# Vodengrinje (Hydrachnidiae) kao ključne sastavnice i deskriptori limnokrenih i reokrenih krških izvora Hrvatske

**Pozojević, Ivana**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2019**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:761661

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**

*Repository / Repozitorij:*

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

BIOLOŠKI ODSJEK

Ivana Pozojević

# VODENGRINJE (HYDRACHNIDIAE) KAO KLJUČNE SASTAVNICE I DESKRIPTORI LIMNOKRENIH I REOKRENIH KRŠKIH IZVORA HRVATSKE

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

BIOLOŠKI ODSJEK

Ivana Pozojević

# VODENGRINJE (HYDRACHNIDIAE) KAO KLJUČNE SASTAVNICE I DESKRIPTORI LIMNOKRENIH I REOKRENIH KRŠKIH IZVORA HRVATSKE

DOKTORSKI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Sanja Gottstein

Zagreb, 2019.

University of Zagreb

FACULTY OF SCIENCE

DIVISION OF BIOLOGY

Ivana Pozojević

# WATERMITES (HYDRACHNIDIAE) – KEY COMPONENTS AND DESCRIPTORS OF LIMNOCRENE AND RHEOCRENE KARST SPRINGS OF CROATIA

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisor:

Assoc. prof. dr. sc. Sanja Gottstein

Zagreb, 2019

Ovaj je doktorski rad izrađen na Zoologijskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, pod vodstvom izv. Prof. dr. sc. Sanje Gottstein, u sklopu Sveučilišnog poslijediplomskog doktorskog studija Biologije pri Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu“.

MENTOR DOKTORSKE DISERTACIJE

Izv. prof. dr. sc. Sanja Gottstein

Rođena je 15. rujna 1970. godine. Diplomirala je ekologiju 1994. god. na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Magistrirala je 1998. god., a 2003. je stekla akademsku titulu doktora prirodnih znanosti iz polja biologije, grana ekologija na PMF-u Sveučilišta u Zagrebu. Od 1995. do 1997. godine bila je zaposlena na mjestu stručnog suradnika na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu. Od 1997. do 2006. bila je zaposlena kao znanstveni novak na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu. Od 2007. do 2012. g. na istoj ustanovi zaposlena je na radnom mjestu docent, a od kraja 2012. do danas radi kao izvanredna profesorica. Odlukom Matičnog odbora u znanstveno zvanje znanstvene savjetnica izabrana je 6. ožujka 2019. godine.

Voditeljica je 9 kolegija na diplomskim studijskim programima Biološkog odsjeka: „Biologija podzemnih staništa“, „Biologija rakova“, „Ekologija kopnenih voda“, „Ekologija podzemnih staništa“, „Ekologija životinja“, „Zaštita biološke i krajobrazne raznolikosti“, „Principi i načela sistematske zoologije“ i „Terenska nastava“; dva kolegija na engleskom jeziku „Ecology of Subterranean Habitats“ i “Biology of Crustacea” te jednog kolegija na doktorskom studiju Biološkog odsjeka pod nazivom „Ekologija beskralješnjaka vodenih ekotona“. Samostalan je autor jedne knjige te koautor pet knjiga, jednog sveučilišnog udžbenika te tri poglavlja u znanstvenim knjigama.

Rezultate svog znanstvenog rada objavila je u 50 znanstvenih radova i 74 znanstvena sažetka s 48 međunarodnih i 26 domaćih kongresa. 24 znanstvena rada objavila je u časopisima citiranim u Current Contents bazi, 1 znanstveni rad u časopisu čije je izvorište SCI, 3 znanstvena rada su publicirana kao poglavlja u knjizi s međunarodnom recenzijom, 13 radova je publicirano u časopisima s međunarodnom recenzijom, 6 radova u zborniku radova s međunarodnih znanstvenih skupova s međunarodnom recenzijom i 3 rada u zborniku radova s domaćih znanstvenih skupova s domaćom recenzijom. Od ukupno 37 radova u časopisima koje citiraju baze WOS i Scopus 18 radova je objavljeno u časopisima s natprosječnim IF (6 Q1 i 12 Q2).

Područje znanstvenog djelovanja mentorice obuhvaća biološko-ekološka, klasično i molekularno taksonomska i biogeografska istraživanja koja su provedena na makroskopskim vodenim beskralješnjacima, s posebnim naglaskom na istraživanja deseteronožnih rakova (Decapoda) i rakušaca (Amphipoda) slatkih i bočatih nadzemnih i podzemnih voda. Najznačajniji rezultati znanstvenog rada su ostvareni u okviru ekoloških istraživanja nadzemnih i podzemnih zajednica viših rakova i ostalih vodenih beskralješnjaka u ekosustavima ovisnim o podzemnim vodama te u okviru istraživanja strategije životnog ciklusa i dinamike razvoja viših rakova. Tijekom svog znanstvenog djelovanja u rezultate svojih istraživanja ugradila je i različite aspekte krajobrazne ekologije i konzervacijske biologije. U okviru svojih istraživanja opisala je jednu novu vrstu podzemnog rakušca za znanost.

Pod njezinim mentorstvom do sada su obranjena tri magisterija znanosti i dvije doktorske disertacije.

ZAHVALA

Želim prije svega reći jedno veliko hvala svojoj mentorici, izv. prof. dr. sc Sanji Gottstein na izboru teme i smjernicama u doktorskom radu. Odabir vodengrinja kao ciljane skupine, čija je rasprostranjenost i raznolikost često predstavljala izazov u interpretaciji, probudila je i zadnje kreativne atome u mom sagledavanju statistike.

Veliko hvala također dugujem dr.sc. Tomu Goldschmidtu te prof. dr. sc Vladimiru Pešiću koji su nesebično dijelili svoje taksonomsko znanje i pomogli mi u prvim koracima otkrivanja vodengrinja.

Hvala svim djelatnicima, kolegama i prijateljima iz Laboratorija za ekologiju životinja te ostalim članovima Zoologijskog zavoda na podršci i pomoći prilikom raznih faza izrade ovog rada.

Ovaj doktorski rad posvećen je mojoj obitelji, motivu i cilju svega što radim i najvrijednije što imam. Posebno i najveće hvala Perici, na svemu.

Sveučilište u Zagrebu Doktorski rad

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

# Vodengrinje (Hydrachnidiae) kao ključne sastavnice i deskriptori limnokrenih i reokrenih krških izvora Hrvatske

Ivana Pozojević

Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

Sastav zajednica vodengrinja je dobar pokazatelj ekoloških uvjeta i stabilnosti slatkovodnih staništa te mogu poslužiti kao bioindikatori raznolikosti i statusa ugroženosti izvorskih ekosustava. Literaturnim pregledom, u fauni Hrvatske ustanovljeno je 67 vrsta vodengrinja dok je terenskim istraživanjem zabilježeno 8 novih vrsta za faunu Hrvatske. Brojnost i raznolikost zajednica vodengrinja testirane su u ovisnosti o ključnim okolišnim parametrima kao što su fizikalno-kemijska obilježja vode, morfološkom i hidrološkom tipu krških izvora, sezonskim promjenama ekoloških uvjeta staništa i geografskoj pripadnosti slijeva, a u svrhu utvrđivanja osnovnih pokretača distribucije zajednica vodengrinja u krškim izvorima. Sezonalnost nije značajno utjecala na bogatstvo svojti, ali su utvrđene sezonske razlike u gustoći jedinki zajednica. Najveći utjecaj na sastav zajednica vodengrinja ima morfotip izvora. Veća brojnost i raznolikost vodengrinja te veći udio krenobiontnih, krenofilnih i stigofilnih svojti zabilježen je u reokrenim izvorima. Zajednice vodengrinja krških izvora obilježava iznimna raznolikost i disjunktni tip rasprostranjenosti kao posljedica isprekidanog hidrološkog reljefa krškog krajolika. Zbog fragmentiranog areala rasprostranjenosti te malog broja nalaza, većina krenobiontnih vrsta vodengrinja mogu se smatrati iznimno ugroženim svojtama.

(115 stranica, 74 slika, 20 tablica, 106 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Ključne riječi: vodengrinje, limnokreni izvori, reokreni izvori, krenobionti, stigofili, krš Dinarida

Mentor: izv. prof. dr. sc. Sanja Gottstein

Ocjenjivači: prof. dr. sc. Goran Klobučar; izv. prof. dr. sc. Renata Matoničkin Kepčija, prof. dr. sc. Vladimir Pešić; zamjena: doc.dr.sc. Dubravka Čerba

University of Zagreb

Faculty of Science

Division of Biology

Doctoral Thesis

# Water mites (Hydrachnidiae) - key components and descriptors of limnocrene and rheocrene karst springs of Croatia

Ivana Pozojević

Division of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb

Roosevelt square 6 10 000 Zagreb

The composition of water mite communities is a good indicator of the condition and stability of freshwater habitats, especially spring ecosystems. A literature review of water mite research showed 67 species of water mites reported in Croatia. An addendum of 8 species is a direct result of field research conducted for the purposes of this doctoral thesis. Water mite abundance and species reaches were tested in relation to environmental factors such as physio-chemical properties, morphological and hydrological spring type, sessional oscillations and geographical region of spring in order to determine the basic drivers of water mite distribution in karst springs. Seasonality was found only to influence the abundance of water mite assemblages, but not their species richness. The morphological characteristics of springs were found to be the most prominent driver in water mite distribution. Higher values of abundance, species richness and higher ratios of crenobiont, crenophilous and stygophilous taxa were found in rheocrenes when compared to limnocrenes. Karst spring water mite assemblages were characterized by great diversity, but also a disjunctive pattern of distribution that is influenced by the intermittent hydrological relief of the karst landscape. Crenobiont water mites can thus be regarded to as extremely endangered species due to their fragmented area of occurrence.

(115 pages, 74 figures, 20 tables, 106 references,. original in Croatian)

Keywords: water mites, limnocrenes, heocrenes, crenobionts, stigophilous, karst

Supervisor: Associate Professor Sanja Gottstein, PhD

Reviewers: Professor Goran Klobučar, PhD; Associate Professor Renata Matoničkin Kepčija, PhD; Professor Vladimir Pešić, PhD; replacement: Assistant Professor Dubravka Čerba, PhD.

# Sadržaj:

1 Uvod ..... 1

1.1 Pregled dosadašnjih istraživanja vodengrinja u Hrvatskoj ..... 1

1.2 Opća obilježja vodengrinja ..... 3

1.2.1 Vodengrinje u izvorima ..... 8

1.2.2 Dvojbe u nazivlju vodengrinja ..... 9

1.3 Opća ekološka obilježja krških izvora ..... 10

1.3.1 Izvori kao ekotoni ..... 11

1.3.2 Utjecaj mikrostaništa na sastav i strukturu zajednica makroskopskih beskralježnjaka ..... 11

1.4 Svrha i ciljevi istraživanja ..... 12

2 Područje istraživanja ..... 14

2.1 Opća obilježja Dinarida ..... 14

2.1.1 Geološka obilježja Dinarida ..... 14

2.1.2 Klimatološka obilježja Dinarida ..... 16

2.2 Izvori rijeka Crnomorskog slijeva ..... 18

2.2.1 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Čabranke ..... 19

2.2.2 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Kupe ..... 19

2.2.3 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Kamačnik ..... 20

2.2.4 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Une ..... 21

2.3 Izvori rijeka Jadranskog slijeva ..... 22

2.3.1 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Zrmanje ..... 22

2.3.2 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Krčić ..... 23

2.3.3 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Cetine ..... 24

2.3.4 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Žrnovnica ..... 25

3 Materijali i metode ..... 26

3.1 Terenska i laboratorijska istraživanja ..... 26

3.1.1 Terenski protokol uzimanja uzoraka ..... 27
3.1.2 Laboratorijska analiza bentoskih beskralježnjaka ..... 29
3.1.3 Analiza fizikalno - kemijskih parametara vode ..... 30
3.2 Analiza i obrada podataka ..... 31
3.2.1 Analiza podataka s obzirom na ciljeve rada ..... 31
3.2.2 Akumulacijska i rarefakcijska krivulja ..... 35
3.2.3 Indeksi raznolikosti i ujednačenosti ..... 36
3.2.4 Indeksi sličnosti ..... 37
4 Rezultati ..... 38
4.1 Analiza uspješnosti uzorkovanja i prikupljenih podataka o sastavu zajednica vodengrinja na pojedinim izvorima ..... 38
4.2 Sastav i gustoća populacija vodenih beskralježnjaka i vodengrinja u ovisnosti o uvjetima okoliša ..... 39
4.2.1 Protok ..... 39
4.2.2 Utjecaj protoka na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake ..... 39
4.2.3 Fizikalno - kemijski parametri vode ..... 40
4.2.4 Utjecaj fizikalno - kemijskih parametara na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake ..... 42
4.2.5 Utjecaj morfologije izvora na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake ... 45
4.2.6 Utjecaj presušivanja na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake ..... 50
4.2.7 Utjecaj tipa supstrata na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake ..... 53
4.2.8 Sastav vodene vegetacije ..... 58
4.2.9 Utjecaj sastava vegetacije na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake .... 59
4.2.10 Utjecaj sezonskih razlika na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake ..... 62
4.3 Utjecaj ekotona izvora i podzemnih vodenih staništa na strukturu zajednica vodengrinja krenala ..... 68
4.3.1 Utjecaj morfološkog tipa izvora na zastupljenost sinekoloških grupa vodengrinja ..... 70

4.3.2 Utjecaj stabilnosti protoka na zastupljenost sinekoloških grupa vodengrinja.... 71
4.3.3 Utjecaj mikrostaništa na zastupljenost sinekoloških grupa vodengrinja..... 72
4.3.4 Utjecaj zajednice zoobentosa na zastupljenost sinekoloških grupa vodengrinja 72
4.3.5 Utjecaj fizikalno - kemijskih parametara na zastupljenost sinekoloških grupa vodengrinja..... 73
4.3.6 Utjecaj sezonskih temperaturnih oscilacija na krenofilne i krenobiontne svojte vodengrinja..... 74
4.4 Utjecaj zajednice zoobentosa na brojnost i zastupljenost pojedinih svojti vodengrinja ..... 76
4.5 Rasprostranjenost vodengrinja ..... 78
4.6 Nove vrste vodengrinja za faunu Hrvatske..... 85
*Atractides latipalpis* (Motaş & Tanasachi, 1946) ..... 85
*Atractides walteri* (K. Viets, 1925) ..... 86
*Lethaxona cavifrons* Szalay, 1943 ..... 87
*Ljania macilenta* Koenike, 1908 ..... 88
*Partnunia steinmanni* Walter, 1906 ..... 89
*Sperchon hibernicus* Halbert, 1944 ..... 90
*Sperchon thienemanni* Koenike, 1907 ..... 91
*Sperchon vaginosus* Thor, 1902 ..... 92
5 RASPRAVA..... 93
5.1 Uloga okolišnih parametara u sastavljanju zajednica krških krenobiocenoza ..... 93
5.2 Uloga morfologije izvora u sastavljanju zajednica krških krenobiocenoza ..... 96
5.3 Uloga mikrostaništa u sastavljanju zajednica krških krenobiocenoza..... 97
5.4 Uloga ekotona u sastavljanju zajednica krških krenobiocenoza..... 98
5.5 Sezonska dinamika okolišnih parametara i zajednica krenala..... 99
5.6 Vodengrinje u interakciji s ostalim skupinama izvorskih beskralježnjaka..... 100
5.7 Disjunktna raspodjela specifičnih vrsta vodengrinja? ..... 101
6 Zaključci..... 103

7 Literatura ..... 105

8 Prilozi ..... 8-1

# 1 Uvod

Izvori se smatraju „vrućim točkama“ u smislu bogatstva vrsta i raznolikosti zajednica vodengrinja. U njima često nalazimo brojne endeme, relikte i visokospecijalizirane krenobiontne vrste (Goldschmidt, 2016). Usporedno s ostalim skupinama vodenih beskralježnjaka, vodengrinje imaju najveći broj zabilježenih krenobiontnih svojti (Gerecke i sur., 1998). Budući da su vodengrinje većim dijelom svog života predatori te manjim dijelom paraziti na ostalim skupinama beskralježnjaka, njihove stabilne populacije i raznolike zajednice odraz su stabilnosti zajednice bentičkih beskralježnjaka izvora. Krški izvori karakterizirani su velikom heterogenošću u smislu stabilnosti protoka te visokom koncentracijom otopljenog kalcijevog karbonata koji za posljedicu imaju veće vrijednosti alkaliniteta, stabilnije vrijednosti pH (Bonacci, 1993; Smart i Worthington, 2004) te na posljetku, specifičnu zajednicu vodengrinja (Gerecke i sur., 1998). S obzirom na sve rečeno, vodengrinje smatramo ključnim sastavnicama i deskriptorima krških izvora.

Ekološka istraživanja faune vodengrinja rijetka su na svjetskoj razini, dok u Hrvatskoj ovakav tip istraživanja donedavno nije proveden. Vodengrinje su osjetljive na organsko onečišćenje, promjene u stabilnosti zajednica makroskopskih beskralježnjaka te cijeli niz antropogenih stresora, što ih čini vrijednim bioindikatorima ekološke kakvoće vodenih staništa (Pešić i sur., 2019). Njihove zajednice također su veoma raznolike te često specifične svojte vežemo za pojedine tipove izvora (Schwoerbel, 1959). Temeljem navedenih činjenica, ova doktorska disertacija usmjerena je na rješavanje dva temeljna problema vezana uz istraživanje vodengrinja: i) nepoznavanje ekologije ove raznolike skupine na području Hrvatske te naročito u slabo istraženim krškim izvorima; ii) zanemarivanje mogućih doprinosa vodengrinja u ekološkom vrednovanju i specifikaciji krških izvora.

## 1.1 Pregled dosadašnjih istraživanja vodengrinja u Hrvatskoj

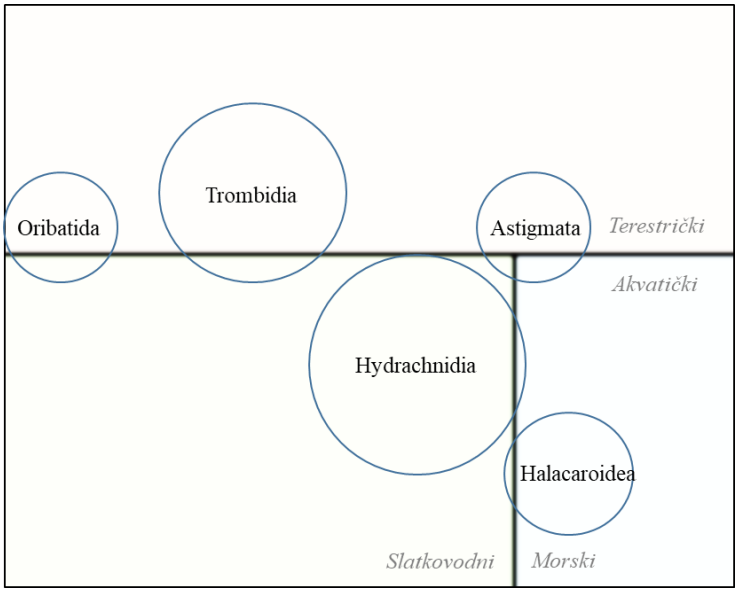
Prvo istraživanje vodengrinja u Hrvatskoj provedeno je početkom 20. stoljeća, kada je Viets (1936) objavio listu od 35 vrsta vodengrinja nađenih na području današnje Hrvatske te širem području bivše Jugoslavije. Besseling (1957) objavljuje tri nove vrste nađene u jezeru Kozjak na području Plitvičkih jezera 1954. godine. Matoničkin i Pavletić (1959) na popisu vrsta koje nastanjuju sedrene slapove Unca (pritoka Une) navode vodengrinju *Woolastookia rotundifrons* (K. Viets, 1922). Ovaj nalaz je nov za faunu Hrvatske, međutim autori u radu ne navode podatak

o broju jedinki, niti navode tko je determinirao vodengrinje. Četiri nove vrste za faunu Hrvatske objavio je Schwoerbel (1963) na temelju uzoraka prikupljenih u rijeci Neretvi te jezeru Lokvenica u delti rijeke Neretve. Matoničkin (1987) nalazi vrstu *Hydrachna globosa* (De Geer 1778) na području Plitvičkih jezera, bez podataka o brojnosti jedinki i tko je proveo determinaciju. U doktorskoj disertaciji Romane Lattinger (1988) navode se tri nova nalaza vodengrinja iz podzemnih voda hipotelminoreičke zone planine Medvednice, koje je detreminirao prof. Schwoerbel. Vrsta *Partnunia angusta* (Koenike, 1893) je vodengrinja koja je smatrana vrstom hiporeičke zone s arealom rasprostiranja ograničenim na područje Alpa (Di Sabatino i sur., 2010), međutim pronađena je u potoku Bliznec na obroncima Medvednice. Vrsta *Panisus torrenticolus* Piersig, 1898 te *Protzia squamosa* Walter, 1908 također su zabilježene u podzemnim vodama u sklopu istog istraživanja te su definirane kao stigokseni, odnosno ekološka skupina organizama koja se sporadično pojavljuje u podzemnim vodama. Smit i sur. (2000) objavljuju pronalazak vrste *Nudomideopsis motasi* Petrova, 1966 u Markarovoj špilji kraj Ogulina na temelju uzorka ženke iz 1997. godine koju su prikupili Kleteči, Gasparo i Stoch. U recentom popisu vrsta vodengrinja Hrvatske, Pešić (2002a) navodi 48 vrsta, od čega su 44 vrste navedene na temelju dotadašnjih istraživanja autora, a 4 vrste je identificirao na temelju materijala kojeg je prikupio Trajan Petkovski između 1956. i 1958. godine. U ovom popisu vrsta nedostaju nalazi iz disertacije Romane Lattinger (1988) (3), iz rada Matoničkina i Pavletića (1959) (1) te iz rada Matoničkina (1987) (1). Pešić i sur. (2010) objavljuju popis vrsta vodengrinja za Balkanski poluotok gdje se objavljuje ukupno pet novih nalaza za faunu vodengrinja Hrvatske: *Torrenticola amplexa* (Koenike, 1908) i *T. thori* (Halbert, 1944) (Plitvička jezera iz 2007. godine, leg. Vlatka Mičetić); *Atractides digitatus* (K. Viets, 1914) i *A. octoporus* Piersig, 1904 (izvori uz Gojačku Dobru iz 2008. godine, leg. Krešimir Žganec i Sanja Gottstein) te *A. stankovici* Pešić i Gerecke 2010 (nova vrsta za znanost). Vrstu *A. stankovici* u radu Pešić i sur. (2010) definiraju kao ponovni opis vrste nađene 1934. godine u Vrgoračkom Polju, tada determinirane kao *A. fluviatilis* (Viets, 1936). Pešić i sur. (2018) objavljuju dopunu popisa vrsta s Balkanskog poluotoka, u kojem navode šest novih nalaza za faunu vodengrinja Hrvatske: *Limnochares aquatica* (Linnaeus, 1758), *Hydrodroma reinhardi* Pešić, 2002, *Lebertia porosa* Thor, 1900, *Monatractides madritensis* (K. Viets, 1930) i *Torrenticola elliptica* (Maglioi, 1909), koje determinira Andrzej Zawal te vrstu *Hygrobates marezaensis* Pešić i Dabert, 2017 koju Pešić i sur. (2017) otkrivaju kao do tada kriptičku vrstu u kompleksu vrsta *Hygrobates fluviatilis*. Pozojević i sur. (2018a) u potopljenom krškom izvoru Torak te rijeci Čikoli nalaze tri nove vrste vodengrinja za faunu Hrvatske: *Limnesia connata*

Koenike, 1895, *Neumania vernalis* (Müller, 1776) i *Piona longipalpis* (Krendowsky, 1878). Danas na području Hrvatske dosad imamo ukupno 67 zabilježenih vrsta vodengrinja.

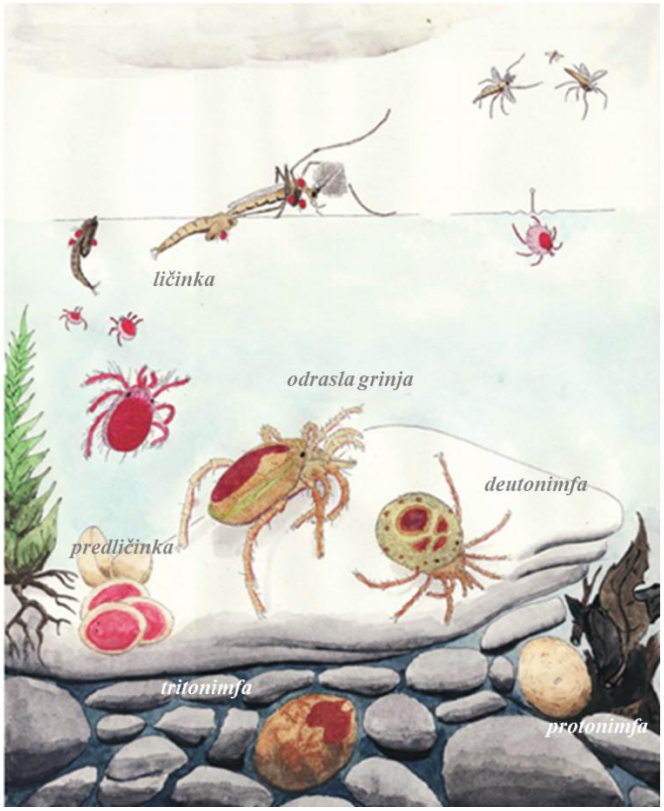
## 1.2 Opća obilježja vodengrinja

Grinje (Acari) se primarno smatraju terestričkim životinjama (Davids i Belier, 1979), no neke skupine kao što su: Hydrachnidia, Oribatida, Astigmata, Halacaroidea i Trombidia imaju predstavnike koji su sekundarno postali potpuno akvatički ili semiakvatički organizmi (Slika 1.2.1). Vodengrinje (Hydrachnidia; Trombidiformes: Prostigmata: Parasitengonina) su bogatstvom vrsta i jedinki najbrojnija skupina grinja u kojoj su svi predstavnici vezani za vodene ekosustave (Krantz i Walter, 2009). Bogatstvo vrsta vodengrinja danas premašuje 6 000 opisanih vrsta diljem svijeta, koje nastanjuju uglavnom slatkovodna staništa, a procjena bogatstva premašuje i 10 000 vrsta (Davids i sur., 2007; Goldschmidt, 2016). Ovo izrazito veliko bogatstvo vrsta ih čini najraznovrsnijom i najrasprostranjenijom te dominantnom skupinom razreda paučnjaka (Arachnida) u vodenim ekosustavima (Di Sabatino i sur., 2008; Goldschmidt, 2016). Trenutno je na razini cijele Europe ukupno zabilježeno 970 vrsta vodengrinja (Watermite.org, 2016). Zapreku u uključivanju vodengrinja u ekološka istraživanjima najčešće predstavlja upravo to veliko bogatstvo svojti koje je često popraćeno s izrazito malim gustoćama populacija i malim arealom rasprostiranja. Naime, od 970 vrsta zabilježenih na europskom kontinentu jedna četvrtina (245) zabilježena je samo s jednog lokaliteta i/ili samo s jednom jedinkom (Gerecke i sur., 2018).




**Slika 1.2.1** Prikaz relativne brojnosti i zastupljenosti vrsta unutar pet skupina grinja sa slatkovodnim predstavnicima. Preuzeto i modificirano iz Gerecke (1994).

Vodengrinje imaju složene životne cikluse (Slika 1.2.2) koji ih povezuju s nizom vodenih beskralježnjaka te raznolikim staništima i ekosustavima. Nakon embrionalnog razvoja oplođenih jajašaca te izlijeganja, vodengrinje ulaze u razvojnu fazu ličinke. Neki autori opisuju i neaktivnu fazu u životnom ciklusu između izlijeganja i ličinke koju nazivaju predličinka (Edwards i Dimock, 1995). U fazi ličinke, vodengrinje su kratko vrijeme mobilne, kreću se slobodno u vodi plivajući ili gmižući po sedimentu u aktivnoj potrazi za domadarom (Martin, 2000). Naime, u fazi ličinke, vodengrinje su obligatni paraziti koji parazitiraju uglavnom na emergirajućim vodenim kukcima. Dakle, uloga ličinke je pronalazak kukca koji je u procesu emergencije, tj. preobrazbe iz ličinačkog stadija u odraslu jedinku (Martin, 2003).




**Slika 1.2.2** Životni ciklus vodengrinja. Preuzeto i modificirano iz Martin i Gerecke (2009).

Smatra se kako je ova etološka prilagodba vodengrinjama omogućila nesmetano rasprostranjivanje u gotovo svim slatkovodnim ekosustavima (Bohonak, 1999; Zawal i sur., 2015). Zahvaljujući tome, vodengrinje danas nalazimo u gotovo svim slatkovodnim ekosustavima umjerenog i tropskog pojasa (Dabert i sur., 2016). Odabir domadara, kao i mjesto prihvaćanja na tijelo domadara uglavnom je specifično za svaku porodicu ili čak rod vodengrinja (Martin i Stur, 2006). Tako primjerice ličinke roda *Atractides* možemo uglavnom pronaći pričvršćene za prsa (thorax) dvokrilaca (Diptera) (Slika 1.2.3a). Ovakva selekcija mjesta za pričvršćivanje tipična je za svojte koje parazitiraju na kukuljicama te kasnije zajedno

emergiraju s kukcem (Davids i sur., 2007; Stryjecki i sur., 2015). Kod drugih rodova poput roda *Arrerurus* pričvršćenje je vremenski ograničeno trajanjem emergencije te je pričvršćenje na pojedini dio tijela jedinki vretenaca (Odonata) manje selektivan (Slika 1.2.3b) (Zawal i Buczyński, 2013). U ličinačkom stadiju vodengrinje se morfološki znatno razlikuju u odnosu na odrasle jedinke po veličini tijela (idiosome) te broju nogu. Ličinke imaju tri para, dok ostali razvojni stadiji imaju četiri para nogu.

**a)**



**b)**



**Slika 1.2.3** Ličinačka, parazitska životna faza vodengrinja **a)** Ličinke grinja parazitiraju odraslu jedinku trzalaca (Chironomidae) (Fotografija: Thomas Palmer, Milton, Massachusetts, SAD); **b)** Ličinke roda *Arrenurus* parazitiraju odrasle jedinke vretenca (*Sympetrum* spp., Odonata) (Fotografija: Jim Johnson, Northwest Dragonflier).

Po povratku ličinke u vodeni medij, započinje faza protonimfe, ujedno i prva latentna faza vodengrinja. U ovoj se fazi protonimfa zakopava u sediment te razvija u deutonimfu. Ova životna faza nerijetko se produljuje i do nekoliko mjeseci ukoliko su okolišni uvjeti nepovoljni, kao npr. presušivanje lentičkih staništa (Belozerov, 2009).

U fazi deutonimfe vodengrinje izlaze iz sedimenta i žive kao aktivni predatori. U ovoj fazi morfologija nimfi vrlo je slična onoj odraslih grinja, osim što izostaju specifična spolna obilježja (Slika 1.2.4). Ova razvojna faza, kao i prethodne, vrlo je varijabilna na razini porodice te traje od nekoliko dana (Eylaoidea, Hydryphantidae) do nekoliko mjeseci (Lebertioidea, Hydrobatoidea) (Smith i sur., 2001).



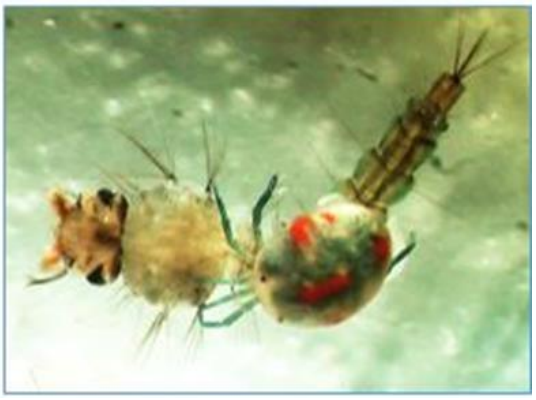
**a)** **b)** **c)**

**Slika 1.2.4** Razvoj spolnih obilježja kod roda *Atractides:* **a)** deutonimfa, **b)** odrasli mužjak, **c)** odrasla ženka. Fotografija: Ivana Pozojević.

Tritonimfe su druga latentna faza vodengrinja, u kojoj grinje prolaze preobrazbu iz deutonimfa u odrasle jedinke. U ovoj fazi, vodengrinje su iznimno osjetljive na organska opterećenja u vodi, kao i na smanjenje koncentracije kisika. Kako su zakopane u sediment ili skrivene u biljni materijal, nisu u mogućnosti pobjeći od nepovoljnih uvjeta te mnoge upravo iz navedenih razloga ne dožive spolnu zrelost (Di Sabatino i sur., 2005).

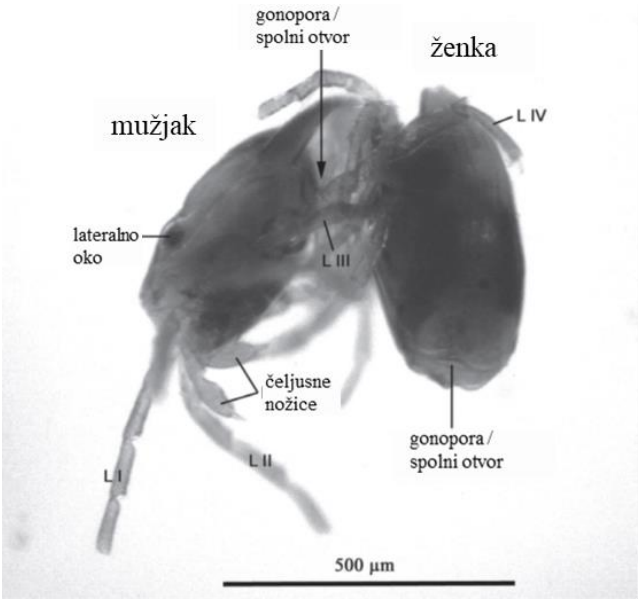
Odrasle vodengrinje aktivni su predatori koji se hrane oportunistički, konzumirajući raznoliku hranu životinjskog podrijetla (Slika 1.2.5). Najčešće se hrane ličinkama trzalaca (Chironomidae) ili maločetinašima (Oligochaeta), ali nerijetko i ljuskarima (Ostracoda),

veslonošcima (Copepoda), rašljoticalcima (Cladocera) te jajašcima raznih makroskopskih beskralježnjaka (Martin, 2005).

**a)**  **b)** 

**Slika 1.2.5** Predacija odraslih vodengrinja: **a)** *Lebertia* sp. hrani se ličinkom komarca (Culicidae); **b)** predacija dviju jedinki roda *Lebertia* na ličinki trzalaca (Chironomidae) (Fotografije: Adrian A. Vasquez i Jeffrey L. Ram, Wayne State University, SAD).

Razmnožavanje vodengrinja značajno se razlikuje među skupinama. Tako imamo primjere od jednostavnih transfera spermatofora bez kemijske ili fizičke komunikacije mužjaka i ženke do kompleksnih rituala parenja i prave kopulacije (Slika 1.2.6) (Olomski, 2009). Vodengrinje polažu oplođena jajašca u želatinoznom matriksu koji lijepe na biljni materijal. Broj jajašaca varira od 2 - 5 u rodova *Thyas* i *Hygrobates*, do čak 2000 jajašaca po polaganju (Davids i sur., 2007).




**Slika 1.2.6** Transfer spermatofora kod jedinki vrste *Brachypoda versicolor*. Preuzeto i modificirano iz Olomski, 2009.

Unutar skupine vodengrinja nalazimo veliki broj izvorskih specijalista, odnosno krenobionata koji ne migriraju niti u podzemne hidrosustave niti u niže dijelove toka (Gerecke i sur., 1998; Stoch i sur., 2011). Miccoli i sur. (2006) predlažu stoga vodengrinje kao ključnu indikatorsku skupinu za izvorišna područja, uzimajući u obzir njihovu osjetljivost na eutrofikaciju i smanjenje pH vrijednosti vodenog medija. Veliko bogatstvo krenobiontskih vrsta vodengrinja Gerecke i sur. (1998) pripisuju činjenici da velik broj kukaca polaže jaja upravo u eukrenalu, što predstavlja hranu odraslim vodengrinjama te velikoj raznolikosti i brojnosti dvokrilaca (Diptera) na izvorišnim područjima, koji su domadari vodengrinja u parazitskoj ličinačkoj fazi razvoja. Stoch i sur. (2011) moguće objašnjenje velikog broja specijaliziranih krenobiontnih vrsta vodengrinja pripisuju i nedostatku vršnih predatora (naročito ihtiofaune) u najužem izvorišnom području ili zoni eukrenala.

### 1.2.1 Vodengrinje u izvorima

Većina vrsta vodengrinja pokazuje jasnu i izraženu sklonost prema specifičnom tipu staništa (Goldschmidt, 2016). Vodengrinje su skupina beskralježnjaka s najvećim udjelom zabilježenih krenobiontnih i krenofilnih vrsta. Otprilike jedna petina svih opisanih vrsta vodengrinja staništem je usko vezano za krenal. Prostorna izolacija među izvorima, kao i uska specijalizacija krenobiontnih svojti je razlog što je čak oko četvrtine krenobiontnih svojti nađeno isključivo na jednom lokalitetu (Gerecke i sur., 2018).

Dvije su glavne sinekološke skupine stvorene u svrhu objašnjenja razvoja takvog bogatstva svojti vodengrinja u izvorima: „paleokrenobionti“ i „neokrenobionti“. Paleokrenobionti uključuju evolucijski „starije“ svojte vodengrinja koje uglavnom spadaju u natporodicu Hydryphantoidea. Smatra se da su se paleokrenobionti razvili u pleistocenu gdje su jedine dostupne vodene površine bile izvori i povremene stajaćice te kako ova skupina vodengrinja predstavlja pionire među grinjama u kolonizaciji vodenih ekosustava (Smith, 1991). U prilog ovoj teoriji također se navodi parazitiranje ličinki ovih vodengrinja na semiterestričkim skupinama beskralježnjaka (Tuzovskij i sur., 2000). S druge strane, smatra se da su neokreonobionti evolucijski mlađe svojte, koje su nastale specijalizacijom ritrobiontnih svojti na izvorske ekosustave. U prilog ovoj teoriji spominju se brojni primjerni sestrinskih vrsta vodengrinja koje su podijeljenje na krenobionte i ritrobionte. Ove svojte vodengrinja parazitiraju na akvatičkim ličinkama kukaca te zajedno s njima emergiraju (Gerecke i sur., 2018).

U reokrenim izvorima uglavnom dominiraju predstavnici tzv. „neokrenobionata“. Uz prave reokrenobionte, u ovim su izvorima prisutne često velikim udjelim svojte koje su općenitiji krenofili, ali i ritrofili/ritrobionti (Gerecke i Di Sabatino, 1996). U limnokrenim izvorima često nalazimo faunu koju karakeriziramo kao krenofile, no zanimljivo je kako tipični predstavnici limnokrenobiontne faune unutar skupine vodengrinja nisu zabilježeni na području Europe (Gerecke i sur., 2018).

### 1.2.2 Dvojbe u nazivlju vodengrinja

Vodengrinje danas uglavnom nose naziv: „Hydrachnidia“, rjeđe „Hydrachnellae“ ili čak „Hydrachnidiae“ (Goldschmidt, 2016; Proctor i sur., 2015). Izrazi „Hydrachnida“ ili „Hydracarina“ danas više nisu u upotrebi te predstavljaju vodene grinje u širem smislu riječi jer uključuju i slatkovodne predstavnike skupine Halacaroidea.

## 1.3 Opća ekološka obilježja krških izvora

Izvori se zbog raznolike i specifične građe, veličine i izoliranosti te relativno stabilnih fizikalno – kemijskih uvjeta smatraju izuzetno pogodnim sustavima za ekološka, biogeografska i evolucijska istraživanja (Galas, 2005; Glaizer, 2009). Smatraju se jedinstvenim sustavima u pogledu kompleksnosti zajednica te u njima nalazimo spoj od ekološki eurivalentnih generalista do usko specijaliziranih krenobiontskih vrsta vodene faune, kao i vrste koje kohabitiraju između podzemnih i nadzemnih hidrosustava te akvatičkog i terestričnog ekosustava (Gerecke i sur., 1998; Stoch i sur., 2011). Krš Dinarida područje je kompleksne geološke strukture te hidrologije. Ovdje krški izvori imaju velike oscilacije u intenzitetu protoka uslijed visoke propusnosti geoloških slojeva (Prelovšek, 2010). Krški izvori također imaju veliku varijabilnost sastava zajednica i mikrostaništa, protoka i kemizma vode (Glazier, 2009). Temperatura vode krških izvora, kao i ostala fizička i kemijska te niz bioloških obilježja (Cantonati i sur., 1996) ovisni su o vodonosniku koji ga opskrbljuje.

Izvori se u biološkim istraživanjima najčešće tipiziraju s obzirom na morfološki tip staništa kojeg stvaraju. Tako imamo tri osnovna tipa: limnokreni (stvaraju ujezerenja), reokreni (stvaraju lotičko stanište) te helokreni (stvaraju različite tipove zamočvarenih staništa, uključivo cretove) (Glazier, 2009). U ovom doktorskom radu analizirat će se reokreni i limnokreni krški izvori Hrvatske. Bonacci (1987) argumentira da je kompleksnost krša na našim područjima nemoguće opisati bez sinergije hidrološkog, geološkog i faunističkog pristupa istraživanju. Mnogi autori navode upravo jedan hidrološki aspekt (protok) kao glavni ekološki deskriptor sastava i distribucije zajednica zoobentosa (Galas, 2005; Glazier, 2009; Smith i sur., 2003; Stoch i sur., 2011). Iznimno je značajan utjecaj hidromorfoloških obilježja na pojavnost, prilagodbe, preživljavanje i razmnožavanje faune izvora. Tako su abundancija vodene faune i bioraznolikost veći na stalnim nego povremenim ili periodičkim izvorima. Smatra se da stalni izvori podržavaju veću bioraznolikost te pogoduju pojavi rijetkih vrsta krenobionata i relikata (Erman, 2002). Povremeni su izvori, upravo zbog ovih pretpostavki, staništa koja su često zanemarivana, no njihova je dinamika u smislu vodnog režima i životne strategije životinja koje ih nastanjuju izrazito zanimljiva. Ovakve, hidrološki manje stabilne, izvore uglavnom kolonizira manji broj svojti prilagođenih preživljavanju tijekom sušnih razdoblja (Cantonati i sur., 1996). U sastavu faune krenala povremenih izvora dominiraju kukci, dok su u izvorima stalnog protoka holoakvatičke svojte zastupljene s većom brojnošću (Gray, 2005; Wood i sur., 2005). Rekolonizacija povremenih izvora odvija se na godišnjoj razini, a ulogu kolonizatora ima fauna krenala okolnih stalnih izvora (Smith i sur., 2003). Uz kukce, koji

polažu jajašca u povremene izvore završetkom sušnog razdoblja, ovdje se pojavljuju i neki predstavnici reda Amphipoda, koji se za sušnog razdoblja povlače u podzemne hidrosustave (Wood i sur., 2005). Broj svojti te raznolikost zajednice beskralježnjaka smanjuje se s produljenjem sušne faze u povremenim izvorima. Trajanje sušne faze također je od velike važnosti jer određuje životne strategije i adaptacije životinja (Meyer i Meyer, 2000).

### 1.3.1 Izvori kao ekotoni

U povremenim izvorima jasno je iskazana uloga raznih izvorskih ekotona u sastavljanju zajednica zoobentosa velikim udjelom terestričke i freatičke faune (Wood i sur., 2005), ali i faune iz nizvodnih dijelova toka (Gerecke i sur., 1998). Mali broj svojti koje naseljavaju razne tipove izvora pripadaju skupini obligatnih krenobionata, dok su mnogo učestaliji generalisti (Stoch i sur., 2011). Tako u izvorima često nalazimo vrste koje pripadaju stigofilima tj. ekološkoj skupini organizama koji naginju na trajno ili povremeno nastanjivanje podzemnih staništa, no vezani su za površinu zbog hranjenja ili nekih drugih bioloških potreba (Gottstein i sur., 2002). Gerecke i sur. (1998) opisuju izvore (točnije eukrenal) kao ekoton podzemne i nadzemne vode u kojima je česta pojava freatičkih svojti (Gray, 2005; Meyer i Meyer, 2000; Smith i sur., 2003). Staudacher i Füreder (2007) naglašavaju važnost uloge izvorskog ekotona između terestričkog i vodenog staništa kao refugij za lotičke svojte, zbog smanjenoga predatorskog pritiska i kompleksnosti trodimenzionalne strukture podloge. Izvor također možemo smatrati ekotonom dvije glavne ekološke zone: eukrenal i hipokrenal. Granica između eukrenala i hipokrenala definirana je kao točka u kojoj godišnje varijacije temperature ne prelaze 2 °C (Erman i Erman, 1995) ili po nekim autorima čak ni 1 °C (von Fumetti i sur., 2007).

### 1.3.2 Utjecaj mikrostaništa na sastav i strukturu zajednica makroskopskih beskralježnjaka

Važan čimbenik strukturiranja zajednica zoobentosa izvora je sastav mikrostaništa. Mikrostaništa, odnosno različiti tipovi supstrata, stvaraju veći spektar staništa koji podržavaju veću raznolikost svojti i trofičkih skupina (Staudacher i Füreder, 2007). Parsons i Norris (1996) naglašavaju važnost ujednačenog uzorkovanja na pojedinim mikrostaništima, budući je uloga mikrostaništa opisana kao krucijalan element u sastavljanju zajednica zoobentosa. Parsons i Norris (1996) također utvrđuju da je raznolikost zajednica unutar jednog lokaliteta/postaje veća

nego raznolikost između zajednica istog mikrostaništa s različitih lokaliteta. Sastav mikrostaništa, udio pojedinih supstrata, kao i zastupljenost makrofita (Gray, 2005) pokazuju značajan utjecaj u strukturiranju zajednica faune krenala. Prisutnost određenih makrofita, primjerice mahovina, ukazuje na stalnost protoka na izvoru (Erman, 2002), a bogatstvo vrsta mahovina u korelaciji je s bogatstvom vrsta kukaca iz skupina Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera i Coleoptera (EPTC).

### 1.4 Svrha i ciljevi istraživanja

Glavna svrha provedenih istraživanja je sveobuhvatna taksonomska i ekološka analiza sastava zajednica vodengrinjama u krškim krenobiocenozama Hrvatske. U svrhu ostvarenja glavne svrhe rada, postavljeni su sljedeći istraživački ciljevi:

1. Odrediti sastav i gustoću populacija vodenih beskralježnjaka a posebno vodengrinja u ovisnosti o: protoku, fizikalno - kemijskim čimbenicima, morfološkom tipu izvora, hidrološkom tipu izvora, udjelu tipa supstrata, sastavu vodene vegetacije.
2. Usporediti udio broja jedinki stigobionata/stigofila i krenobionata/krenofila u zajednici vodengrinja s obzirom na: tip izvora, stabilnost protoka, sastav zoobentosa, fizikalno – kemijske parametre.
3. Utvrditi ulogu pojedinih svojti vodengrinja kao deskriptora krških izvora s obzirom na: protoke, fizikalno - kemijske karakteristikama vode, morfološki tip izvora, hidrološki tip izvora; udio tipa supstrata, sastav vodene vegetacije, sastav zajednica zoobentosa.
4. Utvrditi vezanost svojti vodengrinja sa zonom eukrenala i/ili hipokrenala i time stupanj specijalizacije s obzirom na temperaturne oscilacije.
5. Definirati tipove zajednica bentičkih beskralježnjaka u krškim izvorima u ovisnosti o ekotonalnom efektu izvora (filteri ili barijere).
6. Analizirajući krške izvore Hrvatske topološki i hidrološki povezanih kao i različitih i udaljenih slijevova utvrdit će se imaju li visoko specijalizirane svojte disjunktni tip rasprostranjenosti u krškim izvorima.

Ostvarivanje ovih ciljeva dovest će do prvih saznanja o brojnosti i raznolikosti svojti vodengrinja u krškim izvorima Hrvatske te pružiti uvid u važnost uključivanja vodengrinja u sustave vrednovanja krenobiocenoza. Objedinjavanjem rezultata kvalitativnog i kvantitativnog sastava zajednica bentičkih beskralježnjaka te fizikalno - kemijskih obilježja krenala razjasnit

će se utjecaj stabilnosti protoka na permanentnu, odnosno temporalnu faunu izvora. Razjasnit će se također kakva je uloga mikrostaništa u sastavljanju faune beskralježnjaka u izvorima te funkcioniraju li izvori kao barijere ili kao filteri za vodengrinje iz susjednih zona i područja (hipokrenala i/ili podzemlja).

Temeljem dosadašnjih istraživanja i postavljenih ciljeva ovog istraživanja izvode se hipoteze:

Protoci na izvorima značajno utječu na sastav, udio i gustoću pojedinih skupina vodenih beskralježnjaka, pa tako i vodengrinja. Veće je bogatstvo vrsta na izvorima gdje je varijabilnost protoka manja.

Heterogenost mikrostaništa utječe na sastav i strukturu zajednice vodenih beskralježnjaka, tako i vodengrinja. Supstrati poput mahovine i većih veličinskih kategorija kamenih podloga (mezolital, makrolital i megalital) imaju veću zastupljenost u reokrenim izvorima, gdje je očekivana veća brojnost i raznolikost zajednice vodengrinja, u odnosu na limnokrene izvore.

Izvori usprkos relativno stabilnim fizikalno - kemijskim parametrima pokazuju sezonalnost u sastavu i gustoći populacija vodenih beskralježnjaka, pa tako i vodengrinja. Brojnost vodengrinja u krškim izvorima, zbog kompleksnog životnog ciklusa, ovisi o fizikalno - kemijskim parametrima staništa te raspoloživim izvorima hrane (uglavnom vodenih kukaca). Stoga je sezonska dinamika vodengrinja na području krških izvora uvjetovana sezonskom dinamikom vodenih kukaca.

Izvori predstavljaju granicu - ekoton između susjednih ekosustava, podzemnog i nadzemnog vodotoka, u čijem sastavu nalazimo svojte područja sraza kao i specijaliste.

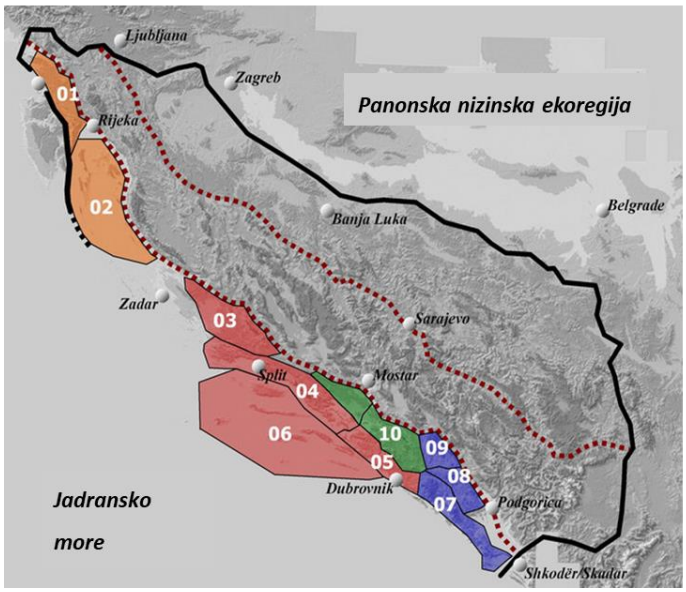
# 2 Područje istraživanja

## 2.1 Opća obilježja Dinarida

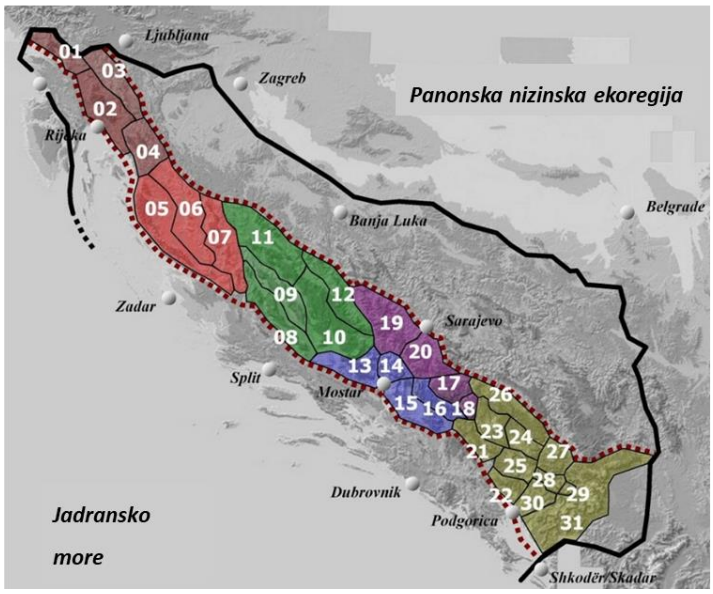
Krško područje Dinarida proteže se na preko 650 kilometara teritorija od Slovenije na sjeverozapadnoj granici do Albanije na jugoistočnoj granici rasprostiranja. Širina ovog područja kreće se između 50 i 200 kilometara te ukupno prekriva oko 60 000 kvadratnih kilometara (Bonacci, 2015). Dinaridi predstavljaju najveći, neprekinuti krški krajolik Europe te zauzimaju gotovo 50 % teritorija Hrvatske (Rađa i Puljaš, 2010). Dinaridi su ime dobili prema planini Dinari koja dijeli Livanjsko polje od Sinjskog, te čini prirodnu granicu između Bosne i Hercegovine te Hrvatske (Mihavec i sur., 2010). U usporedbi s nizinskim krajolikom, nadzemni tokovi rijeka u području Dinarida su rijetki zbog visoke propusnosti krša. Najvažniji aspekt hidrogeološkog režima u Dinaridima je interakcija nadzemne i podzemne vode koja je najizraženija upravo u krškim izvorima. Svi oblici reljefa krša nastali su djelovanjem vode, koja otapa karbonate i odnosi ih kroz šupljikave stijene (Prelovšek, 2010). Balkanski poluotok poznat je kao „vruća točka“ (engl. *hot spot*) bioraznolikosti. Griffiths i sur. (2010) nazivaju ga i „*the great European hot spot*“, što je uvelike posljedica jedinstvene bioraznolikosti dinaridskog krša. Ovo naročito vrijedi za ovdašnje izvore koji često pružaju stanište glacijalnim reliktima i hladnim - stenotermnim svojtama (Popijač i Sivec, 2009).

### 2.1.1 Geološka obilježja Dinarida

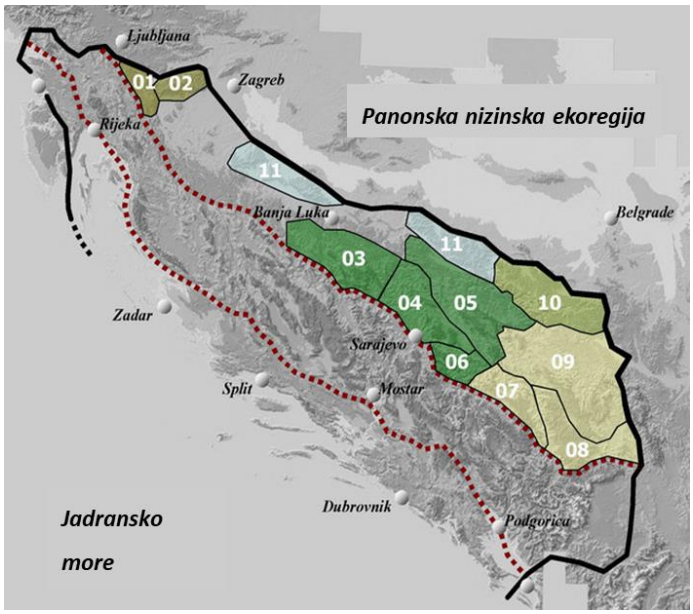
Dinaridski krš razvio se iz mezozoičkog vapnenca. Najmlađe naslage iz doba krede ili čak tercijara nalazimo u priobalju te na otocima. Mjestimice nalazimo i naslage fliša iz eocena koje često prekriva deblji sloj zemlje te vegetacija. Dublje u unutrašnjosti zastupljen je vapnenac iz doba krede, dok su na sjeveroistoku često prisutni dolomiti iz razdoblja trijasa (Kranjc, 2004). Dinaridi se osim na „unutarnje“ i „vanjske“ dijele i na tri geološko - geografska pojasa: 1) Jugozapadni pojas ili primorski pojas (Slika 2.1.1.1), 2) Središnji ili visoki Dinaridski pojas (Slika 2.1.1.2), 3) Sjeveroistočni pojas (Slika 2.1.1.3., Bonacci, 2015; Zupan Hajna, 2010).




**Slika 2.1.1.1** Jugozapadni pojas ili primorski pojas Dinarida. 01 – 02 = Područje sjevernog Jadrana; 03 - 06 = Planine Dalmacije, 07 - 09 = Planine primorske i središnje Crne Gore, 10 = Planine niske Hercegovine (Preuzeto sa: https://www.dinarskogorje.com/).



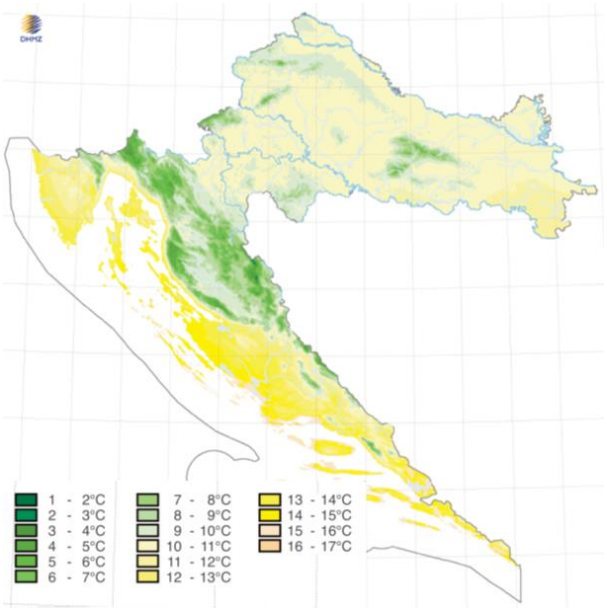

**Slika 2.1.1.2** Središnji ili visoki Dinaridski pojas. 01 – 04 = Krške visoravni Slovenije i Hrvatske, 05 – 07 = Planine Like, 08 – 12 = Planine zapadne Bosne i Dinara, 13 – 16, Planine visoke Hercegovine, 17 – 20 = Središnje bosansko - hercegovačke planine, 21 – 31 = Površi i brda Crne Gore i Prokletije (Preuzeto sa: https://www.dinarskogorje.com/).



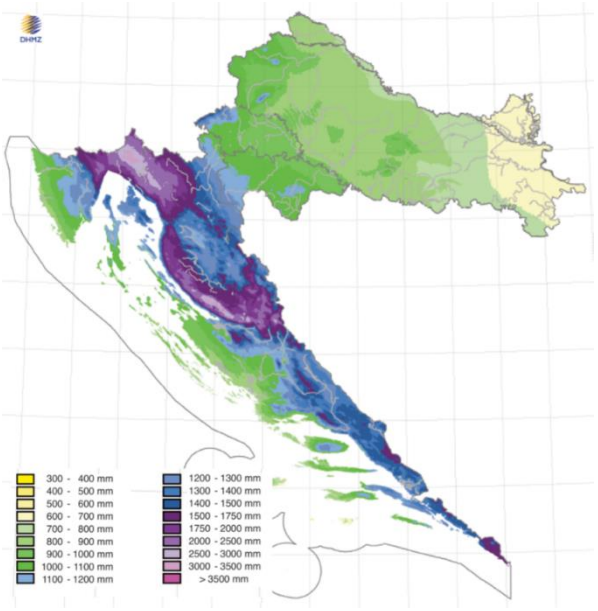

**Slika 2.1.1.3** Sjeveroistočni pojas Dinarida. 01 – 02 = Planine slovenske Dolenjske i SZ Hrvatske, 03 – 06 = Planine srednje i istočne Bosne, 07 – 09 = Planine Starog Vlaha i Raške (Sandžaka), 10 = Planine sjeverozapadne Srbije, 11 = Peripanonske odnosno pred - dinarske planine (Preuzeto sa: https://www.dinarskogorje.com/).

### 2.1.2 Klimatološka obilježja Dinarida

Planinski lanac Dinarida stvara prepreku koja uvjetuje smanjenje strujanje hladnog polarnog zraka te precipitaciju zimi iz kontinentalnog u priobalni pojas (Slika 2.1.2.1). Tako u obalnom području (vanjski Dinaridi) imamo prisutnu mediteransku i submediteransku klimu. S druge strane, tzv. unutarnji Dinaridi ostaju pod utjecajem kontinentalne klime te u najhladnijem razdoblju godine ciklone uglavnom ne prelaze s Jadrana na kopno. Ljeti na području vanjskih Dinarida prevladava dugotrajno vedro vrijeme visokih temperatura (Šegota i Filipčić 2003). Na višim nadmorskim visinama dinaridskih planina u Gorskom kotaru, Lici i dalmatinskom zaleđu prisutna je planinska klima koja se razlikuje od okolnog područja po temperaturnom i snježnom režimu: niske temperature zraka te dugotrajnije i obilnije snježne oborine (Slika 2.1.2.2).




**Slika 2.1.2.1** Klimatološka karta Hrvatske s prikazom srednjih godišnjih temperatura (Zaninović i sur., 2008).




**Slika 2.1.2.2** Klimatološka karta Hrvatske s prikazom srednjih godišnjih količina padalina (Zaninović i sur., 2008).

## 2.2 Izvori rijeka Crnomorskog slijeva

Granica između rijeka Crnomorskog i Jadranskog slijeva nalazi se upravo na Dinaridima (Slika 2.2.1). Oko 70 % rijeka u Hrvatskoj pripadaju Crnomorskom slijevu, ostatak Jadranskom slijevu. U ovoj doktorskoj disertaciji analizirano je ukupno 8 izvora rijeka Dinarida (Tablica 2.2.1) od kojih četiri spadaju u Crnomorski slijev: Čabranka, Kupa, Kamačnik i Una. Sva četiri izvora Crnomorskog slijeva nalaze se u „unutrašnjim" Dinaridima, točnije u središnjem pojasu Dinarida. Izvori Čabranke, Kupe i Kamačnika smješteni su u Snežničko - gorskokotarskoj visoravni, a Una izvire u Lici u području Masiva Ličke Plješivice. U dijelu Gorskog Kotara, Dinaridi su najuži te nešto niže nadmorske visine od okolnih područja.




**Slika 2.2.1** Hidrografska karta Hrvatske i podjela na slijevove (Preuzeto sa: https://www.hrvatska.eu/).

**Tablica 2.2.1** Karakteristike istraživanih krških izvora Hrvatske

| Izvor | Morfološki tip izvora | Hidrološki tip izvora | Nadmorska visina (m) | Razina zaštite | Slijev | Pojas Dinarida | Geomorfološka regija (Bognar 2001) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cetina | limnokreni | stalni | 390 | Hidrološki spomenik prirode | Jadranski | vanjski | Niz zavala gornje Cetine sa zavalom Sinjskog polja (2.1.10.2.) |
| Čabranka | reokreni | stalni | 546 | Vodozaštitno područje | Crnomorski | unutarnji | Čabransko-Gerovsko pobrđe (2.1.2.1.) |
| Kamačnik | limnokreni | stalni | 410 | Zaštićeni krajolik | Crnomorski | unutarnji | Predgorski niz gorskih hrptova i uvala Velike Kapele (2.1.3.2.) |
| Krčić | reokreni | sezonski presušuje | 370 | Geomorfološki spomenik prirode | Jadranski | vanjski | Gorsko zavalsko područje SZ Dalmacije (2.1.10.) |
| Kupa | limnokreni | stalni | 321 | Nacionalni park | Crnomorski | unutarnji | Dolina Kupe (2.1.2.7.) |
| Una | limnokreni | stalni | 396 | Hidrološki spomenik prirode | Crnomorski | unutarnji | Lička Plješivica s gorskim masivom Poštaka (2.1.9.) |
| Zrmanja | reokreni | stalni | 335 | ---- | Jadranski | unutarnji | Gorski masiv Poštaka s dolinom gornje Zrmanje (2.1.9.5.) |
| Žrnovnica | reokreni | stalni | 88 | Zona sanitarne zaštite vodocrpilišta | Jadranski | vanjski | Gorski hrbat Mosora s podgorjem i grede Kozjaka i Omiške Dinare s pobrđima (2.4.1.) |

### 2.2.1 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Čabranke

Rijeka Čabranka tipična je gorska rijeka koju karakteriziraju velike oscilacije u protocima (Pavlić i sur., 2017). Njen izvor ne presušuje te je izrazito reokrene tipologije, gdje voda izvire bujično iz stijena (Slika 2.2.1.1). Sami izvor te njegovo slijevno područje spadaju u vodozaštitno područje grada Čabra. Rijeka Čabranka dugačka je 17,5 km, a izvire na rubu Kupske doline, iz pukotina stijena Velikog Obrha. Izvor je okružen vegetacijom i visokim stijenama te je zasjenjenost izvora relativno velika. Prema Bognaru (2001), izvor rijeke Čabranke spada u geomorfološku regiju Čabransko - Gerovsko pobrđe te je s nadmorskom visinom od 546 metara, najviši istraživani izvor u ovoj disertaciji.



**Slika 2.2.1.1** Izvor rijeke Čabranke, reokreni izvor Crnomorskog slijeva. Fotografija: Sanja Gottstein.

### 2.2.2 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Kupe

Izvor Kupe nalazi se unutar granica Nacionalnoga parka Risnjak. Premda je okružen visokim gorjem, izvor Kupe izvire na relativno niskih 313 metara nadmorske visine (Frančišković - Bilinski i sur., 2012). To je najveći krški izvor vokliškog tipa u Hrvatskoj (Slika 2.2.2.1). U izvoru su utvrđena dva međusobno odijeljena kanala iz kojih voda izvire. Prosječni godišnji protok iznosi oko 6 $m^3/s$, a istječe iz špiljskog sustava građenog od vodopropusnih karbonatnih i nepropusnih klastičnih naslaga paleozojske starosti. Uz glavi izvor Kupe, na samom području

eukrenala, cijeli je niz manjih izvora koji zajedno pridonose intenzitetu protoka koji tada varira od 2 do čak 200 $m^3/s$ (Biondić i sur., 2006; Pavlić i sur., 2017). Kupa kasnije teče kroz naslage vapnenca i dolomita te se spaja s pritokom Čabrankom. Izvor je okružen šumskim područjima te je zasjenjenost na rubnim dijelovima izvora relativno velika. Izvor rijeke Kupe s njenim gornjim tokom, hidrogeomorfološki je spomenik prirode. Geomorfološka regija prema Bognaru (2001): Dolina Kupe (2.1.2.7).



**Slika 2.2.2.1** Izvor rijeke Kupe, limnokreni izvor Crnomorskog slijeva. Fotografija: Sanja Gottstein.

### 2.2.3 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Kamačnik

Rijeka Kamačnik, s kanjonom u masivu Velike Kapele, je 3,2 km duga pritoka rijeke Dobre. Ovo područje je 2002. godine proglašeno zaštićenim krajobrazom. Izvor Kamačnika tipičan je krški vokliški, limokreni izvor gdje voda do izvora dolazi iz potopljenog špiljskog kanala (Slika 2.2.3.1). Za morfologiju doline Kamačnika bitne su litološke karakteristike naslaga: (topivi) vapnenci iz perioda donje i srednje jure. Izvor Kamačnika nalazi se na 410 metara nadmorske visine. Prema Bognaru (2001) izvor rijeke Kamačnik pripada geomorfološkoj regiji: Predgorski niz gorskih hrptova i uvala Velike Kapele. Ovaj limnokreni izvor nikad ne presušuje te je izvorišno područje s relativno velikim zasjenjenjem zbog okolne vegetacije i usječenosti u stijene.



**Slika 2.2.3.1** Izvor rijeke Kamačnik, limnokreni izvor Crnomorskog slijeva. Fotografija: Sanja Gottstein.

### 2.2.4 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Une

Izvor Une krški je izvor s većim oscilacijama protoka. Izvor također predstavlja vokliški tip izvora (Slika 2.2.4.1) koji je smješten u dubokom kanjonu nastalom djelovanjem erozije (Bognar 2005), čija dubina premašuje 200 m. Izvor Une nalazi se na 396 metara nadmorske visine. Geomorfološka regija u koju spada izvorišno područje (Bognar 2001) je Lička Plješivica s gorskim masivom Poštaka (2.1.9). Ovaj stalni izvor zaštićen je kao hidrološki spomenik prirode. Na samom izvoru, limnokrenog tipa, prisutna je blaga zasjenjenost rubnih dijelova ujezerenenja zbog okolne vegetacije.



**Slika 2.2.4.1** Izvor rijeke Une, limnokreni izvor crnomorskog slijeva. Fotografija: Sanja Gottstein.

## 2.3 Izvori rijeka Jadranskog slijeva

Oko 30 % rijeka u Hrvatskoj pripada Jadranskom slijevu. U ovoj doktorskoj disertaciji analizirano je četiri izvora rijeka Jadranskog slijeva: Zrmanja, Krčić, Cetina, Žrnovnica. Izvor rijeke Zrmanje nalazi se u „unutrašnjim“ Dinaridima, točnije u središnjem pojasu Dinarida, dok su ostali izvori Jadranskog slijeva (Krčić, Cetina i Žrnovnica) smješteni u „vanjskim“ Dinaridima, točnije u primorskom pojasu Dinarida.

### 2.3.1 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Zrmanje

Izvor rijeke Zrmanje nalazi se podno Poštaka na 335 metara nadmorske visine. U izvorišnom području vlada kontinentalna klima (Bonacci i Roje - Bonacci, 2015) te je na samom izvoru velika zasjenjenost zbog okolne vegetacije. Izvor je izrazito reokrenog karaktera (Slika 2.3.1.1), no za razliku od nižih tokova Zrmanje, izvor ne presušuje. Geomorfološka regija u koju spada ovaj izvor prema Bognaru (2001) je gorski masiv Poštaka s dolinom gornje Zrmanje (2.1.9.5.). Ovaj izvor je Natura 2000 stanište (POVS  HR2000641): Zrmanja – područje ekološke mreže koje obuhvaća cijeli tok Zrmanje od izvora do ušća.



**Slika 2.3.1.1** Izvor rijeke Zrmanje, reokreni izvor Jadranskog slijeva. Fotografija: Sanja Gottstein.

### 2.3.2 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Krčić

Glavni izvor rijeke Krčić smješten je u podnožju planine Dinare na 370 metara nadmorske visine. Premda geografski smješten vrlo blizu glavnog izvora Cetine - Glavašu, utvrđeno je da su izvori podrijetla iz dva različita vodonosnika (Bonacci i sur., 2006). Izvor rijeke Krčić nalazi se na području u kojem prevladavaju naslage vapnenca i dolomita iz doba mezozoika. Na području izvorišta Krčića prevladava kontinentalna klima (s blagim utjecajem mediteranske). Izvor je reokrenog tipa (Slika 2.3.2.1a), koji sezonski presušuje (Slika 2.3.2.1b) obično u periodu od srpnja do rujna (Bonacci i sur., 2006). Rijeka Krčić zaštićena je od 1964. godine kao jedinstven hidrografski sustav s nizom krško - hidrografskih i morfoloških fenomena (Marguš i sur., 2011). Sami izvor nije okružen drvećem te je potpuno nezasjenjen (Slika 2.3.2.1).

**a)** **b)**



**Slika 2.3.2.1** Izvor rijeke Krčić, reokreni izvor Jadranskog slijeva u **a)** sušnoj fazi i **b)** hidrološki aktivnoj fazi. Fotografija: Sanja Gottstein.

### 2.3.3 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Cetine

Glavni izvor rijeke Cetine - Glavaš nalazi se na 375 metara nadmorske visine kod sela Cetina. Izvor je limnokrenog tipa koji doseže dubinu od oko 100 metara (Slika 2.3.3.1) te ne presušuje. Klima u izvorišnom dijelu je kontinentalna s utjecajem mediteranske. U slijevnom području Glavaša nalazimo karbonatne naslage iz doba mezozoika. Rijeka Cetina je najdulja srednjodalmatinska rijeka s ukupnom duljinom toka od oko 105 km (UNEP/MAP/PAP, 2000). Okolna drvenasta vegetacija nije značajno razvijena te je izvor u potpunosti nezasjenjen. Geomorfološka regija izvora (Bognar, 2001) je: Niz zavala gornje Cetine sa zavalom Sinjskog polja (2.1.10.2). Izvor Cetine - Glavaš zaštićen je kao hidrološki spomenik prirode



**Slika 2.3.3.1** Izvor rijeke Cetine, limnokreni izvor Jadranskog slijeva. Fotografija: Sanja Gottstein.

### 2.3.4 Geografsko - hidrološka obilježja izvora rijeke Žrnovnica

Izvorište Žrnovnice čine niz malih reokrenih izvora u visinskom rasponu od 77 do 88 metara nadmorske visine. Ovaj izvor stalnog je karaktera te iznimne kakvoće vode, pa je stoga cijelo izvorišno područje rijeke Žrnovnice uvršteno u područje sanitarne zaštite vodocrpilišta. Okolna vegetacija je razvijenija u odnosu na izvore Krčića i Cetine te djelomično zasjenjuje sami izvor (Slika 2.3.4.1). Geomorfološka regija prema Bognaru (2001) unutar koje spada izvor Žrnovnice je Gorski hrbat Mosora s podgorjem i grede Kozjaka i Omiške Dinare s pobrđima (2.4.1.).



**Slika 2.3.4.1** Izvor rijeke Žrnovnice, reokreni izvor Jadranskog slijeva. Fotografija: Sanja Gottstein.

# 3 Materijali i metode

## 3.1 Terenska i laboratorijska istraživanja

Terenska istraživanja su provedena u izvorima i izvorišnim tokovima krških rijeka koje nisu pod značajnijim antropogenim utjecajem. U slijevnim područjima ovih izvora prisutan je dominantno prirodni zemljišni pokrov, s malo ili bez prisutnih poljoprivrednih ili urbanih površina koji bi mogle doprinijeti organskom i mineralnom opterećenju u izvorskim ekosustavima. Hidromorfološke alternacije nisu rađene na ovim izvorima uz izuzetak manjih brana koji su nekada služile u svrhu mlinova, ribnjaka i sl., a nisu narušile prirodne hidrološke karakteristike izvora. Istraživanje je provedeno u vremenskom razdoblju od veljače 2014. do ožujka 2016. godine, obuhvativši izvore i/ili izvorišne tokove sljedećih rijeka: Cetine, Čabranke, Kamačnika, Krčića, Kupe, Une, Zrmanje i Žrnovnice. U navedenim izvorišnim područjima uzorci su sezonski prikupljani (Tablica 3.1.1).

**Tablica 3.1.1** Pregled vremenske dinamike terenskih sezonskih istraživanja na izvorima krških rijeka koje nisu pod značajnijim antropogenim utjecajem.

| Izvor | Kratica | Proljeće (P) | Ljeto (L) | Jesen (J) | Zima (Z) |
|---|---|---|---|---|---|
| Cetina | (CE) | 23.4.2014. | 1.6.2014. | 29.9.2014. | 19.3.2016. |
| Čabranka | (ČA) | 15.6.2015. | 26.8.2015. | 26.9.2014. | 26.2.2015. |
| Kamačnik | (KA) | 13.4.2015. | 21.6.2014. | 5.10.2015. | 17.11.2015. |
| Krčić | (KR) | 23.4.2014. | 19.7.2014. | 20.10.2014. | 19.3.2014. |
| Kupa | (KU) | 12.6.2014. | 14.7.2014. | 3.12.2014. | 8.3.2014. |
| Una | (UN) | 3.4.2014. | 10.8.2014. | 25.11.2014. | 19.3.2015. |
| Zrmanja | (ZR) | 7.3.2015. | 10.8.2014. | 18.10.2014. | 29.12.2014. |
| Žrnovnica | (ŽR) | 17.5.2014. | 6.8.2014. | 19.10.2014. | 10.2.2014. |

### 3.1.1 Terenski protokol uzimanja uzoraka

Uzorci bentoskih beskralježnjaka sakupljani su kracer mrežom promjera oka 200 µm i dimenzija 25 × 25 cm (Slika 3.2.1.1). Životinje su odvajane od sedimenta dekantiranjem i prosijavanjem kroz bentos mrežu promjera oka 200 µm te konzervirani u 96 % - tnom etanolu. Uzorkovanje je provedeno prema modificiranom AQEM protokolu (AQEM Consortium, 2002) te su uzorci s različitih mikrostaništa, s obzirom na njihovu ukupnu zastupljenost u 100 metara izvorišnog toka (> 5 %), odvajani u zasebne poduzorke (Tablica 3.2.1.1). Na terenu su supstrati podijeljeni prema sedam anorganskih veličinskih frakcija (od sitnog mulja do kamenih ploča) te tri organska supstrata (fital - živi biljni dijelovi, ksilal - neživi biljni dijelovi, POM - usitnjene čestice organske tvari) (Tablica 3.2.1.2). Zbog usporedbe u statističkim analizama, ovih deset supstrata podijeljeno je na tri kategorije: fital (živi - fital i neživi – ksilal, biljni dijelovi), lital (uključuje veličinske frakcije od šljunka do kamenih ploča), mulj (frakcija mulja i pijeska s usitnjenim organskim česticama - POM). Na svakom izvoru prikupljana je mahovina i makrofitska vodena vegetacija u svrhu utvrđivanja sastava i bogatstva vrsta.



Slika 3.2.1.1 Prikupljanje uzoraka bentoskih beskralježnjaka. Fotografije: Sanja Gottstein

**Tablica 3.2.1.1** Udjeli mikrostaništa na istraživanim izvorima po sezonama.

| Izvor | Kratica | Geografska širina | Geografska dužina | Udio mahovina u fitalu (prosjek) | Udjeli pojedinih mikrostaništa (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Proljeće | Ljeto | Jesen | Zima |
| Čabranka | CA | 45° 36' 02,6" | 14° 38' 27,3" | 100 % | Mikrolital + Mezolital (40 %), Fital (60 %) | Mikrolital + Mezolital (60 %), Fital (40 %) | Mikrolital + Mezolital (55 %), Fital (45 %) | Mezolital (70 %), Fital (30 %) |
| Cetina | CE | 43° 58' 50,9" | 16° 25' 81,4" | 20 % | Akal (15 %), Makrolital (50 %), Fital (35 %) | Mikrolital + Mezolital + Makrolital (30 %), Fital (30 %), Psamal (40 %) | Akal (15 %), Mezolital (45 %), Fital (40 %) | Mikrolital + Mezolital (55 %), Fital (45 %) |
| Kamačnik | KA | 45° 20' 49,3" | 15° 03' 38" | 100 % | Ksilal + Mikrolital + Mezolital (40 %), Fital (60 %) | Makrolital + Megalital (10 %), Fital (90 %) | Mikrolital (10 %), Fital (90 %) | Mikrolital + Mezolital (10 %), Fital (90 %) |
| Krčić | KR | 44° 25' 48" | 16° 33' 61,9" | 70 % | Fital (100 %) | Mezolital (40 %), Fital (60 %) | Mezolital (20 %), Fital (80 %) | Fital (100 %) |
| Kupa | KU | 45° 29' 27,2" | 14° 41' 28,5" | 100 % | Megalital (15 %), Mezolital + Makrolital (30 %), Fital (50 %) Psamal (5 %) | Mikrolital (20 %), Mezolital (40 %), Fital (40 %) | Mikrolital + Mezolital (80 %), Fital (10 %), Psamal (10 %) | Fital (50 %), Mezolital (50 %) |
| Una | UN | 44° 24' 12,9" | 16° 06' 41,6" | 85 % | Fital (100 %) | Akal + Mikrolital (10 %), Mezolital + Makrolital (20 %), Fital (70 %) | Mikrolital + Mezolital (80 %), Fital (20 %) | Akal + Mezolital (30 %), Makrolital + Mezolital (50 %), Fital (20 %) |
| Zrmanja | ZRM | 44° 11' 79,2" | 16° 03' 38,1" | 95 % | Mikrolital + Mezolital + Mikrolital (55 %), Fital (45 %) | Mikrolital + Mezolital (50 %), Fital (50 %) | Mikrolital + Mezolital (40 %), Fital (60 %) | Akal + Mikrolital + Mezolital (40 %), Fital (60 %) |
| Žrnovnica | ZRN | 43° 31' 24,8" | 16° 34' 29,2" | 95 % | Mezolital + Megalital (60 %), Fital (40 %) | Mikrolital + Mezolital (30 %), Fital (70 %) | Mikrolital + Mezolital (40 %), Fital (60 %) | Fital (100 %) |

**Tablica 3.2.1.2** Podjela mikrostaništa prema AQEM metodologiji i podjela mikrostaništa korištena u analizama ovog rada.

| Naziv mikrostaništa | Opis | Zajednički naziv u analizama |
|---|---|---|
| Megalital | Kamene ploče > 40 cm | Lital |
| Makrolital | Blokovi 20 – 40 cm | |
| Mezolital | Veće valutice 6 – 20 cm | |
| Mikrolital | Valutice 2 – 6 cm | |
| Akal | Šljunak 0,2 – 2 cm | |
| Psamal | Pijesak 6 µm – 0,2 cm | Mulj |
| Argilal | Mulj, glina, anorganski < 6 µm | |
| POM | Čestice organske tvari | |
| Ksilal | Neživi biljni dijelovi | Fital |
| Fital | Živi biljni dijelovi | |

### 3.1.2 Laboratorijska analiza bentoskih beskralježnjaka

U laboratoriju su životinje razvrstavane po skupinama te konzervirana u 80 % - tnom etanolu. Vodengrinje su izdvojene te konzervirane u Koenike - ovoj otopini (50 % glicerol, 40 % voda, 10 % octena kiselina) radi daljnjeg određivanja do najnižih mogućih sistematskih kategorija. Odrasle jedinke određene su pomoću binokularne lupe (Zeiss Stemmi 2000-C) i svjetlosnog mikroskopa (Zeiss Primo star) do vrste ili roda, subadultne jedinke (nimfe) do razine roda ili porodice, a ličinke nisu taksonomski određivane. Taksonomsko određivanje vodengrinja i kategorizacija prema stanišnoj sklonosti (krenobiont, stigofil i sl.) provedeno je uz pomoć specijalističkih ključeva (Davids i sur. 2007, Di Sabatino i sur. 2010, Gerecke i sur. 2016, Tuzovskij 1990). Svi uzorci pohranjeni su na Zoologijskom zavodu Prirodoslovno - matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

### 3.1.3 Analiza fizikalno - kemijskih parametara vode

Na terenu su pri uzorkovanju bentoskih beskralježnjaka mjereni i standardni fizikalno - kemijski parametri vode za krške izvore, pri čemu su sljedeći parametri mjereni primjenom digitalnog WTW multi - instrumenta 3430 F:

- pH vrijednost vode (digitalnom pH elektrodom SenTix 940),
- koncentracija otopljenog kisika u vodi (mg/L), zasićenje vode kisikom (%) te temperatura vode (°C) (optičkom sondom FDO 925),
- električna provodnost vode (μS $cm^{-1}$) (digitalnom sondom TetraCon 925).

Osim toga mjereni su i analizirani:

- količina vezanog $CO_2$ u vodi (alkalinitet) titracijom s 0,1 M kloridnom kiselinom uz metil - orange kao indikator, a izražena i preračunata je u mg $CaCO_3$ $L^{-1}$,
- KPK (mg $O_2$ $L^{-1}$)
- brzina strujanja vode (pomoću higrometrijskog krila SonTek FlowTracker)

Uz mjerenja standardnih fizikalno - kemijskih parametara, dodatni podaci o protoku ($m^3/s$) preuzeti su od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ), Sektora za hidrologiju. Podaci o protoku izračunati su za svaku sezonu po pojedinom izvoru kao srednja vrijednost svih zabilježenih dnevnih protoka u sezoni u kojoj je na istraživanim izvorima provedeno uzorkovanje. Podaci o protoku na izvoru rijeke Krčić su preuzeti iz Kolda i sur. (2018), a temeljeni su na hidrološkoj projekciji iz podataka o protoku okolnih vodotoka i dostupnih povijesnih podataka publiciranih znanstvenih radova o hidrologiji rijeke Krčić (Bonacci 1983, 1985, Bonacci i Ljubenkov 2005, Bonnaci i sur. 2006, Jukić 2006).

## 3.2 Analiza i obrada podataka

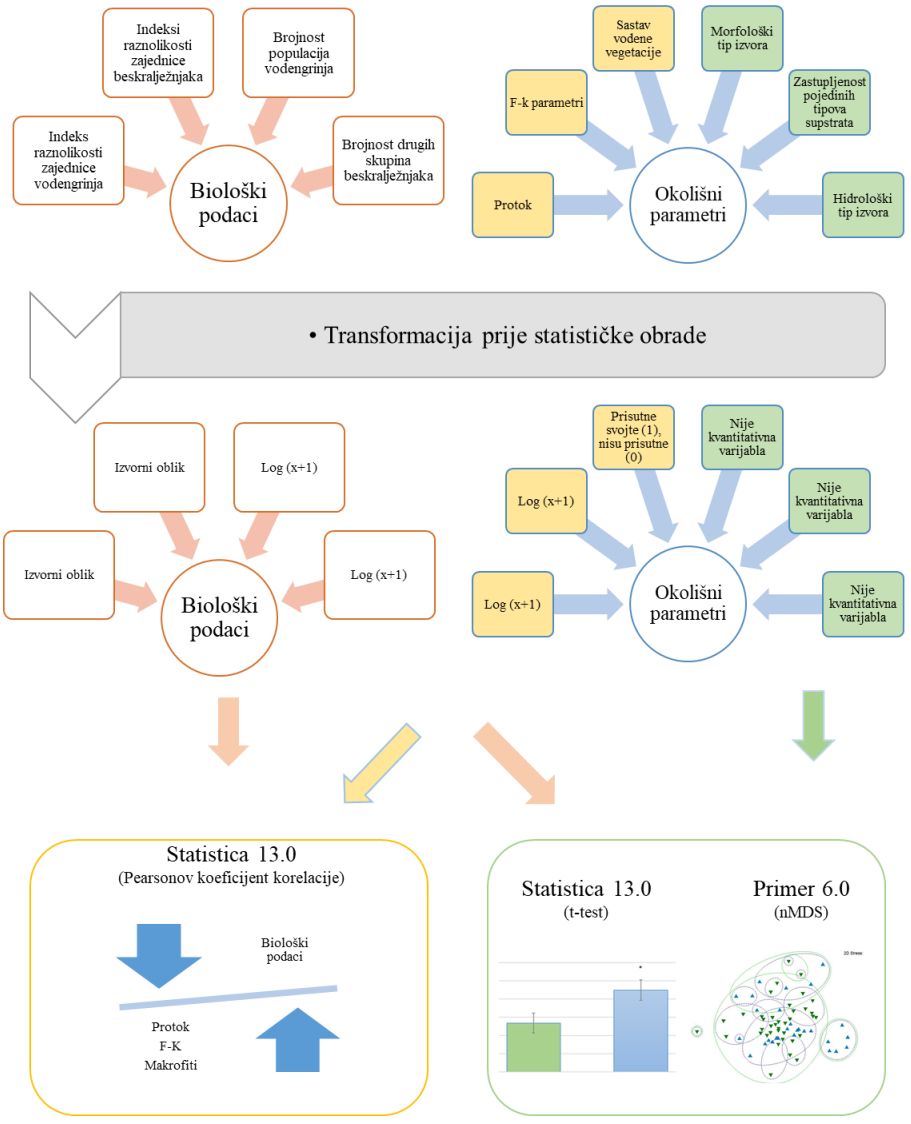
### 3.2.1 Analiza podataka s obzirom na ciljeve rada

1. U svrhu ostvarenja prvog cilja, testirana je gustoća populacija te indeksi raznolikosti i ujednačenosti zajednica vodengrinja i ostalih bentoskih beskralježnjaka za statistički značajne vrijednosti korelacija sa: protokom, osnovnim fizikalno - kemijskim čimbenicima vode, supstratom te vodenom vegetacijom. U ovu svrhu korišten je Pearsonov koeficijent korelacije. Prije statističke obrade, podaci o brojnosti te fizikalno kemijski podaci su logaritamski transformirani: log (x + 1), dok su vrijednosti indeksa raznolikosti ostali u izvornom obliku. Vrijednost koncentracije kisika, premda iskazane u postocima, također su logaritamski transformirane. Uobičajena transformacija za postotne udjele putem arkus sinus funkcije njihove kvadrirane vrijednosti (arcsin ($x^2$), odnosno $\sin^{-1}(x^2)$) u ovom slučaju nije bila moguća jer neke vrijednosti kisika premašuju 100 %. Stoga su ove vrijednosti tretirane kao cijeli brojevi (kako se gradijent koncentracije kisika ne bi narušavao) te su logaritamski transformirani prije statističke obrade. Fizikalno kemijski podaci su logaritamski transformirani prije analize u svrhu aproksimacije normalne raspodjele varijable na linearnom modelu, koja je pretpostavka prije provođenja pojedinih statističkih testova (poput t - testa). Sastav vodene vegetacije je iskazan kvalitativno te izražen s 1 za prisutne i 0 za odsutne svojte. Navedene analize provedene su u programu Statistica 13.0 (TIBCO Software Inc., 2017).

   Radi određivanja odnosa sastava zajednice vodengrinja i bentoskih beskralježnjaka tijekom istraživanog razdoblja provedena je klaster analiza i ordinacijska metoda nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) svih uzoraka. Matrica sadrži vrijednosti Bray - Curtisovog indeksa sličnosti (Bray i Curtis 1957) izračunatog iz logaritamski transformirane gustoće jedinki pojedinih svojti svih uzoraka. Ista analiza provedena je za sličnost između zajednica vodengrinja i bentoskih beskralježnjaka s obzirom na gustoću jedinki (po metru kvadratnom) na pojedinim mikrostaništima, morfološkom tipu izvora, hidrološkom tipu izvora te sezonama (Slika 3.2.1.1). Ove analize provedene su u programu Primer 6.0 (Primer - E Ltd 2006; Clarke i Gorley, 2006).

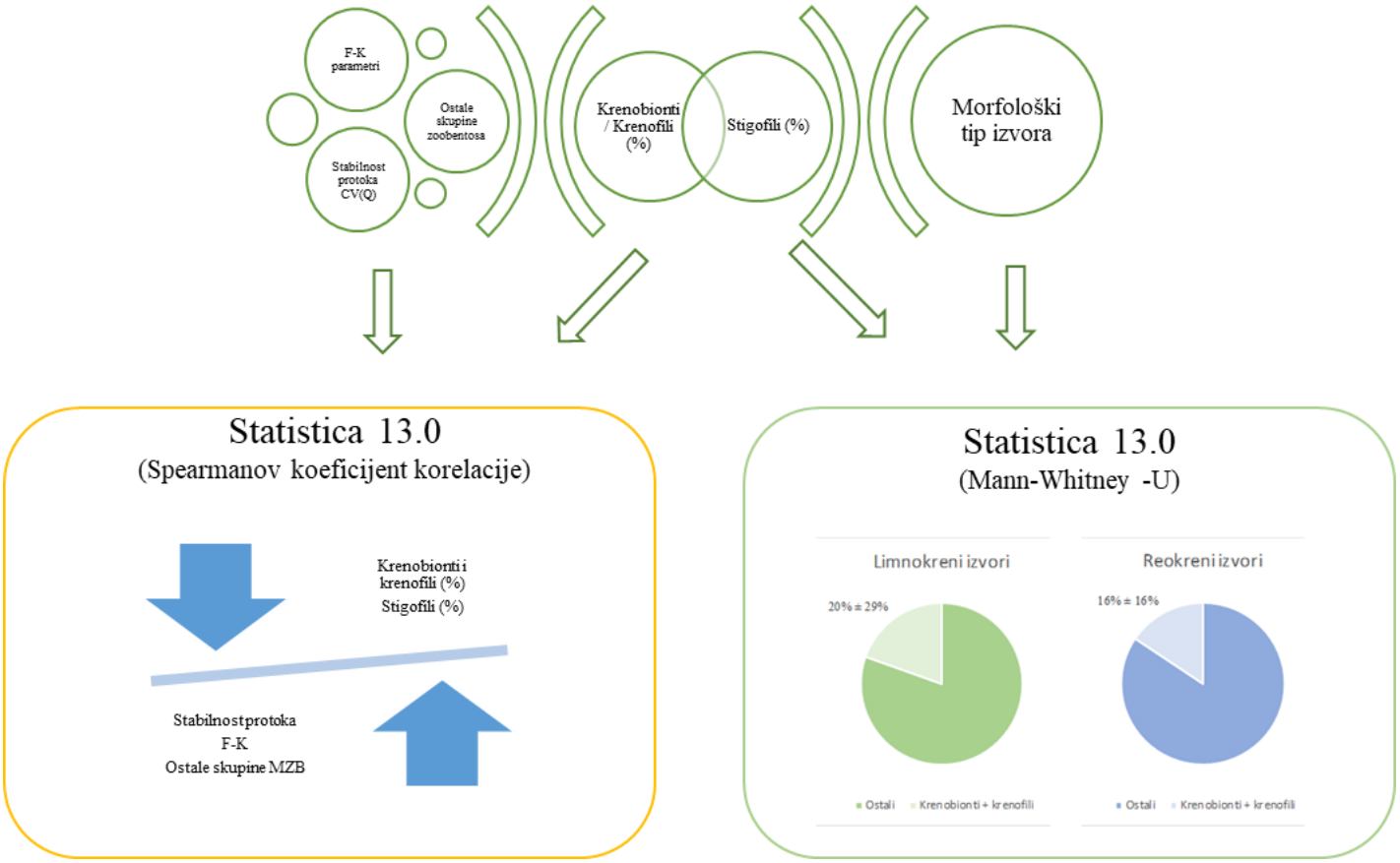
   Kada je riječ o nenumeričkim varijablama (morfološki i hidrološki tip izvora, tip supstrata, sezona), njihovu povezanost s brojnošću vodengrinja i indeksima raznolikosti zajednica ne

možemo utvrditi korelacijskim testovima. Testiranje značajnosti razlika između gustoće populacija vodengrinja, indeksa raznolikosti i ujednačenosti cijele zajednice između istraživanih tipova izvora i tipova supstrata provedeno je pomoću *t* testa. Ovaj test je korišten nakon što su vrijednosti navedenih indeksa i gustoća populacija ukazale na normalnu raspodjelu Shapiro - Wilksovim testom. Ova testiranja provedena su u programu Statistica 13.0 (TIBCO 2017).




**Slika 3.2.1.1** Shematski prikaz obrade podataka u svrhu ostvarenja cilja 1.

2. Utvrđenim svojtama vodengrinja pridružene su ekološke kategorije adaptacije na pojedine tipove staništa (**stigofilne svojte** – djelomično adaptirane na podzemne vode, **krenobiontne svojte** – visoko adaptirane na život u izvorima i **krenofilne svojte** – djelomično adaptirane na život u izvorima). Udio ovih svojti u ukupnoj brojnosti vodengrinja izračunat je samo za uzorke u kojima su nađene vodengrinje te je testiran za statistički signifikantne vrijednosti korelacija (Spermanov koeficijent) s obzirom na: sastav zoobentosa, fizikalno – kemijske parametre te stabilnost protoka (Slika 3.2.1.2). Stabilnost protoka određen je koeficijentom varijacije između vrijednosti protoka po sezonama pojedinih izvora. Razlike u udjelima stigofilnih te krenobiontnih i krenofilnih svojti s obzirom na morfološki tip izvora testirane su Mann Whitney U testom u programu Statistica 13.0 (TIBCO 2017).




**Slika 3.2.1.2** Shematski prikaz obrade podataka u svrhu ostvarenja cilja 2.

3. Determinirane svojte krenofila i krenobionata unutar skupine vodengrinja testirane su s obzirom na sezonske temperaturne oscilacije. Linearni regresijski modeli s temperaturom kao zavisnom i svojtama krenobifilnih te krenobiontnih vodengrinja kao nezavisnom varijablom izrađeni su u programu Statistica 13.0 (TIBCO 2017).

4. Testiranje korelacija između brojnosti pojedinih svojti vodengrinja i ostalih skupina zoobentosa napravljeno je Pearsonovim koeficijentom korelacije kako bi utvrdili utjecaj zajednice zoobentosa na gustoću populacija i zastupljenost pojedinih svojti vodengrinja. Vrijednosti svih brojnosti jedinki prije analiza logaritamski su transformirane, a analiza je provedena u programu Statistica 13.0 (TIBCO 2017).

5. Kanonička analiza podudarnosti (CCA) korištena je za usporedbu podataka o sastavu i gustoći zajednica vodengrinja te protoka i ostalih fizikalno - kemijskih parametra vode za koje u prethodnim analizama utvrđena statistički značajna povezanost s pojedinim svojtama vodengrinja. Monte Carlo permutacijski test (999 permutacija) korišten je za određivanje značajnih odnosa između vrsta vodengrinja i okolišnih uvjeta, kao i varijabli okoliša koje najbolje objašnjavaju promjene u zajednici vodengrinja. Ordinacija i gradijent analiza provedene su pomoću programa CANOCO (Ter Braak i Šmilauer, 2012). Radi određivanja odnosa sastava zajednice vodengrinja i bentoskih beskralježnjaka s obzirom na različite lokalitete (izvore) provedena je klaster analiza i ordinacijska metoda nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) svih uzoraka. Matrica sadrži vrijednosti Bray - Curtis indeksa sličnosti (Bray i Curtis 1957) izračunatog iz logaritamski transformirane brojnosti a) svih skupina zoobentosa i b) svojti vodengrinja svih uzoraka. Dodatna nMDS ordinacijska metoda provedena je na temelju Jaccardovog indeksa sličnosti zajednice vodengrinja u programu PAST version 3.16 software (Hammer i sur., 2001).

Za sve testove, statistička značajnost je određena pri graničnoj vrijednosti od $p \leq 0,05$. Tabelarni i grafički prikazi su izrađeni u programu Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, 2016). Sve postaje su geokodirane korištenjem GPS uređaja (Garmin Oregon 600) određivanjem koordinata u koordinatnom sustavu HTRS 96/TM, a grafički prikaz istraživanih lokaliteta prikazan je pomoću programa QGIS 2.18.14 (QGIS Development Team 2017).

### 3.2.2 Akumulacijska i rarefakcijska krivulja

Utvrđena bogatstva vrsta vodengrinja na pojedinim izvorima testirano je akumulacijskim, odnosno rarefakcijskim krivuljama u svrhu definiranja razine istraženosti i vjerodostojnosti podataka. Budući da su istraživani izvori otvoreni ekosustavi, u kojima su gustoća populacija i bogatstvo vrsta varijable koje se mijenjaju s obzirom na okolišne čimbenike, potrebno je testirati vjerodostojnost dobivenih podataka s obzirom na metodologiju i učestalost uzorkovanja. Odnosno, potrebno je ustanoviti je li broj ponovljenih uzorkovanja odrađenom metodom dovoljan za adekvatnu ocjenu bogatstva vrsta istraživanog lokaliteta. Najbrojnije vrste uglavnom je moguće detektirati u nekoliko početnih uzorkovanja, dok je vjerojatnost za uzorkovanje rijetkih svojti veća povećanjem broja uzoraka. Akumulacijska krivulja upravo je grafički prikaz ove pojave koji opisuje povećanje kumulativnog broja svojti s obzirom na broj uzorkovanja. Rarefakcijska krivulja predstavlja skup srednjih vrijednosti kumulativnog broja svojti nakon uzastopnih dodavanja novih uzoraka koja se izračunava ponovnim slučajnim izvlačenjem uzoraka iz ukupnog skupa od N uzoraka. Drugim riječima, akumulacijska krivulja je jedna moguća varijanta (permutacija) rarefakcijeke krivulje. Tri su osnovna dijela ovih krivulja: ubrzani rast broja svojti na početku, usporeni rast nakon određenog boja uzorkovanja te asimptota - konačan broj svojti na nekom području koje je moguće utvrditi određenom metodologijom. Rarefakcija je statistička metoda kojom se procjenjuje očekivani broj vrsta ($ES_n$) u slučajnom uzorku od n jedinki (n < N) uzetom iz uzorka od N jedinki i S vrsta.

$$ES_n = \sum \frac{1 - (N - Ni)!\,(N - n)!}{(N - Ni - n)!\,N!}$$

Rarefakcijska krivulja izračunata je permutacijom 999 puta iz polaznog skupa uzoraka svih izvora pomoću programa Primer 6.0 (Primer - E Ltd 2006; Clarke i Gorley, 2006).

### 3.2.3 Indeksi raznolikosti i ujednačenosti

Na svim istraživanim izvorima izračunati su Margalefov (*d*, Margalef 1958), Brillouinov (*HB*), Fisherov (*α*, Fisher i sur., 1943), Shannonov (*H'*; Shannon 1948) i Simpsonov (*1 - D*; Simpson 1949) indeks raznolikosti te Pielouov (*J'*, Pielou 1966) indeks ujednačenosti za zajednicu vodengrinja (na razini rodova i vrsta), kao i za cijelu zajednicu bentoskih beskralježnjaka (na razini viših sistematskih kategorija). Izračunato je također i bogatstvo vrsta vodengrinja (*S*) (Tablica 3.2.3.1).

Indeksi raznolikosti određuju raznolikost kao vjerojatnost da će dvije jedinke nasumično odabrane iz zajednice biti različite svojte. Koriste abundanciju (gustoću ili brojnost) i broj svojti kao glavne varijable te svaki daje jedinstven uvid u kvantifikaciju raznolikosti zajednice. Indeks ujednačenosti produkt je opservirane i maksimalne vrijednosti raznolikosti.

**Tablica 3.2.3.1** Indeksi raznolikosti i ujednačenosti korišteni u ovom radu, matematička formula te pojašnjenja varijabli.

| Indeks | Formula | Opis |
|---|---|---|
| Margalef (*d*) | $D = \frac{(S-1)}{\ln N}$ | *S* je ukupan broj svojti, *N* je ukupan broj jedinki |
| Brillouin (*HB*) | $HB = \frac{\ln N! - \sum_{i-1}^{s} \ln ni!}{N}$ | *N* ukupan broj jedinki, a n broj jedinki *i*-te vrste |
| Fisher (*α*) | $\alpha x; \alpha x^2/2; \alpha x^3/3 \ldots \alpha x^n/n \ldots$ | $x^n$ je vrsta n. Pretpostavlja se logaritamska raspodjela broja jedinki po vrstama. α je faktor kojim se množe pojedini segmenti raspodjele |
| Shannon (*H'*) | $H = lnN - \frac{1}{N}\sum_{i-1}^{S}(pilnpi)ni$ | *pi* je udio pojedine vrste u ukupnoj brojnosti. *ni* je broj vrsta *S* i jedinki. *N* je ukupna brojnost jedinki |
| Simpson (*1-D*) | $1 - D = 1 - \sum_{i-1}^{s} pi^2$ | *pi* je udio pojedine vrste u ukupnoj brojnosti |
| Pielou (*J'*) | $J' = \frac{\mathrm{H}'}{\mathrm{H}'\mathrm{max}}$ | *H'* - Shannon indeks raznolikosti |

### 3.2.4 Indeksi sličnosti

Za usporedbu svih uzoraka izračunat je Bray – Curtisov kvantitativni indeks sličnosti na podacima za zajednicu vodengrinja na razini vrsta, kao i za cijelu zajednicu bentoskih beskralježnjaka na razini viših sistematskih kategorija (porodicama, red i sl.). Samo za zajednicu vodengrinja izračunat je Jaccardov binarni indeks sličnosti između uzoraka (Tablica 3.2.4.1). Zajednice vodengrinja zbog velikih ekstrema u abundancijama često se uspoređuju ovim indeksom koji se bazira samo na prisustvu ili odsustvu pojedinih svojti (Zawal i sur., 2018).

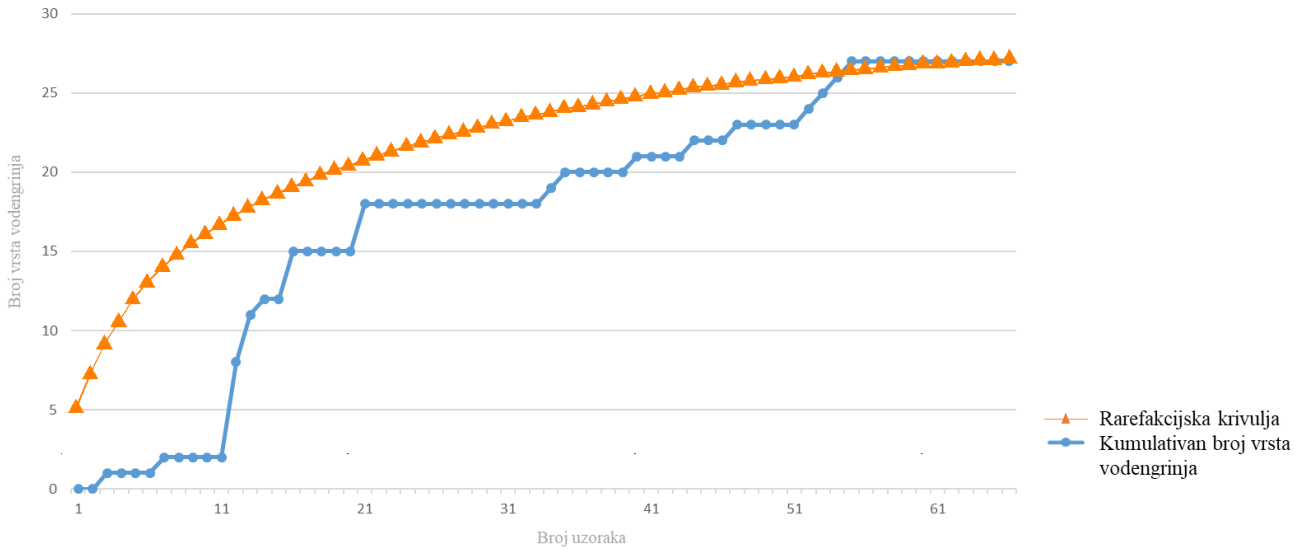
**Tablica 3.2.4.1** Indeksi sličnosti korišteni u ovom radu, matematička formula te pojašnjenja varijabli.

| Indeks | Formula | Opis |
|---|---|---|
| Jaccardov | $S = 100\ (\frac{a}{a+b+c})$ | *a* je broj zajedničkih vrsta, *b* i *c* su brojevi vrsta zajednice 1 i 2 koje nisu zajedničke |
| Bray – Curtisov | $S_{jk} = 100\ \left\{1 - \frac{\sum_{i=1}^{p}\lvert y_{ij} - y_{ik}\rvert}{\sum_{i=1}^{p}(y_{ij} + y_{ik})}\right\}$ | $y_{ij}$ - $y_{ik}$ je razlika u brojnosti vrste *i* između zajednica *j* i *k* |

# 4 Rezultati

## 4.1 Analiza uspješnosti uzorkovanja i prikupljenih podataka o sastavu zajednica vodengrinja na pojedinim izvorima

Kao mjera uspješnosti uzorkovanja i dostatnosti podataka o zajednicama vodengrinja u ovom istraživanju izrađena je rarefakcijska krivulja temeljena na kumulativnom broju vrsta detektiranih po pojedinom uzorkovanju. Rarefakcijska krivulja (Slika 4.1.1) je nakon nekoliko zadnjih uzorkovanja (nakon cca 50 - tog uzorkovanja) gotovo paralelna s osi apscise te je blizu hipotetske asimptote konačnog broja vrsta vodengrinja. U prvih 10 - ak uzorkovanja primjećujemo kako je rast bogatstva vrsta vodengrinja eksponencijalnog karaktera, dok između 10 - tog i 50 - tog uzorkovanja ovaj trend je više linearnog karaktera.




Slika 4.1.1 Akumulacijska i rarefakcijska krivulja (po uzorcima) kumulativnog broja vrsta vodengrinja u istraživanim izvorima.

## 4.2 Sastav i gustoća populacija vodenih beskralježnjaka i vodengrinja u ovisnosti o uvjetima okoliša

### 4.2.1 Protok

Većina izvora ima najveće protoke u zimskom razdoblju (Čabranka, Kupa, Una i Zrmanja; Tablica 4.2.1.1). Ostatak izvora vrhunac protoka ima u jesen (Cetina, Kamačnik i Krčić) ili proljeće (Žrnovnica). U istraživanom razdoblju najveći broj izvora najmanje protoke ima u ljetnoj sezoni (Cetina, Krčić, Kupa, Una, Zrmanja, Žrnovnica), dok jedan izvor (Čabranka) najmanje protoke ima u proljeće, a jedan zimi (Kamačnik).

**Tablica 4.2.1.1** Srednje sezonske vrijednosti dnevnih mjerenja protoka po pojedinim izvorima iskazane u $m^3/s$. Vrijednosti za izvor Krčić preuzete su iz rada Kolda i sur., 2018).

| Izvor / Sezona | Čabranka | Cetina | Kamačnik | Krčić | Kupa | Una | Zrmanja | Žrnovnica |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jesen | 2,52 | 16,60 | 7,18 | 13,00 | 17,17 | 9,54 | 4,47 | 1,28 |
| Ljeto | 1,42 | 6,02 | 1,41 | 2,00 | 4,39 | 4,43 | 2,60 | 1,13 |
| Proljeće | 1,27 | 10,10 | 6,94 | 4,00 | 7,17 | 7,73 | 4,78 | 3,13 |
| Zima | 5,27 | 16,28 | 1,29 | 9,00 | 20,40 | 13,11 | 7,31 | 3,07 |

### 4.2.2 Utjecaj protoka na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake

Od 27 utvrđenih svojti vodengrinja u ovom radu, njih četiri statistički je značajno koreliralo s vrijednostima protoka. Gustoća populacije vrste *Hydrodroma reinhardii* jedina je pozitivno korelirala s većim vrijednostima protoka (***r* = 0,244; *p* < 0,05**), dok su gustoće populacija triju drugih vrsta vodengrinja, *Partnunia angusta* (***r* = -0,301; *p* < 0,05**), *Protzia squamosa* (***r* = -0,306; *p* < 0,05**) i *Sperchon hibernicus* (***r* = -0,276; *p* < 0,05**), u negativnoj korelaciji s većim vrijednostima protoka. Ukupna brojnost vodengrinja po kvadratnom metru nije statistički značajno korelirala s vrijednostima protoka ($r$ = -0,042; $p$ > 0,05), kao ni ukupan broj svojti vodengrinja ($r$ = -0,197; $p$ > 0,05).

Od ostalih pripadnika zajednice bentoskih beskralježnjaka tri su skupine statistički značajno korelirale s povećanim vrijednostima protoka. To su skupine: Oribatida (***r* = -0,361; *p* < 0,01**), Copepoda (***r* = 0,251; *p* < 0,05**) i Isopoda (***r* = -0,266; *p* < 0,05**). Protok nije statistički značajno korelirao niti s jednim indeksom raznolikosti ili sličnosti kao ni s ukupnom brojnošću svih bentoskih beskralježnjaka.

### 4.2.3 Fizikalno - kemijski parametri vode

Najniža temperatura vode izmjerena je zimi na izvoru Kamačnik (7,2°C), dok je najviša temperatura vode zabilježena ljeti na izvoru Žrnovnice (12,6°C; Tablica 4.2.3.1). Minimalne i maksimalne vrijednosti koncentracije i zasićenja vode kisikom su u suglasju te je najniža vrijednost obaju parametara zabilježena zimi na izvoru Krčić (koncentracija $O_2$ = 9,90 mg/L; zasićenje $O_2$ = 94,30 %), dok su najviše vrijednosti ovih parametara zabilježene u proljeće na izvoru Cetine (koncentracija $O_2$ = 14,16 mg/L; zasićenje $O_2$ = 128,13 %). Najniže pH vrijednosti vode zabilježene su u proljeće na izvoru Krčić (pH = 7,40), dok je najviša vrijednost izmjerena tijekom ljeta na izvoru Kupe (pH = 8,40). Električna provodnost je zabilježen s najnižim vrijednostima ($\sigma$ = 236,00 μS/cm) u proljeće na izvoru Kupe, dok je najviša vrijednost zabilježena zimi na izvoru Une ($\sigma$ = 440,00 μS/cm). Najniža i najviša vrijednost otopljenog kalcijevog karbonata u vodi je u suglasju s najnižim i najvišim vrijednostima električne provodnosti, pa su tako najniže vrijednosti otopljenog kalcijevog karbonata u vodi zabilježene u proljeće na izvoru Kupe ($CaCO_3$ = 124,17 mg/L), dok je najviša vrijednost zabilježena tijekom zime na izvoru Une ($CaCO_3$ = 247,50 mg/L). Najniže vrijednosti kemijske potrošnje kisika (KPK = 0,24 $mgO_2$/L) izmjerene su zimi na izvoru Cetine, dok su najviše vrijednosti izmjerene u jesen na izvoru Kamačnik. Najniža srednja brzina strujanja vode izmjerena je u jesen na izvoru Cetine (v = 0,25 m/s), dok je najviša vrijednost zabilježena tijekom zime na izvoru Une (v = 1,09 m/s) te je u suglasju s maksimalnim vrijednostima električne provodnosti i koncentracije otopljenog kalcijevog karbonata u vodi.

Temperatura vode statistički je značajno pozitivno korelirala s vrijednostima električne provodnosti (***r* = 0,416; *p* < 0,05**). Koncentracija i zasićenje kisikom su u snažnoj (***r* = 0,931**) i statistički značajnoj (***p* < 0,001**) pozitivnoj korelaciji. Obje ove varijable su statistički značajno negativno korelirale s vrijednostima KPK ($r_{(KPK\ i\ konc)}$ **= -0,383; *p* < 0,05** i $r_{(KPK\ i\ \%)}$**= -0,394; *p* < 0,05**) i brzine strujanja vode ($r_{(v\ i\ konc)}$ **= -0,394; *p* < 0,05** i $r_{(v\ i\ \%)}$**= -0,443; *p* < 0,05**). Vrijednosti pH statistički su značajno negativno korelirale s električnom provodnosti (***r* = -0,362; *p* < 0,05**), dok je električna provodnost u snažnoj statistički značajnoj pozitivnoj korelaciji s vrijednostima otopljenog $CaCO_3$ u vodi (***r* = 0,956; *p* < 0,001**). KPK u statistički je značajno pozitivno koreliralo s vrijednostima brzine strujanja vode (***r* = 0,412; *p* < 0,05**). Vrijednosti protoka statistički su značajno negativno korelirale s vrijednostima temperature vode (***r* = -0,393; *p* < 0,05**) i električne

provodnosti (***r* = -0,398; *p* < 0,05**), a pozitivno s vrijednostima brzine strujanja vode (***r* = 0,408; *p* < 0,05**).

**Tablica 4.2.3.1** Sezonske vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode na istraživanim izvorima (T = temperatura vode, konc. $O_2$ = koncentracija otopljenog kisika, zasić. $O_2$ = zasićenje kisikom, σ = električna provodnost (električna vodljivost), $CaCO_3$ = koncentracija otopljenog kalcijevog karbonata u vodi, KPK = kemijska potrošnja kisika, v = srednja vrijednost brzine strujanja vode).

| Izvor | Sezona | T (°C) | Konc. $O_2$ (mg/L) | Zasić. $O_2$ (%) | pH | σ (µS/cm) | $CaCO_3$ (mg/L) | KPK($mgO_2$/L) | v (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Čabranka | Jesen | 8,75 | 11,39 | 105,73 | 8,05 | 436,00 | 232,50 | 2,01 | 0,71 |
| | Ljeto | 8,80 | 11,12 | 101,60 | 8,03 | 420,33 | 206,67 | 0,68 | 0,37 |
| | Proljeće | 8,67 | 13,08 | 119,50 | 8,05 | 409,67 | 205,83 | 0,93 | 0,43 |
| | Zima | 8,38 | 11,09 | 101,50 | 8,05 | 378,75 | 192,50 | 1,81 | 0,72 |
| Cetina | Jesen | 8,40 | 12,25 | 104,80 | 7,67 | 331,00 | 160,00 | 1,18 | 0,25 |
| | Ljeto | 9,10 | 13,02 | 114,83 | 7,67 | 294,00 | 145,00 | 1,10 | 0,29 |
| | Proljeće | 8,90 | 14,16 | 128,13 | 7,63 | 310,00 | 165,00 | 0,83 | 0,32 |
| | Zima | 8,90 | 12,81 | 111,38 | 7,43 | 338,00 | 175,00 | 0,24 | 0,74 |
| Kamačnik | Jesen | 7,40 | 11,74 | 102,10 | 7,99 | 336,00 | 180,00 | 2,36 | 0,61 |
| | Ljeto | 9,23 | 12,57 | 114,70 | 8,32 | 303,25 | 166,25 | 0,58 | 0,36 |
| | Proljeće | 9,30 | 12,30 | 111,13 | 8,33 | 296,00 | 138,75 | 0,63 | 0,73 |
| | Zima | 7,20 | 11,95 | 103,70 | 7,73 | 322,00 | 162,50 | 1,02 | 0,34 |
| Krčić | Jesen | 9,10 | 10,29 | 97,25 | 7,42 | 395,00 | 200,00 | 1,49 | 0,74 |
| | Ljeto | 9,70 | 10,63 | 101,43 | 7,58 | 395,00 | 202,50 | 0,94 | 0,31 |
| | Proljeće | 9,00 | 10,03 | 95,68 | 7,40 | 323,00 | 165,00 | 1,34 | 0,69 |
| | Zima | 8,90 | 9,90 | 94,30 | 7,47 | 406,00 | 195,00 | 1,49 | 0,82 |
| Kupa | Jesen | 7,73 | 10,73 | 96,10 | 8,16 | 283,25 | 153,13 | 1,79 | 0,67 |
| | Ljeto | 9,40 | 11,50 | 103,00 | 8,40 | 266,75 | 135,63 | 0,85 | 0,49 |
| | Proljeće | 8,40 | 10,78 | 97,90 | 8,35 | 236,00 | 124,17 | 0,89 | 0,58 |
| | Zima | 7,57 | 11,49 | 103,80 | 8,10 | 256,33 | 125,83 | 1,55 | 0,89 |
| Una | Jesen | 9,50 | 11,80 | 104,20 | 7,74 | 414,00 | 227,50 | 1,57 | 0,58 |
| | Ljeto | 11,80 | 11,72 | 102,70 | 8,15 | 420,00 | 215,00 | 1,18 | 0,78 |
| | Proljeće | 10,20 | 11,33 | 104,10 | 8,17 | 394,00 | 205,00 | 0,71 | 0,71 |
| | Zima | 9,30 | 11,35 | 101,10 | 7,89 | 440,00 | 247,50 | 1,41 | 1,09 |
| Zrmanja | Jesen | 8,90 | 10,50 | 95,30 | 7,67 | 359,00 | 195,00 | 1,34 | 0,65 |
| | Ljeto | 9,80 | 11,84 | 108,70 | 8,14 | 347,00 | 170,00 | 1,10 | 0,48 |
| | Proljeće | 9,50 | 10,85 | 98,90 | 7,95 | 319,00 | 175,00 | 1,81 | 1,07 |
| | Zima | 8,40 | 12,08 | 107,50 | 7,92 | 363,00 | 185,00 | 1,81 | 0,92 |
| Žrnovnica | Jesen | 12,52 | 11,26 | 102,30 | 7,55 | 413,80 | 190,00 | 1,20 | 0,51 |
| | Ljeto | 12,60 | 11,63 | 106,80 | 7,65 | 393,00 | 185,83 | 1,26 | 0,37 |
| | Proljeće | 12,56 | 11,14 | 107,90 | 7,61 | 369,57 | 185,00 | 0,79 | 0,42 |
| | Zima | 12,50 | 11,37 | 103,40 | 7,66 | 373,33 | 189,17 | 1,09 | 0,53 |

### 4.2.4 Utjecaj fizikalno - kemijskih parametara na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake

Tri vrste vodengrinja statistički su značajno korelirale s temperaturom vode: brojnost vrsta *Atractides pennatus* (***r* = 0,329; *p* < 0,01**) i *Partnunia angusta* (***r* = 0,303; *p* < 0,05**) su pozitivno, a gustoća populacije vrste *Sperchon thienemanni* (***r* = -0,287; *p* < 0,05**) negativno, korelirale s višim vrijednostima temperature vode. Gustoća populacije pet svojti vodengrinja statistički su značajno korelirale s koncentracijom otopljenog kisika u vodi. Gustoća populacije svojti *Atractides* sp. (***r* = 0,268; *p* < 0,05**), *Lebertia* sp. (***r* = 0,307; *p* < 0,05**), *Sperchon* sp.(***r* = 0,443; *p* < 0,001**), *Torrenticola eliptica* (***r* = 0,365; *p* < 0,01**) pozitivo su korelirale, dok je gustoća populacije vrste *P. angusta* (***r* = -0,266; *p* < 0,05**) negativno korelirala s vrijednostima otopljenog kisika. Gustoća populacije samo triju svojti su statistički značajno korelirale sa zasićenjem kisika u vodi: *Lebertia* sp. (***r* = 0,329; *p* < 0,01**), *Sperchon* sp. (***r* = 0,435; *p* < 0,001**) i *Torrenticola eliptica* (***r* = 0,297; *p* < 0,05**). Gustoća populacije niti jedne svojte vodengrinja nije statistički značajno korelirala s vrijednostima pH, ali su ukupna brojnost po metru kvadratnom (***r* = 0,328; *p* < 0,01**) te bogatstvo svojti vodengrinja (***r* = 0,381; *p* < 0,01**) pozitivno korelirale s vrijednostima ovog parametra. Gustoće populacija *Protzia rugosa* (***r* = -0,274; *p* < 0,05**) i *T. eliptica* (***r* = -0,521; *p* < 0,001**) i *Sperchon* sp. (***r* = -0,455; *p* < 0,001**) statistički su značajno negativno korelirale, dok je gustoća populacije vrste *Protzia squamosa* (***r* = 0,325; *p* < 0,01**) statistički značajno pozitivno korelirala s vrijednostima električne provodnosti. Vrijednosti koncentracije otopljenog kalcijevog karbonata u vodi statistički je značajno korelirala s gustoćama populacije sljedećih svojti: *Protzia eximia* (***r* = 0,298; *p* < 0,05**), *P. squamosa* (***r* = 0,296; *p* < 0,05**), *Sperchon* sp. (***r* = -0,425; *p* < 0,001**) i *T. eliptica* (***r* = -0,508; *p* < 0,001**). Gustoća populacije samo jedne vrste vodengrinja statistički je značajno negativno korelirala s vrijednostima kemijske potrošnje kisika: *Partnunia steinmanni* (***r* = -0,285; *p* < 0,05**). Gustoća populacije niti jedne svojte vodengrinja nije statistički značajno korelirala s vrijednostima brzine strujanja vode. Ukupna brojnost vodengrinja po metru kvadratnom statistički je značajno korelirala s koncentracijom (***r* = 0,3701; *p* < 0,01**) i zasićenjem (***r* = 0,408; *p* < 0,001**) otopljenog kisika u vodi. Statistički značajne vrijednosti indeksa korelacije i njihove razine značajnosti za ostale skupine bentoskih beskralježnjaka i fizikalno kemijske parametre vode prikazane su u Tablici 4.2.4.1.

**Tablica 4.2.4.1** Vrijednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije ***(r)*** i razine značajnosti ***(p)*** između različitih skupina bentoskih beskralježnjaka i fizikalno - kemijskih parametara vode. (T = temperatura, konc. $O_2$ = koncentracija otopljenog kisika, zasić. $O_2$ = zasićenje vode kisikom, σ = električna provodnost, $CaCO_3$ = koncentracija otopljenog kalcijevog karbonata, KPK = kemijska potrošnja kisika, v = srednja vrijednost brzine strujanja. Prikazane su samo statistički značajne korelacije.

| **Skupina** | | **T (°C)** | **Konc. $O_2$ (mg/L)** | **Zasić. $O_2$ (%)** | **pH** | **σ (µS/cm)** | **$CaCO_3$ (mg/L)** | **KPK($mgO_2$/L)** | **v (m/s)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AMPHIPODA | r | 0,264 | -0,660 | -0,608 | | 0,671 | 0,603 | | |
| | p | <0,05 | <0,001 | <0,001 | | <0,001 | <0,001 | | |
| ASTIGMATA | r | | | | -0,403 | | | | |
| | p | | | | <0,001 | | | | |
| CLADOCERA | r | | | | | | | | |
| | p | | | | | | | | |
| COLEMBOLLA | r | | | | -0,503 | | | | |
| | p | | | | <0,001 | | | | |
| COLEOPTERA | r | | | | | 0,389 | 0,343 | | |
| | p | | | | | <0,001 | <0,01 | | |
| COPEPODA | r | | -0,258 | -0,284 | | | | | |
| | p | | <0,05 | <0,05 | | | | | |
| DIPTERA | r | | 0,321 | 0,350 | | | | | |
| | p | | <0,01 | <0,01 | | | | | |
| EPHEMEROPTERA | r | | | | | 0,333 | 0,271 | | |
| | p | | | | | <0,01 | <0,05 | | |
| GAMASIDA | r | | | | | | | | |
| | p | | | | | | | | |
| GASTROPODA | r | 0,275 | -0,373 | -0,289 | | | | | |
| | p | <0,05 | <0,01 | <0,05 | | | | | |
| HETEROPTERA | r | | | | | | | | |
| | p | | | | | | | | |
| ISOPODA | r | | -0,317 | -0,256 | -0,354 | | | | |
| | p | | <0,01 | <0,05 | <0,01 | | | | |
| MESOSTIGMATA | r | | | | | | | | |
| | p | | | | | | | | |
| ODONATA | r | | | | | | | | |
| | p | | | | | | | | |
| OLIGOCHAETA | r | | | | | | | | |
| | p | | | | | | | | |
| ORIBATIDA | r | 0,739 | -0,528 | -0,389 | | | | | |
| | p | <0,001 | <0,001 | <0,001 | | | | | |

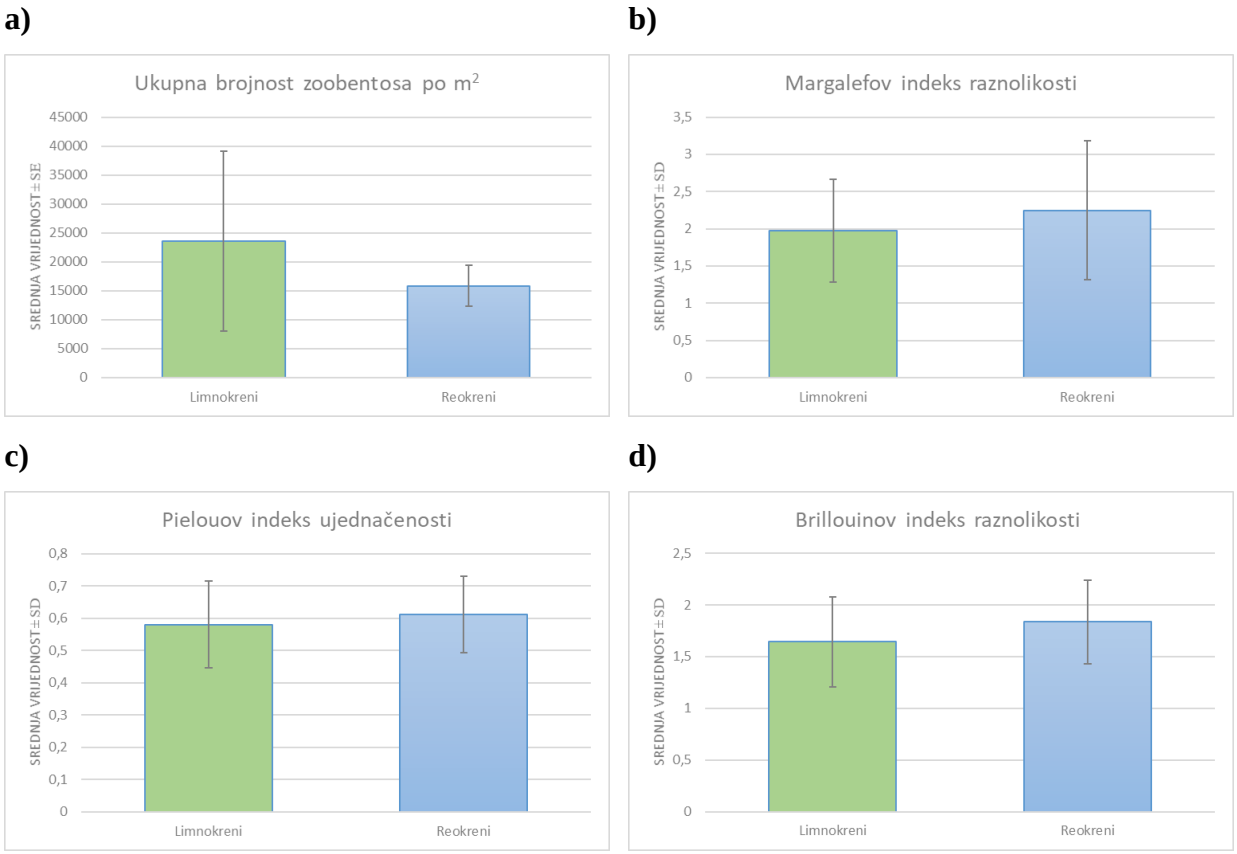
**Tablica 4.2.4.1 (nastavak)** Vrijednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije (r) i razine značajnosti (p) između različitih skupina bentoskih beskralježnjaka i fizikalno - kemijskih parametara vode. (T = temperatura, konc. O2 = koncentracija otopljenog kisika, zasić. O2 = zasićenje vode kisikom, σ = električna provodnost, CaCO3 = koncentracija otopljenog kalcijevog karbonata, KPK = kemijska potrošnja kisika, v = srednja vrijednost brzine strujanja. Prikazane su samo statistički značajne korelacije.

| Skupina | | T (°C) | Konc. O2 (mg/L) | Zasić. O2 (%) | pH | σ (µS/cm) | CaCO3 (mg/L) | KPK(mgO2/L) | v (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OSTRACODA | r | | | | | | | | |
| | p | | | | | | | | |
| PLECOPTERA | r | -0,444 | 0,429 | 0,380 | | | | | |
| | p | <0,001 | <0,001 | <0,01 | | | | | |
| POLYCHAETA | r | | | | | | | | |
| | p | | | | | | | | |

Od svih navedenih fizikalno kemijskih parametara samo su električna provodnost i koncentracija otopljenog kalcijevog karbonata u vodi statistički značajno korelirali s indeksima raznolikosti (izračunatih na razini cijele zajednice bentoskih beskralježnjaka). Vrijednosti Brillouinovog (***r* = 0,298; *p* < 0,05**) Shannonovog (***r* = 0,294; *p* < 0,05**) i Simpsonovog (***r* = 0,253; *p* < 0,05**) indeksa raznolikosti statistički su značajno pozitivno korelirali s vrijednostima električne provodnosti. Vrijednosti koncentracije otopljenog kalcijevog karbonata u vodi statistički značajno su korelirali sa sljedećim indeksima raznolikosti: Brillouinov (***r* = 0,292; *p* < 0,05**) i Shannonov (***r* = 0,289; *p* < 0,05**). Ukupna brojnost svih bentoskih beskralježnjaka, Margalefov i Fisherov indeks raznolikosti kao i Pielouov indeks ujednačenosti zajednice nisu statistički značajno korelirali niti s jednim fizikalno - kemijskim parametrom.

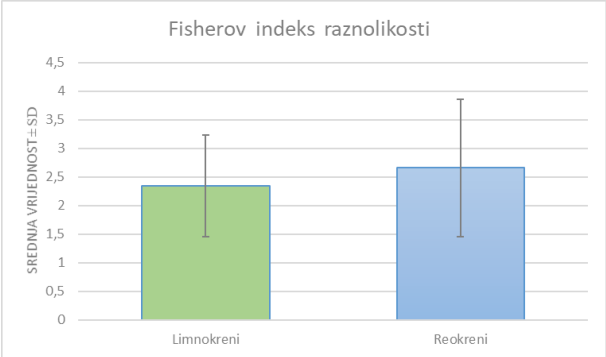
### 4.2.5 Utjecaj morfologije izvora na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake

Vrijednosti koncentracije kisika (***r* = 1,178; *p* < 0,01**) i protoka (***F* = 7,524; *p* < 0,001**) statistički su značajno veće u limnokrenim u odnosu na reokrene izvore, dok su vrijednosti električne provodnosti (***F* = 3,262; *p* < 0,05**) i otopljenog $CaCO_3$ (***F* = 5,143; *p* < 0,01**) u vodi statistički značajno veće u reokrenim izvorima. Razlike u ukupnoj brojnosti zoobentosa, Margalef, Brillouin, Fisher, Shannon i Simpson indeksa raznolikosti, Pielou indeksa ujednačenosti testirane su između dva morfološka tipa izvora (Slika 4.2.5.1). Statistički značajne razlike između morfoloških tipova izvora utvrđene su samo za ukupnu brojnost bentoskih beskralježnjaka (***F* = 17,080; *p* < 0,001**).

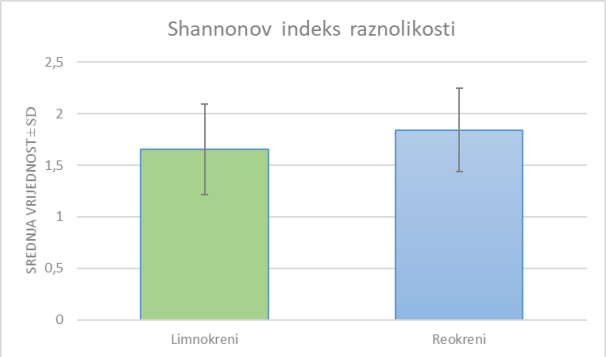



**Slika 4.2.5.1** Razlike između dva morfološka tipa izvora (limnokreni i reokreni) u vrijednostima: **a)** Ukupne brojnosti bentoskih beskralježnjaka; **b)** Margalefovog indeksa raznolikosti; **c)** Pielouovog indeksa ujednačenosti; **d)** Brillouinovog indeksa raznolikosti. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih morfološki istih tipova izvora ± SE (standardna pogreška) ili ± SD (standardna devijacija). Razlike između morfoloških tipova testirane su *t* - testom, a *p* vrijednosti <0,001 označene su s ***.

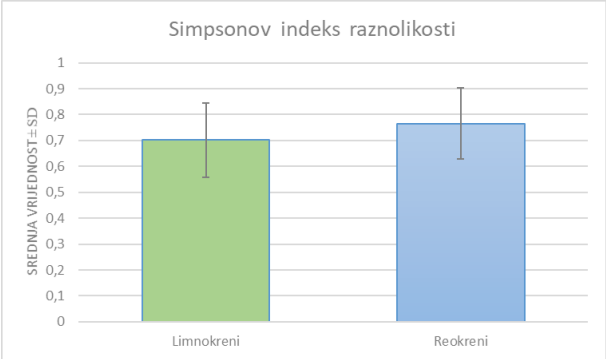
**e)**




**f)**

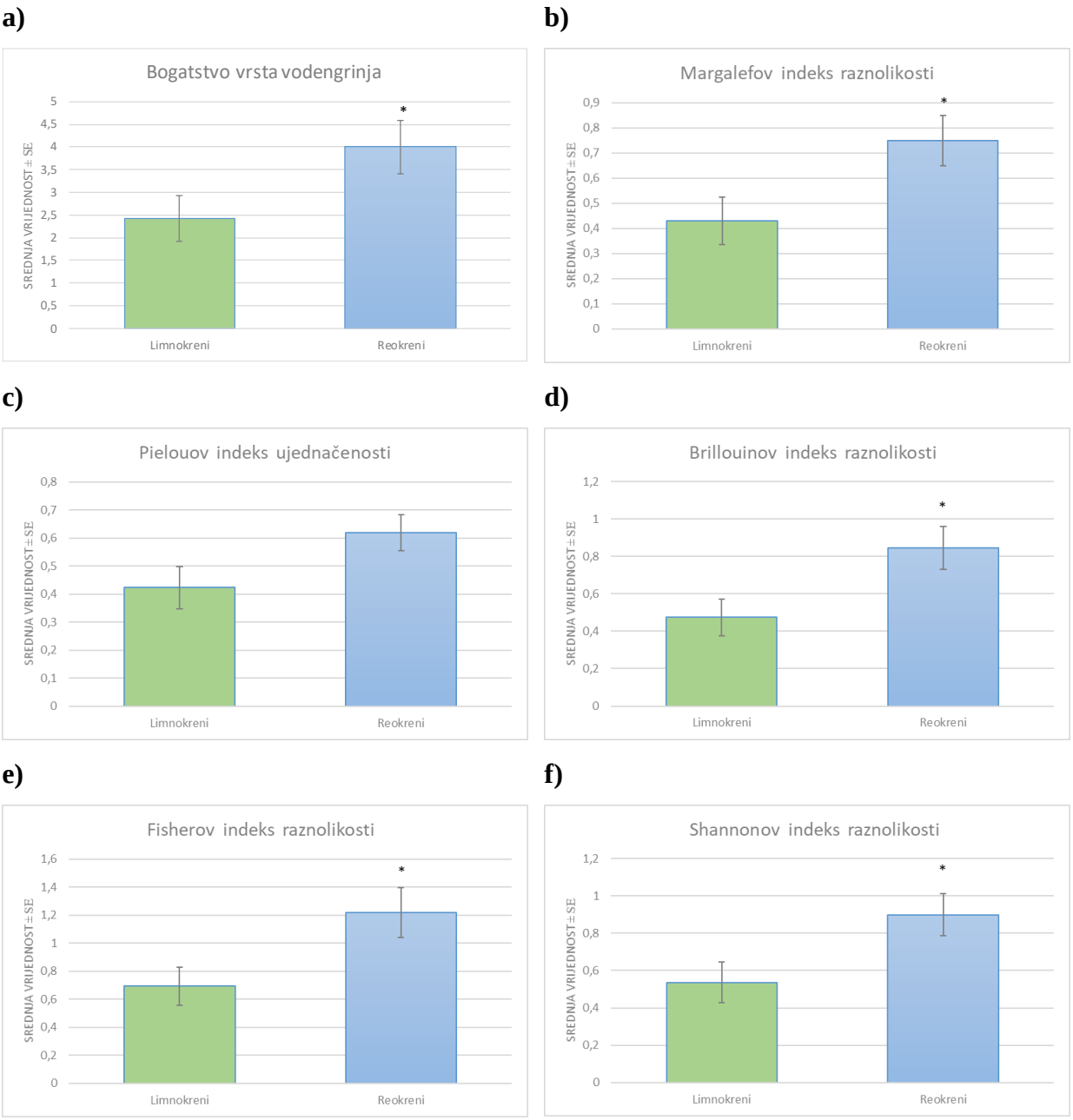



**g)**



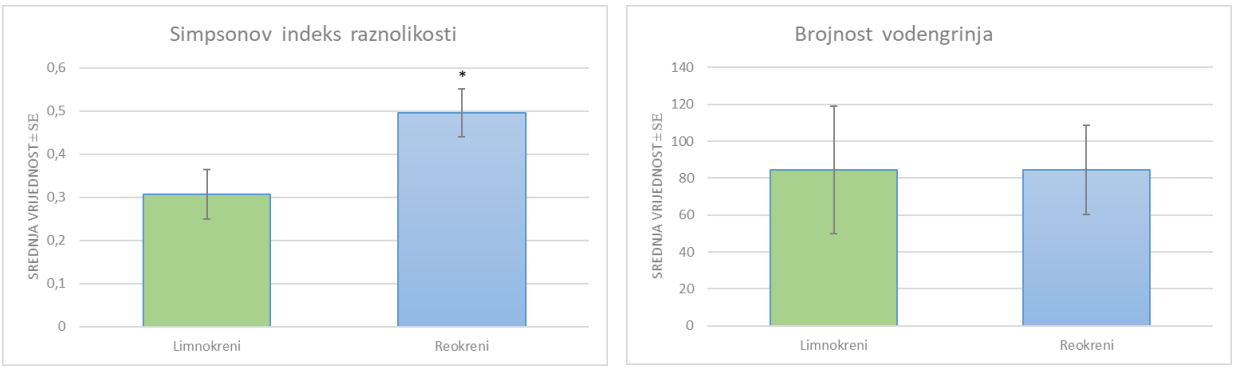

**Slika 4.2.5.1 (nastavak)** Razlike između dva morfološka tipa izvora (limnokreni i reokreni) u vrijednostima: **e)** Fisherovog indeksa raznolikosti; **f)** Shannonovog indeksa raznolikosti; **g)** Simpsonovog indeksa raznolikosti. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih morfološki istih tipova izvora ± SD (standardna devijacija). Razlike između morfoloških tipova testirane su *t* - testom, a *p* vrijednosti nisu statistički značajne.

Razlike u ukupnoj brojnosti vodengrinja, bogatstvu svojti vodengrinja te Margalefovom, Brillouinovom, Fisherovom, Shannonovom i Simpsonovom indeksu raznolikosti, Pielouovom indeksu ujednačenosti zajednica vodengrinja testirane su između dva morfološka tipa izvora (Slika 4.2.5.2). Statistički značajne razlike između morfoloških tipova izvora utvrđene su za bogatstvo svojti vodengrinja (***F* = 1,517; *p* < 0,05**), Margalefovindeks raznolikosti (***F* = 1,2601; *p* < 0,05**), Brillouinov indeks raznolikosti (***F* = 1,4767; *p* < 0,05**), Fisherov indeks raznolikost (***F* = 1,936; *p* < 0,05**), Shannonov indeks raznolikosti (***F* = 1,2573; *p* < 0,05**) i Simpsonov indeks raznolikosti (***F* = 1,054; *p* < 0,05**).



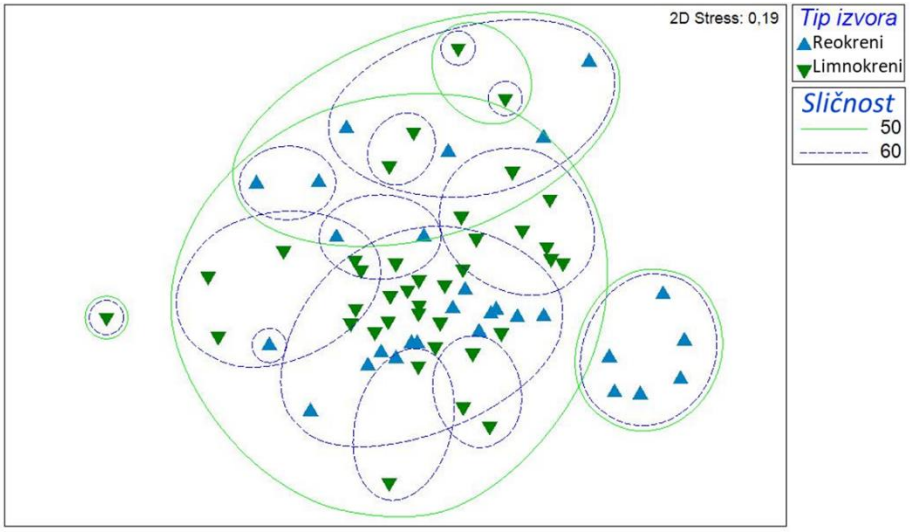

**Slika 4.2.5.2** Razlike između dva morfološka tipa izvora (limnokreni i reokreni) u vrijednostima: **a)** Bogatstva svojti vodengrinja; **b)** Margalefovog indeksa raznolikosti; **c)** Pielouovg indeksa ujednačenosti; **d)** Brillouinovog indeksa raznolikosti; **e)** Fisherovog indeksa raznolikosti; **f)** Shannonovog indeksa raznolikosti na temelju zajednice vodengrinja. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih morfološki istih tipova izvora ± SE (standardna pogreška). Razlike između morfoloških tipova testirane su *t* - testom, *p* vrijednosti < 0,05 označene su s *.

g) h)

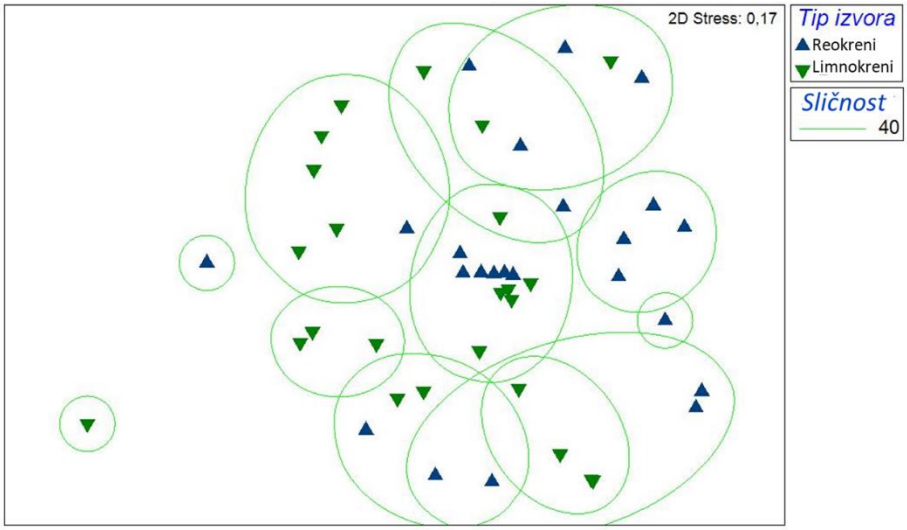



**Slika 4.2.5.2 (nastavak)** Razlike između dva morfološka tipa izvora (limnokreni i reokreni) u vrijednostima: **g)** Simpsonovog indeksa raznolikosti na temelju zajednice vodengrinja; **h)** Brojnosti vodengrinja. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih ‚morfološki istih tipova izvora ± SE (standardna pogreška). Razlike između morfoloških tipova testirane su *t* - testom, *p* vrijednosti < 0,05 označene su s *.

Populacije vrsta *Atractides walteri*, *Hydrodroma reinhardii*, *Partnunia steinmanni*, *Sperchon vaginosus*, *Sperchon thienemanni*, *Torrenticola eliptica* i *Woolastookia rotundifrons* nađene su isključivo u limnokrenim izvorima, dok su vrste *Atractides latipapis*, *Atractides loricatus*, *Lethaxona cavifrons*, *Ljania macilenta*, *Partnunia angusta* i *Sperchon hibernicus* nađene isključivo u reokrenim izvorima. Izračunom Bray - Curtisovog indeksa sličnosti između uzoraka zajednice bentoskih beskralježnjaka te prikazom pomoću nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja utvrđeno je kako nema jasnog grupiranja zajednica izvora prema morfološkom tipu (Slika 4.2.5.3). Klaster analizom utvrđene su statistički značajne razlike između uzoraka iste, ali i različite morfologije izvora te u ovom slučaju klaster analiza nije utvrdila jasno razdvajanje zajednica prema morfološkom tipu izvora kako na razini cijele zajednice, tako i na razini zajednice vodengrinja (Slika 4.2.5.4).



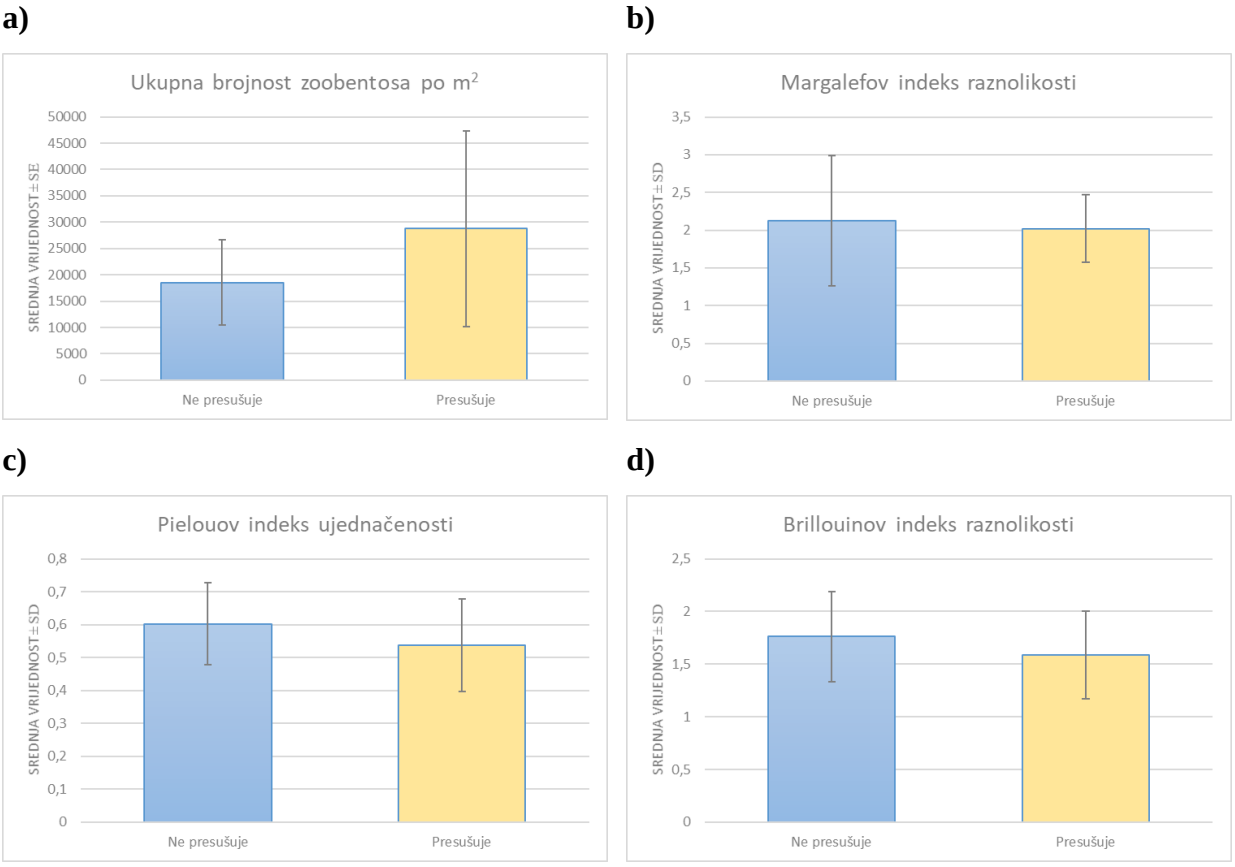

**Slika 4.2.5.3** Prikaz nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) baziranog na Bray - Curtisovom indeksu sličnosti između uzoraka zajednice bentoskih beskralježnjaka prikupljenih u osam različitih izvora tijekom četiri sezone na tri tipa supstrata. Grupiranje uzoraka prikazano je prema morfološkom tipu izvora. Podaci o brojnostima su logaritamski transformirani prije analize.




**Slika 4.2.5.4** Prikaz nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) baziranog na Bray - Curtisovom indeksu sličnosti između uzoraka zajednice vodengrinja uzimanih u osam različitih izvora, u četiri sezone s tri tipa supstrata. Grupiranje uzoraka prikazano je prema morfološkom tipu izvora. Podaci o brojnostima su logaritamski transformirani prije analize.

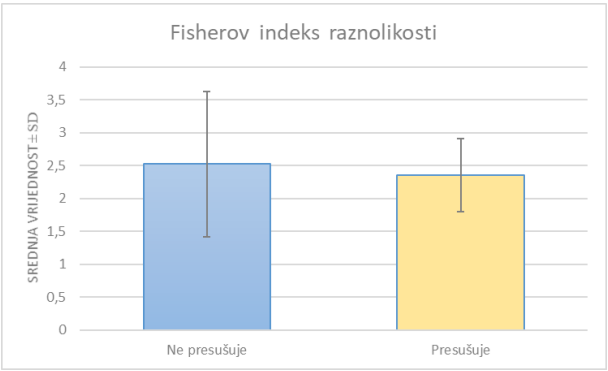
### 4.2.6 Utjecaj presušivanja na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake

Istraživani izvori svrstani su u dvije osnovne hidrološke skupine: izvori koji ne presušuju i izvori koji presušuju. Krčić je jedini istraživani izvor koji presušuje. Razlike u ukupnoj brojnosti zoobentosa, Margalefovog, Brillouinovog, Fisherovog, Shannonovog i Simpsonovog indeksa raznolikosti, Pielouovog indeksa ujednačenosti zajednice te brojnosti vodengrinja testirane su između dva hidrološka tipa izvora (Slika 4.2.6.1). Statistički značajne razlike između hidroloških tipova izvora utvrđene su samo za brojnost vodengrinja (***F* = 665,52; *p* < 0,001**; Slika 4.2.6.1h).

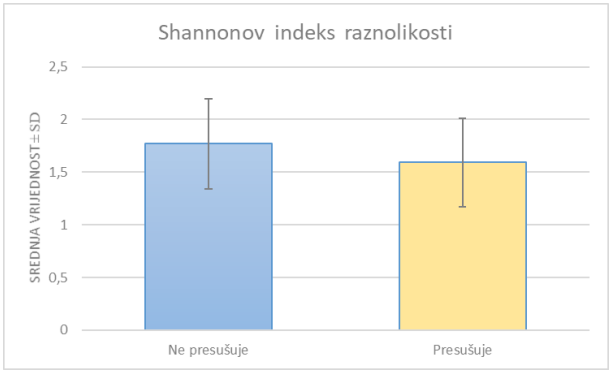



**Slika 4.2.6.1** Razlike između dva hidrološka tipa izvora (ne presušuje i presušuje) u vrijednostima: **a)** Ukupne brojnosti bentoskih beskralježnjaka; **b)** Margalefovog indeksa raznolikosti; **c)** Pielouovog indeksa ujednačenosti; **d)** Brillouinovog indeksa raznolikosti. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih hidrološki istih tipova izvora ± SE (standardna pogreška) ili ± SD (standardna devijacija). Razlike između tipova izvora testirane su *t* – testom, *p* vrijednosti <0,001 označene su s ***.

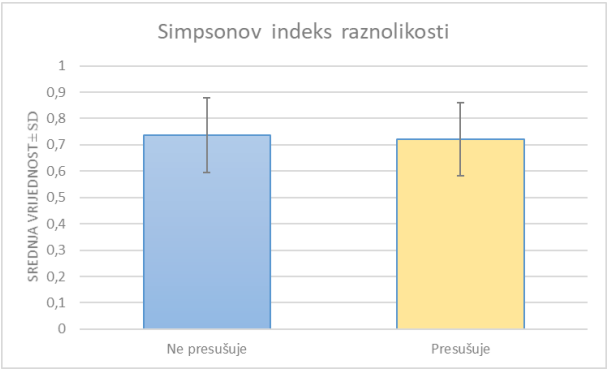
**e)**



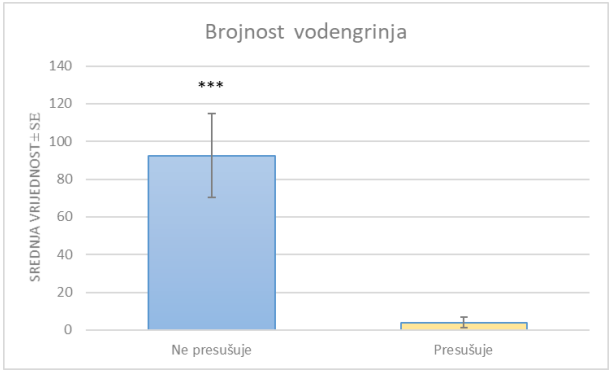

**f)**




**g)**

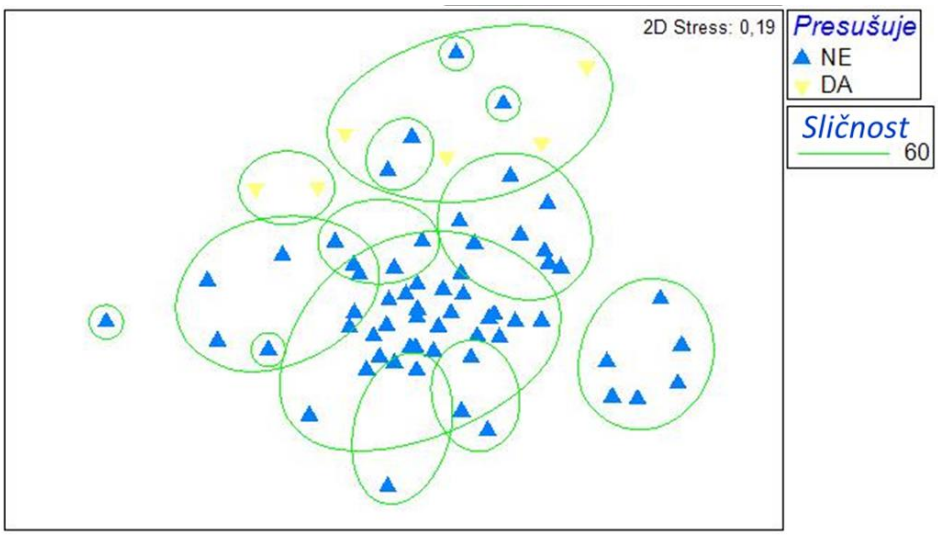



**h)**

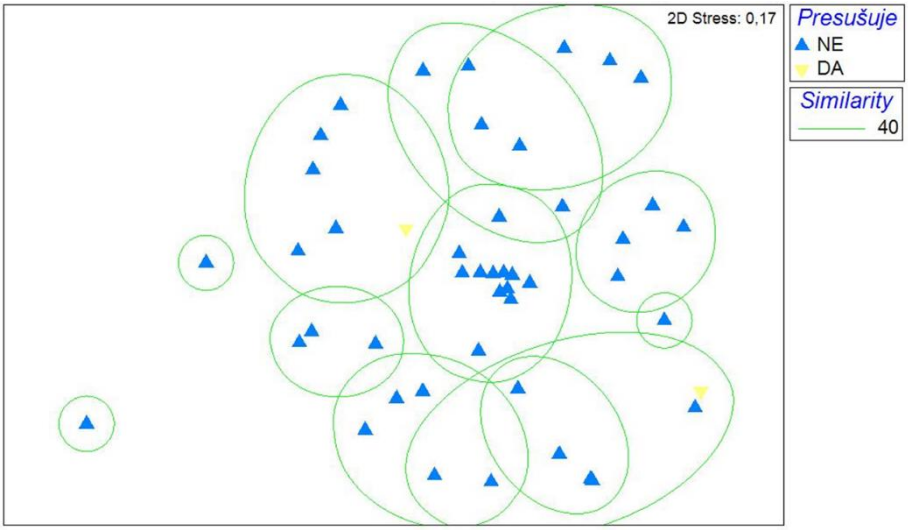



**Slika 4.2.6.1 (nastavak)** Razlike između dva hidrološka tipa izvora (ne presušuje i presušuje) u vrijednostima: **e)** Fisherovog indeksa raznolikosti; **f)** Shannonovog indeksa raznolikosti; **g)** Simpsonovog indeksa raznolikosti; **h)** brojnosti vodengrinja. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih hidrološki istih tipova izvora ± SE (standardna pogreška) ili ± SD (standardna devijacija). Razlike između hidroloških tipova testirane su *t* - testom, *p* vrijednosti <0,001 označene su s ***.

Izračunom Bray - Curtisovog indeksa sličnosti između uzoraka zajednice bentoskih beskralježnjaka te prikazom pomoću nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja utvrđeno je kako nema jasnog grupiranja zajednica izvora prema hidrološkom tipu (Slika 4.2.6.2). Klaster analizom utvrđene su statistički značajne razlike između uzoraka iste, ali i različite morfologije izvora te u ovom slučaju Klaster analiza nije utvrdila jasno razdvajanje zajednica prema hidrološkom tipu izvora kako na razini cijele zajednice, tako i na razini zajednice vodengrinja (Slika 4.2.6.3).



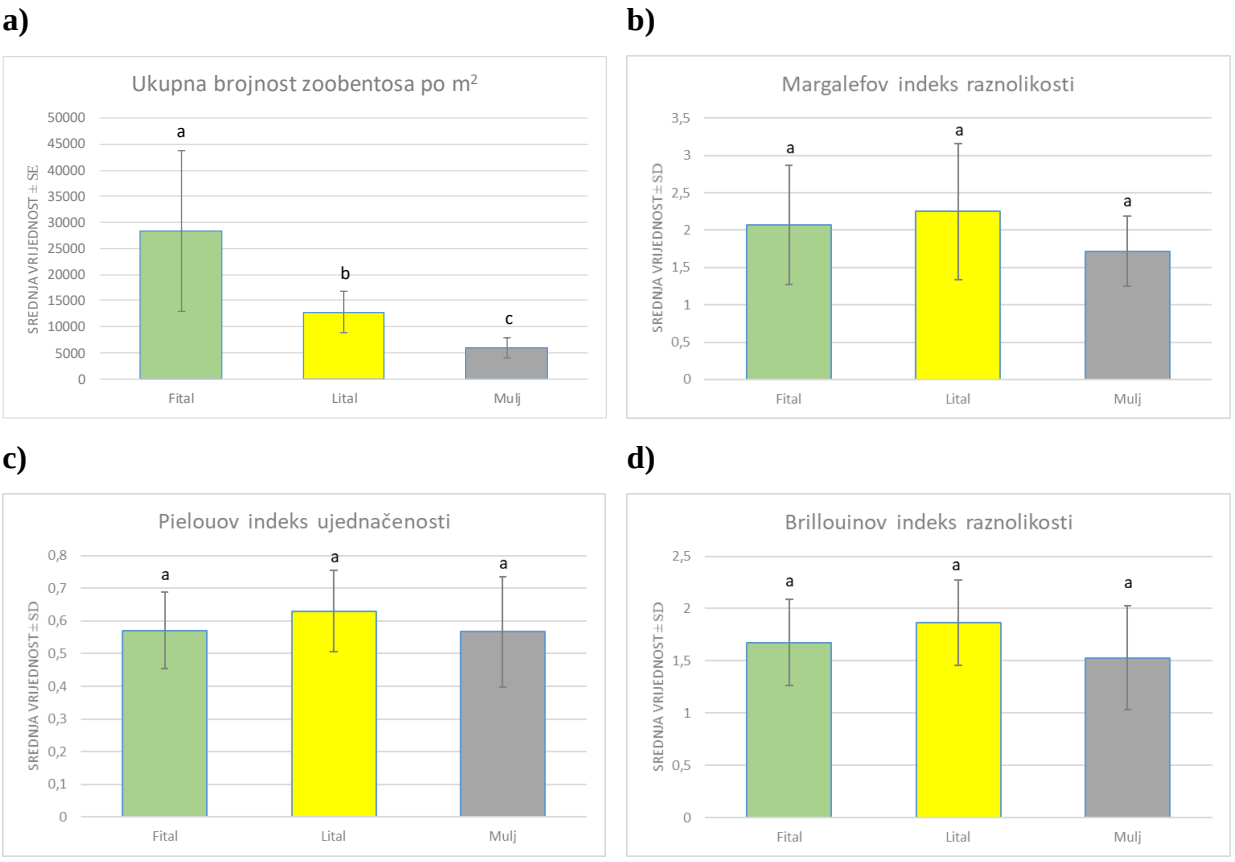

**Slika 4.2.6.2** Prikaz nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) baziranog na Bray - Curtisovom indeksu sličnosti između uzoraka zajednice bentoskih beskralježnjaka prikupljenih u osam različitih izvora tijekom četiri sezone na tri tipa supstrata. Grupiranje uzoraka prikazano je prema hidrološkom tipu izvora. Podaci o brojnostima su logaritamski transformirani prije analize.



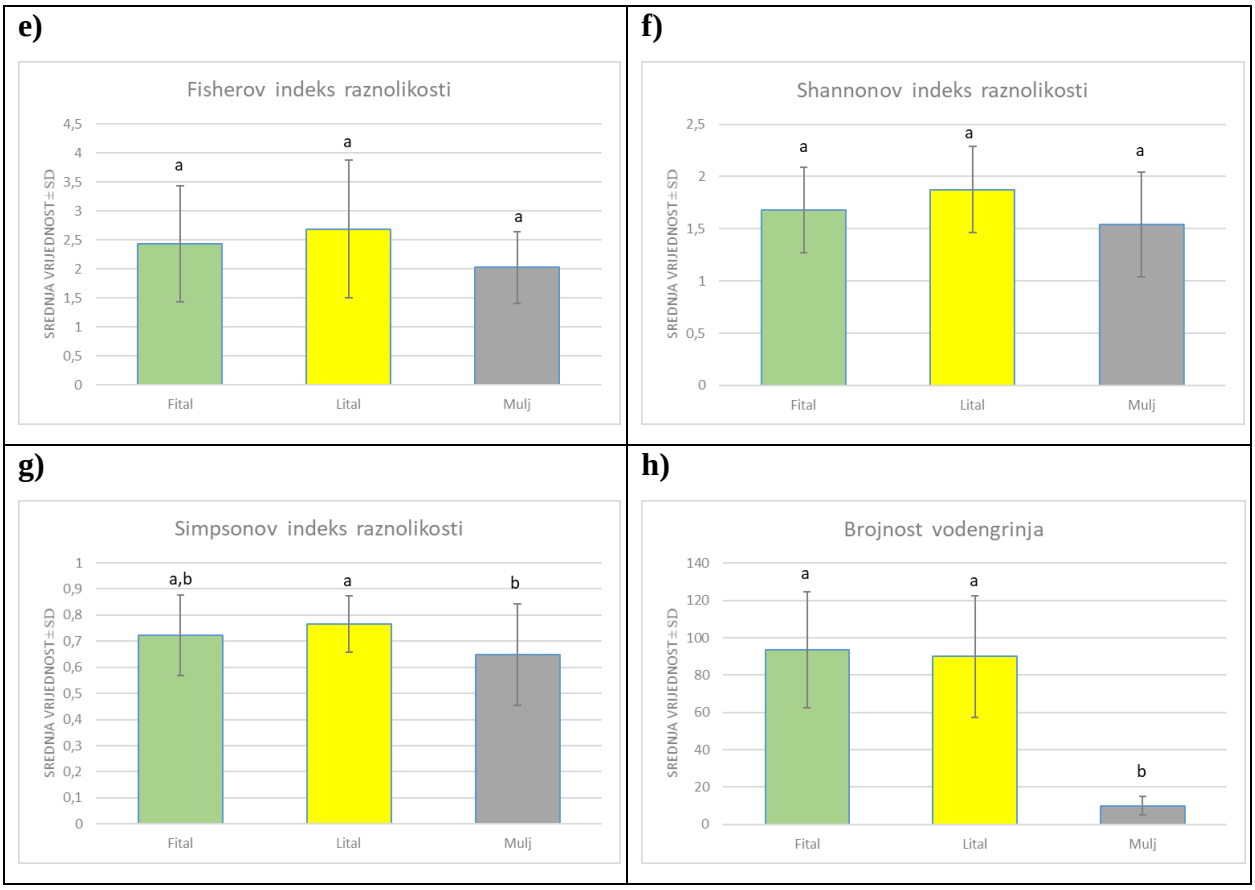

**Slika 4.2.6.3** Prikaz nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) baziranog na Bray - Curtisovom indeksu sličnosti između uzoraka zajednice vodengrinja uzimanih u osam različitih izvora, u četiri sezone s tri tipa supstrata. Grupiranje uzoraka prikazano je prema hidrološkom tipu izvora. Podaci o brojnostima su logaritamski transformirani prije analize.

### 4.2.7 Utjecaj tipa supstrata na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake

U analizi utjecaja tipa supstrata na zajednicu bentoskih beskralježnjaka razmatrana su tri tipa supstrata: fital, lital, mulj. Razlike u ukupnoj brojnosti zoobentosa, indeksa raznolikosti, Pielouovog indeksa ujednačenosti zajednice te brojnosti vodengrinja testirane su s obzirom na tip supstrata (Slika 4.2.7.1). Statistički značajne razlike između tipova supstrata utvrđene su za ukupnu brojnost zoobentosa (Slika 4.2.7.1a), Simpsonov indeks raznolikosti (Slika 4.2.7.1g) i brojnost vodengrinja (Slika 4.2.7.1h).

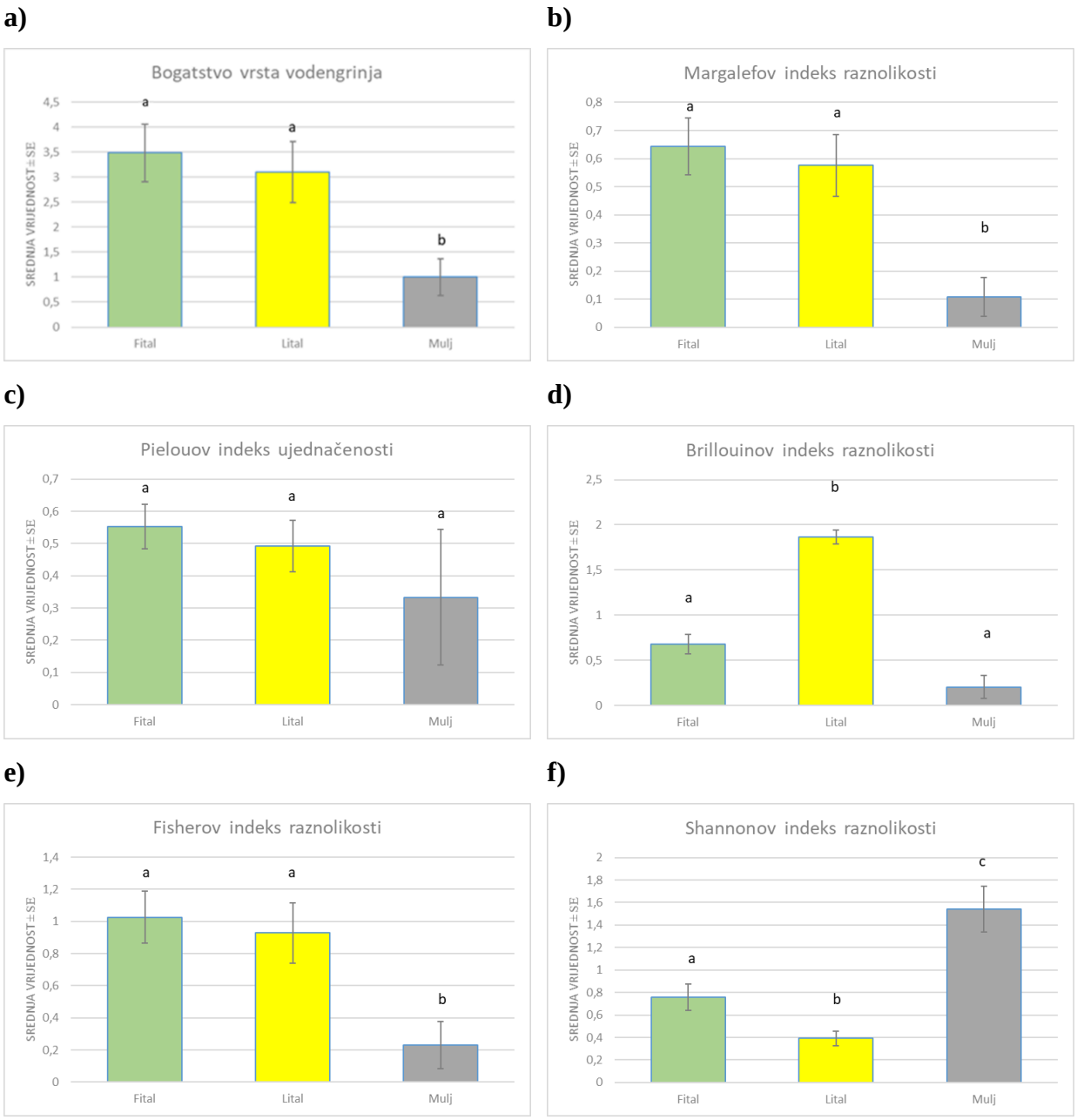



**Slika 4.2.7.1** Razlike između tipova supstrata (fital, lital, mulj) u vrijednostima: **a)** Ukupne brojnosti bentoskih beskralježnjaka; **b)** Margalefovog indeksa raznolikosti; **c)** Pielouovog indeksa ujednačenosti; **d)** Brillouinovog indeksa raznolikosti. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih uzoraka istih supstrata ± SE (standardna pogreška) ili ± SD (standardna devijacija). Razlike između tipova testirane su *t* - testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su različitim slovima, dok ista slova indiciraju da značajna razlika između grupa podataka ne postoji.



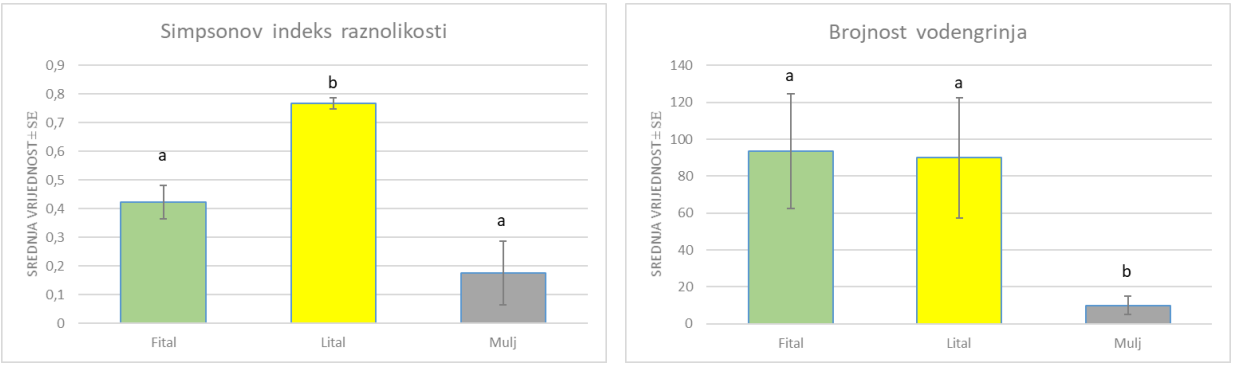

**Slika 4.2.7.1 (nastavak)** Razlike između tipova supstrata (fital, lital, mulj) u vrijednostima: **e)** Fisherovog indeksa raznolikosti; **f)** Shannonovog indeksa raznolikosti; **g)** Simpsonovog indeksa raznolikosti; **h)** brojnosti vodengrinja. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih uzoraka istih supstrata ± SE (standardna pogreška) ili ± SD (standardna devijacija). Razlike između tipova testirane su *t* - testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su različitim slovima, dok ista slova indiciraju da značajna razlika između grupa podataka ne postoji.

Razlike u bogatstvu svojti i ukupnoj brojnosti vodengrinja, Margalefovog, Brillouinovog, Fisherovog, Shannonovog i Simpsonovog indeksa raznolikosti te Pielouovog indeksa ujednačenosti zajednice vodengrinja testirane su s obzirom na tip supstrata (Slika 4.2.7.2). Statistički značajne razlike između tipova supstrata utvrđene su za sve navedene pokazatelje osim za Pielouov indeks ujednačenosti (Slika 4.2.7.2c).



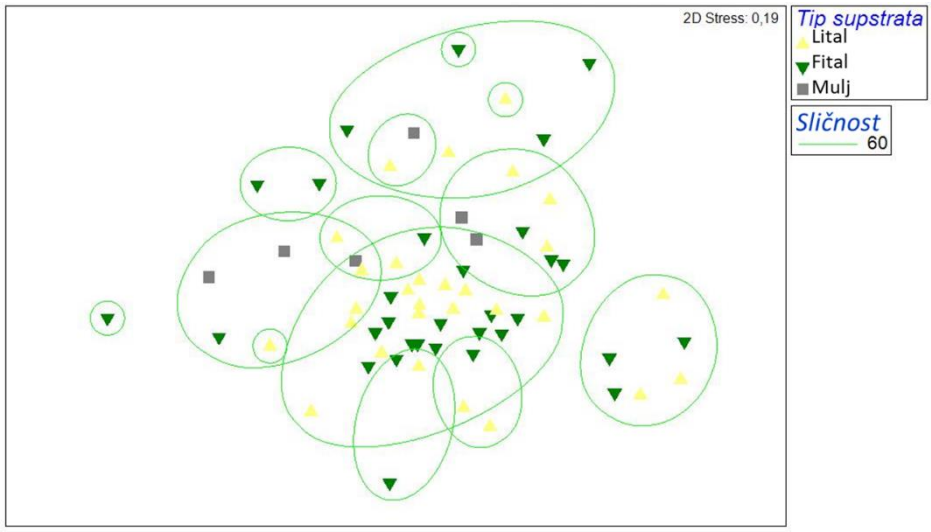

**Slika 4.2.7.2** Razlike između tipova supstrata (fital, lital, mulj) s obzirom na vrijednosti: **a)** Bogatstva svojti vodengrinja; **b)** Margalefovog indeksa raznolikosti; **c)** Pielouovog indeksa ujednačenosti; **d)** Brillouinovog indeksa raznolikosti; e) Fisherovog indeksa raznolikosti; f) Shannonovog indeksa raznolikosti na temelju zajednice vodengrinja. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih uzoraka istih supstrata ± SE (standardna pogreška). Razlike između tipova testirane su *t* - testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su različitim slovima, dok ista slova indiciraju da značajna razlika između grupa podataka ne postoji.

**g)** **h)**

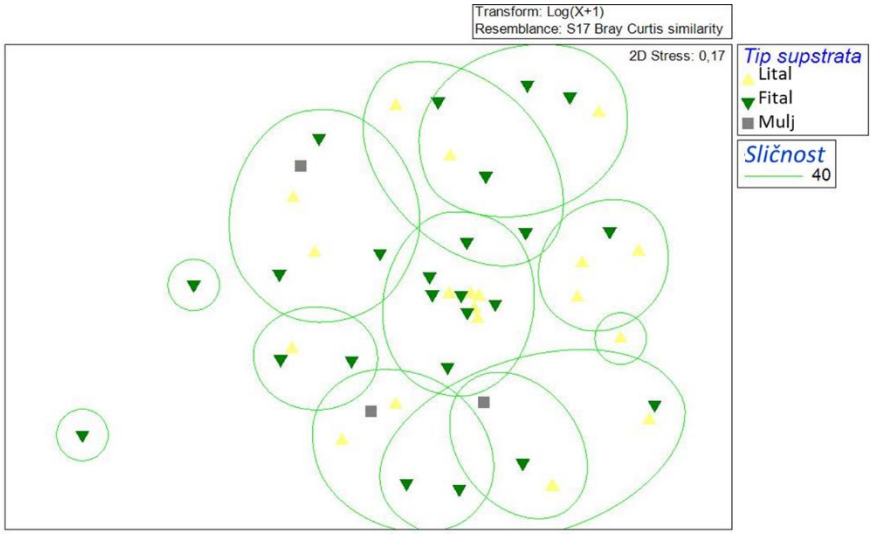



**Slika 4.2.7.2 (nastavak)** Razlike između tipova supstrata (fital, lital, mulj) u vrijednostima: **g)** Simpsonovog indeksa raznolikosti na temelju zajednice vodengrinja; **h)** brojnosti vodengrinja. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih uzoraka istih supstrata ± SE (standardna pogreška). Razlike između tipova testirane su *t* - testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su različitim slovima, dok ista slova indiciraju da značajna razlika između grupa podataka ne postoji.

Populacije vrsta *Atractides loricatus*, *Pseudotorrenticola rhynchota* te *Sperchon vaginosus* nađene su isključivo u mikrostaništima litala. Vrste *Atractides walteri*, *Partnunia angusta*, *Sperchon thienemanni* i *Woolastookia rotundifrons* nađene su isključivo na supstratima s fitalom. Mulj kao tip supstrata nije imao specifičnih svojti. Izračunom Bray - Curtisovog indeksa sličnosti između uzoraka zajednice bentoskih beskralježnjaka te prikazom pomoću nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja utvrđeno je kako nema jasnog grupiranja zajednica izvora s obzirom na tip supstrata (Slika 4.2.7.3). Klaster analizom utvrđene su statistički značajne razlike između uzoraka istog, ali i različitog tipa supstrata te u ovom slučaju klaster analiza nije utvrdila jasno razdvajanje zajednica prema tipu supstrata kako na razini cijele zajednice, tako i na razini zajednice vodengrinja (Slika 4.2.7.4).




**Slika 4.2.7.3** Prikaz nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) baziranog na Bray - Curtisovom indeksu sličnosti između uzoraka zajednice bentoskih beskralježnjaka uzimanih u osam različitih izvora tijekom četiri sezone na tri tipa supstrata. Grupiranje uzoraka prikazano je prema tipu supstrata. Podaci o brojnostima su logaritamski transformirani prije analize.




**Slika 4.2.7.4** Prikaz nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) baziranog na Bray - Curtisovom indeksu sličnosti između uzoraka zajednice vodengrinja prikupljenih u osam različitih izvora tijekom četiri sezone na tri tipa supstrata. Grupiranje uzoraka prikazano je prema tipu supstrata. Podaci o brojnostima su logaritamski transformirani prije analize.

### 4.2.8 Sastav vodene vegetacije

Najmanje bogatstvo vrsta vodenih makrofita u istraživanom razdoblju zabilježeno u izvoru Kamačnik, gdje je prisutna samo vrsta *Platyhypnidium riparioides* (Tablica 4.2.8.1). Najveći broj vrsta vodenih makrofita zabilježen je na izvoru rijeke Une, njih čak šesnaest. Vrste *Caltha palustris*, *Conocephalum salebrosum*, *Eupatorium cannabinum*, *Jungermannia atrovirens*, *Mnium marginatum* i *Plagiomnium undulatum* nađene su isključivo na ovom izvoru. Vrsta *Palustriella falcata* nađena je samo na izvoru rijeke Čabranke, dok je vrsta *Ranunculus fluviatilis* zabilježena samo na izvoru rijeke Krčić.

**Tablica 4.2.8.1** Popis vrsta vodenih makrofita zabilježenih u pojedinim izvorima u istraživanom razdoblju

| Vrsta / Postaja | Čabranka | Cetina | Kamačnik | Krčić | Kupa | Una | Zrmanja | Žrnovnica |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Agrostis stolonifera* | | * | | * | | | | |
| *Berula erecta* | | * | | | | * | * | |
| *Caltha palustris* | | | | | | * | | |
| *Cinclidotus aquaticus* | * | | | * | * | | * | * |
| *Cinclidotus fontinaloides* | | | | * | * | * | * | * |
| *Conocephalum salebrosum* | | | | | | * | | |
| *Cratoneuron filicinum* | * | | | | | * | * | |
| *Eupatorium cannabinum* | | | | | | * | | |
| *Fontinalis antipyretica* | | | | | | * | * | |
| *Juncus articulatus* | | * | | | | | * | |
| *Jungermannia atrovirens* | | | | | | * | | |
| *Marchantia polymorpha* | * | | | | | * | | |
| *Mentha aquatica* | | * | | | | * | * | |
| *Mentha longifolia* | | | | | | * | * | |
| *Mnium marginatum* | | | | | | * | | |
| *Myosotis scorpioides* | | * | | | | * | | |
| *Oenanthe fistulosa* | | | | * | | * | | |
| *Palustriella falcata* | * | | | | | | | |
| *Pellia endiviifolia* | * | | | | | | * | |
| *Plagiomnium undulatum* | | | | | | * | | |
| *Platyhypnidium riparioides* | * | | * | * | * | * | * | * |
| *Ranunculus fluviatilis* | | | | * | | | | |
| *Veronica anagalis-aquatica* | | * | | * | | | | |
| *Veronica beccabunga* | | * | | * | | | | |
| **Ukupno zabilježeno vrsta:** | 6 | 7 | 1 | 8 | 3 | 16 | 11 | 3 |

### 4.2.9 Utjecaj sastava vegetacije na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake

*Pellia endiviifolia* vrsta je makrofitske vegetacije uz koju je vezan najveći broj svojti vodengrinja, njih čak jedanaest (Tablica 4.2.9.1). S druge strane, *Protzia eximia* utvrđena je kao vrsta vodengrinja koja je statistički značajno korelirala s najviše svojti makrofita, njih trinaest. Šest svojti vodengrinja nije pokazalo nikakve afinitete ni prema kojoj vrsti makrofitske vegetacije: *Feltria* sp., *Partnunia angusta*, *Sperchon vaginosus*, *Torrenticola eliptica* i *Woolastookia rotundifrons.* Također, dvije vrste vodenih makrofita nisu statistički značajno korelirale ni s jednom svojtom vodengrinja. Svojte vodengrinja i makrofita koje nisu statistički korelirale ni s jednom svojtom nisu prikazane u Tablici 4.2.9.1.

Ukupna brojnost vodengrinja statistički je značajno pozitivno korelirala s četiri vrste vodenih makrofita: *Cinclidotus aquaticus* (***r* = 0,406; *p* < 0,001**), *Marchantia polymorpha* (***r* = 0,2516; *p* < 0,05**), *Pellia endiviifolia* (***r* = 0,3278; *p* < 0,01**) i *Platyhypnidium riparioides* (***r* = 0,3884; *p* < 0,001**).

Samo devet zabilježenih vrsta vodenih makrofita statistički su značajno pozitivno korelirale s indeksima raznolikosti (Tablica 6). Ukupna brojnost svih bentoskih beskralježnjaka te Pielouov indeks ujednačenosti nisu značajno korelirali niti s jednom vrstom vodenih makrofita. Ukupna brojnost, ujednačenost te vrste makrofita koje nisu statistički korelirale ni s jednom varijablom nisu prikazane u Tablici 4.2.9.2.

**Tablica 4.2.9.1** Vrijednosti Spermanovog koeficijenta korelacije (*r*) između brojnosti pojedinih svojti vodengrinja i prisustva pojedinih vrsta vodenih makrofita. Iskazane su samo statistički značajne ($p < 0,05$) pozitivne korelacije.

| **Svojte** | ***Agrostis stolonifera*** | ***Berula erecta*** | ***Caltha palustris*** | ***Cinclidotus aquaticus*** | ***Cinclidotus fontinaloides*** | ***Conocephalum salebrosum*** | ***Cratoneuron filicinum*** | ***Eupatorium cannabinum*** | ***Fontinalis antipyretica*** | ***Juncus articulatus*** | ***Jungermannia atrovirens*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Atractides* sp. | | | | | | | | | | | |
| *Atractides gibberipapis* | | | | 0,353 | | | 0,317 | | 0,317 | | |
| *Atractides latipapis* | | | | | | | | | 0,300 | 0,267 | |
| *Atractides loricatus* | | | | | | | | | | | |
| *Atractides nodipapis* | | | | 0,294 | 0,283 | | 0,436 | | 0,436 | | |
| *Atractides pennatus* | | | 0,412 | | | 0,412 | | 0,412 | | | 0,412 |
| *Atractides walteri* | | | 0,334 | | | 0,334 | | 0,334 | | | 0,334 |
| *Aturus* sp. | | 0,285 | | | 0,310 | | 0,512 | | 0,512 | | |
| *Hydrodroma reinhardii* | 0,278 | | | | | | | | | 0,257 | |
| *Lebertia* sp. | | | | 0,437 | | | | | | | |
| *Lethaxona cavifrons* | | | | | | | 0,313 | | 0,313 | 0,278 | |
| *Ljania macilenta* | | | | | | | 0,350 | | 0,350 | 0,311 | |
| *Partnunia steinmanni* | 0,263 | | | | | | | | | | |
| *Protzia eximia* | | 0,259 | 0,581 | | | 0,581 | 0,382 | 0,581 | 0,382 | | 0,581 |
| *Protzia squamosa* | | | | 0,254 | | | | | | | |
| *Protzia rugosa*<br>*Pseudotorrenticola rhynchota* | | | | 0,323 | 0,313 | | 0,331 | | 0,331 | 0,273 | |
| *Sperchon hibernicus* | | | | | | | | | | | |
| *Sperchon deticulatus* grupa<br>*Sperchon* sp. | | | | 0,311 | 0,455 | | 0,276 | | 0,276 | | |
| *Sperchon thienemanni* | | | | | | | | | | | |
| *Torrenticola* sp. | | | | 0,334 | | | | | | | |

**Tablica 4.2.9.1 (nastavak)** Vrijednosti Spermanovog koeficijenta korelacije ($r$) između brojnosti pojedinih svojti vodengrinja i prisustva pojedinih vrsta vodenih makrofita. Iskazane su samo statistički značajne ($p < 0,05$) pozitivne korelacije.

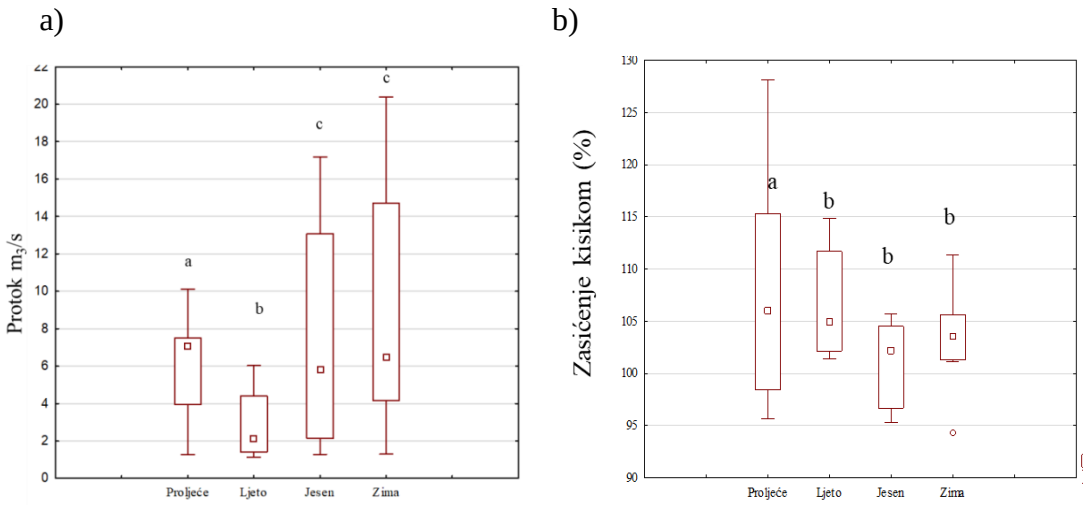
| Svojte | *Marchantia polymorpha* | *Mentha aquatica* | *Mentha longifolia* | *Mnium marginatum* | *Myosotis scorpioides* | *Oenanthe fistulosa* | *Pellia endiviifolia* | *Plagiomnium undulatum* | *Platyhypnidium riparioides* | *Veronica anagalis-aquatica* | *Veronica beccabunga* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Atractides* sp. | | | | | | | 0,369 | | 0,335 | | |
| *Atractides gibberipapis* | | | 0,317 | | | | 0,458 | | 0,281 | | |
| *Atractides latipapis* | | | 0,300 | | | | 0,457 | | | | |
| *Atractides loricatus* | | | | | | | 0,334 | | | | |
| *Atractides nodipapis* | | | 0,436 | | | | 0,553 | | 0,286 | | |
| *Atractides pennatus* | 0,244 | | | 0,412 | | 0,262 | | 0,412 | | | |
| *Atractides walteri* | | | | 0,334 | | | | 0,334 | | | |
| *Aturus* sp. | | 0,285 | 0,512 | | | | 0,558 | | | | |
| *Hydrodroma reinhardii* | | | | | 0,257 | | | | | | 0,366 |
| *Lebertia* sp. | | | | | | | | | | | |
| *Lethaxona cavifrons* | | | 0,313 | | | | 0,476 | | 0,250 | | |
| *Ljania macilenta* | | | 0,350 | | | | 0,533 | | 0,280 | | |
| *Partnunia steinmanni* | | | | | | | | | | 0,263 | 0,353 |
| *Protzia eximia* | 0,398 | | 0,382 | 0,581 | 0,339 | 0,416 | | 0,581 | | | |
| *Protzia squamosa* | 0,582 | | | | | | | | | | |
| *Protzia rugosa* | | | 0,331 | | | | 0,584 | | | | |
| *Pseudotorrenticola rhynchota* | 0,303 | | | | | | | | | | |
| *Sperchon hibernicus* | 0,324 | | | | | | | | 0,249 | | |
| *Sperchon deticulatus* grupa | 0,415 | | | | | | | | 0,435 | | |
| *Sperchon* sp. | | | 0,276 | | | | 0,354 | | | | |
| *Sperchon thienemanni* | | | | | | | | | 0,245 | | |
| *Torrenticola* sp. | | | | | | | 0,250 | | 0,304 | | |

**Tablica 4.2.9.2** Vrijednosti Spermanovog koeficijenta korelacije (*r*) između indeksa raznolikosti i prisustva pojedinih vrsta vodenih makrofita. Iskazane su samo statistički značajne ($p < 0,05$) pozitivne korelacije.

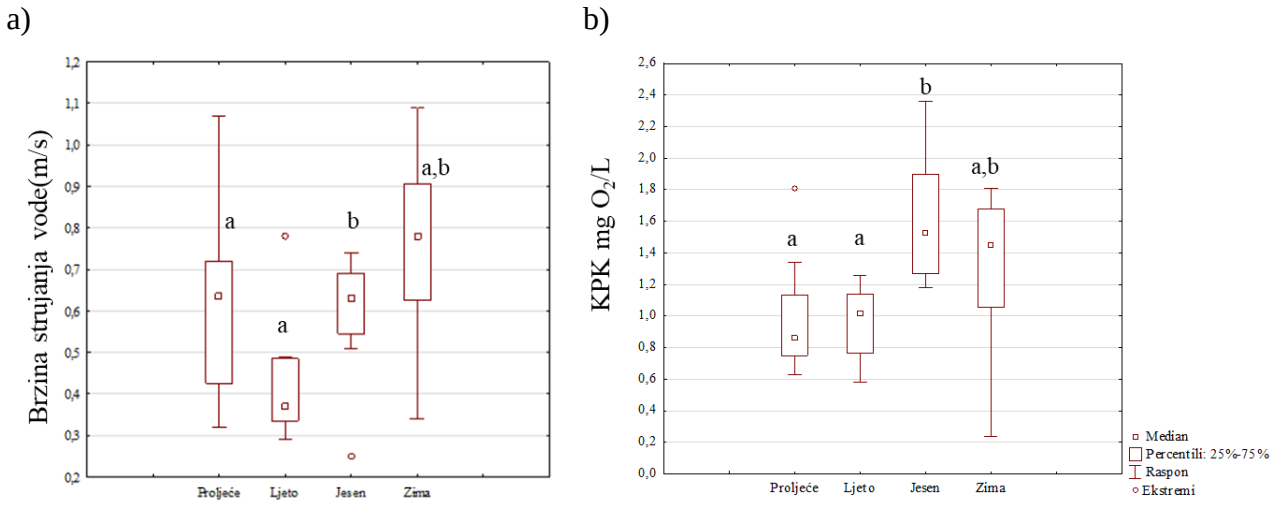
| | | *Cinclidotus aquaticus* | *Cinclidotus fontinaloides* | *Cratoneuron filicinum* | *Fontinalis antipyretica* | *Marchantia polymorpha* | *Mentha longifolia* | *Platyhypnidium riparioides* | *Pellia endiviifolia* | *Platyhypnidium riparioides* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Margalefov | indeks raznolikosti | 0,3282 | 0,4411 | 0,581 | 0,581 | | 0,581 | 0,4411 | 0,585 | 0,2837 |
| Brillouinov | indeks raznolikosti | | | | | 0,2812 | | | | 0,3425 |
| Fisherov | indeks raznolikosti | 0,3202 | 0,4406 | 0,5808 | 0,5808 | | 0,5808 | 0,4406 | 0,5866 | 0,2749 |
| Shannonov | indeks raznolikosti | | | | | 0,2794 | | | | 0,3384 |
| Simpsonov | indeks raznolikosti | | | | | | | | | 0,2478 |

## 4.2.10 Utjecaj sezonskih razlika na vodengrinje i ostale bentoske beskralježnjake

Statistički značajne sezonske razlike utvrđene su za protok, zasićenje vode kisikom, kemijsku potrošnju kisika (KPK) te brzinu strujanja vode (Slika 4.2.10.1). Ostali fizikalno - kemijski parametri nisu pokazali statistički značajne sezonske oscilacije.

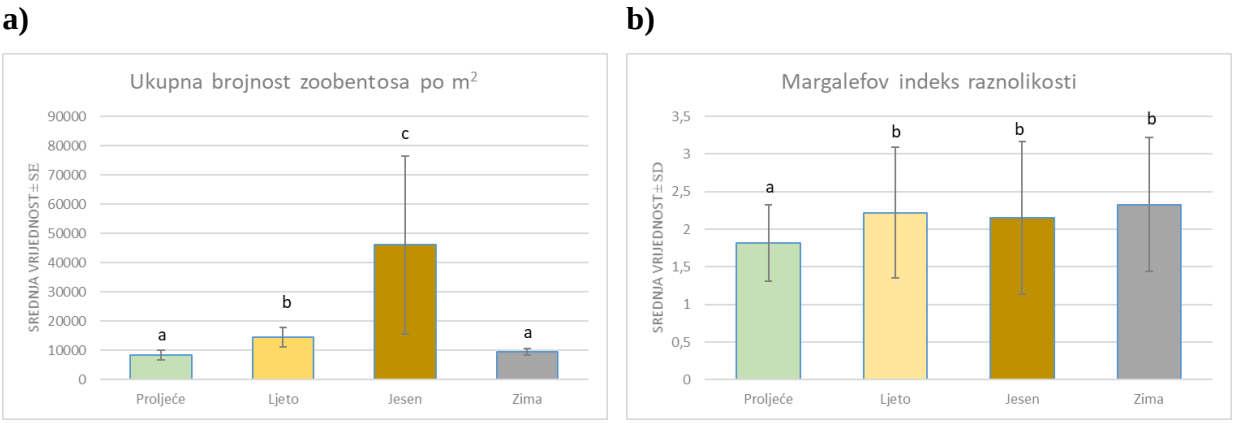



**Slika 4.2.10.1** Prikaz sezonskih oscilacija fizikalno kemijskih parametara: a) protok i b) zasićenje vode kisikom. Razlike između sezona testirane su *t* - testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su različitim slovima, dok ista slova indiciraju da značajna razlika između grupa podataka ne postoji.



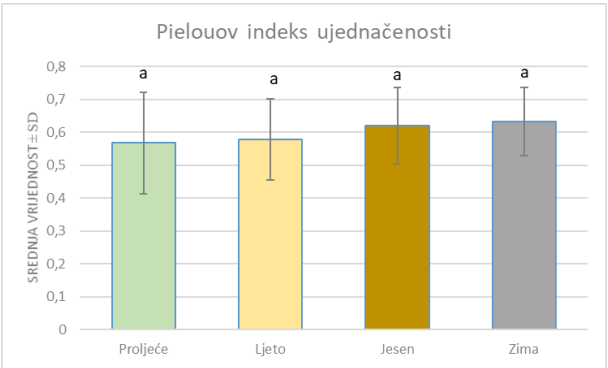

**Slika 4.2.10.1 (nastavak)** Prikaz sezonskih oscilacija fizikalno kemijskih parametara: c) brzina strujanja vode i b) kemijska potrošnja kisika. Razlike između sezona testirane su *t* - testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su različitim slovima, dok ista slova indiciraju da značajna razlika između grupa podataka ne postoji.

Razlike u ukupnoj brojnosti zoobentosa, Margalefovog, Brillouinovog, Fisherovog, Shannonovog i Simpsonovog indeksa raznolikosti te Pielouovog indeksa ujednačenosti zajednice testirane su po sezonama (Slika 4.2.10.2). Sezonske razlike utvrđene su za sve indekse raznolikosti te za ukupnu brojnost zoobentosa. Jedini indeks na koji nije utjecala sezonalnost bio je Pielouov indeks ujednačenosti (Slika 4.2.10.2c).

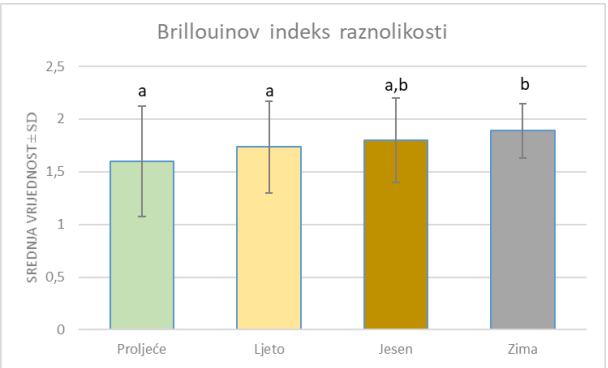



**Slika 4.2.10.2** Razlike između sezona u vrijednostima: **a)** ukupne brojnosti zoobentosa; **b)** Margalefovog indeksa raznolikosti. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih uzoraka istih sezona ± SE (standardna pogreška) ili ± SD (standardna devijacija). Razlike između sezona testirane su *t* - testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su različitim slovima.

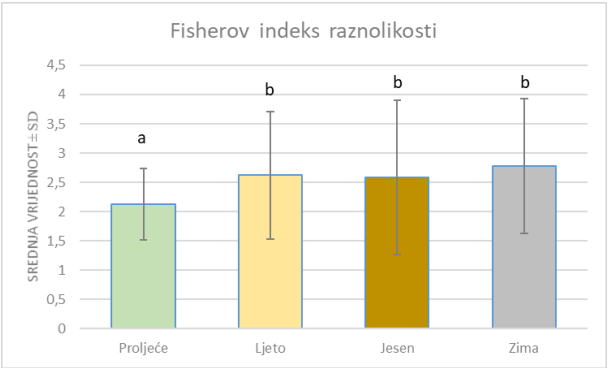
**c)**



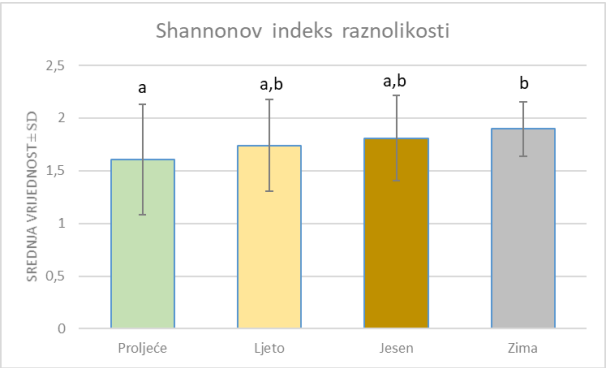

**d)**



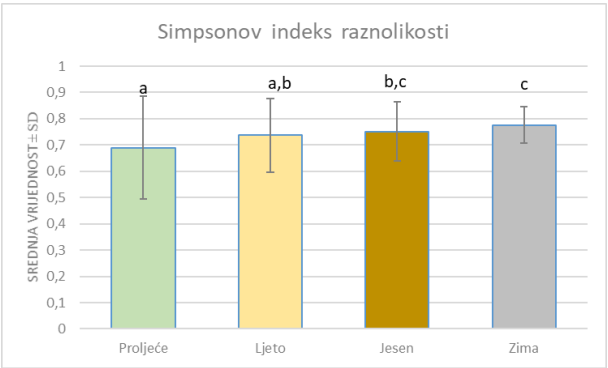

**e)**




**f)**

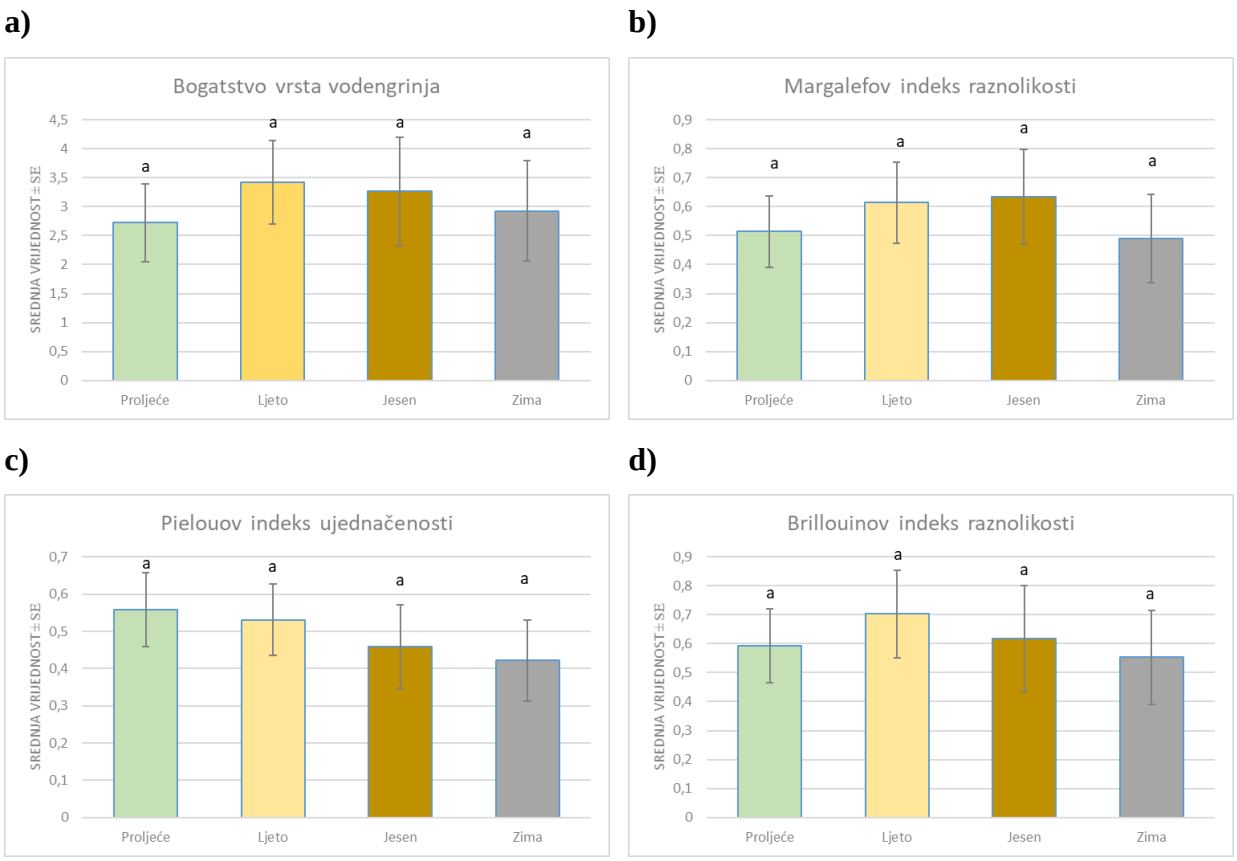



**g)**



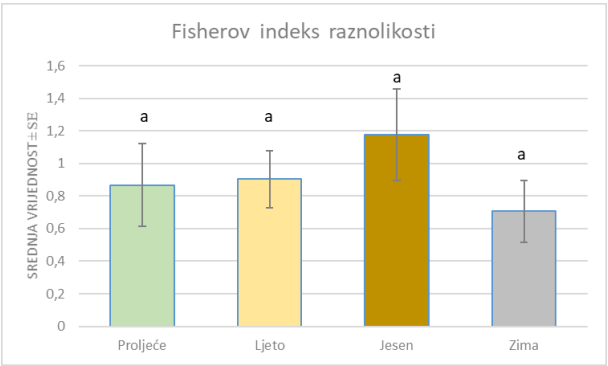

**Slika 4.2.10.2 (nastavak)** Razlike između sezona u vrijednostima: **c)** Pielouovog indeksa ujednačenosti; **d)** Brillouinovog indeksa raznolikosti; **e)** Fisherovog indeksa raznolikosti; **f)** Shannonovog indeksa raznolikosti; **g)** Simpsonovog indeksa raznolikosti. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih uzoraka istih sezona ± SE (standardna pogreška) ili ± SD (standardna devijacija). Razlike sezona testirane su *t* – testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su različitim slovima, dok ista slova indiciraju da značajna razlika između grupa podataka ne postoji.

Razlike u bogatstvu svojti i brojnosti vodengrinja, Margalefovog, Brillouinovog, Fisherovog, Shannonovog i Simpsonovog indeksa raznolikosti te Pielouovog indeksa ujednačenosti zajednice vodengrinja testirane su po sezonama (Slika 4.2.10.3). Sezonske razlike utvrđene su samo za ukupnu brojnost vodengrinja (Slika 4.2.10.3h).

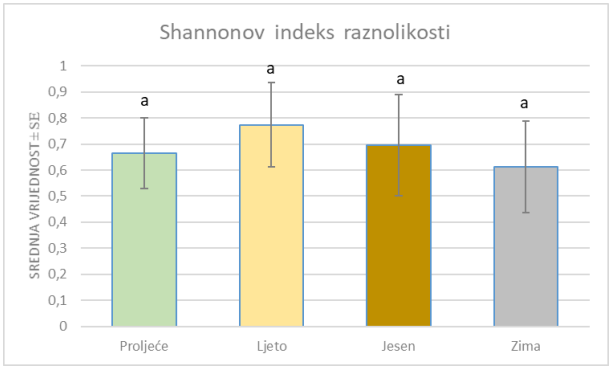



**Slika 4.2.10.3** Razlike između sezona u vrijednostima: **a)** Bogatstva svojti vodengrinja; **b)** Margalefovog indeksa raznolikosti; **c)** Pielouovog indeksa ujednačenosti; **d)** Brillouinovog indeksa raznolikosti na temelju zajednice vodengrinja. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih uzoraka istih sezona ± SE (standardna pogreška). Razlike sezona testirane su t - testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su različitim slovima, dok ista slova indiciraju da značajna razlika između grupa podataka ne postoji.

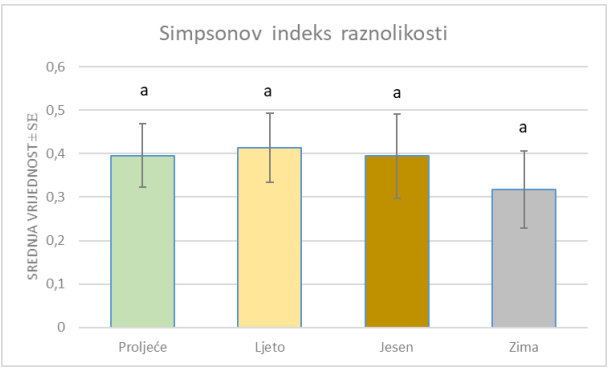
**e)**



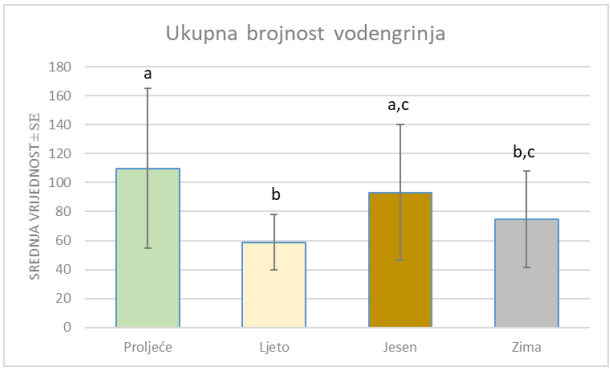

**f)**




**g)**

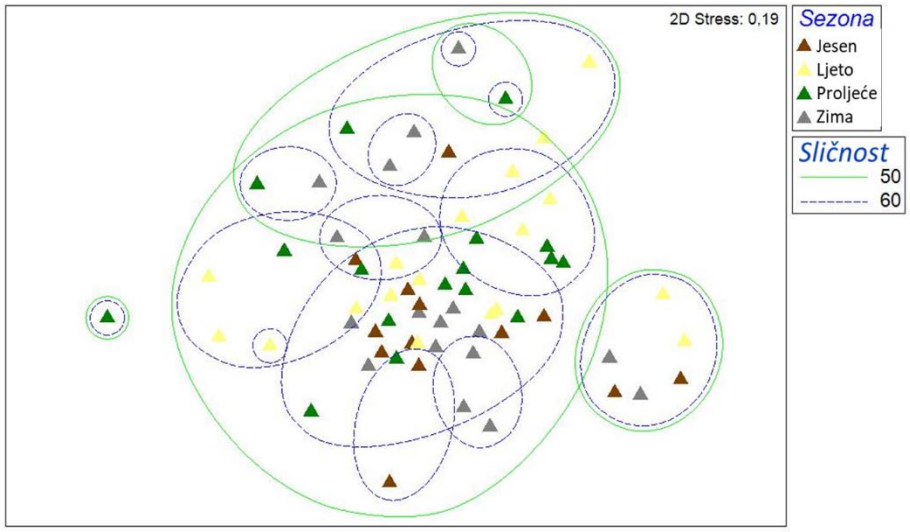



**h)**

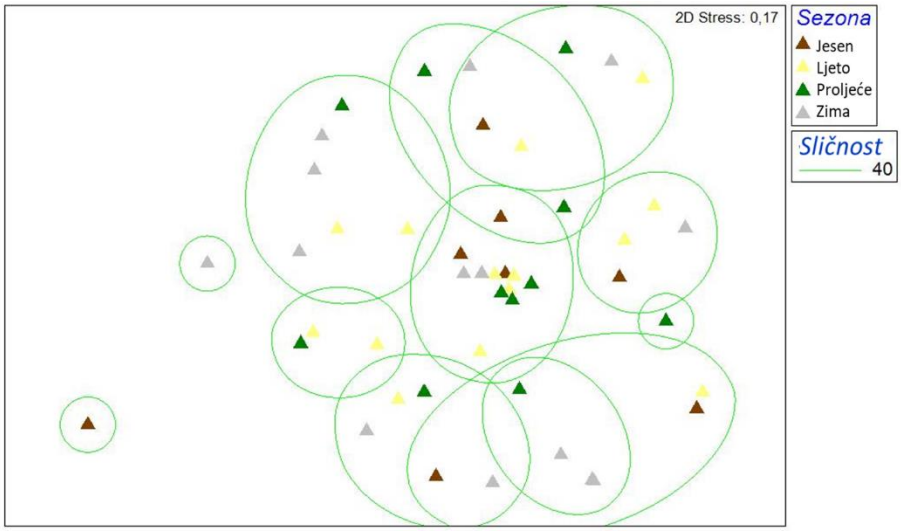



**Slika 4.2.10.3** Razlike između sezona u vrijednostima: **e)** Fisherovog indeksa raznolikosti; **f)** Shannonovog indeksa raznolikosti; **g)** Simpsonovog indeksa raznolikosti na temelju zajednice vodengrinja; **h)** Ukupna brojnost vodengrinja. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih uzoraka istih sezona ± SE (standardna pogreška). Razlike sezona testirane su t - testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su različitim slovima, dok ista slova indiciraju da značajna razlika između grupa podataka ne postoji.

Izračunom Bray - Curtisovog indeksa sličnosti između uzoraka zajednice bentoskih beskralježnjaka te prikazom pomoću nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja utvrđeno je kako nema jasnog grupiranja zajednica izvora s obzirom na sezone (Slika 4.2.10.4). Klaster analizom utvrđene su statistički značajne razlike između uzoraka istog, ali i različitog tipa supstrata te u ovom slučaju klaster analiza nije utvrdila jasno razdvajanje zajednica prema sezoni kako na razini cijele zajednice, tako i na razini zajednice vodengrinja (Slika 4.2.10.5).




**Slika 4.2.10.4** Prikaz nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) baziranog na Bray - Curtisovom indeksu sličnosti između uzoraka zajednice bentoskih beskralježnjaka prikupljenih u osam različitih izvora tijekom četiri sezone na tri tipa supstrata. Grupiranje uzoraka prikazano je prema sezonama. Podaci o brojnostima su logaritamski transformirani prije analize.




**Slika 4.2.10.5** Prikaz nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) baziranog na Bray - Curtis indeksu sličnosti između uzoraka zajednice vodengrinja uzimanih u osam različitih izvora, u četiri sezone s tri tipa supstrata. Grupiranje uzoraka prikazano je prema sezonama. Podaci o brojnostima su logaritamski transformirani prije analize.

## 4.3 Utjecaj ekotona izvora i podzemnih vodenih staništa na strukturu zajednica vodengrinja krenala

Vodengrinje zabilježene u ovom istraživanju podijeljene su s obzirom na preferencije prema zoni krenala i na preferencije prema podzemnim vodenim staništima u dvije sinekološke grupe (Tablica 4.3.1).

**Tablica 4.3.1** Popis svojti vodengrinja i njihove preferencije staništa s obzirom na zonu krenala i podzemna vodena staništa

| Svojta | Stanišni tip s obzirom na krenal | Stanišni tip s obzirom na podzemna vodena staništa |
|---|---|---|
| *Atractides gibberipapis* | | |
| *Atractides latipapis* | | Stigofil |
| *Atractides loricatus* | | |
| *Atractides nodipapis* | | |
| *Atractides pennatus* | Krenobiont | |
| *Atractides* sp. | | |
| *Atractides walteri* | Krenobiont | |
| *Aturus* sp. | | |
| *Feltria* sp. | | |
| *Hydrodroma reinhardii* | | |
| *Lebertia* sp. | | |
| *Lethaxona cavifrons* | | Stigofil |
| *Ljania macilenta* | | Stigofil |
| *Partnunia angusta* | Krenofil | Stigofil |
| *Partnunia steinmanni* | Krenobiont | |
| *Protzia eximia* | Krenofil | |
| *Protzia rugosa* | | |
| *Protzia squamosa* | Krenobiont | |
| *Pseudotorrenticola rhynchota* | | Stigofil |
| *Sperchon deticulatus group* | | |
| *Sperchon hibernicus* | | |
| *Sperchon* sp. | | |
| *Sperchon thienemanni* | Krenofil | |
| *Sperchon vaginosus* | | |
| *Torrenticola eliptica* | Krenofil | Stigofil |
| *Torrenticola* sp. | | |
| *Woolastookia rotundifrons* | | |

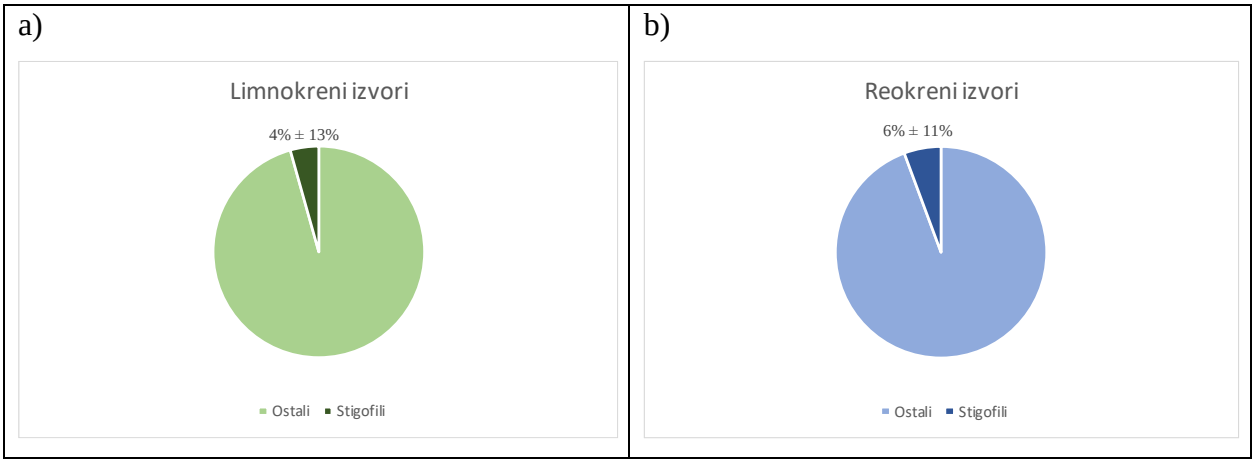
Udjeli stigofila u zajednici vodengrinja variraju od 0 do 53,08 % po uzorku, dok udjeli krenobionata i krenofila u zajednici vodengrinja dosižu i 100 % unutar uzorka (Tablica 4.3.2).

**Tablica 4.3.2** Zastupljenost vodengrinja s obzirom na stupanj adaptacije i sklonosti prema staništima u zoni krenala i podzemnim vodenim staništima u odnosu na ukupnu zastupljenost vodengrinja. --- označava uzorke u kojima nisu zabilježene vodengrinje. Postotni udjeli predstavljaju srednju vrijednost poduzoraka prikupljenih s različitih mikrostaništa.

| Izvor | Morfološki tip izvora | Sezona | Udio stigofila | Udio krenofila i krenobionata |
|---|---|---|---|---|
| Čabranka | Reokreni | Jesen | 1,82 % | 7,27 % |
| | | Ljeto | 0,00 % | 37,50 % |
| | | Proljeće | 5,92 % | 56,21 % |
| | | Zima | 0,00 % | 79,17 % |
| Cetina | Limnokreni | Jesen | 0,00 % | 0,00 % |
| | | Ljeto | 0,00 % | 100,00 % |
| | | Proljeće | --- | --- |
| | | Zima | 0,00 % | 92,86 % |
| Kamačnik | Limnokreni | Jesen | 0,00 % | 100,00 % |
| | | Ljeto | --- | --- |
| | | Proljeće | 0,00 % | 0,00 % |
| | | Zima | 0,00 % | 45,83 % |
| Krčić | Reokreni | Jesen | --- | --- |
| | | Ljeto | 0,00 % | 0,00 % |
| | | Proljeće | --- | --- |
| | | Zima | --- | --- |
| Kupa | Limnokreni | Jesen | 0,00 % | 14,29 % |
| | | Ljeto | 7,27 % | 7,27 % |
| | | Proljeće | 44,44 % | 44,44 % |
| | | Zima | 53,08 % | 53,08 % |
| Una | Limnokreni | Jesen | 0,00 % | 27,27 % |
| | | Ljeto | 0,00 % | 76,54 % |
| | | Proljeće | 0,00 % | 35,71 % |
| | | Zima | 0,00 % | 0,00 % |
| Zrmanja | Reokreni | Jesen | 6,67 % | 0,00 % |
| | | Ljeto | 1,52 % | 0,00 % |
| | | Proljeće | 0,00 % | 0,00 % |
| | | Zima | 0,00 % | 0,00 % |
| Žrnovnica | Reokreni | Jesen | 0,00 % | 50,00 % |
| | | Ljeto | 36,36 % | 36,36 % |
| | | Proljeće | 33,33 % | 33,33 % |
| | | Zima | 27,27 % | 100,00 % |

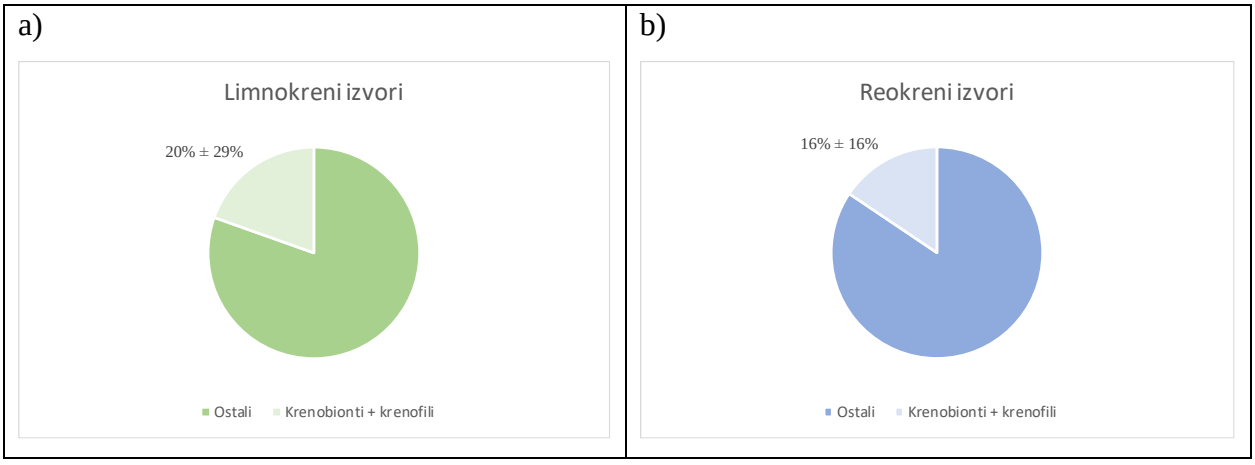
### 4.3.1 Utjecaj morfološkog tipa izvora na zastupljenost sinekoloških grupa vodengrinja

Udio stigofila u zajednici vodengrinja limnokrenih izvora (4,36 % ± 13,24 %) manji je u odnosu na udio istih u reokrenim izvorima (5,66 % ± 11,1 %; Slika 4.3.1.1), no ova razlika nije statistički značajna (Mann Whitney U - test, $Z = 0{,}728$; $p > 0{,}05$).




**Slika 4.3.1.1** Grafički prikaz udjela stigofilnih svojti u zajednici vodengrina u a) limnokrenim i b) reokrenim izvorima.

Udio krenobionata i krenofila u zajednici vodengrinja limnokrenih izvora (19,56 % ± 28,53 %) veći je u odnosu na udio istih u reokrenim izvorima (15,58 % ± 27,68 %; Slika 4.3.1.2), no ova razlika također nije statistički značajna (U - test, Z = 0,593; p = 0,555). U limnokrenom tipu izvora zabilježeno je statistički značajno veći udio krenobionata i krenofila u odnosu na stigofilne svojte vodengrinja (limnokreni Z = 2,846; p = 0,0044) dok razlike u reokrenim izvorima nisu značajne.




**Slika 4.3.1.2** Grafički prikaz udjela krenobiontnih i krenofilnih svojti u zajednici vodengrina u a) limnokrenim i b) reokrenim izvorima.

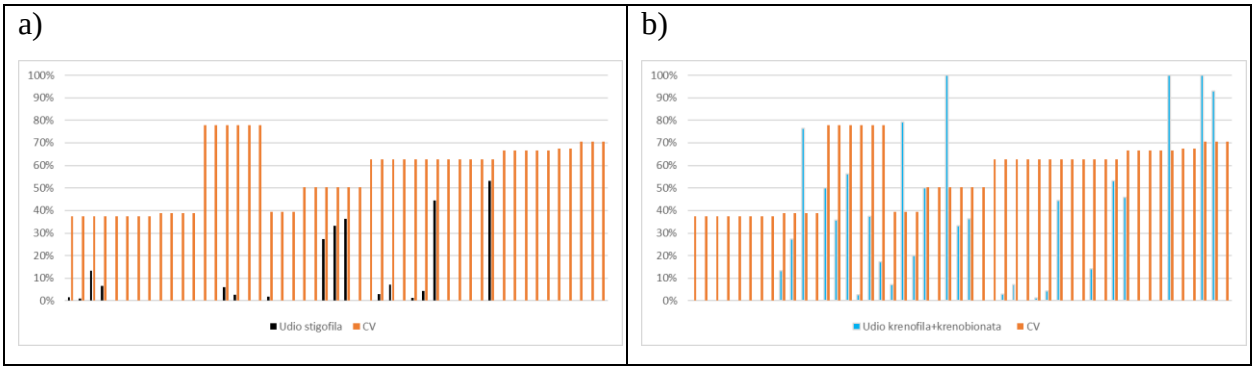
### 4.3.2 Utjecaj stabilnosti protoka na zastupljenost sinekoloških grupa vodengrinja

Koeficijent varijacije protoka izračunat je iz sezonskih podataka o protocima te je korišten kao mjera stabilnosti protoka (Tablica 4.3.2.1). U istraživanom je periodu najveći koeficijent varijacije, odnosno najveću varijabilnost protoka imao izvor Krčić (CV = 77,86 %), dok je najmanju varijabilnost protoka imao izvor Cetine (CV = 15,99 %).

**Tablica 4.3.2.1** Stabilnost protoka iskazana kroz osnovne statističke mjere po izvorima. Srednje vrijednosti protoka izračunate su iz sezonskih mjerenja u istraživanom razdoblju.

| | **Srednja vrijednost protoka ($m^3/s$)** | **Standardna devijacija** | **Koeficijent varijacije** |
|---|---|---|---|
| Cetina | 11,885 | 1,853 | 70,42 % |
| Čabranka | 2,632 | 4,667 | 39,27 % |
| Kamačnik | 4,605 | 3,064 | 66,53 % |
| Krčić | 5,667 | 4,412 | 77,86 % |
| Kupa | 9,846 | 6,181 | 62,77 % |
| Una | 9,375 | 3,654 | 38,98 % |
| Zrmanja | 4,791 | 1,794 | 37,44 % |
| Žrnovnica | 2,021 | 1,019 | 50,42 % |

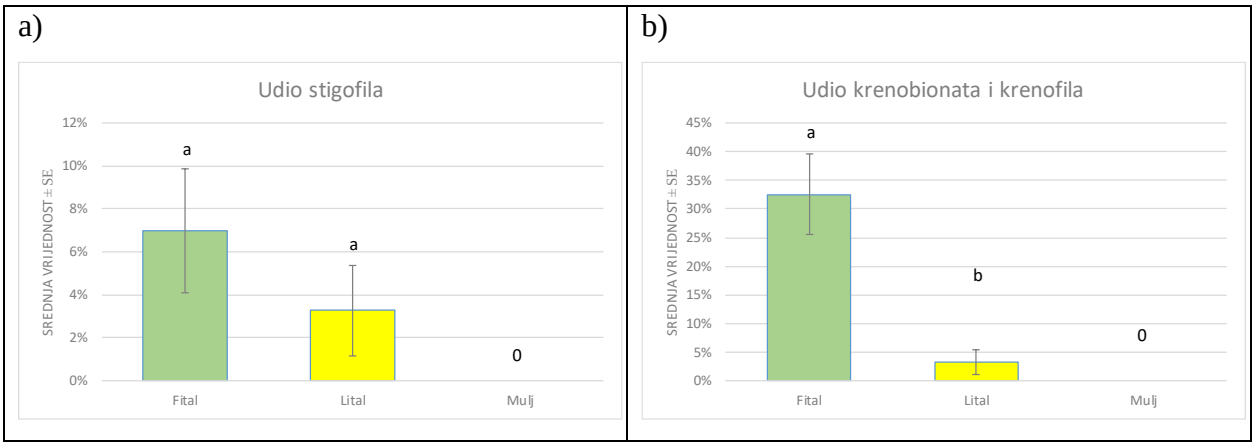
Stabilnost protoka nije statistički značajno korelirala s udjelom stigofila (r = 0,003; p = 0,982; Slika 4.3.2.1a), niti s udjelom krenobionata i krenofila (r = -0,1312; p = 0,369; Slika 4.3.2.1b).




**Slika 4.3.2.1** Grafički prikaz uzoraka s obzirom na vrijednosti koeficijenta varijabilnosti protoka (CV) i postotnog udjela **a)** stigofilnih i **b)** krenobiontnih i krenofilnih svojiti vodengrinja.

### 4.3.3 Utjecaj mikrostaništa na zastupljenost sinekoloških grupa vodengrinja

Udio stigofila u zajednici vodengrinja najveći je na mikrostaništu fitala (7 % ± 14,43 %), potom nešto manji na mikrostaništu litala (3,25 % ± 9,7 %), dok na mikrostaništu mulja nisu zabilježene stigofilne svojte vodengrinja (Slika 4.3.3.1). Razlike u udjelima stigofila između fitala i litala nisu statistički značajne ($Z$ = 1,284; $p$ > 0,05). Udio krenobionata i krenofila u zajednici vodengrinja najveći je na mikrostaništu fitala (32,57 % ± 35,42 %), potom nešto manji na mikrostaništu litala (3,25 % ± 9,7 %), dok na mikrostaništu mulja nisu zabilježene krenobiontne i krenofilne svojte vodengrinja. Razlike u udjelima krenobionata i krenofila između fitala i litala statistički su značajne (***Z* = 1,829; *p* < 0,05**)




**Slika 4.3.3.1** Razlike između tipova supstrata (fital, lital, mulj) u vrijednostima: a) Udio stigofila u zajednici vodengrinja; b) Udio krenobionata i krenofila u zajednici vodengrinja. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih uzoraka istih supstrata ± SE (standardna pogreška). Razlike između tipova testirane su Mann Whitney U testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su različitim slovima, dok ista slova indiciraju da značajna razlika između grupa podataka ne postoji.

### 4.3.4 Utjecaj zajednice zoobentosa na zastupljenost sinekoloških grupa vodengrinja

Udio stigofila u zajednici vodengrinja statistički je značajno pozitivno korelirao s udjelom grinja skupine Oribatida (***r* = 0,305; *p* < 0,05**). Ova skupina grinja, također je statistički značajno pozitivno korelirala s udjelom krenobiontnih i krenofilnih svojti vodengrinja (***r* = 0,298; *p* < 0,05**). Skupine Gastropoda (***r* = 0,364; *p* < 0,01**) i Turbellaria (***r* = 0,3740; *p* < 0,01**) također statistički

značajno pozitivno koreliraju s udjelom krenobiontnih i krenofilnih svojti vodengrinja. Ostale skupine bentoskuh beskralježnjaka ne koreliraju statistički značajno na udjele vodengrinja s obzirom na stanišne preferencije.

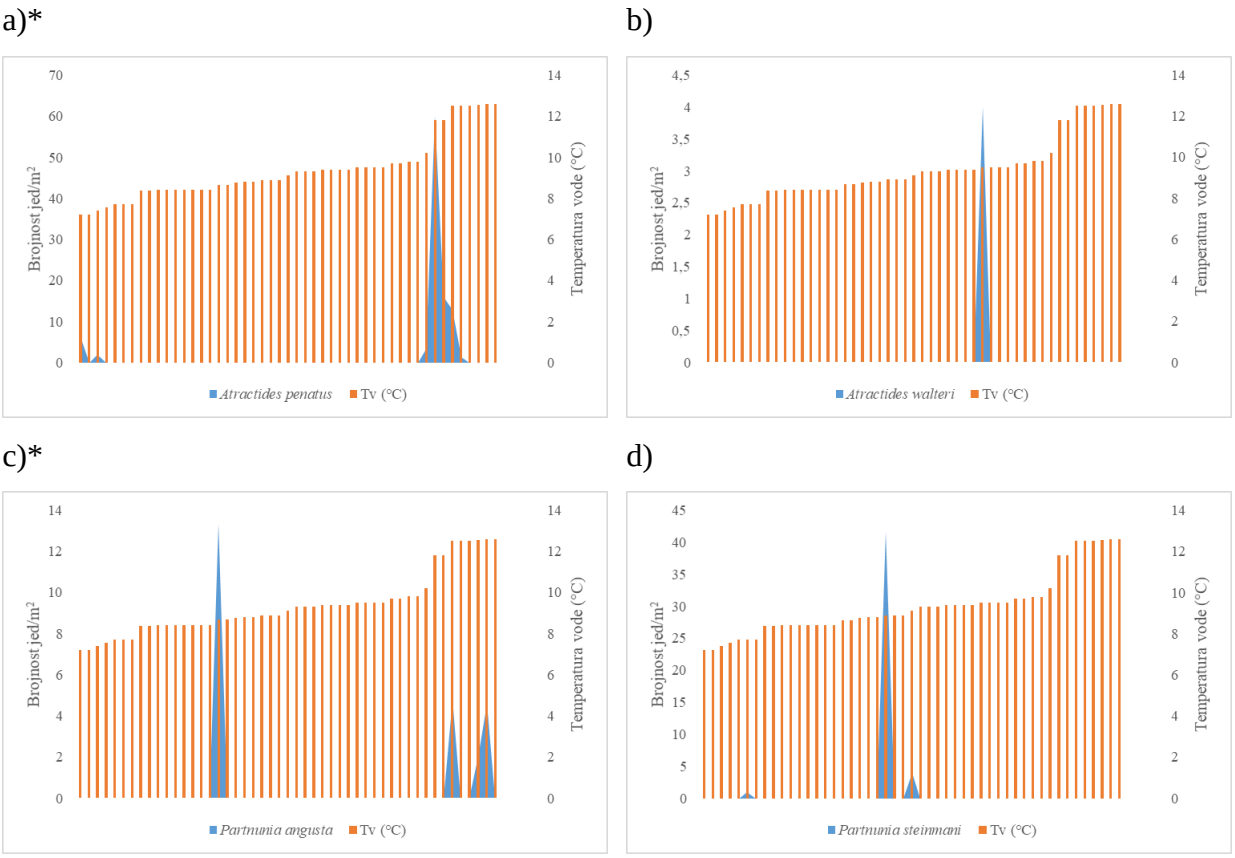
Na razini brojnosti te indeksa raznolikosti i sličnosti zajednice, jedino je Pielouov indeks ujednačenosti statistički značajno pozitivno korelirao s udjelom krenobiontnih i krenofilnih svojti vodengrinja (***r* = 0,298; *p* < 0,05**).

### 4.3.5 Utjecaj fizikalno - kemijskih parametara na zastupljenost sinekoloških grupa vodengrinja

Od šest testiranih fizikalno - kemijskih varijabli vode (temperatura, koncentracija otopljenog kisika, zasićenje kisikom, pH, električna provodnost, alkalinitet, kemijska potrošnja kisika i brzina strujanja vode), jedino je koncentracija otopljenog kisika statistički značajno korelirala s udjelom sinekološke grupe vodengrinja. Ova varijabla je statistički značajno negativno korelirala s udjelom krenobiontnih i krenofilnih svojti vodengrinja (***r* = -0,295; *p* < 0,05**). Udio stigofila u ukupnoj brojnosti vodengrinja nije statistički značajno korelirao niti s jednom od šest testiranih fizikalno - kemijskih varijabli.

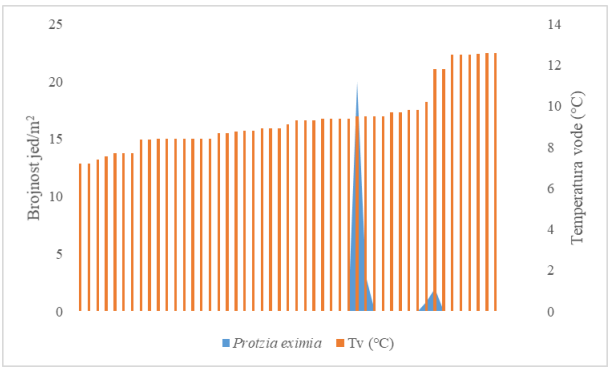
### 4.3.6 Utjecaj sezonskih temperaturnih oscilacija na krenofilne i krenobiontne svojte vodengrinja

U sklopu ovog istraživanja zabilježeno je osam svojti koje se u dosadašnjoj literature navode kao krenobionti i krenofili (Tablica 4.3.1). Ove svojte, odnosno njihove gustoće populacija prikazane su s obzirom na temperaturne oscilacije u izvorima (Slika 4.3.6.1). Linearne regresije pokazale su se statistički značajne za temperaturu vode kao zavisnu varijablu i nezavisnu varijablu gustoće populacija vrsta: *Atractides pennatus* (***b* = 0,313; *p* < 0,05**); *Partnunia angusta* (***b* = 0,282; *p* < 0,05**); *Protzia squamosa* (***b* = -0,71; *p* < 0,05**); *Sperchon thienemanni* (***b* = -0,48; *p* < 0,05**), *Torrenticola eliptica* (***b* = 0-,68; *p* < 0,05**), Krenofili + krenobionti ukupno (***b* = 0,692; *p* < 0,05**).

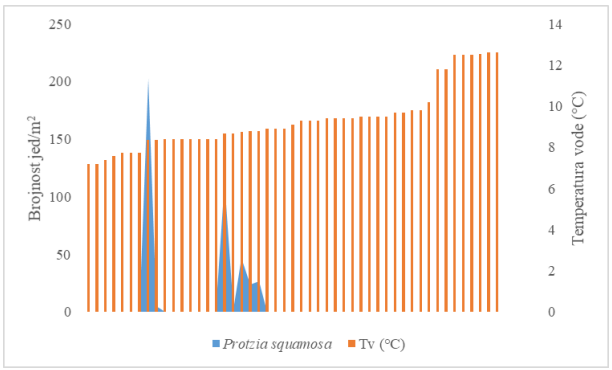



**Slika 4.3.6.1** Grafički prikaz gustoće populacije vrsta: **a)** *Atractides pennatus*, **b)** *Atractides walteri*, **c)** *Partnunia angusta*, **d)** *Partnunia steinmanni* s obzirom na vrijednosti temperature vode. Statistički značajne povezanosti izračunate linearnim regresijskim modelima označene su s*

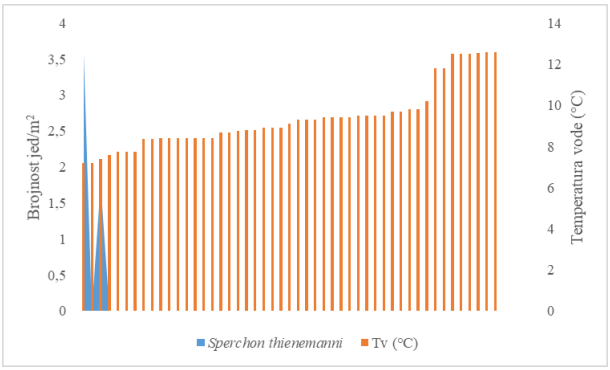
e)



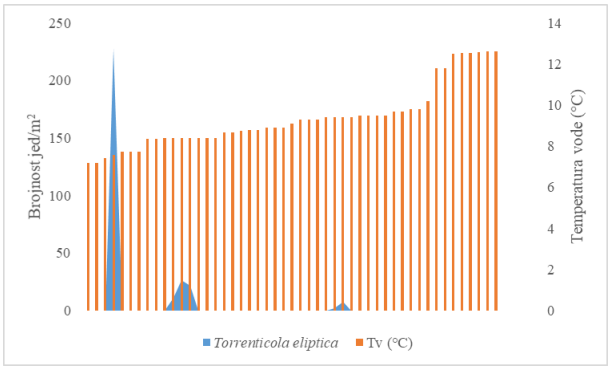

f)*



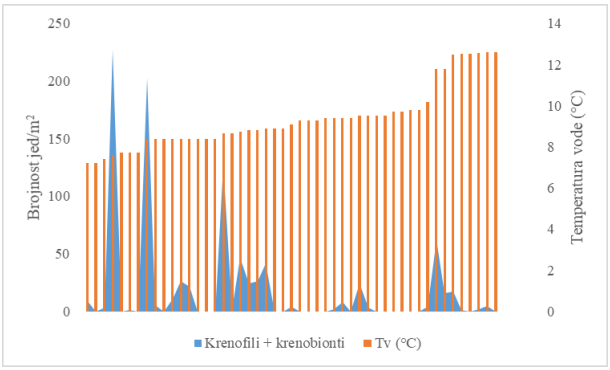

g)*




h)*




i)*




**Slika 4.3.6.1 (nastavak)** Grafički prikaz gustoće populacije vrsta: **e)** *Protzia eximia*, **f)** *Protzia squamosa*, **g)** *Sperchon thienemanni*, **h)** *Torrenticola eliptica*, **i)** krenofila i krenobionata ukupno s obzirom na vrijednosti temperature vode. Statistički značajne povezanosti izračunate regresijskim modelima označene su s*

## 4.4 Utjecaj zajednice zoobentosa na brojnost i zastupljenost pojedinih svojti vodengrinja

Ukupna brojnost vodengrinja i brojnost pojedinih svojti vodengrinja testirana za statistički značajne pozitivne korelacije s ostalim skupinama zoobentosa (Tablica 4.4.1). Negativne korelacije nisu uzimane u obzir. Ukupna brojnost vodengrinja i brojnost pojedinih svojti vodengrinja nisu statistički značajno korelirale sa sljedećim skupinama bentoskih beskralježnjaka: Bivalvia, Oligochaeta, Polychaeta, Amphipoda i Colembolla. Također su zabilježene i svojte vodengrinja čije brojnosti nisu statistički značajno korelirale ni s jednom skupinom bentoskih beskralježnjaka: *Partnunia steinmanni*, *Sperchon hibernicus*, *Sperchon vaginosus*, *Sperchon thienemanni* i *Woolastookia rotundifrons*. Ove svojte nisu prikazane u tablici 4.1.1.

**Tablica 4.4.1** Vrijednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije ($r$) između brojnosti pojedinih svojti vodengrinja i prisustva pojedinih skupina bentoskih beskralježnjaka. Iskazane su samo statistički značajne ($p < 0,05$) pozitivne korelacije.

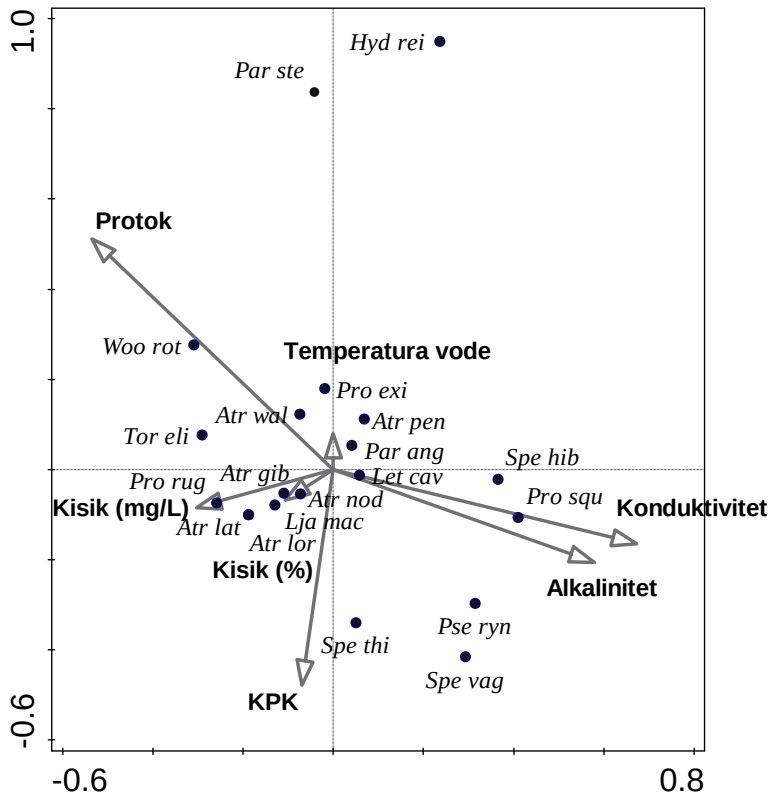
| **Svojta** | Hydrachnidia | *Atractides* sp. | *Atractides gibberipapis* | *Atractides latipapis* | *Atractides loricatus* | *Atractides nodipapis* | *Atractides pennatus* | *Atractides walteri* | *Aturus* sp. | *Feltria* sp. | *Hydrodroma reinhardii* | *Lebertia* sp. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TURBELLARIA | | | | | | | 0,344 | 0,260 | | | | |
| NEMATODA | | | | | | | | | | 0,293 | | 0,278 |
| GASTROPODA | | | | | | | 0,296 | | | | | |
| ASTIGMATA | | | | | | | | | | 0,365 | | |
| GAMASIDA | | | 0,288 | | | | | | | 0,319 | | 0,265 |
| MESOSTIGMATA | | 0,350 | 0,370 | 0,339 | | 0,308 | | | 0,375 | | | |
| ORIBATIDA | | | | | | | | | | | | |
| OSTRACODA | | | | | | | | | | | 0,365 | |
| COPEPODA | | | | | 0,262 | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0,243 | | 0,326 | 0,323 | 0,702 | 0,424 | | | 0,524 | | | |
| ISOPODA | | | | | | | | 0,527 | | | | |
| EPHEMEROPTERA | 0,408 | | 0,408 | | | 0,248 | | | 0,301 | | | 0,440 |
| PLECOPTERA | 0,492 | 0,482 | 0,261 | | | 0,286 | | | 0,356 | 0,322 | | 0,319 |
| HETEROPTERA | | | | 0,259 | 0,579 | | | | | | | |
| COLEOPTERA | 0,355 | | 0,285 | | | | | | | | | |
| DIPTERA | 0,396 | 0,290 | 0,305 | | | 0,321 | | | | 0,253 | | 0,414 |

**Tablica 4.4.1 (nastavak)** Vrijednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije ($r$) između brojnosti pojedinih svojti vodengrinja i prisustva pojedinih skupina bentoskih beskralježnjaka. Iskazane su samo statistički značajne ($p < 0,05$) pozitivne korelacije.

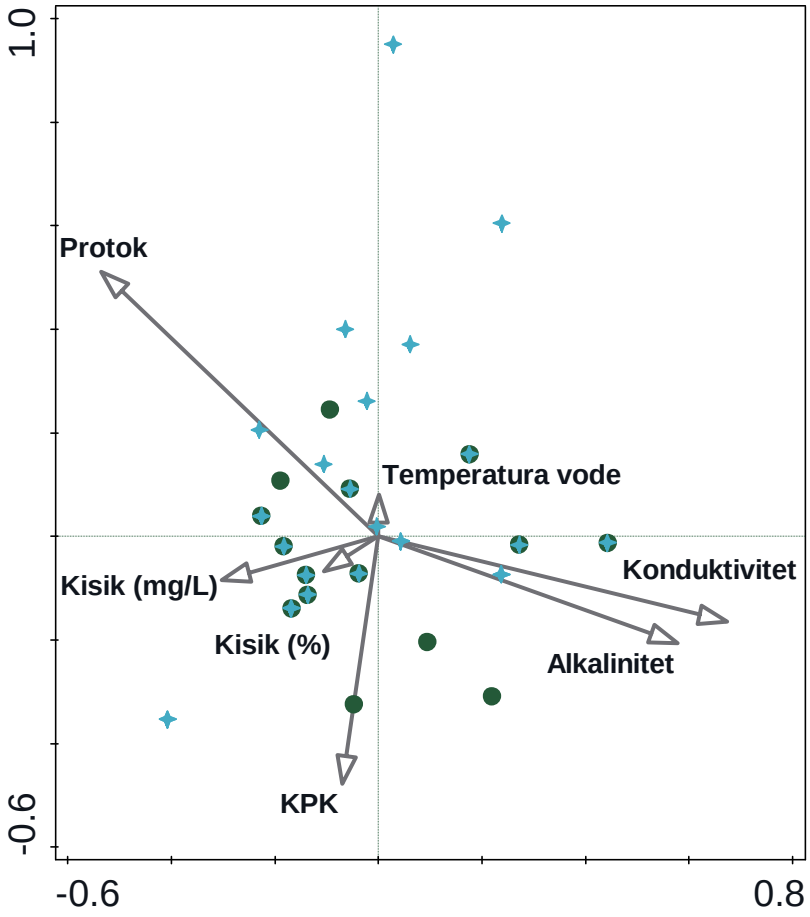
| Svojta | *Lethaxona cavifrons* | *Ljania macilenta* | *Partnunia angusta* | *Protzia eximia* | *Protzia squamosa* | *Protzia rugosa* | *Pseudotorrenticola rhynchota* | *Sperchon deticulatus* group | *Sperchon* sp. | *Torrenticola eliptica* | *Torrenticola* sp. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TURBELLARIA | | | 0,244 | 0,357 | | | | | | | |
| NEMATODA | | | | | | | 0,249 | | | | 0,260 |
| GASTROPODA | | | | | | | | | | | |
| ASTIGMATA | | | | | | | | | | | |
| GAMASIDA | | | | | 0,387 | | 0,917 | | | | 0,506 |
| MESOSTIGMATA | | | | | | 0,395 | | | | | |
| ORIBATIDA | | | 0,446 | | | | | | | | |
| OSTRACODA | | | | | | | | | | | |
| COPEPODA | | 0,300 | | | | | | | | | |
| CLADOCERA | 0,484 | 0,596 | | | | | | | 0,309 | | 0,471 |
| ISOPODA | | | | 0,461 | | | | | | | |
| EPHEMEROPTERA | | | | | | | | | | | 0,384 |
| PLECOPTERA | 0,254 | | | | 0,260 | 0,277 | | 0,248 | 0,341 | | 0,295 |
| HETEROPTERA | | 0,486 | | | | | | | | | |
| COLEOPTERA | | | | | 0,380 | | | 0,320 | | | |
| DIPTERA | | | | | | | | | 0,331 | 0,289 | 0,274 |

## 4.5 Rasprostranjenost vodengrinja

CCA analiza korištena je za testiranje zastupljenosti vodengrinja s obzirom na sedam od devet izmjerenih parametara vode (Slika 4.5.1). Brzina strujanja vode i pH izostavljene su iz analize budući da su ovo parametri koji u prethodnim analizama nisu statistički značajno korelirali ni s jednom svojtom vodengrinja. Testiranim parametrima se objasnilo 33,6 % ukupne varijacije raspodjele zajednica vodengrinja (ukupna varijacija je iznosila 6,317). Monte Carlo test utvrdio je da su vrijednosti ordinacije statistički značajne (***F* = 2,4; *p* < 0,01**). Vrijednosti prve dvije osi iznosile su 0,610 i 0,543. Vrste *Protzia squamosa, Pseudotorrenticola rhynchota, Sperchon hibernicus* i *Sperchon vaginosus* su utvrđene u izvorima u kojima su zabilježene više vrijednosti električne provodnosti i alkaliniteta. Vrste *Atractides latipapis, Atractides loricatus* i *Protzia rugosa* su vrste vodengrinja koje su se na ordinaciji grupirale prema višim vrijednostima otopljenog kisika (koncentracija i saturacija) u vodi. Vrste *Atractides walteri, Torrenticola eliptica* i *Woolastookia rotundifrons* su vodengrinje koje su povezane uz više vrijednosti protoka na istraživanim izvorima. Vrste *Hydrodroma reinhardi, Partnunia steinmanni* i *Protzia eximia* su vodengrinje koje su u ordinaciji povezane s višim vrijednostima temperature vode. Vrsta *Sperchon thienemanni* je povezana s povećanim vrijednostima kemijske potrošnje kisika (KPK). Ostale vrste (*Atractides gibberipapis, Atractides nodipapis Atractides pennatus Lethaxona cavifrons, Ljania macilenta i Partnunia angusta*) smještene su centralno u ordinaciji. U istoj ordinaciji i vrijednostima osi prikazani su i uzorci, odnosno zajednice vodengrinja (Slika 4.5.2) u kojima su zajednice podijeljene s obzirom na slijev iz kojeg potječu. Brojna preklapanja u ordinaciji uzoraka / zajednica ne daju jasnu sliku o povezanosti cijelih zajednica pojedinih slijevova s fizikalno - kemijskim obilježjima vode. Jedina vidljiva povezanost je ona iz nekoliko uzoraka Jadranskoga slijeva s višim vrijednostima temperature vode (Žrnovnica, Cetina).

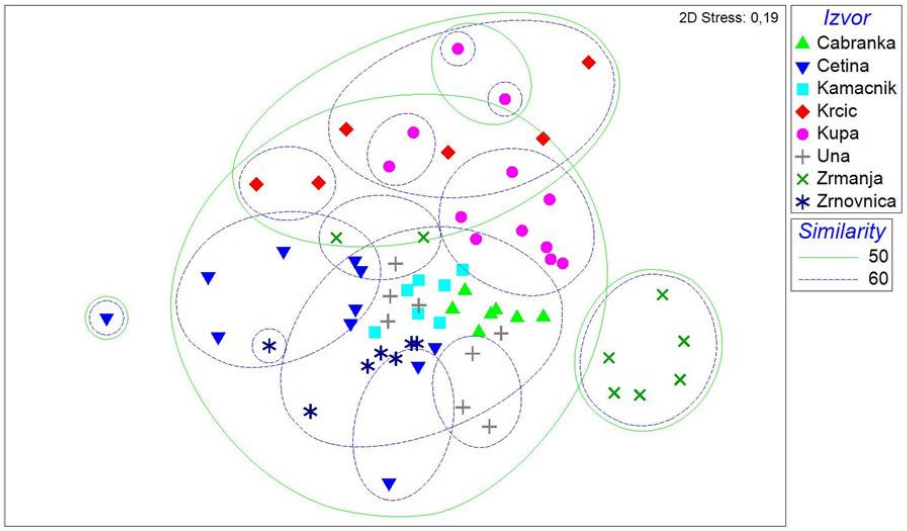



**Slika 4.5.1.** Grafički prikaz CCA analize: distribucija vodengrinja s obzirom na fizikalno - kemijska svojstva vode. Vrste vodengrinja su označene crnim krugovima (●) te su u analizi korištene brojnosti samo onih svojti koje su determinirane do razine vrste. Fizikalno - kemijski parametri vode označeni su strelicama. KPK = kemijska potrošnja kisika. *Atractides gibberipapis = Atr gib, Atractides latipapis = Atr lat, Atractides loricatus = Atr lor, Atractides nodipapis = Atr nod, Atractides pennatus = Atr pen, Atractides walteri = Atr wal, Hydrodroma reinhardii = Hyd rei, Lethaxona cavifrons = Let cav, Ljania macilenta = Lja mac, Partnunia angusta = Par ang, Partnunia steinmanni = Par ste, Protzia eximia = Pro exi, Protzia rugosa = Pro rug, Protzia squamosa = Pro squ, Pseudotorrenticola rhynchota = Pse ryn, Sperchon hibernicus = Spe hib, Sperchon thienemanni = Spe thi, Sperchon vaginosus = Spe vag, Torrenticola eliptica = Tor eli, Woolastookia rotundifrons = Woo rot.*

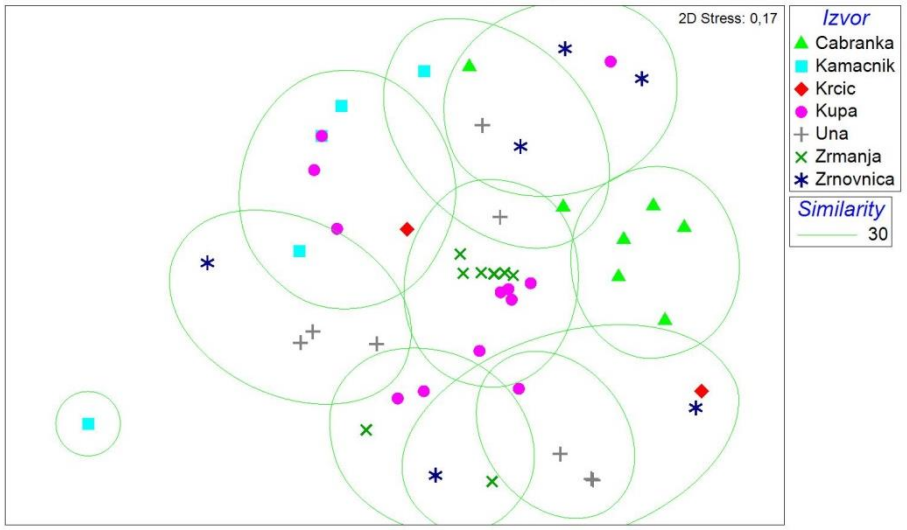



**Slika 4.5.2** Grafički prikaz CCA analize: uzorci zajednice vodengrinja s obzirom na fizikalno-kemijska svojstva vode. Zajednice vodengrinja izvora Crnomorskog slijeva označene su tamno zelenim krugovima (●) dok su zajednice vodengrinja izvora Jadranskog slijeva označene plavim zvjezdicama (✦). Fizikalno - kemijski parametri vode označeni su strelicama. KPK = kemijska potrošnja kisika.

Populacije vrsta *Atractides latipapis, Atractides loricatus, Hydrodroma reinhardi, Lethaxona cavifrons i Ljania macilenta* nađene su isključivo u izvorima Jadranskog slijeva, dok su vrste *Atractides walteri, Protzia eximia, Protzia squamosa, Pseudotorrenticola rhynchota, Sperchon hibernicus, Sperchon vaginosus, Sperchon thienemanni, Torrenticola eliptica* i *Woolastookia rotundifrons* nađene samo u izvorima Crnomorskog slijeva. Premda su ove vrste specifične samo za pojedine regije, zajednice vodengrinja u cijelosti ne dijele se s obzirom na geografsku pripadnost (Slika 4.5.2). Međutim, dok je na razini cijele zajednice (svih prikadnika beskralježnjaka) vidljivo grupiranje prema lokalitetu (Slika 4.5.3), ukupno gledano uzorci vodengrinja pokazuju mnogo veću heterogenost (Slika 4.5.4).

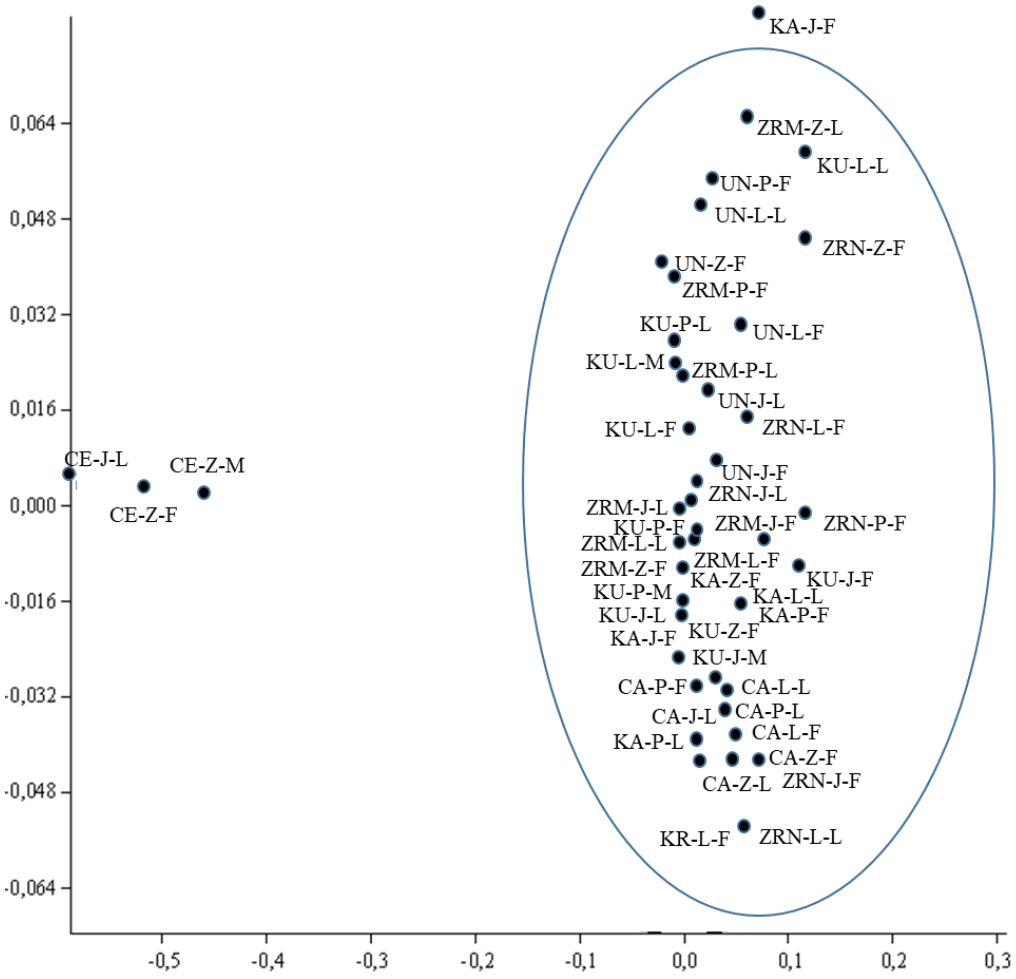



**Slika 4.5.3** Prikaz nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) baziranog na Bray - Curtisovom indeksu sličnosti između uzoraka zajednica bentoskih beskralježnjaka prikupljenih u osam različitih izvora tijekom četiri sezone na tri tipa supstrata (fital, lital, mulj). Grupiranje uzoraka prikazano je prema lokalitetima (izvorima) na kojima su prikupljeni uzorci. Podaci o gustoćama populacija su logaritamski transformirani prije analize.



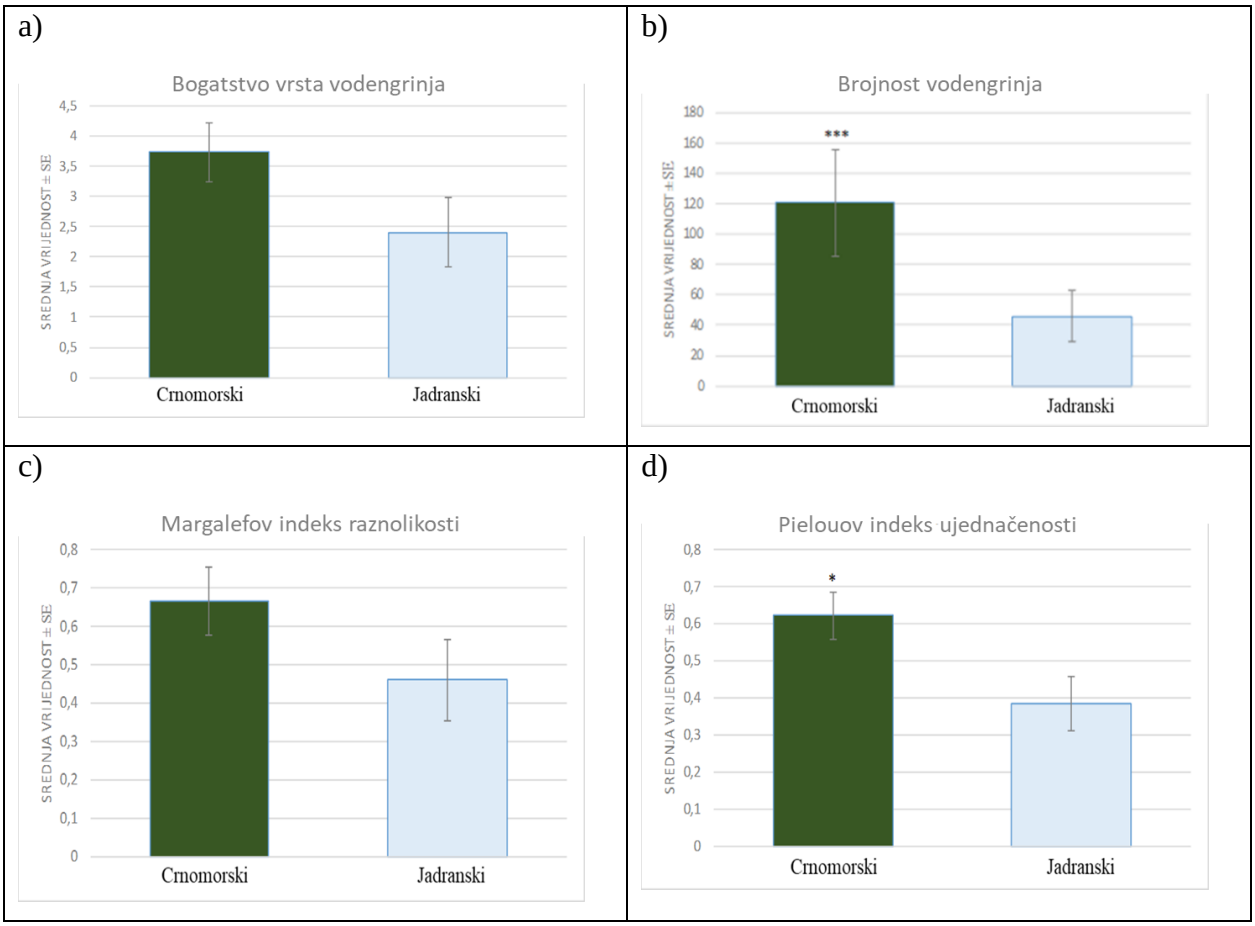

**Slika 4.5.4** Prikaz nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) baziranog na Bray - Curtisovom indeksu sličnosti između uzoraka zajednica vodengrinja prikupljenih u osam izvora tijekom četiri sezone na tri tipa supstrata (fital, lital, mulj). Grupiranje uzoraka prikazano je prema lokalitetima (izvorima) na kojima su prikupljeni uzorci. Podaci o gustoćama populacija su logaritamski transformirani prije analize.

Grupiranje zajednica u kojoj su svojte vodengrinja analizirane na razini prisustva ili odsustva ukazuje na smještanje tri uzorka s izvora Cetine te jednog uzorka s izvora Kamačnik u tzv. „outgrupe“, odnosno zajednice koje su najrazličitije po sastavu svojti vodengrinja (Slika 4.5.5).

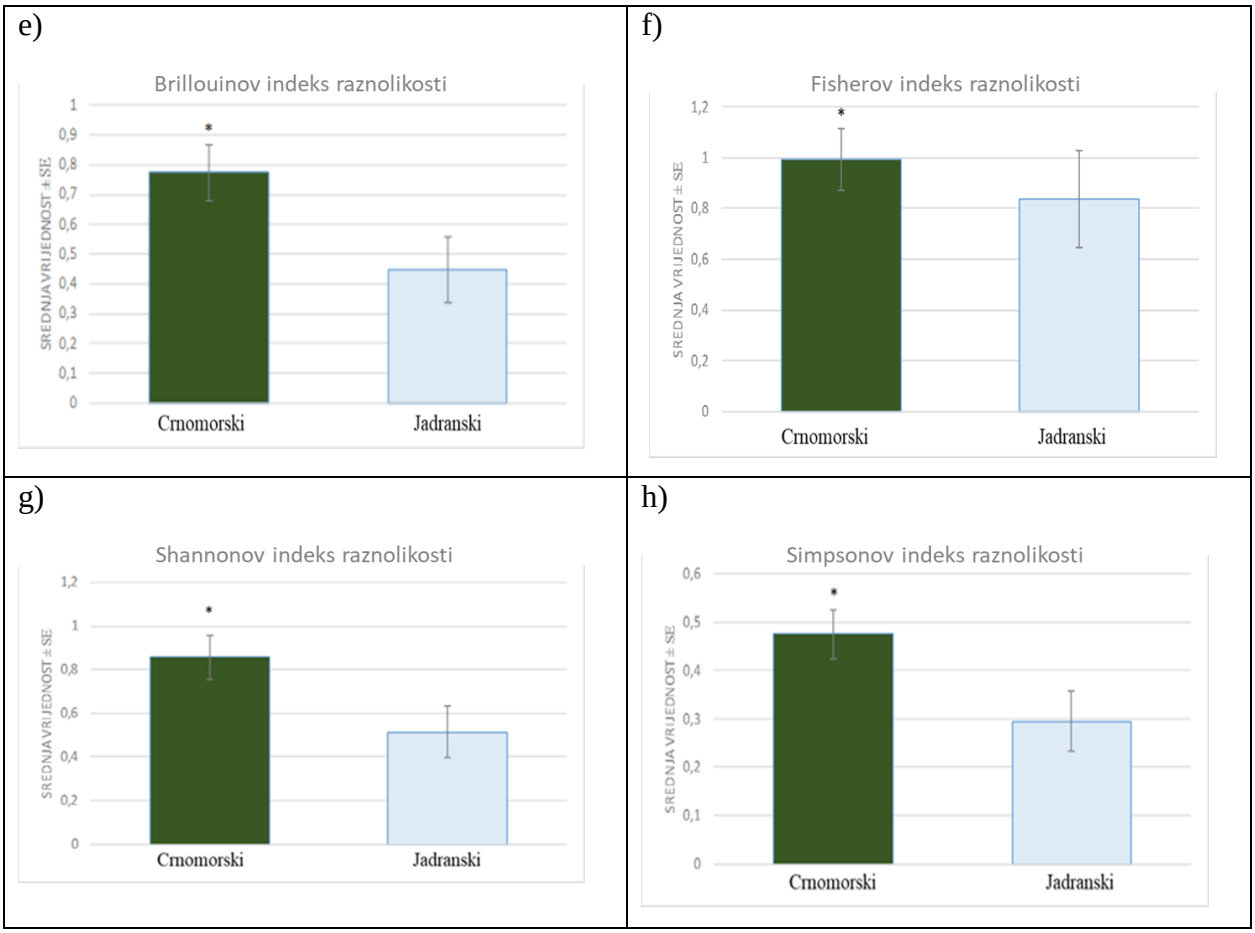



**Slika 4.5.5** Prikaz nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (nMDS) baziranog na Jaccardovom indeksu sličnosti između uzoraka zajednica vodengrinja prikupljenih u osam različitih izvora tijekom četiri sezone na tri tipa supstrata. Grupiranje uzoraka obuhvaća 90 % uzoraka smještenih u ordinaciji. Podaci o gustoći populacija svedeni su na prisustvo i odsustvo svojti. Prva dva ili tri slova predstavljaju kratice izvora: Čabranka (CA), Cetina (CE), Kamačnik (KA), Krčić (KR), Kupa (KU), Una (UN), Zrmanja (ZRM) i Žrnovnica ZRN). Potom slijedi oznaka sezone: Proljeće (P), Ljeto (L), Jesen (J) i Zima (Z). Zadnji dio naziva odnosi se na mikrostanište : Fital, Lital, Mulj.

Zajednice vodengrinja analizirane su s obzirom na podijeljenost slijevnih područja: Crnomorski i Jadranski slijev. Statistički značajne razlike u fizikalno kemijskim parametrima između slijevova utvrđene su za temperaturu, čije su vrijednosti više u izvorima jadranskog slijeva (***F = 1,940; p < 0,05***) i pH čije su vrijednosti više u izvorima Crnomorskog slijeva (***F = 1,030; p < 0,001***). Ukupna brojnost vodengrinja, Pielouov indeks ujednačenosti te Brillouinov, Fisherov, Shannonov i Simpsonov indeks raznolikosti pokazali su statistički značajno veće vrijednosti u izvorima Crnomorskog slijeva u odnosu na izvore Jadranskog slijeva (Slika 4.5.6). Bogatstvo svojti vodengrinja i Margalefov indeks raznolikosti, premda većih vrijednosti u Crnomorskom slijevu, nisu pokazali statistički značajnu razliku među slijevovima.




**Slika 4.5.6** Razlike između slijevnih područja u vrijednostima: **a)** bogatstva svojti vodengrinja; **b)** brojnosti vodengrinja; **c)** Margalefovog indeksa raznolikosti; **d)** Pielouovog indeksa ujednačenosti temeljenim na zajednicama vodengrinja. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih uzoraka istih slijevnih područja ± SE (standardna pogreška). Razlike sezona testirane su *t* - testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su s *** za p < 0,001 i * za < 0,05.




**Slika 4.5.6 (nastavak)** Razlike između slijevnih područja u vrijednostima: **e)** Brillouinovog indeksa raznolikosti; **f)** Fisherovog indeksa raznolikosti; **g)** Shannonovog indeksa raznolikosti; **h)** Simpsonovog indeksa raznolikosti temeljenim na zajednicama vodengrinja. Stupci su prikazani kao srednja vrijednost svih uzoraka istih slijevnih područja ± SE (standardna pogreška). Razlike sezona testirane su *t* - testom, statistički značajne razlike među tipovima označene su s *** za $p < 0,001$ i * za $< 0,05$.

## 4.6 Nove vrste vodengrinja za faunu Hrvatske

U sklopu ovog rada osam novih svojti zabilježeno je za faunu vodengrinja Hrvatske.

*Atractides latipalpis* (Motaş & Tanasachi, 1946)

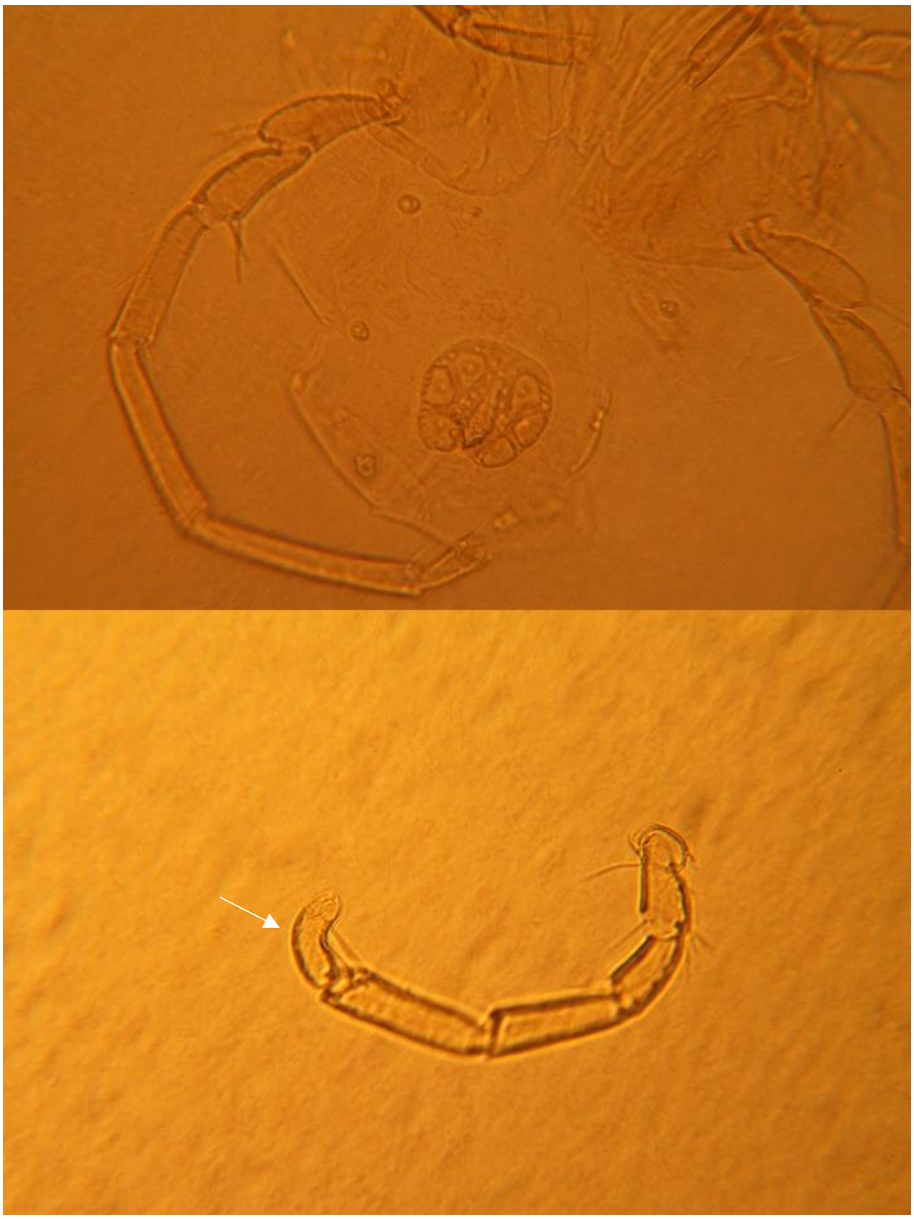
Petnaest jedinki ove vrste uzorkovano je u izvoru rijeke Zrmanje 18.10.2014 (Slika 4.6.1). Dvije jedinke nalazile su se u uzorku prikupljenom sa sedimenta miješanog sastava makrolitala i mezolitala. Preostalih trinaest jedinki prikupljeno je u uzorku s fitala, točnije sastojine mahovina.



Slika 4.6.1 *Atractides latipalpis* (preparat), nova vrsta za faunu Hrvatske. Jedno od determinacijskih svojstava je krakterističan oblik genitalnog područja.

*Atractides walteri* (K. Viets, 1925)

Samo jedna jedinka (Slika 4.6.2 ) ove vrste zabilježena je u izvoru rijeke Une 25.11.2014. u uzorku prikupljenom s vodenih makrofita.



Slika 4.6.2 *Atractides walteri* (preparat), nova vrsta za faunu Hrvatske. Jedno od determinacijskih svojstava je krakteristični oblik zadnjeg segmenta prve noge (I-L-6).

*Lethaxona cavifrons* Szalay, 1943

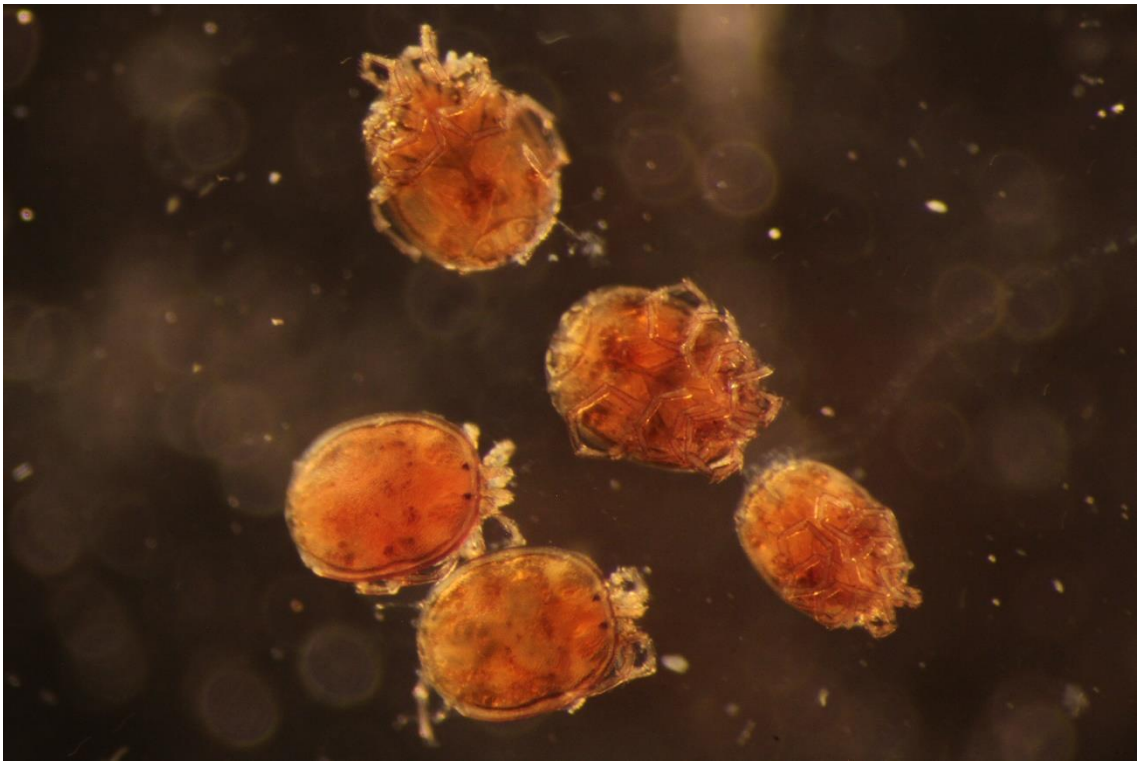
Dvije jedinke ove vrste zabilježene su u izvoru Zrmanje 10.8.2014 (Slika 4.6.3). Jedna jedinka u uzorku prikupljenom sa sedimenta miješanog sastava makrolitala i mezolitala, a druga u uzorku prikupljenom s fitala.



Slika 4.6.3 *Lethaxona cavifrons*, nova vrsta za faunu Hrvatske. Jedno od determinacijskih svojstava je krakterističan oblik obruba dorzalne ploče.

*Ljania macilenta* Koenike, 1908

Ukupno sedamnaest jedinki ove vrste zabilježeno je na izvoru Zrmanje (Slika 4.6.4). Dvije su jedinke 10.8.2014. prikupljene u uzorku sa sastojina mahovina te petnaest jedinki 18.10.2014. (dvije u uzorku sa sastojina mahovina, a ostatak jedinki u uzorku prikupljenom sa sedimenta miješanog sastava makrolitala i mezolitala).



Slika 4.6.4 *Ljania macilenta*, nova vrsta za faunu Hrvatske. Jedno od determinacijskih svojstava je krakterističan oblik o dorzalne i ventralne ploće te genitalnog područja.

*Partnunia steinmanni* Walter, 1906

Jedinke ove vrste zabilježene su u dva limnokrena izvora: Kupi i Cetini. U izvoru Cetine dvije jedinke pronađene su 3.6.2014. u uzorku s pijeska te 19.3.2016. trinaest jedinki u uzorku sa sastojina mahovina (Slika 4.6.5). U izvoru Kupe pronađena je samo jedna jedinka 13.12.2014. u uzorku uzetom sa sedimenta miješanog sastava mezolitala i mikrolitala.



Slika 4.6.5 *Partnunia steinmanni*, nova vrsta za faunu Hrvatske. Jedno od determinacijskih svojstava je tijelo bez sklerotiziranih dijelova, genitalno područje i panđice na nogama.

*Sperchon hibernicus* Halbert, 1944

Na izvoru rijeke Čabranke 15.6.2015. nađeno je ukupno 36 jedinki ove vrste (Slika 4.6.6). U uzorku uzetom sa sedimenta miješanog sastava mezolitala i mikrolitala nađeno je 21 jedinka, dok je ostatak nađen u uzorku prikupljenom s vodenih makrofita.



Slika 4.6.6 *Sperchon hibernicus*, nova vrsta za faunu Hrvatske. Determinacija gotovo isključivo moguća na mužjacima koji su znatno sitniji od ženki.

*Sperchon thienemanni* Koenike, 1907

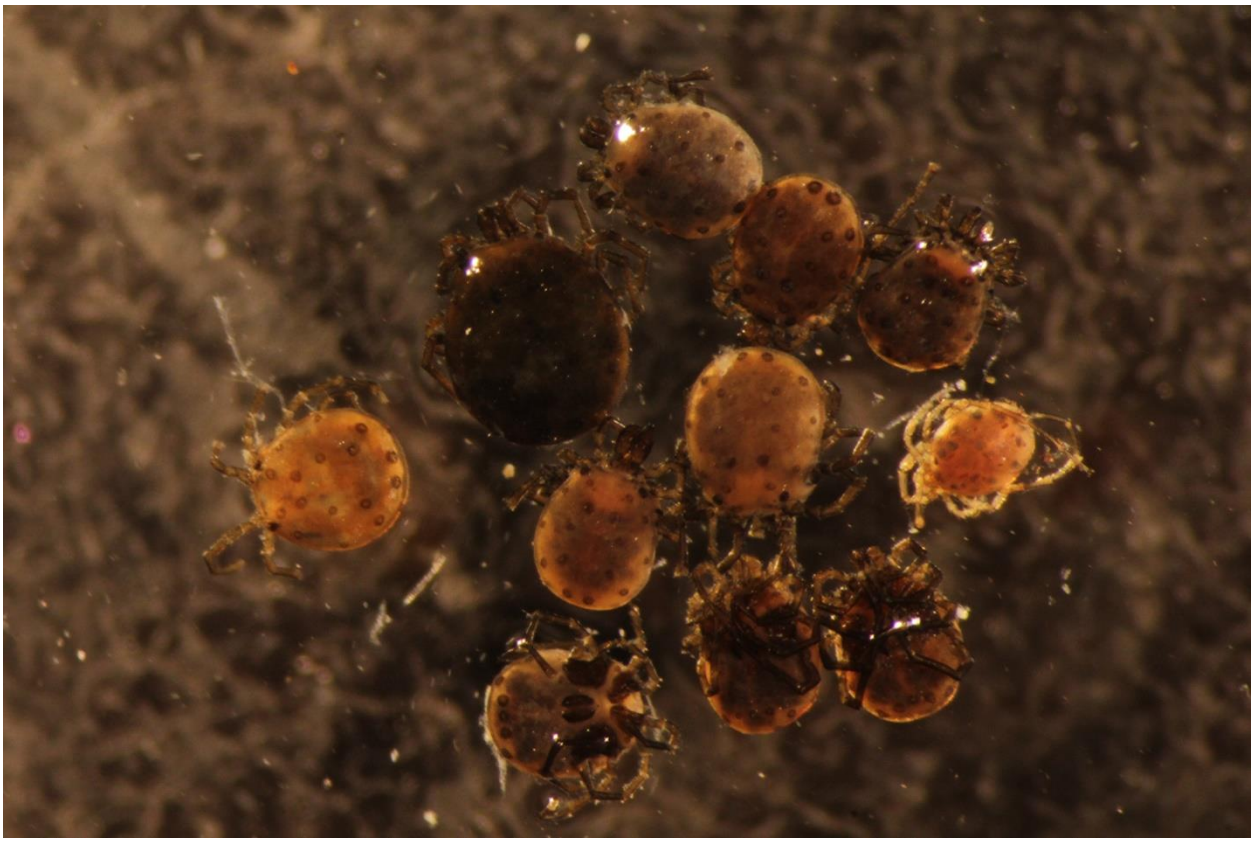
Jedinke ove vrste nađene su u dva navrata na izvoru rijeke Kamačnik: 17.11.2015. četiri jedinke i 5.10.2015. dvije jedinke (Slika 4.6.7). Oba uzorka prikupljena su s vodenih makrofita.



Slika 4.6.7 *Sperchon thienemanni*, nova vrsta za faunu Hrvatske. Jedno od determinacijskih svojstava su kliješta i čeljusne nožice koje su skinute s ove jedinke u procesu determinacije.

*Sperchon vaginosus* Thor, 1902

Ukupno 39 jedinki ove vrste nađeno je u izvoru rijeke Čabranke u uzorku sakupljenom 26.9.2014. (Slika 4.6.7) uzetom sa sedimenta miješanog sastava mezolitala i mikrolitala.



Slika 4.6.7 *Sperchon vaginosus,* nova vrsta za faunu Hrvatske. Determinacija pomoću genitalnog aparata mužjaka.

# 5 RASPRAVA

## 5.1 Uloga okolišnih parametara u sastavljanju zajednica krških krenobiocenoza

Protoci na izvorima značajno utječu na sastav, udio i gustoću pojedinih skupina vodenih beskralježnjaka, pa tako i vodengrinja, no protok se pokazao kao statistički značajna varijabla za neočekivano mali broj svojti vodengrinja. Mogući razlog tome je što su izvori s najvećim vrijednostima protoka u ovom istraživanju bili limnokrenog karaktera te je statistički značajno veći protok zabilježen u limnokrenim u odnosu na reokrene izvore. U ovom je radu, kao i mnogim drugim radovima (Biesiadka i sur., 1990; Martin i Brunke, 2012; Zawal i sur., 2018) statistički dokazano kako veći broj svojti vodengrinja preferira reokrene u odnosu na limnokrene izvore te u reokrenim izvorima nalazimo zajednice veće raznolikosti. Ovu tvrdnju potvrđuju vrste koje su vezane za reokrene izvore: *Partnunia angusta* i *Protzia squamosa*, krenofili koji preferiraju reokrene izvore te *Sperchon hibernicus*, reofilna vrsta koja je u smislu staništa krenala generalist (Di Sbatino i sur., 2010). Vrsta *Hydrodroma reinhardi* jedina je svojta koja je statistički značajno pozitivno korelirala s vrijednostima protoka. Premda je u samom opisu ove vrste iskazan njen reofilni karakter (Pešić, 2002b), ova vrsta nedavno je nađena u tri lentička staništa dinaridske ekoregije Hrvatske (Opsenica, Sabljaci i Butoniga; Pozojević i sur. 2019 –rad u procesu recenzije) te je u tom smislu i ovdje potvrđena njena sklonost ka lentičkim staništima limnokrenih izvora. Kao i vodengrinje (Hydrachnidia), grinje skupine Oribatida preferiraju reokrene izvore, ali uz dodatnu stanišnu sklonost prema dobro razvijenim zajednicama mahovina (Davids i sur., 2017). Ovakva su staništa u ovom radu karakterizirana s nižim vrijednostima protoka, što je na posljetku uzrok statistički značajnoj negativnoj korelaciji između skupine Oribatida i protoka.

Testiranjem razlika u vrijednostima indeksa raznolikosti i ujednačenosti na razini cijele zajednice zoobentosa između izvora sa stalnim protokom te izvora Krčić, koji povremeno presušuje, nisu pokazale statistički značajne razlike premda je naša hipoteza bila da je veće je bogatstvo vrsta na izvorima gdje je varijabilnost protoka manja. Razlog ovome leži u malom broju podataka za jednu skupinu (izvori koji presušuju) te velikom broju podataka za drugu skupinu (izvori koji ne presušuje) koji na posljetku rezultiraju u statističkoj greški tipa II („*false negative*“). Abundancija vodengrinja u ovom je slučaju statistički značajno bila veća u izvorima koji ne presušuju, no zbog jednako manjkavog seta podataka u smislu ovakve usporedbe, valja biti na oprezu zbog moguće

greške tipa jedan („*false positive*“). Bez obzira na statističku značajnost razlika, evidentne su razlike i u strukturi zajednica. Naime, u izvoru koji presušuje nađene su isključivo subadultne jedinke i to njih samo devet u cijelom istraživanom razdoblju. Pretpostavka je da su ove deutonimfe rodova *Atractides* i *Lebertia* produkt rekolonizacije izvora iz nizvodnih dijelova toka ili obližnjeg izvora Krke, no u izvoru rijeke Krčić one ne proživljavaju cijeli životni ciklus. Premda ove subadultne jedinke nije bilo moguće determinirati do razine vrste, za pretpostaviti je da se radi o reofilnim generalistima, budući da je poznato kako obligatni krenobionti skupine vodengrinja ne mogu opstati u ovom tipu staništa (Di Sabatino i sur., 2003; Davids, 2007).

Zanimljivo je kako u ovom istraživanju nije utvrđena značajna povezanost između pojedinih svojti vodengrinja kao ni ostalih skupina bentoskih beskralježnjaka s varijablom brzine strujanja vode. Uzrok ovome moguće leži u varijabilnosti protoka koji čak i u limnokrenim izvorima doseže vrijednosti koeficijenta varijacije od 42,65 % na godišnjoj razini. Ova varijabilnost protoka dakako utječe na brzinu strujanja vode (Bonacci, 2001). Budući da je protok mjeren kontinuirano (na dnevnoj bazi), a brzina strujanja samo pri uzimanju uzoraka (sezonski), moguće je da je stvarni utjecaj brzine strujanja na zajednicu vodengrinja i čitavu zajednicu ostao nedorečen zbog vremenskog diskontinuiteta mjerenja (Spitale i sur., 2012).

Izračunom koeficijenta korelacije utvrđena je statistički značajna povezanost temperature vode sa samo tri vrste vodengrinja *Atractides pennatus*, *Partnunia angusta* (pozitivna korelacija) i *Sperchon theinmani* (negativna korelacija). Zanimljivo je da se sve ove vrste smatraju krenobiontima i/ili krenofilima (Di Sabatino i sur., 2010; Gerecke, 2003). Premda prema očekivanjima nisu nužno povezane s nižim vrijednostima temperature, naglašavajući svojstva hladnih stenotermalnih izvorskih vodengrinja, vidljivo je da su upravo krenobionti i krenofili najosjetljiviji na promjene temperature. Dodatnom analizom multiple linearne regresije sa svojtama vodegrinja sinekološke grupe krenobionata i krenofila, utvrđena je statistički značajna povezanost s temperaturom vode za pet od osam analiziranih svojti kao i za samu sinekološku grupu. Drugi kut gledanja na ovu problematiku pružaju Gerecke i sur. (2018) koji do neke mjere odbacuju „hladnu stenotermiju“ kao ekološko svojstvo krenobiontnih vodengrinja, već sugeriraju da bi povezanost tolikog broja vrsta vodengrinja s izvorima moglo imati svoje korijenje u „toploj stenotermiji“. Naime, pretpostavka je da je „topla stenotermija“ karakteristika koja krenobiontne svojte vodengrinja drži vezanim za područje krenala u zimskim mjesecima, a time i u ostatku

godine. Također je zanimljivo napomenuti da u tropskim krajevima gdje ne postoji temperaturni gradijent između krenala i nižih tokova i dalje nalazimo krenobiontne svojte. Stoga, definitivna uloga temperature u distribuciji krenobiontnih vodegrinja još nije utvrđena, no preferencije pojedinih svojti vodengrinja prema nižim ili višim vrijednostima temperature možemo povezati s geografsko/klimatološkom rasprostranjenošću kao što je prikazano i u Pozojević i sur (2018b).

Nešto veći učinak na rasprostranjenost svojti vodengrinja imale su varijable koncentracije i saturacije kisika u vodi. Podzemne vode su općenito siromašne kisikom stoga nije rijetka pojava da je koncentracija kisika i u izvorima dosta niska. Međutim, uslijed turbulentnog miješanja vode ili prisustva makrofita, voda se u samom izvorištu brzo aerira (Glazier, 2009). Premda slučajevi gdje je kisik bio ograničavajući čimbenik nisu zabilježeni (najmanje vrijednosti saturacije oko 95 %), postojao je gradijent ovih vrijednosti te su ukupna abundancija vodengrinja, kao i četiri svojte vodengrinja (*Atractides* sp., *Leberta* sp., *Sperchon* sp. i *Torrenticola elliptica*) statistički značajno korelirale s vrijednostima koncentracije i saturacije kisikom. Jedina svojta koja je negativno korelirala s vrijednostima koncentracije kisika bila je vrsta *Partnunia angusta*, česti stanovnik kisikom siromašnijih hiporeičkih zona (Di Sabatino i sur., 2010; Lattinger, 1988). S ovom je varijablom također statistički značajno negativno korelirao udio sinekološke grupe krenobionata i krenofila vodengrinja. S obzirom na izviranje podzemne vode siromašne kisikom u zoni eukrenala (Glazier, 2009), ne čudi da su krenobionti i krenofili bili vezani uz nešto niže vrijednosti ove varijable.

Svojte vodengrinja nisu statistički značajno korelirale s vrijednostima pH, dok njihova ukupna abundancija jest. Više vrijednosti pH u ovom istraživanju bile su povezane s izvorima Crnomorskog slijeva. Ovaj podatak, uz nedostatak reakcija pojedinih svojti na vrijednosti pH, daju naslutiti da je statistički značajna vrijednost korelacije između abundancije vodengrinja i vrijednosti pH zapravo posljedica razlike u abundanciji vodengrinja Crnomorskog i Jadranskog slijeva kao i u Pozojević i sur. (2018b).

Na izvorima rijeke Kupe i Čabranke zabilježeno je najveće bogatstvo vrsta vodengrnja koje je najvjerojatnije posljedica miješane karbonatno - dolomitne podloge (Biondić i sur., 2006) prisutne u regiji Doline Kupe (Bognar, 2001) koja podržava i krške i nekrške populacije vodengrnja.

Od svih analiziranih fizikalno kemijskih parametara samo su električna provodnost i koncentracija otopljenog kalcijevog karbonata u vodi statistički značajno korelirali s indeksima raznolikosti

cijele zajednice bentoskih beskralježnjaka. Koncentracija otopljenog kalcijevog karbonata u krškim izvorima najviše doprinose električnoj provodnosti (Glazier, 2009) stoga je statistički gledano učinak ovih dviju varijabli na zajednicu zoobentosa vrlo sličan. Također je moguć doprinos magnezijevih iona u povećanju električne provodnosti koje možemo naći u dolomitnim stijenama koje su prisutne u izvorima Doline Kupe (Bognar, 2001; Biondić i sur., 2006).

Vrsta *Partnunia steinmanni* jedina je vodengrinja koja je statistički značajno negativno korelirala s vrijednostima kemijske potrošnje kisika. Ovog krenobionta uglavnom nalazimo u reokrenim izvorima na mikrostaništima šljunka ili sastojinama mahovine (Di Sabatino i sur., 2010), no u ovom je istraživanju vrsta nađena na sastojinama mahovina limnokrenih izvora Cetine i Kupe te je pokazala netoleranciju na povišene vrijednosti organske tvari.

## 5.2 Uloga morfologije izvora u sastavljanju zajednica krških krenobiocenoza

Populacije vrsta *Atractides walteri*, *Hydrodroma reinhardii*, *Partnunia steinmanni*, *Sperchon vaginosus*, *Sperchon thienemanni*, *Torrenticola eliptica* i *Woolastookia rotundifrons* nađene su isključivo u limnokrenim izvorima. Ove vrste spadaju u razne kategorije, od krenobiontnih (*A. walteri, P. steinmanni*), krenofilnih (*S. thienemanni, T. eliptica*) do reofilnih svojti (*H. reinhardii, S. vaginosus, W. rotundifrons*). *A. walteri* i *P. steinmanni*, premda krenobiontne svojte, ne smatraju se visokospecijaliziranim krenobiontnim vrstama, budući da ne pokazuju jasnu sklonost prema određenom morfološkom tipu izvora ili određenim fizikalno - kemijskim parametrima izvora. *P. steinmanni* spada u skupinu „paleokrenobionata“ (Grecke i sur., 2018) koja nije visokospecijalizirana s obzirom na mofološke karakteristike izvora. Vrsta *Sperchon thienemanni* se smatra najrasprostranjenijom i najbrojnijom krenobiontnom svojtom, koja je nespecifična s obzirom na morfotip izvora (Martin and Stur, 2006). Vrste *Atractides latipapis* (stigofil), *Atractides loricatus* (reofil), *Lethaxona cavifrons* (stigofil), *Ljania macilenta* (stigofil), *Partnunia angusta* (kenofil/stigofil) i *Sperchon hibernicus* (reofil) nađene su isključivo u reokrenim izvorima. Budući da je polovina ukupno nađenih svojti povezana uz specifičan morfotip izvora, možemo potvrditi da su vrste vodengrinja visoko specializirane s obzirom na morfologiju izvora i specifične ekološke uvjete koji pojedini morfotipovi izvora uvjetuju (zastupljenost mikrostaništa i tip vodene vegetacije).

## 5.3 Uloga mikrostaništa u sastavljanju zajednica krških krenobiocenoza

Mikrostaništa, odnosno različiti tipovi supstrata stvaraju veći spektar staništa koji podržavaju veću raznolikost svojti i trofičkih skupina (Staudacher i Füreder, 2007). Analizirajući tri osnovna tipa supstrata u istraživanim izvorima utvrđeno je kako je supstrat „mulj“, koji je karakteriziran sa sitnijim anorganskim česticama te uvijek prisutnim organskim detritusom, služio kao stanište najmanjem broju jedinki. Na razini cijele zajednice zoobentosa ovdje je utvrđena statistički značajno najmanja brojnost jedinki po jedinici površine. Heterogenost mikrostaništa utječe na sastav i strukturu zajednice vodenih beskralježnjaka, tako i vodengrinja. Kada je riječ o vodengrinjama, u mikrostaništu „mulj“ uočena je najmanja raznolikost zajednica i najmanja ukupna brojnost te visoko specijalizirane sinekološke grupe vodengrinja, kao što su krenobionti i stigofili, ovdje uopće nisu zabilježene. Razlog ovome je najvjerojatnije činjenica da je ovaj tip staništa u izvorima (a naročito u krškim izvorima) vrlo rijedak te udio površine izvora koji je s tim supstratom prekriven uglavnom ne premašuje 5 % (Gerecke i sur., 1998). U prilog tome ide i činjenica da je od ukupno 480 prikupljenih poduzoraka u ovom istraživanju, samo 19 sakupljeno s ovog tipa mikrostaništa. Gerecke i sur. (2018) navode upravo „standardizirane“ metodologije uzorkovanja kao mogući uzrok nedovoljnog poznavanja mikrostanišnih sklonosti vodengrinja, budući da se supstrati/mikrostaništa koja su zastupljena s manje od 5 % površine ne uzimaju u obzir (AQEM CONSORTIUM, 2002). S druge strane, standardizacija metodologija je jedini način na koji možemo postići usporedivost prikupljenih podataka na globalnoj razini.

Supstrati poput mahovine i većih veličinskih kategorija kamenih podloga (mezolital, makrolital i megalital) imaju veću zastupljenost u reokrenim izvorima, gdje je očekivana veća brojnost i raznolikost zajednice vodengrinja, u odnosu na limnokrene izvore. Populacije vrsta *Atractides loricatus, Pseudotorrenticola rhynchota* te *Sperchon vaginosus* nađene su isključivo u mikrostaništima litala. Ove vrste vodengrinja okarakterizirane su kao ritrobionti (Gerecke, 2003; Di Sabatino i sur., 2010), svojte koji su načinom kretanja prilagođene bržoj struji vode te koje ne trebaju makrofite kao sklonište od otplavljivanja.

Indeksi raznolikosti i ujednačenosti, kako na razini cijele zajednice zoobentosa tako i na razini zajednice vodengrinja, uglavnom ne pokazuju statistički značajne razlike između supstrata fitala i litala. Međutim za oba je tipa zajednica (vodengrinje i cijela zajednica zoobentosa) utvrđena statistički značajno veća brojnost na supstratu fitala, u odnosu na lital. Izražena trodimenzionalna

struktura staništa fitala pruža mogućnost prostornog rasprostiranja pridnene faune, dajući dodatnu vertikalnu dimenziju mikrostaništu (Wiecek i sur., 2013). Unutar ovog staništa također je nađeno najviše visoko specijaliziranih svojti kao što su krenbionti, krenofili i stigofili.

Vrste *Atractides walteri, Partnunia angusta, Sperchon thienemanni* i *Woolastookia rotundifrons* nađene su isključivo na supstratima s fitalom. Izuzev vrste *Woolastookia rotundifrons,* radi se o krenobiontnim svojtama koje su često povezane uz sastojine vodenih makrofita (Di Sabatino i sur., 2010; Gerecke i sur., 2016). Sastav mikrostaništa, udio pojedinih supstrata, kao i zastupljenost makrofita (Gray, 2005) pokazuju značajan utjecaj na sastav zajednica faune krenala. Veće brojnosti vodengrinja utvrđene su uz prosustvo sljedećih vrsta mahovina: *Cinclidotus aquaticus, Marchantia polymorpha, Pellia endiviifolia* i *Platyhypnidium riparioides*, dok je veća raznolikost na razini cijele zajednice zoobentosa utvrđena uz prisustvo sljedećih vrsta makrofitske vegetacije: *Cinclidotus aquaticus, Cinclidotus fontinaloides, Cratoneuron filicinum, Fontinalis antipyretica, Marchantia* polymorpha i *Mentha longifolia.* Povezanost specifičnih svojti vodengrinja s vrstama makrofitske vegetacije prvi put je napravljena u sklopu ove disertacije za područje krških izvora. Stoga ovi podaci služe kao preliminarni pokazatelji čija se uloga može potvrditi ili opovrgnuti u budućim istraživanjima. Buduća istraživanja vezanosti određenih vrsta makrofita i vodengrinja pomoći će u preciznijoj valorizaciji bioindikacije budući da se određene vrste vodenih mahovina i makrofita pojavljuju u određenim uvjetima.

### 5.4 Uloga ekotona u sastavljanju zajednica krških krenobiocenoza

Kao mjeru utjecaja ekotona između podzemnog i nadzemnog hidrosustava na zajednicu vodengrinja promatran je udio stigofila te krenobionata i krenofila u izvorskim ekosustavima. Izvori predstavljaju granicu između susjednih ekosustava, podzemnog i nadzemnog vodotoka, u čijem sastavu nalazimo svojte područja sraza kao i specijaliste. Budući da su stigofilne vrste bile prisutne i u limnokrenim i u reokrenim izvorima te su nađene u izvorima oba slijeva, možemo zaključiti kako ovaj ekoton nije djelovao kao barijera za stigofilne vrste. Krenobiontne i krenofilne vrste vodengrinja su dakako bile zastupljenije u odnosu na stigofilne. Utjecaj stabilnosti protoka, kao direktnu poveznicu među ekosustavima, testiran je s obzirom na udjele pojedinih sinekoloških grupa. Premda korelacije nisu bile statistički značajne, vidljiv je trend povećanja udjela stigofila s povećanim koeficijentom varijabilnosti protoka te smanjenje udjela krenobiontnih i krenofilnih

svojti. Također, važno je napomenuti da su stigofilne vrste *Atractides latipapis*, *Lethaxona cavifrons*, *Ljania macilenta* i *Partnunia angusta* nađene isključivo u reokrenim izvorima (Di Sabatino i sur., 2010; Gerecke i sur., 2016). Ovaj trend bi trebalo detaljnije istražiti, no zanimljiva je observacija kako u izvorima povećane nestabilnosti protoka dolazi do pomicanja granica ekotona te do većeg broja stigofilnih vrsta vodengrinja.

### 5.5 Sezonska dinamika okolišnih parametara i zajednica krenala

Na razini sličnosti zajednica zoobentosa te vodengrinja, izvori nisu pokazali grupiranost s obzirom na sezone, usprkos statistički značajnim sezonskim razlikama u protoku, zasićenju kisikom, kemijskoj potrošnji kisika (KPK) te brzini strujanja vode. Izvori usprkos relativno stabilnim fizikalno - kemijskim parametrima pokazuju sezonalnost u sastavu i gustoći populacija vodenih beskralježnjaka, pa tako i vodengrinja. Ukupna abundancija svih pripadnika zoobentosa statistički je značajno najviša u jesen kada su zabilježene i više vrijednosti protoka, KPK - a te brzine strujanja vode u odnosu na ostale sezone. Premda istraživanje Wooda i sur., (2005) nije utvrdilo značajne razlike u sastavu i brojnosti zoobentosa s obzirom na gradijent protoka u izvorima, u ovom je istraživanju razmatrana opcija da je protok neposredno utjecao na povećanje dostupne hrane. Naime, KPK ukazuje na povećanu prisutnost organskih tvari u vodi, a budući da je riječ o krškim izvorima odnosno oligotrofnim sustavima, povećanje dostupne organske tvari ne predstavlja nužno pritisak na zajednicu, već novi raspoloživi resurs. Povećanje organske tvari u sustavu najvjerojatnije je posljedica mehaničkog miješanja, odnosno dizanja sedimenta koje je uzrokovano povećanom brzinom strujanja, a koja je sama na posljetku posljedica povećanog protoka.

Bogatstvo svojti vodengrinja ne pokazuje promjenjivu sezonsku dinamiku, dok abundancija vodengrinja ima sezonski vrlo dinamične razlike. Dva značajna povišenja u abundanciji vodengrinja zabilježena su u proljetnoj te jesenskoj sezoni. Na ovu dinamiku primarno su utjecale zajednice vodengrinja izvora Cromorskog slijeva. Naime, ove zajednice imaju statistički značajno veće abundancije, a kao što je već izneseno u radu Pozojević i sur. (2018b), pokazuju upravo ovakav trend kada je temporalna dinamika abundancije u pitanju. Razlog ovome leži u dinamici emergencije vodenih kukaca. Naime, klimaks emergencije u krškim izvorima Crnomorskog slijeva odvija se ljeti (Previšić i sur., 2007; Vilenica i sur., 2017), što znači da prije ovog razdoblja u

proljeće u ekosustavu vlada obilje raspoloživog plijena, ali i potencijalnih domadara za vodengrinje. Dodatno povišenje u abundanciji vodengrinja u jesen slijedi nakon što se emergirani kukci zajedno s parazitskim grinjama vrate u izvorske sustave položiti jajašca (Proctor i sur., 2014). U jesen se tada razvijaju deutonimfe iz ličinki koje se s odraslim kukcima vraćaju u ekosustav.

### 5.6 Vodengrinje u interakciji s ostalim skupinama izvorskih beskralježnjaka

Budući da su vodengrinje u gotovo svim vodenim ekosustavima uglavnom zastupljene s malim brojem jedinki, one nisu primaran plijen niti jednoj skupini predatora niti su dovoljno brojne da bi mogle kontrolirati brojnost vlastitog plijena (Smith i sur., 2011). Abundancija vodengrinja u ovisnosti o njihovom plijenu promatra se stoga tzv. *bottom - up* pristupom. Iz ovog su razloga iz relevantnih rezultata isključene sve statistički značajne negativne korelacije zajednica zoobentosa s abundancijom vodengrinja. Ukupna abundancija vodengrinja statistički je značajno korelirala kako s vrijednostima abundancije plijena (Cladocera, Diptera) tako i s vrijednostima abundancije domadara u ličinačkoj fazi (Diptera, Ephemeroptera i Plecoptera). Zbog svoje dvojake uloge (domadar i plijen) u životnom ciklusu vodengrinja skupina dvokrilaca (Diptera) skupina je koja je statistički značajno korelirala s najvećim brojem svojti vodengrinja (Winkel i sur.,1989), a slijedi ju skupina rašljoticalaca (Cladocera) kao optimalni plijen velikom broju svojti vodengrinja (Gliwicz i Biesiadka, 1975). Kao što je pokazano u Pozojević i sur. (2018a) brojne populacije plijena često podržavaju vrste, pa i zajednice vodengrinja koje po fizikalno - kemijskim i morfometrijskim obilježjima hidrosustava tamo ne bi očekivali. Pokazano je također da je plijen ključan parametar u sastavljanju zajednice vodengrinja, kako na razini ekosustava tako i na razini mikrostaništa.

U većini ekoloških istraživanja na vodengrinjama, nažalost se zanemaruje u potpunosti ili se samo usputno spominje ličinačka faza, odnosno uloga domadara u disperziji i dinamici populacija vodengrinja. Moguće je zaista da je prisutnost specifičnih domadara ključan faktor u disperziji vodengrinja, ali budući da ličinačka faza velikog broja vrsta nije opisana (opisano samo oko 20 % ličinaka europskih vrsta; Martin, 2003), kao ni zabilježeno aktivno parazitiranje, ovu je međuovisnost još uvijek teško dokazati. Do sedamdesetih godina vladalo je uvriježeno mišljene da u izvorskim ekosustavima, ličinke vodengrinja nisu paraziti, odnosno da preskaču ovu

parazitsku fazu (Schwoerbel, 1959). Poznato je ipak kako velik broj ličinki za domadara manje ili više selektivno bira predstavnike trzalaca (Smith i sur., 2001) koji su u ovom istraživanju bili mnogobrojni na svim istraživanim izvorima.

### 5.7 Disjunktna raspodjela specifičnih vrsta vodengrinja?

Distribucija vodengrinja često je mozaičnog i disjunktnog karaktera te je učestala pojava snažno lokaliziranih (izoliranih) populacija, koje su jasno odijeljene međusobno. Ovo posebno vrijedi za izvorske ekosustave (Gerecke i sur., 2018).

Vrlo je vrijedan nalazak vrste *Partnunia angusta* koja se smatrala vrstom ograničene rasprostranjenosti u izvorima Alpa (Di Sabatino i sur., 2003; 2010). Dodatan nalazak ove vrste na području Hrvatske, nakon onog Romane Lattinger (1988) u hiporeičkoj zoni izvora Medvednice, dovodi u dvojbu dosadašnje spoznaje o rasprostranjenosti ove vrste. Također, njena statistički značajna povezanost s višim vrijednostima temperature, utvrđena u ovom radu, daje naslutiti da je njena rasprostranjenost u izvorima moguća i u klimatološki „toplijim“ regijama. Važno je napomenuti da je u ukupnom sagledavanju utjecaja fizikalno - kemijskih parametra okoliša na rasprostranjenost svojti vodengrinja u CCA analizi, temperatura imala samo mali doprinos u objašnjavanju ukupne varijabilnosti. Ova činjenica ide u prilog spomenutoj teoriji iz istraživanja Gereckea i sur. (2018) prema kojoj se grinje ne smatraju nužno „hladnim stenotermima“. Premda je temperatura vode ključan čimbenik za sve krenobionte, za prikaz stvarnog utjecaja temperature na rasprostranjenost svojti vodengrinja valjalo bi imati veći gradijent od onog u temperaturno - stabilnim izvorima.

Kao što je već pokazano u Pozojević i sur. (2018b) krški izvori Crnomorskog slijeva imaju veću raznolikost zajednice vodengrinja te pružaju uvjete pogodne za razvoj brojnijih populacija u odnosu na krške izvore Jadranskog slijeva. Vrste *Atractides walteri, Protzia eximia, Protzia squamosa, Pseudotorrenticola rhynchota, Sperchon hibernicus, Sperchon vaginosus, Sperchon thienemanni, Torrenticola eliptica* i *Woolastookia rotundifrons* nađene samo u izvorima Crnomorskog slijeva. Među ovim vrstama krenobionti poput vrsta *Protzia squamosa, Sperchon thienemanni* i *Torrenticola eliptica* pokazali su također statistički značajnu povezanost s nižim vrijednostima temperature vode kakve nalazimo u krškim izvorima Crnomorskog slijeva.

Ova činjenica ide u prilog „klasičnoj“ teoriji o porijeklu takvog bogatstva vrsta vodengrinja u izvorima u kojoj se smatralo da su krenobiontne vodengrinje nastale ulogom izvora kao refugija. Naime pretpostavlja se da su izmjenom glacijala i interglacijala hladnije stenotermne vrste u izvorima tražile refugij te su zbog toga na poslijetku u današnje vrijeme zadržale disjunktni tip rasprostranjenosti kao i neka specifična svojstva koja nisu karakteristična za ostale pripadnike skupine vodengrinja (Gerecke i sur., 2018). Donedavno se smatralo da krenobiontne vodengrinje zbog specifičnog načina života nemaju parazitsku ličinačku fazu. Ova teorija o ličinačkoj fazi danas više nije prihvaćena (Martin i sur., 2010), no „klasična“ teorija o bogatstvu svojti vodengrinja i dalje nije u potpunosti odbačena (Gerecke i sur., 2018).

Na razini cijele zajednica zoobentosa svih uzoraka vidljivo je grupiranje sličnih zajednica prema lokalitetu (izvoru), dok zajednice vodengrinja pokazuju mnogo veću heterogenost. U binarnoj analizi sličnosti zajednica temeljenoj isključivo na svojtama vodengrinja utvrđeno je kako izvor Cetine svojom specifičnom zajednicom najviše odstupa od ostalih izvora. Samo su dvije vrste nađene u ovom izvoru: *Hydrodroma reinhardii* (reofilni generalist) i *Partnunia steinmanni* (krenobiont) (Pešić, 2002b; Di Sabatino, 2010). Ovaj izvor jedinstven je u ovom istraživanju budući da je jedini istraživani limnokreni izvor Jadranskog slijeva te su u njemu zbog bogatih sastojina mahovine i ostale makrofitske vegetacije u proljeće zabilježene najviše vrijednosti koncentracije i zasićenja kisikom u cijelom istraživanju. Vrsta *Partnunia steinmanni* također je vrlo često povezana uz vrste roda *Niphargus* (Gerecke i sur., 2005), kao što je i slučaj u izvoru Cetine.

Razdvajanjem zajednica vodengrinja binarnim indeksom (Jaccardov indeks) koje nije bilo vidljivo uobičajenim kvantitativnim indeksom sličnosti (Bray – Curtisov indeks) još jednom je potvrđena ideja Miccoli i sur. (2013) kako je abundancija vodengrinja nepouzdan i vrlo varijabilan čimbenik u smislu usporedbe među zajednicama te kako je u međusobnoj usporedbi zajednica vodengrinja važniji kvalitativan sastav.

# 6 Zaključci

1. Analizom literaturnih podataka, u fauni Hrvatske ustanovljeno je 67 vrsta vodengrinja. Recentnim terenskim istraživanjem je potvrđeno 8 novih nalaza, ali i neki prijašnji nalazi (*Partnunia angusta*) koji su zanemareni u stvaranju recentnog popisa vodengrinja za faunu Hrvatske. Zaključno s ovom disertacijom, fauna Hrvatske broji 75 vrsta vodengrinja, od kojih je čak 11 % po prvi puta utvrđeno ovim radom.

2. Premda protok dokazano utječe na brojnost pojedinih svojti vodengrinja (*Hydrodroma reinhardi, Partnunia angusta*, *Protzia squamosa* i *Sperchon hibernicus*) i određenih skupina zoobentosa (Oribatida, Copepoda, Isopoda), nije značajno utjecao na ukupnu brojnost i raznolikost bentoskih beskralježnjaka te vodengrinja

3. U izvoru rijeke Krčić, koja uglavnom svake godine presušuje, nađene su samo deutonimfe vodengrinja. Nedostatak odraslih jedinki vodengrinja može upućivati na to da u ovakvom hidrosustavu vodengrinje ne mogu završiti svoj životni ciklus.

4. Više vrijednosti električne provodnosti i otopljenog kalcijevog karbonata u vodi pozitivno utječu na indekse raznolikosti cijele zajednice zoobentosa.

5. Ukupna brojnost vodengrinja statistički je značajno pozitivno korelirala s koncentracijom i zasićenjem otopljenog kisika u vodi

6. Brojnost niti jedne svojte vodengrinja nije statistički značajno korelirala s vrijednostima pH, ali su ukupna abundancija te bogatstvo svojti vodengrinja pozitivno korelirale s vrijednostima ovog parametra.

7. Finiji supstrat s česticama mrtve organske tvari („mulj“) podržavano je statistički značajno najmanje bogatstvo vrsta i brojnost vodegrinja, ali i ostalih skupina bentoskih beskralježnjaka.

8. Vodengrinje nisu pokazale razlike u vrijednostima bogatstva vrsta i brojnosti između supstrata litala i fitala, dok je ukupna brojnost svih beskralježnjaka najveća na supstratu fital.

9. *Pellia endiviifolia* vrsta je makrofitske vegetacije uz koju je vezan najveći broj svojti vodengrinja u izvorskim ekosustavima.

10. Stabilnost protoka, premda bez statističke značajnosti, ipak pokazuje trendove povezanosti sa stigofilnim te krenofilnim i krenobiontnim sinekološkim grupama vodengrinja: udio krenofila i krenobionata pada, a udio stigofila raste s povećanjem koeficijenta varijabilnosti protoka.

11. Sezonalnost nije statistički značajno utjecala na bogatstvo svojti vodengrinja, ali su utvrđene sezonske razlike u brojnosti zajednica. U proljeće i jesen zabilježene su najbrojnije zajednice vodengrinja.

12. Najveću ulogu u sastavljanju zajednica vodengrinja ima morfotip izvora. Veće bogatstvo svojti, brojnost i raznolikost vodengrinja zabilježena je u reokrenim krškim izvorima. Veći broj krenobiontnih, krenofilnih i stigofilnih vrsta vodengrinja, očekivano je zabilježeno u reokrenim izvorima.

13. Zajednice vodengrinja iznimno su raznolike i specifične te je rasprostiranje pojedinih populacija izraženog disjunktnog karaktera. Ovo potvrđuju i nMDS analize prema kojima se zajednice vodengrinja ne grupiraju po sličnosti niti po jednom od navedenih obilježja: morfološki tip izvora, hidrološki tip izvora, supstrat, sezonalnost.

14. U ovom istraživanju dokazano je kako su zajednice vodengrinja krških izvora karakterizirane iznimnom raznolikošću, ali i disjunktnim tipom rasprostranjenosti populacija pojedinih vrsta kao posljedica isprekidanog hidrološkog reljefa krškog krajolika. Kao vrste s izrazito fragmentiranim arealom rasprostiranja te malim brojem lokaliteta na kojima ih nalazima, većina krenobiontnih vrsta vodengrinja u ovom istraživanju mogu se smatrati iznimno ugroženim svojtama.

15. Južna Europa smatra se pojasom u kojem znanje o izvorskim vrsta vodengrinja ima brojne nedostatke i otvorena pitanja, stoga ovaj rad te posebno istraživanja u mediteranskom dijelu predstavljaju vrijedan doprinos znanju o ekologiji izvorskih vrsta vodengrinja.

# 7 Literatura

AQEM CONSORTIUM (2002). Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0, February 2002.

Belozerov VN (2009). Diapause and quiescence as two main kinds of dormancy and their significance in life cycles of mites and ticks (Chelicerata: Arachnida: Acari). Part 2. Parasitiformes. Acarina, 17 (1), 3–32.

Besseling JA (1957). Zoological Results of a Collecting Journey to Yugoslavia, 1954. Wassermilben. Beaufortia, 61 (5), 179–181.

Biesiadka E, Cichocka M i Warzecha B (1990). Water mites (Hydracarina) of springs in the Kraków-Częstochowa and Miechów Uplands. Acta Hydrobiologica, 32, 171–186.

Biondić B, Biondić R i Kapelj S (2006). Karst groundwater protection in the Kupa River catchment area and sustainable development. Environmental Geology, 49 (6), 828–839.

Bohonak AJ (1999). Effect of insect-mediated dispersal on the genetic structure of postglacial water mite populations. Heredity, 82 (4), 451–461.

Bognar A (2001). Geomorphological Regionalisation of Croatia. Acta Geographica Croatia, 34, 7–26.

Bognar A (2005). The upper part of the Una River Valley between Martin Brod and Pritoka - Geomrphological Characteristics. Hrvatski geografski glasnik, 67 (2), 21–38.

Bonacci O (1987). Karst hydrology, with special reference to the Dinaric karst. Springer series in physical environment. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, str. 1–184.

Bonacci O (1993) Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers. Hydrological Sciences Journal, 38 (1), 51–62.

Bonacci O (2001). Analysis of the maximum discharge of karst springs. Hydrogeology Journal, 9, 328–338.

Bonacci O (2015). Karst hydrogeology/hydrology of Dinaric chain and isles. Environmental Earth Sciences, 74 (1), 37–55

Bonacci O, Jukić D i Ljubenkov I (2006). Definition of catchment area in karst: Case of the rivers Krčić and Krka, Croatia. Hydrological Sciences Journal, 51 (4), 682–699.

Bonacci O i Roje-Bonacci T (2015). Drastic hydrological changes caused by hydroelectrical development in karst: a case of the karst river Zrmanja (Croatia). Environmental Earth Sciences, 74 (9), 6767–6777.

Cantonati M, Segadelli S, Ogata K, Tran H, Sanders D, Gerecke R i Celico F (2016). A global review on ambient Limestone-Precipitating Springs (LPS): Hydrogeological setting, ecology, and conservation. Science of the Total Environment, 568, 624–637.

Clarke KR i Gorley RN (2006). PRIMER V6: User Manual/Tutorial. Plymouth: Primer-E. Str. 1-192.

Dabert M, Proctor H i Dabert J (2016). Higher-level molecular phylogeny of the water mites (Acariformes: Prostigmata: Parasitengonina: Hydrachnidiae). Molecular Phylogenetics and Evolution, 101, 75–90.

Davids C i Belier R (1979). Spermatophores and sperm transfer in the water mite *Hydrachna conjecta* Koen. Reflections of the decent of water mites from terrestrial forms. Acarologia, 21, 84–90.

Davids C, Di Sabatino A i Gerecke R (2007). Chelicerata: Araneae, Acari I. U: Bartsch I, Davids C, Deichsel R (ur.), Chelicerata: Araneae, Acari I. Süßwasserfauna von Mitteleuropa 7/2-1. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, str. 241–333.

Di Sabatino A, Cincolani B, i Gerecke R (2003). Biodiversity and distribution of water mites (Acari, Hydrachnidia) in spring habitats. Freshwater Biology, 48 (12), 2163–2173.

Di Sabatino A, Gerecke R, Gledhill T i Smit H (2010). Chelicerata: Acari II. U: Gerecke R (Ed.) Süßwasserfauna von Mitteleuropa 7/2-2. Spektrum, Heidelberg, str. 1–216.

Di Sabatino A, Martin P i Gerecke R (2005). Hydrachnidia (water mites). U: Rundle SD, Robertson AL, Schmidt-Araya JM (ur.) Freshwater meiofauna: biology and ecology. Backhuys Publishers, Leiden, str. 105–133.

Di Sabatino A, Smit H, Gerecke R, Goldschmidt T, Matsumoto N i Cicolani B (2008). Global diversity of water mites (Acari, Hydrachnidia, Arachnida) in freshwater. Hydrobiologia, 595 (1), 303–315.

Edwards DD i Dimock RV (1995). Life history characteristics of larval *Unionicola* (Acari: Unionicolidae) parasitic on chironomus tentans (Diptera: Chironomidae). Journal of Natural History, 29 (5), 1197–1208.

Erman NA (2002). Lessons from a Long-term Study of Springs and Spring Invertebrates (Sierra Nevada, California, U.S.A.) and Implications for Conservation and Management. Conference Proceedings: Spring-fed Wetlands: Important Scientific and Cultural Resources of the Intermountain Region, Las Vegas, NV , str. 1–13.

Fisher RA, Corbet AS i Williams CB (1943). The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. Journal of Animal Ecology 12, 42–58.

Frančišković-Bilinski S, Bhattacharya AK, Bilinski H, Bhattacharya BD, Mitra A, i Sarkar SK (2012). Fluvial geomorphology of the Kupa River drainage basin, Croatia: A perspective of its application in river management and pollution studies. Zeitschrift Für Geomorphologie, 56 (1), 93–119.

Galas J (2005). Human impact on physical and chemical properties of springs from Cracow – Częstochowa upland (southern Poland). Polish journal of ecology, 53, 329–341.

Gerecke R (1994). Süßwassermilben (Hydrachnellae): Ein Bestimmungsschiüssel für die aus der Westpaläarktis bekannten Gattungen der Hydrachnellae mit einer einführenden Übersicht über die im Wasser vorkommenden Milben. Lauterbornia, 18, 1–84.

Gerecke R (2003) Water mites of the genus *Atractides* Koch, 1837 (Acari: Parasitengona: Hygrobatidae) in the western Palaearctic region: a revision. Zoological Journal of the Linnean Society, 138, 141–378.

Gerecke R (Ed.), Gledhill T, Pešić V i Smit H (2016) Chelicerata: Acari III. In Süßwasserfauna von Mitteleuropa 7/2-3. Spektrum, Heidelberg, str. 1–417.

Gerecke R, Martin P i Gledhill T (2018). Water mites (Acari: Parasitengona: Hydrachnidia) as inhabitants of groundwater-influenced habitats - considerations following an update of Limnofauna Europaea. Limnologica, 69, 81–93.

Gerecke R, Meisch C, Stoch F, Acri F i Franz H (1998). Eucrenon-hypocrenon ecotone and spring typology in the alps of Berchtesgaden (Upper Bavaria, Germany). A study of microcrustacea (Crustacea: Copepoda, Ostracoda) and water mites (Acari: Halacaridae, Hydrachnellae). U: Botosaneanu L (ur.): Studies in crenobiology - The biology of springs and springbrooks. Backhuys, Leiden, str. 167–182.

Gerecke R, Stoch, F, Meisch C i Schrankel I (2005). Die Meiofauna der Quellen und des hyporheischen Interstitials in Luxemburg. Unter besonderer Berücksichtigung der Acari, Ostracoda und Copepoda. Ferrantia, 41, 1-140.

Glazier DS (2009). Springs. U: Likens GE (ur.) Encyclopedia of Inland Waters. Elsevier, Oxford, vol.1, str. 734–755.

Gliwicz ZM i Biesiadka E (1975). Pelagic water mites (Hydracarina) and their effect on plankton community in neptropical man-made lake. Archiv fur Hydrobiologie, 76, 45–59.

Goldschmidt T (2016). Water mites (Acari, Hydrachnidia): powerful but widely neglected bioindicators – a review. Neotropical Biodiversity, 2 (1), 12–25.

Gottstein Matočec S, Bakran-Petricioli T, Bedek J, Bukovec D, Buzjak S, Franičević M i Tvrtković N (2002). An overview of the cave and interstitial biota in Croatia. Natura Croatica, 11 (Suppl.1), 1–112.

Gray DP (2005). Braided river springs: distribution, benthic ecology, and role in the landscape. Dissertation, University of Canterbury, Christchurch, New Zeland. str. 1–222.

Griffiths HI, Krystufek B i Reed JM (2004). Balkan Biodiversity: Pattern and Process in the European Hotspot. Kluwer Academic Publishers, London, str. 1–332.

Hammer O, Harper DAT i Ryan PD (2001). PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. Paleontologia Eletronica, 4,(1), 1–9.

Kolda A, Sviličić Petrić I, Mucko M, Gottstein S, Žutinić P, Goreta G, Ternjej I, Rubinić J, Radišić M i Gligora Udovič M (2018). How environment selects: resilience and survival of microbial mat community within intermittent karst spring Krčić (Croatia): Microbial mat community within Krčić spring. Ecohydrology, e2063, 1-12.

Krantz GW i Walter DE (2009). A manual of Acarology. Texas Tech University Press, Lubbock (TX), treće izdanje, str. 1–807.

Kranjc A (2004). Dinaric karst. U: Gunn J (ur.) Encyclopedia of cavesand karst science. Fitzroy Dearborn, New York, str. 287–289.

Lattinger R (1988). Ekološka diferenciranost faune podzemnih voda Medvednice. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, str. 1–448.

Margalef R (1958). Information theory in ecology. General Systems, 3, 36–71.

Marguš D, Babačić Ajduk A, Zekanović H i Dragutin T (2011). Značajni krajobraz „Rijeka Krčić“, 79-85. U: Marguš D (ur.). Zaštićene prirodne vrijednosti Šibensko – kninske županije. Javna ustanova za upravljanje zaštićenim područjima i drugim prirodnim vrijednostima na području Šibensko – kninske županije. Šibenik, str. 1–141.

Martin P (2000). Larval morphology and host-parasite associations of some stream living water mites (Hydrachnidia, Acari). Archiv Für Hydrobiologie, Supplementband, Monographische Beiträge, 121 (3–4), 269–320.

Martin P (2003). Larval morphology of spring-living water mites (Hydrachnidia, Acari) from the Alps. Annales de Limnologie - International Journal of Limnology, 39 (4), 363–393.

Martin P (2005). Water mites (Hydrachnidia, Acari) as predators in lotic environments. Phytophaga, 307–321.

Martin P i Brunke M (2012). Faunal typology of lowland springs in northern Germany. Freshwater Science, 31, 542–562.

Martin P i Gerecke R. (2009). Diptera as hosts of water mite larvae - an interesting relationship with many open questions. Lauterbornia, 68, 95–103.

Martin P i Stur E (2006). Parasite-host associations and life cycles of spring-living water mites (Hydrachnidia, Acari) from Luxembourg. Hydrobiologia, 573 (1), 17–37.

Matoničkin I (1987). Material for the limnofauna of Karst the running waters of Croatia, Plitvice lakes. Biosistematika, 13, 25–35.

Matoničkin I i Pavletić Z (1959). Životne zajednice na sedrenim slapovima rijeke Une i na brzacima pritoke Unca (Biocenosis on the travertine cataracts in the river Una and in the rapids of the affluent Unac). Musei Macedonici Scientiarum naturalium, 2 (56), 78–99.

Meyer A i Meyer EI (2000). Discharge regime and the effect of drying on macroinvertebrate communities in a temporary karst stream in East Westphalia (Germany). Aquatic sciences, 62, 216–231.

Miccoli FP, Giustini M, Bruni P, Vignini P, Pescosolido M, Cicolani B i Di Sabatino A (2006). La biodiversità e la qualità ambientale delle sorgenti dei Monti della Laga (Parco Nazionale Gran Sasso – Laga, Appennino centrale). Zapisnik s kongresa: Atti del XXXVI Congresso della Società Italiana di Biogeografia, str: 93.

Miccoli FP, Lombardo P i Cicolani B (2013). Indicator value of lotic water mites (Acari: Hydrachnidia) and their use in macroinvertebrate-based indices for water quality assessment purposes. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 8 (411), 1–28.

Mihevc A, Prelovšek M i Zupan Hajna N (2010). Introduction to the Dinaric Karst. Karst Research Institute, ZRC SAZU, Postojna, Slovenija, str. 1–71.

Olomski R (2009). Mating and spermatophore morphology of the freshwater mite *Brachypoda versicolor* (Müller, 1776) (Acari: Hydrachnidia, Aturidae). Soil organisms. Comparative and General Pharmacology, 81 (3), 1–55.

Parsons M i Norris RH (1996). The effect of habitat-specific sampling on biological assessment of water quality using a predictive model. Freshwater Biology, 36, 419–434.

Pavlić K, Kovač Z i Jurlina T (2017). Trend analysis of mean and high flows in response to climate warming - Evidence from karstic catchments in Croatia. Geofizika, 34 (1), 157–174.

Pešić V (2002a). New records of water mites (Acari, Actinedida) based on the material collected by T. Petkovski from Croatia, including a check-list of species recorded from Crotia. Natura Croatica, 11 (4), 447–453.

Pešić V (2002b). *Hydrodroma reinhardi* sp. n., a New Species of Water Mites (Acari, Actinedida, Hydrodromidae) from the Mediterranean Area. Aquatic Insects, 24 (4), 317–323.

Pešić V, Asadi M, Cimpean M, Dabert M, Esen Y, Gerecke R, Martin P, Savic A, Smit H i Stur E (2017). Six species in one: evidence of cryptic speciation in the *Hygrobates fluviatilis* complex (Acariformes, Hydrachnidia,Hygrobatidae). Systematic and Applied Acarology, 22 (9), 1327–1377.

Pešić V, Bańkowska A, Goldschmidt T, Grabowski M, Michoński G i Zawal A (2018). Supplement to the Checklist of water mites (Acari: Hydrachnidia) from the Balkan peninsula. Zootaxa, 4394, 151–184.

Pešić V, Dmitrović D, Savić A, Milošević Đ, Zawal A, Vukašinović-Pešić V, i Von Fumetti S (2019). Application of macroinvertebrate multimetrics as a measure of the impact of anthropogenic modification of spring habitats. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 29, 341–352.

Pešić V, Smit H, Gerecke R i Di Sabatino A (2010). The water mites (Acari: Hydrachnidia) of the Balkan peninsula, a revised survey with new records and descriptions of five new taxa. Zootaxa, 2586, 1–100.

Pielou EC (1966). The measurement of diversity in different types of biological collection. Journal of Theoretical Biology, 13, 131–144.

Popijač A i Sivec I (2009). First records of the alpine stonefly species *Protonemura julia* Nicolai, 1983 (Insecta, Plecoptera) in Croatta. Natura Croatica, 18 (1), 83–89.

Pozojević I, Brigić A i Gottstein S (2018b). Water mite (Acari: Hydrachnidia) diversity and distribution in undisturbed Dinaric karst springs. Experimental and Applied Acarology, 76 (1), 123–138.

Pozojević I, Ternjej I, Mihaljević Z, Gottstein S, Vučković N, Dorić V i Rumišek M (2018a). Prey abundance supporting unusual water mite (Acari: Hydrachnidia) community in a sublacustrine spring and tributary river. Acta Biologica, 25, 69–75.

Prelovšek M (2010). Hydrology. U: Mihevc A, Prelovšek M i Zupan Hajna N (ur.) Introduction to the Dinaric Karst. Karst Research Institute, ZRC SAZU, Postojna, Slovenija, str. 14–19.

Previšić A, Kerovec M and Kučinić M (2007). Emergence and composition of Trichoptera from karst habitats, Plitvice Lakes region, Croatia. International Review of Hydrobiology, 92 (1), 61–83.

Proctor HC, Smith IM i Cook DR (2015). Subphylum Chelicerata, class Arachnida. U: Thorp J, Rogers DC, (ur.) Ecology and general biology: Thorp and Covich's freshwater invertebrates. Academic Press, London, str. 599–660.

Rađa B and Puljas S (2010). Do Karst Rivers "deserve" their own biotic index? A ten years study on macrozoobenthos in Croatia. International Journal of Speleology, 39, 137–147.

Schwoerbel J (1959). Ökologische und tiergeographische Unter- suchungen über die Milben (Acari, Hydrachnellae) der Quellen und Bäche des südlichen Schwarzwaldes. Archiv für Hydrobiologie, 24, (3), 385–546.

Schwoerbel J (1963). Süβwassermilben aus Mazedonien. Acta Musei Macedonici Scientiarum Naturalium9 (4), 51–75.

Shannon C (1948). A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal 27: 379–423.

Simpson EH (1949). Measurement of diversity. Nature, 163, 688.

Smart C i Worthington SRH (2004). Springs. U: Gunn J (ed.) Encyclopedia of caves and karst science. Taylor & Francis, London, str. 1495–1505.

Smit H, Gerecke R i Di Sabatino A (2000). A catalogue of water-mites of the superfamily Arrenuroidea (Acari: Hydrachnidia) from the Mediterranean countries. Archiv für Hydrobiologie, Supplement 121: 201-267.

Smit, Smith H, Wood PJ i Gunn J (2003). The influence of habitat structure and flow permanence on invertebrate communities in karst spring systems. Hydrobiologia, 510, 53–66.

Smith I, (1991). Water mites (Acari: Parasitengona: Hydrachnida) of spring habitats in Canada. U: Williams DD, Danks HV (ed.), Arthropods of springs, with particular reference to Canada. Memoirs of the Entomological Society of Canada, 155, 141–167.

Smith IM, Cook DR i Smith BP (2001). Water mites (Hydrachnidia) and other arachnids. U: Thorp JH i Covich AP (ur.), Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates., 2. izdanje. Academic Press, San Diego- str. 551–659.

Spitale D, Lencioni V i Cantonati M (2012). Relative importance of space and time in determining the biotic structure in the upper part of spring-fed streams. Freshwater Science, 31 (2), 586–598.

Staudacher K i Füreder L (2007). Habitat Complexity and Invertebrates in Selected Alpine Springs (Schütt, Carinthia, Austria). International Review of Hydrobiology, 92, 465–479.

Stoch F, Gerecke R, Pieri V, Rossetti G i Sambugar B (2011). Exploring species distribution of spring meiofauna (Annelida, Acari, Crustacea) in the south-eastern Alps. Journal of Limnology, 70 (Suppl. 1), 65–76.

Stryjecki R, Zawal A, Gadawski P, Buczyńska E i Buczyński P (2015). New host-parasite associations of Hydrachnidia (Acari) on Chironomidae (Diptera) from Poland. Biologia (Poland), 70 (9), 1210–1214.

Šegota T i Filipčić A (2003). Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. Geoadria, 8 (1), 17–37.

ter Braak CJF i Šmilauer P (2012). CANOCO reference manual and user's guide: software for ordination (version 5.0). Microcomputer Power, Ithaca, USA.

TIBCO Software Inc. (2017). Statistica (data analysis software system), version 13. http://statistica.io.

Tuzovskij P (1990). Key to Deutonymphs of Water mites. Akademia Nauka UdSSR, Naukau UNEP/MAP/PAP (2000).

Tuzovskij P, Benfatti D, Gerecke R, (2000). The water mite family Acherontacaridae Cook, 1967 nov. stat. and diagnosis of the superfamily Hydrovolzioidea Thor, 1905 (Acariformes Hydrachnidia). Acarologia 41, 451–473.

Viets K (1936). Hydracarinen aus Jugoslawien. (Systematische, ökologische, faunistische und tiergeographische Untersuchungen über die Hydrachnellae und Halacaridae des Süβwassers). Archiv für Hydrobiologie, 29, 351–409.

von Fumetti S, Nagel P, Baltes B (2007) Where a springhead becomes a springbrook—a regional zonation of springs. Fundam Appl Limnol/Archiv für Hydrobiologie 169(1):37–48

Watermite.org, 2016. European Water Mite Research – A website informing on water mite research in Europe. http://www.watermite.org/

Winkel EH, Davids C i de Nobel JG (1989). Food and feeding strategies of water mites of the genus Hygrobatesand the impact pf their predation on the larval population of the chironomid Cladotanytarsus mancus in LakeMaarsseveen; Netherlands Jurnal of Zoology, 39, 246–263

Wiecek M, Martin P i Gabka M (2013). Distribution patterns and environmental correlates of water mites (Hydrachnidia, Acari) in peatland microhabitats. Experimental and Applied Acarology, 61, 147–160.

Wood PJ, Gunn J, Smith H i Abas-Kutty A (2005). Flow permanence and macroinvertebrate community diversity within groundwater dominated headwater streams and springs. Hydrobiologia, 545 (1), 55–64.

Zaninović K, Gajić - Čapka M, Perčec Tadić M i sur. (2008). Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961 - 1990, 1971 - 2000., Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), str. 1–200.

Zawal A i Buczyński P (2013). Parasitism of Odonata by Arrenurus (Acari: Hydrachnidia) larvae in the Lake Świdwie, nature reserve (NW Poland). Acta Parasitologica, 58 (4), 486–495.

Zawal A, Stępień E, Szlauer-Łukaszewska A, Michoński G, Kłosowska M, Bańkowska A i Buczyński P (2015). The influence of dredging of a lowland river (the Krąpiel in NW Poland) on water mite fauna (Acari: Hydrachnidia). Fundamental and Applied Limnology / Archiv für Hydrobiologie, 186 (3), 217–232.

Zawal A, Stryjecki R, Buczyńska E, Buczyński P, Pakulnicka J, Bańkowska A, Czernicki T, Janusz1 K, Szlauer-Łukaszewska A i Pešić V (2018). Water mites (Acari, Hydrachnidia) of riparian springs in a small lowland river valley: what are the key factors for species distribution? PeerJ, 6 (May), e4797.

Zupan Hajna N (2010). Geology. U: Mihevc A, Prelovšek M i Zupan Hajna N (ur.) Introduction to the Dinaric Karst. Karst Research Institute, ZRC SAZU, Postojna, Slovenija, str. 14–20.

# 8 Prilozi

**Prilog 1** Popis vrsta vodengrinja zabilježenih dosad na području Hrvatske

| Porodica | Vrsta | Prvi nalaz za faunu Hrvatske |
|---|---|---|
| Anisitsiellidae | | |
| | *Nilotonia longipora* (Walter, 1925) | »*Dartiella longipora*« K. Viets (1936) |
| Arrenuridae | | |
| | *Arrenurus albator* (Müller, 1776) | Besserling (1957) |
| Aturidae | | |
| | *Aturus crinitus* Thor, 1902 | K. Viets (1936) |
| | *Aturus intermedius* Protz, 1900 | Pešić (2002) |
| | *Aturus karamani* K. Viets, 1936 | K. Viets (1936) |
| | *Aturus scaber* Kramer, 1875 | Sschwoerbl (1963) |
| | *Aturus serratus* K. Viets, 1936 | »*Aturus asserculatus serratus*« K. Viets (1936) |
| | *Kongsbergia materna* Thor, 1899 | K. Viets (1936) |
| | *Axonopsis gracilis* (Piersig, 1903) | K. Viets (1936) |
| | *Axonopsis serrata* Walter, 1928 | Schwoerbl (1963) |
| | *Ljania bipapillata* Thor, 1898 | K. Viets (1936) |
| | *Ljania macilenta* Koenike, 1908 | Ova disertacija |
| | *Woolastookia rotundifrons* (K. Viets, 1922) | »*Axonopsis rotundifrons*« Matoničkin i Pavletić (1959) |
| Feltriidae | | |
| | *Feltria cornuta* Walter, 1927 | K. Viets (1936) |
| | *Feltria rouxi* Walter, 1907 | »*Feltria rouxi romijni*« K. Viets (1936) |
| | *Feltria rubra* Piersig, 1898 | K. Viets (1936) |
| Hydrachnidae | | |
| | *Hydrachna globosa* (De Geer 1778) | Matoničkin (1987) |
| Hydrodromidae | | |
| | *Hydrodroma despiciens* (Müller, 1776) | »*Diplodontus despiciens*« K. Viets (1936) |
| | *Hydrodroma reinhardi* Pešić, 2002 | Pešić i sur. (2018) |
| | *Hydrodroma torrenticola* (Walter, 1908) | Pešić (2002) |
| Hydryphantidae | | |
| | *Panisus michaeli* Koenike, 1896 | K. Viets (1936) |
| | *Panisus torrenticolus* Piersig, 1898 | Lattinger (1988) - deter. Schwoerbel |
| | *Partnunia angusta* (Koenike, 1893) | Lattinger (1988) - deter. Schwoerbel |
| | *Partnunia steinmanni* Walter, 1096 | Ova disertacija |
| | *Protzia eximia* (Protz, 1896) | K. Viets (1936) |
| | *Protzia squamosa* Walter, 1908 | Lattinger (1988) - deter. Schwoerbel |
| | *Trichothyas petrophila* (Michael, 1895) | »*Lundbladia petrophila*« K. Viets(1936) |

**Prilog 1 (nastavak)** Popis vrsta vodengrinja zabilježenih dosad na području Hrvatske

| Porodica | Vrsta | Prvi nalaz za faunu Hrvatske |
|---|---|---|
| Hygrobatidae | | |
| | *Atractides digitatus* (K. Viets, 1914) | Pešić i sur. (2010) |
| | *Atractides fluviatilis* Szalay, 1929 | »*Megapus nodipalpis fluviatilis*« K. Viets (1936) |
| | *Atractides fonticolus* (K. Viets, 1920) | »*Megapus nodipalpis fonticola*« K. Viets (1936) |
| | *Atractides gibberipalpis* Piersig, 1898 | »*Megapus gibberipalpis*« K. Viets (1936) |
| | *Atractides latipalpis* (Motaş & Tanasachi, 1946) | Ova disertacija |
| | *Atractides loricatus* Piersig, 1898 | »*Megapus barsiensis*« K. Viets (1936) |
| | *Atractides nodipalpis* (Thor, 1899) | »*Megapus nodipalpis*« K. Viets (1936) |
| | *Atractides octoporus* Piersig, 1904 | Pešić i sur. (2010) |
| | *Atractides pennatus* (K. Viets, 1920) | »*Megapus nodipalpis pennata*« K. Viets (1936) |
| | *Atractides robustus* (Sokolow, 1940) | »*Atractides nodipalpis robustus*« Schwoerbl (1963) |
| | *Atractides spinipes* Koch, 1837 | »*Megapus spinipes*« K. Viets (1936) |
| | *Atractides stankovici* Pešić i Gerecke 2010 | Pešić i sur. (2010) |
| | *Atractides walteri* (K. Viets, 1925) | Ova disertacija |
| | *Hygrobates calliger* Piersig, 1896 | K. Viets (1936) |
| | *Hygrobates fluviatilis* (Ström, 1768) | K. Viets (1936) |
| | *Hygrobates marezaensis* Pešić i Dabert, 2017 | Pešić i sur. (2018) |
| Lebertiidae | | |
| | *Lebertia dalmatica* K. Viets, 1936 | K. Viets (1936) |
| | *Lebertia glabra* Thor, 1897 | »*Lebertia lineata*« K. Viets (1936) |
| | *Lebertia jadrensis* K. Viets, 1936 | K. Viets (1936) |
| | *Lebertia porosa* Thor, 1900 | Pešić i sur. (2018) |
| | *Lebertia saxonica* Thor, 1911 | K. Viets (1936) |
| Letaxonidae | | |
| | *Lethaxona cavifrons* Szalay, 1943 | Ova disertacija |
| Limnesiidae | | |
| | *Limnesia connata* Koenike, 1895 | Pozojević i sur. (2018a) |
| | *Limnochares aquatica* (Linnaeus, 1758) | Pešić i sur. (2018) |
| Mideopsidae | | |
| | *Mideopsis crassipes* Soar, 1904 | Besseling, 1957 |
| Nudomideopsidae | | |
| | *Nudomideopsis motasi* Petrova, 1966 | Smit i sur. (2000) |
| Oxidae | | |
| | *Oxus setosus* (Koenike, 1898) | Pešić (2002) |
| | *Oxus angustipositus* K. Viets, 1908 | Pešić (2002) |
| Pionidae | | |
| | *Forelia curvipalpis* K. Viets, 1930 | Besseling, 1957 |
| | *Piona disparilis* (Koenike, 1895) | K. Viets (1936) |
| | *Piona longipalpis* (Krendowsky, 1878) | Pozojević i sur. (2018a) |

**Prilog 1 (nastavak)** Popis vrsta vodengrinja zabilježenih dosad na području Hrvatske

| Porodica | Vrsta | Prvi pronalazak za faunu Hrvatske |
|---|---|---|
| Sperchontidae | | |
| | *Sperchon clupeifer* Piersig, 1896 | K. Viets (1936) |
| | *Sperchon denticulatus* Koenike, 1895 | K. Viets (1936) |
| | *Sperchon glandulosus* Koenike, 1886 | K. Viets (1936) |
| | *Sperchon hibernicus* Halbert, 1944 | Ova disertacija |
| | *Sperchon setiger* Thor, 1898 | K. Viets (1936) |
| | *Sperchon thienemanni* Koenike, 1907 | Ova disertacija |
| | *Sperchon vaginosus* Thor, 1902 | Ova disertacija |
| | *Sperchonopsis verrucosa* (Protz, 1896) | K. Viets (1936) |
| Torrenticolidae | | |
| | *Monatractides latissimus* (K. Viets, 1936) | »*Atractides latissimus*« K. Viets (1936) |
| | *Monatractides madritensis* (K. Viets, 1930) | Pešić i sur. (2018) |
| | *Pseudotorrenticola rhynchota* Walter, 1906 | K. Viets (1936) |
| | *Torrenticola elliptica* (Maglioi, 1909) | Pešić i sur. (2018) |
| | *Torrenticola thori* (Halbert, 1944) | Pešić i sur. (2010) |
| | *Torrenticola amplexa* (Koenike, 1908) | Pešić i sur. (2010) |
| | *Torrenticola anomala* (Koch, 1837) | Schwoerbl (1963) |
| Unionicolidae | | |
| | *Neumania vernalis* (Müller, 1776) | Pozojević i sur. (2018a) |
| | *Unionicola minor* (Soar, 1900) | Pešić (2002) |

**Prilog 2** Popis vrsta vodengrinja zabilježenih u svim izvorima po sezonama

| Izvor | Sezona | *Atractides* sp. | *Atractides gibberipapis* | *Atractides latipapis* | *Atractides loricatus* | *Atractides nodipapis* | *Atractides penatus* | *Atractides walteri* | *Aturus* sp. | *Feltria* sp. | *Hydrodroma reinhardii* | *Lebertia* sp. | *Lethaxona cavifrons* | *Ljania macilenta* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Čabranka | Jesen | | | | | | | | | | + | | | |
| | Ljeto | | | | | | | | | | | | | |
| | Proljeće | | | | | | | | | | | | | |
| | Zima | | | | | | | | | | + | | | |
| Cetina | Jesen | | + | | | | | | + | + | | + | | |
| | Ljeto | | + | | | + | | | | | | + | | |
| | Proljeće | + | | | | + | | | | | | + | | |
| | Zima | + | | | | | | | | | | + | | |
| Kamačnik | Jesen | | | | | | + | | | | | | | |
| | Ljeto | | | | | | | | | | | | | |
| | Proljeće | + | | | | | | | | + | | | | |
| | Zima | + | | | | | + | | | | | | | |
| Krčić | Jesen | | | | | | | | | | | | | |
| | Ljeto | + | | | | | | | | | | + | | |
| | Proljeće | | | | | | | | | | | | | |
| | Zima | | | | | | | | | | | | | |
| Kupa | Jesen | + | + | | | | | | | | | | | |
| | Ljeto | + | + | | | + | | | + | + | | + | | |
| | Proljeće | + | + | | | + | | | + | + | | + | | |
| | Zima | + | + | | | + | | | + | + | | + | | |
| Una | Jesen | + | + | | | + | | + | + | | | | | |
| | Ljeto | | | | | | + | | + | | | + | | |
| | Proljeće | | | | | | + | | + | | | | | |
| | Zima | | | | | + | | | | | | | | |
| Zrmanja | Jesen | + | + | + | + | + | | | + | + | | + | | + |
| | Ljeto | + | + | | | + | | | + | + | | + | + | + |
| | Proljeće | | | | | + | | | | | | | | |
| | Zima | + | + | | | + | | | + | | | | | |
| Žrnovnica | Jesen | | | | | | + | | | | | + | | |
| | Ljeto | | + | | | | | | | | | | | |
| | Proljeće | | + | | | | | | | | | | | |
| | Zima | | | | | | + | | | | | | | |

**Prilog 2 (nastavak)** Popis vrsta vodengrinja zabilježenih u svim izvorima po sezonama

| Izvor | Sezona | *Partnunia angusta* | *Partnunia steinmani* | *Protzia eximia* | *Protzia squamosa* | *Protzia rugosa* | *Pseudotorrent-icola rhynchota* | *Sperchon hibernicus* | *Sperchon deticulatus* group | *Sperchon vaginousus* | *Sperchon* sp. | *Sperchon thienemanni* | *Torrenticola eliptica* | *Torrenticola* sp. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Čabranka | Jesen | | | | | | | | | | | | | |
| | Ljeto | | + | | | | | | | | | | | |
| | Proljeće | | | | | | | | | | | | | |
| | Zima | | + | | | | | | | | | | | |
| Cetina | Jesen | | | | + | | + | | | + | | | | + |
| | Ljeto | | | | + | | | | + | | | | | + |
| | Proljeće | + | | | + | | + | + | + | | | | | + |
| | Zima | | | | + | | | | + | | | | | + |
| Kamačnik | Jesen | | | | | | | | | | | + | | |
| | Ljeto | | | | | | | | | | | | | |
| | Proljeće | | | | | | | | + | | | | | |
| | Zima | | | | | | | | | | + | + | | |
| Krčić | Jesen | | | | | | | | | | | | | |
| | Ljeto | | | | | | | | | | | | | |
| | Proljeće | | | | | | | | | | | | | |
| | Zima | | | | | | | | | | | | | |
| Kupa | Jesen | | + | | | | | | | | + | | | |
| | Ljeto | | | | | + | | | | | + | | + | + |
| | Proljeće | | | | | + | | | | | + | | + | + |
| | Zima | | | | | + | | | | | + | | + | + |
| Una | Jesen | | | + | | | | | | | + | | | + |
| | Ljeto | | | + | | | | | | | + | | | |
| | Proljeće | | | + | | | | | | | + | | | |
| | Zima | | | | | | | | | | | | | |
| Zrmanja | Jesen | | | | | + | | | | | + | | | + |
| | Ljeto | | | | | + | | | | | + | | | + |
| | Proljeće | | | | | + | | | | | + | | | |
| | Zima | | | | | + | | | | | + | | | + |
| Žrnovnica | Jesen | | | | | | | | | | | | | |
| | Ljeto | + | | | | | | | | | + | | | + |
| | Proljeće | + | | | | | | | | | | | | |
| | Zima | + | | | | | | | | | | | | |

**Prilog 2 (nastavak)** Popis vrsta vodengrinja zabilježenih u svim izvorima po sezonama

| Izvor | Sezona | *Woolastookia rotundifrons* | Hydrachnidia (larvae) |
|---|---|---|---|
| Čabranka | Jesen | | |
| | Ljeto | | |
| | Proljeće | | |
| | Zima | | |
| Cetina | Jesen | | |
| | Ljeto | | |
| | Proljeće | | + |
| | Zima | | |
| Kamačnik | Jesen | | |
| | Ljeto | | |
| | Proljeće | | |
| | Zima | | |
| Krčić | Jesen | | |
| | Ljeto | | + |
| | Proljeće | | |
| | Zima | | |
| Kupa | Jesen | | |
| | Ljeto | | + |
| | Proljeće | | + |
| | Zima | + | + |
| Una | Jesen | | |
| | Ljeto | | + |
| | Proljeće | | |
| | Zima | | + |
| Zrmanja | Jesen | | + |
| | Ljeto | | + |
| | Proljeće | | |
| | Zima | | + |
| Žrnovnica | Jesen | | |
| | Ljeto | | + |
| | Proljeće | | |
| | Zima | | |

# ŽIVOTOPIS

## Osobni podaci:

Ime i prezime: Ivana Pozojević

Adresa: Drage Gervaisa 48, 10090 Zagreb

Telefon: 095/533-5128

Datum rođenja: 23.11.1988.

Mjesto rođenja: Zagreb, Hrvatska

## Obrazovanje:

2007. Završila matematički gimnaziju Lucijan Vranjanin u Zagrebu

2010. Sveučiliša prvostupnica biologije (univ. bacc. biol.); Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

2012. Magistra ekologije i zaštite prirode; Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

2012. Upisan poslijediplomski doktorski studij: Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

2016. Magistra inženjerka agronomije; Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

## Radno iskustvo:

2012. – 2018. Naslovni asistent na (Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb (Hrvatska) )

Držanje praktične nastave studentima iz kolegija:

- Osnove biologije

- Limnologija
- Biologija podzemnih staništa
- Zaštita biološke i krajobrazne raznolikosti
- Biologija rakova
- Ekologija podzemnih staništa
- Terenska nastava
- Opća ekologija
- Ekologija životinja
- Biologija onečišćenih voda

2018.-danas. Stručni suradnik na projektu: "Analiza bioloških metoda ocjene ekološkog stanja za fitobentos, makrofite i makrozoobentos u europskim interkalibracijskim tipovima rijeka Panonske ekoregije; analiza utjecaja okolišnih čimbenika i antropogenih opterećenja na biološke elemente kakvoće"

**Znanstveni skupovi i seminari:**

2016. **Pozojević, Ivana**; Lajtner, Jasna; Rubinić, Josip; Barač, Ivica; Gottstein, Sanja. Key zoobenthos inhabitants as indicators of hydrological dynamics in karst springs // Book of abstracts and programme. 2nd Central European Symposium for Aquatic Macroinvertebrate Research (CESAMIR) / Móra, A. ; Csabai, Z. (ur.). Mohács – Pécs: Carpathes Nature Foundation, Mohács, 2016. str. 81-81 (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni)

2017. Vučković, Natalija; Vilenica, Marina; Kralj, Tomislav; **Pozojević, Ivana**; Miliša, Marko; Kerovec, Mladen; Ternjej, Ivančica; Mihaljević, Zlatko. Littoral macroinvertebrate communities in reservoirs of the Dinaric karst of Croatia // 10th Symposium for European Freshwater Sciences - Abstract Book / Rulík, Martin (ur.). Olomouc: The Czech Limnogical Society, 2017. str. 228-228 (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni)

2017. **Pozojević, Ivana**; Pešić, Vladimir; Gottstein, Sanja Surviving the dry phase: Water mite (Acari: Hydrachnidia) adaptations to flow intermittency in karst rivers // The Book of Abstracts 7th International Symposium of Ecologists of Montenegro-ISEM7 / Pešić Vladimir, Hadžiablahović Sead (ur.). Sutomore, Crna Gora: Institute for Biodiversity and Ecology, 2017. str. 89-89 (pozvano predavanje, sažetak, ostalo)

2017. **Pozojević, Ivana**; Brigić, Andreja; Gottstein, Sanja Spatial distribution and seasonal changes of water mite assemblages (Hydrachnidia) in Dinaric karst springs // 10 Symposium for European freshwater sciences 2017 abstract book Olomouc, CZ, 2017. str. 73-73 (predavanje, sažetak, znanstveni)

2017. **Pozojević, Ivana**; Gottstein, Sanja; Mihaljević, Zlatko Strategije preživljavanja vodengrinja (Acari: Hydrachnidia) u rijekama Hrvatske koje presušuju // Knjiga sažetaka (Simpozij o biologiji slatkih voda, USB) / Gračan, Romana ; Matoničkin Kepčija, Renata ; Miliša, Marko ; Ostojić, Ana (ur.). Zagreb: Croatian association of freshwater ecologists Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb Croatia. str. 27-27 (predavanje, sažetak, znanstveni)

2018. **Pozojević, Ivana**; Sanja, Gottstein Vodengrinje (Hydrachnidia) kao ključne sastavnice i deskriptori limnokrenih i reokrenih krških izvora Hrvatske // Simpozij studenata doktorskih studija PMF-a Zagreb, Croatia, 2018. str. 1-1 (predavanje, recenziran, sažetak, znanstveni)

2018. Dorić, Valentina; Vučković, Natalija; **Pozojević, Ivana**; Mihaljević, Zlatko. Chironomid community responses to environmental drivers in man-made lakes of the Dinaric karst // 3rd Central European Symposium for Aquatic Macroinvertebrates Research (CESAMIR) / Rewicz, Tomasz ; Wysocka, Anna ; Bacela-Spychalska, Karolina ; Grabowski, Michal ; Hupalo, Kamil (ur.). Lodz, 2018. str. 34-34 (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni)

2018. Vučković, Natalija; **Pozojević, Ivana**; Vilenica, Marina; Čerba, Dubravka; Kerovec, Mladen; Previšić, Ana; Ternjej Ivančica; Mihaljević, Zlatko. The influence of anthropogenic stressors on littoral benthic macroinvertebrate communities in man-made lakes // 3rd Central European Symposium for Aquatic Macroinvertebrates Research (CESAMIR) / Rewicz, Tomasz ; Wysocka, Anna ; Bacela-Spychalska, Karolina ; Grabowski, Michal ; Hupalo, Kamil (ur.). Lodz, 2018. str. 59-59 (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak, ostalo)

2018. **Pozojević Ivana**, JURŠIĆ Lara, VUČKOVIĆ Natalija, DORIĆ Valentina, MIHALJEVIĆ Zlatko. The influence of predatory behavior on spatial distribution of lentic water mite (Acari: Hydrachnidia) assemblages // 3rd Central European Symposium for Aquatic Macroinvertebrates Research (CESAMIR) / Rewicz, Tomasz ; Wysocka, Anna ; Bacela-Spychalska, Karolina ; Grabowski, Michal ; Hupalo, Kamil (ur.). Lodz, 2018. str. 79-79 (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni)

2018. **Pozojević, Ivana**; Pešić, Vladimir; Stubbington, Rachel; Gottstein, Sanja; Miliša, Marko; Datry, Thibault Challenges in intermittent river assessment: Prospects for an unexpected obscure animal group (Acari: Hydrachnidia) // World Conference on Ecology Berlin, Njemačka, 2018. str. 61-61 doi:10.4172/2157-7625-C1-032 (predavanje, međunarodna recenzija, prosireni, znanstveni)

2019. **Ivana, Pozojević**; Sanja, Gottstein; New evidence supporting the role of crenal morphology in shaping water mite (Acari: Hydrachnidia) communities in karst springs // 3rd Symposium of Freshwater Biology / Ivković, Marija ; Stanković, Igor ; Matoničkі Kepčija, Renata ; Gračan, Romana (ur.). Zagreb: Croatian Association of Freshwater Ecologists, 2019. str. 27-27 (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak, ostalo)

2019. Vučković, Natalija; **Pozojević, Ivana**; Čerba, Dubravka; Kerovec, Mladen; Vilenica, Marina; Previšić, Ana; Ternjej, Ivančica; Gottstein, Sanja; Mihaljević, Zlatko. Indirect influence of pesticides on macroinvertebrate community of constructed lakes // Book of Abstracts - 3rd Symposium of Freshwater Biology / Ivković, Marija ; Stanković, Igor ; Matoničkі Kepčija, Renata ; Gračan, Romana (ur.). Zagreb: Croatian Association of Freshwater Ecologists, 2019. str. 35-35 (predavanje, domaća recenzija, sažetak, ostalo)

2019. Gottstein, Sanja; Đermek, Doris; Kerovec, Mladen; Lajtner, Jasna; Mičetić Stanković, Vlatka; Popijač, Aleksandar; **Pozojević, Ivana;** Previšić, Ana; Vilenica, Marina. Microhabitat preferences by aquatic invertebrates in the Zrmanja River springhead // Book of Abstracts - 3rd Symposium of Freshwater Biology / Ivković, Marija ; Stanković, Igor ; Matoničkі Kepčija, Renata ; Gračan, Romana (ur.).Zagreb: Croatian Association of Freshwater Ecologists, 2019. str. 8-8 (predavanje, domaća recenzija, sažetak, znanstveni)

**Znanstveni radovi**

2017. **Pozojević, Ivana**; Ivanković, Ante; Ramljak, Jelena Utjecaj genetske strukture hrvatskog športskog konja i hrvatskog toplokrvnjaka na rezultate u preponskom jahanju // 52. hrvatski i 12. međunarodni simpozij agronoma / Vila, Sonja ; Antunović ; Zvonko (ur.). Osijek: Poljoprivredni fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2017. str. 566-569 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

2018. **Pozojević, Ivana**; Brigić, Andreja; Gottstein, Sanja Water mite (Acari: Hydrachnidia) diversity and distribution in undisturbed Dinaric karst springs // Experimental & applied acarology, 76 (2018), 1; 123-138 doi:10.1007/s10493-018-0294-3 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

2018. **Pozojević, Ivana**; Ternjej, Ivančica; Mihaljević, Zlatko; Gottstein, Sanja; Vučković, Natalija; Dorić, Valentina; Rumišek, Mario. Prey abundance supporting unusual water mite (Acari: Hydrachnidia) community in a sublacustrine spring and tributary river // Acta Biologica, 25 (2018), 06; 69-75 doi:10.18276/ab.2018.25-06 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

**Diplomski radovi**

2012. **Pozojević, Ivana.** Migracije zooplanktona u plitkim jezerima., diplomski rad, diplomski, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

2016. **Pozojević, Ivana.** Utjecaj pasminskih obilježja i podrijetla hrvatskog športskog konja i toplokrvnjaka na rezultate u preponskom jahanju, diplomski rad, diplomski, Agronomski faluktet, Zagreb

**Radovi nagrađeni rektorovom nagradom**

**2012. Pozojević, Ivana.** Utjecaj eutrofikacije na planktonsku zajednicu plitkih jezera, 2012.

**Stručni rad**

Objavljeni stručni radovi:

2018. Mihaljević Z., Alegro A., Kerovec M., Ternjej I., Gottstein S., Miliša M., Matoničkin Kepčija R., Lajtner J., Hršak V., Previšić A., Gligora Udovič M., Žutinić P., Vilenica M., Šegota V., Mičetić Stanković V., Vuković N., Koletić N., Vučković N., **Pozojević I.**, Rimac A., Dorić V., Dimnjaković M., Bartovsky V. Klasifikacijski sustav ekološkog potencijala za umjetna i znatno promijenjena tijela površinskih voda – I. dio: Stajaćice Panonske ekoregije. Studija. Biološki odsjek PMF-a, Zagreb. 187 str.

2018. Mihaljević Z., Alegro A., Kerovec M., Ternjej I., Gottstein S., Miliša M., Matoničkin Kepčija R., Lajtner J., Hršak V., Previšić A., Gligora Udovič M., Žutinić P., Vilenica M., Šegota V., Mičetić Stanković V., Vuković N., Koletić N., Vučković N., **Pozojević I.**, Rimac A., Dorić V., Dimnjaković M., Bartovsky V. (2018) Klasifikacijski sustav ekološkog potencijala za umjetna i znatno promijenjena tijela površinskih voda – 2. dio: Stajaćice Dinaridske ekoregije. Studija. Biološki odsjek PMF-a, Zagreb. 216 str.

Stručni projekti u tijeku:

Klasifikacijski sustav ekološkog potencijala za umjetna i znatno promijenjena tijela površinskih voda – I. dio: Stajaćice Panonske ekoregije

Klasifikacijski sustav ekološkog potencijala za umjetna i znatno promijenjena tijela površinskih voda – 2. dio: Stajaćice Dinaridske ekoregije