0,421) hin. Bei anderen Metallen (Kupfer, Zink, Cadmium, Nickel, Blei, Quecksilber und Eisen) sind die Korrelationen schwach bis insignifikant. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass die Anwendung von EPT als Bioindikator eine wichtige Strategie in der Bestimmung von Mangan- und Arsenverschmutzung in Gewässern sein könnte.

Schlüsselwörter: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, physikalische und chemische Indikatoren, Metalle, Biomonitoring, Arsen