

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

Marina Tetkov

NASELJAVANJE MAKROZOOBENTOSA U MAHOVINAMA SEDRENIH BARIJERA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

Ovaj rad je izrađen u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Marka Miliše, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra eksperimentalne biologije.

Posebno se zahvaljujem doc. dr. sc. Marku Miliši, voditelju rada, na predloženoj temi, stručnoj pomoći i korisnim savjetima prilikom izrade ovog rada.

Zahvaljujem svojoj obitelji na moralnoj i financijskoj potpori tijekom mog studiranja.

Zahvaljujem se svim kolegama koji su bili sastavni dio mog studiranja.

Zahvaljujem, također, i svima ostalima koji su mi na bilo koji način pomogli pri izradi ovog diplomskog rada.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

NASELJAVANJE MAKROZOOBENTOSA U MAHOVINAMA SEDRENIH BARIJERA

Marina Tetkov

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Tijekom 2006. godine u sedam dana je provedeno istraživanje makrozoobentosa na sedrenoj barijeri Novakovića Brod. Cilj istraživanja bio je utvrditi sastav, početnu dinamiku naseljavanja i obrasce migracije makrozoobentosa u mahovinama sedrenih barijera i obrasce protoka energije kroz mahovinska staništa sedrenih barijera. Tijekom istraživanog razdoblja mjereni su fizikalno-kemijski parametri vode koji ukazuju na podjednake uvjete svih sedam dana. Zabilježila sam ukupno 12 svojiti od kojih su najbrojnije bile ličinke kukaca Trichoptera, Plecoptera i Chironomidae (Diptera). Brojnost makrozoobentosa sam pratila kroz migracijske obrasce u posudama čije su stijenke bile otvorene sprijeda, straga, bočno, odozgo i sa svih strana. Migracija makrozoobentosa u mahovinama sedrenih barijera dominantno je lateralna migracija. Utvrđen je pasivan i aktivan donos fino i vrlo fino usitnjene organske tvari (FPOM i UPOM). U lateralnom smjeru u donosu kao vektor sudjeluju životinje, a pasivni donos je zabilježen iz uzvodnog smjera.

(38 stranice, 10 slika, 5 tablica, 68 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: migracije, usitnjena organska tvar, Plitvička jezera, barijera

Voditelj: Dr. sc. Marko Miliša, doc.

Ocjenitelji: Dr. sc. Marko Miliša, doc., dr. sc. Zrinka Ljubešić, doc., dr. sc. Duje Lisičić, doc.

Rad prihvaćen: 07. 01. 2016.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Biology

Graduation Thesis

COLONIZATION OF MACROINVERTEBRATES IN MOSS MATS OF TUFA

BARRIERS

Marina Tetkov

Rooseveltovej trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

The aim of the research was to determine the structure, dynamics and migration patterns of macroinvertebrates and patterns of energy flow through moss mats of tufa barriers. The study was done during 2006 at the tufa barrier Novakovića Brod (Plitvice lakes). Macroinvertebrate migrations were monitored using traps that were open in the front, back, top, lateral and on all sides. The physical and chemical parameters of water indicate constant conditions during the study. In total, 12 groups of macroinvertebrates were determined. The dominant groups were insect larvae, namely Trichoptera, Plecoptera, Chironomidae (Diptera). Lateral migration was dominant. Organic matter particles were transported both actively - laterally by animals and passively - frontally by water current.

(38 pages, 10 figures, 5 tables, 68 references, original in Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

Key words: migration, organic matter, Plitvice lakes, barrier

Supervisor: Dr. Marko Miliša, Assist. Prof.,

Reviewers: Dr. Marko Miliša, Assist. Prof., Dr. Zrinka Ljubešić, Assist. Prof., Dr. Duje

Lisičić, Assist. Prof.

Thesis accepted: 07. 01. 2016.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Obilježja sedre	1
1.2. Mahovina kao mikrostanište	2
1.3. Zajednica makrozoobentosa	2
1.4. Detritus	4
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	5
3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	6
3.1. Opća obilježja Nacionalnog parka Plitvička jezera	6
3.2. Geografski položaj	6
3.3. Istraživačka postaja	7
4. MATERIJALI I METODE	8
4.1. Mjerenje fizikalno kemijskih parametara vode	8
4.2. Metode prikupljanja i obrade uzorkovanog makrozoobentosa	8
4.3. Određivanje veličinskih razreda organske tvari	8
4.4. Obrada podataka	9
5. REZULTATI	10
5.1. Fizikalno-kemijska obilježja vode	10
5.2. Makrozoobentos	11
5.2.1. Sastav makrozoobentosa	11
5.2.2. Naseljavanje makrozoobentosa s obzirom na smjer otvora posude	14
5.3. Dinamika organske tvari	21
5.4. Spearmanov koeficijent korelacije	24
6. RASPRAVA	26
7. ZAKLJUČAK	29
8. LITERATURA	30
9. ŽIVOTOPIS	38

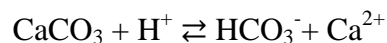
1. UVOD

1.1. Obilježja sedre

Zbog osobitosti krške podloge izgrađene od vapnenca ($\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$) i dolomita ($\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$), voda Plitvičkih jezera bogata je kalcijevim Ca^{2+} i bikarbonatnim ionima HCO_3^- . Kišnica prolazeći kroz atmosferu i posebno površinski sloj tla dolazi u kontakt i reagira s ugljikovim dioksidom čiji su parcijalni tlakovi u podzemlju stotinjak puta veći nego atmosferski pa nastaje ugljična kiselina:



Ova otopina je kisela te otapa vapnenac:



Prema sličnoj reakciji otapa se i dolomit te voda tako postaje mineralizirana tj. prezasićena kalcijevim i magnezijevim bikarbonatom. Prozračivanjem vode koja sadrži kalcijev bikarbonat isplinjava CO_2 , time se ravnoteža reakcije pomiče ulijevo u smjeru taloženja kalcijeva karbonata. Kristali se hvataju na podvodnim predmetima koji služe kao mjesta nukleacije pri stvaranju kristala. Sedrene barijere nastaju procesom protočnog osedranja (Matoničkin i sur., 1971) za koju su potrebni posebni uvjeti kao što su povoljna temperatura, dovoljna količina otopljenog bikarbonata, brzina strujanja vode, itd.

Sedra sadrži pretežno mikrokristale kalcita s vrlo malim postotkom magnezija u kristalnoj rešeci, uz manje primjese kremena, željeznih oksida, usitnjene organske tvari i elemenata u tragovima. Prema istraživanjima Srdoča i sur. (1985) za taloženje sedre moraju biti ispunjena minimalno tri uvjeta: prezasićenost kalcij-karbonatom iznad 3, pH vode iznad 8.0 i koncentracija otopljene organske tvari izražena kao masa ukupnog ugljika manja od $10 \text{ mg (C) dm}^{-3}$.

Osedranje počinje vezivanjem sitnih kristala na površini obrasloj epifitima, koji izlučuju ljepljivu tvar koja po kemijskom sastavu odgovara mukopolisaharidima (Degens, 1976). Proces intenzivnog sedrenja ograničen je na mjesta na kojima tok mijenja svojstva (ubrzava ili postaje turbulentniji) te na tim mjestima uslijed povoljnih uvjeta za isplinjavanje CO_2 kroz geološku povijest nastaju sedrene barijere. Barijere su mjesta na kojima su uvjeti izrazito povoljni za razvoj mahovina. Mahovine također postaju mjesta nukleacije i taloženja sedre dijelom i zbog fotosintetske aktivnosti tj. apsorpiranja CO_2 . Na mahovinskoj vegetaciji postupno dolazi do nakupljanja kristala kalcita, zatim krhotina ljušturica i skeleta mikroorganizama sve zajedno povezano mukopolisaharidnom ovojnicom, što dovodi do makrostrukture krhke recentne sedre (Chafetz i Folk, 1984). Drysdale (1998) i Carthew i sur.

(2003) naglašavaju ulogu pomoćnih struktura faune makrozoobentosa (npr. tokovi tulara (Trichoptera) i trzalaca (Chironomidae), mreže za pribavljanje hrane i strukture za pričvršćivanje vodenih ličinki kukaca) u taloženju sedre. Najznačajnijim strukturama u tom procesu smatraju mreže ličinki hidropsihida koje su pronađene u fosilnoj sedri (Drysdale i sur. 2003). Neki autori tvrde da upravo živi svijet odigrava glavnu ulogu u odstranjivanju otopljenog CO₂ iz vode i djeluje kao supstrat za vezivanje kristalića kalcijevog karbonata (Ford i Pedley, 1996).

1.2. Mahovina kao mikrostanište

Mahovine na sedrenim barijerama razvijaju opsežne sastojine koje u pravilu prekrivaju sva slapišta. Zbog svoje arhitekture ova posebna staništa podržavaju izuzetnu bioraznolikost ali i brojnost svojta makrozoobentosa, a posebno su važna i u kruženju organske tvari i energije u krškim akvatičkim ekosustavima (Miliša i sur., 2006a; Miliša i sur., 2006b).

Mahovinski pokrov ima vrlo značajnu ulogu kao čimbenik zadržavanja usitnjene organske tvari u krškim tekućicama. Brzina strujanja vode značajno opada između stabalaca mahovina omogućujući pohranjivanje čestica u mahovinskom pokrovu i posredno u supstratu dna tekućice (Smock, 1990; Suren, 1991). Svojom strukturom mahovinski pokrov određuje okolišne uvjete mikrostaništa, osigurava zaštitu nepredatorskoj fauni od predatorskog pritiska i struje vode (Gurtz i Wallace, 1984; Brusven i sur., 1990; Habdija i sur., 2000). Također u sprezi s brzinom strujanja vode omogućava zadržavanje i nakupljanje usitnjene organske tvari (Stewart i Davies, 1990; Prochazka i sur., 1991; Suren, 1991; Finlay i Bowden, 1994) i naseljavanje obraštajne zajednice (Suren i Winterbourn, 1992) koji, kao izvor hrane, posredno utječu i na biocenotički sastav i funkcionalni ustroj makrozoobentosa.

1.3. Zajednica makrozoobentosa

Makrozoobentos je zajednica životinja (beskralježnjaka) većih od 300 μm funkcionalno vezanih za dno kopnenih voda (Allan i Castillo, 2007). Prostorni raspored i sastav makrozoobentosa određuju abiotički čimbenici (npr. vrsta podloge, brzina strujanja vode, intezitet osvjetljenja, koncentracija kisika u prirodnim slojevima, alkalinitet) i biotički čimbenici (npr. interspecijska i intraspecijska kompeticija) (Pringle i sur., 1988).

Sastav zajednice makrozoobentosa ovisi i o tipu staništa (Costa i Melo, 2008). Različita staništa nude resurse koji odgovaraju pojedinim vrstama pa čak i pojedinim razvojnim stadijima iste vrste, primjerice zaštitu od predatorskog pritiska ili izvora hrane (Špoljar i sur., 2012). Brojnost i raznolikost jedinki je manja na sitnijem supstratu budući da takav supstrat

ima manju površinu za pričvršćivanje životinja (Allan i Castillo, 2007). Najveća brojnost jedinki makrozoobentosa je na mikrostaništima mahovinama i makrovegetacijom koje služe za zaštitu i kao izvor hrane (Minshall i Minshall, 1977, Miliša i sur., 2006). Prirodni fizički poremećaji važan su čimbenik u ekološkoj dinamici lotičkih zajednica jer mogu dovesti do migracija organizama te mogu doći u novo stanište. Kretanja naseljavanja mogu biti vodoravna i okomita. Vodoravno kretanje naziva se drift i većinom se u tekućicama radi o nizvodnom i pasivnom transportu organizama (Fenoglio i sur., 2002). Drift uključuje i aktivna kretanja makrozoobentosa, a omogućuje organizmima da pobjegnu iz staništa koje im ne odgovara u ona s povoljnijim uvjetima. Do pasivnog drifta dolazi najčešće pod utjecajem brzine strujanja vode. Aktivni drift je povezan s biotičkim čimbenicima, kao što su količina hrane i kompeticija (Sertić Perić i sur., 2011). Organizmi se u potrazi za boljim stanišnim uvjetima mogu gibati i uzvodno. Okomita gibanja su važna za izbjegavanje predatorskog pritiska, ali i drugih nepovoljnih uvjeta. Sadržaj pojedinih veličinskih razreda usitnjene organske tvari uvjetuje sastav bentoskih zajednica u smislu funkcionalnih hranidbenih skupina organizama (FFG, eng. *functional feeding guilds*) koje za hranu iskorištavaju pojedine veličinske razrede. Kakvoća odnosno veličinski sastav organskog detritusa je, stoga, važna trofička odrednica funkcionalnog ustroja bentoske zajednice (Hawkins i Sedell, 1981; Imbert i Pozo, 1989; Habdija i sur., 1994; Allan, 1995). Makrozoobentos je prema Moogu (1995, 2002, 2003) podijeljen u jedanaest osnovnih funkcionalnih hranidbenih skupina s obzirom na izvor hrane i način prehrane:

1. usitnjivači - (SHR eng. *shredders*) hrane se krupnim česticama detritusa (CPOM),
2. strugači - (GRA eng. *grazers*) hrane se obraštajem i usitnjenom organskom tvari u obraštajnim zajednicama,
3. aktivni procjeđivači - (AFIL eng. *active filterers*) aktivno stvaraju struju vode i procjeđuju suspendirane čestice usitnjene organske tvari iz struje vode,
4. pasivni procjeđivači - (PFIL eng. *passive filterers*) hrane se organskim česticama koje donesi vodena struja,
5. detritivori (sakupljači) - (DET eng. *detritivores*) hrane se sedimentiranim česticama usitnjene organske tvari, najčešće FPOM,
6. bušači - (MIN eng. *miners*) hrane se biljnim i algalnim tkivom nakon bušenja stanične stijenske,
7. ksilofagi - (XYL eng. *xylophagous*) hrane se drvenastim ostacima,
8. grabežljivci - (PRE eng. *predators*)
9. nametnici - (PAR eng. *parasites*)

10. ostali - (OTH *eng. others*) i

11. svejedi - (OMN *eng. omnivores*).

Povremene promjene određenih čimbenika mogu stresno djelovati na zajednice, a to može dovesti do promjena u pojedinim karikama hranidbenih lanaca. Zbog toga se struktura zajednice makrozoobentosa koristi kao jedna od mjera ekološkog stanja vode (Mihaljević, 1999).

1.4. Detritus

Definicija pojma detritus većinom je ograničena na čestice odumrle organske tvari. Detritus je temeljni izvor energije za bentoske zajednice u tekućicama (Cummins, 1974; Vannote i sur., 1980; Hawkins i Sedell, 1981). S obzirom na izvor, detritus može biti autohtonog ili alohtonog podrijetla. Autohtoni detritus su čestice čije je podrijetlo vezano za primarnu i sekundarnu produkciju unutar ekosustava tekućice, dok su organske čestice koje potječu izvan ekosustava tekućice, prvenstveno listinac obalne vegetacije, alohtoni detritus (Cummins, 1974). Detritus u tekućicama je uglavnom biljnog porijekla (Vannote, 1980; Bretschko, 1990). Nakon ulaska u tekućicu organski detritus podložen je fizikalnim, kemijskim i biološkim procesima usitnjavanja i raspadanja te transportiranja nizvodno (Cummins i Klug, 1979; Vannote i sur., 1980; González i Pozo, 1996; Minshall i sur., 2000). Prema veličini čestica detritusa odnosno usitnjene organske tvari (*eng. POM, particulate organic matter*), Vannote i sur. (1980) razlikuju tri veličinska razreda:

1. krupni detritus (CPOM, *eng. coarse particulate organic matter*, > 1 mm);
2. sitni detritus (FPOM, *eng. fine particulate organic matter*, 50 μ m - 1 mm);
3. vrlo sitni detritus (UPOM, *eng. ultrafine particulate organic matter*, 0.5 do 50 μ m).

CPOM se sastoji uglavnom od otpalog lišća okolne vegetacije sa značajnim udjelom pridružene mikrobne biomase, te ksilemskih dijelova koji dopijaju u riječni tok. FPOM i UPOM su mehanički i biološki usitnjene čestice, organska tvar s velikim udjelom mikrobne biomase smještene na površini čestica, te produktima metabolizma mikrobne zajednice. Sve tri sastojnice čine ukupnu usitnjenu organsku tvar (TPOM, *eng. total particulate organic matter*). Zadržavanje i nakupljanje usitnjene organske tvari u tekućicama ovisi o nekoliko međudjelujućih čimbenika, kao što su unos organske tvari, protok, brzina strujanja vode, sila gravitacije i uzgona, padaline, geomorfologija dna, fauna 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).

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Na području Nacionalnog parka Plitvička jezera provedeno je istraživanje zajednice makrozoobentosa na barijeri Novakovića Brod . Cilj istraživanja je utvrditi:

1. sastav makrozoobentosa
2. dinamiku naseljavanja i obrasce migracije makrozoobentosa u mahovinama sedrenih barijera
3. obrasce protoka energije kroz mahovinska staništa sedrenih barijera

3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

3.1 Opća obilježja Nacionalnog parka Plitvička jezera

Nacionalni park Plitvička jezera je jedno od najljepših i najstarijih zaštićenih područja u Europi te je ujedno i najveći i najposjećeniji hrvatski nacionalni park. Prvu topografsku kartu jezera izradio je vojni kartograf A. Wagner godine 1770. u mjerilu 1:8640, za potrebe Otočke pukovnije, a naziv Plitvice prvi se put pojavljuje u dopisu Dominika Vukasovića, svećenika iz Otočca (Vukasović, 1777). Pretpostavlja se da naziv potječe od hrvatske riječi *pličina* ili *plitvak*.

Niz od 16 jezera tvori ključni, ali ne i jedini vrijedni dio prvog nacionalnog parka Hrvatske proglašenog davne 1949. godine. Spomenutih 16 jezera podijeljeno je na Gornja (Prošće, Ciginovac, Okrugljak, Batinovac, Veliko, Malo, Vir, Galovac, Milino, Gradinsko jezero, Veliki burget i Kozjak) i Donja (Milanovac, Gavanovac, Kaluđerovac, Novakovića Brod) jezera. Gornja jezera nalaze se u reljefno otvorenoj dolomitnoj dolini, a Donja jezera u vapnenačkom kanjonu. Plitvička jezera imaju obilježja kaskadnog sustava, voda se prelijeva preko barijera u slapovima, od najvišeg Prošćanskog jezera, na 636 m nadmorske visine, do jezera Novakovića Brod na 503 m nadmorske visine s relativnim padom od 134 m i na zračnoj udaljenosti od 5640 m (Ridanović, 1994).

Smješten je na površini od 29.482 ha, od čega je 22.300 ha ili 75,6 % pokriveno gustom šumom. Površina vodnih ogledala svih jezera iznosi oko 192 ha ili 0,65 % površine Nacionalnog parka. Preostali dio površina su pod livadama i drugom niskom vegetacijom. Jezera, kao i površinski i podzemni tokovi, dio su sliva rijeke Korane (Ridanović i Božičević, 1996). Obilježja nacionalnog parka, uočena su krajem 19. stoljeća, a odnose se na neprekidno stvaranje barijera, koje su izgrađene od sedre, poroznog vapnenca, kao rezultat neprekidnog taloženja kalcijevog karbonata iz vode uz pomoć mikrofita, makrofita, beskraljeznjaka i bakterija (Ford i Pedley, 1996). Zbog iznimnih prirodnih i društvenih vrijednosti UNESCO je uvrstio Park na listu svjetske baštine 1979. godine (Božičević i Stilinović, 2000). Plitvička jezera bez ikakve dvojbe spadaju u okoliš koji predstavlja vrijednost u planetarnim mjerilima.

3.2. Geografski položaj

Plitvička jezera su smještena u središnjem dijelu Dinaridskog krša u Hrvatskoj (Stilinović i Božičević, 1998). Plitvička jezera su dio istočnog planinskog ruba Like, između planinskih masiva Velike i Male Kapele i ličke Plješevice (Stilinović i Božičević, 1998). Smještena su između ušća rijeke Matice u jezero Prošće, kao najjužnijeg dijela, ($\varphi =$

44°51'10") i donjeg ruba jezera Novakovića Brod kao najsjevernijeg dijela ($\varphi = 44^{\circ}54'5''$) te između najzapadnijeg dijela Prošćanskog jezera, Liman drage ($\lambda = 15^{\circ}35'37''$) i najistočnije točke Kozjaka, Glibovite drage ($\lambda = 15^{\circ}36'47''$).

3.3. Istraživačka postaja

Istraživanje je provedeno na mahovinom obrasloj sedrenoj barijeri Novakovića Brod. Barijera se nalazi između jezera Kaluđerovac (površina 0,02 km²; najveća dubina 13 m) i jezera Novakovića Brod.

Postaju karakteriziraju sljedeći okolišni uvjeti: okolna vegetacija bukve i jele, akvatička vegetacija lopuha i vrbe (*Petasites* sp. i *Salix* sp.) i mahovinski pokrov (*Palustriella commutata*, *Bryum ventricosum*, *Platyhypnidium rusciforme* i *Didymodon tophaceus*) debljine oko 2 cm na sedrenom supstratu.

4. MATERIJALI I METODE

4.1. Mjerenje fizikalno-kemijskih parametara vode

Od fizikalno-kemijskih parametara jezerske vode, o kojima ovise ekološka obilježja ekosustava tekućica, u ova razmatranja sam uzela temperature vode, koncentracije otopljenog kisika, pH vrijednost i provodljivost vode.

Temperatura vode, koncentracija otopljenog kisika, provodljivost i pH vode mjereni su pomoću sonde redom WTW Oxi 95, Hach sensION i WTW pH 330i.

Mjerenja fizikalno-kemijskih parametara provedena su tijekom sedam dana trajanja pokusa istovremeno s uzimanjem uzoraka. Svi parametri su mjereni u površinskoj vodi i u vodi u mahovinskom sloju koja je uzorkovana špricom.

4.2. Metode prikupljanja i obrade uzorkovanog makrozoobentosa

Uzorkovanje je provedeno tijekom 7 dana od 1. do 7. listopada 2007. godine izlaganjem pokusnih posuda punjenih prirodnim supstratom. Posude su bile kvadarnog oblika dimenzija baze 5×5 cm i visine 10 cm. Uzeti su uzorci mahovina iz prirodnog staništa, mahovina je isprana od čestica organske tvari i faune što je provjeravano na 10 nasumičnih uzoraka. Isprana mahovina je pakirana u pokusne posude za ponovnu implementaciju u prirodno stanište. Da bi se potpuno oponašalo prirodno stanište donji dio posude ispunjen je sedrenim blokovima koji su prethodno žareni i isprani, a na njih je postavljena mahovina u debljini 2 cm. Da bi se pratili migracijski obrasci, stijenke posude su bile otvorene (mrežom otvora oka 5 mm): 1. bočno, 2. sprijeda, 3. straga, 4. odozgo te 5. sa svih strana. Ostale stijenke su zatvorene mrežom oka 200 μ m kako bi se omogućio protok vode, a onemogućile migracije makrozoobentosa. Izložene su i kontrolne posude koje mrežom oka su 200 μ m bile zatvorene sa svih strana. Posude su izlagane 1, 2, 3, 4, 5, 6 i 7 dana, a pri izuzimanju posuda cijele su fiksirane u formalinu.

U laboratoriju sam obavila izolaciju i određivanje svojta makrozoobentosa. Za određivanje svojta koristila sam lupu Stemi 2000-C (Zeiss) i priručnike za određivanje: Nilsson (1996, 1997), Zwick (2004), Waringer (2011).

4.3. Određivanje veličinskih razreda čestica organske tvari

Za određivanje sadržaja pojedinih veličinskih razreda usitnjene organske tvari u uzorcima supstrata koristila sam metodu gubitaka mase pri žarenju. Iz uzoraka iz kojih sam izolirala organizme istovremeno sam pod lupom izuzimala sve čestice koje nisu bile habitusi

mahovina. Tako dobivene uzorke sam procijedila kroz sita veličine pora 1 mm i 50 μm čime su odvojena tri veličinska razreda: krupne CPOM, sitne FPOM i vrlo sitne čestice UPOM.

Odvojeni veličinski razredi su sušeni pod infra-sol svjetiljkom dok sva voda nije isparila te su nakon toga uzorci stavljeni u eksikator do potpunog dehidriranja. Uzorci supstrata su izvagani na digitalnoj vagi te izmjerena masa odgovara masi supstrata s usitnjenom organskom tvari. Nakon vaganja uzorci su žareni u peći na 400 °C tijekom 4 sata čime se usitnjena organska tvar potpuno oksidira do ugljikovog dioksida i ostranjuje iz uzorka. Takvi uzorci su ponovno izvagani i izmjerena masa odgovara masi anorganskog ostatka. Razlika između dobivenih masa suhog i žarenog uzorka predstavlja vrijednost mase pojedinih veličinskih razreda izražene u gramima. Tijekom provođenja istraživanja dva su uzorka izgubljena (F6 i R2).

4.4. Obrada podataka

Slikovni i tablični prikazi izrađeni su u programima Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, 2007). Za analizu podataka koristila sam Kruskal-Wallisovu analizu varijance 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 analize. Za praćenje dinamike naseljavanja koristila sam aproksimacije krivulja po modelu MacArthura i Wilsona. Ukupnu učestalost jedinki pojedine svojte između različitih pokusnih posuda analizirala sam χ^2 -testom (Preacher, 2001). Statistički značajno odbacivanje H_0 ovog testa interpretirala sam kao dokaz sklonosti pojedinih svojta za usmjerenim gibanjem. Suprotno, prihvaćanje H_0 tumačila sam kao dokaz izostanka sklonosti za usmjerenim gibanjem tj. težnje za stohastičkim gibanjem. Test sam provela isključivši iz razmatranja posude koje nisu bile selektivne (otvorene sa svih strana). Da bih utvrdila povezanost migracijskih tokova faune i transporta detritusa koristila sam Spearmanov koeficijent korelacije za cjelokupni set podataka za sve pokusne posude i za svaki tip pokusnih posuda zasebno.

5. REZULTATI

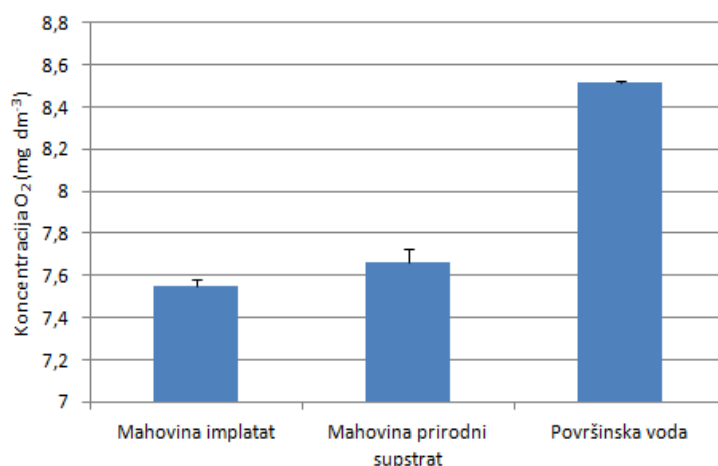
5.1. Fizikalno - kemijska obilježja vode

Prosječna temperatura vode tijekom istraživanja je bila 17,9 °C s rasponom od 17,8 do 18,0 °C.

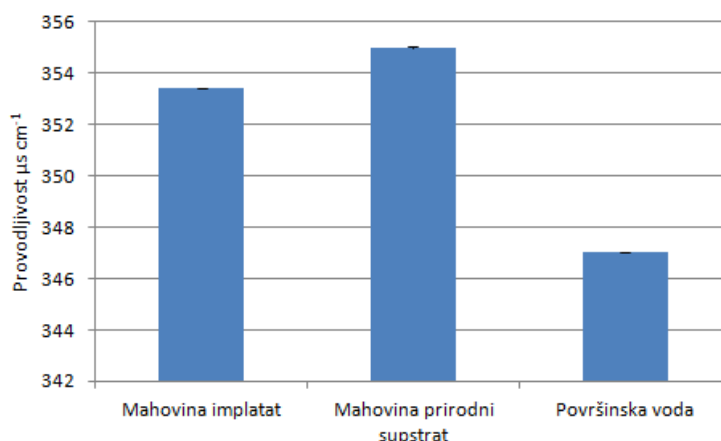
Prosječno najviša vrijednost količine kisika zabilježena je u površinskoj vodi i iznosila je 8,52 mg O₂ dm⁻³. U vodi između habitusa mahovina bile su niže vrijednosti u pokusnim posudama i one u prirodnoj mahovini (redom 7,55 i 7,66 mg O₂ dm⁻³) ali se nisu znatno razlikovale (Slika 1). Kruskal Wallisovom analizom varijance i povezanim Z testom, utvrdila sam da su količine otopljenog kisika u mahovinskim sastojinama statistički značajno niže od onih u površinskoj vodi (p = 0,0056), ali nije bilo statistički značajne razlike između količine otopljenog kisika u prirodnim sastojinama mahovina i onima u izloženim pokusnim posudama.

Provodljivost je, suprotno, bila viša u mahovinama, a manja u površinskoj vodi (redom 355 i 347 μS cm⁻¹) (Slika 2). Kruskal Wallisovom analizom varijance utvrdila sam da je električna provodljivost vode u mahovinskim sastojinama statistički značajno viša od one u površinskoj vodi (p = 0,0498), ali nije bilo statistički značajne razlike između količine otopljenog kisika u prirodnim sastojinama mahovina i onima u izloženim pokusnim posudama.

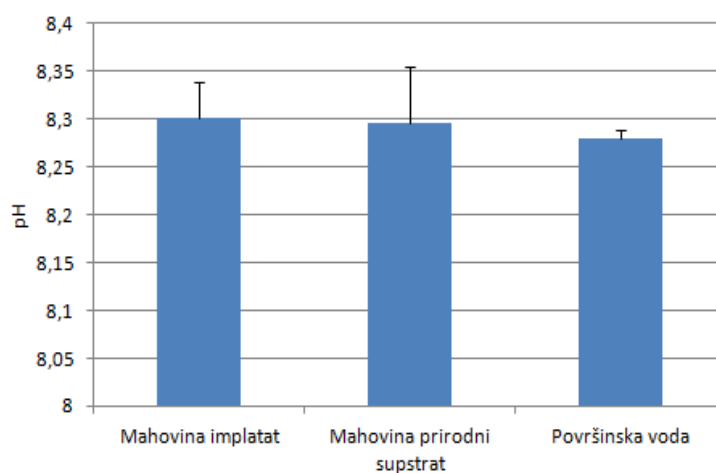
Dobivene pH vrijednosti pokazuju da nema velike razlike u vrijednostima između površinske vode, mahovine u implantatu i mahovine u prirodnom supstratu. Srednja vrijednost pH tijekom sedam dana mjerenja iznosila je 8,29 (Slika 3). Vrijednost pH nije sa razlikovala između tri istraživana staništa.



Slika 1. Koncentracija (srednja vrijednost +/- SD) O₂ u mahovinama i slobodnoj vodi.



Slika 2. Električna provodljivost (konduktivitet) u mahovinama i slobodnoj vodi.



Slika 3. Prosječne pH vrijednosti površinske vode i vode iz mahovinskih sastojina u prirodnom supstratu i implatatu.

5.2. Makrozoobentos

5.2.1. Sastav makrozoobentosa

Makrozoobentos na istraživanoj postaji Novakovića Brod sastojao se od predstavnika puževa (Gastropoda), maločetinaša (Oligochaeta) i ličinačke faune kukaca: vodencvjetova (Ephemeroptera), obalčara (Plecoptera), tulara (Trichoptera), dvokrilaca (Diptera) (posebno trzalaca (Chironomidae)) te ličinaka i imaga kornjaša (Coleoptera). Brojem jedinki dominirala je ličinačka fauna kukaca. Unutar skupine Plecoptera najbrojnija je vrsta *Amphinemura triangualis*, a uz nju sam našla i predstavnike rodova *Besdolus*, *Nemoura* i *Protonemura*.

Unutar reda Ephemeroptera determinirala sam jednu vrstu *Paraleptophlebia submarginata*. Iz reda Trichoptera dominirala je *Hydropsyche* sp., a uz nju sam našla i vrste

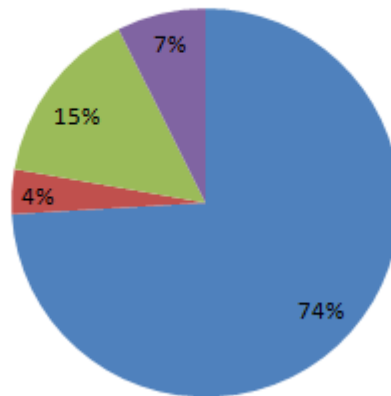
Wormaldia occipitalis i *Ryacophila pubescens*, a iz reda Coleoptera najbrojnija je bila vrsta *Elmis aenea*. Premda od odraslih jedinki nisam utvrdila druge vrste kornjaša roda *Elmis*, ličinke ću razmatrati na razini roda (*Elmis* sp.) jer na Plitvičkim jezerima dolaze i druge vrste, a u ličinačkom stadiju određivanje vrste nije potpuno pouzdano (Tablica 1).

Tablica 1. Najbrojnije svojte makrozoobentosa u uzorcima tijekom istraživanja.

Red	Rod/Vrsta	Ukupan broj jedinki/dm ³
EPHEMEROPTERA	<i>Paraleptophlebia submarginata</i>	20
PLECOPTERA	<i>Amphinemura triangualis</i>	400
	<i>Nemoura</i> sp.	80
	<i>Protonemura</i> sp.	40
	<i>Besdolus</i> sp.	20
TRICHOPTERA	<i>Hydropsyche</i> sp.	840
	<i>Wormaldia occipitalis</i>	20
	<i>Ryacophila pubescens</i>	20
COLEOPTERA	<i>Elmis aenea</i>	100
	<i>Elmis</i> sp.	100
	<i>Scirtes</i> sp.	20

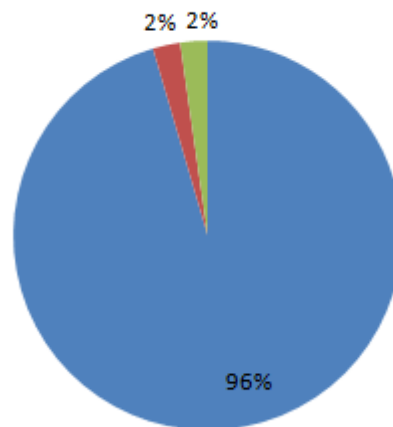
U redovima Plecoptera, Trichoptera i Coleoptera su bili izuzetno dominantni rodovi redom: *Amphinemura*, *Hydropsyche* i *Elmis* te sam u razmatranja uzela analizu po rodovima, a zaključivala uopćeno i za pripadajuće redove. Unutar skupine Plecoptera najbrojniji rod je *Amphinemura* s 400 jedinki/dm³ (Slika 4), a unutar skupine Trichoptera najbrojniji je rod *Hydropsyche* s 840 jedinki/dm³ (Slika 5). Kod skupine Coleoptera najbrojniji je rod *Elmis* s 100 jedinki/dm³ (Slika 6).

■ *Amphinemura* ■ *Besdolus* ■ *Nemoura* ■ *Protonemura*

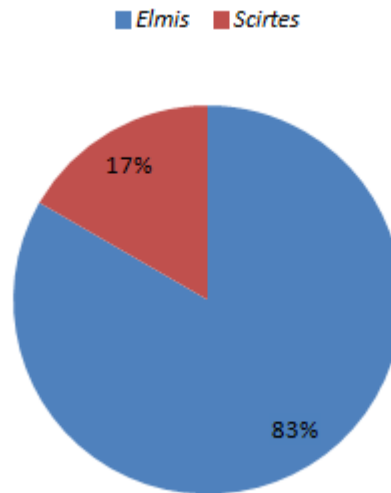


Slika 4. Postotni udio svojti reda Plecoptera u implatatima.

■ *Hydropsyche* ■ *Wormaldia* ■ *Ryacophila*



Slika 5. Postotni udio svojti reda Trichoptera u implatatima.



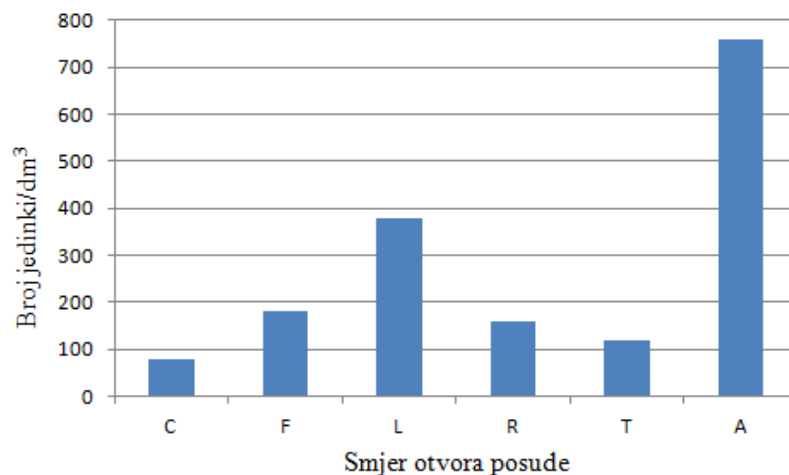
Slika 6. Postotni udio svojti reda Coleoptera u implatatima.

5.2.2. Naseljavanje makrozoobentosa s obzirom na smjer otvora posude

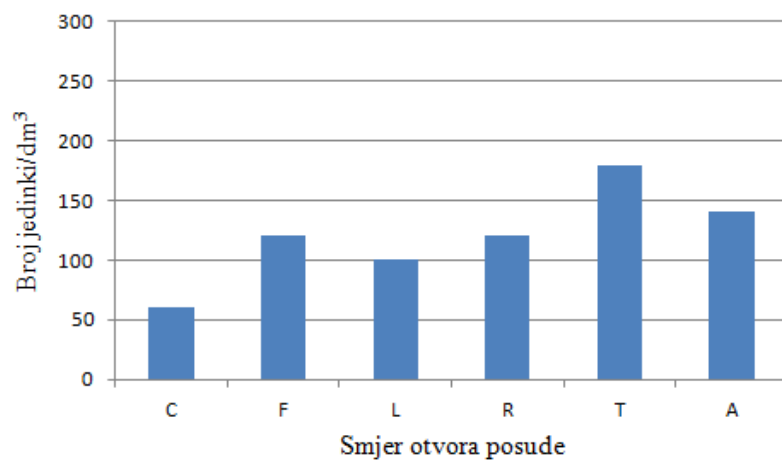
U obzir sam uzela migracijske obrasce najbrojnih skupina faune kukaca obalčara (Plecoptera), tulara (Trichoptera), dvokrilaca (Diptera) (posebno trzalaca (Chironomidae)) te ličinaka i imaga kornjaša (Coleoptera).

Lateralna migracija je bila dominantna u Trichoptera i Plecoptera. Glavni način naseljavanja Coleptera je iz drifta dok sam u predstavnika Chironomidae najveći broj jedinki pronašla u posudama čije su stjenke bile otvorene sa svih strana i posudama u kojima je bila omogućena migracija odozgo. Najveći broj jedinki Diptera zabilježila sam u posudama u kojima je bila omogućena lateralna migracija i posudama čije su stijenke bile otvorene straga (Slika 7).

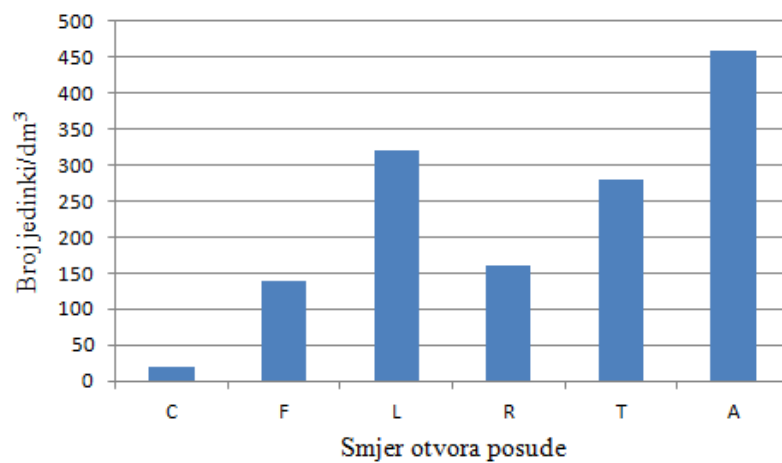
a)



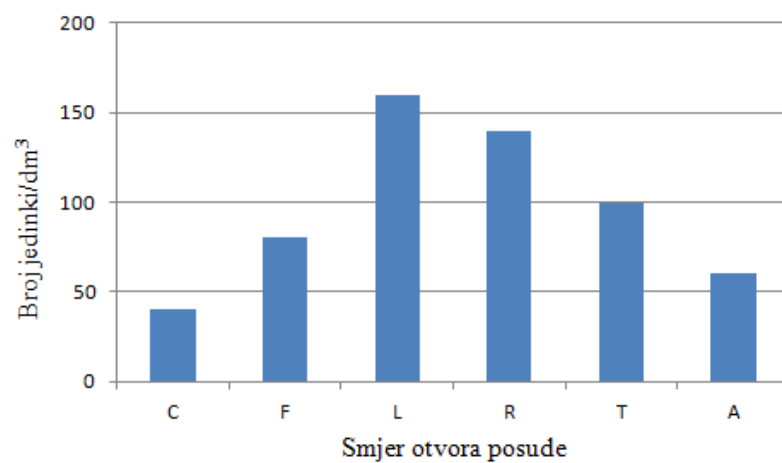
b)



c)



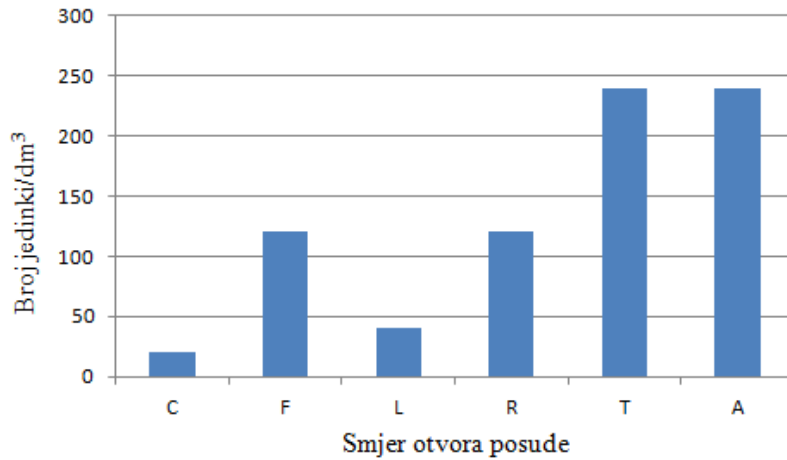
d)



Slika 7. Migracijski obrasci naseljavanja s obzirom na smjer otvora posude: kontrola (C), sprijeda (F), bočno (L), straga (R), odozgo (T), sa svih strana (A) za: a) Trichoptera, b) Coleoptera, c) Plecoptera, d) Diptera i e) Chironomidae; nastavlja se.

Nastavak slike 7.

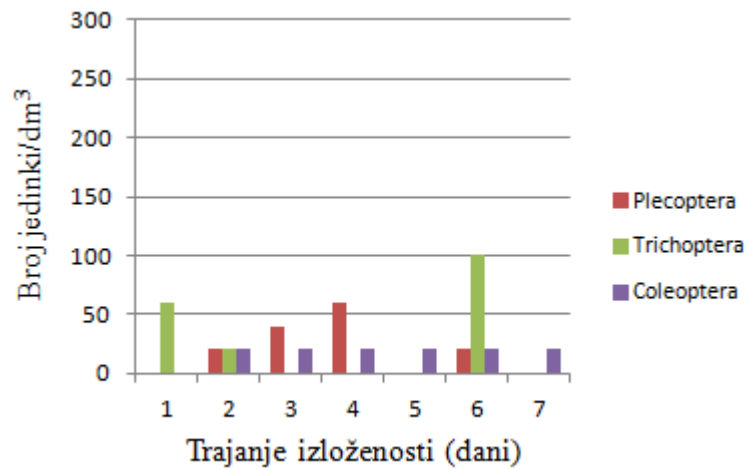
e)



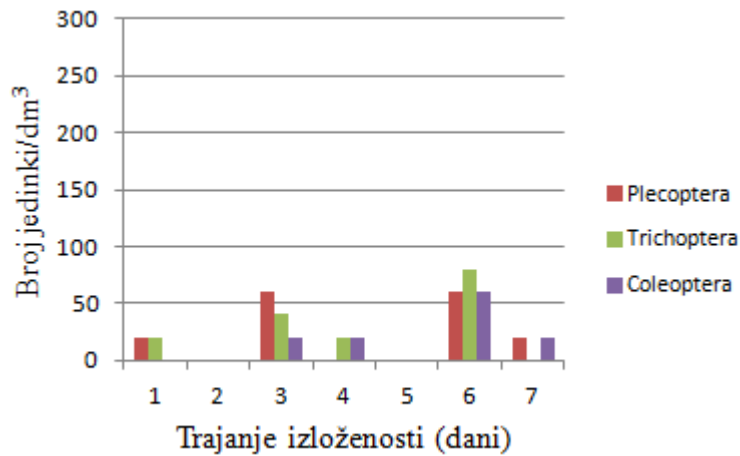
Slika 7. Migracijski obrasci naseljavanja s obzirom na smjer otvora posude: kontrola (C), sprijeda (F), bočno (L), straga (R), odozgo (T), sa svih strana (A) za: a) Trichoptera, b) Coleoptera, c) Plecoptera, d) Diptera i e) Chironomidae. Napomena: rasponi vrijednosti na osi ordinati nisu jednaki.

Uspoređujući broj svojti tijekom sedam dana nisam zabilježila jedinstven obrazac naseljavanja. U posudama otvorenima sprijeda stohastičko naseljavanje najizraženije je u Trichoptera odnosno roda *Hydropsyche*. S druge strane predstavnici Plecoptera odnosno roda *Amphinemura* u ovim posudama naseljavaju prostor kumulativno u prvim danima, ali u drugom dijelu istraživanog razdoblja gotovo potpuno napuštaju posude. Coleoptera pak ne pokazuju nikakve obrasce promjena strategije migracije. U posudama otvorenima straga kumulativno naseljavanje je zabilježeno u svim skupinama (Trichoptera, Plecoptera i Coleoptera). U posudama u kojima je bila omogućena lateralna migracija naseljavanje je najizraženije bilo kod Trichoptera u prvom dijelu istraživanog razdoblja. Coleoptera i Plecoptera ne pokazuju promjene u obrascima migracije. U posudama otvorenima sa svih strana naseljavanje je najizraženije u Trichoptera u prvom dijelu istraživanja, dok u Plecoptera životinje intezivnije ulaze u posudu u drugom dijelu istraživanog razdoblja. Coleoptera ne pokazuju promjene u strategijama naseljavanja. U migracijama odozgo Trichoptera i Coleoptera imaju stalan trend naseljavanja, dok je u Plecoptera zabilježena povećana brojnost u drugom dijelu istraživanog razdoblja (Slika 8).

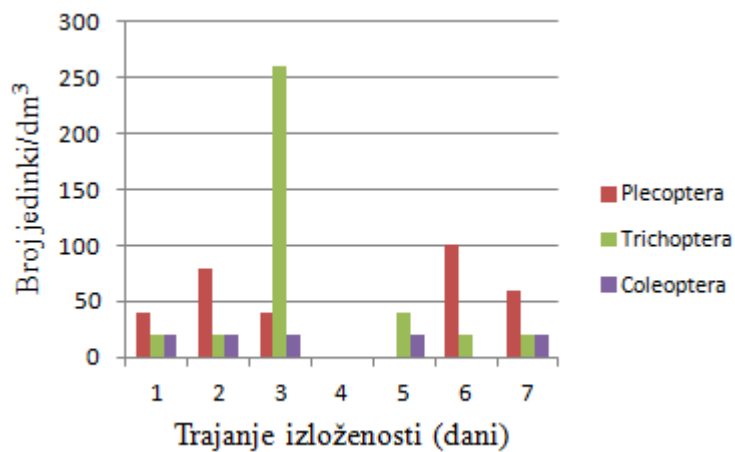
a)



b)



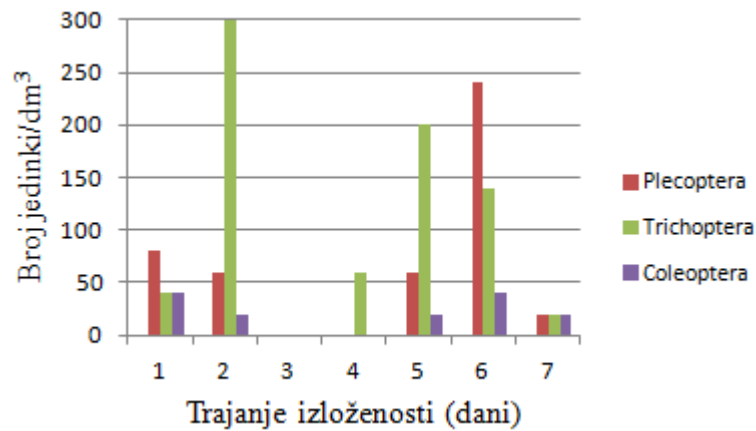
c)



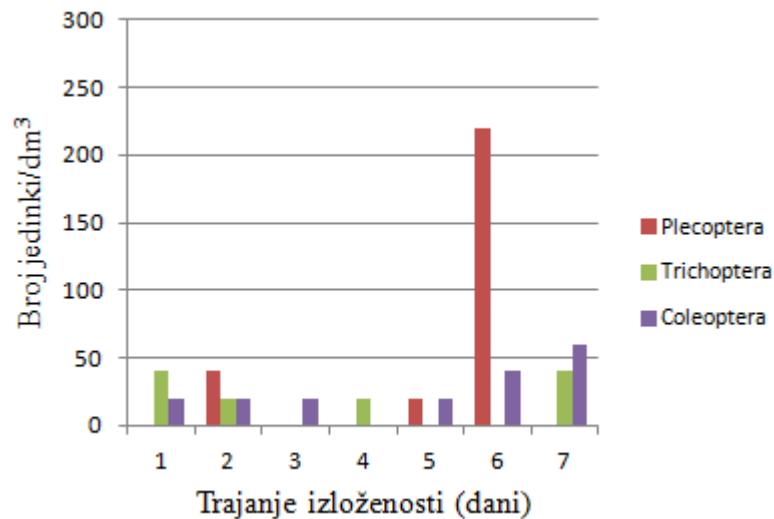
Slika 8. Brojnost pojedinih skupina (Trichoptera, Plecoptera, Ephemeroptera, Coleoptera, Diptera i Chironomidae) tijekom sedam dana s obzirom na smjer otvora stijenke posude
a) sprijeda, b) straga, c) lateralno, d) sa svih strana i e) odozgo (nastavlja se).

Nastavak slike 8.

d)



e)

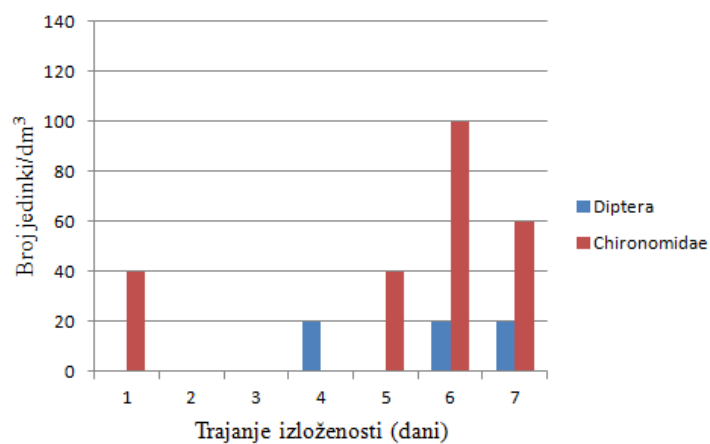


Slika 8. Brojnost pojedinih skupina (Trichoptera, Plecoptera, Ephemeroptera, Coleoptera, Diptera i Chironomidae) tijekom sedam dana s obzirom na smjer otvora stijenke posude a) sprijeda, b) straga, c) lateralno, d) sa svih strana i e) odozgo.

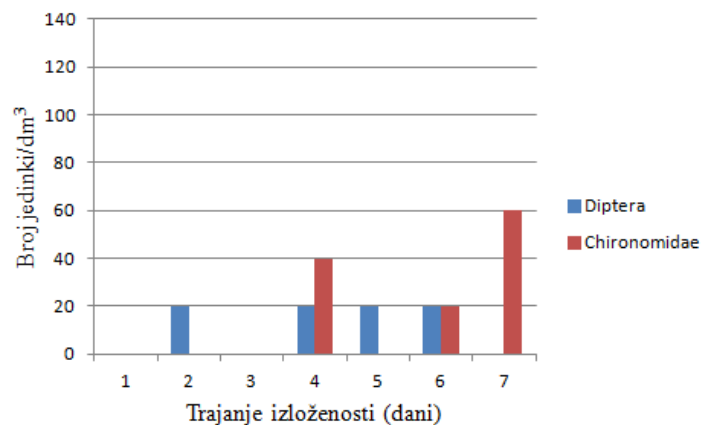
Za razliku od drugih Diptera, predstavnici porodice Chironomidae kumulativno naseljavaju prostor u potpuno otvorenim posudama, što se vidi posebno u drugom dijelu istraživanog razdoblja. U posudama otvorenima sprijeda Diptera ne pokazuju nikakve obrasce promjena strategije migracije. S druge strane predstavnici porodice Chironomidae izraženije naseljavaju posude u drugom dijelu istraživanog razdoblja. U posudama otvorenima straga i Diptera i Chironomidae kumulativno naseljavaju prostor. U posudama gdje je omogućena lateralna migracija Diptera ne pokazuju jasan obrazac naseljavanja, a predstavnici

Chironomidae gotovo se ne pojavljuju u lateralnoj migraciji. U migracijama odozgo predstavnici Diptera izraženije naseljavaju u prvim danima, a u Chironomidae sam zabilježila povećanu brojnost u drugom dijelu istraživanog razdoblja (Slika 9).

a)



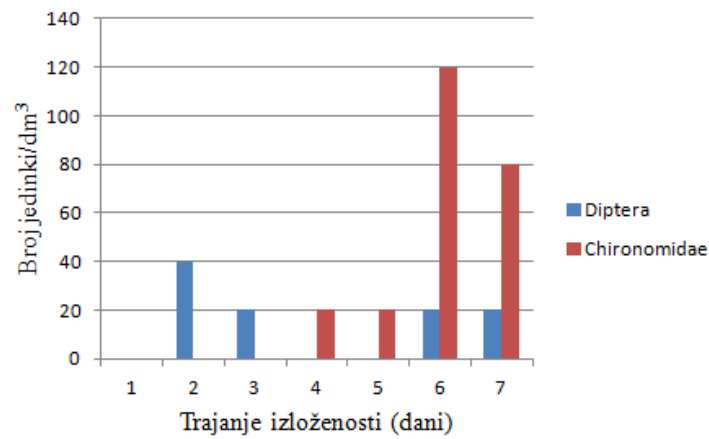
b)



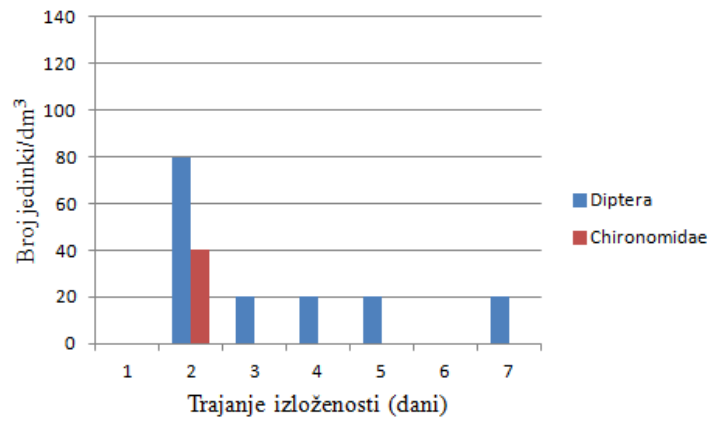
Slika 9. Brojnost pojedinih skupina (Diptera i Chironomidae) tijekom sedam dana s obzirom na smjer otvora stijenke posude a) sa svih strana, b) sprijeda, c) odozgo, d) bočno i e) straga (nastavlja se).

Nastavak slike 9.

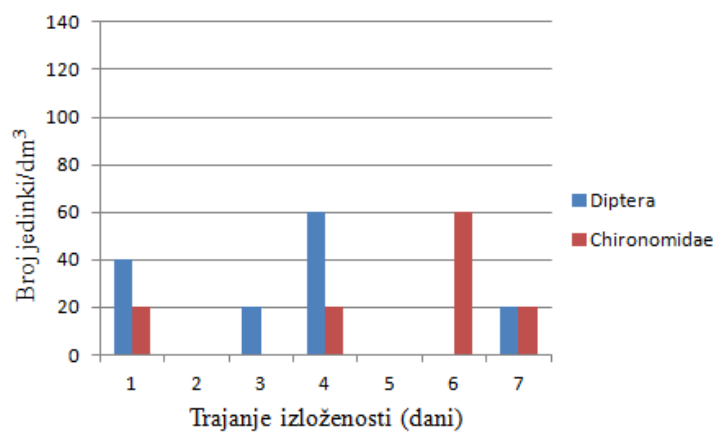
c)



d)



e)



Slika 9. Brojnost pojedinih skupina (Diptera i Chironomidae) tijekom sedam dana s obzirom na smjer otvora stijenke posude a) sa svih strana, b) sprijeda, c) odozgo, d) bočno i e) straga.

Rezultati χ^2 -testa pokazali su da postoji statistički značajna razlika u sklonosti životinja za usmjerenim kretanjem i to kod Trichoptera ($p = 0,022$) i Plecoptera ($p = 0,045$) i Chironomidae ($p = 0,049$). Sklonost neusmjerenim migracijama utvrdila sam za Coleoptera i nehironomidne Diptera.

Očekivano, najbolja kolonizacija je u potpuno otvorenim posudama, stoga sam zasebno razmotrila još i naseljavanje samo u selektivnim posudama. Maksimum naseljavanja Plecoptera utvrdila sam u posudama otvorenima sa svih strana i odozgo. Kod Trichoptera maksimum naseljavanja utvrdila sam u potpuno otvorenim posudama i posudama gdje je bila omogućena lateralna migracija. Coleoptera najbolje koloniziraju posude otvorene straga i odozgo, dok u Diptera je izražena lateralna kolonizacija. Chironomidae najbolje koloniziraju posude odozgo (Tablica 2).

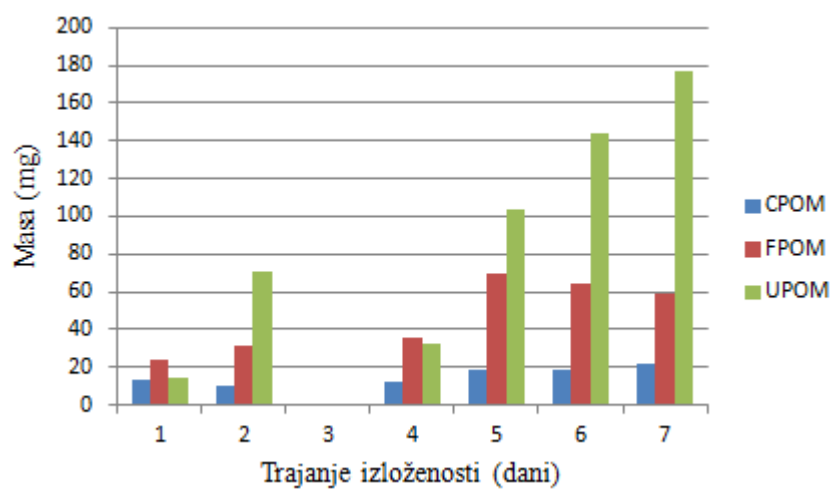
Tablica 2. Najveći postignuti udio naseljavanja Plecoptera, Trichoptera, Coleoptera, Diptera i Chironomidae u potpuno otvorenim posudama (A) i selektivnim posudama: bočno (L), odozgo (T) i straga (R) u odnosu na prirodnu brojnost tih svojta u okolnim staništima.

SVOJTA	TIP POSUDE	UDIO NASELJAVANJA
Plecoptera	A	48%
	T	44%
Trichoptera	A	39%
	L	34%
Coleoptera	R	23%
	T	23%
Diptera	L	44%
	T	19%
Chironomidae	T	19%

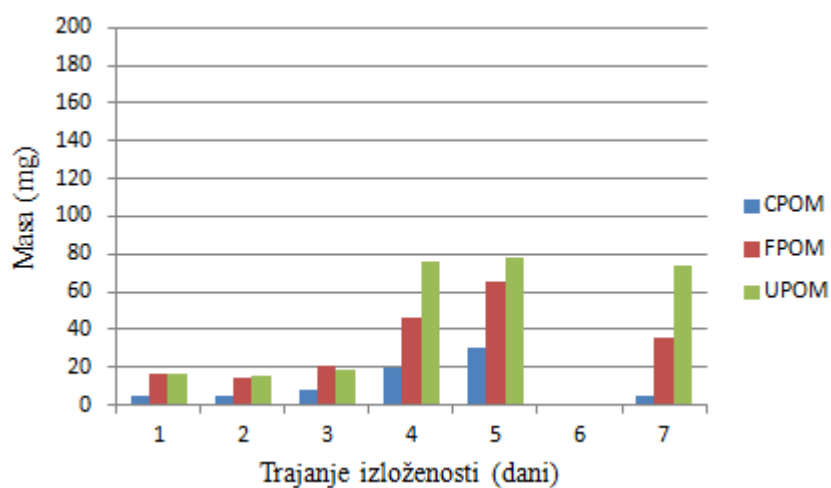
5.3. Dinamika organske tvari

Tijekom razdoblja istraživanja utvrdila sam razlike u akumulaciji organske tvari i to prema veličini čestica. U posudama čije su stijenke bile otvorene sa svih strana, odozgo i sprijeda utvrdila sam pravilan porast UPOM. Sličnu dinamiku zamijetila sam i za FPOM u posudama otvorenima sa svih strana. Najveći sadržaj FPOM je bio u posudama sa stijenkama otvorenima straga. Za CPOM sam zamijetila naznake akumulacijskog trenda u posudama otvorenima sprijeda, dok u ostalim tipovima posuda nisam zamijetila pravilne obrasce nakupljanja (slika 10).

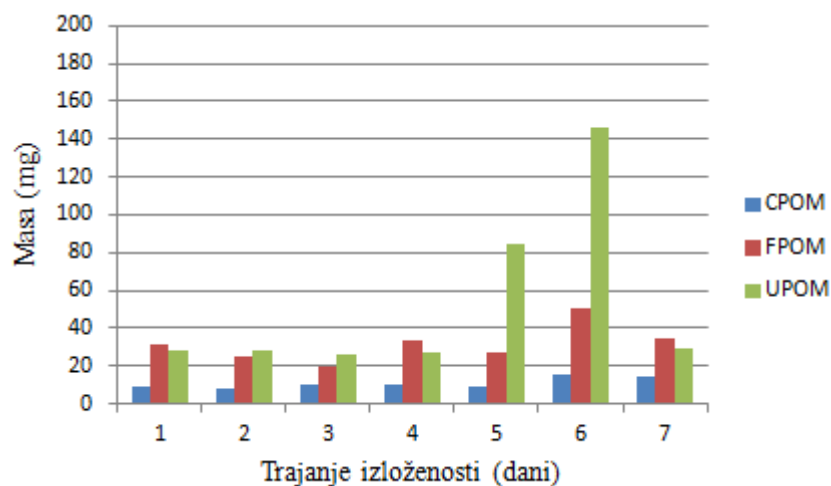
a)



b)



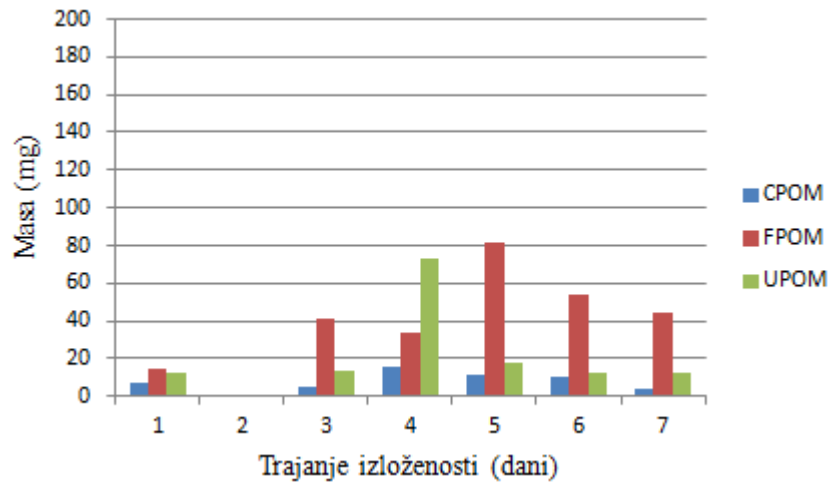
c)



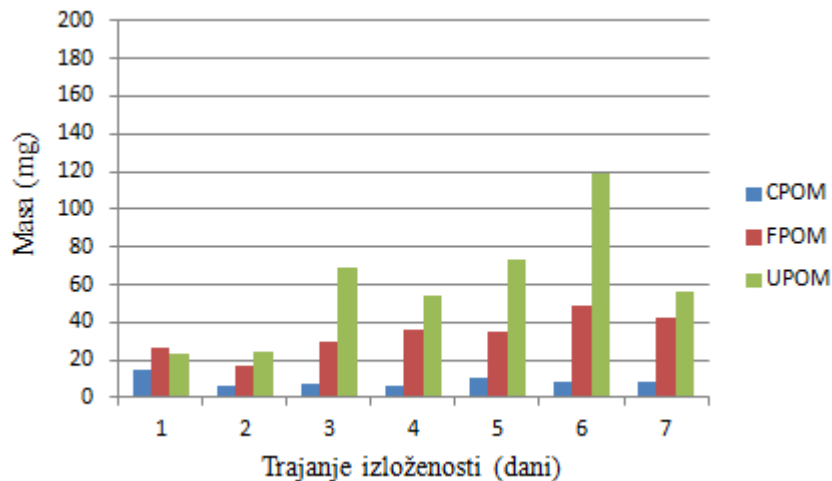
Slika 10. Prikaz akumulacije organske tvari (mg) tijekom sedam dana s obzirom na smjer otvora stijenke posude za: a) sa svih strana, b) srijeda, c) bočno, d) straga i e) odozgo (nastavlja se).

Nastavak slike 10.

d)



e)



Slika 10. Prikaz akumulacije organske tvari (mg) tijekom sedam dana s obzirom na smjer otvora stijenke posude za: a) sa svih strana, b) sprijeda, c) bočno, d) straga i e) odozgo.

Najzastupljenija frakcija usitnjene organske tvari bila je UPOM, a najmanje zastupljena CPOM. Svi veličinski razredi organske tvari najbolje se akumuliraju u posudama otvorenima sa svih strana. FPOM i UPOM se najviše akumuliraju u posudama otvorenim odozgo i straga (Tablica 3).

Tablica 3. Ukupna masa (mg) veličinskih razreda usitnjene organske tvari nakupljenja u pokusnim posudama otvorenima: sa svih strana (A), sprijeda (F), bočno (L), straga (R) i odozgo (T). Masno su otisnuti maksimumi nakupljanja u selektivnim posudama (F, L, R i T).

	A	F	L	R	T
CPOM	96,1	73,1	77,4	54,9	62,5
FPOM	283,6	199	222,1	270	235,3
UPOM	542,5	277,4	370,6	477,6	420,5

5.4. Spearmanov koeficijent korelacije

Koeficijenti korelacije pokazali su da je brojnost predstavnika porodice Chironomidae pozitivno i statistički značajno korelirana s količinom FPOM, UPOM te posljedično s ukupnom količinom detritusa kada se promatra cjelokupni pokusni postav (Tablica 4).

Tablica 4. Spearmanovi koeficijenti korelacije brojnosti Chironomidae i mase FPOM, UPOM i TPOM u cijelokupnom pokusnom postavu.

	N	R	<i>p</i>
FPOM	32	0,408	0,020
UPOM	32	0,394	0,025
TPOM	32	0,398	0,023

U analizi pojedinih pokusnih posuda Spearmanovi koeficijenti korelacije ukazali su na povezanost brojnosti: Chironomidae u posudama otvorenim odozgo s FPOM i TPOM te negativnu povezanost Trichoptera s količinom UPOM. Negativnu povezanost brojnosti nehironomidnih Diptera s količinom FPOM i UPOM u posudama otvorenim straga. Povezanost brojnosti Plecoptera s UPOM u posudama otvorenim bočno, a negativnu povezanost količine FPOM s brojnošću Trichoptera i Coleoptera (Tablica 5).

Tablica 5. Spearmanovi koeficijenti korelacije brojnosti Chironomidae, Trichoptera, Diptera, Plecoptera i Coleoptera i mase FPOM, UPOM i TPOM u posudama otvorenima odozgo (T), straga(R), bočno (L) i sprijeda (F).

T	N	R	<i>p</i>
CHI × FPOM	7	0,954	0,001
CHI × UPOM	7	0,655	0,110
CHI × TPOM	7	0,805	0,029
TRI × UPOM	7	-0,794	0,003
R			
DIP × FPOM	6	-0,912	0,011
DIP × UPOM	6	-0,765	0,048
DIP × TPOM	6	-0,765	0,078
L			
PLE × UPOM	7	0,368	0,038
COL × FPOM	7	-0,632	0,027
TRI × FPOM	7	-0,611	0,045
F			
TRI × FPOM	6	-0,778	0,069
TRI × UPOM	6	-0,778	0,069
TRI × TPOM	6	-0,778	0,069

6. RASPRAVA

Premda se temperaturno mahovinski sloj nije razlikovao od površinske preljevne vode u mahovinama je bilo manje otopljenog kisika. Razlog većoj koncentraciji kisika u površinskoj vodi u odnosu na vodu unutar mahovinskih sastojina je kontakt površinske vode sa zrakom što omogućuje veću raspoloživost kisika za otapanje. Dodatno, smatram da heterotrofni organizmi u mahovinama, odnosno mikrobna pa i životinjska aktivnost utječu na potrošnju kisika.

Visoka električna provodljivost vode je očekivana, zbog vapnenačke podloge koja obogaćuje jezersku vodu kalcijevim i bikarbonatnim ionima. Za veće vrijednosti provodljivosti u mahovinama u odnosu na preljevnu vodu najvjerojatnije su također odgovorni heterotrofni organizmi. Mikrobna komponenta 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). Kako je u mahovinama izraženija heterotrofna razgradnja troši se veća koncentracija kisika, nastaje CO₂, a time i ugljična kiselina (H₂CO₃), koja otapa vapnenac i dolomit i tako se stvaraju ioni koji dodatno povećavaju provodljivost vode (Woodruff i sur., 1999; Plant i House, 2002).

Tijekom svih sedam dana pH vrijednosti su bile više od 8, što je i karakteristika krških jezera. Zbog visokih koncentracija karbonatnih i bikarbonatnih iona u vodi omogućava se ravnoteža što pridonosi puferskom kapacitetu jezerske vode što je ujedno i razlog da nema velikih oscilacija pH vrijednosti.

Najbrojnije svojte su bile reofilne - rodovi *Amphinemura* i *Hydropsyche* (Schmedtje, 1995) što odražava činjenicu da je brzina strujanja vode značajan čimbenik u strukturiranju zajednica makrozoobentosa (Habdija i sur., 1994, 2000, 2004). Predstavnici reofilne faune iskorištavaju protok vode iznad mahovinskog pokrova za sakupljanje hrane (npr. *Hydropsyche* i Chironomidae; Moog, 2002). Očekivano je bilo da broj jedinki kontinuirano raste od prvog do sedmog dana ali zamijetila sam nepravilnost u brojnosti svih svojta tijekom pokusa. Najvjerojatniji razlog tomu je stalna migracija jedinki i potraga za boljim uvjetima života.

U posudama sa stjenkama otvorenima sa svih strana veći je broj koloniziranih jedinki u odnosu na ostale. Što se tiče selektivnih posuda praćenje brojnosti ukazalo je na sklonosti pojedinih svojta. Budući da su Chironomidae bili najbrojniji u posudama otvorenima odozgo najvjerojatnije su najučestaliji drifteri. Plecoptera su i drifteri i aktivni migratori unutar mahovina jer su podjednako bili brojni u posudama otvorenima bočno i onima otvorenima

odozgo. Rezultati indiciraju naseljavanje Coleoptera što se podudara s literaturnim podacima (Mendel i Muller, 1987). Trichoptera su u usporedbi s njima manje skloni aktivnom driftu te više migriraju unutar mahovina. Drift omogućuje prelazak organizama iz nepovoljnih staništa u nova i povoljnija. Razlog svih ovih razlika je vjerojatno način prehrane jer tulari tj. rod *Hydropsyche* izgrađuju mreže u koje hvataju hranu. Budući da su uložili energiju i resurse u izgradnji mreža, migracijama su samo skloni u svrhu dodatnog nalaženja hrane. Veliku brojnost Chironomidae u različitim migracijskim obrascima upućuje na povećanu pokretljivost ovih organizama što im omogućuje malo, crvoliko i nehitinizirano tijelo što je primjećeno i u drugim istraživanjima (Mackay, 1992). Strujanje vode pomaže u određivanju smjera migracije jer se životinje kreću okomito s obzirom na struju vode. Lateralne migracije su važne jer sprječavaju otplavlivanje populacija nizvodno i time one ostaju na istom mjestu unutar toka tekućice. Kada životinje utvrde da im područje ne odgovara onda ne idu samo lateralno već prilikom emigracije koriste i druge smjerove. Kako su u početnom dijelu istraživog razdoblja bile postavljene posude bez organske tvari, vjerojatno se dovoljna količina hrane nakupi nakon nekoliko dana. Time pretpostavljam da se radi o inicijalnom ponašanju pri naseljavanju jer se naseljavanje makrozoobentosa do stabilne zajednice odvija više tjedana te njihova kolonizacija ovisi i o količini dostupnih resursa. U kontrolnim posudama su zabilježene jedinke makrozoobentosa s pretpostavkom da je životinja uspjela proći kroz otvor pukotine na spojevima stranica posude.

Zadržavanje i nakupljanje usitnjene organske tvari u tekućicama ovisi o nekoliko međudjelujućih čimbenika, kao što su unos organske tvari, protok, brzina strujanja vode, sila gravitacije i uzgona, padaline, geomorfologija dna, fauna 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 mojim uzorcima dominirale su čestite UPOM. Zbog manjih dimenzija čestica taj je veličinski razred najpodložniji resuspenziji te se najbolje transportira i zbog toga čini većinu usitnjene organske tvari transportirane silom gibanja vode duž toka (Sedell i sur., 1978, Minshall i sur., 2000).

Značajan porast postotnog udjela FPOM tijekom vremena u posudama otvorenima straga posljedica je značajnog opadanja sadržaja ostalih veličinskih razreda detritusa, a napose CPOM. U lateralnom migracijskom obrascu utvrdila sam nagli porast i pad UPOM čestica u drugom dijelu istraživog razdoblja što može biti posljedica prisutnosti fekalnih zrnaca životinja. Fekalne čestice su važan dio hranidbenih mreža i transporta tvari i energije riječnog ekosustava (Moore i sur., 2004). Za CPOM se jedini pravi akumulacijski trend očituje u posudama otvorenima sprijeda što potvrđuje tezu da se radi prvenstveno o pasivnom

transportu dok se dinamika u ostalim posudama može objasniti odumiranjem mahovine. UPOM i FPOM se nakupljaju i odozgo i straga prvenstveno dakle prijenosom Chironomidae i Diptera, a smanjenje količine se mogu objasniti konzumacijom od Trichoptera i drugih kukaca.

Prema Spearmanovim koeficijentima korelacije moguće je objašnjenje da se Chironomidae ipak dulje zadržavaju u području posuda otvorenih odozgo, te nakon hvatanja čestica hrane iz stupca vode obavljaju i defekaciju na istom mjestu, dok su Trichoptera tj. *Hydropsyche* u ovom slučaju uglavnom korisnici resursa. Kako sam već opisala, oni samo u slučaju kad u mrežama nemaju dovoljno hrane, mijenjaju strategiju pribavljanja i postaju klasični detritivori koji se u potrazi za hranom udaljavaju od mreža ali se njima nakon pretraživanja okolnog prostora naposljetku vraćaju te dakle defekacijom prenose POM u blizinu mreža (Warren i sur. 2005; Wotton i Malmqvist, 2001). Trichoptera koji su u potrazi za hranom prema mojim podacima kreću se i unatrag, ali relativno rijetko. Budući da im je dominantan smjer migracija bočni vjerujem da ovo nizvodno kretanje poduzimaju samo u potrazi za hranom tijekom oskudice. Diptera također koriste ove resurse jer su primarno detritivori te zato finije frakcije detritusa ima manje u posudama gdje je intenzivniji ulaz Diptera, odnosno straga. Oni su vjerojatno također glavni vektor POM u ovom smjeru. Zbog strujanja vode transport organske tvari straga prema naprijed nije moguć pasivnim putem, već nakupljena organska tvar može biti samo prijenosom životinja ili odumiranjem mahovina (što je u pravilu CPOM) (Miliša i sur. 2014). Lateralne migracije su također važne u transportu detritusa. Negativna korelacija brojnosti roda *Hydropsyche* i skupine Coleoptera s frakcijama FPOM ukazuju na ingestiju čestica, dok pozitivna korelacija s brojnošću Plecoptera na donos POM defekacijom.

Pretpostavljam da tijekom ovog sedmodnevnog istraživanja na barijeri Novakovića Brod nisu pronađene sve skupine makrozoobentosa zbog nedovoljnog broja uzetih uzoraka i kratkog vremena istraživanja (Miliša, 2006b). Kako bi se mogla dobiti prava slika o migraciji i naseljavanju makrozoobentosa potrebno je nastaviti detaljnija istraživanja.

7. ZAKLJUČAK

U mahovinskim sastojinama uslijed djelovanja heterotrofnih organizama smanjena je količina otopljenog kisika, a povećana provodljivost, tj. raspoloživost otopljenih soli (iona).

Najbrojniji predstavnik Plecoptera u mahovinskom pokrovu je rod *Amphinemura*, a najbrojniji predstavnik Trichoptera je rod *Hydropsyche*. Kod Coleoptera najbrojniji rod je *Elmis*.

Najaktivniji migratori su predstavnici Plecoptera, Trichoptera i Chironomidae.

Sastav makrozoobentosa ovisi o smjeru migracije. Prilikom migracije, jedinke nekih svojta pokazuju sklonost i biraju smjer kretanja, a neke se kreću većinom nasumično.

Lateralna migracija je dominantna u skupine Trichoptera, a migracijama odozgo (stoga i u driftu) najviše su sklone predstavnici Chironomidae i Plecoptera. Neusmjerene migracije su zabilježene unutar skupine Coleoptera i nehironomidnih Diptera.

U transportu detritusa najveći dio čine fine čestice tj. FPOM i UPOM koji se nakupljaju i pasivno odozgo, ali i aktivno straga (iz nizvodnog područja, tj. uzvodno).

Uzvodni transport ovih čestica prvenstveno se ostvaruje prijenosom putem fekalnih zrnaca životinja napose predstavnika Chironomidae i Diptera. CPOM se transportira dominantno samo pasivno.

8. IZVORI

ALLAN, J. D. (1995): *Stream Ecology. Structure and function of running waters*. Chapman i Hall, London, 388 str.

ALLAN, J. D., CASTILLO, M. M. (2007): *Structure and function of running waters. Stream ecology*. Springer, Dordrecht.

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.

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.

CARTHEW, K. D., DRYSDALE, R. N., TAYLOR, M. P. (2003): Tufa deposits and biological activity, Riversleigh, northwestern Queensland. U Roach, I. C. (ur.), *Advances in Regolith: Proceedings of the CRC LEME Regional Regolith Symposia*. CRC LEME, Bentley, Australia: 55 - 59.

CHAFETZ, H. S. I FOLK, P. L. (1984): Travertines: Depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Petrology* 54: 289 - 316.

COSTA, S.S., MELO, A.S. (2008): Beta diversity in streammacroinvertebrate assemblages: among-site and among-microhabitat components. *Hydrobiologia* 598: 131 - 138.

CUMMINS, K. W. (1974): Structure and function of stream ecosystems. *BioScience* 24: 631-641.

CUMMINS, K. W. i KLUG, M. J. (1979): Feeding ecology of stream invertebrates. Annual review of ecology evolution and systematics 10: 147 - 172.

DEGENS, E. T. (1976): Carbonate, phosphate and silica deposition in the living cell. Topics in Current Chemistry 64, Inorganic Biochemistry, 1 112. SpringerVerlag, Berlin, Heidelberg, New York.

DELL INC. (2015). Dell Statistica (data analysis software system), version 12. software.dell.com.

DRYSDALE, R. N. (1998): Aquatic insect larvae as geomorphic agents in travertine-building: a case study from the Barkly karst, Australia. Supplementi, Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 3: 53 - 59.

DRYSDALE, R. N., LUCAS S., CARTHEW, K. D. (2003): The influence of diurnal temperatures on the hydrochemistry of a tufa-depositing stream. Hydrological Processes 17: 3421 – 3441.

FENOGLIO, S., AGOSTA, P., BO, T., CUCCO, M. (2002): Field experiments on colonization and movements of stream invertebrates in an Apennine river (Visone, NW Italy). Hydrobiologia 474: 125 – 130.

FINLAY, J. C., BOWDEN, W. (1994): Controls on production of bryophytes in an arctic tundra stream. Freshwater Biology 32: 455 - 466.

FORD, T. D., PEDLEY, H. M. (1996): A review of tuffa and travertine deposits of the world. Earth - Science Reviews 41: 117 - 175.

GONZÁLEZ, E., POZO J. (1996): Longitudinal and temporal patterns of benthic coarse particulate Organic matter in Agüera stream (northern Spain). Aquatic Sciences 58: 355 - 366.

GURTZ, M. E., WALLACE, J. B. (1984): Substrate mediated response of stream invertebrates to disturbance. Ecology 65: 1556 – 1569.

HABDIJA, I. (1983): Vertikalna stratifikacija abiotičkih ekoloških faktora u jezeru Kozjak (Plitvička jezera). *Ekologija* 18: 157 – 175.

HABDIJA, I., PRIMC-HABDIJA, B., BELINIĆ, I. (1994): Functional community organization of macroinvertebrates in lotic habitats of the Plitvice Lakes. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* 22: 85 - 92.

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.

HAWKINS, C. P., SEDELL, J. R. (1981): Longitudinal and seasonal changes in functional organization of macroinvertebrate communities in four Oregon streams. *Ecology* 62: 387 - 397.

IMBERT, J. B., POZO, J. (1989): Breakdown of four leaf litter species and associated fauna in a Basque Country forested stream. *Hydrobiologia* 182: 1 - 14.

KOSTIĆ-BRNEK, LJ., BRNEK-KOSTIĆ, A., (1974): Vode Nacionalnog parka Plitvička jezera i život u njima. U: „Plitvička jezera - Čovjek i priroda“, edicija u povodu 25- godišnjice nacionalnog parka Plitvička jezera, Nacionalni park Plitvička jezera 37 - 49.

KUČINIĆ, M., (2002): Raznolikost i rasprostranjenost tulara (Trichoptera, Insecta) u staništima Plitvičkih jezera. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, PMF, 138 str.

MACKAY, R. J., (1992): Colonization by lotic macroinvertebrates: a review of processes and patterns. *Can. J. Fish. aquat. Sci* 49: 217 - 628.

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 Plitivička jezera (Plitvice Lakes, Yugoslavia). *Acta biologica* 7: 1 - 87.

MENDEL, H., MULLER, K. (1978): The colonization cycle of *Amphinemura sulcicollis* Ris (Ins. Plecoptera) in the Abisco area. *Hydrobiologia* 60: 109 - 111.

MIHALJEVIĆ, Z., (1999): Sezonske promjene u trofičkoj strukturi makrozoobentosa Visovačkog jezera. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, PMF, 145 str.

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., 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.

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.

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

MINSHALL, G. W., THOMAS, S. A., NEWBOLD, J. D., MONAGHAN, M. T., CUSHING, C. E. (2000): Physical factors influencing fine organic particle transport and deposition in streams. *Journal of North American Benthological Society* 19: 1 - 16.

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.

MOOG, O. (2003): Fauna Aquatica Austriaca (Update), Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Vienna, Austria, 28 str.

MOORE, J.C., BERLOW E.L., COLEMAN D.C. et al. (2004): Detritus, trophic dynamics and biodiversity. Ecology Letters 7: 584 – 600.

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.

PREACHER, K. J. (2001): Calculation for the chi-square test: An interactive calculation tool for chi-square tests of goodness of fit and independence [Računalni program]. <http://quantpsy.org>.

PRINGLE, C. M., NAIMAN, R. J., BRETSCJKO, G., KARR, J. R., OSWOOD, M. W., WEBSTER, J. R., WELCOMME, R. L., WINTERBOURN, M. J., (1988.): Patch dynamics in lotic systems: the stream as mosaic. Journal of the North American Benthological Society, 7 503 - 524.

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.

PLANT, L. J., HOUSE, W. A. (2002): Precipitation of calcite in the presence of inorganic phosphate. *Colloids and Surface. A*, 203: 143 - 153.

RIĐANOVIĆ, J. (1994): Geografski smještaj (položaj) i hidrogeografske značajke Plitvičkih jezera. Plitvička jezera- nacionalno dobro Hrvatske, svjetska baština: znanstveni skup. Uprava nacionalnog parka Plitvička jezera, Zagreb.

RIĐANOVIĆ, J., BOŽIČEVIĆ, S. (1996.): Geographic-physical conditions of runoff and hydrogeological characteristics of the Plitvice Lakes. *Acta Geographica Croatica* 31: 7 - 26.

SCHMEDTJE, U. (1995): Ökologische Grundlagen für die Beurteilung von Ausleitungsstrecken - Beziehungen zwischen der sohnahen Strömung, dem Gewässerbett und dem Makrozoobenthos in Fließgewässern. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Schriftenreihe, Heft 25.

SEDELL, J. R., NAIMAN, R. J., CUMMINS, K. W., MINSHALL, G. W., VANNOTE, R. L. 1978. Transport of particulate organic material in streams as a function of physical processes. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 20: 1366 - 1375.

SERTIĆ PERIĆ, M., MILIŠA, M., MATONIČKIN KEPČIJA, R., PRIMC HABDIJA, B., HABDIJA, I. (2011): Seasonal and fine-scale spatial drift patterns in a tufa depositing barrage hydrosystem. *Funda. Apple Limnolol* 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.

STEWART, B. A., DAVIES, B. R. (1990): Allochthonous input and retention in a small mountain stream. *Hydrobiologia* 202: 135 - 146.

STILINOVIĆ, B. (1994): Temeljni fenomen Plitvičkih jezera (The fundamental phenomenon of the Plitvice Lakes). U: Plitvička jezera - nacionalno dobro Hrvatske, svjetska baština: znanstveni skup, Uprava Nacionalnog parka Plitvička jezera, Zagreb 53 - 76.

STILINOVIĆ, B., BOŽIČEVIĆ, S. (1998): The Plitvice lakes. A natural phenomenon in the middle of the Dinaridic Karst in Croatia. *European Water Management* 1/1, 15 – 24.

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.

SUREN, A. M., WINTERBOURN, M. J. (1992): The influence of periphyton, detritus and shelter on invertebrate colonisation of aquatic bryophytes. *Freshwater Biology* 27: 327 - 339.

ŠPOLJAR, M., ŠNELLER, D., MILIŠA, M., LAJTNER, J., SERTIĆ PERIĆ, M. RADANOVIĆ, I. (2012): Entomofauna of submerged macrophyte stands in reservoirs (Papuk Nature Park). *Entomologia Croatica* 16: 7 – 20.

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 – 13.

VUKASOVIĆ, D. (1777): Beschreibung des Karlstadter Generalats im Königreiche Kroatien. C.D. Bartsch, U: *Ungrishes Magazine* 3/1784,,: 454 - 455.

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.

WARREN, L. L., WHARTON, G., WOTTON, R. S. (2005): The role of faecal pellets in lowland permeable catchments. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 29: 167 – 169.

WARINGER, J., GRAF, W. (2011): *Atlas of Central European Trichoptera Larvae / Atlas der Mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven*. Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben.

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): Feces 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 Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Limnologica* 34: 315 - 348.

9. ŽIVOTOPIS

Rođena sam u 26. 11. 1991. godine u Somboru (Republika Srbija). Osnovnu školu sam završila u Borovu Naselju 2006. godine, nakon čega sam upisala Gimnaziju „Vukovar“, u Vukovaru, opći smjer, te je završila 2010. godine. Iste godine sam se upisala na Odjel za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku gdje sam završila prediplomski studij eksperimentalne biologije 2013. godine. Iste godine sam upisala diplomski studij biologije na Prirodolovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Tijekom studiranja upisala sam u Osijeku 2015. godine na Filozofskom fakultetu pedagoško-psihološku-didaktičko-metodičku izobrazbu kako bih se osposobila za izvođenje nastave u osnovnim i srednjim školama. Služim se engleskim jezikom.

