

# Utjecaj raznolikosti staništa litoralne zone na strukturu makrozoobentosa plitkih jezera

---

Ercegovac, Zvonimir

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:371188>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Zvonimir Ercegovic

UTJECAJ RAZNOLIKOSTI STANIŠTA LITORALNE ZONE NA  
STRUKTURU MAKROZOOBENTOSA PLITKIH JEZERA

Diplomski rad

Zagreb, 2016. godina

Ovaj diplomski rad izrađen je u Laboratoriju za istraživanje slatkovodnih beskralježnjaka Zoologijskog zavoda Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Marie Špoljar i predan je na ocjenu Vijeću Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra struke znanosti o okolišu.

*Zahvaljujem svojoj mentorici, izv. prof. Marii Špoljar, za pomoć pri izradi ovog rada, od izbora teme do samog pisanja. Posebno hvala na velikom razumijevanju i strpljenju te na poticajima i savjetima tijekom pisanja ovog rada.*

*Također, zahvaljujem neposrednoj voditeljici dr. sc. Mireli Sertić Perić za pomoć pri determinaciji i pisanju ovog rada te ohrabrenju kada je ono bilo najpotrebnije.*

*Hvala svim mojim prijateljima i kolegama koji su mi ovo studiranje učinili nezaboravnim.*

*Posebno hvala mojoj obitelji na potpori i strpljenju tijekom studija.*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

### UTJECAJ RAZNOLIKOSTI STANIŠTA LITORALNE ZONE NA STRUKTURU MAKROZOOBENTOSA PLITKIH JEZERA

Zvonimir Ercegovac

Rooseveltove trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

#### SAŽETAK

Istraživanje makrozoobentosa provedeno je tijekom 2013. godine u dva vodena tijela različitog postanka, morfometrije, stupnja trofije, pokrovnosti i sastava makrofita: rukavcu rijeke Sutle i mrtvaji Škrčev kut. Ciljevi istraživanja makrozoobentosa bili su utvrditi: 1. prostorne oscilacije raznolikosti i brojnosti makrozoobentosa u staništima s različitom pokrovnošću makrofita; 2. prostorne i vremenske oscilacije veličinskih kategorija makrozoobentosa; 3. trofičku strukturu i potencijalnu ulogu makrozoobentosa u hranidbenoj mreži biocenoza plitkih jezera. Determinirano je 57 svojti, a raznolikosti su najviše doprinijeli predstavnici skupine Heteroptera (12 svojti) i Diptera (11 svojti). Najveća brojnost i raznolikost zabilježena je u Gornjem bazenu rukavca Sutle s prosječnom abundancijom od  $273 \pm 642$  jed./m<sup>2</sup> i 24 svojte, dok su najmanja brojnost i raznolikost zabilježeni u litoralu mrtvaje Škrčev kut s prosječnom abundancijom od  $80 \pm 211$  jed./m<sup>2</sup> i 13 svojti. Na postajama izrazito male dubine (< 1m) i visoke mutnoće obaju vodenih tijela, prevladavale su jedinke većih dimenzija od 4 – 6 mm, dok su u litoralu veće raznolikosti staništa sa submerznim makrofitima Gornjeg bazena Sutle prevladavale manje jedinke (duljine 0,5-3 mm). Detritivorni Diptera su imali najveći udio u abundanciji na postajama visoke mutnoće i niske raznolikosti staništa, dok su na postajama s bogatim pokrovom makrofita u litoralnoj zoni, pored Diptera značajan udio u brojnosti postigli i Ephemeroptera, predstavljeni s brojnim strugačima. Udio predatora bio je najveći na postaji SGB, a najmanji na postaji ŠK. Vremenske promjene u strukturi mzb mogle su se uočiti, ali nisu bile statistički značajne. Rezultati ovoga istraživanja ukazuju da su biotički čimbenici značajnije utjecali na strukturu makrozoobentosa u odnosu na abiotičke. Općenito se brojnost i raznolikost makrozoobentosa povećavala s povećanjem raznolikosti staništa, a smanjivala s povećanjem stupnja trofije jezera i smanjenjem raznolikosti litoralne zone što je ujedno utjecalo i na hranidbenu i veličinsku strukturu makrozoobentosa.

(33 stranice, 10 slika, 6 tablica, 51 literaturnih navoda, izvornik na hrvatskom jeziku)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: bentički beskralježnjaci, abundancija, raznolikost, trofička struktura, veličinske kategorije, biotičke interakcije

Voditelj: Dr. sc. Maria Špoljar, izv. prof

Neposredni voditelj: Dr. sc. Mirela Sertić Perić

Ocjenjivači: Dr. sc. Vlasta Čosović, prof.

Dr. sc. Neven Bočić, doc.

Dr. sc. Marija Gligora Udovič, doc.

Rad prihvaćen: 18. 2. 2016.

---

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Graduation Thesis

### IMPACT OF THE LITTORAL ZONE HETEROGENEITY ON THE MACROINVERTEBRATE ASSAMBLAGE IN SHALLOW LAKES

Zvonimir Ercegovic

Rooseveltovo trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

#### ABSTRACT

The study of macrozoobenthos was conducted during 2013 in two water bodies of differing origins, morphometry, trophic degree, macrophyte coverage and composition: backwater of the Sutla River and oxbow lake Škrčev kut. The study aims were to determine: 1. spatial oscillations of macroinvertebrate diversity and abundance in habitats of differing macrophyte coverage; 2. spatial and temporal fluctuations of differing macroinvertebrate size categories; 3. trophic structure and the potential role of macroinvertebrates in the food webs of shallow lakes. 57 taxa were determined. The diversity was mostly contributed by representatives of Heteroptera (12 taxa) and Diptera (11 taxa). The greatest abundance and diversity were observed in the Upper Basin of the river Sutla, with an average abundance of  $273 \pm 642$  ind./m<sup>2</sup> and 24 taxa, whereas the lowest number and diversity were observed in the littoral of the Škrčev kut, with an average abundance of  $80 \pm 211$  ind./m<sup>2</sup> and 13 taxa. At the extremely low depth (< 1m) and high turbidity study sites at both water bodies, individuals larger than 4 – 6 mm were dominant, whereas in the littoral of the Upper Sutla river Basin, which exhibited greater habitat diversity with submerged macrophytes, smaller individuals prevailed (0.5 – 3 mm). At the habitats of high turbidity and low habitat diversity, detritivorous Diptera were most abundant, whereas at the habitats with rich macrophyte cover in the littoral zone, besides Diptera, most abundant were Ephemeroptera, presented with numerous scrapers. Abundance of predators was highest on SGB and lowest on the ŠK study site. Results of this study indicate that biotic interactions significantly affected the macrozoobenthos structure in comparison to abiotic parameters. In general, the abundance and diversity of macroinvertebrates increased with habitat diversity, and decreased with increasing trophic level and reducing the diversity of littoral zone, thus influenced on the feeding and size structure of macroinvertebrates of the lake.

(33 pages, 10 figures, 6 tables, 51 references, original in Croatian)

This thesis is deposited in the Central Biological Library

Key words: benthic macroinvertebrates, abundance, diversity, trophic structure, size categories, biotic interactions

Supervisor: Dr. sc. Maria Špoljar, Assoc. Prof.

Co-supervisor: Dr. sc. Mirela Sertić Perić

Reviewers: Dr. sc. Vlasta Čosović, Prof.

Dr. sc. Neven Bočić, Asst. Prof.

Dr. sc. Marija Gligora Udovič, Asst. Prof.

Thesis accepted: 18. 2. 2016.

## Popis kratica

AFDM – (eng. *Ash Free Dry Mass*) vrijednost gubitka mase pri žarenju

AFIL – (eng. *Active filterers*) aktivni filtratori

Chl *a* – klorofil *a*

DET – (eng. *Detritivores*) detritivori

DOM – (eng. *Dissolved Organic Matter*) koncentracija otopljene organske tvari

GRA – (eng. *Grazers*) strugači

KPK – kemijska potrošnja kisika

KV – koeficijent varijacije

Max – maksimalne vrijednosti

Min – minimalne vrijednosti

MIN – (eng. *Miners*) bušači

N – broj uzoraka

PFIL – (eng. *Passive filterers*) pasivni filtratori

POM – (eng. *Particulate Organic Matter*) suspendirane organske tvari

PRE – (eng. *Predators*) predatori

SD – standardna devijacija

SDBu – uljev vode iz gornjeg u donji bazen Sutle

SDB – Sutla donji bazen

SDBi – izljev iz donjeg bazena rukavca Sutle kanalom prema glavnom koritu Sutle

SGB – Sutla gornji bazen

SHR – (eng. *Shredders*) usitnjivači

SV – srednja vrijednost

ŠK – područje mrtvaje Škrčev kut

TN – (eng. *Total Nitrogen*) ukupni dušik

TP – (eng. *Total Phosphorus*) ukupni fosfor

XYL – (eng. *Xylophagous*) ksilofagi

# SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
1.1.	Obilježja plitkih jezera	1
1.2.	Interakcije abiotičkih i biotičkih čimbenika u plitkim jezerima	2
1.3.	Ciljevi istraživanja	3
<b>2</b>	<b>PODRUČJE ISTRAŽIVANJA</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>MATERIJALI I METODE</b>	<b>6</b>
3.1.	Uzimanje i obrada uzoraka makrozoobentosa	7
3.2.	Mjerenje fizikalno-kemijskih čimbenika	7
3.3.	Obrada podataka	9
<b>4</b>	<b>REZULTATI</b>	<b>9</b>
4.1.	Prostorne i vremenske promjene fizikalno-kemijskih parametara	9
4.2.	Brojnost i raznolikost makrozoobentosa	11
4.2.1.	Sastav makrozoobentosa na postaji SGB	13
4.2.2.	Sastav makrozoobentosa na postaji SDBu	13
4.2.3.	Sastav makrozoobentosa na postaji SDB	14
4.2.4.	Sastav makrozoobentosa na postaji SDBi	15
4.2.5.	Sastav makrozoobentosa na postaji ŠK	16
4.3.	Veličinske kategorije	18
4.4.	Funkcionalne hranidbene skupine	21
4.5.	Međusobni odnosi između fizikalno-kemijskih parametara i sastava makrozoobentosa	22
<b>5</b>	<b>RASPRAVA</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČAK</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURA</b>	<b>29</b>
<b>8.</b>	<b>ŽIVOTOPIS</b>	<b>33</b>



# 1. UVOD

## 1.1. Obilježja plitkih jezera

Plitka jezera uključuju raznovrsne ekološke sustave. Najčešće nastaju kao ujezerenja u porječju manjih ili većih tekućica, raznim erozijskim i/ili akumulacijskim procesima ili nastaju kao rezultat/posljedica ljudske djelatnosti (npr. šljunčare). Jedna od zajedničkih obilježja plitkih jezera su mala prosječna (3 m) dubina te veliki omjer površine jezera u odnosu na dubinu. Unatoč tome što su brojna, slabo su istraživana jer se ranije smatralo da funkcioniraju kao i duboka jezera (Céréghino i sur. 2008). Međutim, otkrivene su mnoge specifičnosti koje obilježavaju plitka jezera kao npr. polimiksija (učestalo vertikalno miješanje vode), horizontalna raspodjela abiotičkih i biotičkih čimbenika. Velika bioraznolikost te gospodarski značaj (akvakultura, turizam i rekreacija) ukazuju na važnost ovih ekosustava te se njima danas posvećuje sve više pažnje u istraživanjima (Dokulil i sur. 2014).

Udio litoralne zone značajno utječe na abiotičko-biotičke interakcije u jezeru. U dubokim jezerima udio litorala u odnosu na volumen vode je relativno mali, što utječe na slabiju produkciju. Nasuprot tome, u plitkim jezerima udio litoralne zone je velik i time je utjecaj makrofita u funkcioniranju vodenih biocenoza značajniji. Makrofiti (autotrofi vodenih staništa makroskopskih veličina: alge, mahovine, papratnjače i cvjetnjače) su glavno obilježje litoralne zone jezera, a pojavljuju se kao emerzni, flotantni i/ili submerzni oblici. Njihova značajna uloga u vodenim tijelima očituje se u sljedećem: 1) svojim korijenjem stabiliziraju sediment te sprječavaju njegovu resuspenziju; 2) koriste fosfor iz sedimenta što pridonosi smanjenju stupnja trofije i koncentracije fitoplanktona; 3) fotosintezom „aeriraju“ vodu čime se smanjuje vjerojatnost nastanka anoksije koja uzrokuje oslobađanje fosfora iz sedimenta; 4) doprinose raznolikosti staništa; 5) pružaju zaklon od predatora; 6) osiguravaju veliku ponudu hrane i 7) sudjeluju u povećanju bioraznolikosti i održavanju dinamičke ravnoteže sustava (Scheffer 2001).

S obzirom na omjer makrofita i fitoplanktona u plitkim jezerima, mogu se razlikovati dva različita ekološka stanja - prozirno i mutno - koja ukazuju na kvalitetu vode. Submerzni makrofiti u kompeticiji su s fitoplanktonom za hranjive tvari. Njihova prisutnost rezultira prozirnom vodom, sa slabijim razvojem algi. U odsutnosti submerznih makrofita, mutnoća

vode potječe od bujnog razvoja fitoplanktona i suspendiranih organskih tvari (Scheffer 1993; Jeppesen i sur. 1999).

## **1.2. Interakcije abiotičkih i biotičkih čimbenika u plitkim jezerima**

Jedan od glavnih čimbenika u abiotičko-biotičkim interakcijama je fosfor. Budući da je fosfor ograničavajući čimbenik u rastu i razvoju autotrofnih organizama, njegova dostupnost uvelike uvjetuje i kontrolira primarnu produkciju u vodenim ekosustavima. Izvori fosfora mogu potjecati izvan jezera (alohtoni fosfor; unešen tekućicama ili slivnim vodama) ili iz sedimenta jezera (autohtoni fosfor). U dubokim jezerima, zbog stratifikacije, veću ulogu ima alohtoni fosfor, koji primarno snabdijeva fotičku zonu (Cooke 2001), dok autohtoni fosfor ostaje zarobljen na dnu, u afotičkoj zoni, uslijed izostanka miješanja vode hipo- i epilimnija ljeti. U plitkim jezerima, za vrijeme anoksičnih uvjeta, koji se mogu razviti pri dnu, dolazi do mobilizacije fosfora fiksiranog u sedimentu, pri čemu kao ortofosfati postaju biološki iskoristiv oblik fosfora. Ortofosfati se uslijed polimiksije prenose kroz cijeli stupac vode te podjednako utječu na primarnu proizvodnju i povećanje stupnja trofije kao i alohtoni izvori fosfora.

Kompleksnost građe habitusa makrofita i površina koju makrofiti zauzimaju na različite načine utječu na abiotičko-biotičke odnose u jezerima. Primjerice, submerzni makrofiti ispuštaju u vodu fotosintezom proizvedeni kisik, čime povećavaju njegovu koncentraciju u vodi, dok flotantni makrofiti ispuštaju kisik u atmosferu. Štoviše, flotanti prekrivanjem površine jezera smanjuju mogućnost otapanja atmosferskoga kisika u vodi te time dodatno smanjuju njegovu koncentraciju u jezeru (Teixeira 2014). Uvjeti smanjene koncentracije otopljenog kisika u vodi nadalje mogu negativno utjecati na brojnost i raznolikost makrozoobentosa (Pastuchová 2006). Određene skupine su bolje prilagođene na niže koncentracije otopljenoga kisika (npr., pojedine detritivorne ličinke dvokrilaca porodice Chironomidae), što uzrokuje njihovu veću brojnost u takvim uvjetima. Unatoč prilagodbama, dugotrajna anoksija je pogubna za većinu skupina makrozoobentosa (Sychra 2010).

Za razliku od koncentracije kisika, temperatura ima neizravan utjecaj na brojnost makrozoobentosa te je usko povezana s hranidbenom mrežom u plitkim jezerima. U jezerima suptropskog pojasa zabilježena je manja brojnost makrozoobentosa u odnosu na jezera umjerenog pojasa. Razlog tome je pojačana metabolička aktivnost, ali i predacija riba u toplijim jezerima (Brucet i sur. 2012). Budući da su ribe vizualni predatori, organizmi makrozoobentosa često traže zaklon u sastojinama submerznih makrofita. Sastojine makrofita

s kompleksnim habitusom, za razliku od onih s jednostavnijim habitusom, pružaju veću površinu za rast epifitona te omogućuju veću i raznolikiju ponudu hrane za organizme koji u njima traže zaklon (Cheruvilil i sur. 2002; Kuczyńska-Kippen 2003). Stoga submerzni makrofiti kompleksnog habitusa najčešće sadrže veću abundanciju i raznolikost organizama planktona, makrozoobentosa, ali i nekih riba (Meerhoff i sur. 2007; Špoljar i sur. 2012). Osim predacije na makrozoobentos, određene skupine riba (npr. sivi tolstolobik, *Aristichthys nobilis*, i podust, *Chondrostoma nasus*) hrane se zooplanktonom ili epifitonom. Posljedično može doći do smanjenja koncentracije zooplanktona i epifitona, a indirektno i makrozoobentosa, koji se hrani zooplanktonom i/ili epifitonom (Brucet i sur. 2012). Kompleksnost odnosa između raznih biljnih i životinjskih vrsta koje grade hranidbenu mrežu se očituju iz osjetljive ravnoteže i različitih smjerova u kojima ta ravnoteža može biti pomaknuta (Jeppesen i sur. 2010).

### **1.3. Ciljevi istraživanja**

Prethodna istraživanja su pokazala da različita staništa višestruko utječu na raznolikost i brojnost pojedinih skupina makrozoobentosa. Litoralna zona jezera prekrivena sastojinama kompleksnih submerznih makrofita pruža dobar zaklon od predatora i obilje hrane što omogućuje veću bioraznolikost makrozoobentosa, dok litoral s flotantnim ili emerznim makrofitima ili bez makrofita ne pruža takve pogodnosti. Stoga su ciljevi ovoga rada bili odrediti:

- 1) prostorne oscilacije raznolikosti i brojnosti makrozoobentosa u staništima s različitom pokrovnošću makrofita;
- 2) prostorne i vremenske oscilacije veličinskih kategorija makrozoobentosa;
- 3) trofičku strukturu i potencijalnu ulogu makrozoobentosa u hranidbenoj mreži biocenoza plitkih jezera.

Rezultati ovoga rada doprinjet će boljem razumijevanju čimbenika koji utječu na zajednice makrozoobentosa i njihove promjene u uvjetima različitih staništa plitkih jezera.

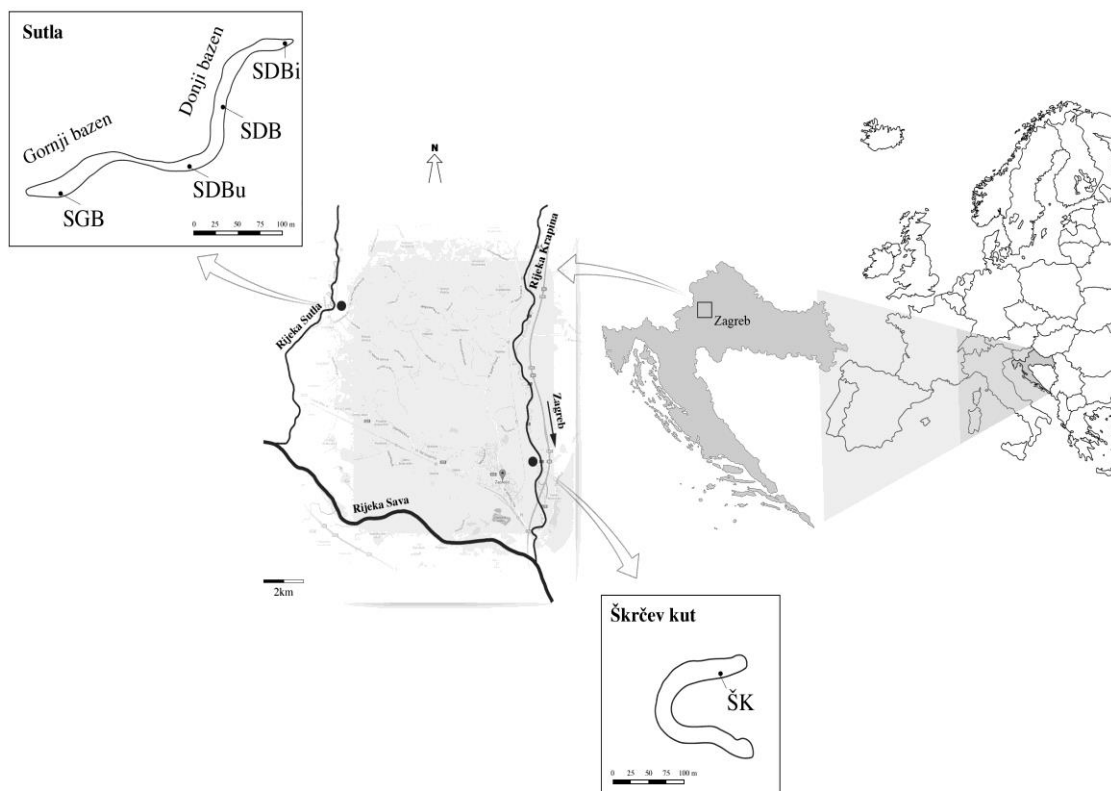
## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje za ovaj rad provedeno je u slivnom području rijeke Save u Hrvatskom zagorju. To je brežuljkasto područje okruženo Ravnom i Maceljskom gorom te Varaždinsko-topličkim gorjem sa sjeverne strane, a Medvednicom i Kalnikom s južne strane. Sa zapada je omeđeno rijekom Sutlom, a s istoka rijekom Dravom. Geološku podlogu Hrvatskog zagorja grade stijene nastale tijekom 440 milijuna godina, od paleozoika do kvartara. Njihov litološki sastav je nastao taloženjem u morskom okolišu čemu su dokaz brojni morski fosili, dok je manji dio taložen u slatkim i slanim jezerima, a najmanji dio na kopnu. Prije otprilike 5 milijuna godina dolazi do povlačenja Panonskog mora, izdizanja planina i oblikovanja hidrografskog sustava. Posljednjih 150 000 godina, tijekom pleistocena i holocena, zajedničkim djelovanjem denudacije i riječne erozije, krajolik Hrvatskog zagorja dobiva svoj današnji oblik (Šimunić i Hećimović 2006).

Uzorci makrozoobentosa skupljani su na dva lokaliteta (Slika 1). Prvi je u rukavcu rijeke Sutle, koja izvire na južnim padinama Maceljske gore i čini jedan dio granice između Hrvatske i Slovenije. Kao lijevi pritok Save, Sutla pripada crnomorskom slivu. U ovom radu, istraživana su dva bazena rukavca Sutle: 1) gornji bazen (SGB) sa submerznim makrofitima pokrovnosti  $38 \pm 12$  %, među kojima je prevladavala voščika (*Ceratophyllum demersum*) i koji je veće prozirnosti od 2) donjeg bazena (SDB), veće površine i mutnoće, ali bez makrofita (Tablica 1). Oba bazena su pod antropogenim utjecajem ispiranja tvari s okolnih livada i oranica. Donji bazen je i pod utjecajem intenzivnog sportskog ribolova (poribljavanje, upotreba proteinskih mamaca i dohrana).

Drugi lokalitet je mrtvaja rijeke Krapine, Škrčev kut (Slika 1, Tablica 1). Rijeka Krapina izvire na planini Ivanščici. Duljine je oko 75 km te kao lijevi pritok Savi također pripada crnomorskom slivu (Orešić 1995). Mrtvaja Škrčev kut je nastala pedesetih godina 20. stoljeća odvajanjem meandra od glavnog toka rijeke prilikom izgradnje Zagorske magistrale i kanaliziranja glavnog toka rijeke Krapine. Škrčev kut je okružen obradivim poljoprivrednim površinama i koristi se za sportski ribolov. Plitko je eutrofno jezero koje se odlikuje malom površinom, velikom mutnoćom te slabom pokrovnošću (oko 1%) floatantnim makrofitima (prisutan uglavnom samo lokvanj – *Nuphar lutea*).

Priobalnu vegetaciju na oba lokaliteta čine vrba (*Salix* sp.) i topola (*Populus* sp.). Postaje istraživanja bile su smještene u litoralnoj zoni navedenih lokaliteta.



Slika 1 Prikaz područja istraživanja s označenim postajama istraživanja u rukavcu rijeke Sutle (SGB - Sutla gornji bazen, SDBu – uljev vode iz gornjeg u donji bazen Sutle, SDB - Sutla donji bazen, SDBi - izljev iz SDB prema koritu Sutle) i mrtvaji Škrčev kut (ŠK) uz rijeku Krapinu

Tablica 1 Morfometrijska obilježja istraživanih lokaliteta – Gornji bazen Sutle (SGB), Donji bazen Sutle (SDB) i Škrčev kut (ŠK)

Obilježje	SGB	SDB	ŠK
Koordinate	45°54'51''S 15°41'48''I	45°54'53''S 15°41'56''I	45°51'45''S 15°49'29''I
Površina (m <sup>2</sup> )	5000	8000	3000
Duljina <sub>max</sub> (m)	124	188	300
Širina <sub>max</sub> (m)	12,15	14,42	12
Dubina <sub>max</sub> (m)	2,75	4,15	2
Prozirnost vode (m)	0,7 ± 0,2	0,7 ± 0,3	0,4 ± 0,1
Pokrovnost makrofitima (%)	38 ± 12	0	0,5 - 3
Tip vodenih makrofita	Submerzni	Nisu prisutni	Flotantni
Vrsta vodenih makrofita	Voščika ( <i>Ceratophyllum demersum</i> )	/	Lokvanj ( <i>Nuphar lutea</i> )
Antropogeni utjecaj	Ispiranje tla, gnojiva (umjetnih i prirodnih) i pesticida s okolnih livada i oranica	Ispiranje tla, gnojiva (umjetnih i prirodnih) i pesticida s okolnih livada i oranica;	Ispiranje tla, gnojiva (umjetnih i prirodnih) i pesticida s okolnih oranica; sportski ribolov

### 3. MATERIJALI I METODE

Istraživanje je provedeno tijekom 2013. godine u sljedećem vremenskom i prostornom rasporedu: uzorci su uzimani na svim postajama od svibnja do listopada 2013. godine izuzev na lokaciji SDBu, gdje je uzorkovanje počelo u drugoj polovici srpnja 2013. Od lipnja do kolovoza uzorci su uzimani dva puta mjesečno, a u svibnju, rujnu i listopadu jednom mjesečno. U litoralu rukavca rijeke Sutle bile su četiri postaje istraživanja SGB - Sutla gornji bazen sa submerznom vrstom voščika (*Ceratophyllum demersum*); SDBu – uljev vode iz gornjeg u donji bazen Sutle bez makrofita; SDB - Sutla donji bazen; SDBi - izljev iz SDB prema koritu Sutle također bez makrofita i jedna postaja u litoralu mrtvaje Škrčev kut (ŠK), uz rijeku Krapinu s povremenom i slabom pokrovnošću lokvanjem (*Nuphar lutea*).

### 3.1. Uzimanje i obrada uzoraka makrozoobentosa

Uzorci makrozoobentosa sakupljani su bentoskom mrežom (25 × 25 cm, Ø 200 µm), zatim konzervirani u 70% etanolu, a u laboratoriju su determinirani uz pomoć relevantnih taksonomskih ključeva (Knoz 1965; Schmedtje i Kohmann 1988; Nilsson 1996, 1997; Waringer i Graf 1997; Tachét i sur. 2000; Bauernfeind i Humpesch 2001; Sundermann i Lohse 2004; Zwick 2004).

Determinirane jedinke veličinskog raspona od 0,5 do 25 mm podijeljene su u 5 veličinskih kategorija prema srednjoj vrijednosti za pojedinu svojtu: I (0.5 - 2 mm), II (2 - 3 mm), III (3 - 4 mm), IV (4 - 6 mm) te V (> 6 mm) i svrstane su s obzirom na način uzimanja i vrstu hrane u pripadajuće trofičke kategorije (usitnjivači, strugači, aktivni i pasivni filtratori, bušači, ksilofagi, predatori i oni drugoga načina prehrane) prema Moogu (2002).

### 3.2. Mjerenje fizikalno-kemijskih čimbenika

Osnovni fizikalno-kemijski čimbenici izmjereni su na terenu odgovarajućim sondama: temperatura, koncentracija otopljenog kisika, pH vrijednost (Hach HQ30d), konduktivitet (Hach sensION5). Prozirnost je izmjerena korištenjem Secchi diska.

Paralelno s uzorcima makrozoobentosa uzimani su uzorci vode za fizikalno-kemijsku analizu tj. za određivanje koncentracije otopljenih organskih tvari temeljem kemijske potrošnje kisika (KPK<sub>Mn</sub>) i hranjivih tvari (amonijak, nitriti, nitrati, fosfati, ukupan dušik, ukupni fosfor). Za njihovo određivanje prema APHA (1995) korištene su volumetrijske i spektrofotometrijske metode (spektrofotometar HACH DR/2000). Kao izvori hrane razmatrani su koncentracija suspendiranih organskih tvari ili detritusa (temeljem mase organske tvari) i biomasa fitoplanktona (temeljem koncentracije klorofila *a*, Chl *a*).

Iz skupine dušičnih spojeva određivani su amonijak, nitriti, nitrati i ukupni dušik. Amonijak (metoda po Kjeldahl-u), nitriti i nitrati su određivani ionskim kromatografom (kolona IonPAC AS22, Dionex ICS-3000, APHA 1995), dok je ukupni dušik, TN (eng. *Total Nitrogen*) određen Kjeldahlovom metodom (APHA 1995).

Ukupni fosfor, TP (eng. *Total Phosphorus*) određen je prevođenjem svih koloidnih i ostalih oblika fosfora u ortofosfate. Koncentracija ortofosfata određena je spektrofotometrijski metodom s amonijevim molibdatom (APHA 1995). U kiselom mediju ( $\text{pH} < 1$ ) amonij–molibdat reagira s fosfatima i stvara molibdofosforu kiselinu. Nastala kiselina reducira se s kositar–kloridom i daje intenzivno fosfomolibdensko plavilo. Intenzitet obojenja mjeri se nakon 10 minuta spektrofotometrijski na valnoj duljini 690 nm.

Za određivanje relativne koncentracije otopljene organske tvari, DOM (eng. *Dissolved Organic Matter*), korištena je metoda kemijske potrošnje kisika iz kalijevog permanganata ( $\text{KPK}_{\text{Mn}}$ ). To je oksido–redukcijska metoda temeljena na kemijskoj reakciji u kojoj kalijev permanganat kao jako oksidacijsko sredstvo oksidira otopljenu organsku tvar. Količina utrošenoga kisika iz permanganata ekvivalentna je količini otopljene organske tvari.

Za procjenu količine detritusa u vodi određivana je masa suspendirane organske tvari, POM (eng. *Particulate Organic Matter*) temeljem vrijednosti gubitka pri žarenju (AFDM, eng. *Ash Free Dry Mass*). Uzorci vode za suspendirane tvari su sakupljeni filtriranjem 30 L vode kroz planktonsku mrežu promjera oka 26  $\mu\text{m}$ . Uzorci su najprije sušeni na temperaturi od  $104^{\circ}\text{C}/4\text{h}$  (vaganjem je dobivena masa suhog ostatka), a potom žareni u mufolnoj peći na  $600^{\circ}\text{C}/6\text{h}$  (vaganjem je dobivena masa žarenog ostatka). Razlika masa suhog i žarenog ostatka je gubitak pri žarenju i predstavlja suspendiranu organsku tvar, POM (mg AFDM/L) (Špoljar i sur. 2011 a).

Mjerenje koncentracije klorofila *a* (Chl *a*) kao osnovnog fotosintetskog pigmenta većine autotrofnih organizama jedna je od metoda određivanja biomase fitoplanktona. Postupak određivanja koncentracije klorofila *a* proveden je etanolskom ekstrakcijom (Nusch 1980). Absorbancija uzoraka određena je spektrofotometrijski (HACH DR/2000) na valnoj duljini apsorpcijskog maksimuma Chl *a* kod 665 nm (Špoljar i sur. 2012a).



### 3.3. Obrada podataka

U prikazu podataka upotrijebljene su standardne statističke mjere kao što su srednja vrijednost, standardna devijacija te, u svrhu određivanja vremenskih varijacija mjerenih fizikalno-kemijskih parametara, i koeficijent varijacije (KV).

Nakon transformacije  $\log_{(X+1)}$  podaci nisu pokazivali pravilnu raspodjelu stoga su analizirani neparametrijskim statističkim metodama. Vremenske i prostorne razlike fizikalno-kemijskih parametara, brojnosti (abundancije), raznolikosti, veličinskih kategorija i funkcionalnih prehrambenih skupina makrozoobentosa, analizirane su neparametrijskim Kruskal-Wallis testom i *post-hoc* testom višestruke usporedbe. Granična  $p$  vrijednost u svim statističkim analizama bila je 0,05 (premda su ponegdje zabilježene i  $p$  vrijednosti od 0,0001 – 0,01). Odnosi okolišnih čimbenika i mjerenih abiotičkih i biotičkih parametara testirani su Spearmanovim koeficijentom korelacije ( $r$ ). Rezultati statističkih analiza ukazivali su da vremenske promjene svih abiotičkih i biotičkih čimbenikanisu bile statistički signifikantne (Kruskal-Wallis test,  $p > 0,05$ ), stoga za većinu njih nisu bile niti razmatrane.

Sve statističke analize provedene su korištenjem računalnog programa Statistica 8 (Statsoft Inc. 2008). Tablični i grafički prikazi podataka izrađeni su pomoću računalnog programa Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation 2007).

## 4. REZULTATI

### 4.1. Prostorne i vremenske promjene fizikalno-kemijskih parametara

Rezultati analiza fizikalno-kemijskih parametara vode mjerenih tijekom istraživanja na pet istraživanih postaja navedeni su u Tablici 2. Statistički značajne razlike izmjerenih fizikalno-kemijskim parametara između pojedinih postaja istaknute su u Tablici 3. Tijekom istraživanja, na postaji ŠK zabilježen je značajno niži konduktivitet u odnosu na ostale postaje. S obzirom na koncentraciju otopljenih organskih tvari (KPK mg  $O_{2(Mn)}/L$ ) postaja ŠK se statistički značajno razlikovala od postaja Donjeg bazena (SDBu, SDB, SDBi) (Tablica 3). Izmjerene koncentracije klorofila  $a$  bile su značajno veće na postaji ŠK u odnosu na postaju SDB. Vrijednosti AFDM bile su najviše na postaji SGB što je uzrokovalo statistički značajnu razliku u odnosu na postaje SDBu i SDB.

Tablica 2 Srednje vrijednosti (SV), standardne devijacije (SD), koeficijenti varijacije (KV), minimalne (Min) i maksimalne (Max) vrijednosti te broj uzoraka (N) fizikalno-kemijskih parametara vode na istraživanim postajama

Fizikalno-kemijski čimbenici		SGB (N = 9)	SDBu (N = 5)	SDB (N = 9)	SDBi (N = 9)	ŠK (N = 8)
Temperatura (°C)	SV	20,5	21,0	20,3	20,1	21,9
	SD	3,7	4,0	4,0	3,7	4,7
	KV	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	MIN	14,3	14,5	14,5	15,3	13,7
	MAX	26,6	25,1	26,5	26,1	28,0
Otopljeni kisik (mg O <sub>2</sub> /L)	SV	7,6	4,6	5,9	4,9	8,9
	SD	4,1	1,4	2,0	1,6	3,4
	KV	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4
	MIN	2,2	2,7	2,6	2,0	4,0
	MAX	16,8	6,5	8,9	7,5	13,1
pH	SV	7,8	8,0	7,7	7,7	7,8
	SD	0,4	0,3	0,2	0,2	0,5
	KV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	MIN	7,4	7,8	7,4	7,4	7,3
	MAX	8,5	8,4	8,2	8,0	8,6
Konduktivitet (μS/cm)	SV	397,3	615,0	590,0	643,1	280,6
	SD	60,9	32,8	104,9	35,3	32,6
	KV	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
	MIN	324,0	572,0	325,0	563,0	237,0
	MAX	511,0	648,0	654,0	681,0	319,0
KPK (mg O <sub>2mn</sub> /L)	SV	23,1	17,6	21,1	20,7	29,1
	SD	6,7	2,6	6,9	6,8	2,3
	KV	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1
	MIN	16,2	14,2	14,2	15,0	26,9
	MAX	37,3	20,9	37,6	37,9	33,2
TN (mg N/L)	SV	1,0	0,9	0,8	1,0	1,3
	SD	0,6	0,4	0,3	0,6	0,7
	KV	0,7	0,5	0,4	0,6	0,6
	MIN	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1
	MAX	1,8	1,3	1,1	1,9	2,3
TP (mg P/L)	SV	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5
	SD	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1
	KV	0,4	0,2	0,2	0,6	0,2
	MIN	0,1	0,4	0,2	0,1	0,3
	MAX	0,6	0,6	0,5	1,3	0,6
Chl <i>a</i> (μg/L)	SV	36,4	13,6	12,7	17,6	61,3
	SD	32,4	7,5	6,7	15,5	33,2
	KV	0,9	0,6	0,5	0,9	0,5
	MIN	2,1	5,3	2,4	0,3	16,9
	MAX	94,4	22,8	20,7	45,6	117,8
AFDM (mg/L)	SV	9,4	0,9	0,9	1,2	1,5
	SD	6,7	0,4	0,3	0,6	0,5
	KV	0,7	0,5	0,4	0,5	0,4
	MIN	2,0	0,5	0,4	0,3	0,5
	MAX	20,4	1,4	1,4	2,4	2,5

Tablica 3 Statistički značajne razlike između pojedinih postaja temeljem izmjerenih fizikalno-kemijskih parametara i rezultata Kruskal-Wallis testa (df = 4, N = 33, p < 0,05)

	H	p	<i>post-hoc</i>
Konduktivitet ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	27,64	< 0,0001	ŠK < SDBu, SDB, SDBi
KPK(mg $\text{O}_{2(\text{Mn})}/\text{L}$ )	15,53	< 0,01	ŠK > SDBu, SDBi
CHL <i>a</i> ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	13,39	< 0,01	ŠK > SDB
AFDM (mg/L)	23,44	< 0,001	SGB > SDBu, SDB

#### 4.2. Brojnost i raznolikost makrozoobentosa

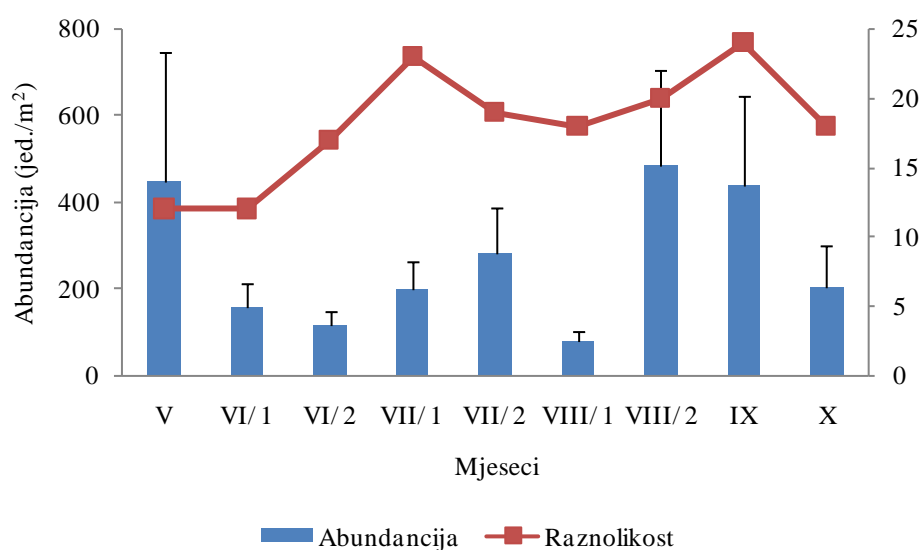
Tijekom istraživanja na svih pet postaja ukupno je analizirano 13210 jedinki te je determinirano 57 svojti. Raznolikosti su najviše doprinijeli predstavnici skupine Heteroptera, s 12 svojti i Diptera s 11 svojti (Tablica 4). Najveća abundancija je bila zabilježena na postaji SGB ( $4902 \pm 3291$  jed./m<sup>2</sup>), a najmanja na postaji ŠK ( $540 \pm 739$  jed./m<sup>2</sup>). Postaja ŠK je tijekom istraživanog razdoblja bilježila značajno niže abundancije i broj svojti (Kruskal-Wallis test, p < 0,05) u odnosu na ostale postaje (Tablica 5).

Tablica 4 Kumulativna raznolikost, prosječna abundancija (srednja vrijednost  $\pm$  standardna devijacija), duljina te veličinske kategorije pojedinih svojti makrozoobentosa s pet istraživanih postaja

Skupina	Svojta	Abundancija (jed/m <sup>2</sup> ) (sr. vrijednost $\pm$ st. dev.)	Duljina (mm) (sr. vrijednost $\pm$ st. dev.)	Veličinske kategorije
HYDROZOA	<i>Pelmatohydra oligactis</i>	159 $\pm$ 183	3,8 $\pm$ 1,5	I
PLATODES	<i>Dugesia</i> sp.	121 $\pm$ 184	3,8 $\pm$ 0,4	II
NEMATODA	Nematoda var. sp.	21 $\pm$ 17	3,8 $\pm$ 11,3	V
HIRUDINEA	Hirudinea var. sp.	16 $\pm$ 18	3,8 $\pm$ 1,3	III
	Enchytraeidae var. sp.	64 $\pm$ 68	3,8 $\pm$ 3,9	V
	Oligochaeta var. sp.	783 $\pm$ 1159	3,8 $\pm$ 0,4	II
OLIGOCHAETA	Lumbricidae var. sp.	37 $\pm$ 28	3,8 $\pm$ 0,6	II
	Lumbriculidae var. sp.	36 $\pm$ 49	3,8 $\pm$ 1,1	III
	Naididae var. sp.	152 $\pm$ 126	3,8 $\pm$ 0,4	II
ARACHNIDA	Araneae var. sp.	144 $\pm$ 0	4,0 $\pm$ 0	III
	Hydracarina var. sp.	150 $\pm$ 216	1 $\pm$ 0,1	I
	Baetidae var. sp.	48 $\pm$ 23	3,9 $\pm$ 0,7	III
INSECTA	<i>Baetis</i> sp.	8 $\pm$ 0	4,7 $\pm$ 0,3	IV
Ephemeroptera	<i>Caenis</i> sp.	703 $\pm$ 1213	2,8 $\pm$ 1,2	II
	<i>Centroptilum</i> sp.	325 $\pm$ 403	3,8 $\pm$ 1,2	III
	<i>Cloeon</i> sp.	129 $\pm$ 148	3,8 $\pm$ 1,4	II
	Aeshnidae var. sp.	50 $\pm$ 79	3,8 $\pm$ 5,2	V
	Coenagrionidae var. sp.	228 $\pm$ 263	3,8 $\pm$ 3,1	IV
Odonata	Corduliidae var. sp.	57 $\pm$ 58	3,8 $\pm$ 1	II
	Gomphidae var. sp.	128 $\pm$ 232	3,8 $\pm$ 0,8	III
	Libellulidae var. sp.	35 $\pm$ 41	3,8 $\pm$ 5,8	IV
	Platycnemididae var. sp.	118 $\pm$ 104	3,8 $\pm$ 2,7	IV
	Corixinae var. sp.	375 $\pm$ 541	3,8 $\pm$ 1,6	II
	Cymatiainae var. sp.	8 $\pm$ 0	3,8 $\pm$ 1,9	IV
	<i>Gerris gibbifer</i>	16 $\pm$ 0	3,8 $\pm$ 0	III
	Heteroptera var. sp. - Imago	24 $\pm$ 0	3,8 $\pm$ 0	II
	<i>Micronecta</i> sp.	127 $\pm$ 192	3,8 $\pm$ 0,7	II
	Naucoridae var. sp.	74 $\pm$ 76	3,8 $\pm$ 4,6	V
Heteroptera	<i>Nepa cinerea</i>	8 $\pm$ 0	3,8 $\pm$ 0	V
	<i>Notonecta</i> sp.	96 $\pm$ 126	3,8 $\pm$ 1,6	II
	<i>Plea leachi</i>	24 $\pm$ 23	3,8 $\pm$ 0,3	II
	<i>Plea minutissima</i>	128 $\pm$ 68	3,8 $\pm$ 0,2	II
	Pleidae var. sp.	69 $\pm$ 80	3,8 $\pm$ 0,2	II
	Reduviidae var. sp.	42 $\pm$ 58	3,8 $\pm$ 0,5	I
	Heteroptera var. sp.	119 $\pm$ 142	3,8 $\pm$ 1,1	III
	Donaciinae var. sp.	16 $\pm$ 0	5,6 $\pm$ 0	IV
	Haliplidae var. sp.	20 $\pm$ 17	2,9 $\pm$ 1,5	II
Coleoptera	Coleoptera var. sp. - imago	8 $\pm$ 0	3 $\pm$ 0	II
	Scirtidae var. sp.	8 $\pm$ 0	2,6 $\pm$ 0	II
	Dytiscidae var. sp.	8 $\pm$ 0	2,3 $\pm$ 0	II
Neuroptera	Neuroptera var. sp.	16 $\pm$ 14	3,8 $\pm$ 0,3	III
	Ceratopogonidae var. sp.	105 $\pm$ 151	5,2 $\pm$ 1,8	IV
	Chironominae var. sp.	859 $\pm$ 958	4,2 $\pm$ 1,3	IV
	Culicidae var. sp.	41 $\pm$ 54	4,3 $\pm$ 1,5	IV
	Diptera var. sp. - imago	58 $\pm$ 87	3,4 $\pm$ 1,6	III
	Limoniidae var. sp.	8 $\pm$ 0	3,1 $\pm$ 0	III
Diptera	Orthocladinae var. sp.	112 $\pm$ 140	3,7 $\pm$ 0,9	III
	Psychodidae var. sp.	8 $\pm$ 0	3,9 $\pm$ 0	III
	Diptera var. sp. - Pupae	29 $\pm$ 25	3,9 $\pm$ 1,1	III
	Tabanidae var. sp.	16 $\pm$ 0	3,3 $\pm$ 0	III
	Tanypodinae var. sp.	88 $\pm$ 82	4 $\pm$ 1	III
	Tanytrasini var. sp.	96 $\pm$ 124	2,3 $\pm$ 0,2	II
	Tipulidae var. sp.	8 $\pm$ 0	3,5 $\pm$ 0	III
	Beraeidae var. sp.	8 $\pm$ 0	3,8 $\pm$ 0	I
	<i>Ecnomus</i> sp.	12 $\pm$ 6	3,8 $\pm$ 0,4	III
Trichoptera	<i>Notidobia ciliaris</i>	8 $\pm$ 0	3,8 $\pm$ 0,3	II
	<i>Orthotrichia costalis</i>	8 $\pm$ 0	3,8 $\pm$ 0,8	I
	<i>Orthotrichia</i> sp.	65 $\pm$ 58	3,8 $\pm$ 0,6	II
Lepidoptera	Lepidoptera var. sp. - larvae	16 $\pm$ 11	3,8 $\pm$ 1,6	V

#### 4.2.1. Sastav makrozoobentosa na postaji SGB

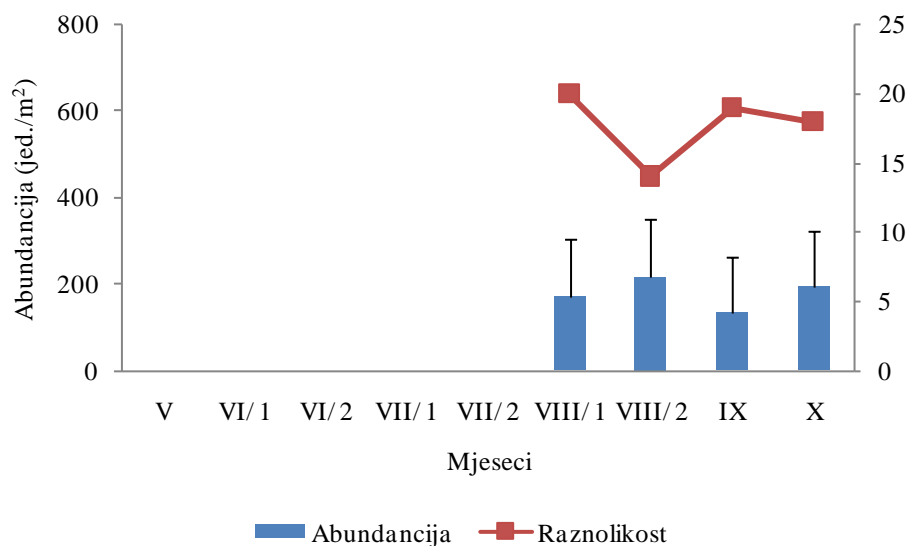
Broj svojti kretao se u rasponu od 12 u proljeće do 24 u rujnu (Slika 2). Na postaji SGB zabilježena je prosječna abundancija od  $273 \pm 642$  jed./m<sup>2</sup>. Vrijednosti abundancije od početka lipnja pa do početka kolovoza su oscilirale u rasponu od 81 jed./m<sup>2</sup> do 281 jed./m<sup>2</sup>. Krajem kolovoza abundancija se povećavala do svog maksimuma od 484 jed./m<sup>2</sup>, a potom se do listopada spuštala na vrijednosti od 202 jed./m<sup>2</sup>. Ephemeroptera su imali najveći udio u abundanciji sa 38 % a slijedili su ih Diptera sa 23 % (Slika 7).



Slika 2 Prostorna raspodjela prosječne abundancije i broja svojti na postaji SGB

#### 4.2.2. Sastav makrozoobentosa na postaji SDBu

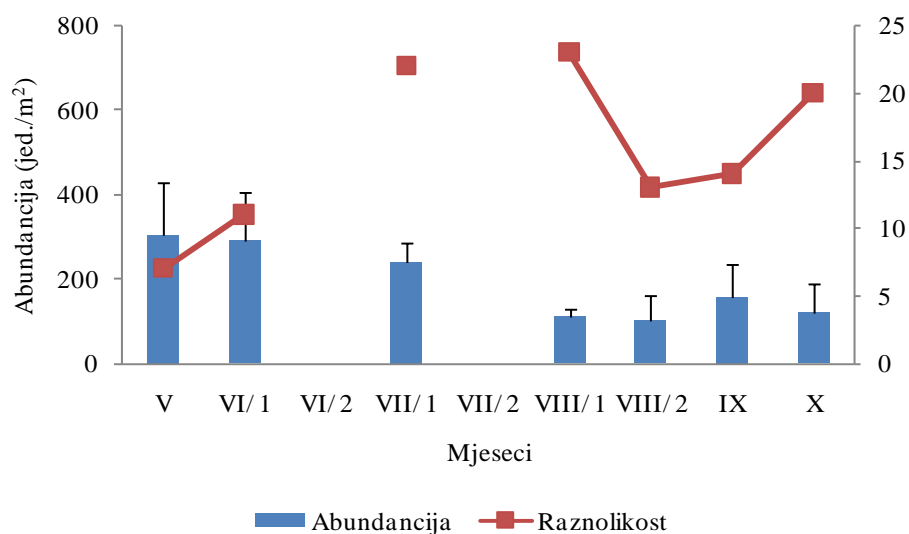
Na postaji SDBu zabilježena je prosječna abundancija od  $176 \pm 357$  jed./m<sup>2</sup>. Tijekom cijelog istraživanja prosječna abundancija se kretala u relativno uskom rasponu od 133 jed./m<sup>2</sup> do 219 jed./m<sup>2</sup> uz pad broja svojti za četvrtinu (sa prosječnih 19 na 14) krajem kolovoza (Slika 3). Diptera su bili najzastupljenija skupina i činili su točno polovicu svih determiniranih jedinki na ovoj postaji. Ostale skupine bile su prisutne s manjim udjelima (Slika 7).



Slika 3 Prostorna raspodjela prosječne abuncancije i broja svojti na postaji SDBu

#### 4.2.3. Sastav makrozoobentosa na postaji SDB

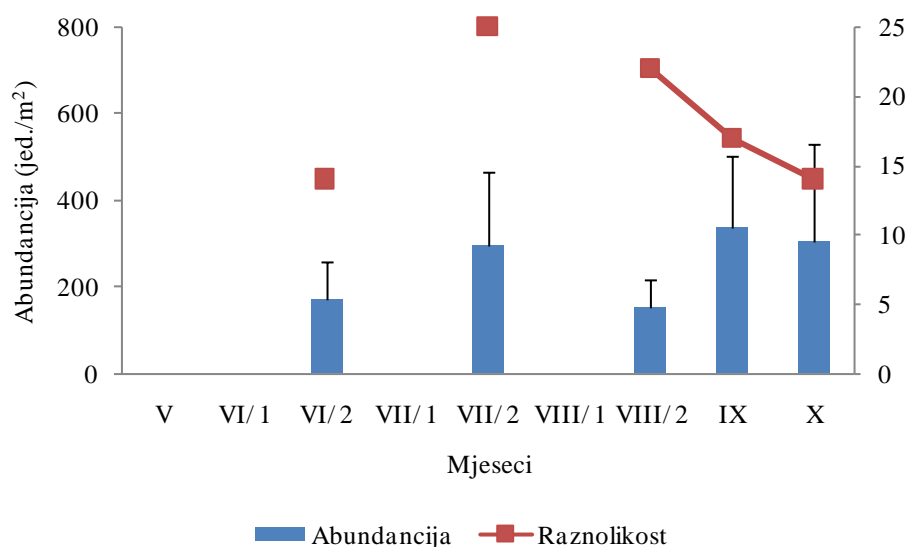
Prosječna abundancija na postaji SDB je iznosila  $182 \pm 272$  jed./m<sup>2</sup>. U svibnju i lipnju se kretala u rasponu od 292 jed./m<sup>2</sup> do 305 jed./m<sup>2</sup>. Od srpnja se počela smanjivati te se od kolovoza do listopada imala male oscilacije od 103 jed./m<sup>2</sup> do 159 jed./m<sup>2</sup>. Nasuprot tome, dok su vrijednosti abundancije bile veće, broj svojti je bio manji, time je najveća raznolikost zabilježena u srpnju i kolovozu. Diptera su bili najzastupljenija skupina (38 %), a slijedili su ih Ephemeroptera s udjelom od 15 % (Slika 7).



Slika 4 Prostorna raspodjela prosječne abuncancije i broja svojti na postaji SDB

#### 4.2.4. Sastav makrozoobentosa na postaji SDBi

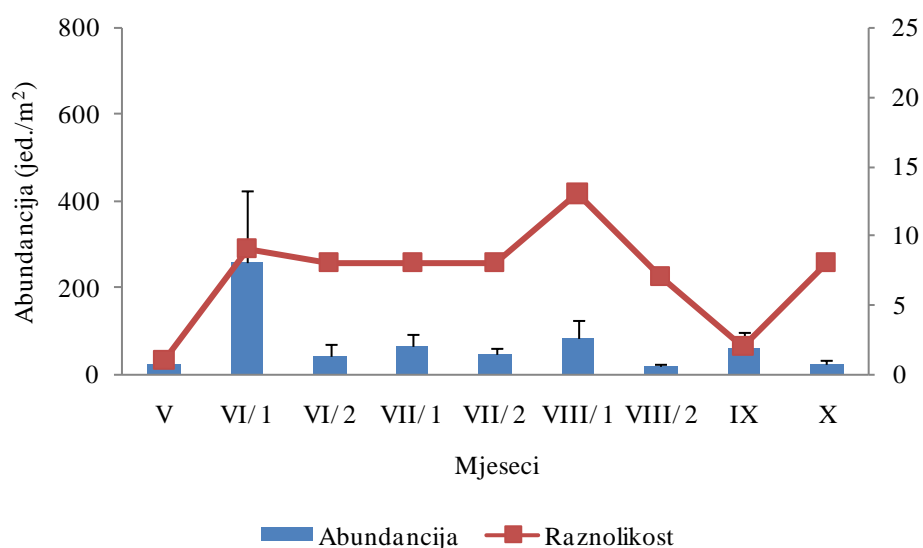
Prosječna abundancija na postaji SDBi je iznosila  $251 \pm 649$  jed./m<sup>2</sup>. Kretala se u rasponu od 152 jed./m<sup>2</sup> do 339 jed./m<sup>2</sup>. Broj taksa bio je najveći krajem srpnja (25 svojti) te se postepeno smanjivao prema listopadu (Slika 5). Diptera su ponovno imali najveći udio u abundanciji makrozoobentosa (57 %), što je ujedno i najveći udio na nekoj postaji u ovom istraživanju. Heteroptera su postigli udio od 19 % a ostale skupine su bile prisutne s manjim udjelima (Slika 7).



Slika 5 Prostorna raspodjela prosječne abundancije i broja svojti na postaji SDBi

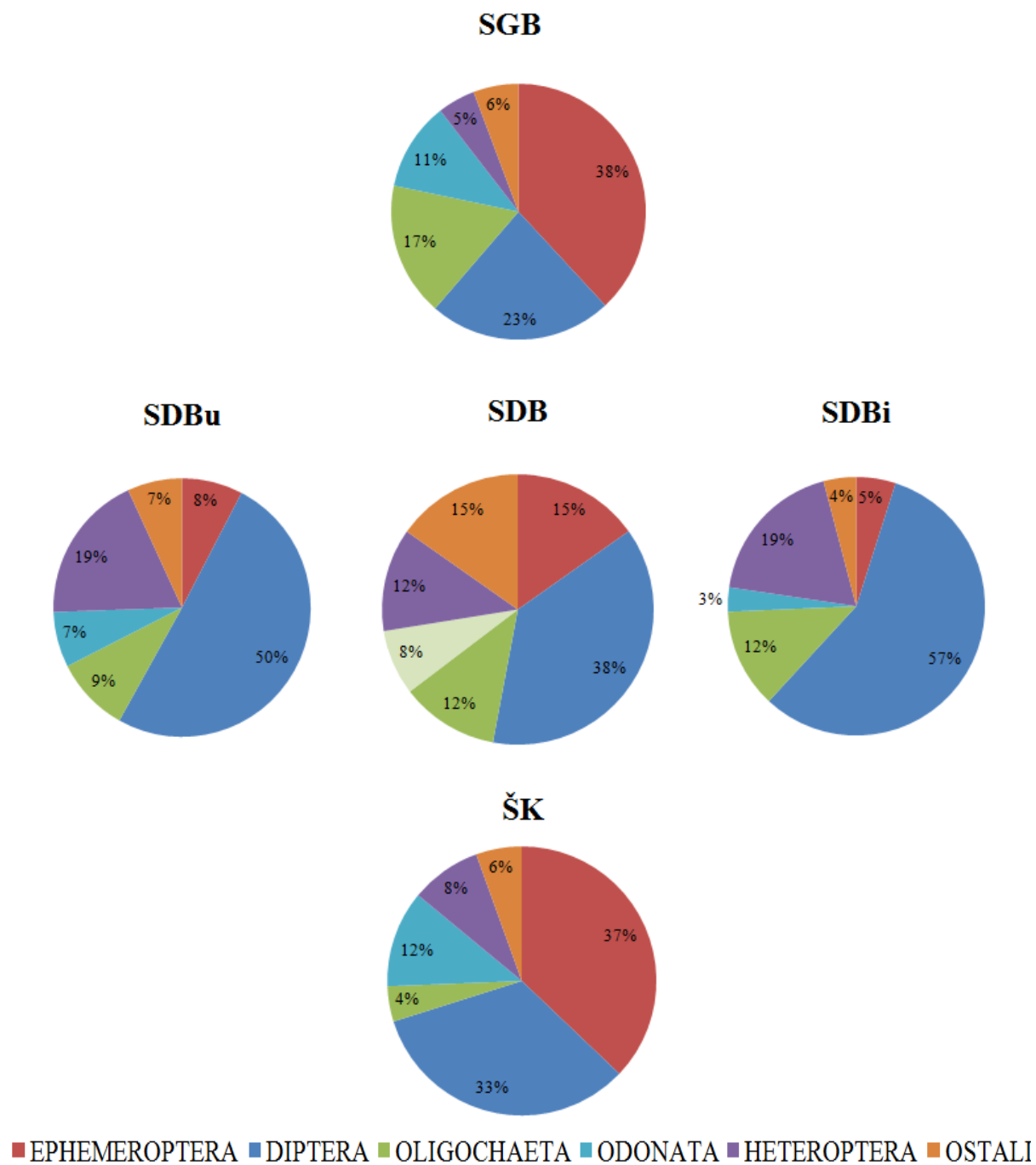
#### 4.2.5. Sastav makrozoobentosa na postaji ŠK

Na postaji ŠK, a ujedno i lokalitetu mrtvaje Škrčev kut zabilježena je gotovo dvostuko manja abundancija od  $80 \pm 211$  jed./m<sup>2</sup> u odnosu na postaje litorala u rukavcu Sutle. To je ujedno i najmanja zabilježena abundancija među postajama. Abundancija je bila uglavnom ujednačena tijekom istraživanih mjeseci i kretala se u rasponu od 19 jed./m<sup>2</sup> do 82 jed./m<sup>2</sup> s iznimkom početka lipnja gdje se dogodio porast na 260 jed./m<sup>2</sup> (Slika 6). Raznolikost se uglavnom kretala oko 7 svojti, s maksimumom od 13 početkom kolovoza (Slika 6). Gotovo s podjednakim udjelima na ovoj postaji bili su prisutni predstavnici Ephemeroptera (37 %) i Diptera (33 %) (Slika 7).



Slika 6 Prostorna raspodjela prosječne abundancije i broja svojti na postaji ŠK



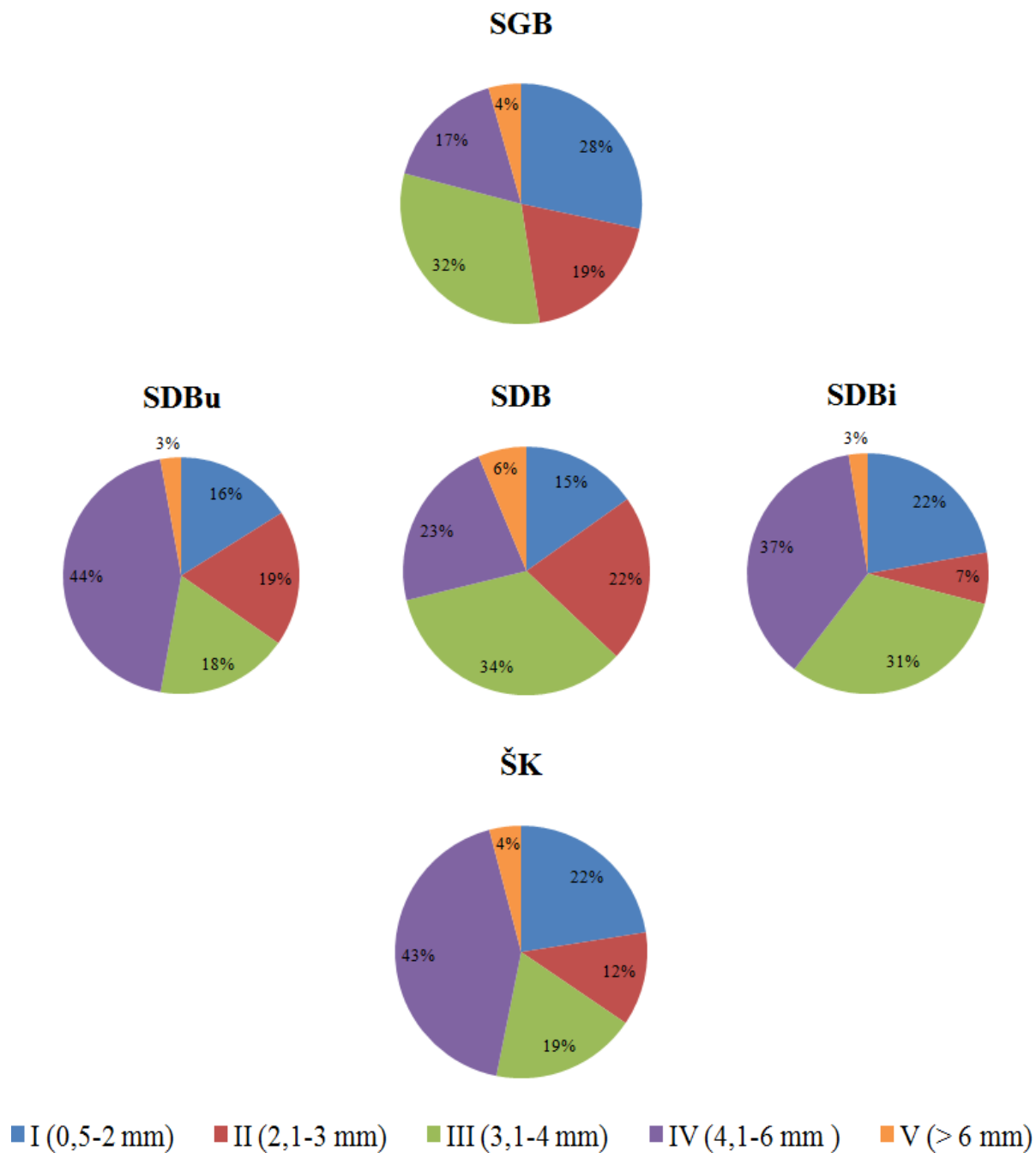


Slika 7 Udio pojedinih skupina makrozoobentosa u prostornoj raspodjeli

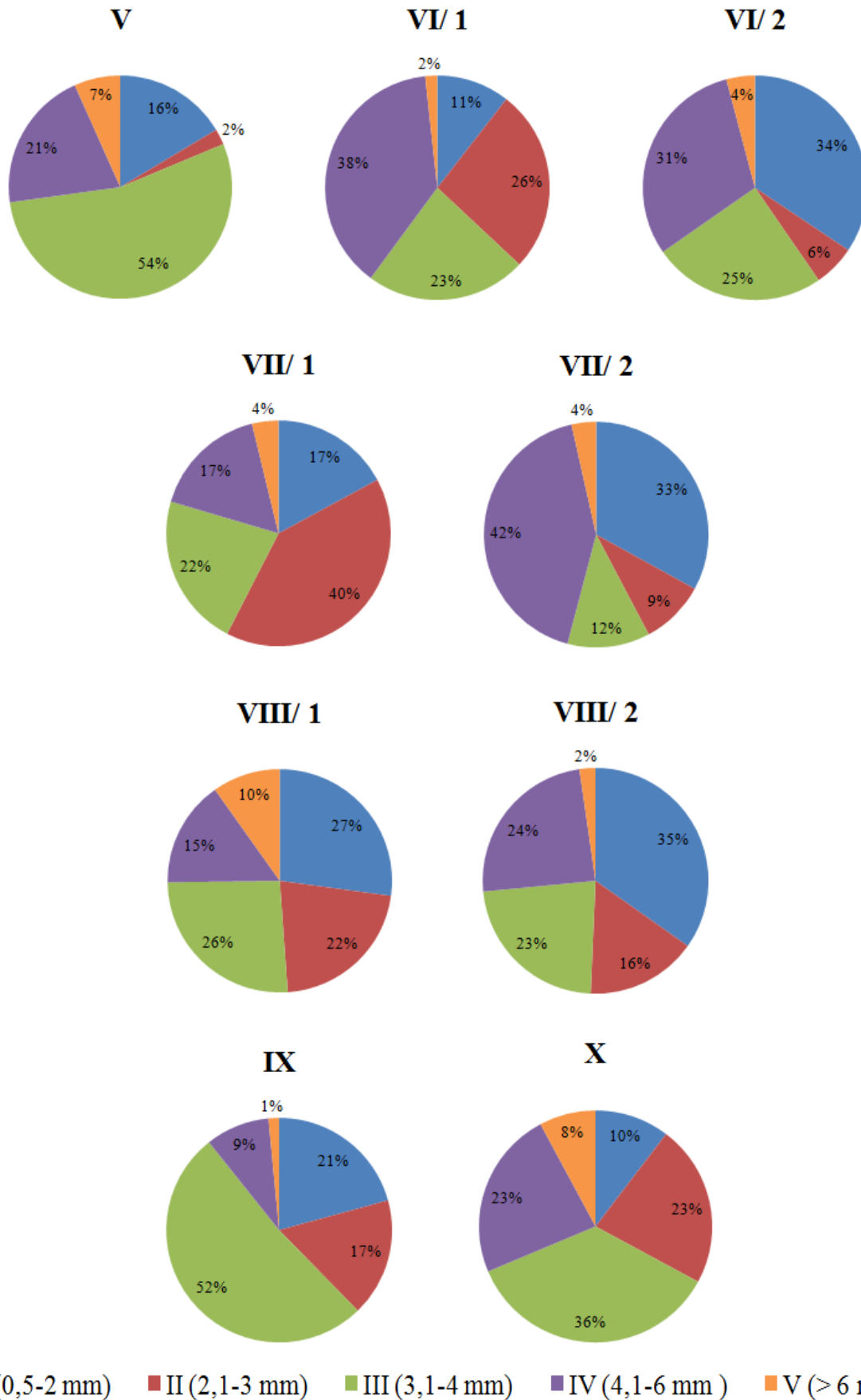
### 4.3 Veličinske kategorije

Jedinke III. veličinske kategorije postigle su značajan udio u litoralu veće raznolikosti staništa Gornjeg bazena (32 %, SGB), kao i na postajama SDB i SDBi Donjeg bazena rukavca Sutle (Slika 8). Udio veličinske kategorije IV povećavao se sa stupnjem trofije i smanjenjem raznolikosti litoralne zone odnosno na postajama SDBi, ŠK i SDBu (37 – 44 %). Najveća veličinska heterogenost zabilježena je na postaji, SGB sa submerznim makrofitima kompleksnog habitusa, gdje su veličinske kategorije I i II zajedno imale udio od 50 % u strukturi makrozoobentosa. Postaja ŠK značajno se razlikovala u abundanciji veličinskih kategorija I – III u odnosu na postaju SGB (Tablica 5).

Udio III. veličinske kategorije je bio najveći početkom svibnja s 55% (Slika 9). Udio manjih veličinskih kategorija (I. i II.) bio je podjednak s udjelom većih kategorija (IV. i V.). Početkom lipnja I. i II. veličinska kategorija se ponovno pojavljuju (sa udjelom od 37 %), dok se udio III. veličinske kategorije smanjuje na 23 %, a većih veličinskih kategorija (IV. i V.) na 40%. Krajem lipnja dolazi do povećanja udjela I. veličinske kategorije sa 11 % na 34 % i smanjenja II. kategorije sa 26 % na 6 %, dok ostale ostaju zastupljene relativno jednakim udjelom. Početkom srpnja dolazi do 50 %-tnog smanjenja udjela III., a najviše I. i IV. veličinske kategorije i povećanja II. veličinske kategorije za nešto manje od 8 puta. Krajem srpnja dolazi do 100 %-tnog porasta udjela I. i IV. veličinske kategorije (na 33 % i 42 %) te smanjenja III. kategorije za 50 % (na udio od 12 %) i II. kategorije gotovo četverostruko (pad na udio od 9 %). Početkom kolovoza raste udio II. i III. veličinske kategorije. Krajem kolovoza dolazi do porasta broja jedinki I. veličinske kategorije na 35 %, uglavnom na račun smanjenja udjela II. veličinske kategorije na 16 %. U rujnu raste udio III. veličinske kategorije, kada je ona obuhvaćala polovicu svih organizama, dok dolazi do smanjenja I. kategorije za trećinu (na 21 %) i IV. za 50% (na 9 %). Udio II. i V. kategorije u rujnu ostaje relativno nepromijenjen. U listopadu se uvećao udio IV. kategorije sa 9 % na 23 % i V. kategorije sa 1 % na 8 %, dok se udio III. kategorije smanjio za trećinu, sa 52 % na 36 % (Slika 9).



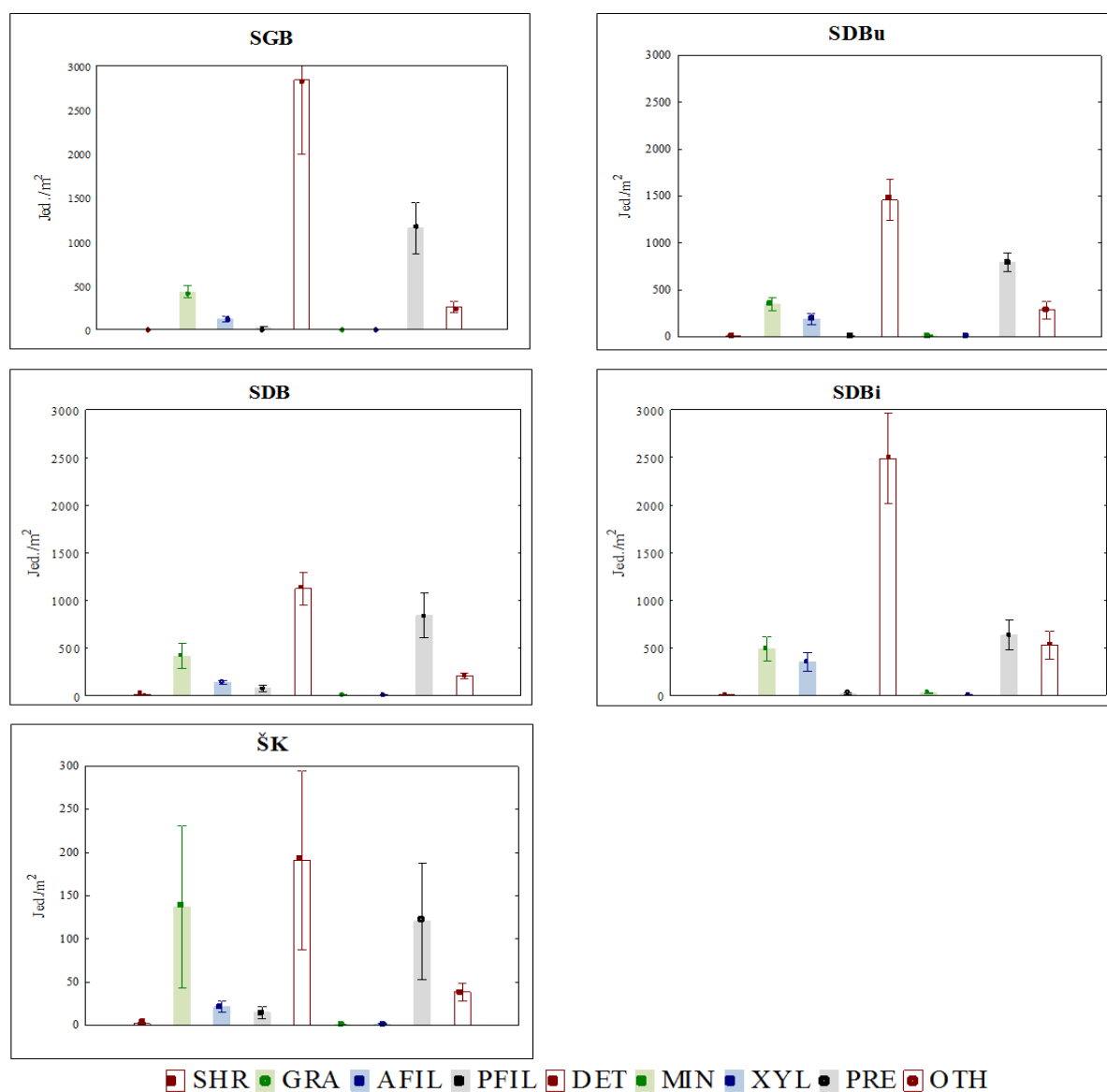
Slika 8 Udio pojedinih veličinskih kategorija na pet istraživanih postaja



Slika 9 Vremenske oscilacije pojedinih veličinskih kategorija u uzorcima makrozoobentosa

#### 4.4 Funkcionalne hranidbene skupine

Detritivori su svojom abundancijom prevladavali na svim istraživanim postajama posebice na postajama SGB i SDBi gdje su dominirali svojim udjelom (SDBi 55 % i SGB 59 %) i prosječnom abundancijom (SDBi  $2489 \pm 1070$  i SGB  $2844 \pm 2536$  jed./m<sup>2</sup>) (Slika 10). Predatori su bili sljedeća hranidbena skupina s obzirom na abundanciju na istraživanim postajama. Međutim postaja ŠK iako s najmanjom abundancijom, imala je najveći udio predatora, 23 % (Slika 10). Postaja ŠK za većinu hranidbenih skupina imala je statistički značajno manju abundanciju u odnosu na postaje SGB i SDBi, dok te vrijednosti nisu bile statistički značajne u odnosu na postaje SDBu i SDB (Tablica 5).



Slika 10 Raspodjela funkcionalnih hranidbenih skupina na istraživanim postajama

Tablica 5 Statistički značajne razlike između pojedinih postaja u raznolikosti, ukupnoj abundanciji te abundanciji prisutnih skupina, veličinskih kategorija i funkcionalnih hranidbenih skupina makrozoobentosa (Kruskal-Wallis test,  $p < 0,05$ )

	H	p	<i>post-hoc</i>
Broj svojti	18,38	< 0,001	ŠK < SGB, SDBu, SDBi
Ukupna abundancija	19,05	< 0,001	ŠK < SGB, SDBi
Hydrozoa	11,65	< 0,05	ŠK < SDB
Oligochaeta	10,28	< 0,01	ŠK < SDBi
Arachnida	14,76	< 0,01	ŠK < SDB
Ephemeroptera	15,89	< 0,01	ŠK < SGB
Odonata	12,66	< 0,05	ŠK < SGB
Heteroptera	12,55	< 0,05	ŠK < SDBi
Diptera	18,23	< 0,01	ŠK < SDBu, SDBu
Trichoptera	16,67	< 0,05	ŠK < SGB
Vel.kat. I	13,09	< 0,01	ŠK < SGB, SDBi
Vel.kat. II	15,96	< 0,01	ŠK < SGB
Vel.kat. III	17,95	< 0,05	ŠK < SGB, SDB, SDBi
GRA	12,49	< 0,01	ŠK < SGB
AFL	17,25	< 0,001	ŠK < SDBi
DET	19,79	< 0,01	ŠK < SGB, SDBi
MIN	15,54	< 0,01	ŠK < SDBi
PRE	15,50	< 0,01	ŠK < SGB
OTH	18,28	< 0,01	ŠK < SGB, SDBi

#### 4.5. Međusobni odnosi abiotičkih i biotičkih čimbenika

U interakcijama nisu zamijećene značajne korelacije između abiotičkih čimbenika i sastava makrozoobentosa. Značajnim su se pokazale negativne korelacije između koncentracije kolorofila *a* i abundancije predatorskih skupina Hydrozoa, Arachnida i Heteroptera (Tablica 6). Među biotičkim interakcijama abundancija plijena najčešće je pozitivno korelirala s abundancijom predatora kao u slučaju Oligochaeta i Odonata. Abundancija Arachnida i Odonata najviše su utjecale na abundanciju predatora, a Oligochaeta i Diptera su najviše utjecali na abundanciju detritivora. Općenito pozitivne korelacije ukazivale su na povezanost određene sistematske skupine s hranidbenom skupinom kao i s veličinskom kategorijom kojoj većinski pripadaju (Tablica 6).

Tablica 6 Spearmanovi koeficijenti korelacije statističke značajnosti  $p < 0,05$  između abiotičkih i biotičkih čimbenika

	Hydrozoa	Oligochaeta	Arachnida	Ephemeroptera	Odonata	Heteroptera	Diptera	Trichoptera
Arachnida								
Diptera			0,542					
Ephemeroptera								
Heteroptera			0,487	0,415			0,396	
Hydrozoa			0,504				0,440	
Odonata			0,476	0,532			0,342	
Oligochaeta	0,635		0,575		0,505		0,481	
Trichoptera				0,482	0,686			
Vel. kat. I	0,453	0,671	0,740	0,346	0,557	0,518	0,434	
Vel. kat. II		0,435		0,652	0,673	0,460	0,506	0,499
Vel. kat. III	0,529	0,523		0,444	0,480	0,447	0,671	
Vel. kat. IV				0,342				
Vel. kat. V				0,473			0,357	
GRA				0,653		0,581	0,664	
AFIL		0,471					0,955	
DET		0,690		0,596	0,473	0,581	0,674	0,356
PRE	0,523		0,759	0,492	0,783	0,535	0,506	
TN (mg/L N)	-0,373	-0,364					-0,454	
CHL <i>a</i> (µg/L)	-0,381		-0,514			-0,499	-0,614	
AFDM (mg/L)				0,528			0,528	0,388

## 5. RASPRAVA

Istraživanje makrozoobentosa provedeno je u litoralnoj zoni dvaju, međusobno spojenih bazena rukavca rijeke Sutle te u plitkoj mrtvaji Škrčev kut. Razlika ovih dvaju lokaliteta očituje se u morfometriji (rukavac rijeke Sutle veći je površinom od mrtvaje Škrčev kut), fizikalno-kemijskim čimbenicima, stupnju trofije, pokrovnosti i vrsti makrofita. Razlike između postaja u litoralnoj zoni prisutne su već između dvaju bazena rukavca Sutle, jer je gornji bazen (SGB) u većoj mjeri pokriven submerznom voščikom s gustim i kompleksnim habitusom. Nasuprot tome Donji bazen rukavca Sutle (SDBu, SDB i SDBi) je mutan i bez makrofita, pa je svojim stupnjem trofije i funkcioniranjem sustava sličniji mrtvaji ŠK. Istraživana vodena tijela su u posljednjih 15-ak godina šaranski ribnjaci, koji se koriste za sportski ribolov. U Gornjem bazenu rukavca rijeke Sutle nema šarana, koji su bentivori i time je omogućen opstanak sastojina submerznih makrofitskih, koje održavaju ravnotežu sustava jer sprečavaju resuspenziju sedimenta, asimiliraju fosfor iz sedimenta, smanjuju stupanj trofije i produkciju algi, a time i mutnoću. Slično su utvrdili Skov i sur. (2002) na plitkom jezeru Udbyover (Danska) te Mehner i sur. (2002) u svom preglednom radu o biomanipulaciji (restauracije slatkovodnih ekosustava izmjenom biocenoze), kojim se ističu mnogi pozitivni

učinci submerznih makrofita pri održavanju ravnoteže ekoloških uvjeta u plitkim jezerima. Nasuprot Gornjem bazenu, postaje Donjeg bazena i mrtvaja ŠK mjesta su intenzivnog sportskog ribolova i poribljavanja šaranima, prihranjivanja te korištenja raznih proteinskih i ostalih organskih mamaca. Šarani te bentivorne ribe općenito, uzrokuju resuspenziju sedimenta i povećanje mutnoće i unos fosfora u stupac vode. Svojim prehranbenim navikama, bentivorne ribe mogu izravno uništavati makrofite iskorjenjujući ih iz podloge i sprječavati njihovo zakorjenjivanje (Breukelaar i sur. 1994). Stoga, intenzivne sportsko-ribolovne aktivnosti, umjetno prihranjivanje ribnjaka te sama prisutnost i (metabolička, prehrabena) aktivnost šarana najizgledniji su izvor smanjene prozirnosti te značajno viših razina dušika u mrtvaji ŠK u odnosu na ostale postaje (Špoljar i sur. 2011b, Villizi i Tarkan 2015).

U litoralu mrtvaje Škrčev kut više temperature i razine kisika u odnosu na ostale postaje uzorkovanja tumačim s nekoliko činjenica. Takvi odnosi kisika i temperature vode odstupaju od uobičajenih trendova između temperature i kisika, koji dokazuju da se u većini slučajeva koncentracija otopljenog kisika smanjuje uslijed povišene temperature (Deutsches Institut für Normung 1986). Također, jedno od argumenata za višu izmjerenu temperaturu, moglo bi biti vrijeme uzorkovanja, jer je ta postaja, iako je s terenskim radom započeto vrlo rano ujutro, bila posljednja za uzorkovanje. Međutim, trendovi temperature i kisika na postaji ŠK očigledno su bili više pod utjecajem biotičkih čimbenika (Sertić Perić 2011). S obzirom na značajno više koncentracije Chl *a*, tj. biomase fitoplanktona u mrtvaji ŠK, izgledno je da su povišene razine kisika na toj postaji posljedica jako izražene fotosintetske aktivnosti fitoplanktona (Špoljar i sur. 2012a).

Izrazito visoke vrijednosti konduktiviteta na postajama veće mutnoće (SDBu, SDB, SDBi) i ujedno se podudaraju i sa višim stupnjem trofije (Malekzadeh Viayeh i Špoljar 2012). Povišene koncentracije Chl *a* nađene su također i na postaji SGB, unatoč prozirnosti vode, ukazuju da su na toj postaji prevladavali organizmi (najvjerojatnije zooplankton) koji se hrane suspendiranom organskom tvari (Špoljar i sur., 2016). Naime, u uvjetima kada zooplankton čine organizmi koji se hrane suspendiranim organskim tvarima, biomasa fitoplanktona može biti značajna i u uvjetima izražene prozirnosti, što objašnjava rezultate ovog rada (Jeppesen i sur. 1999). Uslijed povećane razgradnje algi i makrofita u litoralu Gornjeg bazena Sutle i mrtvaje Škrčev kut vrijednosti otopljenih organskih tvari na ovim su postajama bile značajno veće (Špoljar i sur. 2011a). Statistički značajno veće koncentracije



suspendiranih organskih tvari utvrđene su također na postaji SGB što objašnjavam prisustvom različitih veličinskih frakcija stabljike voščike.

Iako nisu utjecali izravno, vidljiv je neizravni utjecaj abiotičkih čimbenika na abundanciju makrozoobentosa. U prilog tome, ovdje se može ponovno istaknuti mrtvaja Škrčev kut koja se nalazi u području mutne vode, bez ili uz minimalnu količinu makrofita te koja se jedina izdvajala po značajno manjoj abundanciji organizama makrozoobentosa i manjem broju svojiti od ostalih istraživanih postaja. Kako je to postaja gdje izostaje kompleksnost mikrostaništa (uslijed nedostatka makrofita) i gdje je opažena smanjena prozirnost vode te znatno više temperature, razine dušika i klorofila *a* (uslijed povećane aktivnosti bentivornih riba, intenzivnog sportskog ribolova i izražene fotosinteze fitoplanktona), tako su brojnost i raznolikost makrozoobentosa smanjene. Brojni radovi dokazali su da eutrofni uvjeti u plitkim jezerima utječu na strukturu makrozoobentosa, smanjujući njegovu raznolikost i brojnost (npr. Gong i Xie 2001, Smith i sur. 2006). Evidentno je da povećan stupanj trofije u mrtvaji Škrčev kut smanjuje raznolikost staništa i utječe na promjenu biotičkih odnosa u ovom plitkom jezeru (Pestić 2015). Prema neobjavljenim podacima (Špoljar i sur.) istraživanja u 2013. godini razina vode je na ovom lokalitetu porasla za oko 1m, što je smanjilo mogućnost razvoja flotantnih makrofita te je njihova pokrovnost bila smanjena s 40 % u 2012. na oko 2% u 2013. Ti malobrojni makrofiti koji su se uspjeli razviti, predstavljeni lokvanjem, bi ubrzo bili pojedeni od strane riba što je uz negativni utjecaj trofije jezera dovelo do smanjenja raznolikosti staništa, a time i do smanjenja abundancije i raznolikosti makrozoobentosa.

Brojnost i raznolikost makrozoobentosa bila je najveća u litoralnoj zoni sa submerznim makrofitima, postaji SGB, u odnosu na najmanje zabilježene na postaji ŠK. Razlike u abundanciji mogu se objasniti prisutnošću submerzne makrofitske vegetacije kompleksnog i razgranatog habitusa na postaji SGB. Makrozoobentos migrira u sastojine submerznih makrofita gdje nalazi efikasni zaklon od vizualnih predatora (riba) (Špoljar i sur. 2012c). Također, submerzni makrofiti pružaju organizmima makrozoobentosa bogati izvor hrane, koja dolazi uglavnom od raspadajuće mase makrofita i ostale organske tvari (za detritivore) ili od epifitona sa makrofita (za strugače) (Scheffer 2001). Rezultati ovog istraživanja u skladu su, primjerice, s rezultatima Phiri i suradnika (2012) koji su na jezeru Kariba (Zimbabve) utvrdili podjednaku raznolikost, ali veću abundanciju makrozoobentosa u

sastojinama *Lagarosiphon ilicifolius* (vodena biljka kompleksnijeg habitusa) u odnosu na sastojine vrste *Vallisneria aethiopica* (vodena biljka jednostavnijeg habitusa).

Premda nisu pokazivale statistički značajnu razliku, uočene su određene pravilnosti u razlikama veličinskih kategorija s obzorom na njihovu zastupljenost na istraživanim postajama. Primjerice, na postajama izrazito male dubine (< 1m) i visoke mutnoće (ŠK, SDBu, SDBi), prevladavale su relativno velike jedinke, tj. organizmi IV veličinske kategorije (od 4-6 mm), dok su u litoralu gornjeg bazena Sutle, koji je veće prozirnosti, prevladavale I. i II. veličinska kategorija (tj. manje jedinke duljine 0,5-3 mm). Opaženi trendovi mogu se povezati s prozirnošću/mutnoćom vodenog okoliša i kompleksnošću pojedinih staništa, odnosno s izloženošću jedinki makrozoobentosa vizualnim predatorima (tj. ribama). Bentoski beskralježnjaci na različite načine se prilagođavaju na pritisak dnevnih (vizualnih) predatora (Špoljar 2012c). Uslijed povećanog predatorskog pritiska danju, pojedini bentoski beskralježnjaci razvili su prilagodbe i postali aktivni noću (Allan 1978, Flecker 1992), dok neki traže zaklon od predatora unutar makrofitske vegetacije, naplavina travnih ostataka i sl. (Allan 1995). Stariji ličinački stadiji, odnosno veći organizmi, obično su pod većim predatorskim pritiskom od mlađih (tj. manjih) jedinki. Na postajama ŠK, SDBu, SDBi u ovom istraživanju mutnoća je vjerojatno omela vizualne predatore (ribe), što je smanjilo predatorski pritisak na organizme makrozoobentosa i omogućilo njihov rast do većih dimenzija. Nadalje, veće jedinke uglavnom su pripadale skupinama Chironomida i Baetida, koje su na spomenutim postajama našle obilje hrane predstavljene velikom koncentracijom suspendiranih organske tvari te je vjerojatno i to utjecalo na njihov rast (Henriques - Oliveira 2003). Nadalje, uz utjecaj hrane na veličinsku strukturu makrozoobentosa, zanimljivo je da je na postaji litoralne heterogenosti staništa, SGB, s raznolikim i kompleksnim submerznim sastojinama makrofita, značajan udio jedinki pripadao je najmanjim veličinskim kategorijama (0,5 - 3 mm). Takav nalaz ukazuje da ovdje makrofiti sitnim jedinkama pružaju najpogodniji zaklon i izvor hrane. Naime, moguće je da kompleksan habitus makrofita na ovim postajama također pomaže u akumulaciji sitnijih čestica detritusa, koje potom konzumiraju jedinke manje veličine (Miliša i sur. 2006; Koljonen i sur. 2012).

Sumarno tijekom istraživanog razdoblja u udjelu prehrambenih skupina su prevladavali detritivori. Na postajama visoke mutnoće (SDBu, SDB i SDBi) dominiraju Chironominae (predstavnici Diptera), koji su najvjerojatnije privučeni dostupnom hranom (detritusom nastalim intenzivnom razgradnjom organske tvari i suspendiranom organskom tvari) te

zaklonom u mutnoj vodi. Na postaji SGB i ŠK se u značajnom udjelu pojavljuju i predstavnici Ephemeroptera predstavljeni svojcima *Centroptilum* i *Caenis* sp. Budući da su to jedine dvije postaje s makrofitskom vegetacijom, može se zaključiti da je na postaji SGB kvaliteta detritusa, koji nastaje raspadom makrofitske vegetacije, pogodnija hrana za *Caenis* sp., koji su isključivi detritivori i najbrojniji predstavnici Ephemeroptera na toj postaji. Na postaji ŠK od Ephemeroptera prevladavala je svojca *Centroptilum*, koja je po načinu ishrane djelomično strugač. Takav trend ukazuje da malobrojni flotantni makrofiti (prisutni na postaji ŠK) ipak pružaju kvalitetniju površinu za rast epifitona i ostale hrane koju koriste strugači od onoga što je dostupno na ostalim postajama slične mutnoće. Značajan udio na svim postajama imali su predatori, koji su u najvećem broju bili zastupljeni ličinkama skupina Odonata (Coenagrionidae i Gomphidae) i Diptera (Ceratopogonidae) te ličinačkim i adultnim stadijima Heteroptera (*Notonecta* sp.). Povećan broj Ceratopogonidae može se objasniti uvjetima na staništu. Rezultati istraživanja kojeg su proveli Timm i sur. (2006) ukazuju da jedinke te skupine preferiraju staništa pojačane sedimentacije jezerskog materijala i sniženog kisika, uzrokovanim eutrofikacijom. Na postaji ŠK je zabilježen značajno manji udio predatora nego na postajama SGB i SDB. To objašnjavam činjenicom da je postaja ŠK eutrofnog karaktera, a budući da predatore velikim dijelom sačinjava skupina Odonata, čije su ličinke osjetljive na povećan stupanj trofije (Nilsson 1996, 1997; Gerritsen i sur. 1998), smanjenjem njihovog udjela evidentno dolazi i da značajnog smanjenja ukupnog broja predatora.

Rezultati ovoga rada ukazuju na veću važnost utjecaja biotičkih odnosa nego abiotičkih čimbenika na abundanciju i raznolikost zajednica makrozoobentosa. To se prvenstveno odnosi na prisutnost i tip makrofitske vegetacije iz koje proizlazi raznolikost staništa, koja pruža hranu i zaklon makrozoobentosu i koja održava stupanj niže trofije jezera.

## 6. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja makrozoobentosa i abiotičko-biotičkih čimbenika, u rukavcu rijeke Sutle i mrtvaji Škrčev kut uz rijeku Krapinu, ukazuju na sljedeće zaključke:

1. S obzirom na promjene alternativnih stanja iz prozirnog u mutno, većina mjerenih abiotičkih čimbenika ne podudara se s ovom teorijom zbog toga što su prikazane vrijednosti vezane isključivo uz litoralnu zonu, a ne pelagijal;
2. U litoralu gornjeg bazena Sutle, zbog prisutnosti submerznih makrofita kompleksnoga habitusa, koji su osigurali zaklon od predatora te veliku ponudu hrane za populacije makrozoobentosa, zabilježena je najveća raznolikost (24 svojte), a najmanja (13 svojti) u litoralnoj zoni hipereutrofne mrtvaje Škrčev kut sa sporadičnim prisustvom flotantnih makrofita;
3. Najveće vrijednosti abundancije prisutne su u staništima s velikom raznolikošću litoralne zone uslijed prisustva makrofita kompleksnog habitusa.
4. Zaključuje se da submerzni makrofiti pružaju dobar zaklon od predatora manjim jedinkama dok veće jedinke nalaze zaklon u mutnoj vodi na postajama gdje makrofiti izostaju.
5. Uslijed velike količine organske tvari u litoralnoj zoni u sastavu makrozoobentosa prevladavali su detritivori. Mnoge jedinke makrozoobentosa našle su u litoralnoj zoni i sklonište od predacije riba, stoga su taktilni bentoski predatori bili, s obzirom na abundanciju, također značajna trofička skupina u sastavu makrozoobentosa.
6. Raznolikost staništa osigurava različite ekološke niše koje mogu zauzeti različite skupine makrozoobentosa što se u konačnici očituje u njihovoj raznolikosti dok na ostalim postajama takva raznolikost izostaje i dolazi do prevlasti samo određenih skupina u pogledu raznolikosti, veličinskih kategorija i trofičkih skupina.
7. Analizom rezultata utvrdilo se da biotičke interakcije imaju značajniji utjecaj na oblikovanje zajednica makrozoobentosa. Stoga bi njihovo daljnje istraživanje doprinijelo potpunijoj spoznaji o funkcioniranju ekosustava plitkih jezera.

## 7. LITERATURA

Allan J. D. (1978): Trout predation and the size composition of stream drift. *Limnology and Oceanography* 23, 1231 – 1237.

Allan J. D. (1995): *Stream Ecology*. Chapman & Hall, New York

Bauernfeind E., Humpesch U. H. (2001): *Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie*. Verlag des Naturhistorischen Museums, Wien

Breukelaar A. W., Lammens E. H. R. R., Klein Breteler J. G. P., Tatrap I. (1994): Effects of benthivorous bream (*Abramis brama*) and carp (*Cyprinus carpio*) on sediment resuspension and concentrations of nutrients and chlorophyll *a*. *Freshwater Biology* 32, 113 – 121.

Brucet S., Boix D., Nathansen L. W., Quintana X. D., Jensen E., Balayla D., Meerhoff M., Jeppesen E. (2012): Effects of Temperature, Salinity and Fish in Structuring the Macroinvertebrate Community in Shallow Lakes: Implications for Effects of Climate Change. *PLoS One*. 2012;7(2):e30877. doi: 10.1371/journal.pone.0030877

Céréghino R., Biggs J., Oertli B., Declerck S. (2008): The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. *Hydrobiologia* 597, 1 – 6.

Cheruvilil K. S., Soranno P. A. (2002): Plant architecture and epiphytic macroinvertebrate communities: the role of an exotic dissected macrophyte. *Journal of the North American Benthological Society* 21, 261 – 277.

Cooke G. D., Lombardo P., Brant C. (2001): Shallow and deep lakes: Determining successful management options. *Lakeline* 21, 42 – 46.

Deutsches Institut für Normung (1986): *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung*, 16th edn. Vol II. Verlag Chemie, Weinheim

Dokulil M. T., Herzig A., Somogyi B., Vörös L., Donabaum K., May L., Nöges T. (2014): Winter conditions in six European shallow lakes: a comparative synopsis. *Estonian Journal of Ecology* 63, 111 – 129.

Flecker A. S. (1992): Fish predation and the evolution of invertebrate drift periodicity: Evidence from neotropical streams. *Ecology* 73, 438 – 448.

Gerritsen J., Carlson R. E., Dycus T. L., Faulkner C., Gibson G. R., Harcum J., Markowitz S. A. (1998): *Lake and Reservoir Bioassessment and Biocriteria*. Technical Guidance Document. United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington

Gong Z. J., Xie P. (2001): Impact of eutrophication on biodiversity of the macrozoobenthos community in a Chinese shallow lake. *Freshwater Biology* 16, 171 – 178.

Jeppesen E., Jensen J. P., Søndergaard M., Lauridsen T. (1999): Trophic dynamics in turbid and clearwater lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity. *Hydrobiologia* 408 – 409, 217 – 231.

Jeppesen E., Meerhoff M., Holmgren K., González-Bergonzoni I., Teixeira-de Mello F., Declerck S., De Meester L., Søndergaard M., Lauridsen T., Bjerring R., Conde-Porcuna J., Mazzeo N., Iglesias C., Reizenstein M., Malmquist H., Liu Z., Balayla D., Lazzaro X. (2010): Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia* 646, 73 – 90.

Knoz J. (1965): To identification of Czechoslovakian black - flies (Diptera, Simuliidae). *Folia Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis* 6, 1 – 52.

Koljonen S., Louhi P., Mäki-Petäys A., Huusko A., Muotka T. (2012): Quantifying the effects of in-stream habitat structure and discharge on leaf retention: implications for stream restoration. *Freshwater Science* 31, 1121 – 1130.

Kuczynska-Kippen N., Nagengast B., (2003): The impact of the spatial structure of hydromacrophytes on the similarity of rotifera communities (Budzyńskie Lake, Poland). *Hydrobiologia* 506 – 509, 333 – 338.

Malekzadeh Viayeh R., Špoljar M. (2012): Structure of rotifer assemblages in shallow waterbodies of semi-arid northwest Iran differing in salinity and vegetation cover. *Hydrobiologia* 686, 73 – 89.

Meerhoff M., Clemente J. M., De Mello F. T., Iglesias C., Pedersen A. R., Jeppesen E. (2007): Can warm climate-related structure of littoral predator assemblies weaken the clear water state in shallow lakes. *Global Change Biology*, 13, 1888 – 1897.

Mehner T., Benndorf J., Kasorzak P., Rainer K. (2002): Biomanipulation of lake ecosystems: successful applications and expanding complexity in the underlying science. *Freshwater Biology* 47, 2453 – 2465.

Microsoft Corporation (2007): Microsoft ® Office Excel ® 2007

Miliša M., Matoničkin Kepčija R., Radanović I., Ostojić, A., Habdija I., (2006): The impact of aquatic macrophyte (*Salix* sp. and *Cladium mariscus* (L.) Pohl.) removal on habitat conditions and macroinvertebrates of tufa barriers (Plitvice Lakes, Croatia). *Hydrobiologia* 573, 183 – 197.

Moog O. (2002): *Fauna Aquatica Austriaca*, Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Vienna

Nilsson A. (1996): *Aquatic insects of North Europe 1*. Apollo Books, Stenstrup

Nilsson A. (1997): *Aquatic insects of North Europe 2*. Apollo Books, Stenstrup

Nusch E. A. (1980): Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Archiv für Hydrobiologie – BeiheftErgebnisse der Limnologie* 14, 14 – 36.

Orešić D. (1995): Morfogenetski pokazatelji poriječja Krapine. *Acta Geographica Croatica* 30, 29 – 38.

Pastuchova Z. (2006): Macroinvertebrate assemblages in conditions of low - discharge streams of the Cerová vrchovina highland in Slovakia. *Limnologia* 36, 241 – 250.

Pestić, A. (2015): Utjecaj biotičkih čimbenika na raspodjelu zooplanktona eutrofnog jezera / završni rad - diplomski/integralni studij. Zagreb : Prirodoslovno-matematički fakultet, 40 str.

Scheffer M., Houser S. H., Meijer M. L., Moss B., Jeppesen E. (1993): Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology & Evolution* 8, 275 – 279.

Scheffer M., Carpenter S., Foley J. A., Folke C., Walker B. (2001): Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413, 591 – 6.

Schmedtje U., Kohmann F. (1988): Bestimmungsschlüssel für die Saprobier-DIN-Arten (Makroorganismen). Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München

Sertić Perić, M. (2011): Utjecaj hidromorfoloških čimbenika na drift beskralježnjaka u mikrostaništima slapišta Plitvičkih jezera / doktorska disertacija. Zagreb : Prirodoslovno-matematički fakultet, 179 str.

Skov C., Perrow M. R., Berg S., Skovgaard H. (2002): Changes in the fish community and water quality during seven years of stocking piscivorous fish in a shallow lake. *Freshwater Biology* 47, 2388 – 2400.

Smith V. H., Joye S. B., Howarth R. W. (2006): Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. *Limnology and Oceanography* 51, 351 – 355.

StatSoft, Inc. (2008): Statistica (data analysis software system), version 8.0, [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

Sundermann A., Lohse S. (2004): Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Zweiflügler (Diptera) in An-lehnung an die Operationelle Taxaliste für Fließgewässer in Deutschland. U: Haase P, Sundermann A(eds.) Standardisierung der Erfassungs - und Auswertungsmethoden von Makrozoobenthosuntersuchungen in Fließgewässern. Abschlussbericht zum LAWA-Projekt O 4.02. <http://www.fliessgewaesserbewertung.de>

Šimunić A., Hećimović I. (2006): Geološke osobitosti Hrvatskog Zagorja. Muzeji Hrvatskog Zagorja, Krapina.

Špoljar M., Dražina T., Habdija I., Meseljević M., Grčić Z. (2011 a): Contrasting zooplankton assemblages in two oxbow lakes with low transparencies and narrow emergent macrophyte belts (Krapina River, Croatia). *International Review of Hydrobiology* 96, 175 – 190.

Špoljar M., Tomljanović T., Lalić I. (2011 b): Eutrophication impact on zooplankton community – a shallow lake approach. *The Holistic Approach to Environment*. 1, 131 – 142.

Špoljar M., Fressl J., Dražina T., Meseljević M., Grčić Z., (2012 a): Epiphytic metazoans on emergent macrophytes in oxbow lakes of the Krapina River, Croatia: differences related to plant species and limnological conditions. *Acta Botanica Croatica* 71, 125 – 138

Špoljar M., Dražina T., Šargač J., Kralj – Borojević K., Žutinić P. (2012 b): Submerged macrophytes as a habitat for zooplankton development in two reservoirs of a flow-through system (Papuk Nature Park, Croatia). *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology* 48, 161 – 175.

Špoljar M., Šneller D., Miliša M., Lajtner J., Sertić Perić M., Radanović I. (2012 c): Entomofauna of submerged macrophyte stands in reservoirs (Papuk nature park). *Entomologia Croatica* 16, 1 – 4.

Tachét H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio - Polatera P. (2000): *Invertébrés d'eau douce: Systématique, biologie, écologie*. CNRS editions, Paris

Špoljar M., Tomljanović T., Dražina T., Lajtner J., Štulec H., Matulić D., Fressl J. (2016): Zooplankton structure in two interconnected ponds: similarities and differences. *Croatian Journal of Fisheries* 74, 29 – 42.

Teixeira M. C., Budd M. P., Strayer D. L. (2014): Responses of epiphytic aquatic macroinvertebrates to hypoxia. *Inland Waters* 5, 75 – 80.

Timma H., Mölsb T., Timma T. (2006): Effects of long-term non-point eutrophication on the abundance and biomass of macrozoobenthos in small lakes of Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Biology and Ecology* 55, 187 – 198.

Vilizzi L., Tarkan A. S. (2015): Experimental Evidence for the Effects of Common Carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) on Freshwater Ecosystems: A Narrative Review with Management Directions for Turkish Inland Waters. *Limonofish. Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research* 1, 123 – 149.

Waringer J., Graf W. (1997): *Atlas der Österreichischen Köcherfliegenlarven*. Facultas Universitätsverlag, Wien

Zwick P. (2004): Key to the West Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Limnologica* 34, 315 – 348.



## 8. ŽIVOTOPIS

Osobne informacije: Zvonimir Ercegovac  
Datum rođenja: 16. 10. 1990.

### Obrazovanje

- |             |   |
|-------------|---|
| 2013 - 2016 | Diplomski studij Znanosti o okolišu, Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Rooseveltov trg 6, Zagreb, , |
| 2009 - 2013 | Prvostupnik Znanosti o okolišu, Biološki odsjek Prirodoslovno matematički fakultet, Rooseveltov trg 6, Zagreb,          |
| 2005 - 2009 | Zdravstveno laboratorijski tehničar, Zdravstveno učilište, Medvedgradska 55, Zagreb                                     |

### Znanstvena sudjelovanja i stručna edukacija

- |            |  |
|------------|--|
| 2015       | Sudjelovanje s posterom i objavljen sažetak u zborniku sažetaka Znanstveno-stručne konferencije s međunarodnim sudjelovanjem "Zaštita voda u kršu" u Mostaru           |
| 2015       | Sudionik osnovnoškolske (4. razred) radionice upoznavanja živog svijeta: "Zaron do dna bare i rijeke"  |
| 2014       | Voditelj grupa na Noći biologije   |
| 2013       | Razni skladištarski poslovi (tri i pol mjeseca 2012. godine) u Kauflandovom skladištu na Žitnjaku  |
| 2007- 2009 | Srednjoškolska praksa u hematološkom, mikrobiološkom i biokemijskom laboratoriju u sveukupnom trajanju od dva mjeseca u bolnicama Sv. Duh i Klinici za traumatologiju. |

Osobne vještine: - poznavanje engleskog jezika  
- poznavanje rada na računalu, korištenje Microsoft Office programa

Ostale informacije: - volontiranje u udruzi za terapijsko jahanje Don Kihot  
-Erasmus+ razmjena mladih u trajanju od 10 dana s ciljem usavršavanja komunikacijskih vještina