

Izvorni znanstveni rad | Original Scientific Paper | UDK 592:556.53][497.5 Zagreb)  
Primljeno (Received): 18.5.2010.; Prihvaćeno (Accepted): 23.2.2011.

# OBILJEŽJA ZAJEDNICA BENTIČKIH BESKRALJEŠNJAKA U POTOCIMA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA I ZAGREBAČKE ŽUPANIJE

**Renata Ćuk, dipl. ing. biol.**

Hrvatske vode  
Glavni vodnogospodarski  
laboratorij  
Ulica grada Vukovara 220, 10000  
Zagreb  
renata.cuk@voda.hr

**Mr. sc. Ivan Vučković, dipl. ing. biol.**

Hrvatske vode  
Glavni vodnogospodarski  
laboratorij  
Ulica grada Vukovara 220, 10000  
Zagreb

**Igor Stanković, prof. biol. i kem.**

Hrvatske vode  
Glavni vodnogospodarski  
laboratorij  
Ulica grada Vukovara 220, 10000  
Zagreb

**Svjetlana Andreis, dipl. ing. biol.**

Švearova 8, 10000 Zagreb

**Dr. sc. Dragan Grubiša, dipl. ing. kem.**

Gradski ured za zdravstvo,  
socijalnu zaštitu i branitelje  
Odjel za zdravstvenu ekologiju  
Trg Stjepana Radića 1, 10000  
Zagreb

Sastav i struktura makrozoobentosa (bentički beskralješnjaci) istraženi su u osam potoka na području grada Zagreba i Zagrebačke županije. Na svakom je potoku uzorkovanje obavljeno na dvjema mjernim postajama (gornji i donji tok) u ožujku 2009. godine, prema AQEM metodi kojom su obuhvaćena sva mikrostaništa zastupljena s najmanje 5%. Prikupljeni su i uzorci vode za određivanje fizikalno-kemijskih pokazatelja (temperatura vode, koncentracija otopljenog kisika i zasićenje kisikom, pH, KPK-Mn te BPK<sub>5</sub>). Ukupno su prikupljene i determinirane 4844 jedinke iz 91 svojte bentičkih beskralješnjaka. Na području gornjeg toka istraživanih tekućica ukupno je zabilježena 2161 jedinka iz 64 svojte, a dominirale su skupine rakušci (Amphipoda) s brojčanim udjelom od 38,32% gdje dominira vrsta *Gammarus fossarum* te skupina vodencvjetovi (Ephemeroptera) s 13 svojti, odnosno s brojčanim udjelom od 32,07%. Na donjim dijelovima toka ukupno su zabilježene 2683 jedinke iz 53 svojte, a dominantna skupina su dvokrilci (Diptera) s udjelom od 52,63%, odnosno 9 svojta. U radu su uspoređeni rezultati kakvoće vode koji su dobiveni pomoću Pantle-Buckovog indeksa saprobnosti (P-B indeks) i proširenog biotičkog indeksa (EBI). Temeljem dobivenih rezultata postaje na gornjim tokovima istraživanih potoka ukazuju na I. vrstu vode, dok se mjerne postaje na donjim dijelovima toka nalaze u granicama III. vrste vode. Veću raznolikost bentičkih beskralješnjaka nalazimo na postajama gornjeg toka istraživanih tekućica, na što ukazuju Shannonov i Simpsonov indeks raznolikosti. Analizom sastava i strukture makrozoobentosa na mjernim postajama klaster analizom utvrđeno je grupiranje određenih postaja na gornjem, odnosno na donjem dijelu toka istraživanih potoka.

**Ključne riječi:** Medvednica, makrozoobentos, tekućice, raznolikost, kakvoća vode

## 1. UVOD

Od svih bioloških elemenata bentički beskralješnjaci (makrozoobentos) se najčešće koriste u izračunu kakvoće vode (De Pauw i Hawkes, 1993., Rosenberg i Resh, 1993.). Obično se koriste za procjenu organskog opterećenja jer postoji jasna veza između organskog opterećenja i reakcije zajednice makrozoobentosa (Sandin i Hering, 2004., Hering i sur., 2004. a). Pod utjecajem organskog onečišćenja smanjuje se raznolikost vrsta, ali se povećava broj jedinki iste vrste, dok čiste vode naseljava veći broj različitih vrsta, ali s manjom brojnošću jedinki (Rosenberg i Resh 1993., Marques i sur., 1999.). Na sastav i strukturu zajednica bentičkih beskralješnjaka utječu abiotički čimbenici (npr. vrsta podloge, temperature vode, količina svjetlosti, brzina strujanja vode, dubina, alkalinitet, otopljeni kisik, vrijednost pH), ali također i interakcije unutar zajednica makrozoobentosa (biotički čimbenici) (Pringle i sur., 1988.).

Makrozoobentos je od iznimne važnosti i za populacije riba jer služi kao značajan izvor hrane (Waters, 1988., Johnson i sur., 1993., Kerans i Karr, 1994.).

U zadnjih 10-ak godina provodi se sustavno praćenje kakvoće površinskih voda na području Republike Hrvatske na osnovu makrozoobentosa kao jednog od bioloških elemenata kakvoće propisanih Okvirnom direktivom o vodama (Ćuk i sur., 2010.).

Cilj ovog rada je preko zajednica bentičkih beskralješnjaka utvrditi kakvoću vode, raznolikost istraživanih vodotoka, odnos kakvoće vode i indeksa raznolikosti te sličnosti i razlike među istraživanim potocima sliva rijeke Save koji izvire na području Medvednice obzirom na izgradnju objekata na području Parka prirode Medvednica (hoteli, skijalište, planinarski domovi).

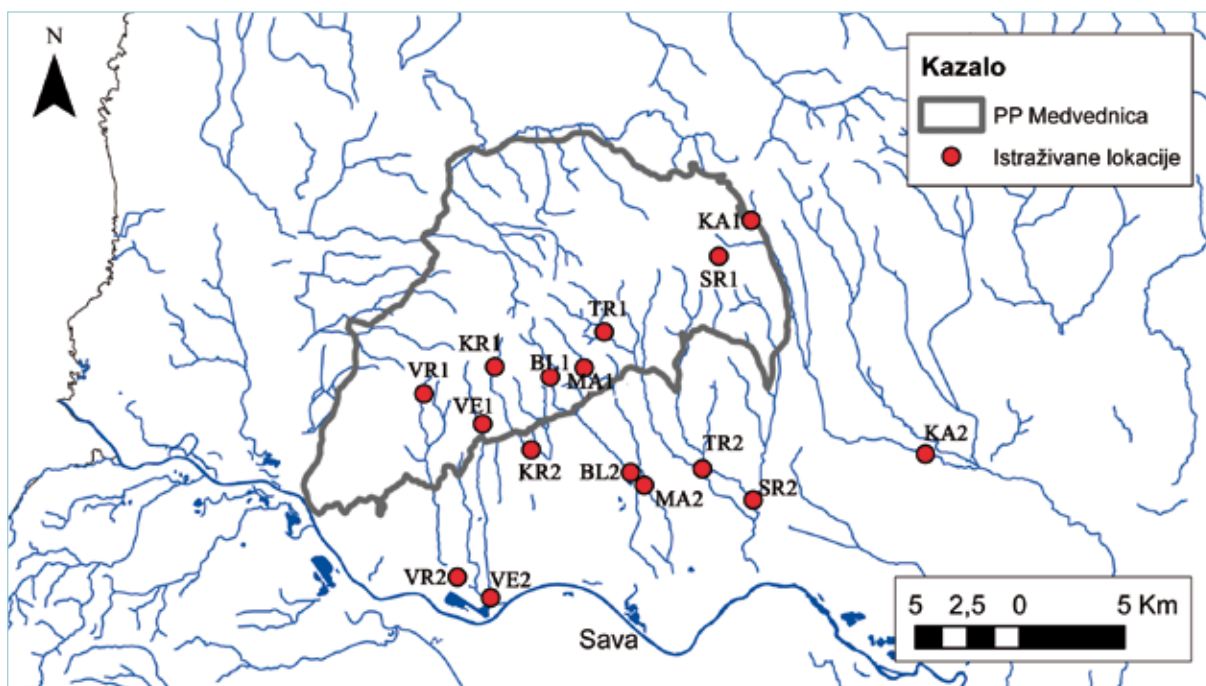
## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Medvednica ili Zagrebačka gora proglašena je godine 1981. Parkom prirode i na taj način zakonski su zaštićene mnoge prirodne vrijednosti kojima obiluje ova gora (površina zaštićenog područja iznosi oko 225 km<sup>2</sup>) (Miklin i Dolić, 2003.). Medvednica se pruža u smjeru sjeveroistok-jugozapad u dužini od oko 42 km. Na jugozapadnom dijelu nalazi se i najviši vrh Medvednice - Sljeme (1033 m). Ukupna površina Medvednice je oko 240 četvornih kilometara (Frangeš i sur., 2000.).

Glavni medvednički potoci, kojih ima šezdesetak na južnim obroncima, bogati su vodom cijele godine zahvaljujući brojnim izvorima. Ovim je radom obuhvaćeno istraživanje na osam potoka koji izvire na području Parka prirode Medvednica i to na dvjema mjernim postajama (gornji i donji tok) na svakom od istraživanih potoka (tablica 1, slika 1).

Tablica 1: Popis istraživanih mjernih postaja s pripadajućim koordinatama

Mjerna postaja	Koordinate	
	X	Y
Bliznec - gornji tok (BL1)	N 45°52'42,1"	E 15°58'35,5"
Bliznec - donji tok (BL2)	N 45°50'12,6"	E 16°01'31,1"
Kašina - gornji tok (KA1)	N 45°56'40,3"	E 16°06'05,6"
Kašina - donji tok (KA2)	N 45°50'35,0"	E 16°12'24,6"
Kraljevec - gornji tok (KR1)	N 45°52'58,6"	E 15°56'32,5"
Kraljevec - donji tok (KR2)	N 45°50'50,0"	E 15°57'50,8"
Markuševički potok (Štefanovec) - gornji tok (MA1)	N 45°52'55,9"	E 15°59'50,8"
Markuševički potok (Štefanovec) - donji tok (MA2)	N 45°49'52,95"	E 16°02'00,8"
Srednjak - gornji tok (SR1)	N 45°55'45,3"	E 16°04'53,5"
Srednjak - donji tok (SR2)	N 45°49'27,8"	E 16°06'01,6"
Trnava - gornji tok (TR1)	N 45°53'50,7"	E 16°00'36,7"
Trnava - donji tok (TR2)	N 45°50'17,2"	E 16°04'09,9"
Veliki potok - gornji tok (VE1)	N 45°51'30,8"	E 15°56'04,3"
Veliki potok - donji tok (VE2)	N 45°47'00,9"	E 15°56'16,9"
Vrapčak - gornji tok (VR1)	N 45°52'18,4"	E 15°53'54,5"
Vrapčak - donji tok (VR2)	N 45°47'00,9"	E 15°56'05,8"



Slika 1: Karta s prikazom mjernih postaja istraživanih tekućica

Na gornjem toku potoka Bliznec (BL1) u podlozi su dominirale veće valutice (6–20 cm) te blokovi (20–40 cm), dok su ostali tipovi supstrata bili zastupljeni u manjoj mjeri (valutice, šljunak i pijesak). Na donjem dijelu toka (BL2) dominirao je mulj (<6  $\mu$ m) i fital (živi biljni dijelovi), a također su bili prisutne manje (2–6 cm) i veće valutice.

Na mjernoj postaji Kašina u gornjem dijelu toka (KA1) dominirale su veće i manje valutice, dok su šljunak (0,2–2 cm) i pijesak (6  $\mu$ m – 0,2 cm) bili zastupljeni manjim udjelom. U donjem toku (KA2) dominirali su mulj i fital.

Supstrat na mjernoj postaji Kraljevec – gornji tok (KR1) uglavnom se sastojao od većih i manjih valutica, a bili su prisutni i blokovi, šljunak i pijesak, a sličan je sastav supstrata bio i na donjem dijelu toka istog potoka (KR2).

Na mjernoj postaji Markuševčki potok u gornjem dijelu toka (MA1) također su dominirale veće i manje valutice, dok su u donjem toku (MA2) najzastupljeniji bili blokovi, ploče (>40 cm) te veće i manje valutice.

Na gornjem toku potoka Srednjak (SR1) dominirao je mulj, s malim udjelom fitala i manjih valutica, a na donjem toku (SR2) dominantne su podloge bile tehnilital (umjetna podloga) te fital.

Supstrat na mjernoj postaji na gornjem toku potoka Trnava (TR1) sastojao se uglavnom od većih i manjih valutica, a bilo je i pijeska. U donjem su dijelu (TR2) dominirali tehnilital i fital.

Na Velikom potoku u gornjem toku (VE1) podloga se sastojala od većih i manjih valutica te šljunka, dok je u donjem toku (VE2) podloga bila pretežno muljevita s prisutnošću manjih valutica.

Na mjernoj postaji Vrapčak – gornji tok (VR1) supstrat se sastojao od većih i manjih valutica, šljunka i pijeska,

s prisutnošću ksilala (neživih biljnih dijelova) i blokova, dok se podloga donjeg toka (VR2) sastojala od manjih i većih valutica, a prisutni su bili i blokovi, šljunak, pijesak i mulj.

Važno je napomenuti da je većina potoka u donjem toku hidromorfološki jako izmijenjena, odnosno kanalizirana, čime je uvelike promijenjen njihov prirodni izgled, dok u gornjem dijelu toka oni zadržavaju svoj prirodan izgled.

### 3. MATERIJALI I METODE

Uzorkovanje je provedeno pomoću ručne bentos mreže promjera okašca 500  $\mu$ m i širine zahvata od 25 cm te je prema AQEM protokolu prikupljeno 20 replikativnih poduzoraka na pojedinim mikrostaništima koja su na istraživanom segmentu imala zastupljenost veću od 5%; s obzirom na zastupljenost svakog mikrostaništa određen je i broj uzoraka s time da je za zastupljenost od 5% sakupljen 1 poduzorak. Mikrostaništa koja su bila zastupljena s manje od 5% nisu uzorkovana (Hering i sur., 2004. b). Uzorkovana površina u svakom uzorkovanju iznosila je 1,25 m<sup>2</sup>.

Uzorcima su konzervirani na terenu s 96%-tnim etanolom na način da je konačna koncentracija etanola bila cca 70%, a izolacija životinja je obavljena u laboratoriju pomoću binokularne lupe Olympus (SZX9). Svi prikupljeni organizmi su potom determinirani do najniže moguće sistematske kategorije uz primjenu odgovarajućih ključeva: Engelhardt (1967.), Kerovec (1986.), Sansoni (1992.), Schmedtje i Kochman (1992.), Ludwig (1993.), Campaioli i sur. (1994.), Schwab (1995.),

Nilsson (1996.), Waringer i Graf (1997.), Grabow (2000.), Bauernfeind i Humpesch (2001.), Glöer i Meier-Book (2003.), Zwick (2004.).

Na svim mjernim postajama prikupljeni su i uzorci vode te su analizirani sljedeći fizikalno-kemijski pokazatelji: temperatura vode; pH metodom HRN ISO 10523:1998; koncentracija otopljenog kisika metodom ISO 5814:1990; kemijska potrošnja kisika (KPK-Mn) metodom EN ISO 8467:1995 te biološka potrošnja kisika (BPK<sub>5</sub>) metodom HRN ISO 5815:1998.

U ocjeni kakvoće voda primijenjeni su Pantle-Buck (P-B) indeks saprobnosti (Pantle i Buck, 1955.), gdje su indikatorske vrijednosti pojedinih vrsta preuzete iz Wegl-a (Wegl, 1983.) te prošireni biotički indeks (EBI) (Ghetti, 1986.). Saprobni sustav je unatoč brojnim nedostacima još uvijek jedna od važnijih metoda za procjenjivanje kakvoće površinskih voda koje su opterećene organskim tvarima. Za računanje P-B indeksa saprobnosti potrebno je sve organizme odrediti do najniže moguće sistematske kategorije, te procijeniti njihovu relativnu zastupljenost ocjenama 1, 3 i 5 (1-pojedinačno, rijetko; 3-srednje, često; 5-masovno).

P-B indeks saprobnosti izračunat je po formuli:

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^n s_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (1)$$

gdje je: SI = P-B indeks saprobnosti

$s_i$  = indikatorska vrijednost za pojedinu vrstu (prema Wegl-u)

$h_i$  = relativna zastupljenost pojedine vrste (1, 3, 5)

Maločetaš (Oligochaeta) i ličinački stadiji kukaca trzalaca (Chironomidae) determinirani su samo do nivoa porodice zbog zahtjevnosti pri određivanju pa njihova prisutnost u pojedinim uzorcima nije uzeta u obzir prilikom konačnog procjenjivanja kakvoće vode. Prilikom određivanja proširenog biotičkog indeksa organizmi se određuju do određenih sistematskih kategorija, uglavnom do nivoa roda ili porodice. Zatim se utvrđuje broj prisutnih svojti te se iz tablice očitaju vrijednosti indeksa (Ghetti, 1986.).

Za određivanje raznolikosti vrsta primijenjeni su Shannonov indeks raznolikosti ( $H'$ ) (Shannon i Weaver, 1949.) te Simpsonov indeks raznolikosti ( $1 - D$ ) (Simpson, 1949.) koji se baziraju na odnosu broja vrsta i njihove zastupljenosti (relativne brojnosti) u zajednici te se pomoću ta dva parametra nastoje definirati karakteristike zajednice. Indeksi su izračunati prema formulama:

$$H' = -\sum_{i=1}^s (p_i)(\log_2 p_i) \quad (2)$$

gdje je:  $H'$  = Shannonov indeks raznolikosti

$p_i$  = udio pojedine vrste u uzorku

$s$  = broj vrsta u uzorku

$$1 - D = \sum_{i=1}^s p_i^2 \quad (3)$$

gdje je: ( $1 - D$ ) = Simpsonov indeks raznolikosti

$p_i$  = udio pojedine vrste u uzorku

$s$  = broj vrsta u uzorku

Oba navedena indeksa najčešće se koriste zajedno, jer je Shannonov indeks osjetljiv na promjene brojnosti rijetkih vrsta, a Simpsonov na male promjene brojnosti čestih vrsta (Krebs, 1999.).

Usporedba strukture zajednica na istraživanim postajama provedena je pomoću klaster analize (eng. Group average linkage method). Radi izjednačavanja dominantnih i rijetkih vrsta, matrica brojnosti na svim je postajama logaritamski transformirana  $\log_{10}(x+1)$ . Korištena je matrica sličnosti dobivena izračunavanjem Bray-Curtis indeksa sličnosti između svih postaja sa brojnošću jedinki pojedinih svojti po sezoni. Za ovu analizu korišten je program Primer 5.0 (Clarke i Warwick, 2001.).

## 4. REZULTATI

### 4.1. Rezultati fizikalno-kemijskih analiza

U **tablici 2** prikazani su rezultati fizikalno-kemijskih i bioloških analiza za 16 ispitanih mjernih postaja s odgovarajućom bojom ovisno o vrsti vode. Granične vrijednosti za pojedinu vrstu vode su u skladu s Uredbom o klasifikaciji voda (NN 137/08) koja ja bila na snazi do 01. siječnja 2011. godine kada su obrađivani ovi podaci.

Temperatura vode na svim mjernim postajama kretala se u rasponu 3,6-8,5 °C. Prosječna vrijednost temperature vode na gornjim dijelovima istraživanih tekućica iznosila je 5,48 °C, dok je prosječna vrijednost temperature u donjim tokovima iznosila 8,01 °C. Rezultati mjerenja otopljenog kisika nisu pokazivali velike razlike u koncentraciji između gornjih tokova gdje je prosječna vrijednost bila 11,43 mgO<sub>2</sub>/l i donjih tokova potoka gdje je prosječna vrijednost bila 13,48 mgO<sub>2</sub>/l. Na svim mjernim postajama zasićenost kisikom je uvijek bila iznad 100%. Obzirom na pH vrijednosti sve mjerne postaje nalaze se u blago lužnatom području, osim mjerne postaje BL1 koja se nalazi u blago kiselom području. Vrijednosti pH bile su u rasponu od 6,92 do 9,07, pri čemu je srednja vrijednost na gornjim tokovima iznosila 8,00, a na donjim tokovima 8,34. Srednja vrijednost KPK-Mn na gornjim tokovima je iznosila 2,99 mgO<sub>2</sub>/l, a na donjim tokovima 3,88 mgO<sub>2</sub>/l. Povećane koncentracije BPK<sub>5</sub> zabilježene su na donjim dijelovima svih istraživanih potoka sa srednjom vrijednošću 3,17 mgO<sub>2</sub>/l dok je srednja vrijednost na gornjim tokovima iznosila 1,40 mgO<sub>2</sub>/l.

Tablica 2. Prikaz osnovnih fizikalno-kemijskih pokazatelja i bioloških indeksa na mjernim postajama te prikaz odgovarajuće boje za pojedinu vrstu vode

Mjerna postaja	Temp. vode (°C)	Otopljeni kisik (mg/l O <sub>2</sub> )	zasićenje kisikom (mg/l O <sub>2</sub> )	pH	KPK-Mn (mg/l O <sub>2</sub> )	BPK <sub>5</sub> (mg/l O <sub>2</sub> )	Indeks saprobnosti (P-B)	Biotički indeks (EBI)	Vrsta vode	Boja
BL1	5	11,56	120,5	6,92	3,8	1,18	1,53	10		
BL2	8,3	11,43	117,5	8,49	3,5	3,03	2,38	7	I	
KA1	3,6	12,24	131	7,86	1,9	1,79	1,63	12	II	
KA2	5,6	16,66	179,9	8,04	3,3	3,07	2,34	7	III	
KR1	5	10,96	117,8	8,12	3,4	1,28	1,57	12	IV	
KR2	8,3	11,4	113,3	8,17	3,4	3,1	1,78	10	V	
MA1	6,4	11,41	120,9	8,15	3,2	1,16	1,55	11		
MA2	8,5	11,73	124,2	8,11	2,8	2,06	2,24	7		
SR1	6,2	11,21	120,4	8,02	2,1	0,97	1,75	6		
SR2	8,4	14,52	154	8,06	3,9	2,56	2,31	8		
TR1	7,6	11,38	119,8	8,34	3	1,27	1,54	11		
TR2	8,4	11,51	121,3	8,26	3	2,8	2,47	6		
VE1	5	11,43	120,8	8,24	3,9	1,65	1,62	10		
VE2	8,3	16,39	169,2	9,07	3,8	3,45	2,38	2		
VR1	5	11,32	118,7	8,36	2,6	1,89	1,6	9		
VR2	8,3	14,24	149,1	8,51	7,3	5,31	2,5	6		

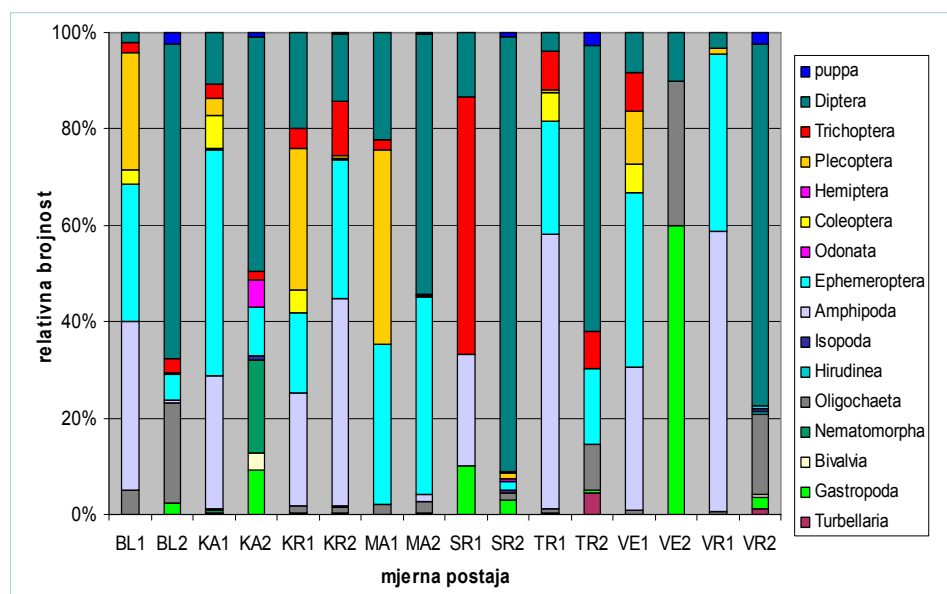
#### 4.2. Rezultati bioloških analiza

Ukupno su prikupljene i determinirane 4844 jedinice koje pripadaju u 91 svojitu bentičkih beskralješnjaka (tablica 3). Na mjernim postajama gornjih tokova ukupno je zabilježena 2161 jedinka koja pripada u 64 svojite. Najveći broj svojiti (28) na gornjim tokovima imala je mjerna postaja KA1, a najmanji broj svojiti (8) imala je mjerna postaja SR1. Fauna gornjih tokova odlikuje se relativno velikom bioraznolikošću i brojnošću pojedinih vrsta, s dominacijom skupina Amphipoda, Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera i Diptera (slika 2).

Prema P-B indeksu saprobnosti na osnovu makrozoobentosa sve mjerne postaje na gornjim tokovima ukazuju na I. vrstu vode, tj. oligosaprobne vode

koje su neopterećene ili malo organski opterećene. Na mjernoj postaji SR1 kakvoća vode prema proširenom biotičkom indeksu ukazuje na III. vrstu vode, dok na mjernoj postaji VR1 ukazuje na II. vrstu vode. Na svim ostalim mjernim postajama gornjih tokova voda se odlikuje visokom kakvoćom, odnosno, ukazuje na I. vrstu vode prema proširenom biotičkom indeksu (tablica 2).

Na mjernim postajama donjih tokova ukupno su zabilježene 2683 jedinice koje pripadaju u 53 svojite. Najveći broj svojiti (20) na donjim tokovima imala je mjerna postaja KR2, a najmanji broj svojiti (4) imala je mjerna postaja VE2. Fauna dna odlikovala se manjom raznolikošću vrsta, ali većom brojnošću pojedinih jedinki iste vrste u makrozoobentosu. Skupine koje su



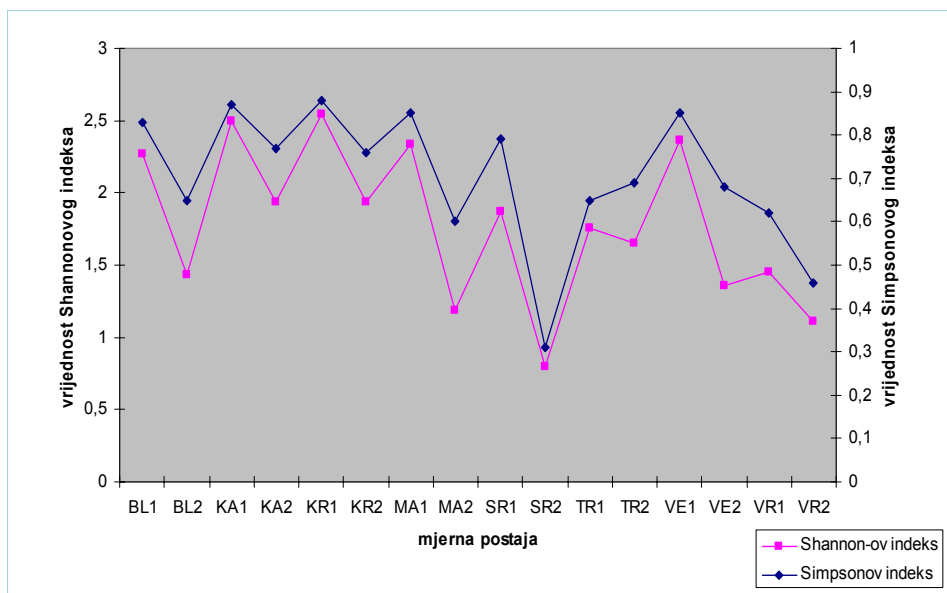
Slika 2: Relativna zastupljenost faune dna na mjernim postajama istraživanih tekućica



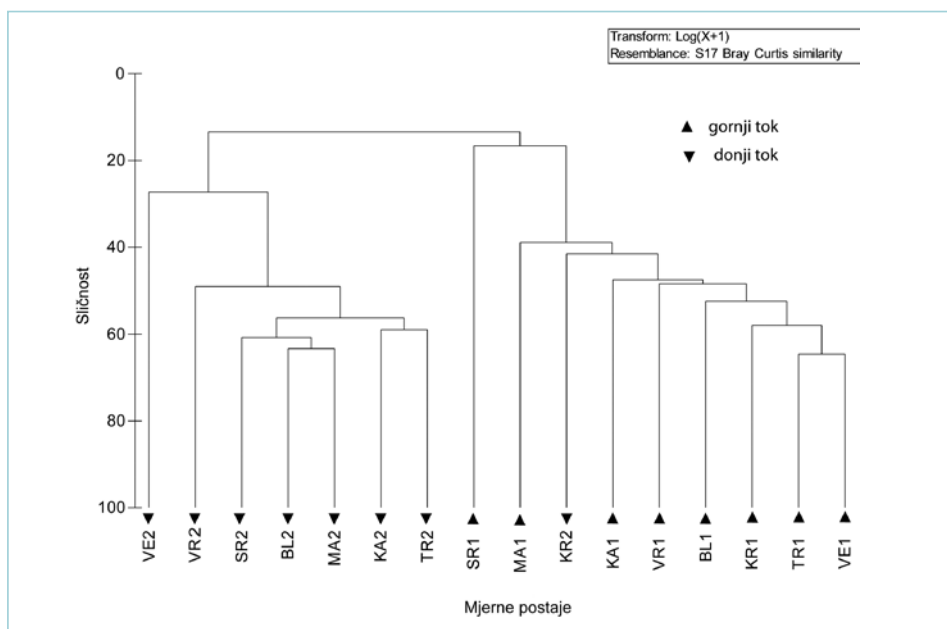
Tablica 3: Kvalitativni i kvantitativni sastav makrozoobentosa u 1 m<sup>2</sup> na mjernim postajama u ožujku 2009. godine

	BL1	BL2	KA1	KA2	KR1	KR2	MA1	MA2	SR1	SR2	TR1	TR2	VE1	VE2	VR1	VR2
TURBELLARIA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dugesia lugubris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	2
<i>Dugesia</i> sp.	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
GASTROPODA	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anisus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Bithynia tentaculata</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lymnaea auricularia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Lymnaea peregra</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lymnaea</i> sp.	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Physa acuta</i>	0	2	0	4	0	0	0	0	0	16	0	0	0	8	0	1
Planorbidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Planorbis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stagnicola corvus</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Valvata piscinalis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
BIVALVIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pisidium</i> sp.	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sphaerium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
NEMATOMORPHA	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ANNELIDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OLIGOCHAETA	1	34	2	17	2	2	1	9	0	7	1	8	0	3	0	20
<i>Branchiura sowerbyi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Eiseniella tetraedra</i>	5	0	0	0	1	7	2	1	0	0	2	1	2	2	2	2
HIRUDINEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Haemopsis sanguisuga</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Helobdella stagnalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Asellus aquaticus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1
<i>Gammarus fossarum</i>	39	1	99	0	53	287	0	7	6	0	207	0	54	0	205	0
Isopoda	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INSECTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPHEMEROPTERA	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Baetis alpinus</i>	0	0	2	0	0	38	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Baetis</i> sp.	14	9	55	9	21	93	0	178	0	10	21	14	8	0	11	0
<i>Caenis</i> sp.	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ecdyonurus venosus</i>	4	0	9	0	2	7	1	0	0	0	15	0	12	0	3	0
<i>Electrogena</i> sp.	1	0	16	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	37	0
<i>Epeorus sylvicola</i>	1	0	0	0	1	2	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0
<i>Ephemera danica</i>	0	0	28	0	0	1	1	0	0	0	5	0	3	0	0	0
<i>Ephemerella ignita</i>	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0
<i>Ephemerella major</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ephemerella notata</i>	0	0	0	0	0	18	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Habroleptoides confusa</i>	2	0	2	0	6	2	5	0	0	0	2	0	6	0	35	0
<i>Habrophlebia lauta</i>	0	0	2	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
<i>Rhitrogena semicolorata</i>	8	0	49	0	6	26	22	1	0	0	36	0	35	0	40	0
ODONATA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calopteryx splendens</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coenagrion</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Cordulegaster boltoni</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphus vulgatissimus</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Libellulidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Oncygomphus forcipatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ophyogomphus</i> sp.	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
COLEOPTERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elmidae	1	0	5	0	0	0	0	1	0	0	10	0	4	0	0	0
<i>Elmis maugiei</i>	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Elmis</i> sp.	0	0	9	0	10	0	0	0	0	0	13	0	6	0	0	0
<i>Esolus</i> sp.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	BL1	BL2	KA1	KA2	KR1	KR2	MA1	MA2	SR1	SR2	TR1	TR2	VE1	VE2	VR1	VR2
<i>Helichus substriatus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Helodidae	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hydraena</i> sp.	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Limnius volckmari</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HEMIPTERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sigara falleni</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLECOPTERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brachyptera risi</i>	12	0	10	0	41	0	34	0	0	0	0	0	2	0	1	0
<i>Isogenus nubecula</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Isoperla</i> sp.	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
<i>Leuctra</i> sp.	2	0	0	0	5	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Nemoura cinerea</i>	0	0	2	0	0	0	5	0	0	6	0	0	0	0	2	0
<i>Paragnetina spinulifera</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Perla marginata</i>	8	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0
<i>Perla</i> sp.	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Protonemura</i> sp.	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0
TRICHOPTERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chaetopterygopsis maclaclani</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Glossosoma</i> sp.	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0	1	0	2	0	0	0
<i>Goera pilosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Halesus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	2	0	0	0	0	0
<i>Hydropsyche bulbifera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Hydropsyche instabilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0
<i>Hydropsyche modesta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Hydropsyche saxonica</i>	0	0	0	0	1	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hydropsyche tenuis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0
<i>Hydropsyche</i> sp.	0	5	2	2	3	26	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Limnephilidae	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Odontocerum albicorne</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0
<i>Polycentropus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Polycentropidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhyacophila tristis</i>	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Rhyacophila</i> sp.	0	0	2	0	3	6	0	0	1	0	2	0	4	0	0	0
<i>Sericostoma personatum</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
<i>Silo</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	3	0	0	0
<i>Stenophylax permistus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Stenophylax</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tinodes waeneri</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tinodes</i> sp.	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DIPTERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Antocha vitripennis</i>	0	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Atherix marginata</i>	0	0	17	0	10	0	9	0	0	0	10	0	3	0	0	0
<i>Bezzia</i> sp.	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	2
Chironomidae	0	0	7	0	8	90	2	0	2	0	2	0	6	0	8	0
<i>Chironomus</i> sp.	0	86	0	36	0	0	0	207	0	446	0	47	0	2	0	97
Clinocerinae	0	0	2	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dicranota</i> sp.	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limoniidae	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Liponeura</i> sp.	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Simulium</i> sp.	2	1	6	4	20	0	11	7	1	14	2	4	4	0	2	0
Stratiomyidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tabanidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Tabanus</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tanypus</i> sp.	0	18	4	2	0	0	0	18	0	28	0	4	0	0	0	5
<i>Tipula</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	1
puppa	0	4	0	1	0	2	0	2	0	6	0	2	0	0	0	3
broj jedinki	112	166	361	87	226	667	111	437	24	542	362	93	181	16	351	138
broj svojti	14	10	28	12	22	20	17	11	8	11	22	9	16	4	12	12



Slika 3: Kretanje vrijednosti Shannonovog i Simpsonovog indeksa raznolikosti na mjernim postajama istraživanih tekucica



Slika 4: Sličnost istraživanih mjernih postaja temeljem kvalitativnog i kvantitativnog sastava makrozoobentosa

dominirale u uzorcima bile su Diptera i Oligochaeta, koje mogu podnijeti veće organsko opterećenje (slika 2). Na mjernoj postaji KR2 fauna dna odlikovala se relativno velikom raznolikošću u odnosu na sve ostale postaje donjeg toka. Ova mjerna postaja sastavom i strukturom makrozoobentosa slična je istraživanim postajama gornjih tokova. Prema P-B indeksu saprobnosti na osnovu makrozoobentosa većina mjernih postaja na donjim dijelovima toka spada u III. vrstu voda (kritično opterećeni vodotoci). Također, vrijednosti proširenog biotičkog indeksa na najvećem broju mjernih postaja donjih tokova ukazuje na III. vrstu vode, iako neke postaje ukazuju na I., II., odnosno V. vrstu vode (tablica 2).

Shannonov i Simpsonov indeks raznolikosti jasno pokazuju veće vrijednosti na postajama gornjih tokova potoka u odnosu na postaje donjih tokova. Najveća raznolikost bentičkih beskralješnjaka prema oba indeksa zabilježena je na mjernim postajama KR1 i KA1 koje se nalaze na gornjem toku, dok je najmanja raznolikost utvrđena na mjernim postajama SR2 i VR2 koje pripadaju donjem toku istraživanih potoka (slika 3).

Temeljem klaster analize vidljivo je da se s obzirom na sastav zajednice makrozoobentosa međusobno grupiraju postaje gornjeg toka kao i postaje donjeg toka s iznimkom mjerne postaje KR2 koja pokazuje sličnost s postajama gornjeg toka (slika 4).



## 5. RASPRAVA

Temperatura vode izravno je ovisna o temperaturi zraka (Giller i Malmquist, 1998.). Temperature vode na postajama gornjeg toka bile su niže od onih na donjim tokovima što je u skladu s očekivanim rezultatima (Giller i Malmquist, 1998.). Količina kisika u vodi ovisi o temperaturi vode, nadmorskoj visini i koncentraciji otopljenih soli u vodi. Iako se u prosjeku količina otopljenog kisika smanjuje od površine prema dnu i nizvodno (Giller i Malmquist, 1998.), na temelju podataka iz ovog rada to nije moguće zaključiti, odnosno, ne vide se značajnije razlike u količini otopljenog kisika na postajama gornjeg i donjeg toka. Navedene razlike su najuočljivije u ljetnom i ranojesenskom razdoblju.

Za razliku od toga, podaci o zasićenju kisikom ukazuju na prosječno veće zasićenje na donjim tokovima u odnosu na gornje, što je najvjerojatnije rezultat povećane fotosinteze na početku vegetacijske sezone, obzirom da je na postajama na donjim dijelovima toka u podlozi bio prisutan fital (živi biljni materijal) za razliku od mjernih postaja na gornjim dijelovima toka. Također, mjerne postaje na donjim dijelovima toka bile su manje zasjenjene, tj. više izložene suncu.

Mjerne postaje koje su se nalazile na gornjem dijelu toka istraživanih tekućica imale su niže vrijednosti KPK i BPK<sub>5</sub>, što je i bilo za očekivati, dok su vrijednosti navedenih pokazatelja na postajama donjih tokova ukazivale na prisutnost organskog opterećenja. Razlog tome je najvjerojatnije djelomično otpuštanje otpadnih voda iz kućanstava koja nisu spojena na sustav javne odvodnje otpadnih voda. Mjerne postaje gornjih tokova nalaze se u Parku prirode Medvednica (slika 1) i nisu pod većim antropogenim utjecajem za razliku od mjernih postaja donjih tokova.

Od svih ispitanih fizikalno-kemijskih pokazatelja u ovom radu, većina ne pokazuje značajne razlike u vrijednostima na postajama gornjeg i donjeg toka, izuzev temperature vode. Na mjernim postajama gdje su bile povećane vrijednosti P-B indeksa saprobnosti, a odnosi se uglavnom na mjerne postaje donjeg toka, također su bile povećane i vrijednosti BPK<sub>5</sub>.

Skupine Oligochaeta i Chironomidae nisu određivane do vrste, odnosno roda zbog zahtjevnosti prilikom determinacije i kao takve nemaju indikatorsku vrijednost te nisu uzete u obzir u izračunu P-B indeksa saprobnosti. Ova činjenica utječe na konačni rezultat koji bi sigurno bio modificiran, ali bi vrsta vode vjerojatno ostala ista, obzirom da na mjernim postajama na kojima su ove skupine bile prisutne u većem broju i ostale utvrđene skupine bentičkih beskralješnjaka također ukazuju na prisutnost organskog opterećenja.

Prema vrijednostima P-B indeksa saprobnosti sve postaje gornjih tokova spadaju u I. vrstu vode, no neke od navedenih mjernih postaja prema proširenom biotičkom

indeksu ukazuju čak na III. vrstu vode. Na postajama donjih tokova također postoje nepodudarnosti pa neke mjerne postaje prema proširenom biotičkom indeksu ukazuju na kakvoću vode čak za dvije klase nižu od one dobivene prema P-B indeksu saprobnosti. Razlog tome je relativno mali broj pronađenih svojti na tim mjernim postajama što se kod izračuna P-B indeksa saprobnosti ne uzima u obzir.

Vrijednosti Shannonovog i Simpsonovog indeksa raznolikosti pokazuju vrlo slične rezultate, pri čemu oba indeksa pokazuju veće vrijednosti na mjernim postajama gornjeg toka. Takve vrijednosti su bile i očekivane obzirom na znatno veći broj vrsta na postajama gornjih tokova. Na gornjim tokovima istraživanih tekućica nalazimo veću raznolikost supstrata u odnosu na mjerne postaje na donjim tokovima. Sastav supstrata toka rijeke (veličina i heterogenost) kao i prisutnost vodene vegetacije imaju dominantnu ulogu na sastav zajednica (Williams i Williams, 1998.).

Gustoća pojedine vrste (svojte) ovisi o životnom ciklusu, specifičnom ponašanju, a može biti povećana ili smanjena i promjenom bioloških uvjeta na staništu (Bêche i sur., 2006.). No, vrijednosti indeksa raznolikosti ne moraju uvijek biti u korelaciji s kakvoćom vode (Lydy i sur., 2000.), što je pokazalo i ovo istraživanje gdje su prema oba indeksa raznolikosti najniže vrijednosti na gornjim tokovima bile na mjernim postajama TR1 i VR1, a iste su postaje u I. (rijetko II.) vrsti vode na osnovu P-B indeksa saprobnosti i proširenog biotičkog indeksa. Mjerne postaje na donjim dijelovima toka istraživanih tekućica također ne pokazuju direktnu vezu između indeksa raznolikosti i kakvoće vode. Stoga, dobivene vrijednosti Shannonovog i Simpsonovog indeksa raznolikosti treba razmatrati s oprezom te ih valja koristiti kao pomoćne indekse pri određivanju stanja ekosustava i uvijek ih interpretirati u kombinaciji s ostalim biološkim indeksima kao i osnovnim fizikalno-kemijskim pokazateljima (Lydy i sur., 2000.).

Makrozoobentos je, osim s organskim opterećenjem, u direktnoj ovisnosti i s hidromorfološkim promjenama na vodotoku (Cota i sur., 2002.). Mjerne postaje na donjim dijelovima imale su manju raznolikost supstrata, a na nekim mjernim postajama vodotoci su i hidromorfološki jako degradirani (izmijenjeni) čime je došlo do nestanka određenih mikrostaništa. To je također jedan od razloga zašto na mjernim postajama donjih tokova nalazimo manje svojti u odnosu na mjerne postaje gornjih dijelova toka. Ovisnost sastava zajednica makrozoobentosa o hidromorfološkim promjenama vodotoka (promjenom strukture podloge mijenja se i zajednica bentičkih beskralješnjaka) ovim istraživanjem nije obuhvaćena zbog nepostojanja nacionalne metodologije za procjenu iste.

## 6. ZAKLJUČCI

Na osnovu fizikalno-kemijskih pokazatelja i obavljene biološke analize makrozoobentosa na osam istraživanih potoka na gornjim i donjim dijelovima toka (ukupno 16 mjernih postaja) može se zaključiti sljedeće:

1. Izmjerene vrijednosti koncentracije otopljenog kisika, zasićenja kisikom i pH voda na svim ispitivanim mjernim postajama ukazuju na I. vrstu vode, osim na mjernoj postaji Veliki potok – donji tok na kojoj vrijednost pH ukazuje na vodu II. vrste.
2. Obzirom na vrijednost KPK-Mn sve ispitivane mjerne postaje ukazuju na I. vrstu vode osim mjerne postaje Vrapčak – donji tok koja prema ovom pokazatelju spada u II. vrstu vode.
3. Obzirom na vrijednost BPK5 sve ispitivane mjerne postaje na gornjim tokovima ukazuju na I. vrstu vode, dok mjerne postaje na donjim tokovima ukazuju na II. vrstu vode, osim mjerne postaje Vrapčak – donji tok koja pripada III. vrsti vode.
4. Ukupno su prikupljene i determinirane 4844 jedinke bentičkih beskralješnjaka koje pripadaju u 91 svojtu. Najzastupljenije skupine, sa preko 1000 jedinki bile su Diptera (33,11%), Ephemeroptera (24,96%) i Amphipoda (24,71%).
5. Na postajama gornjih tokova ukupno je zabilježena i determinirana 2161 jedinka bentičkih beskralješnjaka koje pripadaju u 64 svojte. Najzastupljenije skupine bile su Amphipoda (38,32%) i Ephemeroptera (32,07%).
6. Na postajama donjih tokova ukupno su zabilježene i determinirane 2683 jedinke koje pripadaju u 53 svojte. Daleko je najzastupljenija skupina bila Diptera s gotovo 1500 jedinki, odnosno 52,63%.
7. Vrijednosti P-B indeksa saprobnosti voda na mjernim postajama gornjeg toka istraživanih tekućica ukazuju na I. vrstu vode, tj. oligosaprobne vode koje su neopterećene ili malo organski opterećene. Najveći broj postaja na donjim tokovima ukazuju na III. vrstu vode, tj. jače organski opterećene vode.
8. Prema proširenom biotičkom indeksu najveći broj postaja na gornjim tokovima istraživanih tekućica nalazi se u granicama I. vrste, dok najveći broj postaja na donjim tokovima pripada III. vrsti vode.
9. Zabilježena je određena nepodudarnost u određivanju kakvoće vode na osnovu P-B indeksa saprobnosti i proširenog biotičkog indeksa. Najveća je razlika zabilježena na mjernim postajama s najmanje prisutnih svojti.
10. Na gornjim tokovima istraživanih tekućica nalazimo prosječno veću raznolikost bentičkih beskralješnjaka u odnosu na donje tokove. Najveća je raznolikost zabilježena na mjernoj postaji Kraljevec – gornji tok, a najmanja na mjernoj postaji Srednjak – donji tok.
11. Shannonov i Simpsonov indeks raznolikosti nisu mjerodavni za ocjenu kakvoće vode i uvijek se trebaju tumačiti u kombinaciji s ostalim biološkim indeksima, kao i s osnovnim fizikalno-kemijskim pokazateljima.
12. Temeljem klaster analize međusobno se grupiraju postaje gornjeg toka kao i postaje donjeg toka, s iznimkom mjerne postaje Kraljevec – donji tok koja pokazuje sličnost u sastavu i strukturi makrozoobentosa s postajama gornjeg toka. ■

## LITERATURA

- Bauernfeind, E. i Humpesch, U. H. (2001.): *Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie*. Verlag des Naturhistorischen, Wien.
- Bêche, L. A., McElravy, E. P., Resh, V. H. (2006.): Long-term seasonal variation in the biological traits of benthic-macroinvertebrates in two Mediterranean-climate streams in California, U.S.A. *Freshwater Biology*, 51, 56–75.
- Campaioli, S., Ghetti, P. F., Minelli, A. i Ruffo, S. (1994.): *Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane, Vol. I*. Provincia autonoma di Trento.
- Clarke, K. R. i Warwick, R. M. (2001.): *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Plymouth Marine Laboratory. Plymouth.
- Cota, L., Goulart, M., Moreno, P. i Callisto, M. (2002.): Rapid assessment of river water quality using an adapted BMWP index: a practical tool to evaluate ecosystem health. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 28, 1–4, Stuttgart.
- Ćuk, R., Vučković, I., Šikoronja, M., Šurmanović, D., Širac, S., Kerovec, M. i Mihaljević, Z. (2010.): Saprobic status of running waters in Croatia based on benthic macroinvertebrates. *Natura Croatica*, 19(2), 389–406.
- De Pauw, N. i Hawkes, H. A. (1993.): Biological monitoring of river water quality. *Proceedings of Freshwater Europe Symposium of River Water Quality Monitoring and Control* (ur. W.J. Walley i S. Judd), Birmingham, 87–111.
- EN ISO 8467:1995 – Water quality – Determination of permanganate index.
- Engelhardt, W. (1967.): *Was lebt in Tümpel, Bach und Weicher? Kosmos-Gesellschaft der Naturfreunde Franch'sche Verlagshandlung*, Stuttgart.
- Frangeš, S., Župan, R. i Lapaine, M. (2000.): *Park prirode "Medvednica"*.

- Ghetti, P. F. (1986.): I macroinvertebrati nell' analisi di qualità dei corsi d'acqua. *Manuale di applicazione – Indice Biotico E.B.I. modificato*. Università di Parma, Cattedra di Idrobiologia, Trento.
- Giller, P. S. i Malmquist, B. (1998.): *The Biology of Streams and Rivers*. Oxford University Press, Oxford.
- Glöer, P. i Meier-Brook, C. (2003.): Süßwassermolusken. Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung, Neustadt.
- Grabow, K. (2000.): *Farbatlas Süßwasserfauna: Wirbellose*. Eugen Ulmer GmbH i Co., Stuttgart.
- Hering, D., Meier, C., Raver-Jost, C., Feld, C. K., Biss, R., Zenker, A., Sundermann, A., Lohse, S. i Böhmer, J. (2004.a): Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: selection of candidate metrics. *Limnologica*, 34(4), 398-415.
- Hering, D., Moog, O., Sandin, L. i Verdonshot, P. F. M. (2004.b): Overview and application of the AQEM assessment system. *Hydrobiologia* (The Hague), 516, 1-20.
- HRN ISO 5815:1998 - Kakvoća vode – Određivanje biokemijske potrošnje kisika nakon pet dana (BPK<sub>5</sub>) – Metoda razrjeđivanja i nacepljivanja.
- HRN ISO 10523:1998 - Kakvoća vode – Određivanje pH vrijednosti.
- ISO 5814:1990 - Water quality - Determination of dissolved oxygen - Electrochemical probe method.
- Johnson, R. K., Wiederholm, T. i Rosenberg, D. M. (1993.): Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations and species assemblages of benthic macroinvertebrates. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates* (ur. D. M. Rosenberg i V. H. Resh), 40-158, Chapman Hall, New York.
- Kerans, B. L. i Karr, J. R. (1994.): A benthic index of biotic integrity (B-IBI) for rivers of the Tennessee Valley. *Ecological Applications*, 4, 768-785.
- Kerovec, M. (1986.): *Priručnik za upoznavanje beskralješnjaka naših potoka i rijeka*. Sveučilišna naklada Liber, Zagreb.
- Krebs, C. J. (1989.): *Ecological Methodology*. Second Edition. Harper i Row, New York.
- Ludwig, H. W. (1993.): Tiere in Bach, Fluss, Tümpel, See. 2. Aufl. BLW, München.
- Lydy, M. J., Crawford, C. G. i Frey, J. W. (2000.): A comparison of selected diversity, similarity and biotic indices for detecting changes in benthic-invertebrate community structure and stream quality. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39, 469-479.
- Marques, M. M., Barbosa, F. A. R. i Callisto, M. (1999.): Distribution and abundance of Chironomidae (Diptera, Insecta) in an impacted watershed in southeast Brazil. *Rev. Bras. Biol.*, 59, 553-561.
- Miklin, Ž. i Dolić, M. (2003.): Studija aktivnih i mogućih klizišta i odrona, pojačane erozije te pretežno nestabilnih područja u PP Medvednica. Institut za geološka istraživanja.
- Nilsson, A. (ur.) (1996.): *Aquatic insects of North Europe. A taxonomic Handbook*. Vol 1: Ephemeroptera-Plecoptera-Heteroptera-Neuroptera-Megaloptera-Coleoptera-Trichoptera-Lepidoptera. Apollo Books, Stenstrup.
- NN (2008.): Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o klasifikaciji voda. *Narodne novine*, 137/08.
- Pantle, R. i Buck H. (1955.): Die biologische Überwachung der Gewässer die Darstellung der Ergebnisse, GWF 96.
- Pringle, C. M., Naiman, R. J., Bretschko, G., Karr, J. R., Oswald, M. W., Webster, J. R., Welcomme, R. L. i Winterbourn, M. J., (1988.): Patch dynamics in lotic systems: the stream as mosaic. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7, 503-524.
- Rosenberg, D. M. i Resh, V. H. (1993.): *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman Hall, New York.
- Sandin, L. i Hering, D. (2004.): Comparing macroinvertebrate indices to detect organic pollution across Europe: a contribution to the EC Water Framework Directive intercalibration. *Hydrobiologia* (The Hague) 516, 55-68.
- Sansoni, G. (1992.): Atlante per il riconoscimento dei macroinvertebrati dei corsi d'acqua Italiani, Provincia autonoma di Trento, Stazione Sperimentale Agraria Forestale, Servizio Protezione Ambiente.
- Schmedtje, U. i Kochman, F. (1992.): Bestimmungsschlüssel für die Saprobier-DNA-Arten (Makroorganismen), Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München.
- Schwab, H. (1995.): Süßwassertiere. Ein ökologisches Bestimmungsbuch. Ernst Klett Verlag, Stuttgart.
- Shannon, C. E., i Weaver, W. (1949.): *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: The University of Illinois Press.
- Simpson, E. H. (1949.): Measurement of Diversity. *Nature*, 163, 688.
- Waringer, J. i Graf, W. (1997.): Atlas der Österreichischen Köcherfliegenlarven. Facultus Universitätsverlag, Wien.
- Waters, T. F. (1988.): Fish production-benthos production relationships in trout streams. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 35, 545-561.
- Wegl, R. (1983.): Index für die Limnosaprobität, Wasser und Abwasser, Band 26, Wien.
- Williams, D. D. i Williams, N. E. (1998.): Invertebrate communities from freshwater springs: what can they contribute to pure and applied ecology. *Studies in Crenobiology: the biology of springs and springbrooks* (ur. L. Botosaneanu). Leiden, Netherlands: Bachuys, 251-261.
- Zwick, P. (2004.): Key to the West Palaearctic genera or stoneflies (Plecoptera) in the larval stage, *Limnologica*, 34(4), 315-348.

## CHARACTERISTICS OF BENTHIC INVERTEBRATE COMMUNITIES IN STREAMS IN THE AREA OF ZAGREB AND ZAGREB COUNTY

**Abstract.** Structure and composition of macrozoobenthos (benthic invertebrates) were studied in eight streams in the area of Zagreb and Zagreb County. On each stream, sampling was conducted at two sampling stations (upper and lower part) in March 2009 by applying the AQEM method, which includes all microhabitats represented with at least 5%. Samples of water were taken for physico-chemical analysis (water temperature, dissolved oxygen and oxygen saturation, pH, COD-Mn, BOD<sub>5</sub>). A total of 4844 individuals from 91 taxa of benthic invertebrates were collected and determined. In the upper parts of streams, a total of 2161 individuals from 64 taxa were identified, with the domination of amphipods (Amphipoda) with 38.32% (dominant species *Gammarus fossarum*) and mayflies (Ephemeroptera) with 32.07% (13 taxa). In the lower parts, a total of 2683 individuals from 53 taxa were identified, with the domination of true flies (Diptera) with 52.63% (9 taxa). The results of water quality according to the Pantle-Buck (P-B index) and extended biotic index (EBI) were compared. The obtained results for the sampling station in the upper parts indicate the I. class of water quality, while the sampling stations in the lower parts indicate the III. class of water quality. Biodiversity and community of macroinvertebrates were compared in the upper and lower parts by using the Shannon and Simpson diversity indices, which both show greater biodiversity in the upper parts of streams. Cluster analysis of composition and structure of macrozoobenthos at the sampling stations identified a grouping of some stations in the upper part and also of some in the lower part of the streams.

**Key words:** Mt. Medvednica, macroinvertebrates, non-stagnant waters, biodiversity, water quality

## DIE EIGENSCHAFTEN DER GEMEINSCHAFTEN BENTISCHER WIRBELLOSER FAUNA IN BÄCHEN AUF DEM GEBIET DER STADT UND DES LANDKREISES ZAGREB

**Zusammenfassung.** Die Zusammensetzung und Struktur der Makrozoobenthos (bentischer Invertebrata) wurden an acht Bächen auf dem Gebiet der Stadt Zagreb und des Landkreises Zagreb untersucht. An jedem Bach wurden Proben an zwei Messstellen (Oberlauf und Unterlauf) im März 2009 nach der AQEM-Methode entnommen, die alle Mikrohabitate mit wenigstens 5%-igem Vorkommen umfasste. Die Wasserproben zur Bestimmung der physikalisch-chemischen Parameter (Wassertemperatur, Konzentration des aufgelösten Sauerstoffes, Sauerstoffsättigung, pH-Wert, CSB-Mn und BSB<sub>5</sub>) wurden auch besammelt. Insgesamt wurden 91 Makrozoobenthos-Arten (4844 Einzeltiere) besammelt und bestimmt. Im Oberlauf der untersuchten Wasserläufe konnten 64 Arten (insgesamt 2161 Einzeltiere) festgestellt worden, wobei Flohkrebse (Amphipoda) mit dem Anteil an der Zahl von 38,32% dominierten, bei welchen die Art *Gammarus fossarum* und die Gruppe der Eintagsfliegen (Ephemeroptera) mit 13 Arten bzw. einem Anteil an der Zahl von 32,07% dominierten. Im Unterlauf der Wasserläufe wurden 53 Arten (insgesamt 2683 Einzeltiere) bestimmt, und die dominierende Gruppe waren Zweiflügler (Diptera) mit dem Anteil von 52,63% bzw. 9 Arten.

Im Beitrag werden auch die Ergebnisse der Gewässergüteuntersuchungen verglichen, die nach dem Saprobienindex nach Pantle und Buck (P-B Index) und dem extensiven biotischen Index (E.B.I.) ermittelt wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass an den Messstellen im Oberlauf der untersuchten Bäche Gewässergüteklasse I und an den Messstellen im Unterlauf Gewässergüteklasse III festgelegt werden konnte. Eine größere Makrozoobenthos-Vielfalt kommt an den Messstellen im Oberlauf der untersuchten Wasserläufe vor, was durch den Shannon- und Simpson-Index der Biodiversität bewiesen wurde. Durch die Analyse der Zusammensetzung und Struktur der Makrozoobenthos an den Messstellen wurde an Hand der Clusteranalyse eine Gruppierung von bestimmten Messstellen im Oberlauf bzw. Unterlauf der untersuchten Bäche festgestellt.

**Schlüsselwörter:** Medvednica, Makrozoobenthos, Wasserläufe, Diversität, Gewässergüte