

# Seston Roškog slapa i Skradinskog buka

---

Zorko, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:423190>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-03**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Josip Zorko

**Seston Roškog slapa i Skradinskog buka**

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Josip Zorko

**Seston of Roški slap and Skradinski buk  
waterfalls**

Master thesis

Zagreb, 2021.

Ovaj rad je izrađen u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod voditeljstvom izv. prof. dr. sc. Marka Miliše. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra struke znanosti o okolišu.

*Prvenstveno, veliko hvala mentoru izv. prof. dr. sc. Marku Miliši na predloženoj temi, korisnim savjetima i ponajviše razumijevanju i susretljivosti tijekom izrade diplomskog rada.*

*Zatim želim zahvaliti svojoj obitelji na emocionalnoj podršci i povjerenju koje su imali za mene kroz cijeli period studiranja, te financijskoj potpori koja mi je to i omogućila.*

*Dodatno zahvaljujem svim kolegama, prijateljima, ali i profesorima i ostalim službenicima Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu koji su uljepšali moje studentske dane i ostali u najboljem sjećanju.*

*Na posljetku želim se zahvaliti Heleni koja je bila uz mene u najtežim trenucima studiranja, te potpora na koju uvijek mogu računati.*

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

## Seston Roškog slapa i Skradinskog buka

Josip Zorko

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Seston opisuje svu tvar suspendiranu u vodi, iako se termin češće koristi u kontekstu suspendirane organske tvari. Koncentracije sestona rezultat su kompleksnih odnosa unosa i procesiranja alohtone i autohtone, organske i anorganske tvari, njihove sedimentacije i resuspenzije te protoka i brzine strujanja vode. Prikupljanje uzoraka obavljeno je tijekom jedne godine, od studenog 2013. godine do listopada 2014. godine s lijeve i desne strane Roškog slapa i Skradinskog buka. Za uzorkovanje su korištene modificirane drift - mreže, a uz uzorke sestona mjerena su i fizikalno - kemijska svojstva vode. Ustanovljeno je da razliku u temperaturi, koncentraciji kisika, sastavu i količini sestona uvjetuju promjene hidrodinamike u jezeru Visovac koji odvaja proučavane sedrene barijere. Utvrđeno je da se preko Roškog slapa preljeva statistički značajno više suhe tvari, te njene organske i anorganske komponente kao rezultat trajnog ispiranja čestica tokom rijeke Krke. Preljevne vode Skradinskog buka potječu iz jezera Visovac koje uvjetuje povećanu sedimentaciju čestica. Na Roškom slapu zabilježena je i veća brojnost organizama u driftu iako se razlika nije pokazala statistički značajnom, dok se na Skradinskom buku ističe pojava planktonskih organizama sukladno jezerskom porijeklu preljevnih voda.

(44 stranica, 10 slika, 3 tablice, 71 literaturnih navoda, jezik izvornika: Hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: Drift, krš, sedrene barijere, suspendirane čestice, protok, sezonalnost

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Marko Miliša

Ocjenitelji:

Doc. dr. sc. Zoran Marčić

Prof. dr. sc. Marijan Kovačić

Doc. dr. sc. Ivan Čanjevac

Rad prihvaćen: 29. 4. 2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Master Thesis

### Seston of Roški slap and Skradinski buk waterfalls

Josip Zorko

Rooseveltovtrg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Seston is defined as all matter suspended in the water column, although the term is more commonly used in the context of suspended organic matter. Seston concentrations are the result of complex relations of intake and processing of allochthonous and autochthonous, organic and inorganic matter, their sedimentation and resuspension, and the discharge and flow velocity of water. Sample collection was performed during one year, from November 2013 to October 2014 on the left and right sides of Roški slap and Skradinski buk waterfalls. Modified drift nets were used for sampling, and physicochemical properties of water were measured in addition to seston sample collection. Research has shown that the difference in temperature, oxygen concentration, composition and amount of seston is caused by changes in hydrodynamics in Lake Visovac, which separates the studied travertine barriers. It was found that statistically significantly more dry matter, and its organic and inorganic components flow over the Roški slap waterfall as a result of permanent flushing of particles along the upper section of the Krka River. The overflow waters of Skradinski buk originate from Lake Visovac, which serves as a particle sink (i.e. pronounced sedimentation of particles). A higher number of organisms in drift was recorded at Roški slap, although the difference did not prove to be statistically significant, while at Skradinski buk the appearance of planktonic organisms in accordance with the lake origin of overflow waters is emphasized.

(44 pages, 10 figures, 3 tables, 71 references, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Keywords: Drift, karst, tufa barriers, suspended particles, discharge, seasonality

Supervisor: Assoc. Prof. dr. sc. Marko Miliša

Reviewers:

Asst. Prof. dr. sc. Zoran Marčić

Prof. dr. sc. Marijan Kovačić

Asst. Prof. dr. sc. Ivan Čanjevac

Thesis accepted: 29. 4. 2021.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 Seston.....	1
1.2 Zooseston.....	3
1.3 Detritus .....	4
1.4 Sedrene barijere .....	6
<b>2. CILJ ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>9</b>
<b>3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>10</b>
3.1 Nacionalni park Krka.....	10
3.2 Litologija, hidrologija i klimatologija poriječja Krke .....	10
3.3 Istraživačke postaje.....	14
<b>4. MATERIJAL I METODE.....</b>	<b>15</b>
4.1 Prikupljanje i obrada uzoraka .....	15
4.2 Mjerenje fizikalno kemijskih parametara vode .....	17
<b>5. REZULTATI .....</b>	<b>18</b>
5.1 Fizikalno-kemijski parametri vode.....	18
5.2 Protok i brzina strujanja vode.....	19
5.3 Pronos sestona Roškog slapa i Skradinskog buka ovisno o strani uzorkovanja.....	21
5.4 Ukupan pronos sestona Roškog slapa i Skradinskog buka.....	25
5.5 Zooseston.....	28
<b>6. RASPRAVA .....</b>	<b>30</b>
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>36</b>
<b>8. LITERATURA .....</b>	<b>37</b>
<b>9. ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>44</b>



# 1. UVOD

## 1.1 Seston

Seston se definira kao sva suspendirana tvar u stupcu vode. Uključujući anorganske čestice, nežive organske čestice odnosno detritus i žive organizme. Abioseston opisuje ukupan seston bez živih organizama koji se definiraju kao bioseston ili s naglaskom na životinje zooseston (Hutchinson 1967; Coma i sur. 2001). Unatoč navedenoj definiciji, pojam seston se u literaturi najčešće koristi s naglaskom na neživu organsku frakciju ukupnog suspendiranog materijala, detritus (Webster i sur. 1987) ili suspendirani organski ugljik (Vadeboncoeur 1994).

Izuzevši žive organizme, materijal koji čini seston može biti autohton i rezultat procesa unutar vodenog okoliša poput odumrlih dijelova makrofita, svlakova člankonožaca i životinjski feces. Alohtoni materijal u sestonu vodenog tijela dolazi primarno kao otpalo lišće listopadnog drveća, drveni ostaci okolne vegetacije te isprane mineralne i organske čestice tla (Allan i Castillo 2007). Neživa frakcija sestona dalje se može podijeliti na anorgansku i organsku komponentu. Anorganska komponenta se uglavnom sastoji od suspendiranih mineralnih čestica, najčešće minerala glina, ali i čestica većih dimenzija poput čestica mulja ili pijeska ovisno o brzini strujanja vode. Porijeklo tih čestica je u pravilu fluvijalna erozija korita uzvodnih tokova, pri većim brzinama strujanja vode i pojačane erozijske snage ili resuspenzija ranije sedimentiranih čestica. U određenim godišnjim dobima s više padalina (primjerice jesen i proljeće) važan izvor mineralnih čestica postaje ispiranje s okolnih obalnih površina. Količine ispranih mineralnih čestica ovise i o reljefu odnosno veličini sliva, geološkom sastavu i nagibu terena (Chien i Zhaohui 1999). Sastav anorganske komponente sestona nije od znatnog biološkog značaja stoga će unutar ovog rada biti veći osvrt na organsku komponentu.

Ugljik, u užem smislu organski ugljik (spojevi ugljika s vodikom, kisikom, u manjoj mjeri dušikom i sumporom te nekim drugim elementima) ili detritus, osnovni je dio hranidbene mreže. Kolokvijalno se može smatrati „valutom“ unutar ekosustava budući da količina i dostupnost organskog ugljika ima izravan utjecaj na razvoj i strukturu biocenoza (Hauer i Lamberti 2017).

Organski ugljik, unutar vodenog ekosustava, u širokom smislu dijelimo na otopljenu organsku tvar (eng. DOM - *dissolved organic matter*) i organske čestice (eng. POM - *particulate organic matter*) koje se dalje dijele na veličinske razrede. Krupne organske čestice (eng. CPOM - *coarse particulate organic matter*) veličine  $>1$  mm, sitne organske čestice (eng. FPOM - *fine particulate organic matter*) veličine 50  $\mu\text{m}$  - 1 mm i najsitnije organske čestice (eng. UPOM - *ultra fine particulate organic matter*) veličine 0,5 - 50  $\mu\text{m}$  (Allan i Castillo 2007; Dodds i Whiles 2020). Wotton i sur. 1998 u DOM svrstavaju svu organsku tvar koja prolazi kroz mrežice otvora oka 50  $\mu\text{m}$ . Uzimajući u obzir da najsitnije čestice (UPOM) nisu značajne u ovom radu, daljnji tekst će na njih referirati kao DOM prema ranije spomenutoj definiciji (Wotton i sur. 1998). Budući da sedimentacija čestica ovisi o transportnoj moći vode odnosno brzini toka, krupne se čestice brže sedimentiraju u odnosu na sitne čestice mnogo manje relativne mase. Sitne čestice dulje ostaju u suspenziji i samim time se dalje transportiraju u nizvodnom toku. Valja istaknuti da spomenuto pravilo ne vrijedi nužno u svim staništima. Primjerice u sastojinama makrofita i mahovina krupnije čestice veće površine struja vode ne uspijeva odvojiti od prepreka pa tako mjestimično nastaju veće nakupine krupnih čestica (Chien i Zhaohui 1991; Thomas i sur. 2001).

Dio energije u vodenom ekosustavu rezultat je primarne proizvodnje autotrofnih organizama. U tekućicama nižeg reda to su bentičke alge i makrofiti, a u tekućicama višeg reda značajniji postaje udio primarne produkcije fitoplanktona. Iako primarna produkcija može biti značajan udio energije u ekosustavu, većina energije koja podržava biocenoze tekućica proizlazi iz detritalnih i to većinom alohtonih izvora (Eriksson 2002; Allan i Castillo 2007). Značaj alohtonog izvora energije veći je u lotičkim staništima nižeg reda koji zbog zasjenjenosti i manjeg volumena vode imaju znatno manju primarnu proizvodnju (Vannote i sur. 1980).

Sastav sestona je ovisan o brojnim čimbenicima od kojih su primarni protok i brzina strujanja vode, odnos unosa organske tvari u sustav, njen transport i retencija. Važne odrednice su sedimentacija unutar proširenja toka odnosno ujezerenja, hvatanje u prepreke poput struktura dna (primjerice veće kamenje) tako i u biološke strukture (korijenje ili sastojine makrofita, ali i strukture animalnog podrijetla poput mreža tulara; primjer Slika 1.). Vrsta i svojstva podloge, pokrivenost makrofitima i životinjske zajednice su dakle ključne u zadržavanju čestica, kako organskih tako i anorganskih (Webster i sur. 1987; Bretschko 1990; Prochazka i sur. 1991; Wanner i Pusch 2001; Habdija i sur. 2004). Budući da su brojni navedeni čimbenici varijabilni

prostorno i vremenski tako je sastav i količina sestona promjenjiva, prostorno, sezonski i dnevno (Allan i Castillo 2007; Hauer i Lamberti 2017). Jedan od primjera temporalne varijacije je učestalo povišena količina sestona (do 80%) u noćnim satima uslijed bioturbacijskih aktivnosti bentičkih organizama (Richardson i sur 2009).



Slika 1. Mreže tulara rod *Neureclipsis*.

## 1.2 Zooseston

Živa komponenta sestona ili zooseston opisuje sav životinjski svijet u stupcu vode, ponajviše su to organizmi drifta, ali uključuje organizme planktona i nektona. Drift se jednostavno može opisati kao nizvodni transport organizama u struji vode (Brittain i Eikeland 1988). Najistraživanija staništa po pitanju organizama u driftu su relativno brzi potoci umjerenih pojaseva. Skupine koje se u najbrojnije u driftu su vodencvjetovi (Ephemeroptera), mušice svrbljivice (Simuliidae), obalčari (Plecoptera), tulari (Trichoptera) (Brittain i Eikeland 1988). Osim navedenih skupina u većoj mjeri mogu biti zastupljeni i amfipodni rakovi (Amphipoda), trzalci (Chironomidae), kornjaši (Copepoda), pijavice (Hirudinea) i mekušci (Mollusca) (Elliott

1973; Marsh 1980; Marchant 1981; Scullion i Sinton 1983). Organizmi zoosestona, na osnovu hrane koju konzumiraju (CPOM, FPOM, obraštaj ili živi plijen) dijele se na funkcionalne hranidbene skupine. Krupnim organskim česticama hrane se usitnjivači. Rezultirajuća fragmentacija krupne organske tvari i proizvodnja značajne količine fekalnih peleta izvor su FPOM kojim se iz suspenzije hrane procjeđivači, a u sedimentu sakupljači (detritivori) koji dijelom za hranu koriste i manje čestice CPOM. Obraštaj konzumiraju strugači, dok se živim plijenom hrane grabežljivci (Moog 2002). Struktura životnih zajednica organizama prema udjelu pojedinih funkcionalnih hranidbenih skupina promjenjiva je u longitudinalnom rasponu tekućice. Usitnjivači su u najvećem udjelu prisutni u malim potocima nižeg reda koji energetski ovise o alohtonom materijalu. Porastom reda tekućice i povećanjem udjela FPOM u sestonu, udio usitnjivača se drastično smanjuje dok sakupljači i strugači čine većinu. Udio predatora kroz porast reda tekućice ostaje konstantan, a primarno ovisi o dostupnosti plijena. U slučaju velikih rijeka i jezera gdje stopa primarne produkcije premašuje stopu respiracije, u zoosestonu dominantan postaje udio planktonskih organizama poput rašljoticalaca (Cladocera) i veslonožaca (Copepoda). Isto se može odraziti na zooseston preljevnih voda iz jezera koja prekidaju longitudinalne obrasce pronosa i procesiranja organske tvari, a samim time i strukturu životinjskih zajednica (Vannote i sur. 1980; Vadeboncoeur 1994).

### **1.3 Detritus**

Pojam detritus obuhvaća sve vrste neživog organskog ugljika. Također on čini energetski temelj za hranidbeni lanac tekućica (Vannote i sur 1980). Tu spada otpalo lišće listopadnih vrsta, otpadni produkti životinja, uginuli organizmi te brojni drugi organski spojevi uključujući neke nepoznatog izvora. Izvorno se detritusom smatrala samo kruta organska tvar raznih dimenzija, a neki autori uključuju i otopljenu organsku tvar (DOM) (Wetzel 2001). DOM se grubo definira kao organska tvar koja prolazi kroz filtere otvora oka 50  $\mu\text{m}$  (Wotton i sur. 1998). Dokazano je kako ličinke organizama poput mušica svrbljivica (Simuliidae), koje se hrane procjeđivanjem detritusa iz suspenzije, direktno utječu na dostupnost i transport organskih tvari procesirajući sitne organske čestice (FPOM) i otopljenu organsku tvar (DOM) u fekalne pelete. Oni se dalje transportiraju nizvodno ili sedimentiraju i time stvaraju dodatan izvor hrane zajednicama

makrozoobentosa (Merritt i sur. 1984; Hershey i sur. 1996; Wotton 1996). Osnovna kategorizacija detritusa dijeli ga u ranije spomenute kategorije CPOM (>1 mm), FPOM (1 mm-50  $\mu$ m) i DOM (<50  $\mu$ m) (Cummins i Klug 1979, Wotton i sur. 1998).

U CPOM je načelno uvršten drveni materijal i ostali biljni materijal poput lišća, iglica, cvijeća, plodova i njihovih dijelova. S obzirom na drugačiju građu, drveni materijal u manjem dijelu sudjeluje kao izvor hrane jer se teže razgrađuje. Procesiranje krupne organske tvari igra fundamentalnu ulogu u kruženju organskog ugljika i ostalih nutrijenata, a zahtjeva niz kompleksnih biotičkih i abiotičkih utjecaja i međudjelovanja (Tonin i sur. 2017). U trenutku kada CPOM, primarno listinac, završi u vodenom okolišu on se relativno brzo sedimentira i započinje proces razgradnje. Razgradnja se odvija u četiri stadija od kojih je početni ispiranje (eng. *leaching*), zatim slijedi mikrobno kondicioniranje te razgradnja uslijed djelovanja odnosno hranjenja usitnjivača. Uz njih paralelno se tijekom cijelog procesa odvija i fizička fragmentacija. Ispiranje topivih organskih tvari započinje u trenutku submerzije, početkom se primarno odvija kroz puči, a u kasnijim stadijima kroz novonastala oštećenja uzrokovana abrazijom i djelovanjem živih organizama. Ispiranje može uzrokovati znatan gubitak mase listinca, u nekim slučajevima i do 50% originalne mase unutar prvih 24 sata (Peterson i Cummins 1974, Benfield 1996). Kondicioniranje listinca je rezultat mikrobne kolonizacije bakterijama i gljivama (Hyphomycetama) i algama kremenjašicama. One mogu imati znatno veću nutritivnu vrijednost od samog biljnog materijala. Izlučene tvari spomenutih organizama su kemijski signal za dodatnu kolonizaciju organizmima makrozoobentosa, primarno usitnjivačima (Cummins 1974). Fragmentacija listinca rezultat je i fizičke abrazije uslijed transporta i naprezanja uzrokovanog silom tekuće vode. Značaj fizičke fragmentacije na sveukupni gubitak mase tijekom razgradnje listinca je varijabilan i slabo proučavan tako da će veći osvrtni biti na biološku fragmentaciju. Biološka fragmentacija je posljedica životnih funkcija usitnjivača, primarno hranjenja i probave, koja rezultira usitnjavanjem originalnog krupnog materijala (CPOM) u sitne organske čestice (FPOM) koje se dalje transportiraju nizvodno (Cuffney i sur. 1990). Konačni produkti raspada i razgradnje listinca su biomasa mikroba i usitnjivača, FPOM, DOM, ostali nutrijenti i CO<sub>2</sub> (Gessner i sur. 1999).

FPOM se ističe kao osnova hranidbenih mreža širokog spektra lotičkih staništa (Cummins 1974), a glavni je izvor hrane za dvije značajne trofičke skupine vodenih beskralježnjaka,

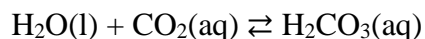
procjeđivače i sakupljače (detritivore) (Wallace i Merritt 1980). U longitudinalnom rasponu tekućica, od izvora do ušća, raste udio FPOM u sestonu. Veći udio FPOM u tekućicama višeg reda rezultat je razgradnje CPOM u manjim uzvodnim tokovima gdje je unos alohtonog materijala veći, a usitnjivači dominantna trofička skupina. Sukladno tome s porastom reda tekućice progresivno raste i efikasnost s kojom organizmi hvataju i asimiliraju sitnije organske čestice (Vannote i sur. 1980). Osim fragmentacijom i relativno neučinkovitom probavom krupnih organskih čestica, FPOM nastaje i flokulacijom otopljenih organskih tvari (DOM), ispiranjem s kopnenih površina, otpuštanjem bakterijskih stanica i nakupina te hifa i spora gljiva (Gessner i sur. 1999; Allan i Castillo 2007). Nizvodni transport sitnih organskih čestica je dinamičan i ne uključuje samo longitudinalan transport uz stopu retencije i asimilacije već i sedimentaciju te ponovnu resuspenziju ranije istaloženih čestica (Hutchens i sur. 2017).

Ranije spomenut nagli prekid longitudinalnih obrazaca sastava i prerade organske tvari nastaje u slučaju ujezerenja. Ona predstavljaju jasnu granicu gdje je količina i kvaliteta odnosno nutritivna vrijednost sestona, samim time i detritusa, odraz trofičke razine i primarne produkcije jezera. Tako i preljevne vode jezera imaju izravan utjecaj na daljnji lotički ekosustav (Vadeboncoeur 1994). Indikatori kvalitete sestona, uže gledano detritusa, poput koncentracije klorofila A i udjela bjelančevina smanjuju se udaljavanjem od jezera, dok udio anorganskih čestica raste (Richardson 1984; Valett i Stanford 1987). Sukladno tome ističe se pojava velikih gustoća procjeđivača neposredno uz izvor preljevnih voda (Richardson i Mackay 1991).

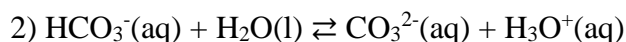
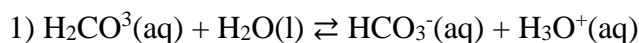
## **1.4 Sedrene barijere**

Područja čija je litološka podloga primarno sastavljena od karbonatnih stijena (vapnenaca i dolomita) osnova su za nastanak brojnih krških geomorfoloških pojava. U kontekstu tekućica ističe se taloženje sedre, poroznih naslaga kalcijeva karbonata (kalcita), a u konačnici i izdizanje sedrenih barijera. (Chen i sur 2004; Miliša i sur. 2010; Špoljar i sur. 2011). Razlog tome je relativno visoka topivost karbonatnih stijena u vodi. Uloga vode u stvaranju geomorfoloških pojava može se podijeliti na kemijski utjecaj otapanjem i taloženjem te fluvijalno erozijski utjecaj gdje sama sila tekuće vode erodira podlogu. U slučaju karbonatne litologije terena posebno do izražaja dolazi značaj kemijske interakcije vode i njene podloge. Čista voda ne posjeduje

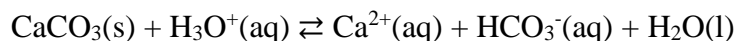
značajnu sposobnost otapanja karbonatnih stijena. Sposobnost vode za otapanje karbonatnih stijena usko je vezana za prisutnost ugljikova dioksida i njegove interakcije s molekulama vode (Chen i sur 2004). Ugljikov dioksid sveprisutan je u atmosferi, a u vodu ulazi ne samo otapanjem iz atmosfere već i respiracijom heterotrofnih organizama prisutnih u vodi kao krajnji produkt metabolizma (Allan i Castillo 2007). Kada se ugljikov dioksid otopi u vodi, dio ukupnog otopljenog ugljikova dioksida reagira s molekulama vode prateći sljedeću ravnotežnu reakciju:



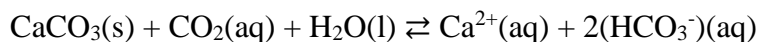
Produkt navedene reakcije je slaba ugljična kiselina koja djelomično disocira u dva stupnja sukladno ravnotežnim reakcijama:



Produkti disocijacije ugljične kiseline su bikarbonatni ( $\text{HCO}_3^-$ ) odnosno karbonatni ion ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) i vodikov odnosno oksonijev ion ( $\text{H}^+$  ili  $\text{H}_3\text{O}^+$ ). Sposobnost vode za relativno visoku topivost karbonata leži upravo u vodikovim ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) ionima koji s kristalima vapnenca ( $\text{CaCO}_3$ ) reagiraju sukladno reakciji:



U svrhu bolje preglednosti i jednostavnijeg shvaćanja kemijskih reakcija prisutnih kod otapanja karbonata, a u konačnici i taloženja sedre, sve ranije navedene kemijske reakcije svode se na:



Osnovni mehanizam taloženja sedre objašnjava se isplinjavanjem ili biološkim uklanjanjem ugljikova dioksida iz vode što sukladno ravnotežnoj reakciji rezultira kristalizacijom kalcita. Isplinjavanje ugljikova dioksida iz vode u većoj se mjeri događa na mjestima visoke turbulentnosti vode poput brzaca i slapova, dok autotrofni organizmi uklanjaju ugljikov dioksid koristeći ga u procesu fotosinteze (Chafetz i Folk 1994). Prema Srdoč i sur 1985. taloženje sedre pospješava zadovoljavanje tri uvjeta:

prezasićenost vode karbonatima minimalno 3 puta većom od standardne topivosti

pH vrijednost vode veća od 8

koncentracija otopljenih organskih tvari manja od  $10 \text{ mg dm}^{-3}$

U znanstvenoj zajednici postoji podjela mišljenja o značaju živih organizama na taloženje sedre. Chen i sur. (2004) ističu kako je uloga organizama neznčajna za sveobuhvatni proces taloženja sedre u odnosu na fizičke procese otplinjavanja ugljikova dioksida poput turbulencije vode koja rezultira povećanjem dodirne površine zraka i vode. Naprotiv tome Srdoč i sur. (1985) te Chafetz i Folk (1994) ističu kako je uloga organizama ponekad i ključna u kombinaciji sa standardnim fizikalno kemijskim procesima. Alge i mahovine te neki životinjski produkti uvjetuju taloženju sedre tako da pogoduju stvaranju nukleacijskih jezgri kalcita (Riding 1991; Matoničkin Kepčija i sur. 2006).

Sedrene barijere površine su velike prostorne heterogenosti i karakteriziraju ih brojne varijacije u hidromorfološkim uvjetima pojedinih segmenata, a samim time i životnih zajednica koje ih nastanjuju (Habdija i sur. 1994). Tome pridonosi česta prisutnost mahovina koje prekrivaju znatne površine sedrenih barijera. Njihov utjecaj očituje se na brojne načine počevši od stabilizacije substrata i povećane retencije organskih čestica koje zapinju u rizoidnim i filoidnim strukturama mahovina. Dodatno one pružaju životni prostor zajednicama strugača, ali i sklonište brojnim drugim skupinama beskralješnjaka (Špoljar i sur. 2011; Perić i sur. 2014). Osim mahovina i sama sedra ima veliki značaj unutar vodenog ekosustava. Sedrene naslage su porozne pa se procjeđivanjem vode kroz šupljine u njima zadržavaju detritalne čestice. Tako i sedra predstavlja niz mikrostaništa koja pogoduju dijelu lotičke faune (Pedley 2000).



## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja je utvrditi vrijednosti masa suhe tvari, te udjela organske i anorganske komponente sestona s dvije hidrološki značajno različite sedrene barijere sustava rijeke Krke: Roškog slapa i Skradinskog buka.

Utvrđiti sezonsko kretanje dobivenih vrijednosti kroz godinu dana i njihov odnos s abiotičkim čimbenicima vode. Ujedno izolacijom i determinacijom žive komponente cilj je dobiti okvirni pregled biocenološkog sastava sestona i promjenu istog kroz različita godišnja doba.

### **3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA**

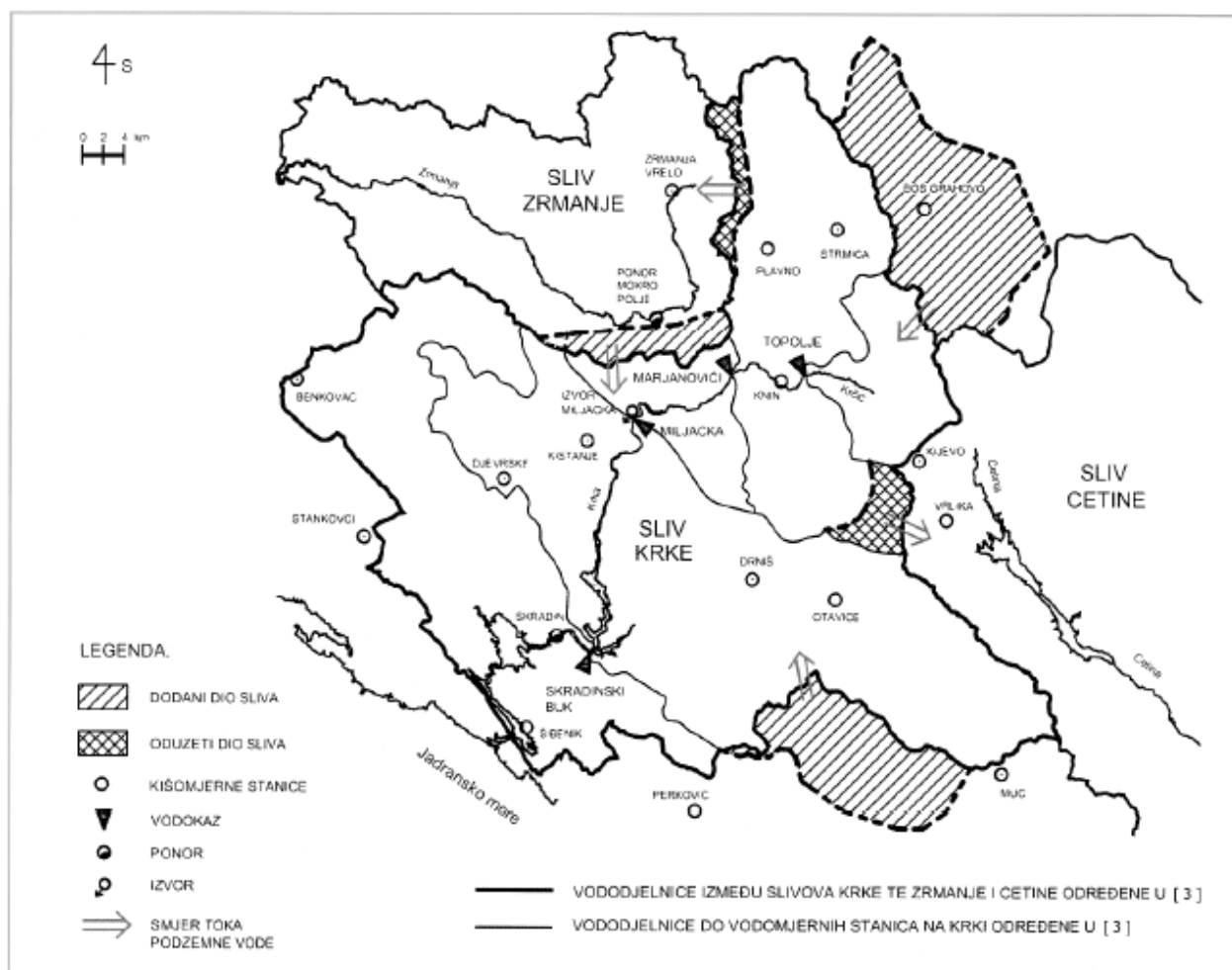
#### **3.1 Nacionalni park Krka**

Rijeka Krka zajedno s jezerom Visovac i donjim tokom rijeke Čikole proglašeni su nacionalnim parkom 24. siječnja 1985. godine. Zaštićenim statusom pokrivena je površina od 110 km<sup>2</sup> (2 km nizvodno od Knina do Skradinskog buka), od kojih vodene površine zauzimaju 9 km<sup>2</sup> (Bralić 2006). Krka izvire u podnožju planine Dinare, podno Krčić slapa (još zvanog Topoljski slap ili Veliki buk), 3,5 km sjeveroistočno od Knina te utječe u Jadransko more pokraj Šibenika. S duljinom toka od oko 72,5 km Krka je 22. rijeka po duljini u Hrvatskoj. Slatkovodni tok duljine je 49 km, a bočati 23,5 km. Krka se cijelom svojom duljinom nalazi u Šibensko-kninskoj županiji, a značajni su joj pritoci Krčić, Orašnica, Butišnica i Čikola. Ima sedam sedrenih barijera sa slapovima te ukupan pad od 242 m što je čini prirodnim i krškim fenomenom (Perica i sur 2005; Samokovlija Dragičević 2007). Dodatno valja istaknuti da Krka velikim dijelom teče visećim tokom, gdje je segment rijeke od Kninskog polja do Roškog slapa i do 100 m iznad vodnog lica, a da pri tome ne gubi vodu iz korita (Bonacci i Perica 1990).

#### **3.2 Litologija, hidrologija i klimatologija poriječja Krke**

Litologija poriječja Krke vrlo je raznolika po starosti i tipu stijena (Slika 3.). Najstarije naslage permske starosti prisutne su na nekoliko lokaliteta u Petrovom, Kosovom i Kninskom polju, a čine ih evaporiti (gips i anhidrit), bazični efuzivi i klastiti. Naslage trijasko starosti zastupljene su pješčenjacima, klastitima, vapnencima i dolomitima koji su u porječju Butišnice (BiH), te u dolini Krčića, debljine do 300 m. Stijene jurske starosti u najvećoj su mjeri zastupljene vapnencima i dolomitima debljina od 400-500 m uz prisustvo svjetlosivih rožnjaka na lokalitetu Stara straža i Strmica. Kredne naslage čine najveći dio središnjeg i istočnog dijela poriječja, sastoji se od vapnenaca s proslojcima i lećama dolomita, ukupne debljine do 2200 m. Srednji i donji dio poriječja, ujedno i najveći dio Sjevernodalmatinske zaravni čine naslage tercijara. Primarno sastavljene od foraminiferskih vapnenaca, fliša, vapnenačkih konglomerata, te

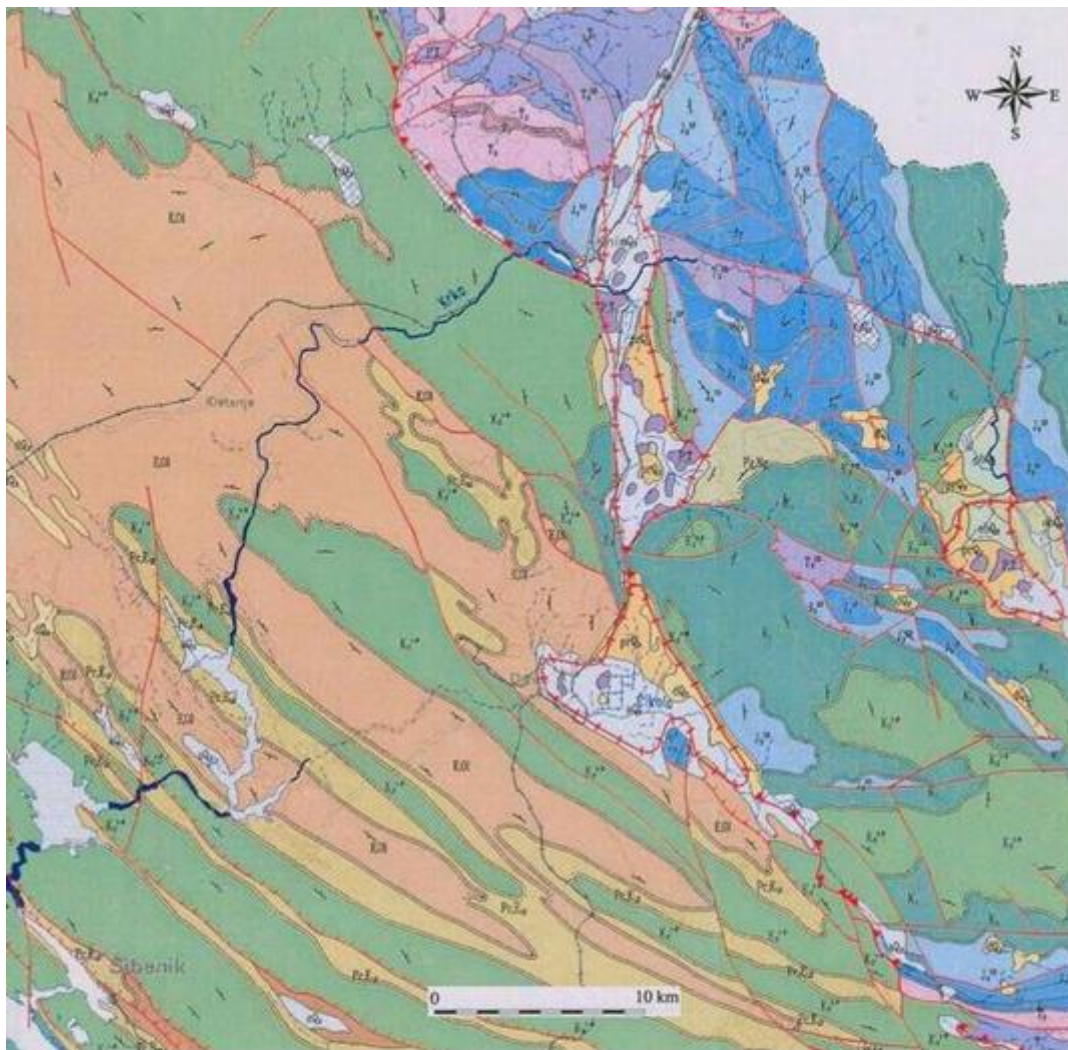
u manjoj mjeri lapora i laporovitih vapnenaca. Debljina terciarnih naslaga prelazi 1000 m. Dna dolinskih proširenja ispunjena su geološki najmlađim naslagama kvartara. One se sastoje od barsko-jezerskih sedimenata, jezerske krede, gline, a u mlađem kvartaru sve krupnijih sedimenata poput pijeska, šljunka i slabo vezanih konglomerata. Najistaknutije naslage kvartara čini sedra, čije je taloženje uzrokovalo rast sedrenih barijera, a u konačnici i nastanak jezera Visovac (Perica i sur. 2005). Jezero Visovac lentička je dilatacija rijeke Krke. Zauzima prostor između Skradinskog buka, sedrene barijere čije je izdizanje uzrokovalo ujezerenje rijeke, te Roškog slapa (Špoljar i sur. 2005). Srdoč (1985) ističe kako je intenzivan razvoj sedrenih barijera započeo u pleistocenu, prije oko 8500 godina s najoptimalnijim uvjetima u periodu od prije 5800-3200 godina.



Slika 2. Porječje Krke s naznačenim površinama podzemnog priljeva i odljeva vode (preuzeto iz Bonacci i Ljubekov 2005).

Hidrogeološka karakteristika krških porječja je relativno mali broj površinskih pritoka (Slika 2.). Razlog tome je vodopropusnost karbonatnih stijena čija je posljedica postojanje mreže podzemnih tokova. Sukladno tome topografska i hidrološka razvodnica poriječja se ne poklapaju (Perica i sur 2005). Površina topografskog poriječja Krke iznosi oko 2450 km<sup>2</sup>, a ukupnog slivnog područja odnosno hidrološkog porječja oko 2650 km<sup>2</sup> (Fritz i sur. 1990).

Srednja je godišnja temperatura zraka na području doline rijeke Krke u rasponu od 10 °C do 15 °C. Srednja siječanjska temperatura ne pada ispod 0 °C, a u najvećem dijelu doline varira od 4 °C do 6 °C. Tijekom srpnja srednja temperatura zraka varira između 22 °C i 25 °C. Srednja godišnja količina padalina na području porječja Krke koleba od 850 mm oko ušća do 1750 mm u planinskim predjelima. Godišnja raspodjela padalina je nepravilna gdje u srpnju područje oko ušća prima oko 40 mm padalina, a vršni planinski dijelovi dvostruko više. Usporedno tome srednja količina padalina u studenom na cijelom području prelazi 100 mm, a u vršnim planinskim dijelovima i preko 250 mm (Penzar i Penzar 1990). Takav godišnji hod temperatura i padalina rezultira smanjenim protokom vode u ljetnim mjesecima u odnosu na zimu, a valja istaknuti i relativno čestu pojavu jakih i intenzivnih oborina (Perica i sur 2005).



**TUMAČ OZNAKA:**

aQ <sub>1</sub> - riječni nanos	K <sub>2</sub> - vapnenci i dolomiti	E <sub>1</sub> Stratigrafski simbol
dQ <sub>1</sub> - deluvijane naslage	K <sub>1</sub> - vapnenci i dolomiti	Normalna litostratigrafska granica
prQ <sub>1</sub> - prokuvijane naslage	J <sub>2</sub> <sup>1,2</sup> - vapnenci i dolomiti	Erozijsko-diskordantna granica
obQ <sub>1</sub> - organogeno-baraki sed.	J <sub>2</sub> <sup>1,2</sup> - vapnenci i dolomiti	Rasjed
jQ <sub>1</sub> - jezeraka kreda	J <sub>2</sub> - vapnenci	Spušteni blok
tsQ <sub>1</sub> - terra rossa	J <sub>1</sub> - vapnenci i pločasti vapnenci	Reversni rasjed
flQ <sub>1</sub> - fluvio-glacijalni sedimenti	T <sub>2</sub> <sup>1,2</sup> - dolomiti	Navlaka I reda
PlQ <sub>1</sub> - lapor	T <sub>2</sub> - vulkanogeni sedimenti	Navlaka II reda
Pg <sub>1</sub> Ng - vapnenačka berba - jelar	T <sub>1</sub> - vapnenci	Tektonsko okno
E.OI, - konglomerati i lapor u izmjeni - promina	T <sub>1</sub> - klastiti	Tektonski prodor - dijapirski kontakt
E <sub>1</sub> - filične naslage	PT - klastiti, evaporiti	Položaj sloja (kos, uspravan, prebačen, vodoravan)
E <sub>1</sub> - foraminiferski vapnenci	C.P - klastiti (šajlovi)	

Slika 3. Geološka karta šireg porječja Krke (preuzeto iz Kapelj 2002).

### 3.3 Istraživačke postaje

Uzorkovanje je bilo provedeno na dvije hidrološki različite sedrene barijere Roškog slapa i Skradinskog buka (Slika 4.). Roški slap predstavlja uzvodnu granicu jezera Visovac s koordinatama  $43^{\circ} 54' 26''$  sjeverne geografske širine, te  $15^{\circ} 58' 38''$  istočne geografske dužine. Skradinski buk čini nizvodnu granicu jezera Visovac s koordinatama  $43^{\circ} 48' 14''$  sjeverne geografske širine, te  $15^{\circ} 57' 55''$  istočne geografske dužine. Preko Roškog slapa preljeva se voda kanjonskog toka rijeke Krke u odnosu na Skradinski buk preko kojeg se preljeva epilimnijska voda jezera Visovac. Obje sedrene barijere sadrže guste sastojine makrofita.



Slika 4. Rijeka Krka i jezero Visovac s istaknutim lokacijama Roškog slapa i Skradinskog buka (Google earth, 21.7.2021.)

## 4. MATERIJAL I METODE

### 4.1 Prikupljanje i obrada uzoraka

Na sedrenim barijerama Roškog slapa i Skradinskog buka postavljeni su bili uzorkivači cjevastog oblika duljine 50 cm i promjera otvora 7 cm (Slika 5.). Uzorkivači su bili postavljeni na lijevoj i desnoj obali oba slapa i svi se uzorci mogu smatrati replikatnima. Na izlazu otvora cijevi postavljene su bile mrežice promjera oka 50  $\mu\text{m}$ . Uzorci su bili prikupljeni u razdoblju od godinu dana. Počevši od studenog i prosinca 2013. godine te dalje za veljaču, ožujak, travanj, lipanj, srpanj i listopad 2014. godine. Izlaganje uzorkivača struji vode ovisilo je o uvjetima na terenu u rasponu vremena od 40 do 60 minuta, a pojedinačna vremena izlaganja bila su izmjerena štopericom. Po završetku izlaganja uzorkivača mrežice s uzorcima bile su konzervirane u plastičnim posudama u 70 % etanolu.

Laboratorijsku analizu uzoraka započeo sam izolacijom živih organizama koristeći se lupom (Zeiss Stemi 2000). Izolirane organizme determinirao sam koristeći se odgovarajućim ključevima (Nilsson 1997; Bauernfeind i Humpesch 2001; Waringer i Graf 2011). Preostali uzorak sestona bez žive komponente prebacio sam u ranije izvagane porculanske zdjelice i sušio ispod infra-sol svjetiljka do potpunog isparavanja etanola. Kako bi se izbjegla greška pri vaganju, nakon što je etanol ispario, uzorke sam stavio u eksikator na najmanje 24 sata kako bih osigurao potpunu dehidraciju. Potpuno osušene i dehidrirane uzorke vagao sam na digitalnoj analitičkoj vagi kako bih utvrdio vrijednosti suhe tvari. Uzorke sam zatim žario u peći na temperaturi od 400 °C u trajanju 4 sata. U procesu žarenja organska komponenta oksidira u odgovarajuće plinske produkte i bude odstranjena iz uzoraka u kojima preostaje samo anorganska odnosno mineralna komponenta. Po završetku žarenja uzorke sam ponovo stavio u eksikator na 24 sata kako bi izbjegao potencijalnu grešku kondenzacije vodene pare iz zraka te potom izvagao.

Točne vrijednosti masa suhe tvari dobio sam oduzimanjem s ranije utvrđenim masama praznih zdjelica. Isti postupak slijedio je i utvrđivanje masa anorganske komponente, a vrijednosti organske komponente dobio sam razlikom masa ukupne suhe i anorganske tvari. Kruskal Wallis analizu varijance koristit ću za utvrđivanje razlika između dviju sedrenih barijera

kao i razlika po pitanju brojnosti zoosestona i količine organske tvari. Međuodnos promjene dinamike drifta i pojedinih okolišnih čimbenika analizirat ću koeficijentima korelacije.

Tablice, grafovi te izračuni koeficijenata korelacije napravio sam u Microsoft Office Excelu 2007, a Kruskal-Wallis analize varijance u programu Statistica 12.0 (Dell Inc. 2015).



Slika 5. Postavljeni uzorkivači na a) Lijevoj strani Skradinskog buka i b) Desnoj strani Skradinskog buka.



## 4.2 Mjerenje fizikalno kemijskih parametara vode

Brzine strujanja vode na ulazu u uzorkivač bile su mjerene Dostmann P700 uređajem u tri navrata. Prvo u početku uzorkovanja (prosječno 5 minuta od početka), zatim u pola ukupnog vremena izlaganja (20 - 25 minuta od početka) i posljednji puta pred kraj uzorkovanja (prosječno 5 minuta prije završetka). Za izračun ukupnog protečenog volumena vode korištena je srednja vrijednost sva tri mjerenja. Ostali fizikalno kemijski parametri vode mjereni su odgovarajućim sondama te uključuju: pH vrijednost vode (WTW pH 330i), temperatura, koncentracija otopljenog kisika i zasićenost vode kisikom (WTW Oxi 95) te električna provodljivost (Hach sensION). Alkalitet vode izmjeren je titracijom s 0,1M klorovodičnom kiselinom (HCl) uz metiloranž kao indikator.

Koristeći se podacima o vremenskom izlaganju uzorkivača i brzinom strujanja te promjerom otvora s mrežicom utvrdio sam vrijednosti ukupnog protečenog volumena za svaki uzorak. Mase suhe tvari, organske i anorganske komponente te brojnosti pojedinih svojta organizama izražavao sam po kubičnom metru (m<sup>3</sup>).

## 5. REZULTATI

### 5.1 Fizikalno-kemijski parametri vode

Srednje sezonske temperature vode više su na Skradinskom buku u odnosu na Roški slap (Tablica 1.), te na oba slapa ukazuju na očekivana sezonska kolebanja. Ljeti su temperature najviše na oba slapa, kao i razlika u temperaturi između slapova. Srednja ljetna temperatura preljevnih voda na mjernim postajama Skradinskog buka iznosila je 21,4 °C što je 5,4 °C više od preljevnih voda Roškog slapa. Između jeseni i proljeća, temperature pojedinih slapova ne variraju znatno, a u oba slučaja temperature vode su više na Skradinskom buku (2,6 °C u jesen te 1,9 °C u proljeće). Na mjernim postajama Roškog slapa srednja je proljetna temperatura 0,9 °C, a na mjernim postajama Skradinskog buka svega 0,2 °C više od jesenske. Najniže temperature utvrdio sam, očekivano, zimi s vrlo malom razlikom gdje je srednja sezonska temperatura preljevnih voda Skradinskog buka svega 0,2 °C više u odnosu na preljevne vode Roškog slapa.

Koncentracije otopljenog kisika nisu znatno kolebale sezonski i imaju slične vrijednosti na oba slapa (Tablica 1.). Maksimum koncentracije otopljenog kisika u preljevnim vodama Roškog slapa je zimi s 10,8 mg dm<sup>-3</sup> O<sub>2</sub> što je 1,5 mg dm<sup>-3</sup> O<sub>2</sub> više od najniže ljetne vrijednosti. Preljevne vode Skradinskog buka najviše koncentracije otopljenog kisika imaju u proljeće s 10,9 mg dm<sup>-3</sup> O<sub>2</sub>, 1,5 mg dm<sup>-3</sup> O<sub>2</sub> više od najniže jesenske vrijednosti. Zasićenost vode kisikom, kao i koncentracija otopljenog kisika, ne ukazuje na znatna sezonska kolebanja. Jesenske i zimske vrijednosti više su na Roškom slapu s višim proljetnim i ljetnim vrijednostima na Skradinskom buku. Na Roškom slapu najveća je vrijednost zasićenosti kisikom zimi, a u slučaju Skradinskog buka u proljeće. Srednje sezonske pH vrijednosti ne ukazuju na sezonsko kolebanje, a nešto veće vrijednosti su izmjerene na Roškom slapu s najvećom razlikom zimi za svega 0,4. Preljevne vode na obje lokacije imale su stabilnu pH vrijednost oko 8 s kolebanjima ne većim od 0,2.

Provodljivost ukazuje na manja sezonska kolebanja, no ona se ne poklapaju među slapovima (Tablica 1.). Preljevne vode Roškog slapa najveću provodljivost vode imaju ljeti, no ona je za svega 7,5 μS cm<sup>-1</sup> veća od jesenske vrijednosti i 41,3 μS cm<sup>-1</sup> od najmanje zimske

vrijednosti. Skradinski buk najveću provodljivost bilježi u jesen i ona je svega 27,3  $\mu\text{S cm}^{-1}$  veća od najniže zimske vrijednosti.

Tablica 1. Srednje sezonske vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode.

		Jesen	Zima	Proljeće	Ljeto
Temperatura vode ( $^{\circ}\text{C}$ )	Roški slap	12,3	11,1	13,2	16,0
	Skradinski buk	14,9	11,3	15,1	21,4
Koncentracija $\text{O}_2$ (mg/l)	Roški slap	10,0	10,8	10,4	9,3
	Skradinski buk	9,4	10,6	10,9	9,6
Zasićenost $\text{O}_2$ (%)	Roški slap	95,0	100,5	99,6	94,1
	Skradinski buk	93,0	96,3	111,0	109,6
pH	Roški slap	8,1	8,1	8,2	8,2
	Skradinski buk	7,8	8,0	8,0	7,8
Provodljivost ( $\mu\text{S/cm}$ )	Roški slap	545,8	511,0	531,7	552,3
	Skradinski buk	508,8	481,5	501,7	494,3
Alkalitet (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	Roški slap	218,5	232,5	215,0	200,0
	Skradinski buk	223,5	237,5	223,3	195,0

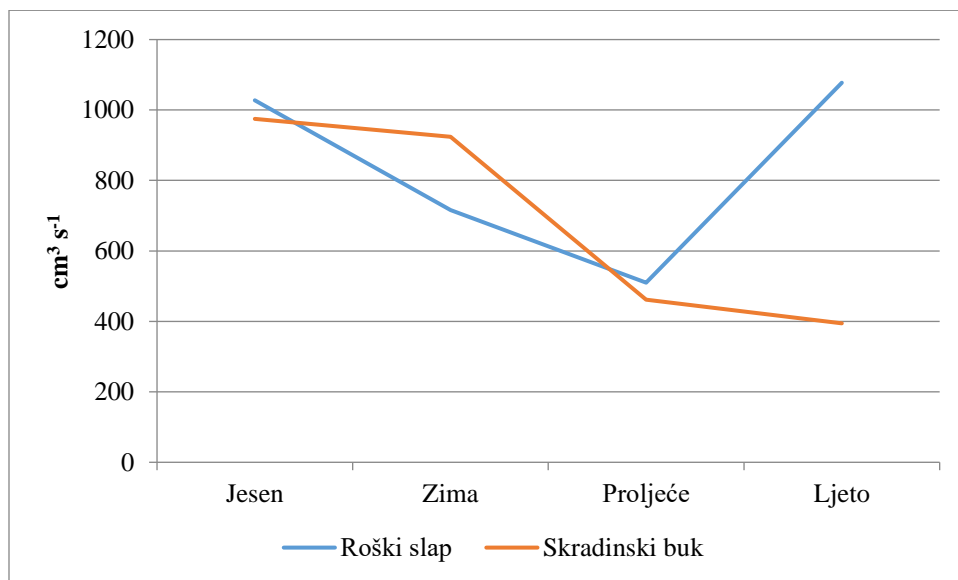
## 5.2 Protok i brzina strujanja vode

Srednji sezonski protoci i brzine strujanja vode računati su iz podataka izmjerenih u uzorkivaču tijekom uzorkovanja (Tablica 2. i Slika 6.). Na lokacijama barijere Skradinski buk utvrdio sam očekivano sezonsko kolebanje brzine strujanja vode s najvećim vrijednostima tijekom jeseni s 25  $\text{cm s}^{-1}$  i zime s 24  $\text{cm s}^{-1}$  te znatnim smanjenjem u proljeće s 12  $\text{cm s}^{-1}$  te najmanjim vrijednostima ljeti kada je brzina strujanja vode iznosila 10  $\text{cm s}^{-1}$  (Tablica 2.). Na Roškom slapu brzina strujanja vode je u jesen bila za 2  $\text{cm s}^{-1}$  veća u odnosu na preljevne vode Skradinskog buka, no 5  $\text{cm s}^{-1}$  manja tijekom zime. Proljetne se vrijednosti brzine strujanja vode, poput jesenskih, podudaraju s vrijednostima preljevnih voda Skradinskog buka, gdje je svega 2  $\text{cm s}^{-1}$  viša u jesen i 1  $\text{cm s}^{-1}$  u proljeće. Ljeti dolazi do znatnog skoka protoka i brzine strujanja vode na Roškom slapu (Slika 6.). Ljetne vrijednosti brzine strujanja vode na Roškom slapu trostruko su veće u odnosu na Skradinski buk te se podudaraju s jesenskim vrijednostima oba

slapa. Srednja godišnja brzina strujanja vode Roškog slapa iznosi  $22 \text{ cm s}^{-1}$ , a Skradinskog buka  $18 \text{ cm s}^{-1}$ . Srednji godišnji protok Roškog slapa iznosi  $833 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ , a Skradinskog buka  $689 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Tablica 2. Srednje sezonske vrijednosti brzine strujanja vode i protoka Roškog slapa i Skradinskog buka.

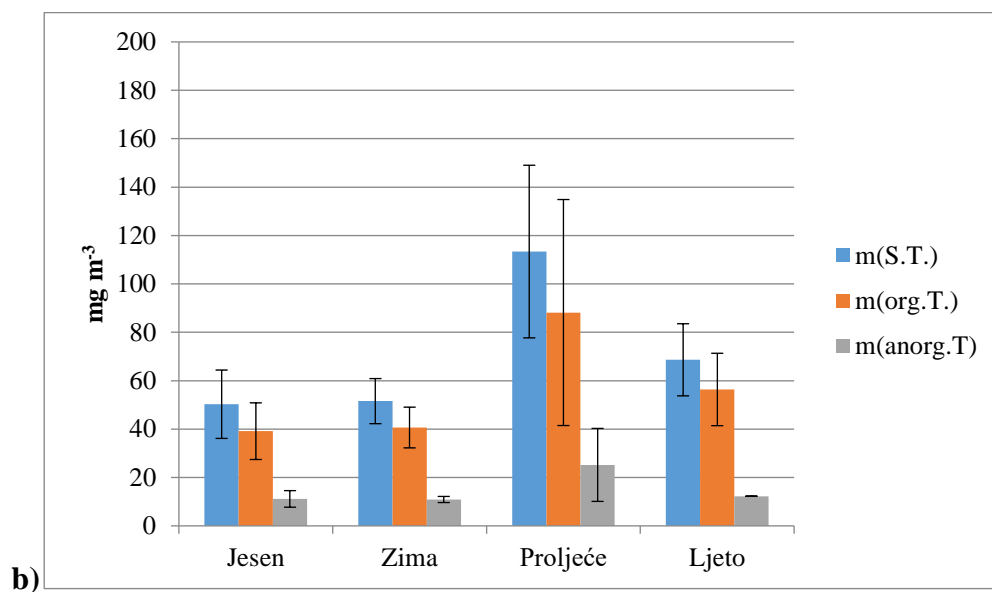
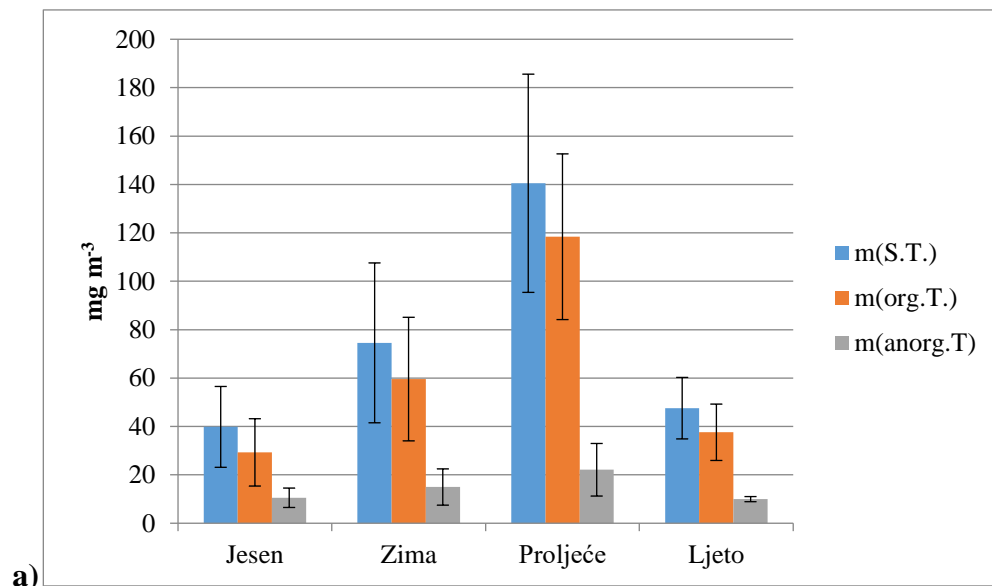
	Jesen	Zima	Proljeće	Ljeto	
Brzina strujanja vode ( $\text{cm s}^{-1}$ )	Roški slap	27	19	13	28
	Skradinski buk	25	24	12	10
Protok ( $\text{cm}^3 \text{ s}^{-1}$ )	Roški slap	1028	716	510	1077
	Skradinski buk	975	924	462	394



Slika 6. Srednje sezonske vrijednosti protoka Roškog slapa i Skradinskog buka.

### 5.3 Pronos sestona Roškog slapa i Skradinskog buka ovisno o strani uzorkovanja

Sezonske vrijednosti pronosa sestona obje strane Roškog slapa ukazuju na slične obrasce pronosa. Obje strane slapa imaju najveće vrijednosti pronosa u proljeće, gdje lijeva strana (140,5 mg/m<sup>3</sup> suhe tvari; Slika 7a.) ima oko 20% veću koncentraciju pronesenog sestona u usporedbi s desnom stranom (113,4 mg m<sup>-3</sup> suhe tvari; Slika 7b.). Najniže koncentracije, odnosno količine sestona obje strane slapa utvrdio sam u jesen, gdje desna strana slapa (50,0 mg m<sup>-3</sup> suhe tvari) ima 1,25 puta veću vrijednost od lijeve (40,0 mg m<sup>-3</sup> suhe tvari). Tijekom zime lijeva strana Roškog slapa ima drugu najveću vrijednost koncentracije pronesenog sestona. Desna strana Roškog slapa drugu najveću vrijednost pronosa sestona ima ljeti, a koncentracija pronesenog sestona zimi neznatno je veća od jesenske. Tijekom zime koncentracija sestona lijeve strane Roškog slapa je 1,45 puta veća u odnosu na desnu stranu, a usporedno s vlastitim jesenskim vrijednostima ona iznosi gotovo dvostruko više. Ljeti koncentracija sestona desne strane je za trećinu veća u odnosu na lijevu i vrijednosti su iznosile više od polovice proljetnog maksimuma. Dok su s lijeve strane Roškog slapa ljetne koncentracije iznosile oko trećine vrijednosti proljetnog maksimuma. Srednja godišnja koncentracija pronesenog sestona iznosi 75,6 mg m<sup>-3</sup> suhe tvari na lijevoj strani te 71,0 mg m<sup>-3</sup> suhe tvari na desnoj strani Roškog slapa.

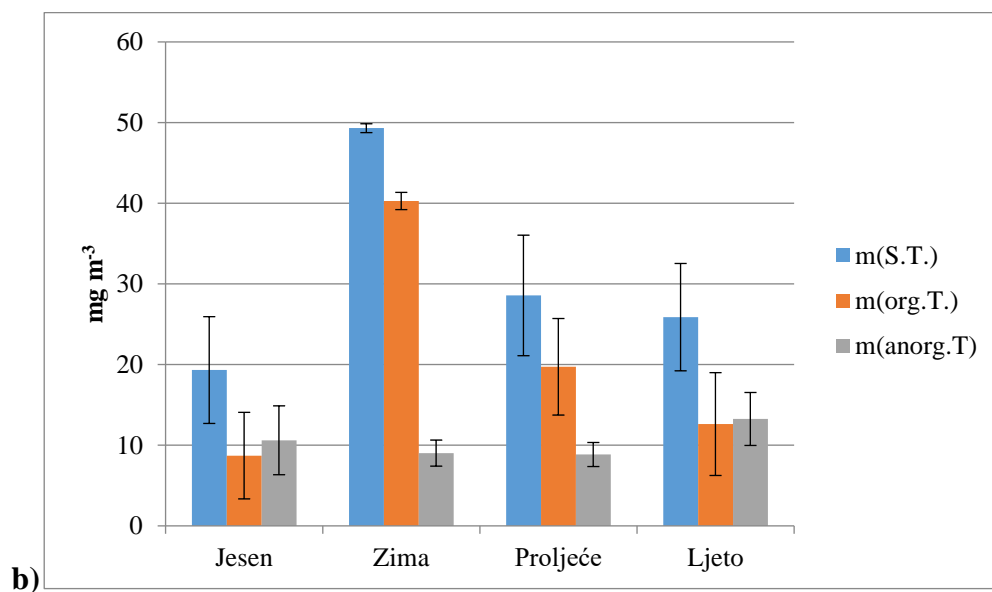
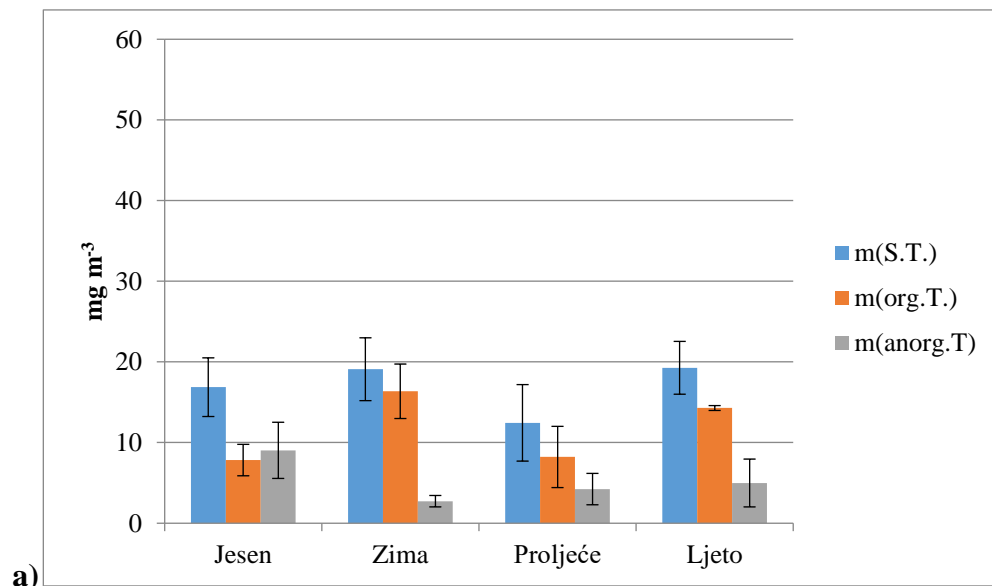


Slika 7. Sezonski pronos sestona Roškog slapa na a) lijevoj i b) desnoj strani. S.T - suha tvar, org. T. - organska tvar, anorg. T. - anorganska tvar.

Obrasci se pronosa sestona barijere Skradinskog buka ovisno o strani uzorkovanja znatno razlikuju (Slika 8.). Na mjernoj postaji s lijeve strane Skradinskog buka nisam utvrdio znatna sezonska kolebanja u koncentraciji pronesenog sestona. Najveća vrijednost zabilježena je tijekom ljeta (oko  $19,5 \text{ mg m}^{-3}$  suhe tvari) što je neznatno više od jesenskih i zimskih vrijednosti ( $17,0$  i  $19,0 \text{ mg m}^{-3}$  suhe tvari) te za  $7,0 \text{ mg m}^{-3}$  suhe tvari ili 1,5 puta više od proljetnog minimuma (Slika 8a.).

Na desnoj strani barijere Skradinskog buka (Slika 8b.) postojala su sezonska kolebanja u pronosu sestona te znatno veće vrijednosti u odnosu na lijevu stranu (Slika 8a.). Maksimum koncentracije sestona desne strane zabilježen je tijekom zime s  $49,0 \text{ mg m}^{-3}$  suhe tvari što je 2,5 puta više od jesenskog minimuma i ljetnog maksimuma lijeve strane. Proljetne vrijednosti neznatno su veće od ljetnih, no obje iznose više od proljetnih i ljetnih vrijednosti lijeve strane slapa. U proljeće pronos sestona desne strane barijere Skradinskog buka je 2,3 puta veći, a ljeti 1,4 puta veći u odnosu na lijevu stranu. Jesenski minimum desne strane slapa iznosi  $19,0 \text{ mg m}^{-3}$  što je neznatno manje od najveće zabilježene vrijednosti lijeve strane Skradinskog buka.

Srednja godišnja koncentracija pronesenog sestona iznosila je  $17,0 \text{ mg m}^{-3}$  suhe tvari na lijevoj strani, te  $30,8 \text{ mg m}^{-3}$  suhe tvari na desnoj strani Skradinskog buka.



Slika 8. Sezonski pronos sestona Skradinskog buka na a) lijevoj i b) desnoj strani. S.T - suha tvar, org. T. - organska tvar, anorg. T. - anorganska tvar.

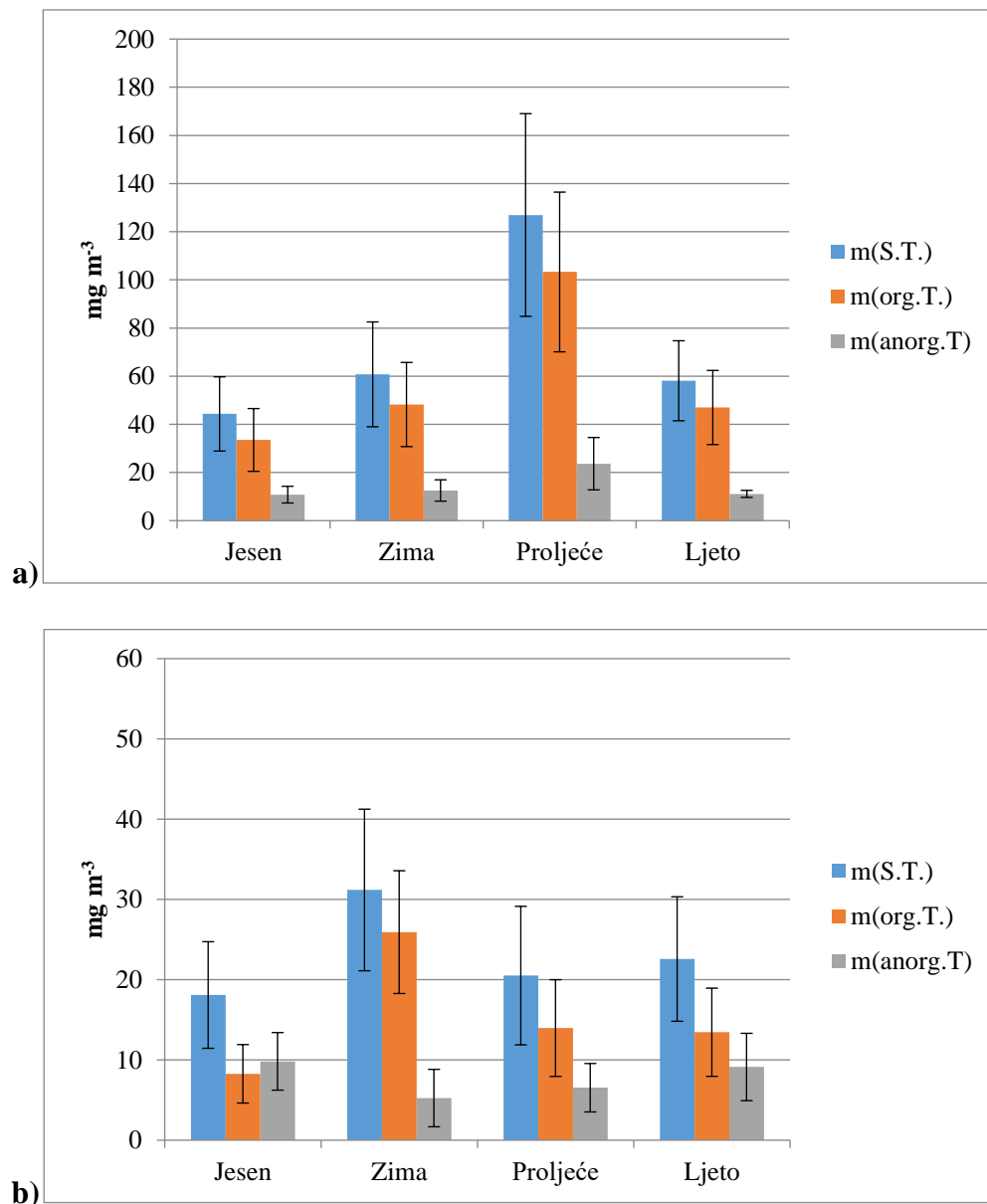


## 5.4 Ukupan pronos sestona Roškog slapa i Skradinskog buka

Tijekom cijele godine utvrdio sam veću koncentraciju sestona na barijeri Roškog slapa (Slika 9a.) u odnosu na barijeru Skradinskog buka (Slika 9b.). Dodatno Roški slap ukazuje na značajnija sezonska kolebanja usporedno sa Skradinskim bukom čija je najveća promjena koncentracije sestona  $13 \text{ mg m}^{-3}$  između jeseni i zime. Na Roškom slapu najveća se promjena koncentracije od  $83 \text{ mg m}^{-3}$  bilježi između jesenskog minimuma i proljetnog maksimuma, a ta je razlika 2,5 puta veća od najveće zabilježene koncentracije sestona na Skradinskom buku. Srednja godišnja vrijednost pronesenog sestona Roškog slapa iznosi  $72,5 \text{ mg m}^{-3}$  što je trostruko više od Skradinskog buka s  $23,1 \text{ mg m}^{-3}$ . Najveće su koncentracije sestona na Roškom slapu u proljeće sa  $127 \text{ mg m}^{-3}$ , 4 puta više od najveće koncentracije sestona Skradinskog buka zimi. Najmanje srednje sezonske vrijednosti pronesenog sestona za oba slapa javljaju se u jesen, a na Roškom slapu one iznose 2,44 puta više u odnosu na Skradinski buk.

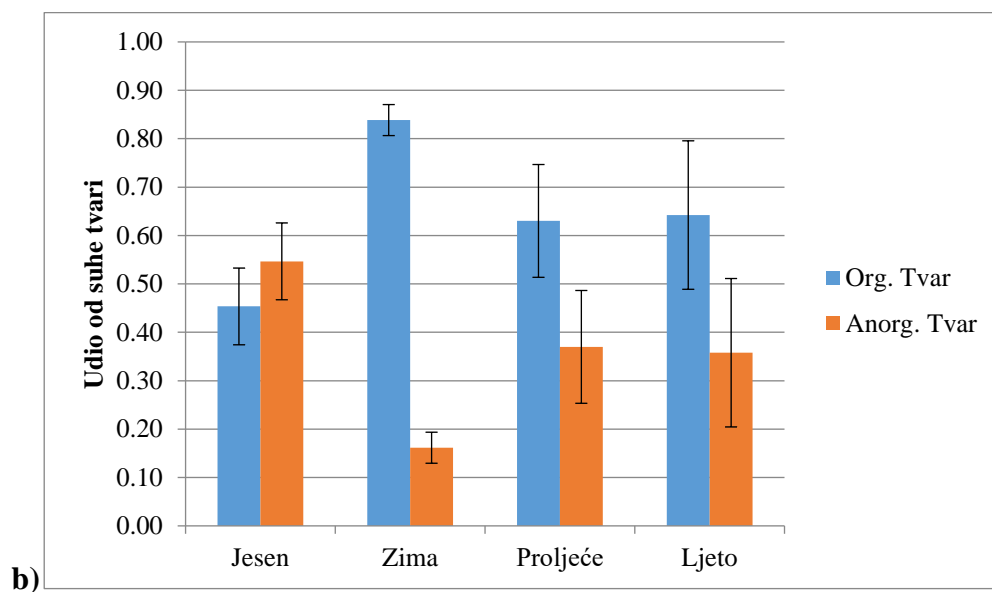
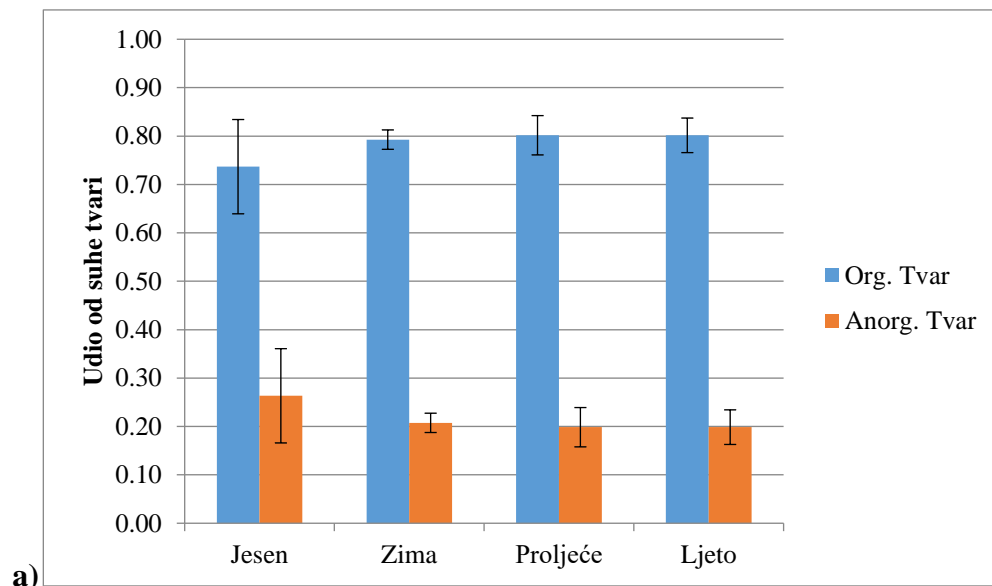
Kruskal-Wallis analizom varijance na razini statističke značajnosti  $p < 0,00001$ ;  $H = 20,98$  ( $df = 1$ ,  $N = 39$ ) utvrdio sam da je u preljevnoj vodi Roškog slapa statistički značajno više ukupnog abiosestona. Istim postupkom utvrdio sam da u preljevnoj vodi Roškog slapa ima statistički značajno više organske i anorganske tvari na razini statističke značajnosti  $p < 0,00001$ ;  $H = 20,98$  ( $df = 1$ ,  $N = 39$ ) za organsku tvar i  $p < 0,00049$ ;  $H = 12,14$  ( $df = 1$ ,  $N = 39$ ) za anorgansku tvar.

Analiza koeficijenta korelacije temperature i masa suhe, organske i anorganske tvari ne ukazuje na njihovu povezanost s dobivenim vrijednostima  $-0,083$ ,  $-0,067$  i  $-0,155$  na Roškom slapu. Isto vrijedi i za Skradinski buk s izuzetkom koeficijenta korelacije temperature i organske tvari gdje je vrijednost  $-0,315$  znatno viša od  $-0,194$  za suhu tvar i  $0,186$  za anorgansku tvar. Analiza koeficijenta korelacije brzine strujanja vode i masa suhe, organske i anorganske tvari daje rezultate koji, za razliku od temperature, ukazuju na njihovu povezanost. Za Roški slap dobiveni koeficijenti korelacije su veći u usporedbi sa Skradinskim bukom. Ranije navedenim redom masa iznose  $-0,588$ ,  $-0,582$  i  $-0,557$  na Roškom slapu, te  $-0,446$ ,  $-0,348$  i  $-0,390$  na Skradinskom buku.



Slika 9. Ukupan srednji sezonski prinos sestona a) Roškog slapa i b) Skradinskog buka.

Udjeli organske i anorganske komponente suhe tvari ukazuju na znatno sezonsko kolebanje u preljevnim vodama Skradinskog buka. Udio organske komponente na Skradinskom buku (Slika 10b.) najveći je tijekom zime kada iznosi 84 %, a najmanji u jesen kada je zabilježen veći udio anorganske tvari s 55 % od mase suhe tvari. Preljevne vode Roškog slapa ne ukazuju na sezonsko kolebanje (Slika 10a.), a udjeli organske tvari iznose 80 % s iznimkom u jesen kada se bilježi nešto niži udio od 74 % mase suhe tvari.



Slika 10. Srednji sezonski udjeli organske (Org. Tvar) i anorganske (Anorg. Tvar) tvari a) Roškog slapa i b) Skradinskog buka.

## 5.5 Zooseston

Srednje sezonske brojnosti pojedinih svojta zoosestona računate su po kubičnom metru zbog relativno malog broja uhvaćenih organizama (Tablica 3.). U tablici nisu prikazani planktonski organizmi Skradinskog buka od kojih su zastupljeniji bili veslonošci (Copepoda) te u znatno manjem broju rašljoticalci (Cladocera). Mušice svrbljivice (Simuliidae) su daleko najbrojnija skupina makrozoobentosa prisutna na oba slapa. Njihova se najveća brojnost na Roškom slapu bilježi u jesen s 16,84 jed  $m^{-3}$  te vrlo sličnim vrijednostima zabilježenim u proljeće. Na Skradinskom buku najveća je brojnost Simuliidae u proljeće kada iznosi 28,52 jed  $m^{-3}$ , 1,7 puta više od jesenske i proljetne brojnosti Roškog slapa. Amfipodni rakovi (Amphipoda) druga su najzastupljenija skupina u zoosestonu oba slapa. Najveća brojnost Amphipoda bilježi se zimi na Skradinskom buku s 5,22 jed  $m^{-3}$ , dok je na Roškom slapu najveća brojnost ljeti s 3,13 jed  $m^{-3}$ .

Na Roškom slapu najveća je ukupna brojnost zoosestona u jesen s 19,94 jed  $m^{-3}$ , svega 0,24 jed  $m^{-3}$  više u odnosu na proljeće kada se bilježi najveća brojnost zoosestona Skradinskog buka s ukupno 35,66 jed  $m^{-3}$ . Ukupne sezonske brojnosti zoosestona oba slapa najveće su u proljeće s 55,35 jed  $m^{-3}$ , a najmanje zimi s 13,97 jed  $m^{-3}$ . Iako je ukupno jedinki zoosestona na Roškom slapu bilo 1,32 puta više nego na Skradinskom buku ta se razlika Kruskal-Wallis analizom varijance nije pokazala statistički značajnom  $p = 0,16$ ;  $H = 0,8084$  ( $df = 1$ ,  $N = 39$ ).

Analizom koeficijenata korelacije ne može se jasno utvrditi povezanost temperature i ukupnog zoosestona s dobivenim vrijednostima 0,346 za Roški slap i -0,263 za Skradinski buk. Unatoč tome vrijednosti ukazuju na veću povezanost temperature s ukupnim brojem zoosestona u usporedbi s brzinom strujanja vode i ukupnog zoosestona čije su vrijednosti koeficijenata korelacije -0,051 na Roškom slapu i -0,063 na Skradinskom buku.

Tablica 3. Srednje sezonske brojnosti svojta zoosestona (jed m<sup>-3</sup> - jedinka po kubičnom metru) Roškog slapa i Skradinskog buka.

Godišnje doba	Jesen		Zima		Proljeće		Ljeto	
	RS	SB	RS	SB	RS	SB	RS	SB
Lokacija								
Simuliidae	16,84	5,60	4,66	0,31	16,00	28,52	11,12	0
Amphipoda	2,06	0	1,70	5,22	2,46	2,85	3,13	0,92
Chironomidae	0,34	0	0,42	0,92	0	2,14	0,70	0
Coleoptera	0,34	0,33	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0,34	0	0	0,31	0,62	2,14	0,35	0
Trichoptera	0	0	0,42	0	0	0	0,35	0
Plecoptera	0	0	0	0	0,62	0	0,35	1,83
Anthoathecata	0	3,95	0	0	0	0	0	0
Ukupno	19,94	9,88	7,21	6,76	19,70	35,66	15,99	2,75

## 6. RASPRAVA

Znatan je utjecaj fizikalno-kemijskih obilježja vode na organizme i životne zajednice koje su prisutne u vodenom okolišu, a u slučaju krških tekućica i taloženje sedre (Srdoč i sur. 1985; Brittain i Eikeland 1988; Allan i Castillo 2007). U odnosu na organizme i životne zajednice temperatura se često ističe kao najutjecajniji čimbenik (Lehmkuhl 1974; Allan 1975). Tijekom cijele godine temperature su bile više na Skradinskom buku. Takvi rezultati sukladni su očekivanjima budući da su preljevne vode Roškog slapa iz kanjonskog toka rijeke Krke, dodatno zasjenjene i okolnom vegetacijom i pod znatnijim utjecajem padalina i slivnih voda. Također uzvodna staništa su relativno kratke tekuće vode koje nemaju mogućnost akumuliranja sunčeve energije. S druge strane, preko Skradinskog buka preljeva se epilimnijska voda jezera Visovac koji usporava tok, ima daleko veću površinu i samo je obalna voda zasjenjena vegetacijom. Takvi uvjeti omogućuju daleko veću izloženost i apsorpciju sunčevog zračenja i sukladno tome rezultiraju većom temperaturom vode na Skradinskom buku. Dodatno na to ukazuje činjenica da je razlika u temperaturi najmanja tijekom zime kada je sunčevo zračenje manjeg intenziteta, upadne zrake pod većim kutem i naoblaka veća što sve rezultira slabijim utjecajem sunčevog zagrijavanja na vodu u jezeru Visovac. Sukladno tome razlika u temperaturi je najveća ljeti.

Odnos temperature i otopljenog kisika je obrnuto proporcionalan. Razlog tome je veća topljivost kisika u vodi pri nižim temperaturama, odnosno pad topljivosti i kapaciteta vode za otapanje kisika s porastom temperature. Budući da je tijekom cijele godine temperatura preljevne vode Roškog slapa niža, a i sam tok vode turbulentniji očekivana bi bila veća koncentracija kisika. U jesen i zimi sukladno očekivanjima na Roškom je slapu zabilježena veća koncentracija kisika. Naprotiv očekivanjima tijekom proljeća i ljeta veća je koncentracija kisika zabilježena na Skradinskom buku. Osim temperature na koncentraciju kisika u vodi utječu respiracija i primarna produkcija (Allan i Castillo 2007). Budući da je preljevna voda Skradinskog buka iz jezera Visovac, unatoč višim temperaturama, veća koncentracija kisika može se objasniti utjecajem primarne produkcije fotosintetskih organizama jezerskog fitoplanktona (Gligora i sur. 2011).

Rijeku Krku kao i ostale tekućice koje teku preko karbonatnih stijenskih podloga karakterizira visoka električna provodljivost vode. Razlog tome je relativno visoka topljivost karbonatnih stijena u vodi što rezultira obogaćivanjem vode bikarbonatnim i karbonatnim ionima

i sukladno tome visokom električnom provodljivošću (Ostojić i sur. 2012). Iako je provodljivost visoka na oba slapa, veća provodljivost tijekom cijele godine zabilježena je na Roškom slapu. Takva pojava može se pripisati generalno manjem volumenu vode koja se preljeva preko Roškog slapa i direktnom kontaktu s karbonatnom podlogom kojom teče rijeka Krka. Usporedno tome epilimnijska voda jezera Visovac koja se preljeva preko Skradinskog buka prije slapišta nije u direktnom kontaktu s podlogom. Dodatno na Roškom su slapu zabilježene statistički značajno više koncentracije pronosa sestona pa sukladno tome može biti i veća koncentracija otopljenih tvari kao produkt razgradnje alohtonog, ali i autohtonog biljnog materijala. Utjecaj karbonatne podloge i visoke koncentracije karbonatnih i bikarbonatnih iona ističe se i u pH vrijednosti preljevnih voda Roškog slapa i Skradinskog buka. Tijekom cijele godine pH vrijednosti su na oba slapa stabilne i iznose oko 8 s vrlo malim kolebanjima. Takva pH vrijednost sukladna je očekivanom budući da se radi o sedrenim barijerama i mjestima gdje se taloženje sedre i dalje odvija, a ustanovljeno je da pH vrijednost igra ključnu ulogu u procesu taloženja sedre (Srdoč i sur. 1985). Stabilnost pH vrijednosti kroz cijelu godinu može se objasniti kao posljedica prisutnosti bikarbonatnih i karbonatnih iona. Oni ne samo da čine vodu blago alkalnom već djeluju i kao puferi te sprječavaju nagle promjene pH vrijednosti do kojih bi moglo doći zbog padalina koje su u pravilu kiselije ili raspadom organske tvari unutar vodenog ekosustava (Giller i Malmquist 1998).

Odnos protoka i brzine strujanja vode s koncentracijom pronesenog sestona nije jednostavan i ne može se izričito objasniti kao pozitivan. Mnoga istraživanja na međusobno različitim riječnim sustavima potvrđuju tezu njihove pozitivne korelacije (Sandlund 1982; Wallace i sur. 1991; Tockner i Waringer 1997; Young i Huryrn 1999), dok druga ukazuju kako to nije uvijek slučaj (Hieber i sur. 2003; Pace i sur. 1992). Dok se u većini slučajeva ispostavlja kako će količina pronesene tvari biti veća u tekućicama s većim protokom i brzinom strujanja vode, važno je uzeti u obzir da to nije pravilo te da uvelike ovisi o samom riječnom sustavu. Kompleksnost odnosa protoka i brzine strujanja vode s pronosom sestona dodatno potvrđuju istraživanja na Plitvičkim jezerima gdje se unutar istog riječnog sustava potvrđuje pozitivna (Miliša i sur. 2006a, Miliša i sur. 2006b) i negativna sprega (Špoljar 2007b; Sertić i Perić 2011).

Gledajući ukupan volumen vode koja se preljeva preko slapa protok Skradinskog buka veći je od protoka Roškog slapa unatoč činjenici da je srednja brzina strujanja vode veća na

Roškom slapu. Razlog tome je nekoliko puta veća širina sedrene barijere Skradinski buk te dodatno pritok rijeke Čikole koja se ulijeva u Visovačko jezero. Uz to valja istaknuti i činjenicu da se sustav rijeke Krke nalazi u krškom području, koji karakterizira propusnost stijena i postojanje podzemnih vodenih sustava. Sukladno tome može se pretpostaviti i podzemni priljev vode koji dodatno upotpunjuje razliku u protoku vode na Skradinskom buku (Fritz i sur. 1990). Vrijednosti brzina strujanja vode i protoka prikazani u rezultatima računao sam iz mjerenja provedenih unutar uzorkivača za vrijeme uzorkovanja. Važno je uzeti u obzir da se te vrijednosti protoka i brzine strujanja vode ne odnose na cjelokupne barijere Roškog slapa i Skradinskog buka. Iz spomenutih vrijednosti očekivano sezonsko kolebanje vidljivo je na Skradinskom buku. Jesenske su vrijednosti protoka i brzine strujanja vode najveće te nešto niže no i dalje visoke zimi što objašnjavam većom količinom padalina tijekom tih godišnjih doba. Sukladno tome proljetne vrijednosti su znatno manje, a najmanje ljeti. Vrijednosti protoka i brzine strujanja vode na Roškom slapu ukazuju na slično kolebanje u jesen kada su nešto više od Skradinskog buka, no manje tijekom zime. Veće zimske vrijednosti protoka i brzine strujanja vode na Skradinskom buku pripisujem dodatnom priljevu vode iz rijeke Čikole. Tijekom proljeća brzina strujanja vode i protok oba slapa nanovo se podudaraju, dok ljeti bilježim neočekivano velike vrijednosti na Roškom slapu. Ta se pojava može objasniti priljevom proljetnih slivnih voda u rijeku Krke. Nedostatak istih visokih vrijednosti ljeti na Skradinskom buku može biti posljedica akumulacijskog kapaciteta jezera Visovac. Dodatno činjenica da vodotok rijeke Čikole povremeno presušuje (što se posebno može očekivati u ljetnim mjesecima s manje padalina i većom potrebom za vodom) isto može poslužiti pri shvaćanju nedostatka visokih ljetnih protoka i brzina strujanja vode kao na Roškom slapu (Bonacci i sur. 2019).

Uzorkovanje sestona s lijeve i desne strane Roškog slapa i Skradinskog buka omogućilo je kako razmatranje različitosti staništa u mozaičnom ekosustavu tako i dobivanje vjerodostojnijih replikatnih podataka o pronosu sestona oba slapa. Ovdje je važno nanovo napomenuti kako je širina sedrene barijere Skradinskog buka nekoliko puta veća u odnosu na širinu Roškog slapa. Sukladno tome može se očekivati znatnije kolebanje srednjih sezonskih vrijednosti pronosa sestona na Skradinskom buku ovisno o stani uzorkovanja u usporedbi s Roškim slapom. Prema pretpostavci iz rezultata je vidljivo kako se na Roškom slapu obrasci pronosa abiosestona (seston s izuzetkom živih organizama) podudaraju kroz godišnja doba s lijeve i desne strane. Dodatno razlika u srednjem godišnjem pronosu abiosestona Roškog slapa



iznosi svega oko 6% više mase suhe tvari s lijeve u odnosu na desnu stranu. Budući da je širina i sama površina sedrene barijere Skradinskog buka znatno veća, očekivana su i veća kolebanja pronosa abiosestona ovisno o strani uzorkovanja. Uz razliku u dimenzijama sedrenih barijera, važno je nanovo istaknuti i činjenicu da preljevne vode Skradinskog buka potječu iz jezera Visovac. Time uključuju i prtok rijeke Čikole, a ne samo rijeke Krke kao u slučaju Roškog slapa. Rezultati sezonskog pronosa abiosestona Skradinskog buka ukazuju na znatne razlike lijeve u odnosu na desnu stranu, sukladno ranije raspravljanim činjenicama. Lijeva strana nema velikih sezonskih kolebanja što ukazuje na stabilnost u hidrološkim uvjetima kroz godišnja doba. Suprotno tome na desnoj strani Skradinskog buka dolazi do znatnih sezonskih kolebanja i nešto manje od dvostruko veće količine pronesenog abiosestona. Iz toga se može zaključiti kako su hidrološki uvjeti i procesi u preljevnoj vodi Skradinskog buka raznovrsni. Za bolje shvaćanje istih valjalo bi napraviti detaljnije istraživanje preljevnih voda Skradinskog buka s više točaka uzorkovanja.

Gledajući ukupan srednji sezonski pronos abiosestona obje sedrene barijere važno je osvrnuti se na red veličina koncentracija pronesenog abiosestona. U preljevnim je vodama Roškog slapa daleko veća koncentracija abiosestona i ta razlika je statistički značajna. To se može objasniti činjenicom da na Roškom slapu dolazi do trajnog ispiranja čestica duljinom uzvodnog toka rijeke Krke. Dodatno, kanjonski tok Krke i prisutnost okolne vegetacije uvjetuje veći unos alohtonog materijala po jedinici volumena, koji je u koritu rijeke manji nego u jezeru. Budući da se preljevna voda Roškog slapa ulijeva u jezero Visovac, dolazi do znatnog usporavanja toka i sukladno tome, veće stope sedimentacije čestica (Vadeboncoeur 1994). Apsolutne vrijednosti koncentracije pronosa abiosestona ukazuju da su i sezonska kolebanja znatno veća na Roškom slapu. Proljetni maksimum Roškog slapa sukladan je očekivanom, rezultat je porasta temperature i veće brojnosti organizama. Oni procesiraju alohtonu organsku tvar čiji je unos u vodeni ekosustav veći tijekom jesenskih i zimskih mjeseci kao posljedica veće količine padalina i otpadanja lišća listopadnog drveća. Unos alohtone tvari većinski dolazi u obliku krupnih čestica koje se brzo sedimentiraju i zapinju za prepreke u vodotoku. Njihova resuspenzija i dalji nizvodni pronos odvija se usporedno s procesiranjem i fragmentacijom kao rezultat životnih aktivnosti organizama, ponajviše beskralješnjaka makrozoobentosa (Vannote i sur. 1980; Richardson i sur. 2009). Na Skradinskom buku zbog općenito manje koncentracije pronosa abiosestona ne mogu sa sigurnošću zaključiti dolazi li do znatnih sezonskih kolebanja.

Maksimum je zabilježen zimi, uključujući i najveći udio organske tvari, što može biti posljedica manjeg broja organizama u hladnom dijelu godine. Ustanovljena je pojava velikog broja procjeđivača u jezerskim preljevnim vodama (Richardson i Mackay 1991), te upravo manja brojnost istih može uvjetovati veće koncentracije abiosestona i organske tvari. Dodatno važno je istaknuti utjecaj bujičnih tokova tijekom oluja i velikih količina padalina. Oni utječu na koncentracije sestona tako da u samom početku dolazi do znatnog povećanja brzine strujanja vode i time ispiru velike količine čestica koje struja vode prije nije mogla odvojiti od prepreka. Taj utjecaj s vremenom slabi, a posljedica je visoka koncentracija sestona s početka bujičnog toka koja opada prema kraju (Wallace i sur. 1982). Analizom koeficijenata korelacije nije ustanovljena povezanost temperature i koncentracije pronesenog abiosestona. Suprotno tome analiza koeficijenata korelacije brzine strujanja vode i pronesenog abiosestona ukazuje na njihovu povezanost na Roškom slapu gdje se pri većim brzinama strujanja vode bilježe nešto niže vrijednosti pronosa abiosestona. Takva pojava može ukazivati na ranije ispiranje veće količine čestica prije uzorkovanja. Uzorci analizirani tijekom izrade ovog rada bili su prikupljeni na mjesečnoj bazi i to za mjesec kada je vrijeme i stanje na terenu bilo prikladno. Kako bi se dobili vjerodostojniji podaci i moglo statistički utvrditi odnose između fizikalnih faktora i pronosa abiosestona, valjalo bi obaviti detaljnije uzorkovanje. Uzeti u obzir vremenske prilike na terenu prije i tijekom uzorkovanja, prikupiti više replikata na više točaka i dubina te potencijalno i kraćim vremenom izlaganja struji vode.

Iako je brojnost organizama zoosestona bila veća na Roškom slapu, zbog velikog rasapa podataka unutar seta, ta se razlika nije pokazala statistički značajnom. Unatoč tome, ona ukazuje da je drift izuzetno važan čimbenik transporta organizama u sestonu. Dodatno, analizom koeficijenata korelacije temperature i brzine strujanja vode s ukupnom brojnošću zoosestona nije utvrđena povezanost. Analiza koeficijenata korelacije fizikalno - kemijskih faktora s pojedinim svojstama zoosestona nije se mogla vjerodostojno provesti budući da jedinke nisu bile zastupljene u dovoljnoj brojnosti, a sam set podataka sadrži previše nula. Unatoč tome možemo utvrditi da je ukupna brojnost zoosestona najveća u proljeće, a ta se razlika naročito očituje na Skradinskom buku. Najzastupljenija je svojta prisutna na obje sedrene barijere porodica Simuliidae, dok je porodica Amphipoda bila zastupljena na Roškom slapu tijekom cijele godine, a samo povremeno na Skradinskom buku. Češća zastupljenost Amfipodnih rakova na Roškom slapu sukladna je pretpostavci da riječni ekosustav uvelike ovisi o alohtonom unosu organske tvari kao energetska

osnova za životne zajednice (Vannote i sur. 1980). Valja istaknuti kako je u preljevnim vodama Skradinskog buka zabilježena i prisutnost jezerskog zooplanktona. U znatno većem broju tu spadaju Copepoda, te u manjem broju Cladocera. Njihova varijabilnost bila je prevelika za utvrđivanje sprege s abiotičkim faktorima. Iako se već iz njihove prisutnosti može zaključiti da preljevne vode Skradinskog buka imaju karakteristike jezerskog ekosustava usporedno s preljevnim vodama Roškog slapa koje predstavljaju krajnji dio riječnog toka Krke (Gligora i sur. 2011). Dodatno, na Skradinskome buku zabilježena je i prisutnost *Hydra oligactis* koju možemo pripisati činjenici da se radi o jezerskoj vodi s obiljem plijena u obliku zooplanktona. Na žalost i njihova je zastupljenost u setu podataka nasumična što dodatno pripisujem nedostatku egzoskeleta i teškoj konzervaciji kroz dulji vremenski period.

## 7. ZAKLJUČAK

Uzrok razlika u vrijednostima fizikalno-kemijskih parametara vode i količini pronosa sestona između sedrenih barijera Roškog slapa i Skradinskog buka je promjena hidrodinamike i hidromorfologije u jezeru Visovac koje ih razdvaja.

Ukupan protok vode veći je preko Skradinskog buka zbog veće širine sedrene barijere i većeg volumena vode koji dodatno prihranjuje rijeka Čikola. Na Roškom su slapu veće brzine strujanja vode jer se one prelijevaju direktno iz kanjonskog toka rijeke Krke.

U preljevnim vodama Roškog slapa pronos sestona ukazuje na slične sezonske obrasce neovisno o strani uzorkovanja, dok preljevne vode Skradinskog buka imaju znatne razlike u sezonskim obrascima pronosa sestona ovisno o strani uzorkovanja. Takva pojava rezultat je razlike u dimenzijama obje sedrene barijere.

Ukupna količina pronosa abiosestona, uključujući organsku i anorgansku tvar, značajno je veća na Roškom slapu gdje dolazi do trajnog ispiranja čestica tokom rijeke Krke. Dodatno na Roškom slapu može se zaključiti postojanje sezonskog kolebanja pronosa abiosestona s maksimumom u proljeće. Manje količine pronesenog abiosestona na Skradinskom buku uvjetuje sedimentacija čestica u jezeru Visovac, a samo dvije točke uzorkovanja pokazale su se nedostatnima za dobivanje saznanja o obrascima sezonskog pronosa abiosestona.

Brojnost organizama u zoosestonu veća je u preljevnim vodama Roškog slapa iako se ta razlika nije pokazala statistički značajnom. Na oba slapa najzastupljeniji organizmi u driftu bile su mušice svrbljivice (Simuliidae) što, u kontekstu funkcionalnih hranidbenih skupina, ukazuje na najveću zastupljenost procjeđivača. U preljevnim vodama Skradinskog buka sporadično su se nailazili i jezerski planktonski organizmi Copepoda i Cladocera sukladno činjenici da te vode potječu iz epilimnijskog sloja jezera Visovac. Rasap podataka o brojnosti organizama nije omogućio utvrđivanje sprega njihove brojnosti i svojta s abiotičkim faktorima. Poboljšanje seta podataka moglo bi se postići produljenjem izlaganja struji vode ili povećanjem promjera oka mrežice.

## 8. LITERATURA

Allan, J. D. (1975): The distributional ecology and diversity of benthic insects in Cement Creek, Colorado. *Ecology* 56, 1040-1053.

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

Benfield, E. F. (1996): Leaf breakdown in stream ecosystems. *Methods in Stream Ecology*, Academic Press, 579-590.

Bonacci, O., Ljubenković, I. (2005): Nove spoznaje o hidrologiji rijeke Krke. *Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo* 13, 265–281.

Bonacci, O., Perica, S. (1990): Specifičnosti hidrologije sliva Krke, Ekološke monografije knjiga 2, Zbornik radova sa Simpozija: "NP Krka - stanje i problemi zaštite ekosistema, HED, 85-114, Zagreb.

Bonacci, O., Terzić, J., Roje-Bonacci, T. (2019): Hydrological analyses of the karstic river Čikola -Hidrološka analiza krške rijeke Čikole. *Hrvatske Vode* 26, 281-292.

Bralić, I. (2006): *Croatian national parks*. Školska knjiga, Zagreb.

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 (Rithrodatt-Lunz study area). *Hydrobiologia* 203, 15-28.

Brittain, J. E., Eikeland, T. J. (1988): Invertebrate drift - A review. *Hydrobiologia* 166, 77-93.

Chafetz, H. S., Folk, R. L. (1984): Travertines; depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Research* 54, 289-316.

Chen, J., Zhang, D.D., Wang, S., Xiao, T., Huang, R., (2004): Factors controlling tufa deposition in natural waters at waterfall sites. *Sedimentary Geology* 166, 353-366.

Chien, N., Zhaohui W. (1991): *Mechanics of Sediment Transport*, ASCE Press. Virginia.

Coma, Rafel & Ribes, Marta & Gili, Josep-Maria & Hughes, R. (2001): The ultimate opportunists: Consumers of seston. *Marine Ecology Progress Series* 219, 305-308.

Cuffney, T. F., Wallace, J. B. and Lugthart, G. J. (1990): Experimental evidence quantifying the role of benthic invertebrates in organic matter dynamics of headwater streams. *Freshwater Biology* 23, 281-300.

Cummins, K. W. (1974): Structure and function of stream ecosystems. *BioScience* 24, 61-64.

Cummins, K. W., Klug, M. J. (1979): Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics* 10, 147-172.

Dodds, W., Whiles, M. (2020): *Freshwater ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology*. Third edition. Academic Press.

Elliott, J. M. (1973): The diel activity pattern, drifting and food of the leech *Erpobdella octoculata* (L.) (Hirudinea Erpobdellidae) in a Lake District stream. *Journal of Animal Ecology* 42, 449-459.

Eriksson, A. I. (2002): Can predation by net-spinning caddis larvae (Trichoptera: *Hydropsyche siltalai*) cause longitudinal changes in zooplankton species composition in lake outlet streams? *Archiv fur Hydrobiologie*. 153: 231-244.

Fritz, F., Pavičić, A., Renić, A. (1990): Porijeklo voda u nacionalnom parku Krka, Ekološke monografije knjiga 2, Zbornik radova sa Simpozija: "NP Krka - stanje i problemi zaštite ekosistema, HED, 115-126, Zagreb.

Gessner, M. O. Chauvet, E. Dobson, M. (1999): A perspective on leaf litter breakdown in streams. *Oikos* 85, 377-384

Giller, P. S., Malmqvist, B. (1998): *The biology of Streams and Rivers*. Oxford University

Gligora Udovič, M., Kralj Borojević, K., Žutinić, P., Šipoš, L., Plenković-Moraj, A. (2011): Net-phytoplankton species dominance in a travertine riverine Lake Visovac, NP Krka. *Natura Croatica* 20/2, 411-424.

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.

Hauer, F.R., Lamberti, G. A. (2017): *Methods in Stream Ecology* (Third Edition). Academic press, Elsevier Inc., Oxford.

Hershey, A. E, R. W. Merrit, M. C. Miller, J. S. McCrea. (1996): Organic matter processing by larval black flies in a temperate woodland stream. *Oikos* 75, 524-532.

Hieber, M., Robinson, C. T., Uehlinger, U. (2003): Seasonal and diel patterns of invertebrate drift in different alpine stream types. *Freshwater Biology* 48, 1078-1092.

Hutchens, J.J., Wallace, J.B., Grubaugh, J.W. (2017): Chapter 25 - Transport and Storage of Fine Particulate Organic Matter, in: Lamberti, G.A., Hauer, F.R. (Eds.), *Methods in Stream Ecology* (Third Edition). Academic Press, str. 37-53.

Hutchinson, G. E. (1967): *A treatise on limnology. Volume II. Introduction to lake biology and the limnoplankton.* John Wiley & Sons, New York, London, and Sydney. xi + 1115 str.

Kapelj, J. (2002): Strukturni sklop šireg područja Promine u Sjevernoj Dalmaciji i odraz na hidrogeološke odnose, Doktorska disertacija, Geološki odsjek PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, str. 108, Zagreb.

Lehmkuhl, D. M. (1974): Thermal regime alterations and vital environmental physiological signals in aquatic systems. *Thermal Ecology. AEC Symposium Series, CONF-730505*, str. 216-222.

Marsh, P. C. (1980): An occurrence of high behavioral drift for a stream gastropod. *The American Midland Naturalist* 104, 410-411.

Marchant, R. (1981): *The ecology of Gammarus in running water. Perspectives in Running Water Ecology.* Plenum, New York, str. 225-249.

Matoničkin R., Habdija I., Primc-Habdija B. and Miliša M. (2006): Simuliid silk pads enhance tufa deposition. *Archiv für Hydrobiologie* 166, 387-409.

Merrit, R. W., K. W. Cummins, i T. M. Burton. (1984): The role of aquatic insects in the processing and cycling of nutrients, str. 134-163. In V. H. Resh and D. M. Rosenberg, The ecology of aquatic insects. Praeger Scientific.

Miliša, M., Belančić, A., Kepčija, R.M., Sertić-Perić, M., Ostojić, A., Habdija, I. (2010): Calcite deposition in karst waters is promoted by leaf litter breakdown and vice versa. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 46, 225-232.

Miliša, M., Habdija, I., Primc-Habdija, B., Radanović, I., Matoničkin Kepčija, R. (2006b): 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. (2006a): 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.

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

Mosele Tonin, A., Ubiratan Hepp, L. & Gonçalves, J.F. (2018): Spatial Variability of Plant Litter Decomposition in Stream Networks: from Litter Bags to Watersheds. *Ecosystems* 21, 567-581.

Ostojić, A., Špoljar, M., Dražina, T. (2012): Utjecaj ekoloških čimbenika na raznolikost i brojnost životnih zajednica potoka Jankovac (Park prirode Papuk), *Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo* 79/80, 11-22.

Pace, M. L., Findlay, S. E. G., Lints, D. (1992): Zooplankton in advective environments. The Hudson River community and a comparative analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49, 1060-1069.

Pedley, M., (2000): Ambient Temperature Freshwater Microbial Tufas, in: Riding, R.E., Awramik, S.M. (Eds.), *Microbial Sediments*. Springer, Berlin, Heidelberg, str. 179-186.



Perica, D., Orešić, D., Trajbar, S. (2005): Geomorfološka obilježja doline i poriječja rijeke Krke s osvrtom na dio od Knina do Bilušića buka. *Geoadria* 10, 131-156.

Perić, M., Dražina, T., Špoljar, M., Radanović, I., Primc, B., Habdija, I. (2014): Meiofauna constitute a considerable portion of invertebrate drift among moss-rich patches within a karst hydrosystem. *Biologia* 69, 363-380.

Petersen, R. C. i Cummins, K. W. (1974): Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biology* 4, 343-368.

Prochazka, K., Stewart, B. A., Davies, B. R. (1991): Leaf litter retention and its implications for shredder distribution in two headwater streams. *Archiv für Hydrobiologie* 120, 315-325.

Richardson, J. S. (1984): Effects of seston quality on the growth of a lake-outlet filter feeder. *Oikos* 43, 386-390.

Richardson, J. S., i R. J. Mackay. (1991): Lake outlets and the distribution of filter feeders: an assessment of hypotheses. *Oikos* 62, 370-380.

Richardson, D.C., Kaplan, L.A., Newbold, J.D., Aufdenkampe, A.K. (2009): Temporal dynamics of seston: a recurring nighttime peak and seasonal shifts in composition in a stream ecosystem. *Limnology and Oceanography* 54, 344-354.

Riding R., (1991): Classification of microbial carbonates. In: Riding R. (ed.), *Calcareous algae and stromatolites*, Springer-Verlag, Berlin, str. 21-51.

Samokovlija Dragičević, J. (2007): Plan upravljanja slivom rijeke Krke, Prošlost i sadašnjost Krke; [WWW Dokument] URL: <http://virtualna.nsk.hr/krka/plan-upravljanja-slivom-rijeke-krke/> (pristupljeno 17.7.2021).

Sandlund, O. T. (1982): The drift of zooplankton and microzoobenthos in the river Strandaelva, western Norway. *Hydrobiologie* 94, 33-48.

Scullion, J., Sinton, A. (1983): Effects of artificial freshets on the substratum composition, benthic invertebrate fauna and invertebrate drift in two impounded rivers in Mid-Wales. *Hydrobiologia* 107, 261-269.

Srdoč, D., Horvatinčić, N., Obelić, B., Krajcar-Bronić, I., Sliepčević A. (1985): Calcite deposition processes in karst waters with special emphasis on Plitvice lakes, Yugoslavia. *Carsus Iugoslaviae* 11, 101-204

Špoljar, M., Habdija, I., Primc-Habdija, B., Sipos, L. (2005): Impact of Environmental Variables and Food Availability on Rotifer Assemblage in the Karstic Barrage Lake Visovac (Krka River, Croatia). *International Review of Hydrobiology* 90, 555-579.

Špoljar M., Primc-Habdija B., Habdija I. (2007a): The influence of the lotic and lentic stretches on the zooseton flux through the Plitvice Lakes (Croatia). *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 43, 29-40.

Špoljar M., Primc-Habdija, B. (2007b): Transport of seston in the karstic hydrosystem of the Plitvice Lakes (Croatia). *Hydrobiologia* 579, 199-209.

Špoljar, M., Štafa, D., Ostojić, A., Dražina, T., Matoničkin Kepčija, R., Kralj Borojević, K., Primc, B. (2011): Tufa deposition in a karst stream as an indicator of water quality (Papuk nature park, Croatia). *Croatian Journal of Fisheries, Ribarstvo* 69, 137-151.

Thomas, S. A., Newbold, J. D., Monaghan, M. T., Minshall, G. W., Georgian, T., Cushing, C. E. (2001): The influence of particle size on seston deposition in streams. *Limnology and Oceanography* 46, 1415-1424

Tockner, K., Waringer, J. A. (1997): Measuring drift during a receding flood: results from an Austrian mountain brook (Ritrodat-Lunz). *International Review of Hydrobiology* 82, 1-13.

Vadeboncoeur, Y. (1994): Longitudinal Dynamics of Seston Concentration and Composition in a Lake Outlet Stream. *Journal of the North American Benthological Society* 13, 181-189.

Valett, H. M., i J. A. Stanford. (1987): Food quality and hydropsychid caddisfly density in a lake outlet stream in Glacier National Park, Montana, USA. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 44, 77-82.

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, 130-137.

Wallace, J. B. and Merritt, R. W. (1980): Filter-feeding ecology of aquatic insects. *Annual Review of Entomology* 25: 103-132.

Wallace J., Ross D. H., Meyer J. L. (1982) Seston and dissolved organic carbon dynamics in a southern Appalachian stream. *Ecology* 63, 824-838.

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.

Webster, J. R., Benfield, E. F., Golladay, S. W., Hill, B. H., Hornick, L. E., Kazmierczak, R. F., Perry, W. B. (1987), Experimental studies of physical factors affecting seston transport in streams, *Limnology and Oceanography* 32, 848-863.

Wotton, R. S., Malmqvist, B., Muotka, T., Larsson, K. (1998): Fecal pellets from a dense aggregation of suspension feeders: an example of ecosystem engineering in a stream.- *Limnology and Oceanography* 43, 719-725.

Wotton, R. S. (1996): Colloids, bubbles and aggregates-a perspective on their role in suspension feeding. *Journal of the North American Benthological Society* 15, 127-135.

Young, R. G., Huryn, A. D. (1999): Effects of land use on stream metabolism and organic matter turnover *Ecological Applications* 9, 1359-1376.

## 9. ŽIVOTOPIS

Rođen sam 26. kolovoza 1995. godine u Koprivnici, Republici Hrvatskoj. Završio sam osnovnu školu Vladimira Nazora u Križevcima 2010. godine. Zatim sam upisao prirodoslovno-matematičku gimnaziju Ivana Zakmardija Dijankovečkoga u Križevcima gdje maturiram 2014. godine. Iste sam se godine upisao na preddiplomski studij Znanosti o okolišu koji završavam 2018. te zatim upisujem diplomski studij istog usmjerenja. Posjedujem vozačku dozvolu B kategorije i izvrsno se služim engleskim jezikom, uz osnovno poznavanje njemačkog jezika. Dodatno, 6. 5. 2018. godine završio sam R1 tečaj (ronilac početnik), a 14. 10. 2018. godine R2 tečaj (napredni ronilac) u ronilačkom klubu Foka na otoku Pagu.