

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Tonka Šimurina

OBRASCI MIGRACIJA MAKROZOOBENTOSA U PLITKOM INTERSTICIJU SEDRENIH
BARIJERA

Zagreb, 2016.

Ovaj rad je izrađen u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Marka Miliše i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2015./2016.

SADRŽAJ RADA

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | |
| 1.1. Nastajanje i obilježja sedre | 1 |
| 1.2. Staništa mahovinskih sastojina i sedrenog intersticija | 2 |
| 1.3. Obilježja zajednica makrozoobentosa na sedrenim barijerama | 2 |
| 1.4. Detritus | 3 |
| 2. CILJ ISTRAŽIVANJA | 4 |
| 3. MATERIJALI I METODE | 5 |
| 3.1. Područje istraživanja | 5 |
| 3.2. Postav pokusa | 6 |
| 3.3. Metode mjerenja fizikalno-kemijskih parametara vode | 7 |
| 3.4. Obrada uzoraka i analiza podataka | 8 |
| 4. REZULTATI | 10 |
| 4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode | 10 |
| 4.2. Makrozoobentos | 13 |
| 4.2.1. Sastav makrozoobentosa | 13 |
| 4.2.2. Obrasci migracija i naseljavanja makrozoobentosa | 17 |
| 4.3. Akumulacija i dinamika organske tvari | 23 |
| 5. RASPRAVA | 29 |
| 6. ZAKLJUČAK | 33 |
| 7. ZAHVALE | 34 |
| 8. POPIS LITERATURE | 35 |
| 9. SAŽETAK | 40 |
| 10. SUMMARY | 41 |
| 11. ŽIVOTOPIS | 42 |

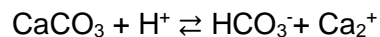
UVOD

1. Nastajanje i obilježja sedre

Sedra je sekundarni vapnenački depozit koji se razvija u krškim vodama prezasićenim s obzirom na karbonate (Chafetz and Folk, 1984). Na području hrvatskog krša dominiraju sedimentne vapnenačke stijene. Vapnenac je topiv u vodi, a topivost se povećava povećanjem kiselosti vode što je najčešće posljedica otapanja ugljikova dioksida u oborinskoj vodi i u porama tla. Njegovim otapanjem nastaje ugljična kiselina koja u otopini postoji u obliku vodikovog i bikarbonatnog iona:



Vodikov H^+ ion djeluje u smjeru otapanja kalcijeva karbonata:



Tekućice su u takvom okruženju zasićene bikarbonatnim (HCO_3^-) ionima. U slučaju gubitka ugljikova dioksida iz otopine uslijed smanjenja parcijalnog tlaka u brznoj struji vode (Bernoullijev učinak) ili evakuacije putem fotosintetskih organizama ravnoteža reakcije se pomiče u smjeru taloženja kalcijevog karbonata u obliku kalcita. Neka istraživanja navode središnju ulogu organizama u stvaranju sedre (Kempe i Emeis, 1985; Srdoč i sur., 1985; Chafetz i sur., 1994), dok im drugi autori pridaju zanemarivu ulogu pogotovo na slapištima i brzacima (Chen i sur., 2004). Mnogi autori tvrde da organizmi (biljke i alge neposredno, a životinje najčešće posredno putem pomoćnih struktura npr. mreže hidropsihida) zadržavaju čestice kalcita te daju supstrat za nukleaciju kristala kalcita što je ključna etapa u taloženju sedre (Merz-Preiß i Riding, 1999; Zhang i sur., 2001; Carthew i sur., 2003; Perri i sur., 2012).

Svaki sustav koji sedri je jedinstven, a sve karakterizira prezasićenost vode karbonatnim ionima i pH viši od 8 (Srdoč i sur., 1985). Važna značajka sedre je da sadrži biološke ostatke odnosno ostatke organizama na koje se kristali talože. Nakon njihove razgradnje sedra ostaje šupljikava stijena, a u šupljinama ostaje prostor dostupan za naseljavanje organizama. Prema Matoničkinu i sur. (1971) sedrene barijere nastaju procesom koji započinje precipitacijom karbonatnih iona oko ostataka beskralješnjaka, bakterija, te mikro ili makrofita koji služe kao centri nukleacije (Ford i Pedley, 1996). Na Plitvičkim jezerima se kontinuirano odvija proces nastajanja sedre i sedrenih barijera, te se godišnje taloži 10000 tona kalcijevog karbonata (Kempe i Emeis, 1985), što uzrokuje rast sedrenih barijera na pojedinim slapištima od 13.5 mm godišnje (Srdoč i sur., 1985).

2. Staništa mahovinskih sastojina i sedrenog intersticija

Upravo na sedrenim barijerama, odnosno na slapištima su povoljni uvjeti za razvoj mahovina te su one i dominantan supstrat nukleacije kristala i početka procesa sedrenja (Ford i Pedley, 1996; Miliša i sur., 2006a). Mahovine, također, usporavaju brzinu protoka vode i zadržavaju čestice organske tvari (Stewart i Davies, 1990; Prochazka i sur., 1991; Suren, 1991; Finlay i Bowden, 1994). One se potom prenose i pohranjuju i u intersticiju, tj. otvorima u supstratu dna tekućice (Smock, 1990; Suren, 1991).

Osim što omogućuju zadržavanje organskih čestica koje služe kao hrana, mahovine su povoljno stanište i jer nude zaklon životinjama od grabežljivaca (Gurtz i Wallace, 1984; Brusven i sur., 1990; Habdija i sur., 2000), a sedreni intersticij omogućava i migraciju životinja unutar supstrata.

Sedreni intersticij je s jedne strane mjesto 'ugniježđenja' površinskih zajednica u kojima se povremeno zadržava dio jedinki, posebno u ranijim stadijima razvoja (Zwick, 2004; Dražina i sur., 2016). S druge strane, prema biocenotičkoj strukturi, a posebno prema promjeni abiotičkih čimbenika predstavlja i ekoton između nadzemnih i podzemnih staništa (Miliša i sur., 2006b).

3. Obilježja zajednica makrozoobentosa na sedrenim barijerama

Sastav zajednice makrozoobentosa određuje niz biotičkih i abiotičkih čimbenika nekog staništa (Costa i Mello, 2008). Sedrene barijere su staništa miješanih ekoloških čimbenika. U sedreni intersticij ispod mahovine prvenstveno migriraju mlađe jedinke u potrazi za dodatnim zaklonom i hranom (Miliša i sur., 2006b), te se po potrebi sklanjaju i odrasle jedinke beskralješnjaka u raznim nepovoljnim uvjetima (Lancaster i Hildrew, 1993; Palmer i sur., 1995; Matthaei i sur., 1999). Jedinke bentoskih beskralješnjaka često migriraju duboko u intersticijske slojeve (Brunke i Gonser, 1997), a mogućnost migracije jedinki ovisi o poroznosti podloge. Što je veća poroznost to je veća i mogućnost prodiranja životinja u naseljavanje podzemlja. Neki bentoski beskralješnjaci primarno koriste intersticij za odlaganje jaja i ličinki (Schwoerbel, 1961; Puig i sur., 1990; Ward, 1994), a prema Angelier (1953) i Orgihan (1959), te Palmer i sur. (1992) koji zagovaraju hipotezu hiporeičkog skloništa, jedinke se u nepovoljnim uvjetima poput poplava, suša i velikih turbulencija sklanjaju u sloj intersticija te tamo trajno obitavaju.

Obilježja hiporeičke, odnosno intersticijske faune su izduženost tijela, fleksibilnost i smanjena veličina tijela (Williams i Hynes, 1974; Giere, 1993). Čestice organske tvari donesene u intersticij predstavljaju jedinu hranu fauni koja tu živi (Lenting i sur., 1997), a

prodorom organske tvari dublje u supstrat se otvara mogućnost koloniziranja novog područja (Pedley, 2000). U ovom staništu stoga dominiraju životinje koje pripadaju u funkcionalnu skupinu detritivora, a u nju pripadaju juvenilni stadiji većine svojta koje su svojstvene zajednici koja živi u mahovinskim sastojinama (Moog, 2002).

Abiotički faktor na sedrenim barijerama koji najviše utječe na zajednice makrozoobentosa je brzina toka vode (Miliša i sur., 2006b). Brojnost jedinki ovisi također i o koncentraciji kisika u vodi u supstratu, termalnim uvjetima i količini i kakvoći dostupne hrane (Dole-Olivier, 2011). Općenito, jedinke zajednica makrozoobentosa su osjetljive na promjene uvjeta u okolišu, te zbog toga imaju široku primjeru kao bioindikator.

4. Detritus

Detritus je sva mrtva organska tvar, kao što su dijelovi biljaka, tijela životinja ili njihovi fragmenti, tkiva i fekalije. U akvatičkim ekosustavima većina detritusa je pohranjena na i u dnu tekućice, ali dio je i suspendiran u struji odnosno stupcu vode. Količina pohranjenog detritusa u mikrostaništima bentala ovisi o brzini strujanja vode i faktorima koji uzrokuju promjene u toku vode (Wanner i Pusch, 2001; Cotton i sur., 2006; Sertić Perić i sur., 2011). Važan čimbenik u transportu detritusa su i same životinje koje što fekalijama, a što svlakovima i na druge načine doprinose izmještanju organskih čestica (Warren i sur., 2009; Nogaro i sur., 2009; Gunken i sur., 2009).

Tekućice su gotovo uvijek okružene brojnom vegetacijom čiji listovi i ostali biljni fragmenti dospijevaju u vodu, te je detritus većinom biljnog porijekla (Vannote, 1980; Bretschko, 1990). U supstratu sedrenih slojeva životinje koje su detritivori osim što donose, također troše čestice organskih tvari.

Vannote i suradnici (1980) razlikuju 3 razreda čestica usitnjene organske tvari svrstanih prema veličini u krupne (> 1 mm), sitne (50 μ m - 1 mm) i vrlo sitne čestice (0.5 - 50 μ m) redom označene kao CPOM (eng. *coarse particulate organic matter*), FPOM (eng. *fine particulate organic matter*) i UPOM (eng. *ultrafine particulate organic matter*). Sveukupan zbroj čestica svih veličinskih razreda označavaju TPOM (eng. *total particulate organic matter*). Ovisno o veličini i položaju, čestice organske tvari služe kao izvor hrane različitim životinjama (Moog, 2002).

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

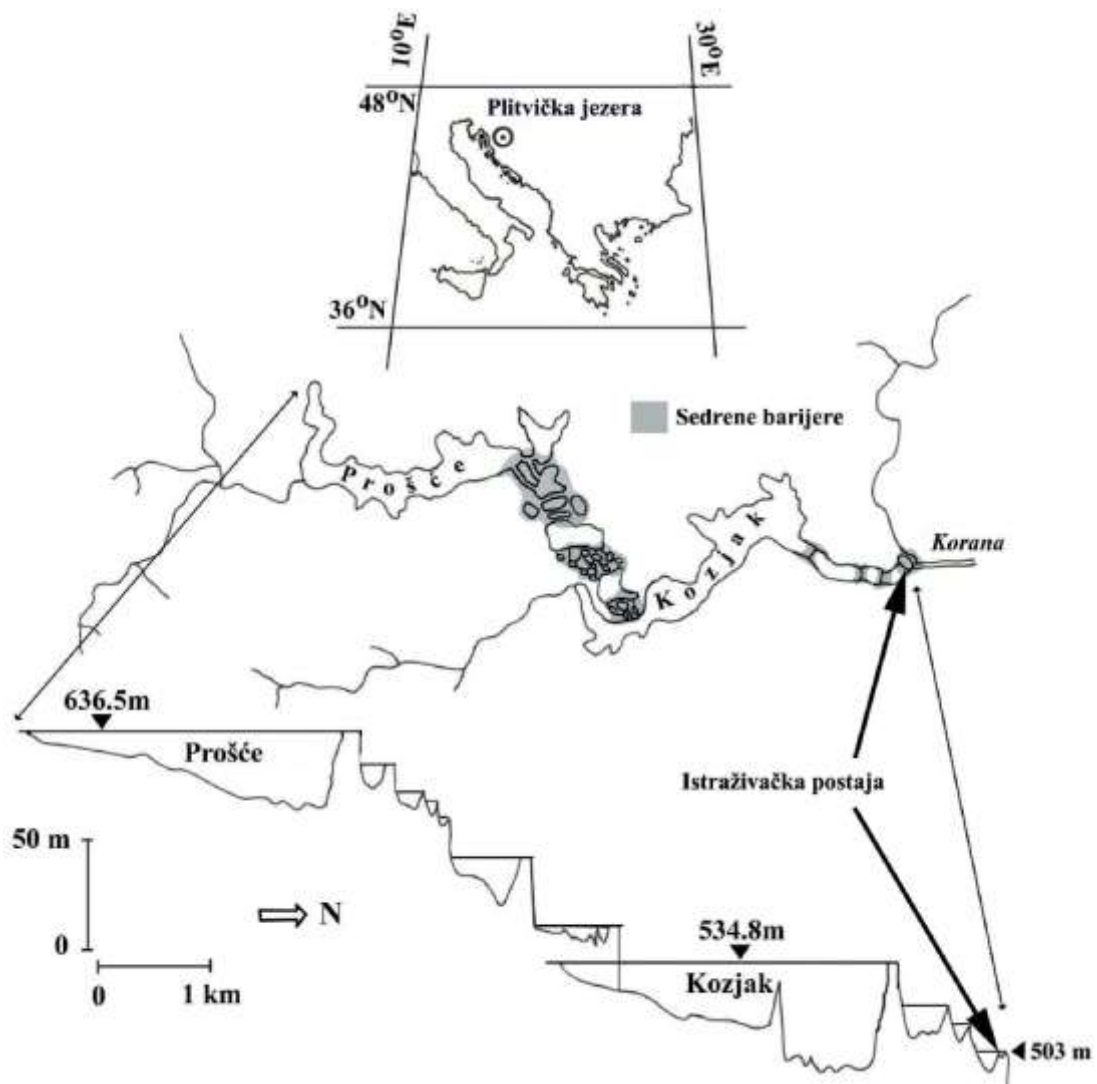
Istraživanje je provedeno u svrhu proučavanja slatkovodnih beskralješnjaka i protoka energije. Definirani ciljevi istraživanja su utvrditi:

- I. sastav i uslojenost zajednice makrozoobentosa koja naseljava plitki sedreni intersticij (do dubine od 8 cm),
- II. prostorne obrasce i dinamiku pionirskih migracija najzastupljenijih svojta makrozoobentosa kroz intersticij, posebno u odnosu na dinamiku strujanja vode,
- III. načine pronosa energije odnosno tvari kroz intersticij sedrenih barijera i potencijalan odnos s obrascima kretanja makrozoobentosa.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Područje istraživanja

Istraživanje je provedeno u Nacionalnom parku Plitvička jezera tijekom sedam dana u listopadu 2015. godine. Istraživačka postaja je bila na desnoj strani sedrene barijere Novakovića Brod koja se nalazi između jezera Kaluđerovac i jezera Novakovića Brod (Slika 1). Zemljopisne koordinate istraživačke postaje su 44°54'08" s.z.š. i 15°36'38.1" i.z.d. Barijera je pokrivena mahovinskim slojem debelim 2 cm kojeg čine četiri vrste mahovine (*Bryum ventricosum*, *Didymodon tophaceus*, *Palustriella commutata* i *Plathygnidium rusciforme*), te je obrasla akvatičkom i vegetacijom lopuha (*Petasites* sp.) i vrbe (*Salix* sp.). U priobalnoj vegetaciji dominiraju bukva (*Fagus sylvatica*) i jela (*Abies alba*).



Slika 1. Istraživačka postaja na barijeri Novakovića Brod na Plitvičkim jezerima.

3.2. Postav pokusa

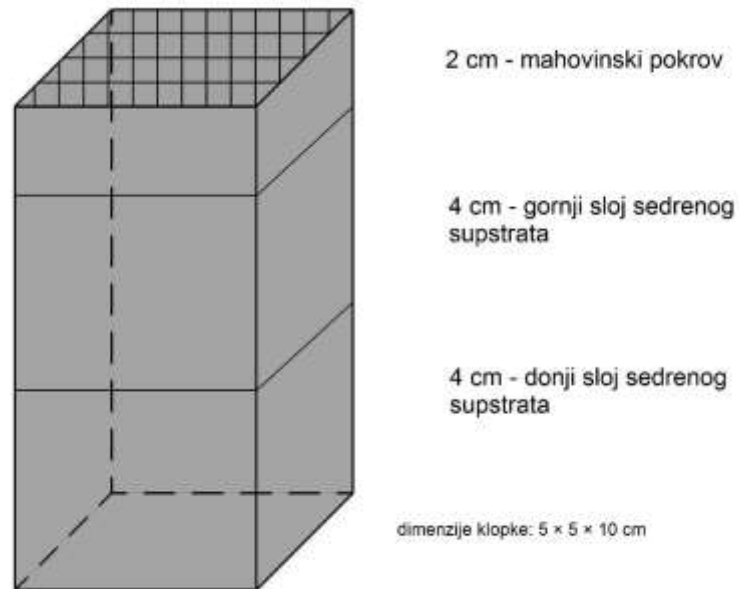
U pripremi pokusnih podloga, jezgrilima (eng. *cores*) sam uzela uzorke sedre dimenzija 5 × 5 cm do dubine od 10 cm. Mahovinu sam odvojila od sedre i obradila je ispirući je 24 sata u vodi da životinje izađu, te nekoliko minuta pod tekućom vodom. Postupak sam ponovila 2 puta, a lupom Zeiss Stemi c2000 sam provjerila 4 nasumična uzorka da potvrdim odsutnost životinja i čestica organske tvari.

Sedrene blokove sam isprala na isti način (24 sata u stajaćoj vodi i nakon toga nekoliko minuta pod tekućom vodom). Zatim sam žarila sedrene blokove 4 sata na 500 °C. Nakon žarenja ponovo sam isprala blokove pod tekućom vodom da uklonim pepeo.

Od mreža načinjenih od staklenih vlakana oka 5 mm i svilene mreže oka 200 nm sam napravila nizove od po 7 replikatnih kvadarnih klopki visine 10 cm, dna površine 5 × 5 cm, koje su se razlikovale po smjeru otvorenih stijenki (5 mm). U svrhu praćenja migriranja i naseljavanja životinja otvori klopki su bili različito organizirani. Klopke su mrežom otvora oka 5 mm bile otvorene sprijeda, bočno, straga ili odozgo.

Sedrene blokove i mahovinu sam nakon obrade stavila u klopke oponašajući prirodni supstrat: prva 2 cm uzorka činila je mahovina, sljedeća 4 cm gornji sloj sedre, te zadnja 4 cm donji sloj sedre (Slika 2). Klopke sam zatim vratila u prirodno stanište u ista mjesta odakle sam ih jezgrilima uzela (Slika 3).

Uzorke sam uzimala svakodnevno tijekom 7 dana. Nakon vađenja pojedinog uzorka razdvojila sam slojeve i svakog zasebno u posudicama fiksirala u formalinu. Usporedno sam jezgrilom uzela triplikatni uzorak prirodnog sedrenog supstrata da bih utvrdila prirodnu brojnost svojta u odnosu na onu u pokusnim posudama.



Slika 2. Shema klopke. Primjer klopke koja je otvorena odozgo (siva površina je svilena mreža oka 200 nm, a mrežica na vrhu je otvora 5 mm).



Slika 3. Implementirane klopke u prirodno stanište na barijeri Novakovića Brod.

3.3. Metode mjerenja fizikalno-kemijskih parametara vode

Fizikalno-kemijski parametri vode koje sam mjerila elektroničkim sondama prilikom svakog uzorkovanja bili su: temperatura, koncentracija otopljenog kisika (WTW Oxi95), pH

vrijednost (WTW pH 330i), električna provodljivost (Hach sensION) i brzina toka vode (Dostmann P670).

Mjerenje fizikalno-kemijskih parametara vode provodila sam u površinskoj vodi, u vodi u prirodnom i implantiranom mahovinskom sloju, te u vodi u prirodnoj i implantiranoj sedri na dubini od 5 (brizgalicom sam izvlačila po 100 mL za provedbu mjerenja sondama) tijekom svih sedam dana uzorkovanja.

Brzinu strujanja vode u sedrenom intersticiju sam mjerila ubrizgavanjem 10 mL kongo crvenila u sedru na dubinu od 5 cm. Nakon 45 minuta izrezala sam komad sedre, fotografirala i računalnom analizom fotografije (Adobe Photoshop 12.0 x32, 2010) izračunala brzinu strujanja vode kroz intersticij (Slika 4). Razlijevanje boje iznad mjesta injektiranja i u uzvodnom smjeru, smatrala sam učinkom potiska iz brizgalice te sam od ukupnog traga mrlje za računanje oduzela iznos uzvodnog razlijevanja.



Slika 4. Trag kongo crvenila u sedrenom bloku nakon 45 minuta. Trag ukazuje na brzinu prodora vode kroz plitki sedreni intersticij. Igla brizgalice je duga 37 mm, smjer površinskog toka je udesno.

3.4. Obrada uzoraka i analiza podataka

Izolaciju i određivanje svojta životinja sam napravila u laboratoriju koristeći lupu Zeiss Stemi 2000-C i priručnike Nilsson (1996, 1997), Zwick (2004) i Waringer i Graf (2011).

Nakon izolacije makrozoobentosa preostale uzorke sedre sam granulometrijski razvrstala razdvojila procjeđivanjem kroz sita veličine pora 1 mm i 50 μm . Tako sam dobila 3 veličinska razreda koji su odgovarali krupnim, sitnim i vrlo sitnim česticama.

Svi veličinski razredi su sušeni u zdjelicama pod infra-sol svjetiljkom do dehidriranja, pri 104 °C te hlađeni u eksikatoru. Na digitalnoj vagi sam izvagala uzorak, a nakon toga žarila u peći na 400 °C, gdje je tijekom 4 sata sva organska tvar oksidirala do ugljikovog dioksida. Nakon žarenja ponovno sam izvagala uzorak. Razlika u masi prije i poslije žarenja u odgovara količini organske tvari u supstratu za pojedini veličinski razred: CPOM, FPOM i UPOM.

Po tri uzorka svakog veličinskog razreda organske tvari sam analizirala i energetski spaljivanjem u kalorimetru (IKA 5000).

Za analizu podataka koristila sam Kruskal-Wallisovu analizu varijance i povezani test višestruke usporedbe srednjih vrijednosti, za utvrđivanje značajnosti razlika brojnosti svojta između pojedinih tipova posuda (Zar, 1996; Dell Statistica, 2015). Ovu sam metodu odabrala zbog relativno malog broja uzoraka za koje se ne može pouzdano utvrditi normalnost raspodjele te stoga na njima ne valja provoditi parametrijske statističke analize. Iz analiza sam izuzela uzorke dviju klopki otvorenih odozgo jer su se tijekom vađenja klopke slojevi pomiješali.

Za utvrđivanje povezanosti između brojnosti pojedinih svojta i količine pohranjene organske tvari koristila sam Pearsonov koeficijent korelacije.

U analize sklonosti svojta pojedinom migracijskom ponašanju uzimala sam samo svojte koje su bile brojnije od 5 %.

4. REZULTATI

4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode

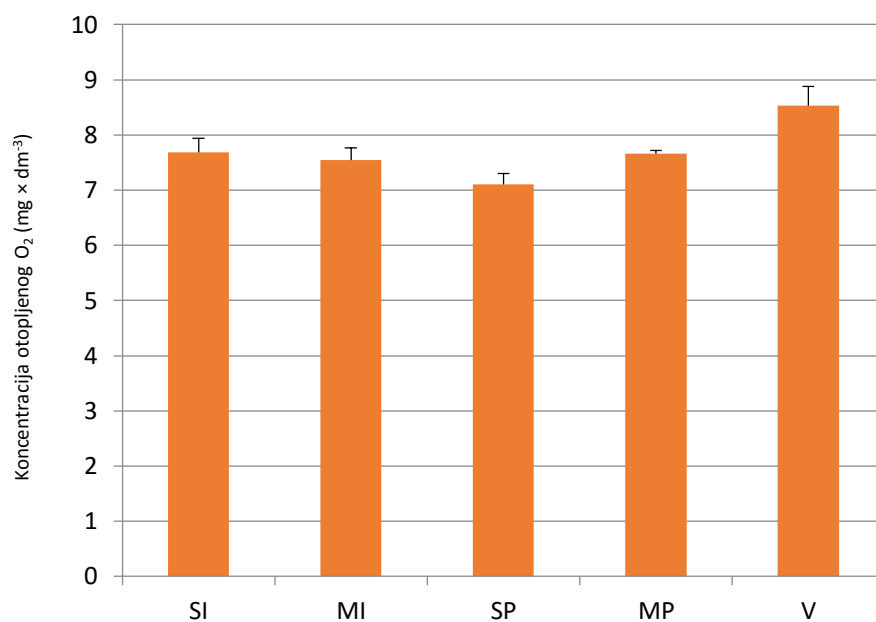
Prosječna temperatura vode tijekom istraživanja bila je $17,9 \pm 0,1$ °C i nije se razlikovala između površinske vode, vode između stabalaca mahovina i vode u sedrenom sloju. Prema koncentraciji otopljenog kisika, pH i električne provodljivosti nije bilo razlika između prirodnog sedrenog supstrata i supstrata u pokusnim podlogama premda su vrijednosti koncentracije otopljenog kisika bile nešto više, a električne provodljivosti i pH nešto niže u pokusnim posudama u odnosu na prirodni supstrat.

Prosječne vrijednosti koncentracije otopljenog kisika u implantiranoj mahovini i sedri ($7,55$ i $7,68$ mg O₂ dm⁻³), kao i u prirodnoj mahovini i sedri ($7,67$ i $7,1$ mg O₂ dm⁻³) bile su niže nego u površinskoj vodi, gdje sam jedino zabilježila prosječnu vrijednost iznad 8, točnije $8,53$ mg O₂ dm⁻³ (Slika 5). Kruskal-Wallisovom analizom varijance i povezanim testom višestruke usporedbe srednjih vrijednosti, utvrdila sam da su količine otopljenog kisika u pokusnim podlogama i u prirodnom sedrenom supstratu statistički značajno niže od onih u površinskoj vodi ($H_{(4, N = 23)} = 17,84$; $p = 0,0013$). U količini kisika između sedrenog intersticija i mahovinskog sloja nisam utvrdila statistički značajnu razliku.

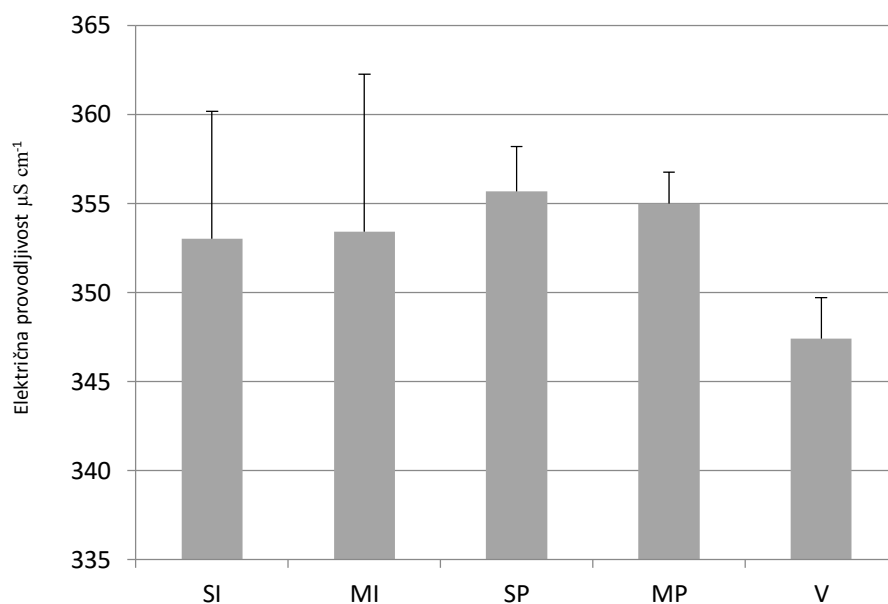
Srednja vrijednost električne provodljivosti u implantiranoj sedri i mahovini redom je bila 353 i $353,4$ μS cm⁻¹, dok je u prirodnoj sedri i mahovini bila viša, te iznosila $355,7$ i 355 μS cm⁻¹. Najniža izmjerena vrijednost električne provodljivosti bila je u površinskoj vodi ($347,4$ μS cm⁻¹) (Slika 6). Električna provodljivost je bila statistički značajno niža u površinskoj vodi u odnosu i na mahovinski sloj i na sedreni intersticij ($H_{(4, N = 22)} = 8,24$ $p = 0,0382$).

Srednje vrijednosti pH vode u implantiranoj i prirodnoj sedri, kao i implantiranoj i prirodnoj mahovini, te površinskoj vodi nisu se značajno razlikovale. Sve vrijednosti su bile u rasponu od $8,2$ do $8,3$ (Slika 7).

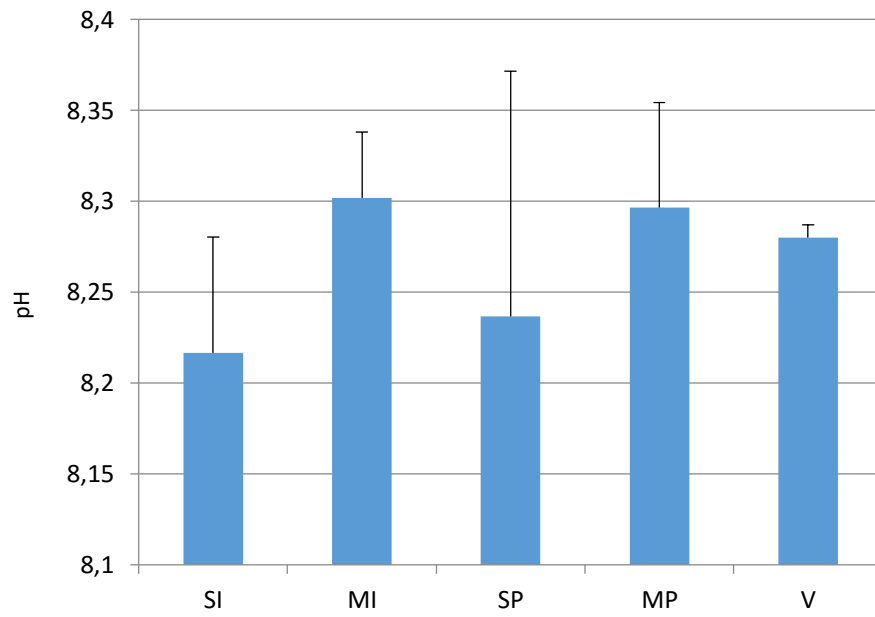
Budući da se brzina toka vode u intersticiju u odnosu na površinsku smanjila za oko 1000 puta i da prostorno nema obilježja tečenja jer se širi u više smjerova, koristit ću termin intersticijski prodor vode. Brzina prodora vode u smjeru sile gravitacije je bila $0,75$ mm min⁻¹, a nizvodno (u smjeru površinskog toka) $1,25$ mm min⁻¹. Bočni prodor je bio gotovo zanemariv s oko $0,15$ mm min⁻¹.



Slika 5. Srednje vrijednosti koncentracije O₂: implantirana sedra na dubini 5 cm (SI), implantirana mahovina (MI), prirodni supstrat sedre na dubini 5 cm (SP), prirodni supstrat mahovine (MP), površinska voda (V).



Slika 6. Srednja vrijednost električne provodljivosti: implantirana sedra na dubini 5 cm (SI), implantirana mahovina (MI), prirodni supstrat sedre na dubini 5 cm (SP), prirodni supstrat mahovine (MP), površinska voda (V).



Slika 7. Prosječne pH vrijednosti vode: implantirana sedra na dubini 5 cm (SI), implantirana mahovina (MI), prirodni supstrat sedre na dubini 5 cm (SP), prirodni supstrat mahovine (MP), površinska voda (V).

4.2. Makrozoobentos

4.2.1. Sastav makrozoobentosa

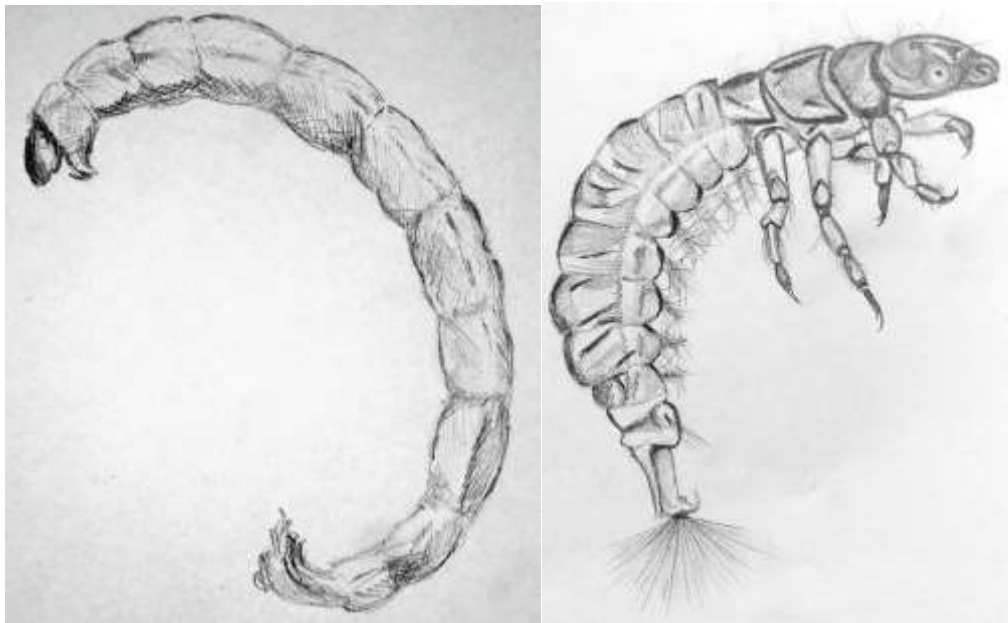
U prikupljenim uzorcima izolirala sam svojite virnjaka (Turbellaria), oblića (Nematoda), maločetinaša (Anellida, Oligochaeta) i kukaca (Arthropoda, Hexapoda). Daljnju determinaciju obavila sam samo za predstavnike razreda kukaca zbog njihove dominantnosti u istraživanoj zajednici, ali i zbog pouzdanosti određivanja svojita (Tablica 1).

Tablica 1. Svojite makrozoobentosa prikupljene pokusnim klopka u svim uzorcima;

◆ dominantno (> 15 %), ❖ vrlo često (> 10 %), ♦ često (> 5 %).

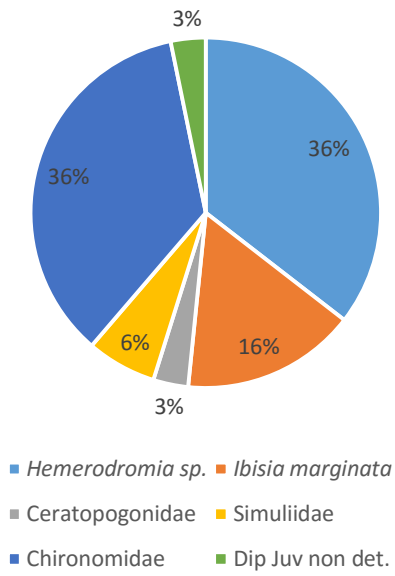
| Koljeno | Svojta | Dominantnost |
|-----------------|---------------------------------|--------------|
| Platyhelminthes | TURBELLARIA | |
| Nematoda | NEMATODA | |
| Annelida | OLIGOCHAETA | ❖ |
| Arthropoda | EPHEMEROPTERA | |
| | ODONATA | |
| | PLECOPTERA | |
| | <i>Amphinemura traingularis</i> | |
| | Juv. non det | ♦ |
| | HEMIPTERA | |
| | COLEOPTERA | |
| | <i>Normandia nitens</i> | ❖ |
| | <i>Oulimnius tuberculatus</i> | |
| | <i>Riolus cupreus</i> | ♦ |
| | <i>Limnius volckmari</i> | |
| | <i>Scirtes hemisphaericus</i> | |
| | TRICHOPTERA | |
| | <i>Hydropsyche</i> sp. | ◆ |
| | <i>Glossosoma bifidum</i> | |
| | <i>Wolmaldia subnigra</i> | |
| | <i>Philopotamus</i> sp. | |
| | <i>Baereamyia</i> sp. | |
| | <i>Tinodesa</i> sp. | |
| | DIPTERA | |
| | <i>Ibisia marginata</i> | ♦ |
| | <i>Hemerodromia</i> sp. | ◆ |
| | Ceratopogonidae | |
| | Simuliidae | |
| | Chironomidae | ◆ |
| | Juv. non det. | |

Predstavnici razreda koji su se rijetko pojavljivali u uzorcima bili su polukrilci (Hemiptera), vretenca (Odonata) i opnokrilci (Hymenoptera). Što se tiče dvokrilaca (Diptera) koji su sveukupno bili najbrojniji, dominirali su pripadnici vrste *Hemerodromia* sp., te ličinke predstavnika porodice *Chironomidae* (Slika 8 i 9). Često sam nalazila tulare (Trichoptera), među kojima je dominantna svojta bila *Hydropsyche* sp. (Slika 8 i 9). Među kornjašima (Coleoptera) kodominantne su bile dvije vrste, *Normandia nitens* i *Riolus cupreus* (Slika 9). Iz reda obalčara (Plecoptera) utvrdila sam vrstu *Amphinemura triangularis*, jedinu vrstu roda *Amphinemura* koja naseljava Plitvička jezera. Najbrojniji obalčari su ipak bile juvenilne jedinke koje nije bilo moguće odrediti niti do razine roda jer se radilo o prvom ili drugom ličinačkom stadiju odnosno jedinkama koje su bile manje od 1 mm te bez razvijenih vrsnih obilježja (Slika 9).

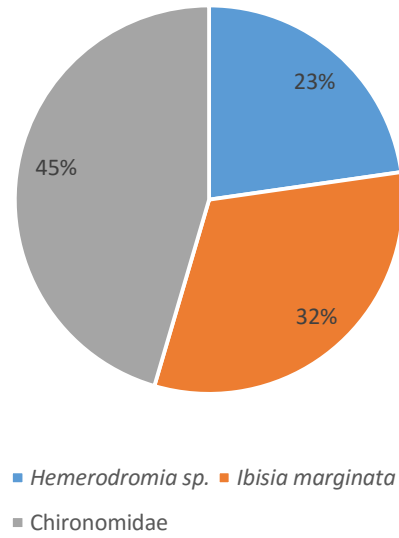


Slika 8. Dominantne jedinke nađene u uzorcima: ličinke Chironomidae (lijevo) i *Hydropsyche* sp. (desno).

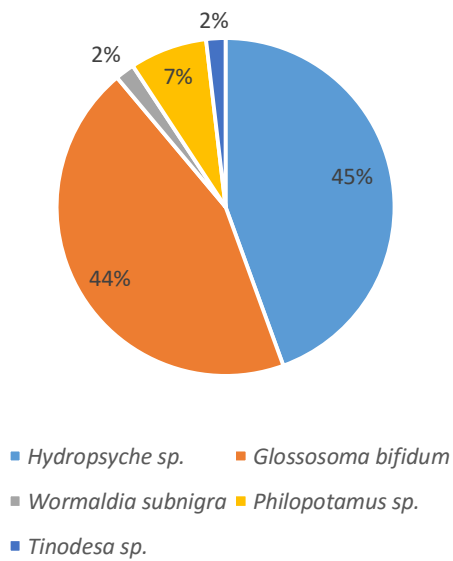
a)



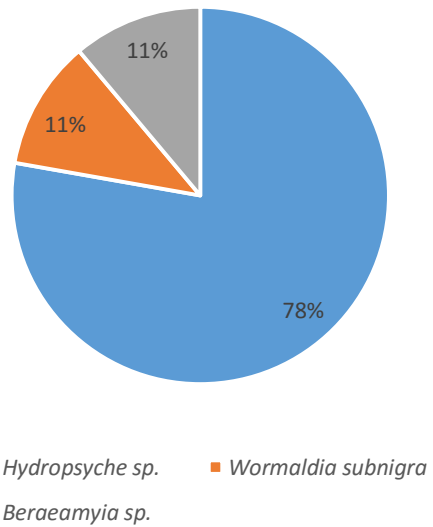
b)



c)



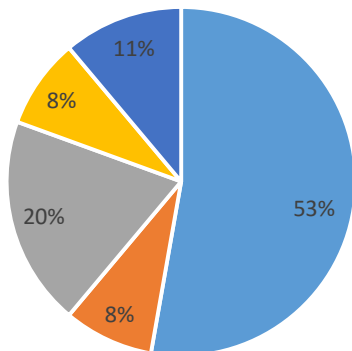
d)



Slika 9. Udio svojta u uzorcima po redovima: a) Diptera gornji sloj, b) Diptera donji sloj, c) Trichoptera gornji sloj, d) Trichoptera donji sloj, e) Coleoptera gornji sloj, f) Coleoptera donji sloj, g) Plecoptera gornji sloj, h) Plecoptera donji sloj (nastavlja se).

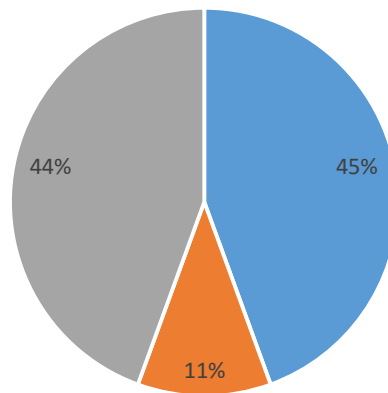
Nastavak slike 9.

e)



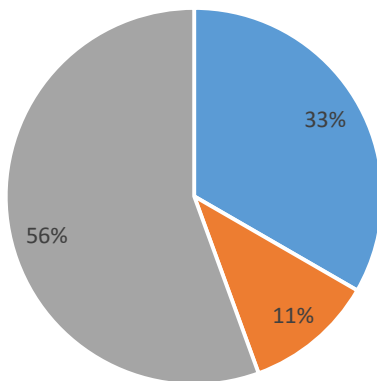
■ *Normandia nitens* ■ *Oulimnius tuberculatus*
 ■ *Riolus cupreus* ■ *Limnius volckmari*
 ■ *Scirtes hemispaericus*

f)



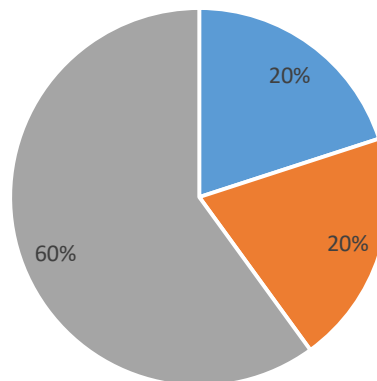
■ *Normandia nitens* ■ *Oulimnius tuberculatus*
 ■ *Riolus cupreus*

g)



■ *Leuctra* ■ *Amphinemura sp.* ■ *Ple Juv non det.*

h)



■ *Isoperla* ■ *Amphinemura sp.* ■ *Ple Juv non det.*

Slika 9. Udio svojta u uzorcima po redovima: a) Diptera gornji sloj, b) Diptera donji sloj, c) Trichoptera gornji sloj, d) Trichoptera donji sloj, e) Coleoptera gornji sloj, f) Coleoptera donji sloj, g) Plecoptera gornji sloj, h) Plecoptera donji sloj.

4.2.2. Obrasci migracija i naseljavanja makrozoobentosa

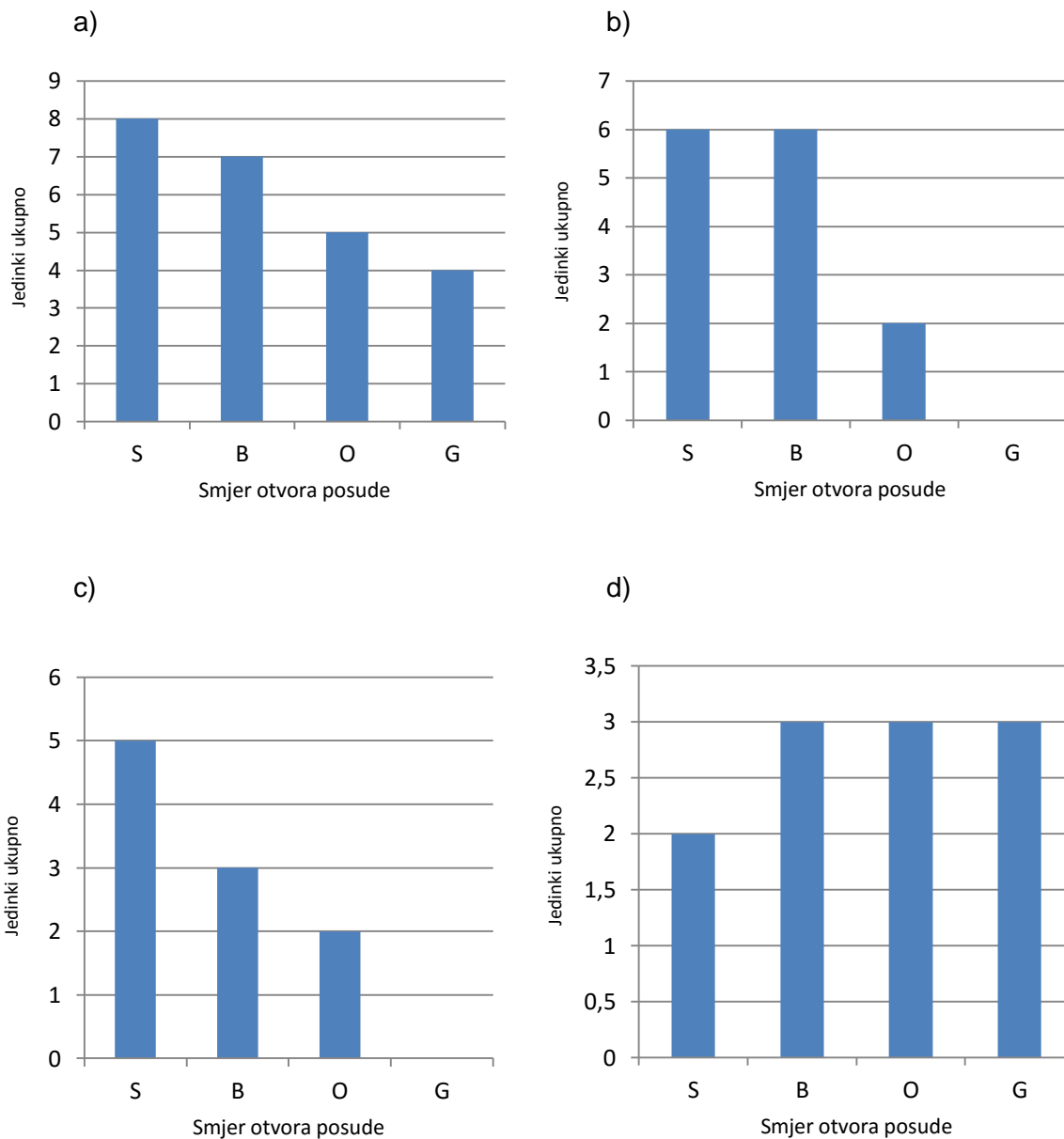
Makrozoobentos je bio statistički značajno brojniji i raznolikiji (više svojta) u gornjem sloju sedrenog intersticija. Svih svojta je bilo više u gornjem sloju sedrenog intersticija, osim predstavnika vrste *Ibisia marginata*. Ipak, Kruskal-Wallis analizom varijance utvrdila sam da se slojevi sedrenog intersticija statistički značajno razlikuju za brojnosti samo tri svojte. U gornjem je sloju bilo značajno više jedinki razreda Trichoptera i Coleoptera, te predstavnika vrste *Normandia nitens* (Tablica 2).

Budući da se radilo o relativno stohastičkoj skupini podataka konzervativno ću interpretirati i rezultate veće brojnosti Plecoptera i *Hydropsyche* sp., kao granično statistički značajne ($p < 0.1$) u svrhu izbjegavanja pogreške tipa 2 (Zar, 1996).

Tablica 2. Rezultati Kruskal-Wallis ANOVA-e za razlike u brojnosti svojta između gornjeg (G) i donjeg (D) sloja sedrenog supstrata (intersticija). U kurzivu su navedene granične vrijednosti statističke značajnosti; n.s. – nema statističke značajnosti.

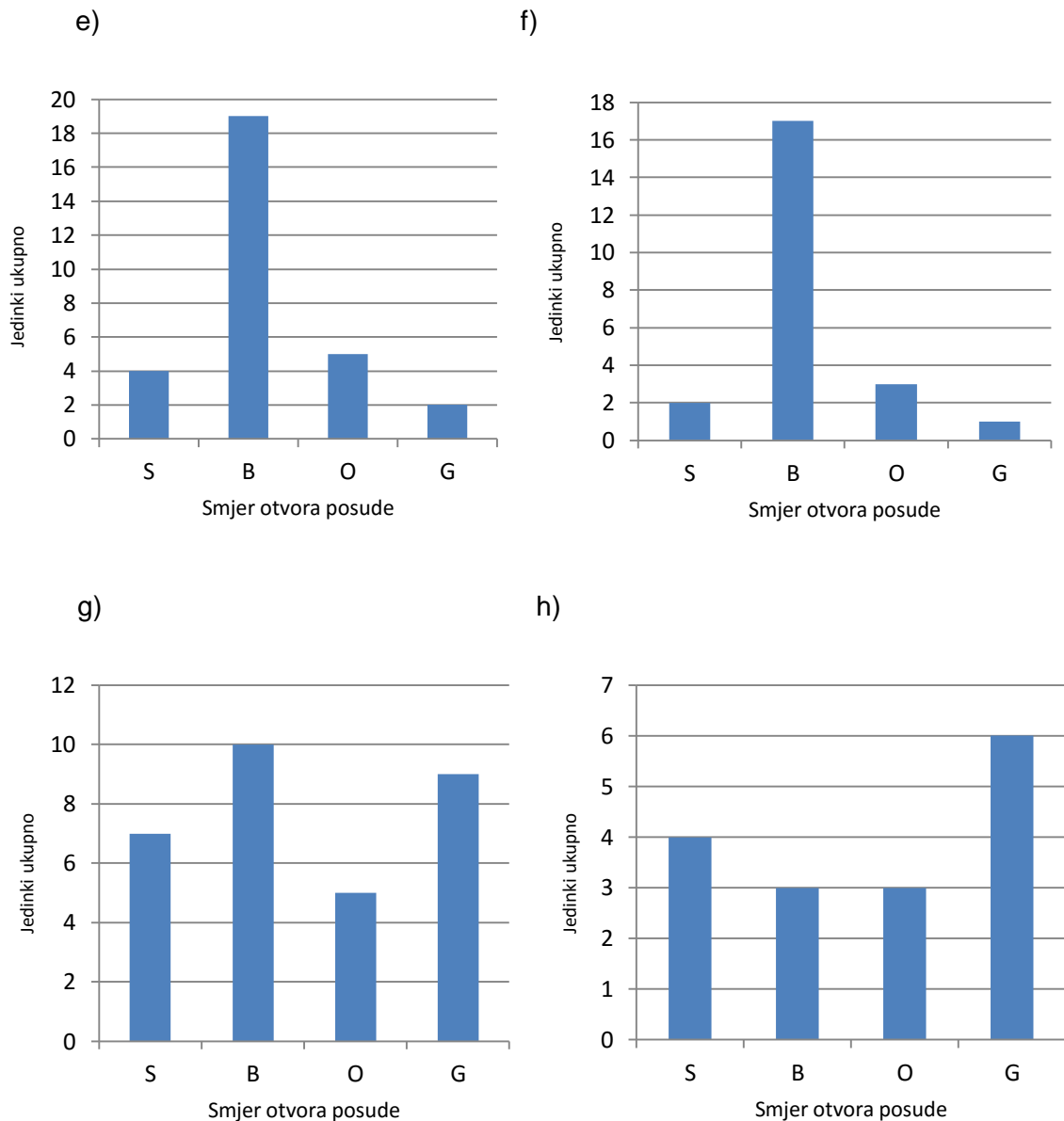
| | H _{(1,} N= 63) | <i>p</i> | sloj | postotna razlika |
|----------------------------|----------------------------|---------------|------|---------------------|
| Broj svojta | 11,65 | 0,0006 | G>D | 95,6% |
| Oligochaeta | 0,28 | 0,5994 | n.s. | 16,3% |
| Plecoptera | 2,76 | <i>0,0965</i> | G>D | 74,4% |
| Trichoptera | 6,09 | 0,0136 | G>D | 233,7% |
| Coleoptera | 12,91 | 0,0003 | G>D | 287,5% |
| Diptera (bez Chironomidae) | 0,46 | 0,4956 | n.s. | 61,5% |
| <i>Hydropsyche</i> sp. | 3,52 | <i>0,0608</i> | G>D | 232,1% |
| <i>Normandia nitens</i> | 10,14 | 0,0015 | G>D | 360,2% |
| <i>Riolus cupreus</i> | 0,87 | 0,3522 | n.s. | 69,5% |
| <i>Hemerodromia</i> sp. | 1,01 | 0,3148 | n.s. | 113,1% |
| <i>Ibisia marginata</i> | 0,49 | 0,4856 | n.s. | -30,8% |
| Chironomidae | 0,20 | 0,6577 | n.s. | 6,6% |
| Plecoptera juvenilni | 0,49 | 0,4819 | n.s. | 61,5% |
| Makrozoobentos ukupno | 13,28 | 0,0003 | G>D | 128,3% |

Sve svojte Diptera, kao i Plecoptera, najviše migriraju u klopke otvorene sprijeda, osim vrste *Hemerodromia* sp. čijih jedinki je bilo najmanje u klopkama otvorenim sprijeda. Predstavnici roda *Hydropsyche* su dominirali u klopkama otvorenim bočno, kao i ostali nađeni Trichoptera. Maksimalnu brojnost vrste *Riolus cupreus*, kao i gotovo svih ostalih Coleoptera zabilježila sam u klopkama koje omogućavaju samo lateralnu migraciju. Predstavnici vrste *Normandia nitens* bili su najbrojniji u klopkama otvorenim odozgo. Za red Plecoptera najveću brojnost sam zabilježila u klopkama otvorenim sprijeda. Za Oligochaeta nisam utvrdila sklonost usmjerenim migracijama (Slika 10).



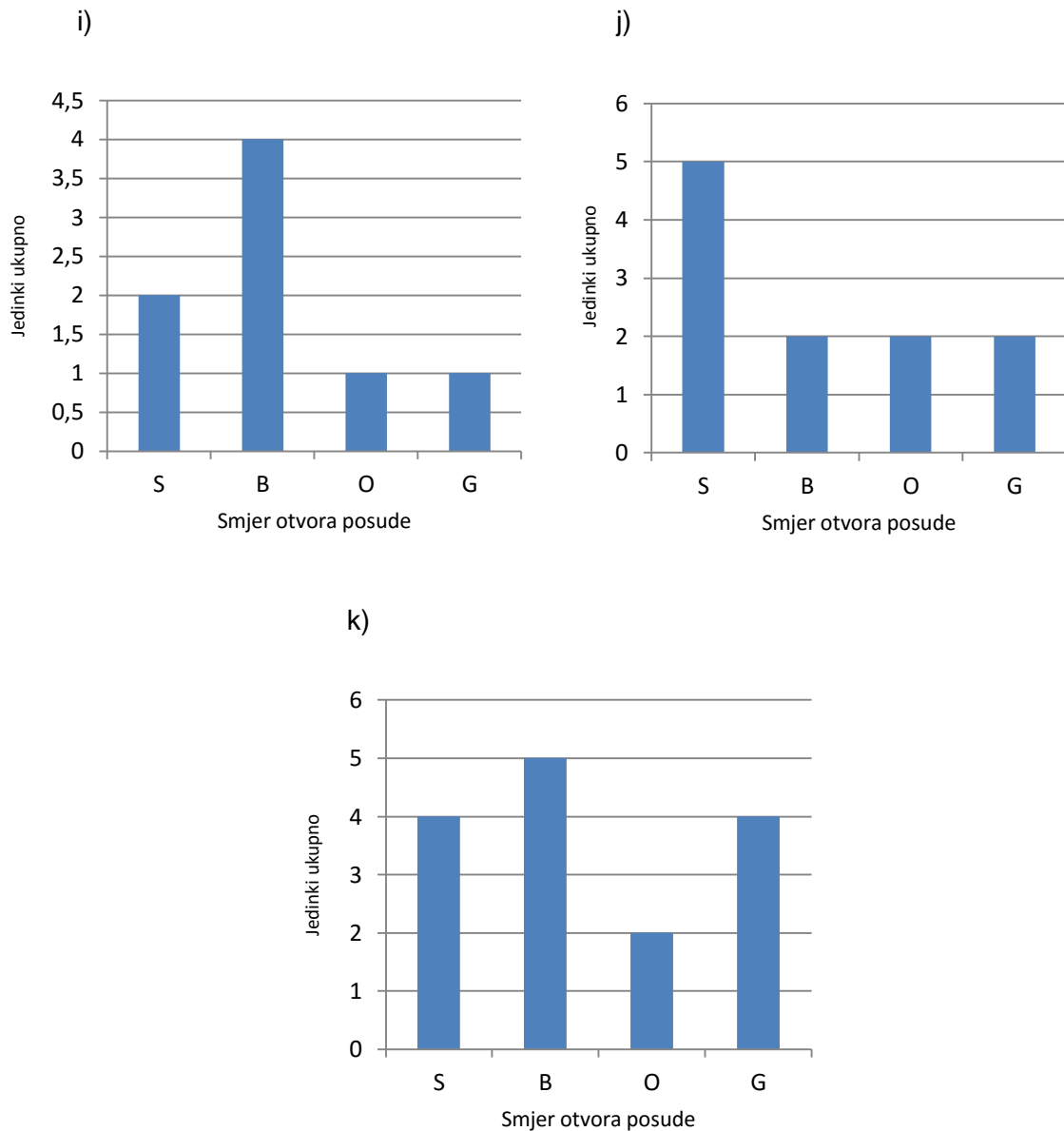
Slika 10. Migracijski obrasci naseljavanja s obzirom na smjer otvora posude: posuda otvorena sprijeda (S), bočno (B), straga (O) i gore (G) za: a) Diptera, b) Diptera (bez Chironomidae), c) *Ibisia marginata*, d) *Hemerodromia* sp., e) Trichoptera, f) *Hydropsyche* sp., g) Coleoptera, h) *Normandia nitens*, i) *Riolus cupreus*, j) Plecoptera, k) Oligochaeta (nastavlja se).

Nastavak slike 10.



Slika 10. Migracijski obrasci naseljavanja s obzirom na smjer otvora posude: posuda otvorena sprijeda (S), bočno (B), straga (O) i gore (G) za: a) Diptera, b) Diptera (bez Chironomidae), c) *Ibisia marginata*, d) *Hemerodromia* sp., e) Trichoptera, f) *Hydropsyche* sp., g) Coleoptera, h) *Normandia nitens*, i) *Riolus cupreus*, j) Plecoptera, k) Oligochaeta (nastavlja se).

Nastavak slike 10.



Slika 10. Migracijski obrasci naseljavanja s obzirom na smjer otvora posude: posuda otvorena srijeda (S), bočno (B), straga (O) i gore (G) za: a) Diptera, b) Diptera (bez Chironomidae), c) *Ibisia marginata*, d) *Hemerodromia* sp., e) Trichoptera, f) *Hydropsyche* sp., g) Coleoptera, h) *Normandia nitens*, i) *Riolus cupreus*, j) Plecoptera, k) Oligochaeta.

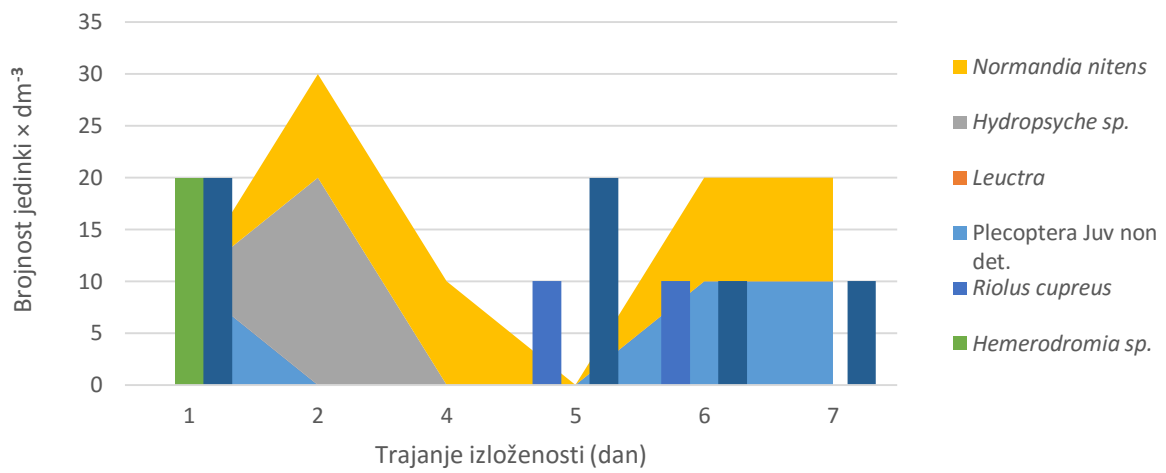
Utvrđila sam da nema pravilnog povećanja brojnosti jedinki makrozoobentosa tijekom pionirskog sedmodnevnog naseljavanja, te da jedinke koje su jedan dan prisutne u uzorku i sedrenom supstratu, već sljedeći dan ih nema ili ih ima manje u svim klopka bez obzira na smjer otvora. Također, maksimum naseljavanja nije postizan u najkasnijem danu. Jedino za predstavnike porodice Chironomidae sam utvrđila konstantnu brojnost u klopka

otvorenim bočno, tj. ujednačen broj jedinki tijekom pokusa. Gotovo sve svojite su postizale izrazito više maksimume brojnosti u odnosu na prirodnu zajednicu, a ovo je posebno bilo izraženo za donji sloj supstrata. Prirodne brojnosti nisu premašili samo Oligochaeta u oba sloja, nego i Plecoptera, Diptera, Chironomidae i *Ibisia marginata* u gornjem sloju sedre (Tablica 3). Brojnost jedinki se naizmjenično smanjuje i povećava tijekom svih sedam dana, te dan na koji je klopka izvađena iz prirodnog staništa nema uočljive veze s brojnošću nađenih jedinki makrozoobentosa (Slika 11).

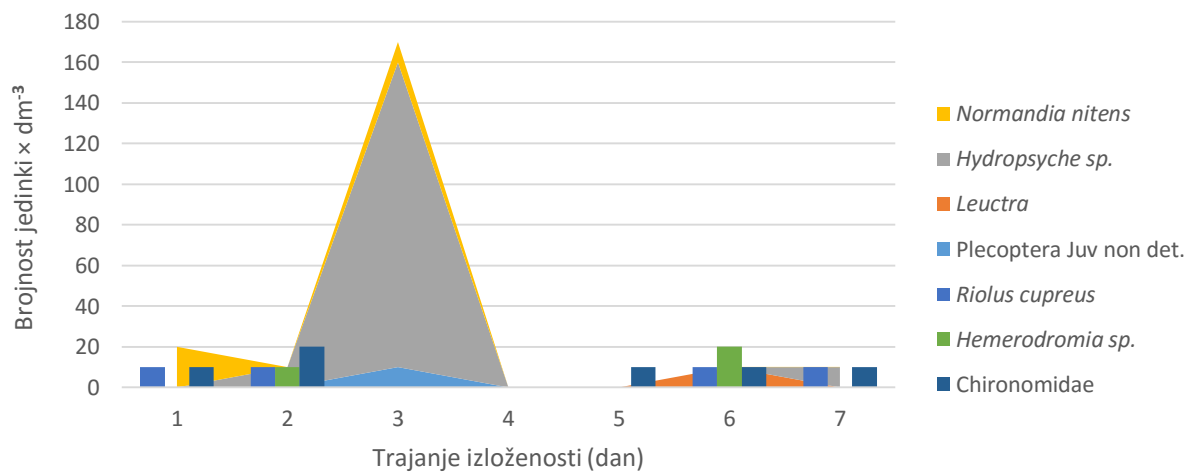
Tablica 3. Usporedba naseljenosti dominantnih svojita tijekom pokusa u odnosu na prirodnu naseljenost supstrata (donji i gornji sloj; D i G) na barijeri Novakovića Brod.

| | Najveća brojnost u pokusnim posudama (jedinki dm ⁻³) | | Srednja brojnost u prirodnom staništu (jedinki dm ⁻³) | | Udio naseljavanja (%) | |
|-------------------------|--|-----|---|-------|-----------------------|------|
| | D | G | D | G | D | G |
| Oligochaeta | 40 | 30 | 207,6 | 388,3 | 19 | 8 |
| Plecoptera | 20 | 10 | 0,13 | 19,0 | 15385 | 53 |
| Trichoptera | 30 | 120 | 3,3 | 19,7 | 909 | 609 |
| Coleoptera | 10 | 50 | 1,2 | 8,0 | 833 | 625 |
| Diptera | 20 | 30 | 13,5 | 39,0 | 148 | 77 |
| <i>Hydropsyche</i> sp. | 30 | 120 | 0,5 | 15,6 | 6000 | 769 |
| <i>Normandia nitens</i> | 10 | 30 | 0,4 | 2,7 | 2500 | 1111 |
| <i>Riolus cupreus</i> | 10 | 10 | 0,8 | 5,3 | 1250 | 189 |
| <i>Hemerodromia</i> sp. | 10 | 20 | 3,9 | 14,3 | 256 | 140 |
| <i>Ibisia marginata</i> | 10 | 10 | 9,2 | 20,5 | 109 | 49 |
| Chironomidae | 30 | 20 | 31,0 | 70,2 | 97 | 28 |

a)



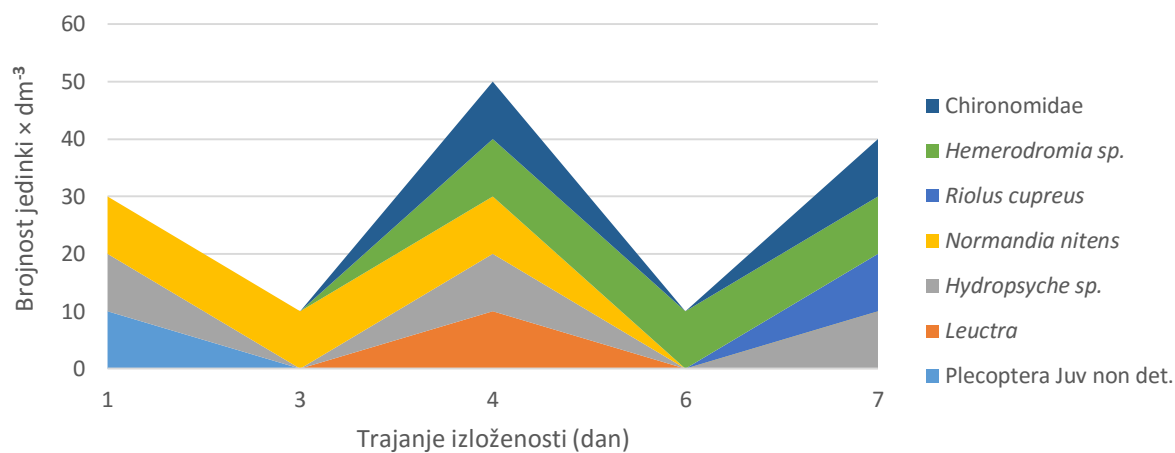
b)



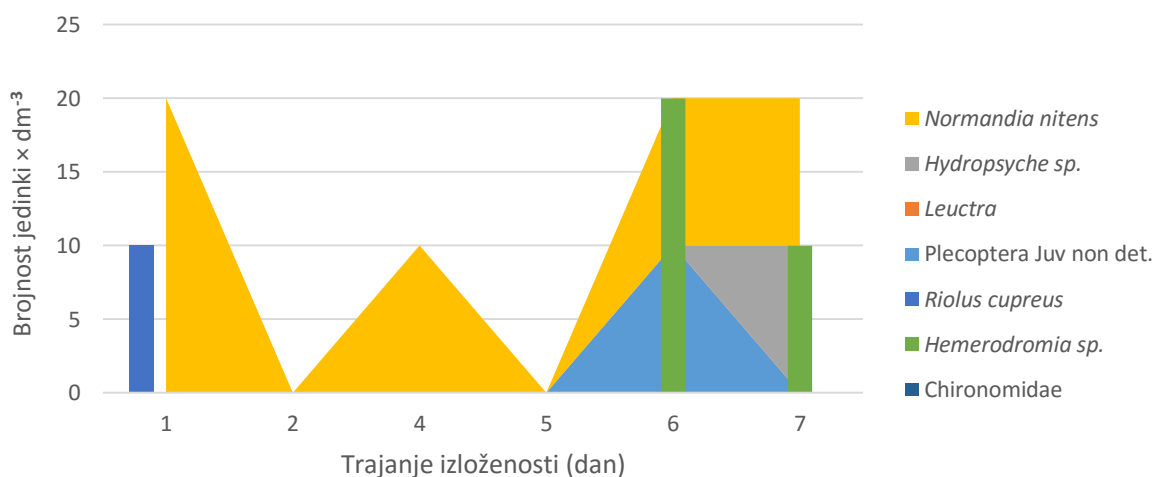
Slika 11. Naseljavanje makrozoobentosa s obzirom na smjer otvora klopke: a) sprijeda, b) bočno, c) straga, d) gore (nastavlja se).

Nastavak slike 11.

c)



d)



Slika 11. Prikaz brojnosti jedinki i naseljavanja makrozoobentosa klopki tijekom 7 dana istraživanja na barijeri Novakovića Brod s obzirom na smjer otvora klopke: a) sprijeda, b) bočno, c) straga, d) gore.

4.3. Akumulacija i dinamika organske tvari

Najzastupljeniji veličinski razred usitnjene organske tvari sveukupno bio je CPOM, a najmanje zastupljen FPOM (Tablica 4). Utvrdila sam značajnu razliku u količini pohranjene organske tvari između slojeva sedrenog intersticija. U donjem sloju je bio značajno više svih

veliĉinskih razreda organske tvari. Gotovo u svim uzorcima u donjim slojevima je veća akumulacija organske tvari svih veliĉinskih razreda u odnosu na gornji sloj (Tablica 5).

Energetski su najizdašnije bile ĉestice CPOM koje su sadržavale 16,975 kJ g⁻¹, gotovo dvostruko manje energije pohranjeno je u ĉesticama FPOM 7,496 kJ g⁻¹, te najmanje u ĉesticama UPOM 4,360 kJ g⁻¹ (Tablica 4).

Tablica 4. Masena (m) i energetska (E) zastupljenost veliĉinskih razreda organske tvari u gornjem i donjem sloju sedrenog intersticija.

| | Gornji sloj | | Donji sloj | |
|------|-------------|-------|------------|-------|
| | m | E | m | E |
| CPOM | 32,24 | 62,63 | 29,80 | 59,53 |
| FPOM | 9,93 | 8,52 | 12,05 | 10,63 |
| UPOM | 57,83 | 28,85 | 58,15 | 29,84 |

Tablica 5. Rezultati Kruskal-Wallis ANOVA-e za koliĉinu pohranjene organske tvari izmeĊu gornjeg (G) i donjeg (D) sloja sedrenog supstrata (intersticija).

| | H _(1, N= 63) | p | sloj | razlika |
|------|-------------------------|---------|------|---------|
| CPOM | 13,27 | 0,0003 | D>G | -21,4% |
| FPOM | 18,16 | <0,0001 | D>G | -40,1% |
| UPOM | 11,39 | 0,0007 | D>G | -30,3% |

Utvdila sam razlike u akumulaciji i dinamici ĉestica organske tvari razliĉitih veliĉina u klopama. U svim pokusnim posudama i slojevima sedre najviše je bilo CPOM i to u gornjem sloju u posudama otvorenim sprijeda, a u donjem u posudama otvorenim odozgo. Najviše FPOM zabilježila sam u supstratu u posudama otvorenim odozgo u gornjem sloju, a u donjem sloju sedrenog supstrata u boĉno otvorenim posudama. Najviše frakcije UPOM bilo je u supstratu u posudama otvorenim sprijeda u gornjem sloju, a boĉno otvorenim u donjem sloju (Tablica 6).

Tablica 6. Ukupna masa (g) svih veličinskih razreda usitnjene organske tvari nakupljene u klopka otvorenim: sprijeda (S), bočno (B), straga (O), gore (G), za slojeve sedrenog intersticija: a) gornji, b) donji.

a)

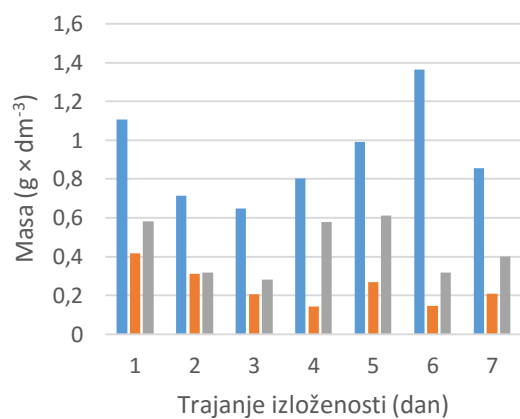
| | S | B | O | G |
|------|--------|--------|--------|--------|
| CPOM | 0,6485 | 0,5902 | 0,5048 | 0,5902 |
| FPOM | 0,1704 | 0,1602 | 0,1260 | 0,1720 |
| UPOM | 0,3090 | 0,2659 | 0,2102 | 0,3073 |

b)

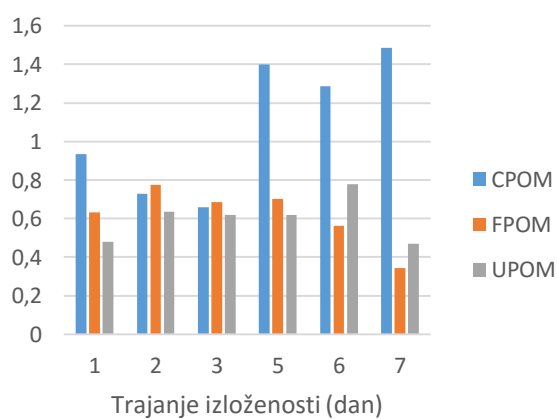
| | S | B | O | G |
|------|--------|--------|--------|--------|
| CPOM | 0,6492 | 0,6745 | 0,6409 | 0,8506 |
| FPOM | 0,3701 | 0,3907 | 0,2271 | 0,2256 |
| UPOM | 0,3599 | 0,4717 | 0,3251 | 0,4183 |

U klopka koje su bile otvorene odozgo u oba sloja intersticija za količinu CPOM bilježila sam porast količine organske tvari u uzorcima tijekom dana, dok za ostale nisam uočila pravilan obrazac akumulacije i dinamike protoka (Slika 12).

a)

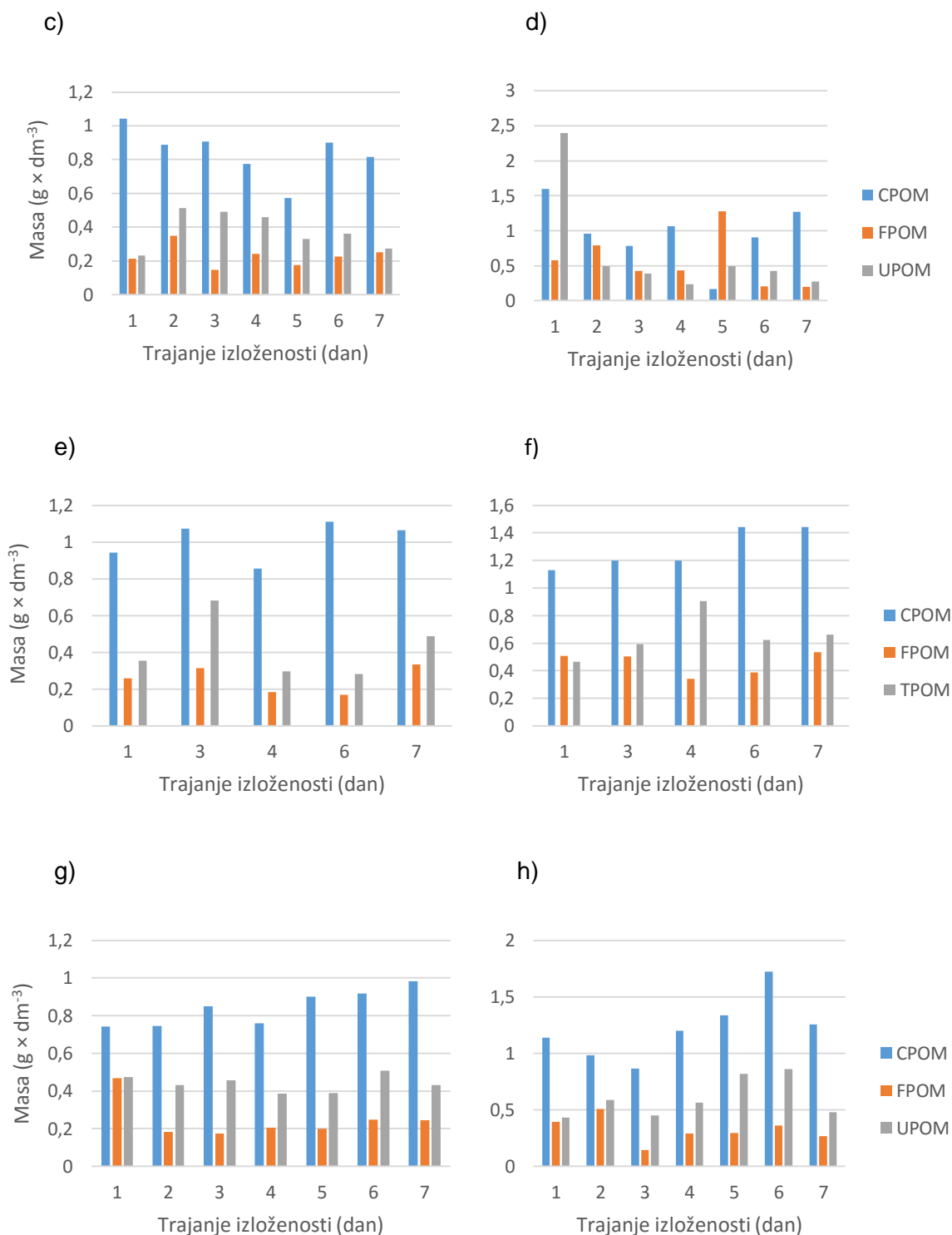


b)



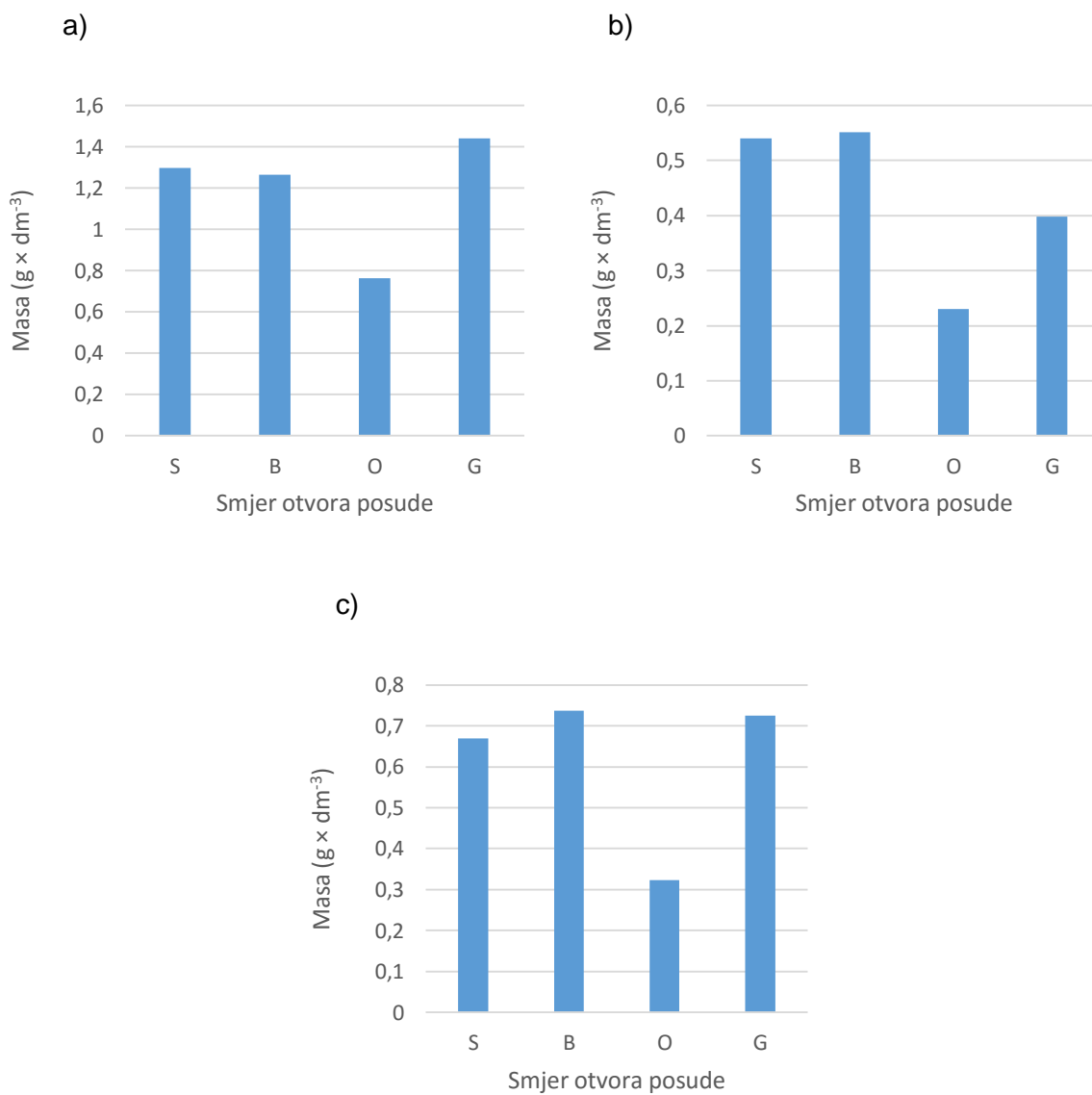
Slika 12. Prikaz akumulacije organske tvari (g) tijekom sedam dana s obzirom na smjer klopke posude i sloj sedrenog intersticija za: a) sprijeda gore, b) sprijeda dole, c) bočno gore, d) bočno dole, e) straga gore, f) straga dole, g) odozgo gore, h) odozdo dole (nastavlja se).

Nastavak slike 12.



Slika 12. Prikaz akumulacije organske tvari (g) tijekom sedam dana s obzirom na smjer klopke posude i sloj sedrenog intersticija za: a) sprijeda gore, b) sprijeda dole, c) bočno gore, d) bočno dole, e) straga gore, f) straga dole, g) odozgo gore, h) odozdo dole.

Akumulacija sva tri veličinska razreda čestica bila je najmanja u pokusnim posudama otvorenim bočno. Najveću prisutnost CPOM bilježim u pokusnim posudama koje su bile otvorene odozgo, a najviše FPOM, kao i UPOM u bočno otvorenim posudama (Slika 13).



Slika 13. Prikaz akumulacije 3 veličinska razreda organske tvari (g) tijekom 7 dana s obzirom na smjer otvora posude: posuda otvorena sprijeda (S), bočno (B), straga (O) i gore (G) za: a) CPOM, b) FPOM, c) UPOM.

Pearsonovim koeficijentom korelacije utvrdila sam povezanost niza svojta s količinom pojedinih veličinskih razreda organske tvari. Izuzev pozitivne korelacije brojnosti vrste *Ibisia marginata* sve ostale statistički značajne korelacije bile su negativne. Brojnosti po četiri svojte su bile statistički značajno korelirane s masom CPOM i FPOM, a samo brojnost porodice Chironomidae i s UPOM. Njihova brojnost bila je negativno korelirana i s FPOM. Jedina svojta čija je brojnost također bila korelirana s masama dviju veličinskih razreda organske tvari je bila *Hydropsyche* i to s CPOM i FPOM (Tablica 7).

Tablica 7. Pearsonovi koeficijenti korelacije između brojnosti pojedinih svojta i mase pojedinih veličinskih razreda i ukupne mase organske tvari (TPOM) u svim pokusnim klopama. Podebljanim znakovima obilježene su statistički značajne korelacije $p < 0,05$, a kurzivom granično značajne $p < 0,09$, $N = 63$.

| | CPOM | FPOM | UPOM | TPOM |
|----------------------------|--------------|--------------|-------|--------------|
| Oligochaeta | 0,04 | -0,08 | 0,01 | 0,00 |
| Plecoptera | 0,02 | 0,06 | -0,03 | 0,02 |
| Trichoptera | -0,18 | -0,16 | -0,12 | -0,22 |
| Coleoptera | -0,21 | -0,24 | -0,12 | -0,26 |
| Diptera (non Chironomidae) | 0,05 | -0,07 | -0,01 | -0,01 |
| Ple non det. | 0,03 | -0,06 | -0,01 | -0,02 |
| <i>Hydropsyche</i> sp. | -0,25 | -0,23 | -0,08 | -0,15 |
| <i>Normandia nitens</i> | -0,23 | -0,19 | 0,03 | -0,18 |
| <i>Riolus cupreus</i> | 0,04 | -0,04 | -0,13 | -0,06 |
| <i>Hemerodromia</i> sp. | 0,08 | -0,08 | -0,03 | -0,01 |
| <i>Ibisia marginata</i> | 0,24 | 0,04 | 0,08 | 0,11 |
| Chironomidae | 0,01 | -0,27 | -0,23 | -0,13 |
| Total | -0,19 | -0,26 | -0,16 | -0,28 |

5. RASPRAVA

Razlike u količini otopljenog kisika i provodljivosti između intersticija i površinske vode uzrokovani su najvjerojatnije heterotrofnom respiracijom. Heterotrofi tako troše kisik iz vode i u nju otpuštaju CO₂. Tako se medij na mikro skali zakiseljuje te se otapa vapnenac i u otopinu se otpuštaju ioni koji povećavaju električnu provodljivost vode (Woodruff i sur., 1999; Plant i House, 2002). Osim toga, mikrobna komponenta heterotrofne faune razgradnjom detritusa sudjeluje u remineralizaciji, a otpušteni ioni se slabo otplavljaju jer je brzina strujanja vode u sastojinama mahovina višestruko manja nego u površinskom sloju (Miliša i sur., 2006a). Ovaj je proces najvjerojatnije najzaslužniji za višu električnu provodljivost vode u intersticiju.

Kao što je i očekivano za vodu u kojoj se kontinuirano otapaju karbonatni i bikarbonatni ioni i u kojoj je moguć proces osedavanja, tijekom istraživanja izmjerene pH vrijednosti su bile više od 8. Zbog puferских svojstava ove otopine pH se očekivano nije značajno razlikovao između površinske i intersticijske vode.

Najbrojnije jedinke nađene u klopama pripadaju redu Diptera, Trichoptera i Coleoptera, što je razumljivo jer su na Plitvičkim jezerima ti redovi kukaca sveprisutni i dominantni u prirodnim zajednicama. Ovi rezultati odgovaraju i podacima iz neosedavajućih sustava u kojima su Diptera i biomasom najzastupljeniji u prvih 10 cm intersticija (Winkelman i sur., 2003). Sve navedene svojte su dobro prilagođene uvjetima u intersticiju i to načinom prehrane jer sve svojte mogu postati oportunistički detritivori (Moog, 2002). Osim toga Coleoptera su prilagođeni dimenzijama tijela, a Diptera i Trichoptera oblikom tijela i nedostatkom hitinskog skeleta (Nilsson, 1996, 1997; Waringer, 2011).

Tijekom 7 dana nema pravilnog porasta brojnosti jedinki u klopama, što ukazuje na to da životinje povremeno koriste intersticij kao zaklon od grabežljivaca ili drugih nepovoljnih uvjeta, te u tom području traže hranu i planirano pionirski migriraju dalje u potrazi za povoljnijim uvjetima za život. Pronalazak predstavnika više svojti zajedno u gotovo svakoj klopi u kojoj su jedinke bile prisutne ukazuje na suživot vrsta, ali i interspecijski odnos kompetitivnosti za izvorom hrane, tj. detritusom zbog kojeg su u neprestanoj potrazi i dinamičnom kretanju (Dole-Olivier i sur., 2011). Također, abiotički parametri tekućice se nisu mijenjali tijekom istraživanja niti time uzrokovali stres životinjama i promjenu uvjeta i staništa, stoga životinje nisu bile prisiljene trajno ostati u sloju intersticija kao u skloništu za nepovoljne uvjete i neočekivane promjene. Eventualni biotički pritisci poput grabežljivaca su povremeni te ne utječu na trajnije naseljavanje intersticija (Lenting i sur., 1997).

Postignuti maksimumi brojnosti tijekom pionirskog naseljavanja klopi, koji su bili višestruko viši nego brojnost istih svojta u prirodnom supstratu, ukazuju da sve prave

bentoske svojte preferiraju refugijalna svojstva dubljeg sedrenog supstrata odnosno da se vrlo često upuštaju u istraživanje dubokog sedrenog intersticija. Također, ove brojnosti ukazuju i na dinamička svojstva i nestalnost bentoske zajednice čiji predstavnici poduzimaju migracije u svim smjerovima.

U intersticijskoj zajednici obično dominiraju Oligochaeta (Miliša i sur., 2006b). Manju količinu predstavnika Oligochaeta koji su detritivori (Moog, 2002) objašnjavam time što su klopke prodirale relativno plitko u sedreni intersticij (samo 8 cm), a jedinke Oligochaeta žive i hrane se na većim dubinama (Winkelmann i sur., 2003). Prodiranje u intersticijske slojeve im omogućava fleksibilnost tijela, te su skloniji naseljavanju prvenstveno dubljih slojeva (Bretschko, 1991) koji u ovom istraživanju nisu uzorkovani. Njihova manja brojnost je vjerojatno posljedica i slabije nakupljenosti finog detritusa kojim se hrane u odnosu na dublje slojeve i okolne prostore prirodne sedre. Naposljetku, izbjegavanjem ovog plitkog intersticija, tj. sloja u kojem su brojne jedinke drugih svojta izbjegavaju i kompeticiju za resurse (Lenting i sur., 1997).

Općenito, u uzorkovanim supstratima koji su podijeljeni na gornji i donji sloj, gornji je bio više naseljen. Jedinke u gornji sloj proučavanog sedrenog intersticija dolaze prolazeći kroz sloj mahovine, koji je obilno i najbrojnije naseljeno mikrostanište u tekućici (Minshall i Minshall, 1977; Miliša i sur., 2006). Dakle, u gornji sloj intersticija mogu ući puno brže i lakše nego u donji do kojeg trebaju duže migrirati kroz sedreni supstrat. Budući da im je primarno stanište u mahovini nije energetski isplativo prodirati dublje u intersticij. Također, u potrazi za detritusom ili skloništem, jedinke većinom u gornjem sloju sedre nađu oboje te u dublji sloj prodiru samo u iznimnim slučajevima i to najvjerojatnije mlađe i manje jedinke u pokušaju izbjegavanja kompeticije (Dole-Olivier, 2011).

Što se tiče vrste *Ibisia marginata* koja je grabežljivac, razlog njezine prisutnosti u dubljem sloju intersticija objašnjavam kao neuspješnu potragu za plijenom u gornjem sloju i daljnju ciljanu potragu u uvjetima dubljeg intersticija (Orrock i sur., 2011).

Ujednačena brojnost u oba sloja za Oligochaeta, Chironomidae i vrstu *Ibisia marginata* bila je očekivana. To su životinje bez razvijenog hitinskog skeleta te su prilagođene kretanju i korištenju resursa intersticijskih pukotina. *Hemerodromia* je također rod čiji su predstavnici mekog tijela, međutim njegovi su predstavnici grabežljivci, te svoj plijen ne traže u dubljim slojevima sedre već pri površini gdje je i plijena više. Ostale svojte imaju manje ili više razvijen hitinski skelet, te uglavnom nisu pravi stanovnici intersticija već ga koriste prvenstveno za zaklon kako od grabežljivaca tako i od struje vode, te za izbjegavanje kompeticije za resurse u površinskom sloju, ali ostaju relativno plitko u intersticiju (Dole-Olivier i sur., 1997; Lake, 2000; Dole-Olivier, 2011).

Ovo se posebno odnosi na mlade jedinke (1.-3. razvojni stadij) koje su slabi kompetitori i lak plijen, te su česti stanovnici i površinskih, ali i dubljih slojeva intersticija. Oni su i funkcionalno prilagođeni životu na intersticijskom ekotonu i u samom intersticiju jer većina ovih jedinki su detritivori, te za hranu koriste jedini obilno dostupni resurs u intersticiju – odumrlu organsku tvar (Miliša i sur., 2015). U kasnijem ontogenetskom razvoju prelaze na druge oblike hranjenja koristeći površinske resurse (Moog, 1995; Moog, 2002). To je i razlog što je za neke svoje poput Plecoptera i Diptera udio mladih ličinačkih stadija bio izrazito visok.

Prema smjeru otvora klopki najveća brojnost jedinki je bila u klopama otvorenim bočno, te su dominantne pionirske migracije makrozoobentosa bile lateralna i frontalna. Jedinke Trichoptera odnosno roda *Hydropsyche* koje su u ovom istraživanju bile izrazito dominantne, grade svoje mreže u mahovinama. Od njih odlaze u slučaju kada količina čestica nakupljena u mreži nije dovoljna za ishranu i mijenjaju strategiju pribavljanja hrane (Wotton i Malmqvist, 2001; Warren i sur., 2005). One se u potrazi za hranom dominantno kreću lateralno, vjerojatno orijentirajući se tokom odnosno prodorom vode. Krećući se uvijek okomito na nj, jedinke smanjuju mogućnost otplavlivanja nizvodno predaleko od svojih mreža. Vjerojatno u ovim migracijama ne poduzimaju dulja putovanja upravo zbog stalnog staništa uz mreže. Povoljno za njih je i ući u intersticij, te migrirati kroz njega jer nema opasnosti od otplavlivanja budući da je brzina strujanja vode 3 reda veličine manje nego na površini te dva reda veličine manje nego u mahovinskim sastojinama. Naposljetku, upravo predstavnici roda *Hydropsyche* mogu prijeći i na grabežljivačku prehranu te u dubljim slojevima potražiti i plijen (Moog, 1995).

Diptera su uz lateralnu migraciju u klopke većinom dospijevale frontalno, što može biti aktivnom migracijom, ali vjerojatnije pasivnim kretanjem, tj. donosom vode. Budući da je brzina protoka vode manja u supstratu sedre, jedinke mogu koristiti sedru i kao energetski isplativiji put do određene destinacije, tj. gibati se lateralno kroz sedru i isplivati na površinu u istom dijelu toka tekućice, te tamo nastaniti mahovinu. Za Coleoptera nema jedinstvenog obrasca migracije, podjednako su naseljavali sve klopke. Jedinke Plecoptera su najbrojnije u klopama otvorenima sprijeda, a budući da je većina nađenih Plecoptera juvenilnog stadija, mogu zaključiti da migriraju i dolaze u klopke pasivnim transportom u vodi (Zwick, 2004).

Čimbenici koji utječu na nakupljanje i zadržavanje organske tvari u tekućicama su brzina strujanja vode, protok, unos organske tvari, sila gravitacije i uzgona, geomorfologija dna i vegetacija unutar toka (Naiman i Sedell, 1979; Bretschko, 1990; Prochazka i sur., 1991; Strayer i sur., 1999; Wanner i Pusch, 2001; Habdija i sur., 2004). U uzorkovanom sedrenom supstratu nakupljanje čestica usitnjene organske tvari svih razreda bilo je brojnije u donjem

sloju supstrata, te najbrojniju frakciju CPOM vjerojatno čine odumrli, istaloženi, te usitnjeni fragmenti mahovine koja prekriva sloj sedre.

Najvišu koncentraciju CPOM objašnjavam i time što se ulaskom u intersticij smanjuje brzina strujanja vode, te čestice koje su teže i veće započinju proces sedimentacije, dok manje frakcije mogu biti odnesene i slabijom strujom vode. Velika količina frakcije CPOM koja ujedno ima najveću energetska vrijednost može se objasniti slabijom potrošnjom od strane životinja. Budući da u uzorcima nema organizama koji su usitnjivači, nego detritivori koji jedu samo finije čestice dolazi do neizbježnog nagomilavanja najvećeg razreda čestica u uzorcima jer ih nitko ne troši niti usitnjava. Najmanje zastupljena frakcija u uzorcima je FPOM što je posljedica hranjenja brojnih Trichoptera, Diptera, Coleoptera i jedinki drugih redova. Poznato je da pojedine svojite ovih redova okrupnjuju detritus – hraneći se finijim česticama, tj. UPOM i manjim česticama FPOM, a defecirajući čestice veće od pojedenih - CPOM i veće čestice FPOM (Wotton i sur., 2001; Warren i sur., 2005).

Koeficijenti korelacije ukazuju na povezanost brojnosti nekih svojiti s količinom frakcije određenog razreda organske tvari. Prema koeficijentima korelacije *Hydropsyche* sp. i Chironomidae se očituju kao potrošači dviju frakcija POM. To se može objasniti time što su dominantne svojite koje su idealno prilagođene sustavu, te iz njega najbolje koriste resurse. *Hydropsyche* sp. su organizmi poznati po obitavanju na površini i u mahovinama, te su se specijalizirali za čestice koje se zaustavljaju u njihovim mrežama, poput CPOM i krupnije FPOM. Chironomidae sukladno manjim dimenzijama u usporedbi s *Hydropsyche* sp. koriste manje čestice poput manjih frakcija FPOM i UPOM. Time jedinke Chironomidae i *Hydropsyche* sp. koegzistiraju u odnosu razdvajanja niša, gdje im drugačije iskorištavanje frakcije detritusa okoliša omogućava suživot bez kompeticije.

Jedinke vrste *Ibisia marginata* zbog grabežljivačkog načina prehrane pri kojem ne troši detritus, utječe na okoliš samo povećanjem količine čestica organske tvari, što je uzrok većoj količini nađene frakcije POM u klopama u kojima je ova vrsta obitavala. Oligochaeta se tijekom pionirskog migriranja koje prema rezultatima ovog rada nije usmjereno hrane raspoloživim detritusom, ali obavljaju i defekaciju pa njihova brojnost ne utječe u znatnoj mjeri na preraspodjelu čestica POM. Jedinke Plecoptera nemaju jasnu korelaciju jer su juvenilne, pa malo troše i malo donose u intersticij, kao vjerojatno i ostali za koje ne postoji jasna korelacija.

6. ZAKLJUČAK

Kemizam intersticijske vode značajno se razlikuje od površinske vode zbog intenzivnije mikrobne razgradnje i povezanih procesa. U sprezi s izuzetno usporenim prodorom vode u odnosu na površinski tok, abiotički gledano – plitki sedreni intersticij može se smatrati ekotonom, a u slojevima dubljim od 10 cm i posebnim podzemnim staništem.

U sedrenom supstratu na barijeri Novakovića Brod dominantne svojte su Diptera i Trichoptera, s predstavnicima porodice Chironomidae, te vrstama *Hemerodromia* sp. i *Hydropsyche* sp.

Najbrojniji predstavnik Diptera su ličinke Chironomidae, dok kod Trichoptera dominira vrsta *Hydropsyche* sp., a najbrojniji predstavnik Coleoptera je vrsta *Normandia nitens*.

Makrozoobentos je brojniji i raznolikiji u intersticijskom sloju do 4 cm dubine, a dublje uglavnom iznimno i to u slučajevima vrlo mladih jedinki (Plecoptera) koji su slabi kompetitori pa traže prostor bez kompetitora ili svojta koje su morfološki i funkcionalno prilagođene životu u intersticiju (Diptera, Trichoptera, Coleoptera). Plitki sloj intersticija može se smatrati područjem ugniježđenja površinske zajednice ovih svojta.

Diptera uz lateralnu koriste i nizvodnu migraciju koju im omogućuje oblik tijela odnosno nedostatak egzoskeleta. Jedinke roda *Hydropsyche* većinom migriraju lateralno, orijetirajući kretanje okomito na smjer vode jer su stanišno vezani uz mreže. Ostale svojte u intersticiju ne pokazuju usmjeren obrazac pionirske migracije.

Svi veličinski razredi čestica usitnjene organske tvari bili su više zastupljeni u donjim slojevima proučavanog sedrenog supstrata jer je tamo potrošnja ovog resursa slabija uslijed slabije naseljenosti i to manjim jedinkama. Masom i energetski dominantna frakcija organske tvari u intersticiju je CPOM, a najmanje zastupljena je FPOM koji kao resurs koristi većina utvrđenih svojta.

Iz dobivenih rezultata zaključujem da u provedenom istraživanju na Plitvičkim jezerima zajednica makrozoobentosa ima velik utjecaj na rasprostranjenost i količinu usitnjenih čestica organske tvari u supstratu sedrenih barijera, te da jedinke u intersticij aktivno dolaze u potrazi za hranom ili skloništem.

Prisutnost zajednice makrozoobentosa, bila ona detritivorna ili grabežljivačka, utječe na količinu čestica organske tvari u sedrenom supstratu s jedne strane potrošnjom zbog hranjenja česticama ili donosom fekalnih čestica što je posebno izraženo u grabežljivaca.

7. ZAHVALA

Neizmjerno hvala mentoru doc. dr. sc. Marku Miliši na uloženom vremenu, nebrojenim odgovorenim pitanjima i korisnim savjetima. Hvala na trudu, entuzijazmu i velikom strpljenju tijekom ove suradnje koja je uvelike doprinijela mojem obogaćivanju znanja o beskralješnjacima i o znanosti općenito.

Hvala dr. sc. Mariji Ivković na stručnoj pomoći i dr. sc. Renati Matoničkin Kepčiji na predlaganju mentora i područja rada.

8. REFERENCE

- ADOBE SYSTEMS INCORPORATED (2010) Adobe photoshop CS5 extended, version 12.0 x32.
- ANGELIER, E. (1953): Recherches écologiques et biogéographiques sur la faune des sables submergés. Archives de Zoologie Expeérimentale et Générale 90: 37 – 162.
- BOŽIČEVIĆ, S., STILINOVIĆ, B. (2000): Umiru li zaista Plitvička jezera?. Hrvatska vodoprivreda 90, 5 - 9.
- BRETSCHKO, G. (1990): The dynamic aspect of coarse particulate organic matter (CPOM) on the sediment surface of a second order stream free of debris dams. Hydrobiologia 203: 15-28.
- BRUNKE, M. & GOSNER, T. (1997): The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. Freshwat. Biol. 37: 1 - 33.
- BRUSVEN, M.A., MEEHAN, W.R., BIGGAM, R.C. (1990): The role of aquatic moss on community composition and drift of fish-food organisms. Hydrobiologia 196: 39 - 50.
- COSTA, S.S., MELO, A.S. (2008): Beta diversity in streammacroinvertebrate assemblages: among-site and among-microhabitat components. Hydrobiologia 598: 131 - 138.
- COTTON, J.A., WHARTON, G., BASS, J.A.B., HEPPEL, C.M., WOTTON, R.S. (2006): The effects of seasonal changes to in-stream vegetation cover on patterns of flow and accumulation of sediment. Geomorphology 77: 320 - 334.
- DELL INC. (2015). Dell Statistica (data analysis software system), version 12. software.dell.com.
- DOLE-OLIVIER, M.–J. (2011): The hyporheic refuge hypothesis reconsidered: a review of hydrological aspects. Marine and freshwater research 62(11): 1281 - 1302.
- DOLE-OLIVIER, M.–J., MARMONIER, P., BEFFY J.–L. (1997): Response of invertebrates to lotic disturbance: is the hyporheic zone a patchy refugium? Freshwater Biology 37: 257-276.
- FORD, T.D., PEDLEY, H.M. (1996): A review of tuffa and travertine deposits of the world. Earth - Science Reviews 41: 117 - 175.
- FRASER, B.G., WILLIAM, D.D. (1998): Seasonal boundary dynamics of a groundwater/surface-water ecotone. Ecology 79: 2019 - 2031.
- GIERE, O. (1993): Meiobenthology, the microscopic fauna in aquatic sediments. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
- GUNKEL, G., BEULKER, C., HOFFMAN, A., KOSMOL, J. (2009): Fine particulate matter (FPOM) transport and processing in littoral interstices-use of fluorescent markers. Limnologica 39: 185 - 199.
- GURTZ, M.E., WALLACE, J.B. (1984): Substrate mediated response of stream invertebrates to disturbance. Ecology 65: 1556 – 1569.
- HABDIJA, I., MEŠTROVIĆ, M., MATONIČKIN, R., PRIMC-HABDIJA, B., CINDRIĆ, Z. (2000): Current velocity and retention degree of detritus in moss mats as factors affecting the

distribution of macroinvertebrates on the travertine barriers in carstic waters. *Limnological reports* 33: 245 - 250.

HABDIJA, I., PRIMC-HABDIJA, B., MATONIČKIN, R., KUČINIĆ, M., RADANOVIĆ, I., MILIŠA, M., MIHALJEVIĆ, Z. (2004): Current velocity and food supply as factors affecting the composition of macroinvertebrates in bryophyte habitats in karst running water. *Biologia* 59: 577 - 593.

KEMPE, S., EMEIS, K. (1985): Carbonate chemistry and the formation of Plitvice Lakes. *Mitteilungen des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Universität Hamburg* 58: 351 - 383.

LAKE, P.S. (2000): Disturbance, patchiness and diversity in streams. *Journal of the North American Benthological Society* 19: 573 - 592.

LANCASTER, J., HILDREW, A.G. (1993): Flow refugia and the microdistribution of lotic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* 12, 385 - 393.

LENTING, N., WILLIAMS, D.D., FRASER, B. G. (1997): Qualitative differences in interstitial organic matter and their effect on hyporheic colonization. *Hydrobiologia* 344: 19 - 26.

MATONIČKIN, I., PAVLETIĆ, Z., TAVČAR, V., KRKAČ, N., (1971): Limnološka istraživanja reikopa i fenomena protočne travertinizacije u Plitvičkim jezerima (The limnological investigations of reicotops and phenomenon of current travertinisation in Plitvička jezera (Plitvice Lakes, Yugoslavia). *Acta biologica* 7: 1 - 87.

MATTHAEI, C.D., PEACOCK, K.A., TOWNSEND, C.R. (1999): Scour and fill patterns in a New Zealand stream and potential implications for invertebrate refugia. *Freshwater Biology* 42: 41 - 57.

MILIŠA, M., HABDIJA, I., PRIMC-HABDIJA, B., RADANOVIĆ, I., MATONIČKIN KEPČIJA, R. (2006a): The role of flow velocity in the vertical distribution of particulate organic matter on moss-covered travertine barriers of the Plitvice Lakes (Croatia). *Hydrobiologia* 553: 231 - 243.

MILIŠA, M., IVKOVIĆ, M., MATONIČKIN KEPČIJA, R. (2014): Energy resources and feeding guild structure of macroinvertebrate assemblages in the hyporheic zone of calcite depositing lake outlets. *Limnologica* 44: 66 - 71.

MILIŠA, M., MATONIČKIN KEPČIJA, R., RADANOVIĆ, I., OSTOJIĆ, A., HABDIJA, I., (2006b): The impact of aquatic macrophyte (*Salix* sp. and *Cladium mariscus* (L) Pohl.) removal on habitat conditions and macroinvertebrates of tuffa barriers (Plitvice Lakes, Croatia). *Hydrobiologia* 573: 183 - 197.

MISHALL, G.W., MINSHALL, J.N. (1977): Microdistribution of benthic invertebrates in a rocky mountain (U.S.A.) stream. *Hydrobiologia* 55: 231 - 249.

MOOG, O. (1995): Functional feeding guilds, Classification based on family/genus level or higher taxonomic units p. 1-12. U: MOOG, O. (ur.), *Fauna Aquatica Austriaca*, Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Vienna, Austria.

MOOG, O. (2002): Functional feeding guilds, Classification based on family/genus level or higher taxonomic units p. 1-13. U: MOOG, O. (ur.), *Fauna Aquatica Austriaca* (2nd edition), Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Vienna, Austria.

- NAIMAN, R.J., SEDELL, J.R. (1979): Benthic organic matter as a function of stream order in Oregon. *Archiv für Hydrobiologie* 87: 404 – 422.
- NILSSON, A., ur. (1996): *Aquatic Insects of North Europe 1*. Apollo Books, Stenstrup, 274 str.
- NILSSON, A., ur. (1997): *Aquatic Insects of North Europe 2*. Apollo Books, Stenstrup, 440 str.
- NOGARO, G., MERMILLOD-BLONDIN, F., VALETT, M.H., FRANÇOIS-CARCAILLET, F., GAUDET, J.P., LAFONT, M., GILBERT, J. (2009): Ecosystem engineering at the sediment-water interface, bioturbation and consumer-substrate interaction. *Oecologia* 161: 125 - 138.
- ORGHIDAN, T. (1959): Ein neuer Lebensraum des unterirdischen Wassers: Der hyporheische Biotop. – *Arch. Hydrobiol.* 55: 392 – 414.
- ORROCK, J.L., SIH, A., DILL, L.M., GRABOWSKI, J.H., PEACOR, S.D., PECKARSKY, B.L., PREISSER, E.L., VONESH, J.R., WERNER, E.E. (2010): Predator effects in predator-free space: The remote effects of predators on prey. Special Feature on the Ecology of Fear. *The Open Ecology Journal* 3:22 – 30.
- PALMER, M.A, ARENSBURGER, P., BOTTS, RS., HAKENKAMP, C., REID, J.W. (1995): Disturbance and the community structure of stream invertebrates: patch specific effects and the role of refugia. *Freshwat. Biol.* 34: 343 - 357.
- PALMER, MA., BELY, AE., BERG, KE. (1992): Response of invertebrates to lotic disturbance: a test of the hyporheic refuge hypothesis. *Oecologia* 89:182 – 194.
- PEDLEY, M. (2000): Ambient temperature freshwater microbial tufas. In Riding, R. E. & S. M. Awramik (eds), *Microbial Sediments*. Springer-Verlag, Berlin, 179 - 186.
- PERRI, E., MANZO, E., TUCKER, M. (2012): Multi-scale study of the role of the biofilm in the formation of minerals and fabrics in calcareous tufa. *Ediment. Geol.* 263-264, 16 - 129.
- PLANT, L.J., HOUSE, W.A. (2002): Precipitation of calcite in the presence of inorganic phosphate. *Colloids and Surface. A*, 203: 143 - 153.
- PROCHAZKA, K., STEWART, B.A., DAVIS, B.R. (1991): Leaf litter retention and its implications for shredder distribution in two headwater streams. *Archiv für Hydrobiologie* 120: 315 - 325.
- RICHARDS, C., BACON, K.L. (1994): Influence of fine sediment on macroinvertebrate colonization of surface and hyporheic stream substrates. *Great Basin Nat.* 54: 106 – 113.
- SCHWOERBEL, J. (1961): Über die Lebensbedingungen und die Besiedlung des hyporheischen Lebesraumes. *Arch Hydrobiol Suppl* 25:182 – 214.
- SERTIĆ PERIĆ, M., MILIŠA, M., PRIMC-HABDIJA, B., HABDIJA, I. (2011): Seasonal and fine-scale spatial patterns of drift and seston in a tufa-depositing barrage hydrosystem. *Fund. Appl. Limnol.* 178: 131 - 145.
- SMOCK, L.A. (1990): Spatial and temporal variation in organic matter storage in low-gradient, headwater streams. *Archiv für Hydrobiologie* 118: 169 – 184.

- SRDOČ, D., HORVATINČIĆ, N., OBELIĆ, B., KRAJCAR, I., SLIEPČEVIĆ, A. (1985): Procesi taloženja kalcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička jezera. *Carsus Iugoslaviae* 11: 101 - 204.
- STANFORD, J.A., WARD, J.V., (1988): The hyporheic habitat of river ecosystems. *Nature* 335: 64 – 66.
- STEAD, T.K., SCHMID-ARAYA, J.M., HILDREW, A.G. (2005): Secondary production of a stream metazoan community: does the meiofauna make a difference? *Limnol. Oceanogr.* 50: 398 – 403.
- STEWART, B.A., DAVIES, B.R. (1990): Allochthonous input and retention in a small mountain stream. *Hydrobiologia* 202: 135 - 146.
- STRAYER, D.L., CARACO, N.F., COLE, J.J., FINDLAY S., PACE, M.L. (1999): Transformation of freshwater ecosystems by bivalves. *BioScience* 49: 19 - 27.
- SUREN, A.M. (1991): Bryophytes as invertebrate habitat in two New Zealand alpine streams. *Freshwater Biology* 26: 399 - 418.
- THOMAS, J.D. (1997): The role of dissolved organic matter, particularly free amino acids and humic substances, in freshwater ecosystems. *Freshwat. Biol.* 38: 1 - 36.
- VALLETT, H.M., HAKENKAMP, C.C., BOULTON, A.J. (1993): Perspectives on the hyporheic zone, integrating hydrology and biology, introduction. *J. North Am. Benthol. Soc.* 12: 40 – 43.
- VANNOTE, R.L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R., CUSHING, C.E. (1980): The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130 – 133.
- WAGNER, F.H., BRETSCCHKO, G. (2002): Interstitial flow through preferential flow paths in the hyporheic zone of the Oberer Seebach, Austria. – *Aquat. Sci.* 64: 307 – 316.
- WANNER, S.C., PUSCH, M. (2001): Analysis of particulate organic matter retention by benthic structural elements in a lowland river (River Spree, Germany). *Archiv für Hydrobiologie* 151: 475 - 492.
- WARD, J.V. (1994): The structure and dynamics of lotic ecosystems, In 'Limnology Now: a Paradigm of Planetary Problems'. (Ed. R. Margalef.) pp. 195 – 218.
- WARINGER, J., GRAF, W. (2011): Atlas of Central European Trichoptera Larvae / Atlas der Mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven. Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben.
- WARREN, L.L., WHARTON, G., WOTTON, R.S.S. (2005): The role of faecal pellets in lowland permeable catchments. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 29: 167 – 169.
- WILLIAMS, D.D., HYNES, H.B.N. (1974): The occurrence of benthos deep in the substratum of a stream. *Freshwater Biology* 4: 233-256.
- WINKELMANN, C., ORTMANN, C., SCHAFFER, M., KOOP, J.H.E. (2003): Towards environmental assessment of river ecosystems by analyzing energy reserves of aquatic invertebrates. *Limnologica* 38: 378 – 387.

WOODRUFF, S.L., HOUSE, W.A., CALLOW, M.E., LEADBEATER B.S.C. (1999): The effects of a developing biofilm on chemical changes across the sediment-water interface in a freshwater environment. *International Review of Hydrobiology* 84: 509 - 532.

WOTTON, R.S., MALMQVIST, B: (2001): Fece s in aquatic ecosystems. *BioScience* 51: 537 – 544.

ZAR, J.H., 1996. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey

ZWICK, P. (2004): A key to the West Palaeartic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Limnologica* 34: 315 - 348.

9. SAŽETAK

Obrasci migracija makrozoobentosa u plitkom intersticiju sedrenih barijera

Tonka Šimurina

Na sedrenim barijerama sprega utjecaja strujanja vode, mahovinskih sastojina i procesa osedavanja i samog sedrenog supstrata čine jedinstveni skup mikrostaništa različitih biotičkih i abiotičkih čimbenika u kojem obitava posebna zajednica makrozoobentosa. U ovom radu prvi puta se istražuje ponašanje životinja u sedrenom intersticiju korištenjem evakuiranih prirodnih podloga. Istraživanje je provedeno u listopadu 2015. godine u Nacionalnom parku Plitvička jezera na barijeri Novakovića Brod. Implementiranjem klopki u prirodno stanište intersticija dubine 10 cm cilj je bio utvrditi obrasce migracija i naseljavanja prisutnog makrozoobentosa, njegov sastav, te protok energije kroz plitki sloj sedrenog intersticija. Fizikalno-kemijska svojstva vode su se značajno razlikovala u intersticiju u odnosu na površinsku vodu. Pojedine svojste su pokazale izrazitu sklonost s obzirom na smjer migriranja, dok su neke bile nasumični migranti. U prvoj skupini najizrazitiji primjer je lateralno kretanje jedinki roda *Hydropsyche* koje ovakvim migracijama osiguravaju ostanak u blizini svojih mreža. U skupini nasumičnih migranata izrazit je primjer detritivornih Oligochaeta koji su i funkcionalno i morfološki i etološki prilagođeni na život u podzemlju. Količina čestica organske tvari u sedrenom intersticiju je veća u donjem dijelu istraživanog sloja, koji je i slabije nastanjen te se resursi sporije troše. U oba sloja je iz istog razloga (slabe potrošnje) dominantan i maseni i energetske udio čestica CPOM, a najslabije su zastupljene čestice FPOM koje kao resurs koristi većina detritivornih intersticijskih svojta.

Ključne riječi: Ponašanje životinja, usitnjena organska tvar, naseljavanje, *Hydropsyche*, Hrvatska

10. SUMMARY

Patterns of migration of macrozoobenthic communities in interstitial zone of tufa barriers

Tonka Šimurina

At the tufa barriers the interplay of the flow of water, moss mats and calcite precipitation, along with the specific tufa substrate set a unique array of microhabitats in which a special community of macroinvertebrates resides. In this study, macroinvertebrate behavior in the tufa interstitium was researched for the first time using evacuated natural tufa. The survey was conducted in October 2015 in Plitvice Lakes National Park on the barrier Novakovića Brod. By implementing traps in natural interstitial habitat at a depth of 10 cm, the objective was to determine the patterns of migration and settlement of macroinvertebrates, and the flow of energy through a shallow layer of tufa. Physico-chemical properties of water were significantly different in the interstitium in comparison to surface water. Some species have shown distinct preference with respect to the direction of migration, while some were random migrants. In the first group, the most outstanding example is the lateral movement of specimens of the genus *Hydropsyche*. Their lateral migrations (perpendicular to flow) enable them to forage while staying near to their nets. A typical example of the group of random migrants is detritivore fauna that are functionally and morphologically and ethologically adapted to life underground. The amount of particulate organic matter in the tufa interstitium is greater in the deeper part of the investigated tufa, which is less populated and resources are spent more slowly. For the same reason (weak consumption) in both layers, CPOM is the dominant both by mass and energy content. On the other hand, FPOM is least represented since it is used by most detritivore interstitial taxa.

Key words: Animal behavior, particulate organic matter, colonization, *Hydropsyche*, Croatia

11. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 31. srpnja 1993. godine u Zagrebu gdje sam završila Klasičnu gimnaziju, te 2012. godine upisala preddiplomski studij Znanosti o okolišu na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Upisala sam diplomski studij istog usmjerenja 2015. godine.

Tijekom studiranja aktivno sudjelujem u akademskoj zajednici, članica sam studentskog vijeća, kao i studentske udruge RIO Zagreb unutar koje sam sudjelovala u organizaciji međunarodne konferencije na temu znanosti o okolišu, održanoj na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu 2015. godine. Početkom 2016. pohađala sam u Rusiji zimsku školu ekologije koja se održavala na Moskovskom državnom sveučilištu Lomonosov. Dobitnica sam Erasmus stipendije za studijski boravak u Parizu na sveučilištu Paris-Saclay. Tečno govorim i služim se francuskim i engleskim jezikom, a usavršavam španjolski.