

# Praćenje stanja staništa i podzemne faune beskralješnjaka u speleološkim objektima Nacionalnog parka Krka

---

Hrs, Leo

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:764570>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-14**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Leo Hrs

PRAĆENJE STANJA PODZEMNIH STANIŠTA I FAUNE BESKRALJEŠNJAKA U  
SPELEOLOŠKIM OBJEKTIMA NACIONALNOG PARKA KRKA

Diplomski rad

Zagreb, 2020.

Ovaj rad je izrađen u Laboratoriju za beskralješnjake na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Tvrтка Dražine. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra ekologije i zaštite prirode.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

### PRAĆENJE STANJA PODZEMNIH STANIŠTA I FAUNE BESKRALJEŠNJAKA U SPELEOLOŠKIM OBJEKTIMA NACIONALNOG PARKA KRKA

Leo Hrs

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Špiljska staništa predstavljaju jedinstven ekosustav koji karakteriziraju stabilni fizikalni i kemijski čimbenici. Smatraju se ekstremnim staništem konstantne tame, niske temperature, visoke vlažnosti i s malo nutrijenata što rezultira malim količinama organskog ugljika, ključne komponente života. Mnoga istraživanja u posljednjih nekoliko desetljeća potvrđuju znatan napredak u razumijevanju podzemne biologije, a posebno podzemne ekologije. Međutim, još smo daleko od razumijevanja tako temeljnih pitanja kao što su adaptivni mehanizmi, obrasci distribucije vrsta, trofičke interakcije i funkcioniranje ekosustava. Podzemna fauna i staništa predstavljaju važnu sastavnicu svjetske i europske prirodne baštine. jezgri očuvanja, upravljanja i obnove ekosustava leži kontinuirano praćenje stanja (monitoring). Istraživanje u Nacionalnom parku Krka provedeno je u razdoblju od ožujka 2015. godine do listopada 2016. godine, s terenskim izlascima u svakoj sezoni (proljeće, ljeto, jesen, zima). U ovom radu su analizirane promjene sastava i raznolikosti faune u prostoru i kroz sezone te utjecaj drugačijih metoda uzorkovanja. Analizirane su sličnosti i razlike istih mikrostaništa u različitim speleološkim objektima. Metoda cenzusa ploha pogodna je za veće objekte, dok se za jednostavnije objekte može provoditi metoda cenzusa objekta. Brojčani podaci sastava i brojnosti daju uvid u trenutačno stanje faune u istraživanim objektima, a kontinuirano praćenje jedini je način bilježenja promjena u populacijama.

(64 stranice, 39 slika, 2 tablice, 67 literaturnih navoda, 2 priloga, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: troglobiont, guano, bioraznolikost, cenzus objekta/ploha, trofija

Voditelj: Dr. sc. Tvrtko Dražina, doc.

Ocjenitelji: Doc. dr. sc. Tvrtko Dražina

Doc. dr. sc. Duje Lisičić

Doc. dr. sc. Petar Žutinić

Zamjena: Doc. dr. sc. Marija Ivković

Rad prihvaćen: 18.9.2020.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb

Faculty of Science

Division of Biology

Graduation Thesis

### MONITORING OF UNDERGROUND HABITATS AND INVERTEBRATE FAUNA IN SPELEOLOGICAL OBJECTS OF THE KRKA NATIONAL PARK

Leo Hrs

Rooseveltovej trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Cave habitats represent a unique ecosystem characterized by fairly stable physical and chemical parameters. They are considered an extreme habitat of constant darkness, low temperature, high humidity and low nutrients resulting in small amounts of organic carbon, a key component of life. Much research in recent decades confirms significant advances in the understanding of subterranean biology, and subterranean ecology in particular. However, we are still far from understanding fundamental issues such as adaptive mechanisms, species distribution patterns, trophic interactions, and ecosystem functioning. Underground fauna and habitats are an important component of world and European natural heritage. At the core of ecosystem conservation, management and restoration lies continuous monitoring of the state of change. The research in the Krka National Park was carried out in the period from March 2015 to October 2016, with field work in each season (spring, summer, autumn, winter). This thesis analyzes the temporal and spatial changes in the composition and diversity of fauna, as well as the effect of different sampling methods used. The similarities and differences of the same microhabitats in different speleological objects were analyzed. The plot census method is suitable for larger caves, while for simpler caves the object census method can be applied. Numerical data on composition and abundance provide insight into the current state of fauna and continuous monitoring is the only way to record changes in populations.

(64 pages, 39 figures, 2 tables, 67 references, 2 appendices, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

Key words: troglobiont, guano, biodiversity, plot/object census, trophy

Supervisor: Dr. sc. Tvrtko Dražina, doc.

Reviewers: Dr. Tvrtko Dražina, Asst. Prof

Dr. Duje Lisičić, Asst. Prof

Dr. Petar Žutinić, Asst. Prof

Replacement: Dr. Marija Ivković, Asst. Prof

Thesis accepted: 18.9.2020.

*Od srca zahvaljujem obitelji, brižnoj djevojci, dragim prijateljima, inspirativnim kolegama,  
vještima suradnicima te obazrivom mentoru na beskrajnoj podršci!*

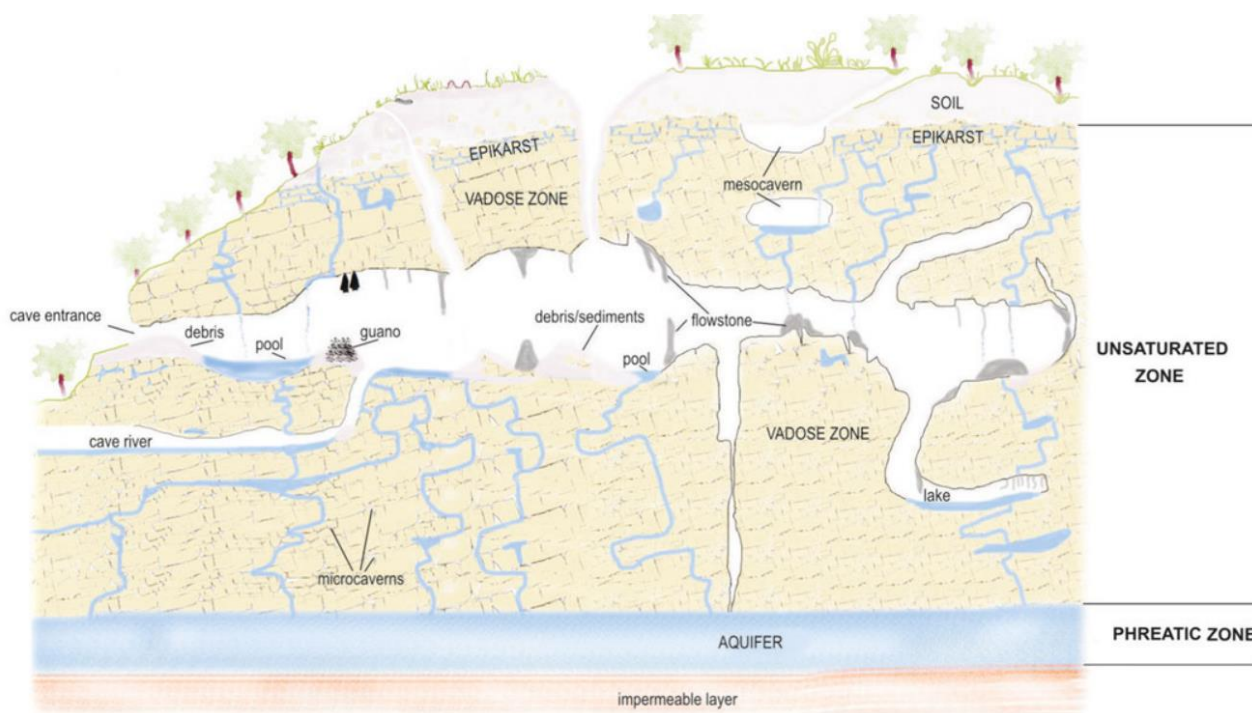
## Sadržaj:

1	Uvod .....	1
1.1	Podzemna staništa.....	1
1.2	Špiljska fauna.....	5
1.3	Trofija podzemnih ekosustava.....	8
1.4	Praćenje stanja podzemnih staništa u Hrvatskoj do sada .....	9
1.5	Ciljevi istraživanja.....	10
2	Materijali i metode .....	10
2.1	Područje istraživanja .....	10
2.1.1	Nacionalni park Krka .....	10
2.1.2	Značajke rijeke Krke.....	11
2.1.3	Klima i vegetacija područja .....	11
2.1.4	Speleološki objekti.....	12
2.2	Opis istraživanih objekata i metodologije praćenja stanja faune i staništa .....	14
2.2.1	Praćenje stanja metodom „cenzus ploha“ .....	14
2.2.2	Praćenje stanja metodom „cenzus objekta“ .....	19
2.2.3	Mjerenje abiotičkih čimbenika.....	22
2.2.4	Analiza podataka i intenzitet terenskih istraživanja .....	23
3	Rezultati.....	26
3.1	Cenzus ploha .....	26
3.1.1	Stara jametina.....	26
3.1.2	Miljacka II .....	31
3.2	Cenzus objekta .....	36
3.2.1	Sedrena špilja iza mlina .....	36
3.2.2	Sedrena špilja kod stola .....	39
3.2.3	Sedrena špilja s jamskim ulazom .....	42
3.3	Nemetričko multidimenzionalno skaliranje (NMDS) .....	46
4	Rasprava.....	48
5	Zaključak .....	56
6	Literatura .....	57
7	Prilozi.....	64

# 1 Uvod

## 1.1 Podzemna staništa

Ispod površine tla bezbrojni prostori pletu kilometarske mreže u dubinama Zemlje. To jesu ponekad prostori poput velikih dvorana, no razni životni oblici nastanjuju i šupljine manje od zrnca pijeska. Podzemlje u širem smislu riječi obuhvaća sva područja ispod površine tla kojima je zajedničko i osnovno obilježje tama, a uključuje krški masiv, izvankrške podzemne prostore te intersticijska vodena staništa (Slika 1). Stoga se u podzemlje svrstava više različitih ekosustava, a ne samo različiti tipovi staništa (Culver i Pipan 2019, Gottstein 2010).



**Slika 1.** Raznolikost podzemnih staništa. Preuzeto iz Moldovan i sur. 2018.

U kategorizaciji podzemnih staništa biospeleolozi uglavnom prepoznaju dvije osnovne kategorije staništa, a to su: velike šupljine (špilje i jame) i male milimetarske prostorne šupljine (šljunak i pješćani vodonosnici te tlo), koji mogu biti ispunjeni zrakom ili vodom (Pipan i Culver 2012). Općenito, podzemni ekosustavi uključuju *kopnena podzemna staništa* i *vodena podzemna staništa*. Svaki od njih je i dalje podijeljen, ali granice među njima uglavnom nisu oštre i lake za odrediti. Zona



preklapanja dvaju ekoloških sustava ili dviju životnih zajednica naziva se ekoton. Ekotonalnu zonu karakteriziraju određena zajednička obilježja s graničnim zajednicama, ali i specifična obilježja samo njoj svojstvena. Stoga se tu nerijetko mogu naći zajednice organizama koje žive isključivo u takvom staništu (Gottstein 2010).

Špiljska staništa predstavljaju jedinstven ekosustav koji karakteriziraju poprilično stabilni fizikalni i kemijski parametri. Smatraju se ekstremnim staništem zbog specifičnih abiotičkih uvjeta u koje ubrajamo: relativno konstantnu temperaturu, visoku vlažnost, malo nutrijenata i nedostatak fotosintetskih procesa, što rezultira malim količinama organskog ugljika, ključne komponente života (Culver i Pipan 2019, Rawat i sur. 2017, Mammola i Isaia 2016, Culver i Sket 2000). U nedostatku svjetla, špiljski ekosustavi su gotovo u potpunosti heterotrofni, ovisni o prenošenju energije hrane s površine, a budući da je unos hrane sporadičan i rijetko bogat, ukupna biomasa takvih ekosustava je mala (Barr 1968, Rawat i sur. 2017).

Trenutno znanje o životu i biogeokemijskim procesima u podzemnim staništima je vrlo oskudno, zbog poteškoća pristupanju njima. Stoga većina podataka o podzemnim ekosustavima dolazi upravo iz špilja i jama (Rawat i sur. 2017). Prema klasičnoj, operativnoj definiciji, prostori dovoljno veliki da prime čovjeka nazivaju se špilje i jame (Pipan i Culver 2019, Moldovan i sur. 2018), iako bi korisnija definicija bila prirodni otvor u čvrstoj stijeni s područjima potpune tame i promjerom većim od nekoliko milimetara (Pipan i Culver 2019) ili bilo kakav prostor ili šupljina koja zadovoljava okolišne uvjete za opstanak živih bića (Moldovan i sur. 2018). Špilje čine samo fragment podzemne mreže staništa pa se i antropocentričan pogled na špiljska staništa preispituje i sintagma *ekologija špilja* se zamjenjuje sa *ekologija podzemlja*, ne uvijek na opravdan način (Moldovan i sur. 2018). Antropocentrična usmjerenost nije osobito korisna za cjelokupno razumijevanje biologije podzemlja, jer je za bolje shvaćanje evolucije podzemne faune i stavki ključnih za njenu zaštitu, potrebno proučavati cjelokupnost ekosustava (Pipan i Culver 2019, Gottstein 2010). Špilje ipak predstavljaju svojevrsan „prozor“ u podzemni svijet i omogućuju nam jednostavnije proučavanje, uzorkovanje i promatranje zajednica organizama *in situ*. (Molodvan i sur. 2017, Rawat i sur. 2017, Engel i sur. 2008).

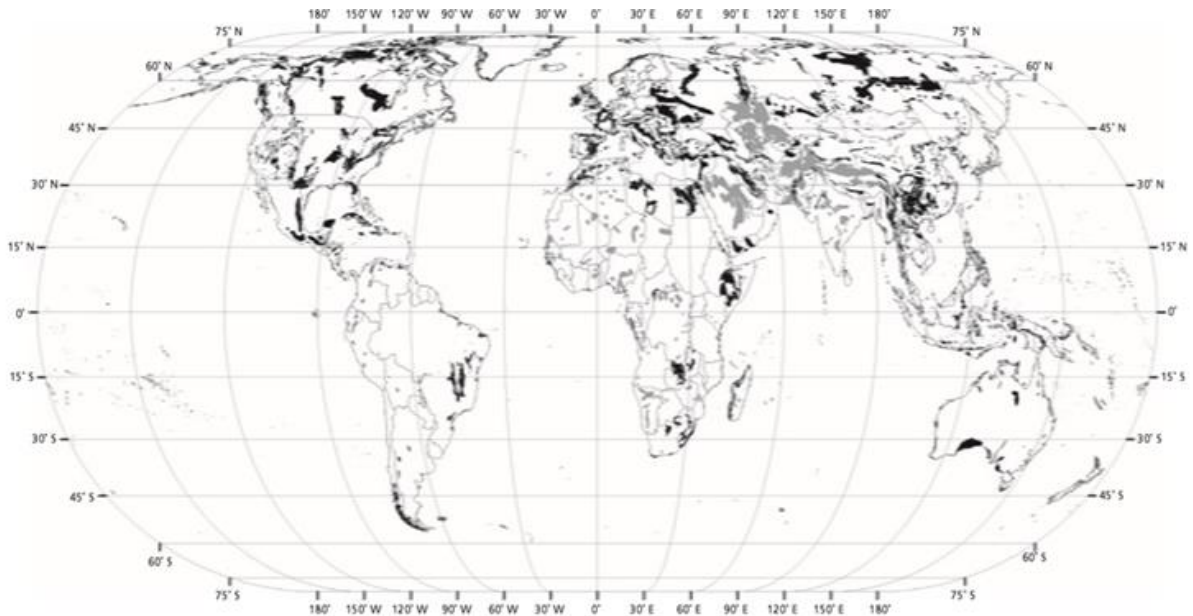
U krškim krajevima broj špilja može biti iznenađujuće velik i bogat podzemnom biološkom raznolikošću (Polak i Pipan 2011). Visok stupanj endemizma, posebno podzemne i slatkovodne faune, može biti rezultat geografskog odvajanja populacija u

procesima okršćavanja, što dovodi do lokalne alopatrije (Gilbert i Culver 2009, Ozimec i sur. 2009). Lokalno odvajanje populacija stoga, više nego njihovo širenje, može potaknuti diverzifikaciju i objasniti veliki broj endemskih vrsta u nadzemnim staništima krških kraja (Previšić i sur. 2014).

Fragmentirana priroda špiljskih staništa i ograničene mogućnosti širenja drže lokalnu raznolikost mnogo nižom od regionalne raznolikosti, a Sket (1999) navodi niz razloga niske raznolikosti u usporedbi s površinskim staništima, uključujući: (i) smanjenu površinu ekotonalnih područja između površinskih i podzemnih staništa, (ii) smanjenu raznolikost staništa u podzemlju i (iii) oskudnije izvore hrane. Zbog izrazite fragmentiranosti špiljskih staništa, različite se vrste pojavljuju u špiljama udaljenim samo nekoliko kilometara (Culver i Sket 2000), a zaštita i briga za šire područje i ciljanu faunu često počinju zaštitom i brigom za određenu špilju.

I aktivnost živih organizama znatno utječe na oblikovanje krškog terena. Kao dobar primjer za to je sedra, koja nastaje uz prisutnost prokariota (cijanobakterija i drugih bakterija), algi, gljiva, lišajeva i mahovina, a s obzirom na biljni ili životinjski materijal koji ju tvori razlikujemo njene oblike (Pentecost 2005).

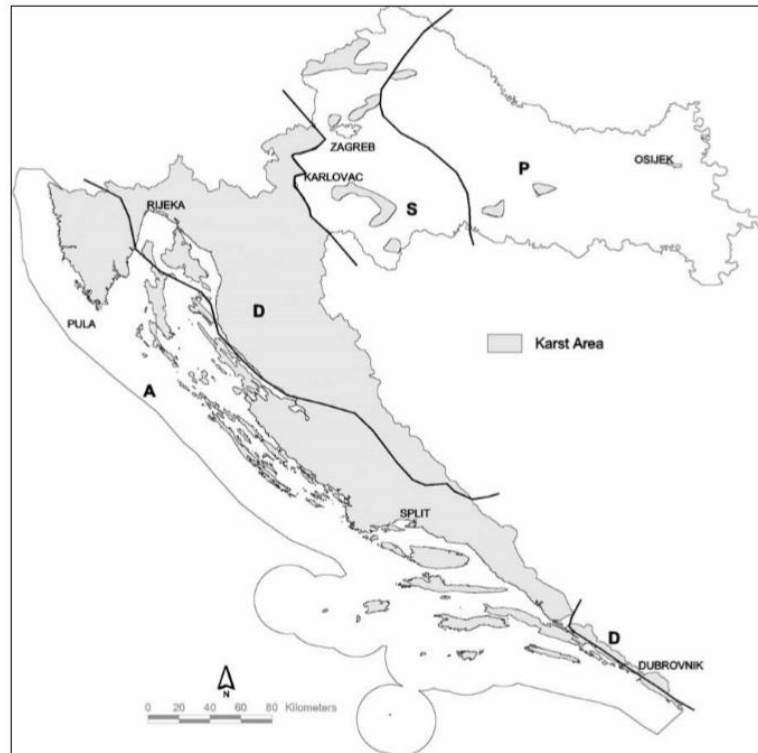
Gledajući globalno, krš zauzima oko 12,5 % površine (Slika 2; Culver i Pipan 2019), dok je u Hrvatskoj preko 54% ukupne površine kopna prekriveno karbonatnim stijenama (vapnencima i dolomitima), koji tvore tipičan krški reljef (Ozimec i Šincek, 2011), a u to pripadaju krška polja s ponornicama, ponori, uvale, dolci, ponikve, krška vrela, špilje, jame, estavele, škrape i dr. Izuzetna je koncentracija speleoloških objekata u Dinarskom kršu Slovenije, Hrvatske i Bosne i Hercegovine, koja su ujedno i najbogatija područja podzemne biološke raznolikosti u svjetskim razmjerima (Culver i Sket 2000), obuhvaćajući ukupno 26 tisuća km<sup>2</sup> (Gottstein Matočec i sur. 2002).



**Slika 2.** Globalna distribucija glavnih primarnih (karbonatnih) stijena, prikazana crnom bojom. Nečista ili isprekidana karbonatna područja prikazana su sivom bojom. Karta prema P.W. Williams, preuzeta iz Culver i Pipan, 2019.

Kada promatramo biološki aspekt raznolikosti podzemnih staništa Hrvatske, važno je istaknuti kako se Hrvatska proteže kroz više biogeografskih regija (Slika 3), obuhvaćajući mnoge različite tipove reljefa i raznolika geološka, hidrološka, pedološka i klimatološka područja. Zbog toga u podzemlju Hrvatske se pojavljuju različiti podzemni ekosustavi, suprotno prije uvriježenom mišljenju o podzemlju kao siromašnom i jednolikom okolišu (Gottstein 2010). Brojne vrste podzemnih životinja su opisane upravo iz špilja i jama krških područja Hrvatske (Bedek i sur. 2006).

Prva sustavna istraživanja krških fenomena na hrvatskome kršu, kako na površini tako i u podzemlju, pridonijela su da je to područje postalo *locus typicus* u svjetskome smislu (Božić i Malinar, 2013). Sama riječ krš potječe od naziva za područje koje se proteže između Italije i Slovenije (blizu Trsta) koje se na slovenskom jeziku naziva Kras, na talijanskom Carso i na njemačkom Karst te je kasnije latinizirano u Carsus. Originalno ime vuče korijen iz slovenske riječi “kar” koja u prijevodu znači “kamen, stijena”. Može se reći da je do kraja 19. stoljeća naziv “karst” postao internacionalni znanstveni pojam koji opisuje karakterističan pejzaž koji se proteže puno dalje od same regije po kojoj je dobio ime (Kranjc, 2011). Najveći dio krškog reljefa Hrvatske nalazi se južno od Karlovca i pripada Dinaridima, širem krškom području koje se proteže od Slovenije preko Hrvatske i dalje sve do Albanije.



**Slika 3.** Pojednostavljena karta krških geotektonskih jedinica Hrvatske (Ozimec i Šincek, 2011):  
 A – Adriatik (Adriaticum)  
 D – Dinarik (Dinaricum), dinarska krška platforma  
 S – Supradinarik (Supradinaricum), eudinamično područje  
 P – Panonski bazen (Panonik), geološke strukture Panonskog bazena.

## 1.2 Špiljska fauna

Špilje nisu ozbiljno smatrane staništem životinja do 1831. godine kada je u Postojnskoj jami otkriven prvi špiljski kornjaš *Leptodirus hochenwartii* Schmidt, 1832 i posljedično ostali prvi predstavnici špiljske faune. Kasnije je otkrivena bogata podzemna fauna i u ostalim dijelovima Europe i na drugim kontinentima. Špiljske životinje imaju veliku znanstvenu važnost zbog svojih osebujnih prilagodbi specifičnim podzemnim uvjetima, a posebno zbog visokog stupnja endemizma u usporedbi s drugim staništima. Prilagodbe čine podzemnu faunu izvrsnim predmetom za znanstvena istraživanja te podzemna fauna i staništa predstavljaju važnu sastavnicu svjetske i europske prirodne baštine, ali istodobno izuzetno osjetljivim na bilo kakav ljudski utjecaj (Bilandžija i sur. 2020, Polak i Pipan 2011, Gottstein Matočec i sur. 2002, Culver i Sket 2000).

U podzemnim staništima nalazi se širok raspon organizama te oni imaju različiti stupanj ovisnosti i trajnosti na tim staništima. Iz toga proizlazi jedna od osnovnih podjela špiljske (kopnene) faune na troglobionte, troglofile i trogloksene koju je prvi predložio Schiner 1854-e, te kasnije doradio Racovitza 1907-e (Trajano 2012, Schiner 1854, Racovitza 1907). Sustav koji su predložili se i dan danas izmjenjuje, dorađuje, kritizira i o njemu se raspravlja te neki autori redefiniiraju te kategorije, dok ih drugi dalje razdjeljuju tvoreći nove kategorizacije organizama (kao npr. podjela troglofila na eutroglofile, subtroglofile; Sket 2008).

Podjela predložena od autorice Trajano (2012) koristi originalne nazive skupina predstavljene u Schinder-Racovitza podjeli, ali uvodi novu konceptualnu promjenu, uzimajući u obzir ishodišne i odljevne (eng. *source* – *sink*) populacije u definicije skupina. Odljevne populacije podrazumijevaju populacije koje u danom okruženju imaju stopu reprodukcije premalu za postizanje ravnoteže s lokalnom stopom smrtnosti. Takve populacije ovise o imigracijama iz produktivnijih lokaliteta – ishodišnim populacijama, koje uspješno održavaju stopu rodosti većom od stope smrtnosti u slučaju izolacije (Fong 2004). Trajano i Carvalho (2017) predstavljaju kriterije i poteškoće u primjeni kategorizacije i raspravljaju o važnosti primjene pravilnog imenovanja skupina u svrhu kvalitetnijeg očuvanja podzemnih staništa. Definicije skupina koje predlažu određeni autori (Trajano i Carvalho 2017, Trajano 2012) su:

- Troglobionti – Ishodišne populacije ovih organizama se nalaze isključivo u podzemnim staništima
- Troglofile – Ishodišne populacije i u podzemnim i nadzemnim staništima sa pojedincima koji redovito migriraju između tih staništa, promičući ulazak gena nadzemnih populacija u podzemne (i obrnuto).
- Troglokseni – Ishodišne populacije su u nadzemnim staništima, s pojedincima koji koriste podzemne resurse (npr. hranu, sklonište, supstrat, klimu)
- Slučajni posjetioci – Organizmi koji su u špilje uneseni slučajno ili u potrazi za blagom klimom; mogu preživjeti privremeno, ali nemogućnost orijentacije i pronalaženja hrane dovodi do njihove smrti u podzemnim staništima. Evolucija njihovih populacija ne podliježe principima selekcije u podzemlju.

Pojedini autori u pokušaju zaobilaska problema povezanih s prepoznavanjem organizma kao „troglobionta“ koriste vidljive detalje u njihovoj morfologiji. Organizmi koji posjeduju morfološke karakteristike za koje se smatra da su nastale kao posljedica izloženosti špiljskim uvjetima, po Christiansenu (1962) se nazivaju „troglomorfi“.

Troglomorfija je bilo koja morfološka oznaka ili skup oznaka (poput nedostatka pigmenta, smanjenje ili nedostatak organa vida (očiju), stanjene kutikule člankonožaca, produženi ekstremiteti, produljen životni vijek i povećan volumen jajašaca), koja je uobičajena kod vrsta koje su već dugo vezane za podzemna staništa (Lukić 2019, Culver i Pipan 2019). U principu, vjeruje se da ova svojstva postaju izražena kao rezultat izloženosti specifičnim uvjetima podzemnog okoliša, no zapanjujuća i zbunjujuća je da ne pokazuju sve podzemne životinje ta svojstva. Tako da, iako razina troglomorfije jest korisna informacija, na žalost ne čini klasifikaciju podzemnih životinja lakšom, zato jer i mnogi nadzemni organizmi pokazuju znakove troglomorfije. Stoga nema biološkog opravdanja dati morfologiji prednost spram ekološkim karakteristikama te treba imati na umu da stupanj troglomorfije ne mora nužno odgovarati jačini „troglobioze“ (Culver i Pipan 2019, Trajano i Carvalho 2017, Sket 2008).

Općenito, smatra se da je za tri okolišna faktora dokazano da utječu na morfologiju (Culver i Pipan 2019), a to su: (i) Nedostatak svjetlosti – konvergentna selektivna sila kod smanjenja očnih aparata i pigmenata podzemnih životinja te vjerojatno važna u razradi ekstra optičkih senzornih struktura, uključujući i produženje ekstremiteta. (ii) Veličina staništa (pora) – divergentna selektivna sila u evoluciji veličine tijela, posebno važna među različitim staništima, ali javlja se i unutar staništa. (iii) Kompeticija među vrstama – divergentna selektivna sila, bitna u formiranju morfologije kada je konkurentna vrsta prisutna.

Razni autori smatraju da treba razmatrati općenitije pojmove poput konvergencije i divergencije prilikom opisivanja ekologije životinja. Koncept troglomorfije pomogao je u istraživanjima podzemlja, no danas u taksonomskim, evolucijskim i konzervacijskim istraživanjima može predstavljati prepreku više nego pomoć (Culver i Pipan 2019, Trajano i Carvalho 2017).

Da je još mnogo toga neotkriveno, potvrđuje činjenica da se neprestano opisuju nove vrste iz špiljskih staništa, koje nerijetko fasciniraju znanstvenike (poput špiljskog dvokrilca *Troglocladius hajdi* Andersen, Baranov & Hagenlund, 2016 – na svijetu prvi zabilježeni leteći troglobiont opisan iz Lukine jame (Andersen i sur. 2016). Podzemlje

budi i ideje za istraživanja i ispitivanje teorija evolucije, ekologije i fiziologije, kao što je to rad autora Bilandžija i sur. (2020) na fenotipskoj plastičnosti ribe *Astyanax mexicanus* (De Filippi, 1853).

### 1.3 Trofija podzemnih ekosustava

Većina hrane u špilje dolazi gotovo isključivo s površine, bilo putem abiotičkih ili biotičkih vektora. Vjetar i poniruća voda donose organski materijal, detritus, izmet i površinske organizme u špilje (Fišer 2019). Mnoge životinje u špilje ulaze slučajno ili ih povremeno koriste tokom određenog djela životnog ciklusa i tamo ostavljaju svoj izmet i jaja te naposljetku i sami postaju hrana drugim životinjama ili mikrobima.

Od posebne važnosti za špiljske organizme je guano – izmet ptica i šišmiša koji naseljavaju špilje. U mnogim špiljama guano predstavlja važan izvor organskog materijala i omogućava stvaranje specijaliziranih zajednica (guanobionta), koje se hrane njime ili bakterijama i gljivama što se tu razvijaju (Rawat i sur. 2017, Simon 2019, Zagmajster 2019). Oko guana nalazimo čak i mnoge predatore, što budu privučeni velikom količinom plijena (Trajano 2019, Gottstein 2010).

Neki organizmi posjeduju posebne morfološke prilagodbe za iskorištavanje određenih staništa. Određene vrste skokuna (Collembola) imaju izdužene kandice za hodanje po guanu i vlažnim podlogama (Lukić 2019) i pojedinih skupina kornjaša (Coleoptera), koji koriste slične prilagodbe za zadržavanje na zidovima preko kojih se prelijeva tanki sloj vode, na staništu koje se naziva higropetrik (Sket 2004).

Manje životinje hrane se mikrobnim zajednicama koje koriste otopljenu organsku tvar i sitne čestice koje prolaze kroz zemlju i pukotine na stijeni (Simon 2019). Sav materijal je nošen kroz podzemlje i taložen u vodama i sedimentu, stoga sama priroda fizičkog oblika vodonosnika određuje koliko energije i u kojem obliku će biti dostupno u različitim dijelovima špilje. Samo u nekoliko iznimnih špilja, zajednice su neovisne o vanjskom unosu hrane, tako što kemolitoautotrofne bakterije odrađuju ulogu primarnih proizvođača, kao što je to slučaj u Movable špilji u Rumunjskoj (Sarbu, Kane i Kinkle 1996).

## 1.4 Praćenje stanja podzemnih staništa u Hrvatskoj do sada

Praćenje stanja (biološki monitoring ili biomonitoring) se definira kao procjena stanja promatranjem promjena u sastavnim dijelovima biološke raznolikosti i krajobraza (Bondaruk i sur. 2015). Hrvatska je obvezna izvješćivati o stanju očuvanja vrsta i stanišnih tipova Priloga I, II, IV i V Direktive o staništima (92/43/EZ)(Službeni list Europske unije 1992, URL 1). U svom najjednostavnijem obliku, biomonitoring se sastoji od bilježenja raznolikosti i brojnosti vrsta na različitim lokacijama i vremenskim razdobljima, koristeći niz ekoloških tehnika cenzusa i taksonomske identifikacije. Većina metoda uzorkovanja za svrhu biomonitoringa razvile su se sredinom 20-og stoljeća (Bohan i sur. 2017) i odabrane su iz potpuno pragmatičnih razloga koji su odražavali trenutno stanje znanja, jednostavnost i cijenu. Ove metode su često ograničene na određene ekosustave, vrste i zajednice proučavane te ih nije moguće primijeniti u različitim sustavima (Derocles i sur. 2018).

Dosadašnjim aktivnostima su različite organizacije (npr. „Hrvatsko biospeleološko društvo“ – HBSD i „Društvo za istraživanje i očuvanje prirodoslovne raznolikosti Hrvatske“ – ADIPA) provodile programe praćenja stanja staništa i faune špilja i jama (URL 2, URL 3). Neke metode, koje su najčešće korištene od strane HBSD-a, organizacije s najviše provedenih programa za praćenje stanja podzemnih staništa i faune, uključuju: utvrđivanje fizičkog stanja špiljskih staništa, kontinuirana ili povremena mjerenja mikroklimatskih parametara staništa, kemijska i biološka analiza vode u laboratoriju, vizualno opažanje i sakupljanje faune bez prostornog i vremenskog ograničenja, cenzus faune cijelog objekta prema podjeli objekta na dijelove te praćenje stanja populacija ciljanih špiljskih vrsta (Miculinić i sur. 2016).

U ekološku mrežu NATURA 2000 izdvajaju se špilje zatvorene za javnost tek uz uvjet da su stanište endemičnih svojti ili su od važnosti za očuvanje vrsta iz Dodatka II. Direktive o staništima (šišmiši, *Congerius kusceri* Bole, 1962, *Leptodirus hochenwartii* Schmidt, 1832, *Proteus anguinus* Laurenti, 1768 te vrste riba iz roda *Phoxinellus*. Intersticijska podzemna staništa i antropogena podzemna staništa trenutno uopće ne pronalaze svoje mjesto u NATURA 2000 klasifikaciji (Gottstein 2010).

Za tri ciljane Natura 2000 vrste (*L. hochenwartii* Schmidt, 1832, *C. kusceri* Bole, 1962 i *C. jalzici* Morton & Bilandžija, 2013.), HBSD je izradio nacionalne monitoring programe (Bilandžija i sur. 2014, Hmura i sur. 2013).



## 1.5 Ciljevi istraživanja

Ovo istraživanje je provedeno u svrhu razvoja metodologije praćenja stanja (monitoringa) špiljskih beskralješnjaka te praćenja stanja speleoloških objekata koje se temelji na praćenju stanja sastava faune (kvalitativno) i brojnosti populacija (kvantitativno) podzemnih beskralješnjaka. Brojčani podaci sastava i brojnosti daju uvid u trenutno stanje faune u istraživanim objektima, a kontinuirano praćenje jedini je način bilježenja promjena u populacijama. Kako bi se razvila metodologija praćenja stanja (monitoringa) špiljskih beskralješnjaka te metodologija praćenja stanja speleoloških objekata NP Krka, ciljevi ovog istraživanja su:

- (i) uočiti sezonske i prostorne promjene u sastavu i raznolikosti faune;
- (ii) usporediti sastav faune istih mikrostaništa različitih speleoloških objekata;
- (iii) ispitati različite metode za praćenje stanja faune i
- (iv) procijeniti koje metode su najprikladnije za praćenje stanja faune i staništa.

## 2 Materijali i metode

### 2.1 Područje istraživanja

#### 2.1.1 Nacionalni park Krka

Nacionalni park „Krka“ (NP „Krka“) obuhvaća površinu od 109 km<sup>2</sup> od kojih 25,6 km<sup>2</sup> čini vodena površina. Granica Parka proteže se 50 km uz gornji i srednji tok rijeke Krke i donji tok Čikole. Proteže se kroz prostore gradova Knina, Drniša, Skradina i Šibenika i općina Ervenika, Kistanja i Promine.

NP „Krka“ je prostrano, pretežito neizmijenjeno područje iznimnih i višestrukih prirodnih vrijednosti, a namjena mu je prije svega znanstvena, kulturna, odgojno-obrazovna i rekreativna. Sredinom 20. stoljeća je prepoznata potreba za pravnim očuvanjem rijeke Krke, zbog njenih iznimnih prirodnih vrijednosti, a inicijativa za proglašenje rijeke Krke nacionalnim parkom pokrenuta je 1971.

Južni dio kanjona Krke i njeni sedreni slapovi su žarište turističkih djelatnosti NP. Sedam sedrenih slapova i ukupan pad od 224 m, čine rijeku Krku prirodnim i krškim fenomenom.

### 2.1.2 Značajke rijeke Krke

Rijeka Krka nalazi se u središnjoj Dalmaciji na području Šibensko-kninske županije. S potopljenim dijelom ušća Krka je duga oko 72,5 km i po dužini je 22. rijeka u Hrvatskoj. Izvire u podnožju planine Dinare, 3,5 km sjeveroistočno od Knina, teče kroz kanjon dug 75 km, protječe kroz Prokljansko jezero te utječe u Šibenski zaljev.

Na rijeci Krki nalazi se pet hidroelektrana (HE Jaruga i Miljacka te male HE Golubić, Roški slap i Krčić). HE Jaruga ispod slapa Skradinskog buka je druga najstarija hidroelektrana u svijetu i prva u Europi. Sagrađena je 28. kolovoza 1895., samo tri dana nakon prve svjetske hidroelektrane na slapovima Niagare. HE Miljacka je jedna je od najstarijih aktivnih hidroelektrana u svijetu, do danas u neprestanom pogonu. Zbog svojih karakteristika predstavlja važnu energetska, industrijsku i kulturnu baštinu te posebnu jedinstvenost, što ju je svrstalo 2018. u Hydro Hall of Fame.

Važnost rijeke može se i vidjeti u činjenici da se iz njenih podzemnih tokova izvlači voda za potrebe okolnih naselja, poput vode vodoopskrbnog područja Miljacka, kojom se opskrbljuju stanovnici općina Promina, i Kistanje te grada Skradina (Vidaković Šutić i sur. 2010)

### 2.1.3 Klima i vegetacija područja

Šibensko-kninska županija klimatski je vrlo raznoliko područje. Po klimatskim prilikama Dalmatinska zagora se nalazi između mediteranske i kontinentalne klime te razlike između pojedinih mikrolokaliteta znaju biti velike (prvi mrazevi, apsolutne minimalne temperature). Na području sjeverno od Nacionalnog parka Krka prevladava umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom, ali bez izrazito sušnog razdoblja, dok na području Nacionalnog parka Krka i području južno od njega prisutna je također topla vlažna klima, ali s vrućim i suhim ljetom (Hodžić i Šorić 2011).

Na osnovi višegodišnjih prosjeka srednja mjesečna temperatura zagorskog dijela je 13,6 °C, s najnižim temperaturama od 4,0 °C zabilježenih u siječnju, i najvišom srednjom mjesečnom temperaturom od 23,3 °C u srpnju. U odnosu na priobalno i otočno područje, u zagorskom dijelu prisutne su niže srednje mjesečne i godišnje vrijednosti temperature zraka, a zabilježeni minimumi temperature duže traju (Vidaković Šutić i sur. 2010).

Područje rijeke Krke prema raspodjeli biljnih vrsta pripada mediteranskom i submediteranskom području te se zbog specifičnog položaja i mozaičnog rasporeda

različitih stanišnih tipova odlikuje bogatom florom. Šumske površine zauzimaju 26,21 % površine prostora Županije. NP Krka karakteriziraju šume crnog graba s jesenskom šašikom (*Seslerio-Ostryetum*) u brdskom pojasu, mješovite šume hrasta medunca i bijelog graba (*Quercocarpinetum orientalis*) u unutrašnjosti i mješovite šume hrasta crnike i crnog jasena (*Orno-Quercetum ilicis*) u primorskom dijelu. Manji dio površina (pogranično kontinentalno područje) zauzimaju šume primorske bukve i pretplaninske šume bukve (Vidaković Šutić i sur. 2010).

#### 2.1.4 Speleološki objekti

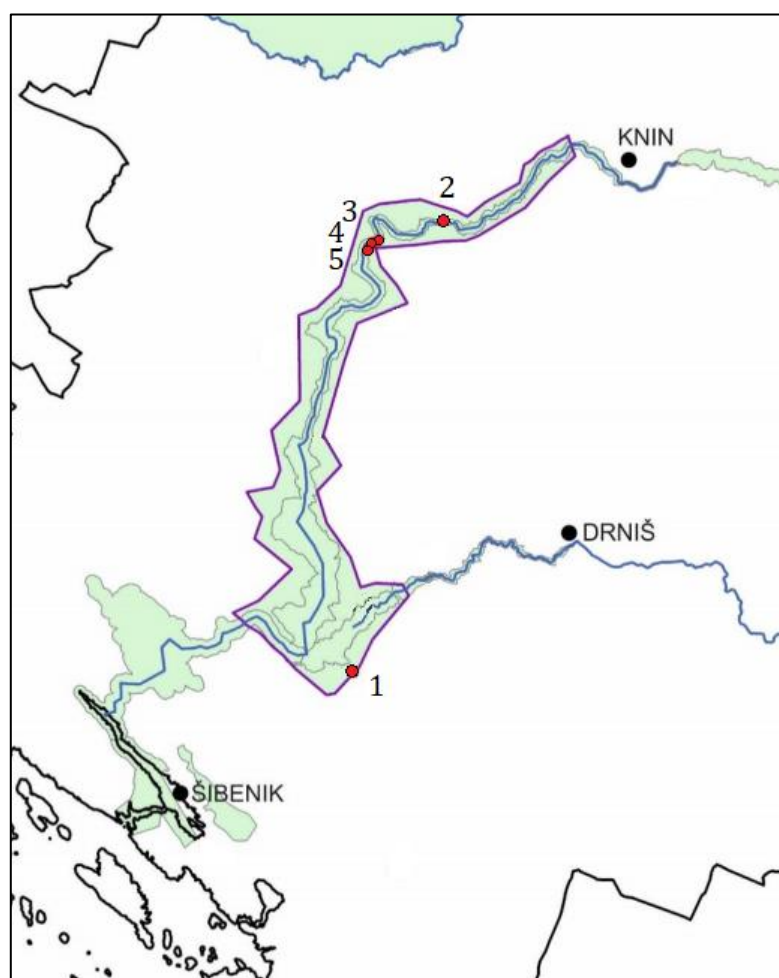
Uz rijeku Krku nalazi se stotinjak špilja i jama, a na samom području Parka trenutno ih je 65 poznato. Najviše objekata zabilježeno je u prominskim naslagama i gornjokrednim rudistnim vapnencima. U sedrenim barijerama nalaze se speleološki objekti u kvartarnim tvorevinama i uglavnom su manjih dimenzija (Marguš i sur., 2012, 2013). Istraživanja podzemlja pokazuju veliku raznolikost živoga svijeta te je u speleološkim objektima Parka zabilježeno 129 svojti među kojima su mnoge rijetke, važne endemske za Hrvatsku ili područje Dinarida te i nove za znanost (Lukić i sur. 2018, Marguš i sur. 2012, 2013)

Preduvjet za monitoring nekog speleološkog objekta je inventarizacija faune (Culver i Sket 2002, Miculinić i sur 2016), a zahvaljujući detaljnim podacima o sastavu faune iz prijašnjih istraživanja HBSD-a na području Parka u razdoblju od 2005. do 2013. godine, ovaj korak ovdje nije bilo potrebno provoditi. Na taj se način sakupljanje faune smanji na najnižu moguću mjeru, jer se za determinaciju sakupljaju samo primjerci za koje se ne može odrediti taksonomska pripadnost na licu mjesta ili su smatrani novoustanovljenim svojnama za taj objekt.

Na temelju podataka dosadašnjih istraživanja, izabrani su speleološki objekti sa pogodnim karakteristikama za dugotrajna istraživanja i s špiljskom faunom u dovoljno velikim populacijama. U ovom radu prikazujemo i analiziramo rezultate istraživanja u pet speleološka objekta u području Parka (Tablica 1, Slika 4):

**Tablica 1.** Popis istraživanih objekata i njihove Gauss – Kruger koordinate

Redni broj	Ime speleološkog objekta	GK koordinata X	GK koordinata Y
1	Stara jametina	5581059	4850457
2	Miljacka II	5581875	4873378
3	Sedrena špilja iza mlina	5585991	4874897
4	Sedrena špilja kod stola	5586085	4874948
5	Sedrena špilja s jamskim ulazom	5586103	4874946



**Slika 4.** Karta NP Krka (granica označena ljubičastom bojom), ekološke mreže Natura 2000 (označeno zelenom bojom) i položaj istraživanih speleoloških objekata: 1. Stara jametina, 2. Miljacka II, 3. Sedrena špilja iza mlina, 4. Sedrena špilja kod stola i 5. Sedrena špilja s jamskim ulazom.

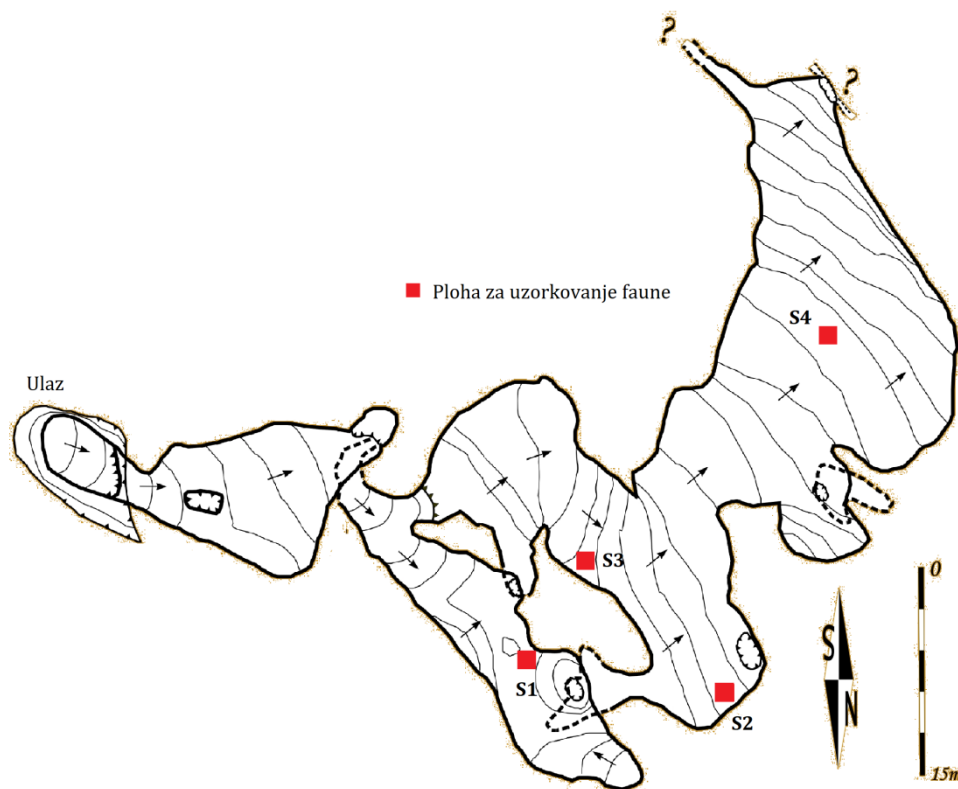
## 2.2 Opis istraživanih objekata i metodologije praćenja stanja faune i staništa

### 2.2.1 Praćenje stanja metodom „cenzus ploha“

U dva speleološka objekta (Stara jametina i Miljacka II) provodilo se testiranje metode praćenja stanja koje smo nazvali **cenzus ploha**. Metoda cenzusa ploha podrazumijeva bilježenje ukupnog broja jedinki svih svojiti na odabranim plohamama bez vremenskog ograničenja u dva navrata: bez mamaca te 48 sati nakon postavljenih mamaca. Mamci su korišteni sa svrhom privlačenja faune na određeno stanište ili dio objekta. Prilikom prvog posjeta, na sredinu plohe postavljao se mamac (mješavina sira i konzervirane ribe), koji se u objektima gdje dolaze sitniji sisavci zaštitio poklopcima s rupama ili bi se u tankom sloju razmazali po podlozi (stijena, sediment, itd.). Za drugog posjeta kontrolirala se prisutnost mamca te su se nakon prebrojavanja faune, mamci uklanjali s ploha.

Kako bismo dobili uvid u prostorne i sezonske promjene sastava faune između različitih mikrostaništa unutar objekta, plohe određene za provođenje metode cenzusa su se kategorizirale kao eutrofne, mezotrofne i oligotrofne, s obzirom na količinu organskog materijala, odnosno guana, izmeta drugih životinja, biljnih ostataka i sl.

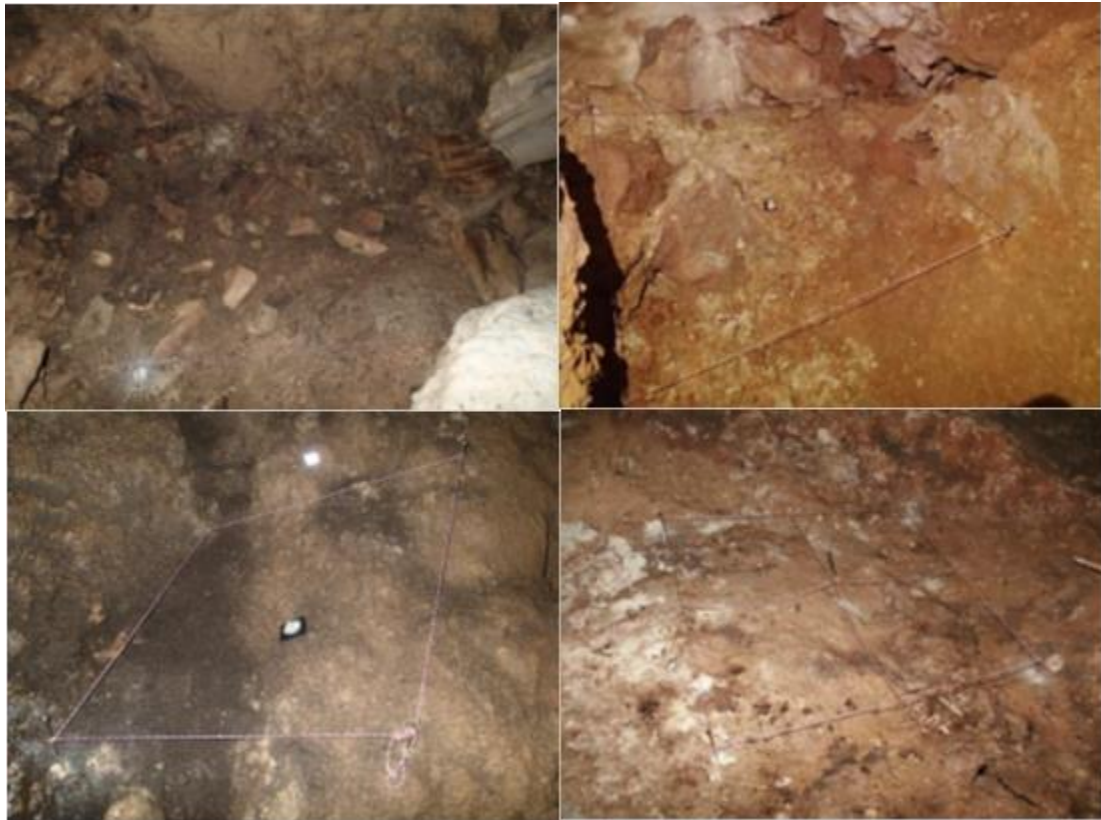
Prvi speleološki objekt u kojem je testirana ova metoda jest **Stara jametina**. Ova špilja smještena je nedaleko Gornjih Krnića kod Konjevrate. Dubina joj iznosi 85 metara, što ju čini najdubljim speleološkim objektom u NP Krka. Ima dva ulaza koji vode u prvu dvoranu, jedan špiljski i jedan jamski. Iako se u svojem imenu naziva jametina, prema speleološkoj klasifikaciji, s obzirom na prosječni nagib kanala, ovaj se objekt ubraja u špilje, ali je gotovo u potpunosti prohodna bez upotrebe speleoloških tehnika s izuzetkom samo jedne četiri metarske vertikale (Marguš i sur. 2012, 2013). Karakteriziraju je veliki prostori međusobno odijeljeni uskim kanalima pa je jama prirodno podijeljena u četiri cjeline, odnosno dvorane (Slika 5) Špilja, osim par nakapnica nije hidrološki aktivna. Prethodnim istraživanjima u Staroj jametini utvrđene su 52 svojte među kojima je devet vrsta troglobionata (Marguš i sur. 2012, 2013).



**Slika 5.** Tlocrt Stare jametine (autor nacrt: O. Lukić, modificirano) s označenim plohama za uzorkovanje faune (S1, S2, S3 i S4), izvor: Državni speleološki katastar (URL 5).

U Staroj jametini odabrane su 4 plohe za provođenje praćenja stanja faune i staništa. Plohe su bile razmještene u dubljim dijelovima (2., 3. i 4. dvorana) gdje su stabilni podzemni ekološki uvjeti. Raspored ploha i tip staništa koje ih čine je bio sljedeći (Slika 5, Slika 6):

1. S1 – vlažni sediment i kamenje s malo organskih ostataka i pojedinačnim izmetima šišmiša (mezotrofna), površina plohe 1 m<sup>2</sup> – 2. dvorana
2. S2 – glina i kamen, bez organskih ostataka (oligotrofna), površina plohe 1 m<sup>2</sup> – 3. dvorana
3. S3 – guano (eutrofna), površina plohe 0,25 m<sup>2</sup> – 3. dvorana
4. S4 – vlažna stijena s malo organskih ostataka, kamenje (oligotrofna), površina plohe 1 m<sup>2</sup> – 4. dvorana



**Slika 6.** Plohe za uzorkovanje u Staroj jametini.

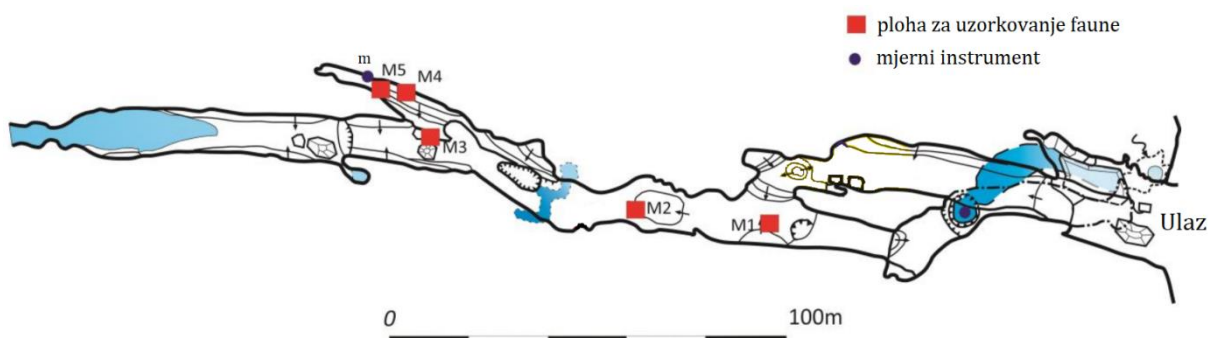
Gore lijevo – mezotrofna ploha (S1); gore desno – oligotrofna ploha (S2); dolje lijevo – eutrofna ploha (S3); dolje desno – oligotrofna ploha (S4)  
(Foto: T. Dražina i K. Miculinić).

Drugi speleološki objekt u kojem se provodilo testiranje metode cenzusa ploha je špilja **Miljacka II**. Ova špilja je najdulji speleološki objekt na području NP Krka i šireg područja, s trenutno 3365 m duljine (URL 4). Smještena je na desnoj obali Krke u neposrednoj blizini HE Miljacka. Špilja je kompleksan, etažni i razgranat speleološki objekt. U špilji je prethodnim istraživanjima utvrđeno 42 svojte terestričkih i 6 svojti akvatičkih beskralješnjaka te se smatra velikim speleološkim objektom s raznolikim i brojnim mikrostaništima (Marguš i sur. 2012, 2013). U sifonu ove špilje zabilježene su populacije strogo zaštićene čovječje ribice (*P. anguinus*), a kolonije šišmiša izrazito utječu na kopnena staništa prvih dijelova špilje. Za Miljacku II Pavlinić i sur. (2010) navode ukupno sedam zabilježenih vrsta šišmiša (*Rhinolophus euryale*, Blasius, 1853, *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774), *Rhinolophus hipposideros* (Bechstein, 1880), *Myotis blythii* (Tomes, 1857), *Myotis capaccinii* (Bonaparte, 1837), *Myotis emarginatus* (Tomes, 1857) i *Myotis myotis* (Borkhausen, 1797)), a tokom ljetnih mjeseci vrsta *M. capaccinii* stvara porodiljne kolonije koje dosežu brojnost i do 7000 jedinki. Osim šišmiša, na živi svijet u objektu utječe aktivni vodeni tok, koji u jesenskom i

zimskom periodu za vrijeme najviših vodostaja ponekad u potpunosti preplavljuje glavni kanal, dok se za niskog vodostaja voda zadržava u obliku velikih jezera i dugačkih sifona (Marguš i sur. 2012, 2013).

Testiranje metode cenzusa ploha u Miljacki II se provodilo koristeći identičnu metodologiju kao i u Staroj jametini: bilježenje ukupnog broja jedinki svih svojti na odabranim ploham bez vremenskog ograničenja u dva navrata: bez mamaca te 48 sati nakon postavljenih mamaca. U Miljacki II odabrano je 5 plohe za provođenje praćenja stanja faune i staništa (Slika 7). Plohe su bile razmještene u dubljem ulaznom dijelu Glavnog kanala špilje, prije povremenog jezera i 1. sifona, gdje su stabilni podzemni ekološki uvjeti. Za potrebe ovog istraživanja i zbog usporedbe sličnih ploha različitih špilja odabrane plohe su se kategorizirale kao eutrofne, mezotrofne i oligotrofne, s obzirom na količinu organskog materijala, odnosno guana, izmeta drugih životinja, biljnih ostataka i sl. Raspored ploha i tip staništa koje ih čine je bio (Slika 7 i 8):

1. M1 – vlažni sediment s rijetkim guanom, površina plohe 1 m<sup>2</sup> – mezotrofna ploha
2. M2 – vlažni sediment s puno guana, površina plohe 1 m<sup>2</sup> – eutrofna ploha
3. M3 – velika naslaga guana, površina plohe 0,25 m<sup>2</sup> – eutrofna ploha
4. M4 – vlažni sediment bez organskih ostataka, površina plohe 1 m<sup>2</sup> – oligotrofna ploha
5. M5 – vlažni sediment s jako rijetkim guanom, površina plohe 1 m<sup>2</sup> – mezotrofna ploha



**Slika 7.** Tlocrt špilje Miljacka II (autori nacrt: O. Lukić i B. Jalžić, modificirano) s označenim ploham za uzorkovanje faune (M1, M2, M3, M4 i M5) i lokacijom instrumenta za mjerenje temperature i vlage (m).





**Slika 8.** Plohe za uzorkovanje u Miljacki II.

Gore lijevo – mezotrofna ploha (M1); gore desno – eutrofna ploha (M2); drugi red lijevo – eutrofna ploha (M3); drugi red desno – oligotrofna ploha (M4), treći red – mezotrofna ploha (M5).

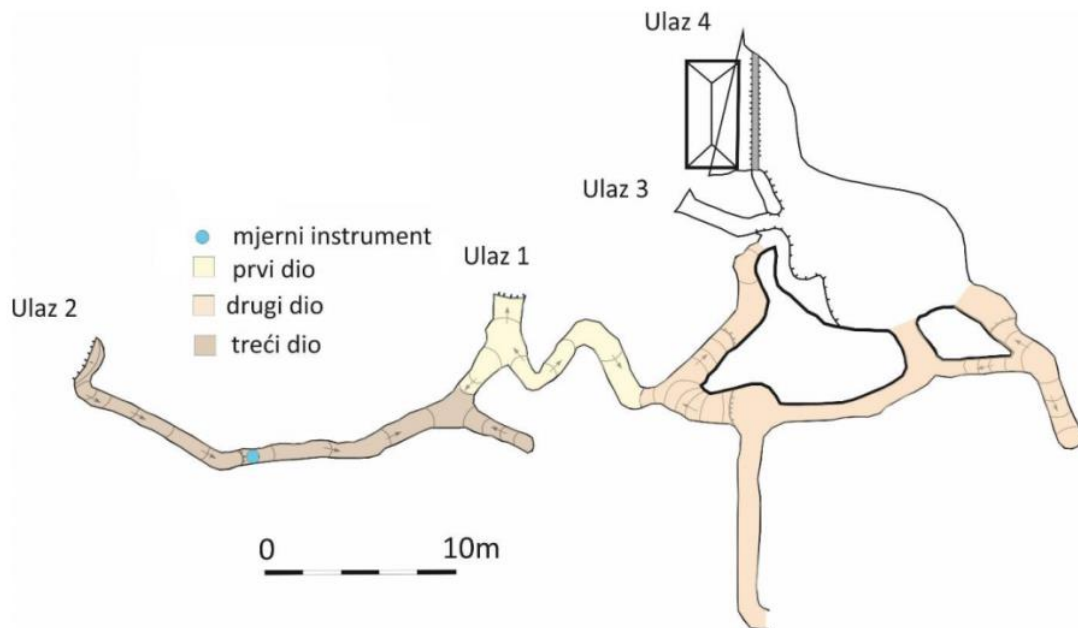
### 2.2.2 Praćenje stanja metodom „cenzus objekta“

U tri speleološka objekta (Sedrena špilja iza mlina, Sedrena špilja kod stola i Sedrena špilja s jamskim ulazom) provodilo se testiranje metode praćenja stanja koje smo nazvali **cenzus objekta**, a kako bi se ustanovio prostorni raspored pojedinih svojti, u objektima je prethodno napravljeno kartiranje staništa (npr. stijena, kamenje, glina, guano...) te je svaki objekt u pravilu podijeljen na 3 dijela, koji prema morfologiji špiljskih kanala, udaljenosti od ulaza, mikroklimatskim parametrima te potencijalno sastavu faune čine zasebne cjeline. Metoda cenzusa objekta uključivala je vremenski ograničeno brojanje ukupnog broja jedinki svih svojti po dijelovima špilje, uvijek s jednakim brojem istraživača. Culver i Sket (2002) predlažu da je minimum za takav cenzus 100 čovjek/minuta, što bi značilo da troje istraživača broji 33 minute, čak i u jako maloj špilji. Ovom metodom zabilježe se i životinje koje migriraju ovisno o mikroklimatskim i ostalim uvjetima u špilji, a koje bi primjenom ploha na određenom mjestu mogle biti izostavljene.

**Sedrena špilja iza mlina**, s 124 m kanala je jedna od najduljih špilja nastalih u sedri u Hrvatskoj. Nalazi se unutar granica NP Krka, nedaleko zaselka Burze, a u neposrednoj blizini Bilušića buka. Karakterizira je splet kanala prirodno nastalih u sedri te umjetno prokopani kanali koji su služili za potrebe napuštene mlinice.

Provedbom kartiranja tipova staništa i vizualnim pregledom uvjeta koji vladaju u pojedinim dijelovima, Sedrena špilja iza mlina je podijeljena u 3 dijela (Slika 9):

1. Prvi dio – ulazni dio s lijevim spletom kanala – suhe do vlažne stijene i sediment; zabilježeno strujanje zraka
2. Drugi dio – suhi kanali iza mlina – polutama; suhe stijene i kamenje; zabilježeno strujanje zraka
3. Treći dio – glavni kanal – tama; vlažan/mokar sitnozrnati sediment i stijene; sigovina, korijenje biljaka, prisutna procjedna voda



**Slika 9.** Tlocrt Sedrene špilje iza mlina (autor nacрта: A. Kučić, modificirano) sa označenim dijelovima špilje i pozicijom trajnog mjernog instrumenta, izvor: Državni speleološki katastar (URL 5).

U neposrednoj blizini Bilišića buka na udaljenosti od dvadesetak metara nalaze se dvije manje špilje nastale u sedri: **Sedrena špilja kod stola** i **Sedrena špilja s jamskim ulazom**. U obje špilje se provodilo testiranje metode cenzusa objekta, koristeći identičnu metodologiju kao i u Sedrenoj špilji iza mlina: vremenski ograničeno brojanje ukupnog broja jedinki svih svojti po dijelovima špilje (dijelovi špilje definirani su kartiranjem objekta), uvijek s jednakim brojem istraživača.

Sedrena špilja kod stola je jednostavne morfologije, duljine 21 metar. U špilji se osjeća vanjski klimatski utjecaj, te je prisutan unos organske tvari izvana. Nakon kartiranja staništa špilja je podijeljena na tri dijela (Slika 10):

1. Prvi dio – ulazna zona i središnji dio s kamenjem i vegetacijom u zoni svjetlosti
2. Drugi dio – Lijevi kanal sa sigovinom, sedimentom, listincem i kamenjem u zoni polutame
3. Treći dio – desni kanal s kamenjem i sedimentom u zoni tame

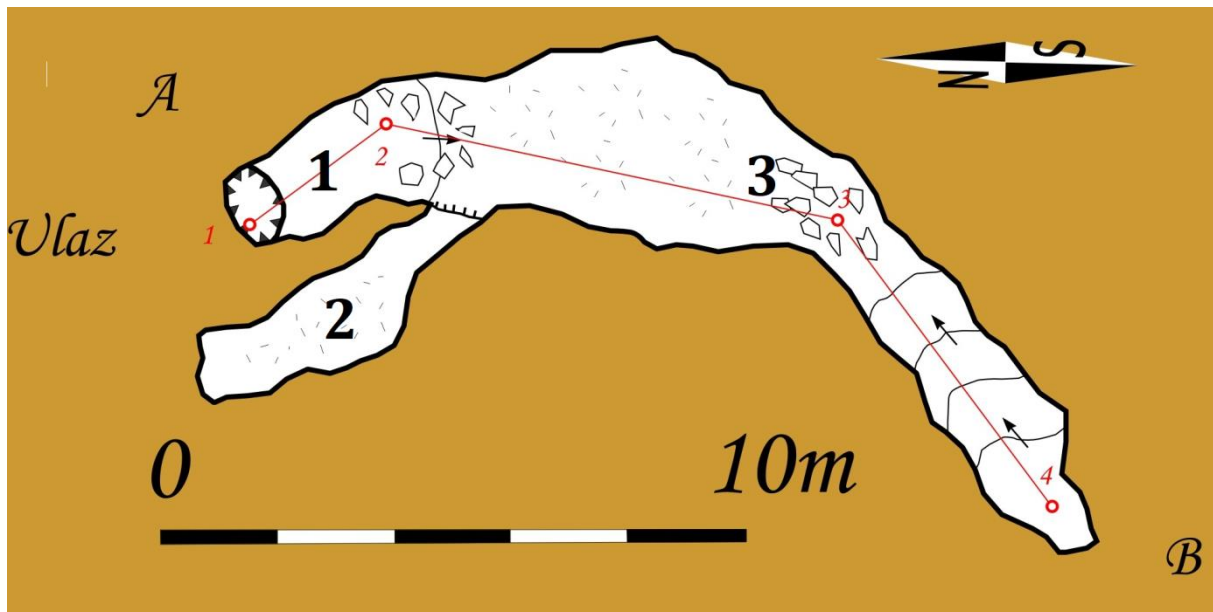


**Slika 10.** Tlocrt Sedrene špilje kod stola (autor nacрта: J. Radaljac, modificirano) s označenim dijelovima špilje (1 – prvi dio, 2 – drugi dio, 3 – treći dio), izvor: Državni speleološki katastar (URL 5).

Sedrena špilja s jamskim ulazom je druga manja sedrena špilja u blizini Bilušića. Buka. Špilja je dugačka 18 metara, a unatoč ulaznoj trometarskoj vertikali, dostupna je bez korištenja speleološke opreme. Na dnu ulaza nalazi se velika količina organske tvari.

Kao i kod Sedrene špilje kod stola, s kojom ima zajedničke karakteristike, nakon kartiranja staništa špilja je podijeljena na tri dijela (Slika 11):

1. Prvi dio – ulazna zona i središnji dio s kamenjem i puno biljne organske tvari u zoni svjetlosti
2. Drugi dio – provlačenje lijevo od ulaza sa sedimentom, sigovinom i korijenjem biljaka
3. Treći dio – glavni kanal s kamenjem i sedimentom u zoni tame.



**Slika 11.** Tlocrt Sedrene špilje s jamskim ulazom (autor nacрта: J. Gracin, modificirano) sa označenim dijelovima objekta (1 – prvi dio, 2 – drugi dio, 3 – treći dio), izvor: Državni speleološki katastar (URL 5).

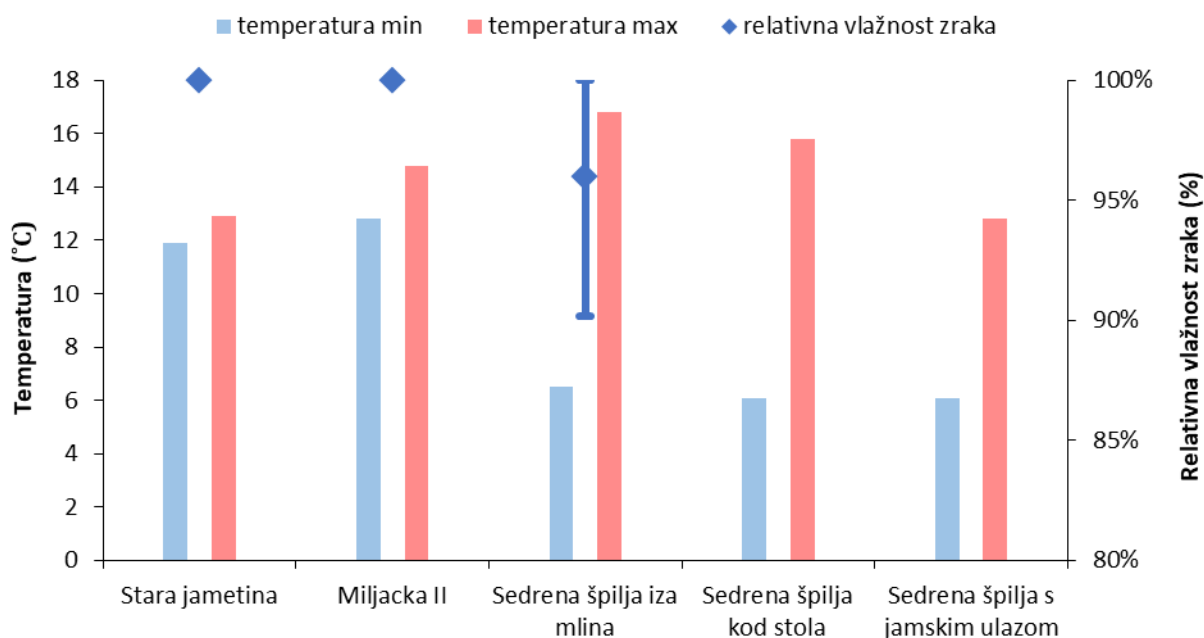
### 2.2.3 Mjerenje abiotičkih čimbenika

Mikroklimatska mjerenja (temperature i relativne vlage zraka) su u Staroj jametini, Miljacki II i Sedrenoj špilji iza mlina mjereni postavljanjem trajnog mjernog uređaja marke HOBO U23-001. Od abiotičkih parametara u Sedrenoj špilji kod stola i Sedrenoj špilji s jamskim ulazom mjerena je samo temperatura zraka ubodnim termometrom TESTO 105. Dobivene vrijednosti temperature zraka i relativne vlažnosti svih pet objekata su navedene u Tablici 1. i prikazane grafičkim prikazom na Slici 12.

U Staroj jametini trajni mjerni uređaj je postavljen u trećoj dvorani, u Miljacki II na gornjoj galeriji glavnog kanala prije sifona, a u Sedrenoj špilji iza mlina uređaj je postavljen na sredini glavnog kanala (treći dio), koji je jedini dio špilje u kojem je zamijećena stalna vlažnost sedimenta i prokapavanje (Slike 5, 7 i 9)

**Tablica 2.** Raspon temperaturnih vrijednosti, srednja vrijednost temperature i relativna vlažnost zraka

Promatrani objekt:	Temperatura (°C):				Relativna vlaga zraka:
	Ave	SD	Min	Max	
Stara jametina	12.4	0.5	11.9	12.9	100%
Miljacka II	13.8	2	12.8	14.8	100%
Sedrena špilja iza mlina	11.8	6.2	6.5	16.8	90,2-100%
Sedrena špilja kod stola	10.4	3.7	6.1	15.8	/
Sedrena špilja s jamskim ulazom	9.6	2.5	6.1	12.8	/



**Slika 12.** Raspon temperaturnih vrijednosti i relativna vlažnost zraka istraživanih objekata.

#### 2.2.4 Analiza podataka i intenzitet terenskih istraživanja

Sva navedena istraživanja su bila provedena u razdoblju od ožujka 2015. godine do listopada 2016. godine, s terenskim izlascima u svakoj sezoni (proljeće, ljeto, jesen, zima), izuzev jeseni 2015. Svaki pojedini objekt je, ovisno o metodi istraživanja, posjećen jednom ili dvaput po sezoni.

U ovom radu su analizirane promjene sastava i raznolikosti faune u prostoru, kroz sezone te uslijed drugačijih metoda uzorkovanja te su analizirane sličnosti i razlike istih mikrostaništa u različitim speleološkim objektima.

Za potrebe statističkih analiza i predočenja podataka fauna je podijeljena na troglobionte (TB) i netroglobionte (nTB). U kategoriju netroglobionata svrstane su sve svojte za koje se smatra da nisu troglobionti, a u tu kategoriju spadaju troglofilne, trogloksene i edafske svojte (one koje žive u intersticijskim staništima tla) te slučajni posjetioci i vrste čija ekologija još nije dovoljno poznata. Sličan pristup u istraživanju i prikazu rezultata podzemne faune koristili su Trontelj i sur. (2019) i Mammola i sur. (2020).

Kako bi se dobila bolja predodžba o pojedinom špiljskom staništu i pripadajućoj fauni, uzorkovanim svojutama računala se dominantnost i konstantnost. Dominantnost se računala kao omjer ukupne brojnosti pojedine svojte u objektu, naspram ukupne brojnosti faune cijelog objekta, a izražava se u postocima. Formula za izračun dominantnosti svojte glasi:

$$D_n = \frac{a_n}{\sum_{i=1}^n a_i} 100\% \quad (1)$$

pri čemu su:

$D_n$  – dominantnost skupine  $n$ ;

$a_n$  – broj jedinki unutar skupine  $n$ ;

$\sum_{i=1}^n a_i$  – ukupan broj uzorkovanih jedinki

Vrijednosti dobivene za dominantnost mogu se podijeliti u pet razreda:

- vrste s dominantnosti većom od 10% - eudominantne
- vrste s dominantnosti između 5 i 10% – dominantne
- vrste s dominantnosti između 2 i 5% – subdominantne
- vrste s dominantnosti između 1 i 2% – recendentne
- vrste s dominantnosti ispod 1% - subrecendentne

Konstantnost nam pokazuje povezanost neke vrste s određenim staništem, tj. u kojem je broju uzoraka zastupljena određena vrsta. Konstantnost ovisi o prostornoj i

vremenskoj distribuciji vrste u staništu (Durbešić 1988). Konstantnost se računala tako da se svakim izlaskom na teren bilježila prisutnost svojte u objektu i podijelila sa ukupnim brojem izlaska na teren te se također izražava u postocima, a računa po formuli:

$$C_n = \frac{u_n}{U} 100\% \quad (2)$$

pri čemu su:

$C_n$  – konstantnost skupine  $n$ ;

$u_n$  – broj uzoraka u kojima se pojavljuje skupina  $n$

$U$  – ukupan broj uzoraka na kojima je provedeno istraživanje

Kao i dominantnost, konstantnost možemo podijeliti u razrede:

- eukonstantne vrste – one koje se susreću u 75 – 100% uzoraka
- konstantne vrste - one koje se susreću u 50-75% uzoraka
- akcesorne vrste - one koje se susreću u 25 – 50% uzoraka
- akcidentalne (slučajne) vrste - one koje se susreću u 0-25% uzoraka

Formule (1) i (2) i podjele preuzete su i prilagođene iz Durbešić (1988).

Računao se i Shannonov ( $H'$ ) index kako bi se izmjerila raznolikost vrsta i uzela u obzir njihova ujednačenost u promatranoj zajednici.  $H'$  indeks se računao po formuli (Spellerberg i Fedor 2003):

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

pri čemu je  $p_i$  udio vrste u uzorku (odn. plohi, staništu ili objektu).

Za statističku obradu podataka koristili su se neparametrijski testovi: Kruskal–Wallis (KW) test za utvrđivanje značajnosti razlika između više nezavisnih varijabli te Spearmanov test korelacije. Navedeni testovi provodili su se u programu STATISTICA 13. Za višedimenzionalne analize multivarijatnih setova podataka korištene su dvije metode: nemetričko multidimenzionalno skaliranje (NMDS) i dendogram analiza, koje se provode u programu PRIMER 6 i CANOCO 5.



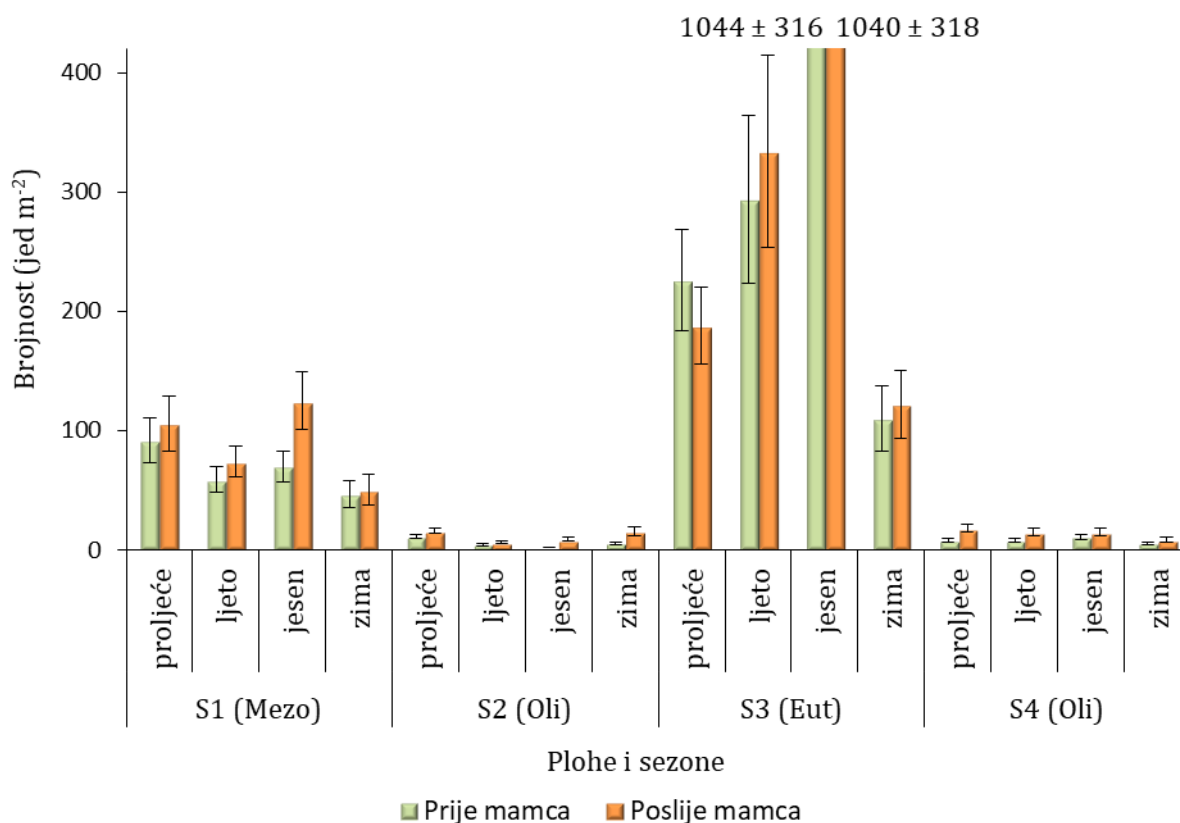
Minimalne preinake nacрта speleoloških objekata rađene su u programu Microsoft Paint (Microsoft Corporation 2010), a tabelarni i grafički prikazi podataka izrađeni su pomoću računalnog programa Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corporation 2010).

## 3 Rezultati

### 3.1 Cenzus ploha

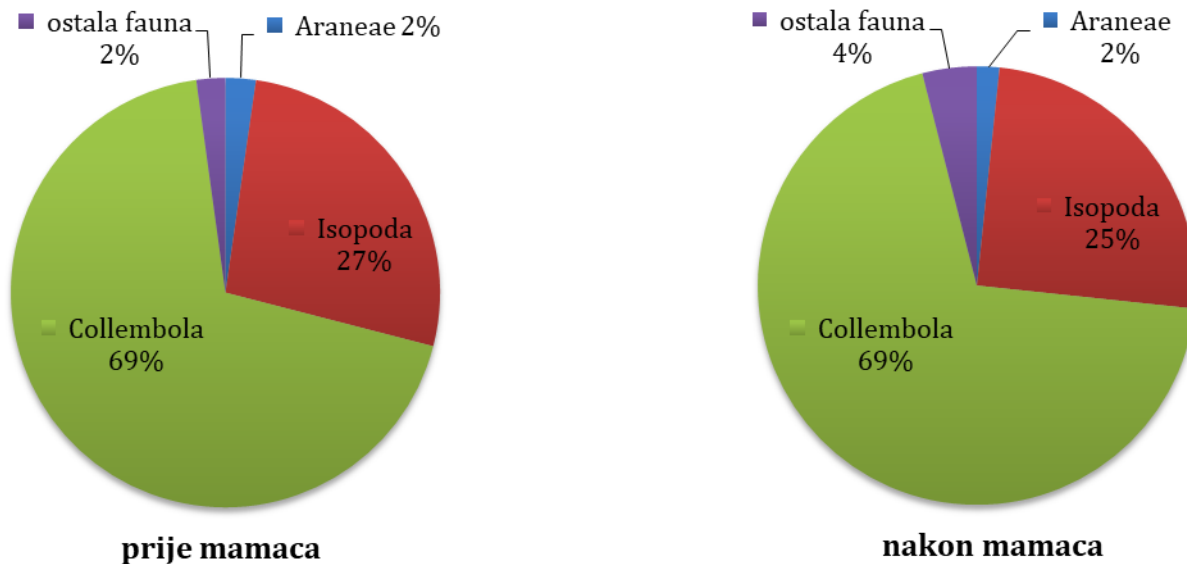
#### 3.1.1 Stara jametina

Ukupna brojnost faune na odabranim plohama Stare jametine prije i nakon postavljanja mamaca prikazana je na Slici 13. Iako je prisutan generalni trend povećanja ukupne brojnosti faune nakon dodavanja mamaca, ova razlika nije statistički značajna (KW test:  $p > 0,05$ ). Najveća brojnost faune je utvrđena na plohi s guanom (S3) koja je eutrofna, a nakon koje slijedi mezotrofna ploha (S1) koja se nalazi na području vlažnog sedimenta s rijetkim guanom, dok je najmanja brojnost faune zabilježena na oligotrofnim plohama (S2 i S4). Navedene razlike u brojnosti faune između pojedinih ploha je značajna (KW test:  $H = 26,95$ ;  $p < 0,00001$ ). Kada se promatra sezonska raspodjela, povećana brojnosti faune na gotovo svim plohama zabilježena je u proljetnom i jesenskom razdoblju, ali ove promjene nisu statistički značajne (KW test:  $p > 0,05$ ).

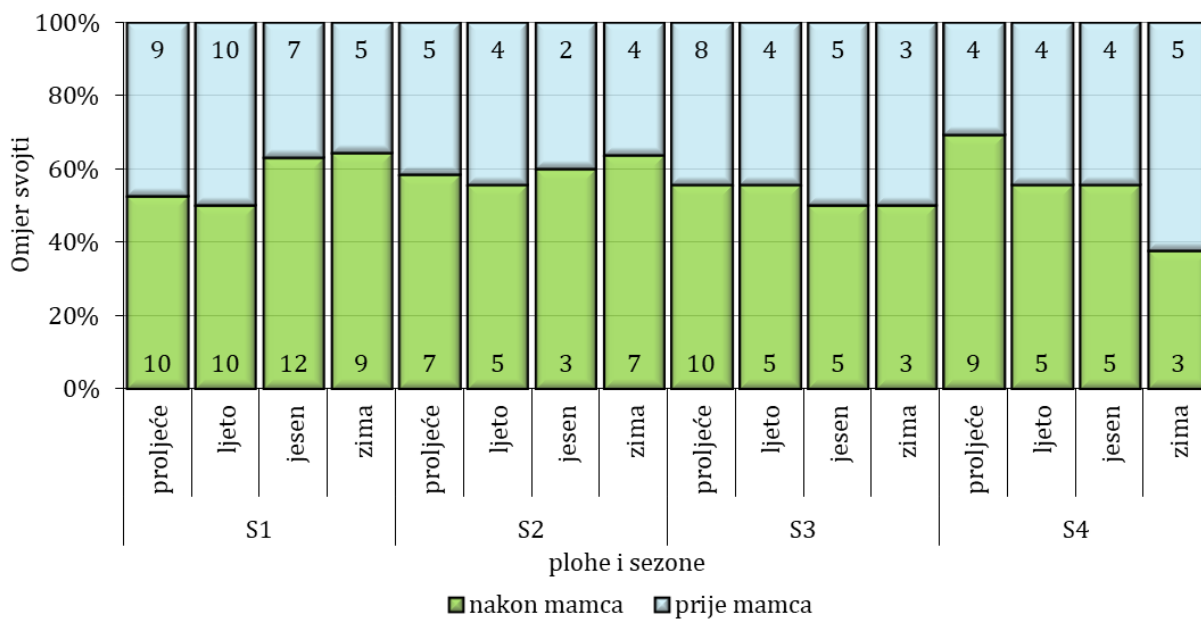


**Slika 13.** Prosječna prostorno-sezonska brojnost faune na plohama Stare jametine. Eut – eutrofne; Mezo – mezotrofne; Oli – oligotrofne plohe.

Dominirale su skupine Collembola (skokuni), Isopoda (jednakonožni rakovi) i Araneae (pauci) te je njihov relativni udio ostao gotovo isti prije i nakon dodavanja mamaca (Slika 14). Ukupno je zabilježeno 23 svojiti beskralješnjaka (Dodatak 1). Eudominantne svojte su bile: troglobilni skokuni (Collembola) vrste *Heteromurus nitidus* Hopkin, 2004 s dominantnošću od 34% i vrsta porodice Hypogastruridae s dominantnošću od 27% te troglobiontna vrsta jednakonožnog raka (Isopoda) *Alpioniscus balthasari* (Frankenberger, 1937) s dominantnošću od 32%. Broj svojiti po pojedinoj plohi je u prosjeku iznosio  $6 \pm 3$ . Iako je primijećeno povećanje broja svojiti nakon dodavanja mamaca, ta promjena nije statistički značajna (Slika 15; KW test:  $p > 0,05$ ).

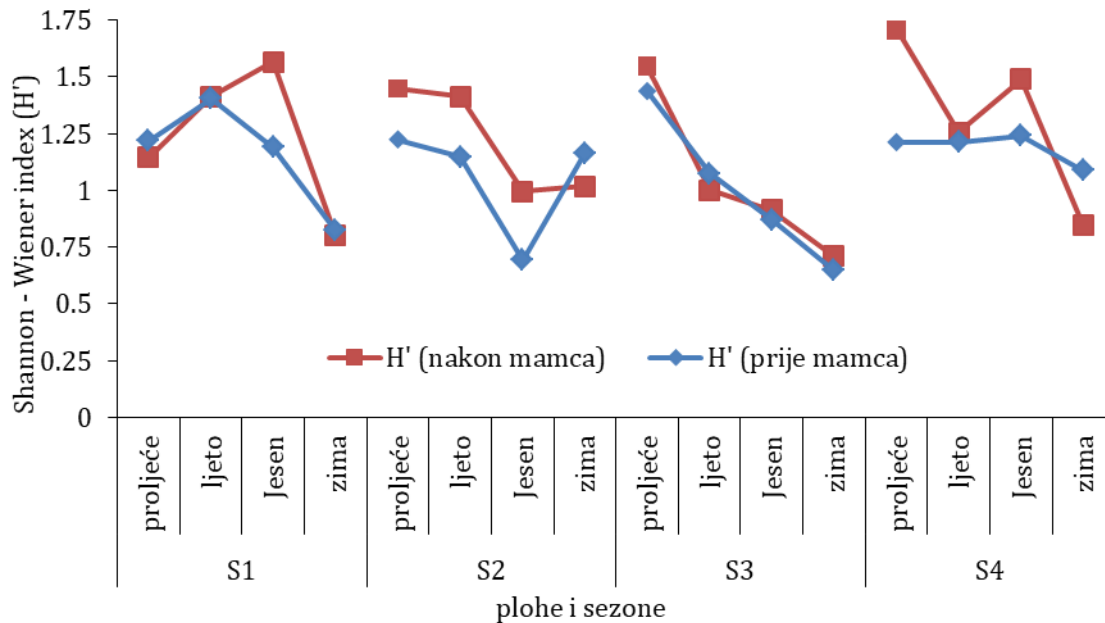


**Slika 14.** Relativni udio brojnosti jedinki dominantnih skupina i ostale faune, u svim promatranim sezonama i plohama prije i nakon dodavanja mamaca u špilji Stara jametina (ostala fauna: Acari, Chilopoda, Coleoptera, Diplopoda, Diplura, Diptera, Opiliones, Orthoptera i Pseudoscorpiones).



**Slika 15.** Omjer svojiti zabilježen u sezoni na plohi prije i nakon postavljanja mamca na plohama Stare jametine.

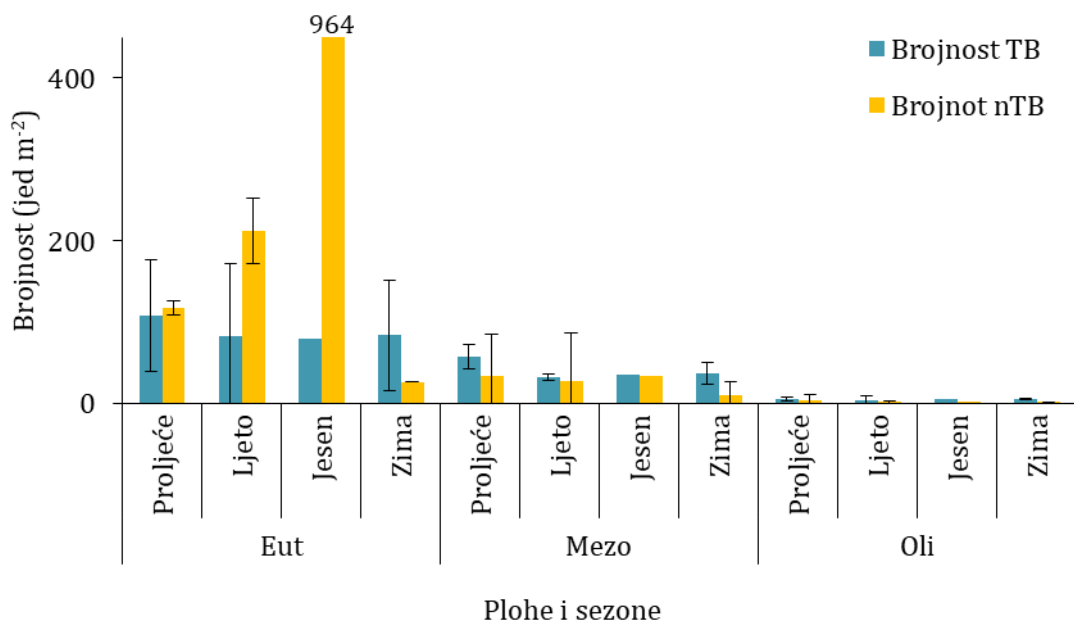
Sličnost faune uzorkovane prije i poslije postavljanja mamca može se vidjeti i na Slici 16 i prikazu Shannonovog indeksa raznolikosti ( $H'$ ) koji za Staru jametinu iznosi  $1,14 \pm 0,27$ . Minimalne vrijednosti raznolikosti su zabilježeni u zimskom razdoblju, a maksimalne vrijednosti u proljetnom razdoblju, ali navedene razlike nisu statistički značajne (KW test:  $p > 0,05$ ).



**Slika 16.** Vrijednosti Shannon - Wienerovog indeksa raznolikosti ( $H'$ ) kroz sezone prije i nakon dodavanja mamaca na plohe u špilji Stara jametina.

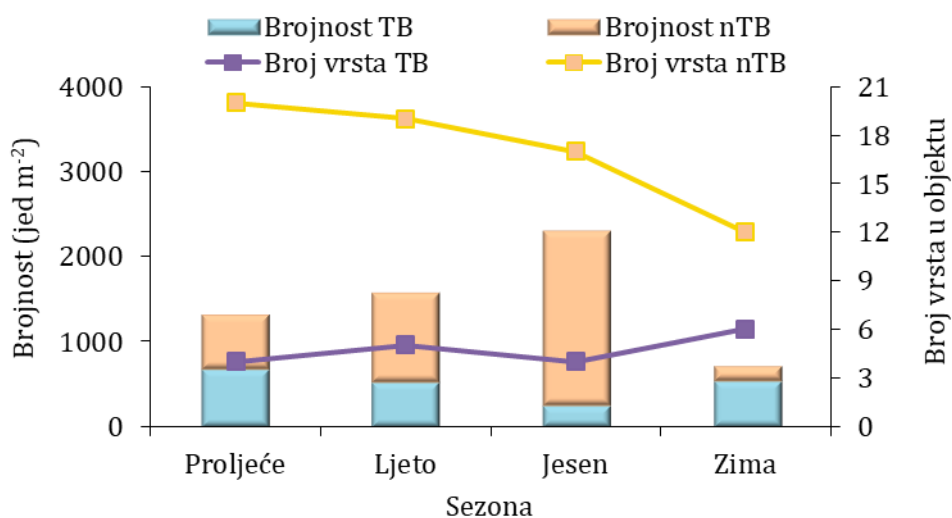
Pošto se testom ustvrdilo da nema statistički značajne razlike u brojnosti i raznolikosti prije i poslije postavljanja mamaca, za daljnja razmatranja uzeli smo samo podatke s ploha prije dodavanja mamaca, a plohe su grupirane prema tri stupnja trofije (eutrofne plohe, mezotrofne plohe i oligotrofne plohe).

Na oligotrofnim plohama su očekivano zabilježene najmanje brojnosti faune, a dominirali su troglobionti. S povećanjem trofije dolazi do ukupnog povećanja brojnosti faune (Slika 17). Na mezotrofnim plohama još je uvijek jedna troglobiontna vrsta (*A. balthasari*) brojnija u odnosu na troglofile i trogloksene, dok na eutrofnim plohama dominiraju u brojnosti netroglobiontne svojte, a među njima su najbrojniji skokuni (Collembola) porodice Hypogastruidae te troglofilna vrsta *H. nitidus*, zatim troglofilna vrsta dvokrilaca (Diptera) roda *Limonina*. Ove razlike su i statistički značajne: brojnost troglobionata na oligotrofnim staništima se statistički jasno razlikuje od mezotrofnim i eutrofnih staništa (KW test:  $H = 22,30$ ;  $p < 0,0001$ ), dok se za netroglobionte statistički razlikuju oligotrofne i eutrofne plohe (KW test:  $H = 14,71$ ;  $p < 0,005$ ).



**Slika 17.** Prosječna brojnost troglobionata (TB) i netrotroglobionata (nonTB) na eutrofnim (Eut), mezotrofnim (Mezo) i oligotrofnim (Oli) plohama po sezonama u Staroj jametini.

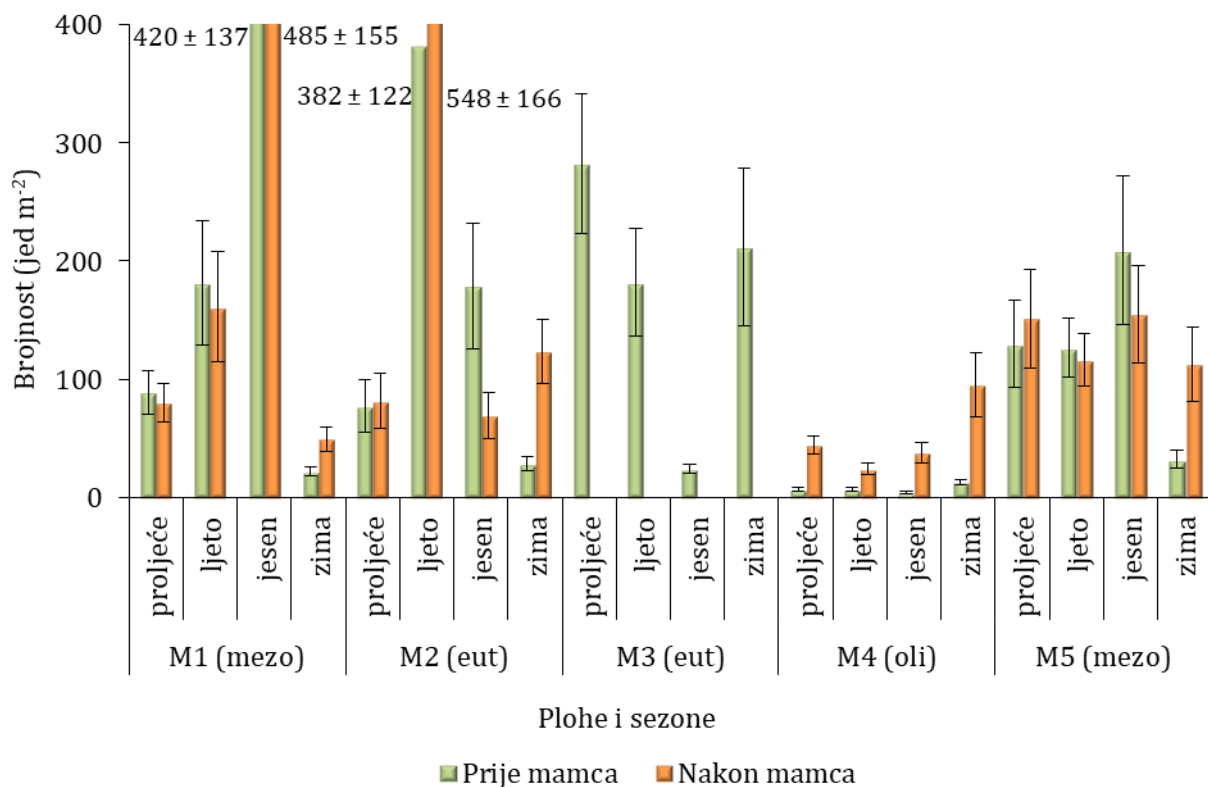
Broj troglobiontnih svojti i njihova brojnost su relativno konstantne vrijednosti kroz sezone, za razliku od netrotroglobiontnih beskralješnjaka, koji pokazuju znatno veće sezonske fluktuacije (Slika 18). Povećanoj brojnosti netrotroglobionata u jesenskom razdoblju prvenstveno su doprinijele guanobiontna vrsta iz porodice Hypogastruidae (Collembola) i troglofilna vrsta skokuna *H. nitidus*. Zimski period je najnepovoljniji za netrotroglobionte, kada im je i zabilježena minimalna brojnost i raznolikost.



**Slika 18.** Prosječna brojnost i broj vrsta zabilježene troglobiontne (TB) i netrotroglobiontne (nTB) faune kroz sezone u špilji Stara jametina.

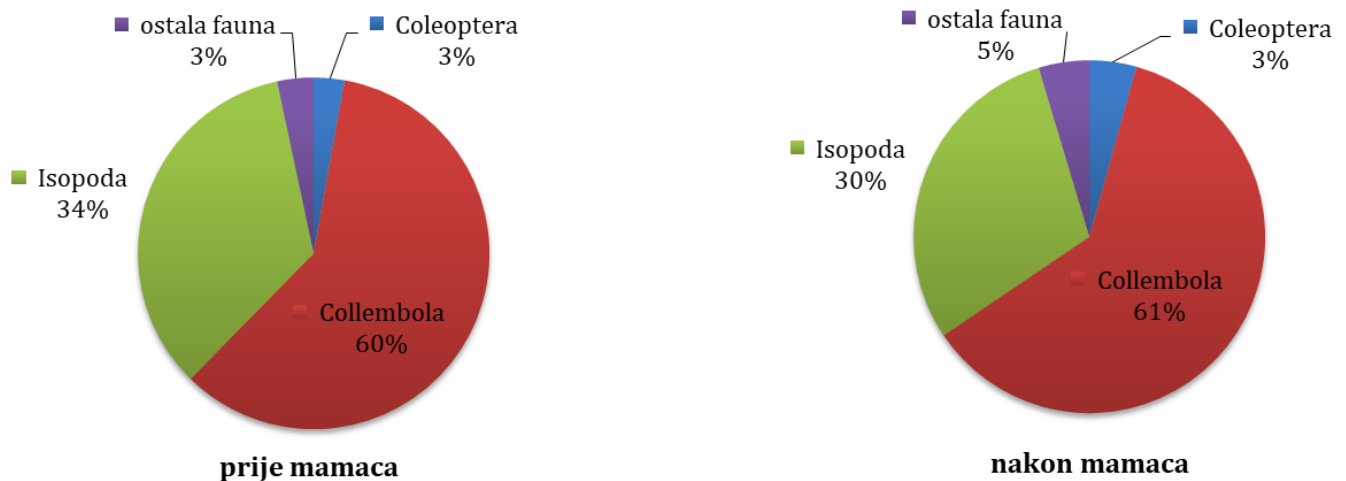
### 3.1.2 Miljacka II

Ukupna brojnost faune zabilježena prije i nakon postavljanja mamaca na odbranim plohama Miljacke II prikazana je na Slici 19. Slično kao i u slučaju Stare jametine, vidljivo je povećanje ukupne brojnosti faune nakon postavljanja mamca, međutim ta razlika nije statistički značajna (KW test:  $p < 0,05$ ). Na mezotrofnoj plohi M1 s rijetkim guanom zabilježena je najveća brojnost, a tek malo manja na eutrofnim plohama M2 i M3 s puno guana. Najmanju brojnost imala je oligotrofna podloga M4. Navedena razlika ukupne brojnosti faune na pojedinim plohama je značajna (KW test:  $H = 21,68$ ;  $p = 0,0002$ ). S obzirom na godišnja doba, najveća brojnost faune na svakoj pojedinoj plohi zabilježena je u različitom razdoblju te su maksimalne brojnosti faune za plohe sljedeće: M1 jesensko, M2 ljetno, M3 proljetno, M4 zimsko i M5 jesensko razdoblje (Slika 19). Sezonske promjene pojedinih ploha nisu statistički značajne. Dinamika populacija je povezana s količinama dostupna hrane, tj. guana šišmiša na određenim plohama u godišnjim dobima.



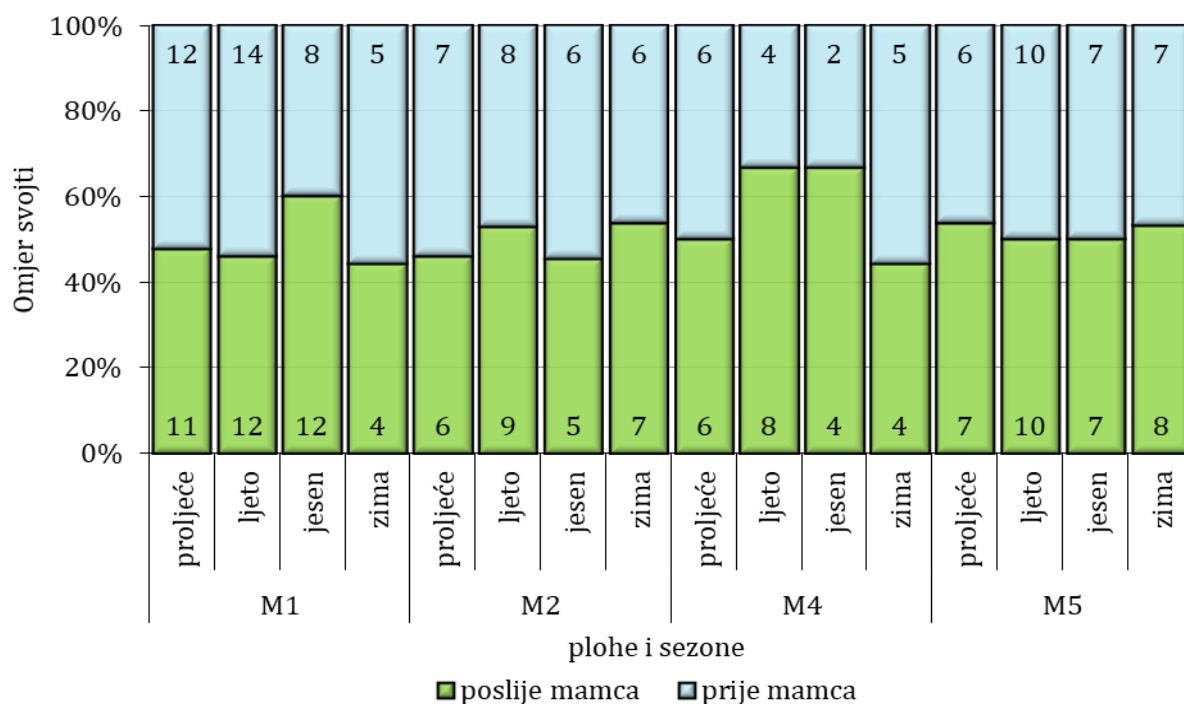
**Slika 19.** Ukupna prostorno-sezonska brojnost faune na eutrofnim (Eut), mezotrofnim (Mezo) i oligotrofnim (Oli) plohama u Miljacki II.

Dominirale su skupine Collembola (skokuni), Isopoda (jednakonožni rakovi) i Coleoptera (kornjaši), a njihov relativni udio je ostao isti prije i nakon dodavanja mamaca (Slika 20). Ukupno je zabilježena 21 svojta beskralješnjaka (Dodatak 1), a kao najbrojnija skupina beskralješnjaka pokazali su se pripadnici skokuna (Collembola). Eudominantne vrste bile su iste kao i u Staroj jametini, a to su: troglofil *H. nitidus* (Collembola) s dominantnošću od 49% i troglobiont *A. balthasari* (Isopoda) s dominantnošću od 35%. Na plohama M4 i M5, gdje je šira okolina oko ploha izrazito oligotrofna dominiraju troglobiontna vrsta jednakonožnog raka *A. balthasari*, te troglobiontne vrste skokuna *Troglopedetes pallidus* Absolon, 1907 i *Pseudosinella heteromurina* Stach, 1929.



**Slika 20.** Relativni udio brojnosti jedinki dominantnih skupina i ostale faune, u svim promatranim sezonama i plohama prije i nakon dodavanja mamaca u špilji Miljacka II (ostala fauna: Araneae, Diplopoda, Diptera, Oligochaeta, Opiliones, Orthoptera i Pseudoscorpiones).

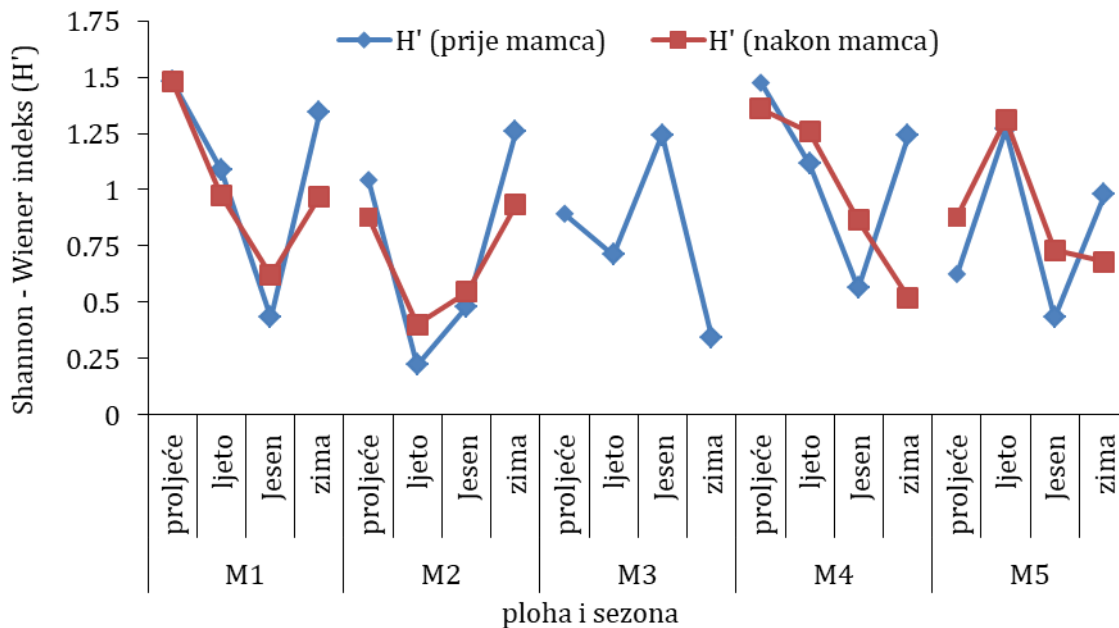
Broj svojti zabilježen po pojedinoj plohi je u prosjeku iznosio  $7 \pm 3$  (slika 21). Na određenim plohama može se primijetiti razlika u broju svojti zabilježenih prije i poslije mamaca, no ta razlika nije statistički značajna (KW test:  $p > 0,05$ ). Ploha M3 (nakon mamca) izostavljena je iz određenih grafičkog prikaza, jer nije uzorkovana nakon postavljanja mamca, pošto je neidentificirani sisavac (vjerojatno jazavac ili puh) pojeo mamac i uznemirio ostalu faunu plohe.



**Slika 21.** Omjer svojiti zabilježen u sezoni na plohi prije i nakon postavljanja mamca na plohama Miljacke II.

Sastav faune uzorkovane prije i poslije postavljanja mamca opisuje grafički prikaz Shannonovog ( $H'$ ) indeksa (Slika 22), koji je za Miljacku 2 bio relativno nizak i u prosjeku iznosio  $0,9 \pm 0,4$ . Vrijednosti  $H'$  indeksa po svakoj pojedinoj plohi ukazuju na izraženu sezonalnost, a KW test napravljen na temelju sveukupnih podataka potvrđuje značajnu razliku između proljetnog i jesenskog razdoblja ( $H = 10.26$ ;  $p = 0.01$ ). Ovisno o plohi, minimalne i maksimalne vrijednosti raznolikosti su vrlo različite, što ukazuje na dinamične promjene abiotičkih i biotičkih unutar istraživanog špiljskog kanala kroz sezone.

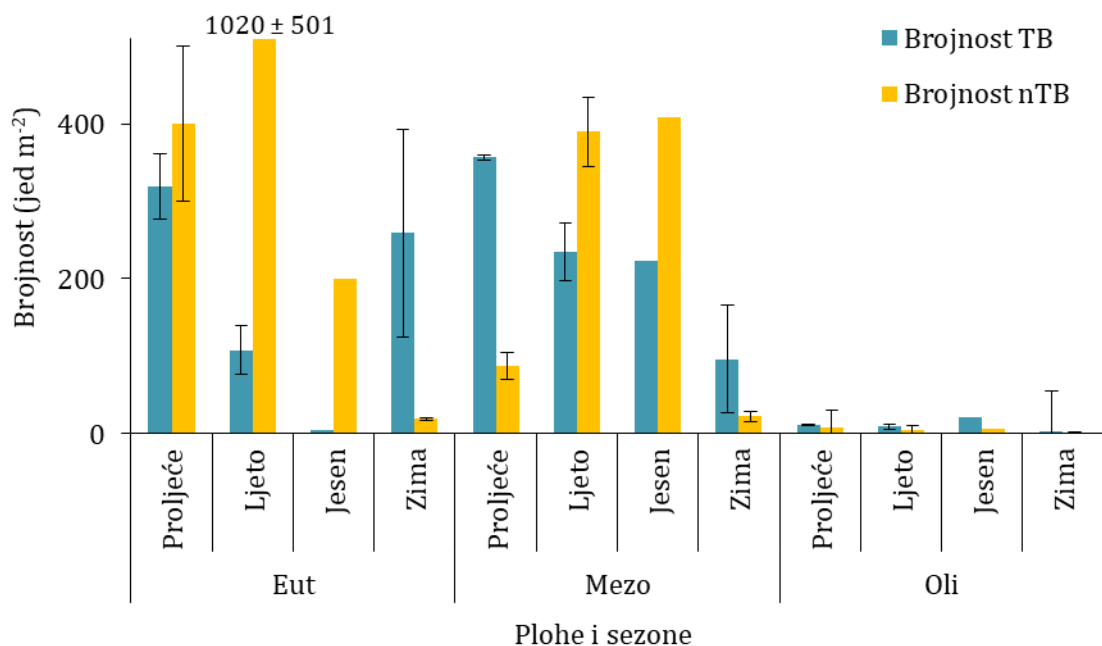




**Slika 22.** Vrijednosti Shannon - Wienerovog indeksa raznolikosti ( $H'$ ) kroz sezone prije i nakon dodavanja mamaca na plohe u špilji Miljacka II.

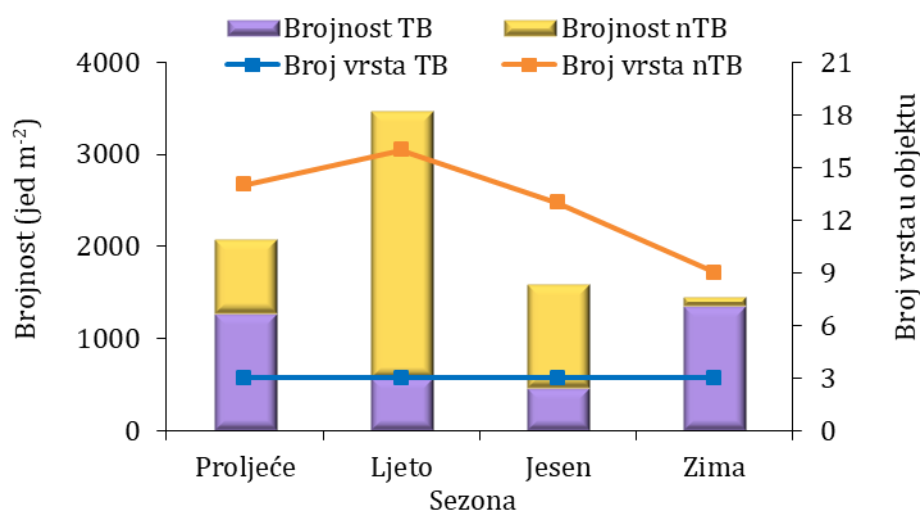
Kako se testom dokazalo da i u ovom objektu nema statistički značajne razlike u brojnosti i raznolikosti prije i poslije postavljanja mamaca, za daljnje analize koriste se samo podaci s ploha prije dodavanja mamaca, a plohe su grupirane prema tri stupnja trofije (eutrofne, mezotrofne i oligotrofne plohe). Dobiveni rezultati uvelike se poklapaju s rezultatima za Staru jametinu.

Na oligotrofnoj plohi (M4) i mezotrofnoj plohi (M5), koje se nalaze u gornjoj etaži glavnog kanala, gdje nije toliko značajan utjecaj šišmiša, zabilježena je najmanja brojnost faune, a dominantne skupine tih ploha su troglobionti. U pravilu, s povećanjem trofije dolazi do povećanja brojnosti faune (Slika 23). Na mezotrofnim ploham troglobionti su brojniji u odnosu na netroglobionte samo u proljetnom i zimskom razdoblju, dok na eutrofnim ploham po brojnosti dominiraju netroglobiontne (troglofilne) svojte u svim sezonama, osim u zimi, kada je njihova brojnost znatno manja. Navedene razlike u brojnosti su i statistički značajne, jer je KW test jasno razlikuje oligotrofna od mezotrofnih i eutrofnih staništa s obzirom na brojnost troglobionata (KW test:  $H = 11,11$ ;  $p < 0,01$ ) i netroglobionata (KW test:  $H = 13,60$ ;  $p < 0,005$ ).



**Slika 23.** Prosječna brojnost troglobionata (TB) i netroglobionata (nTB) na eutrofnim (Eut), mezotrofnim (Mezo) i oligotrofnim (Oli) plohama po sezonama u Miljacki II.

Kroz sve sezone, troglobiontne svojte (*A. balthasari*, *T. pallidus* i *P. heteromurina*) uvijek su bile zabilježene, dok je broj svojti i brojnost netroglobionata varirao kroz sezone (Slika 24). Tokom ljetnog perioda utvrđena je najveća brojnost netroglobionata, glavnim dijelom zbog troglofilne vrste *H. nitidus*, čija brojnost doseže i do nekoliko tisuća jedinki po kvadratnom metru plohe. Zimski period je najnepovoljniji za netroglobionte, kada im je zabilježena najmanja brojnost, broj vrsta i raznolikost. Analizom se utvrdilo kako su navedene sezonske razlike u brojnosti netroglobionata i statistički značajne (KW test:  $H = 19,08$ ;  $p < 001$ ).

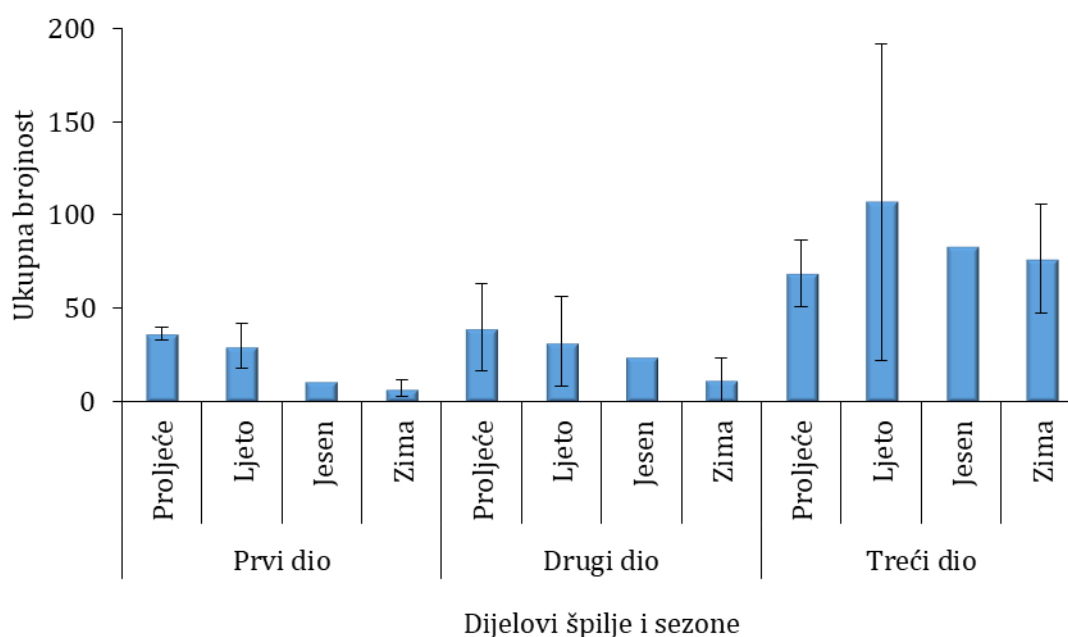


**Slika 24.** Brojnost i broj vrsta zabilježene troglobiontne (TB) i netroglobiontne (nonTB) faune kroz sezone u špilji Miljacka II.

## 3.2 Cenzus objekta

### 3.2.1 Sedrena špilja iza mlina

Na Slici 25 je prikazana prostorna i sezonska raspodjela faune u Sedrenoj špilji iza mlina. Treći dio špilje u svako doba godine dominira ukupnom brojnošću faune nad drugim dijelovima, a navedena razlika u brojnosti je i statistički značajna (KW test:  $H = 13,55$ ;  $p = 0,0011$ ). Sa sezonskog aspekta, uočljive su najveće vrijednosti brojnosti faune u proljetnom i ljetnom razdoblju, a taj se obrazac ponavlja u sva tri istraživana dijela špilje. Zimsko razdoblje pokazuje iznimno nisku vrijednost ukupne brojnosti u prvom i drugom dijelu špilje. Navedene razlike u sezonskoj dinamici nisu statistički značajne (KW test:  $p > 0,05$ ).



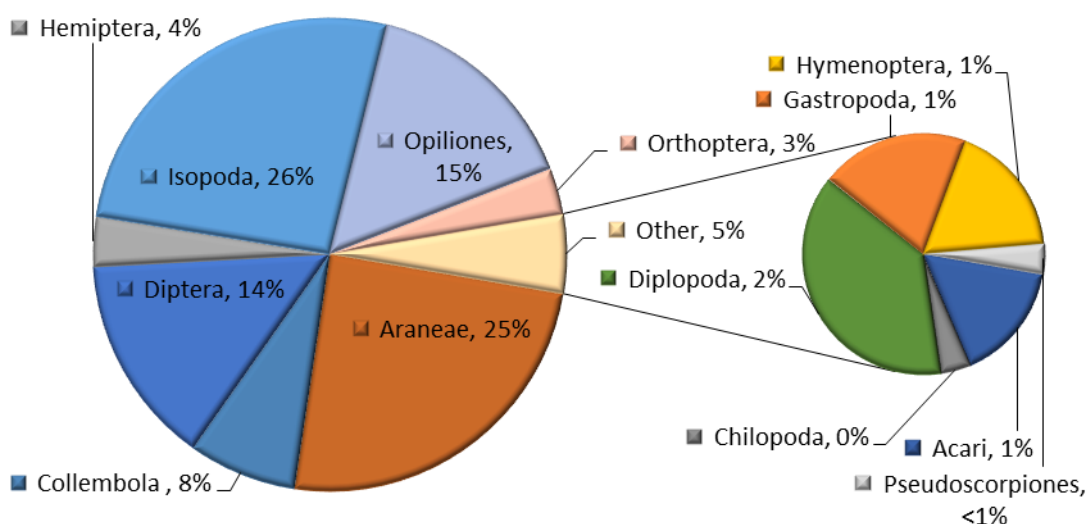
**Slika 25.** Ukupna prostorno-sezonska brojnost faune po sezonama i dijelovima Sedrene špilja iza mlina.

Zabilježeni beskralješnjaci pripadaju u 12 viših sistematskih skupina, a to su: Acari, Araneae, Chilopoda, Coleoptera, Collembola, Diplopoda, Diptera, Formicidae, Gastropoda, Hemiptera, Isopoda, Lepidoptera, Opiliones i Orthoptera (Slika 26; Dodatak 2). Dominirajuće skupine po brojnosti u ovom objektu su pauzi (Araneae) i jednakonožni rakovi (Isopoda), koji čine malo više od pola udjela cjelokupne zabilježene faune. Eudominantne vrste ovog objekta su troglobiontna vrsta jednakonožnog raka

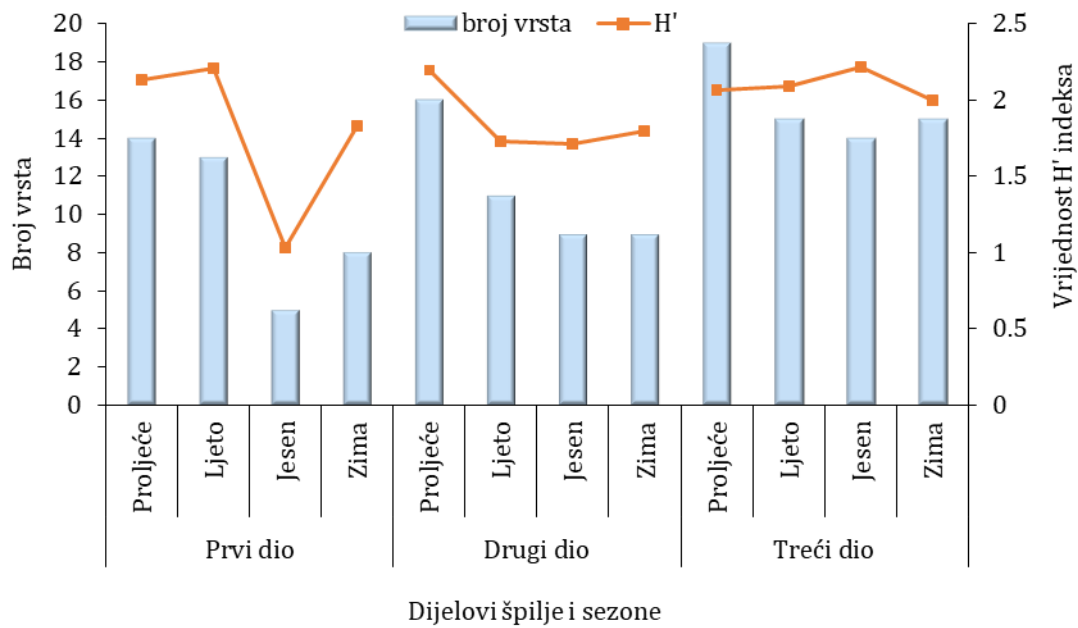
(Isopoda) *A. balthasari* s dominantnošću od 19%, zatim troglofilni lažipauk (Opiliones) *N. troglodytes* s dominantnošću od 15% i dvokrilci (Diptera) iz porodice Tipulidae, s dominantnošću od 12%.

U Sedrenoj špilji iza mlina ovim je istraživanjem utvrđeno ukupno 32 različite svojte s prosjekom od  $15 \pm 3$  svojte po pojedinom uzorkovanju. U trećem dijelu špilje je zabilježeno najviše svojti i statistički se taj dio razlikuje od ostatka špilje po brojnosti svojti (KW test:  $H = 7,57$ ;  $p = 0,0226$ ). Promotrimo li rezultate iz sezonskog aspekta, uočljive su najveće vrijednosti broja svojti i Shannonovog ( $H'$ ) indeksa raznolikosti faune u proljetnom razdoblju i taj se obrazac ponavlja u sva tri istraživana dijela špilje (Slika 27).

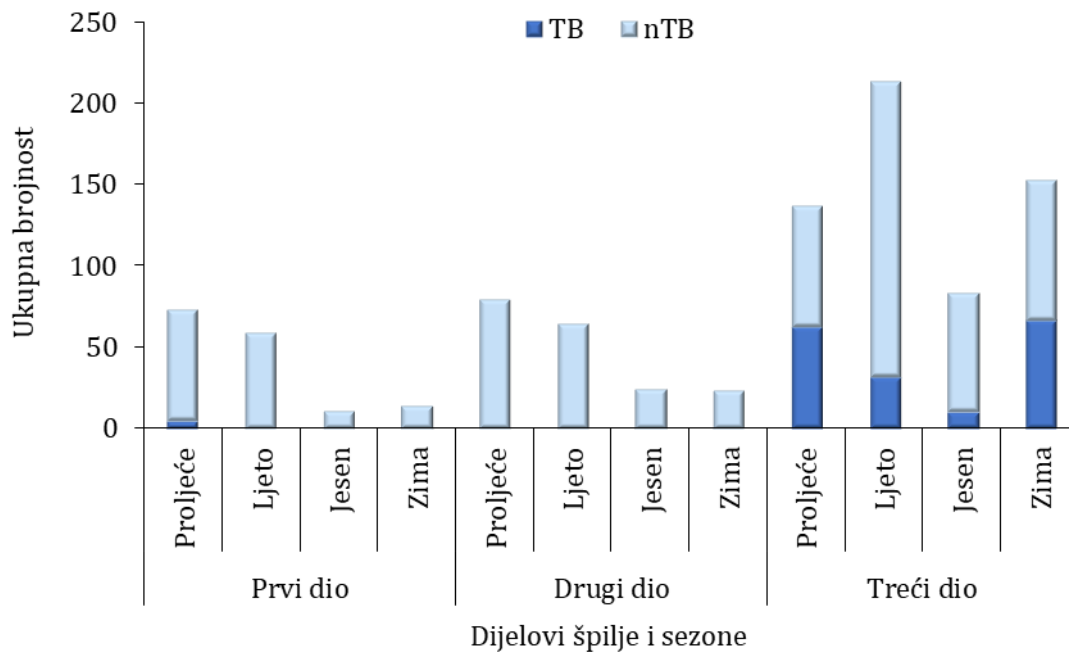
Zimsko razdoblje pokazuje nisku brojnost faune u prvom i drugom dijelu špilje, no zanimljivo je kako je zimski period povoljan za troglobionte, točnije vrstu *A. balthasari*, koja u trećem dijelu špilje u tom periodu doseže vrhunac brojnosti (Slika 28). U Sedrenoj špilji iza mlina brojnošću prevladavaju troglofilni i trogloksenski organizmi, kojima pripada 62% od ukupne izbrojane faune. Od troglobionata zabilježene su dvije svojte: *A. balthasari* (Isopoda) i *T. pallidus* (Collembola). Pripadnici troglobionata bili su gotovo isključivo prisutni samo u trećem dijelu špilje i ovakav raspored je statistički značajan (KW test:  $H = 9,43$ ;  $p = 0,009$ ).



**Slika 26.** Relativan udio brojnosti faune u Sedrenoj špilji iza mlina.



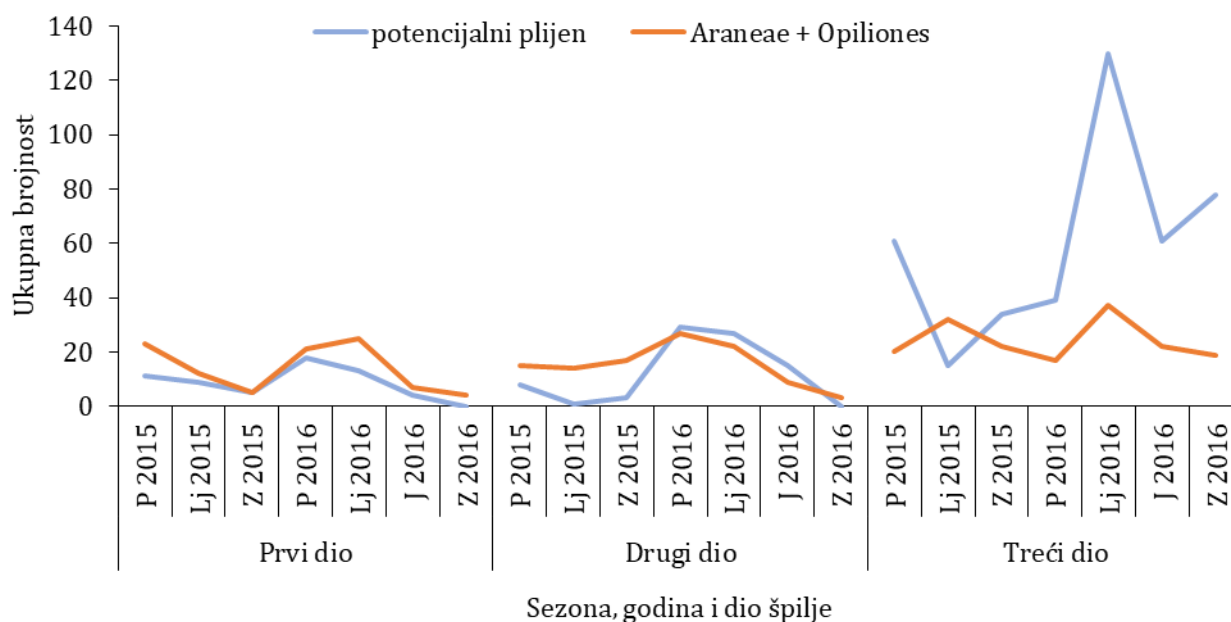
**Slika 27.** Vrijednost Shannonovog ( $H'$ ) indeksa i broj vrsta po sezonama i dijelovima Sedrene špilje iza mlina.



**Slika 28.** Ukupna brojnost troglobionata (TB) i netroglobionata (nTB) po sezonama i dijelovima Sedrene špilje iza mlina.

Brojnost pauka i lažipauka pozitivno je korelirala s brojnošću potencijalnog plijena (pauzi: Spearmanov test,  $R = 0,51$ ;  $p < 0,005$ ; lažipauzi: Spearmanov test,  $R = 0,67$ ;  $p < 0,005$ ; Slika 29), ali i s brojnošću pojedinih skupina, poput dvokrilaca (za pauke - Spearmanov test,  $R = 0,53$ ;  $p < 0,005$ ), koji su najbrojniji u ljetnom periodu.

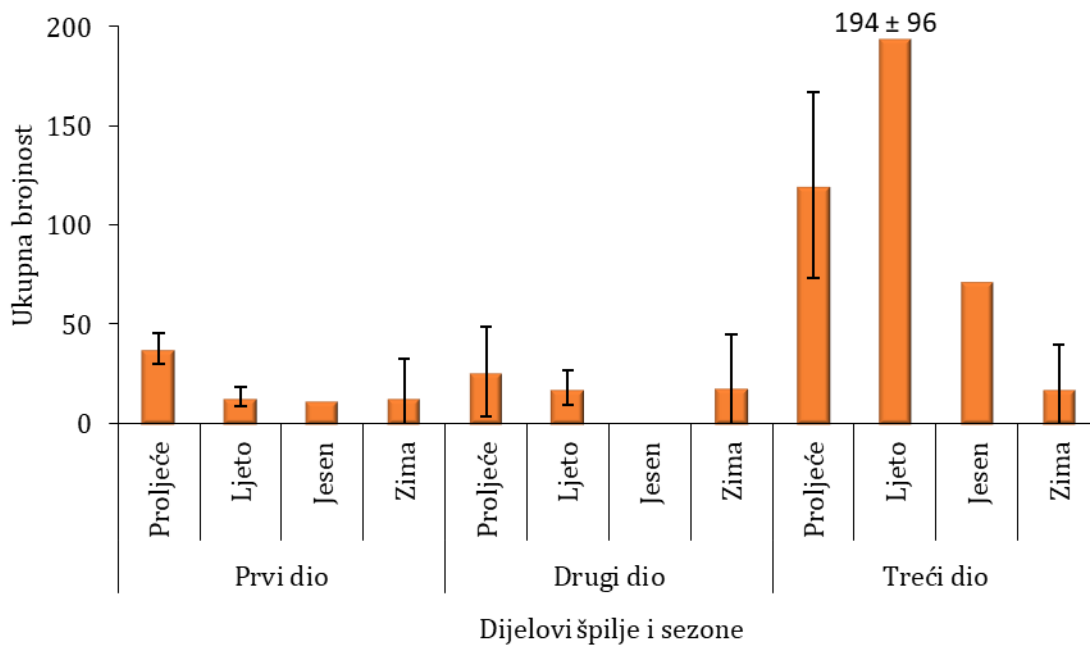
Potencijalnim plijenom pauka i lažipauka smatraju se sve ostale skupine beskralješnjaka zabilježene u objektu te se na grafičkom prikazu mogu primijetiti amplitude brojnosti plijena koje su u istoj ili u sljedećoj sezoni popraćene sa povećanom brojnošću predatora (pauka ili lažipauka).



**Slika 29.** Zbrojena brojnost pauka (Araneae) i lažipauka (Opiliones) te brojnost njihovog potencijalnog plijena kroz sezone i dijelove Sedrene špilje iza mlina (P – proljeće, Lj – ljeto, J – jesen, Z – zima).

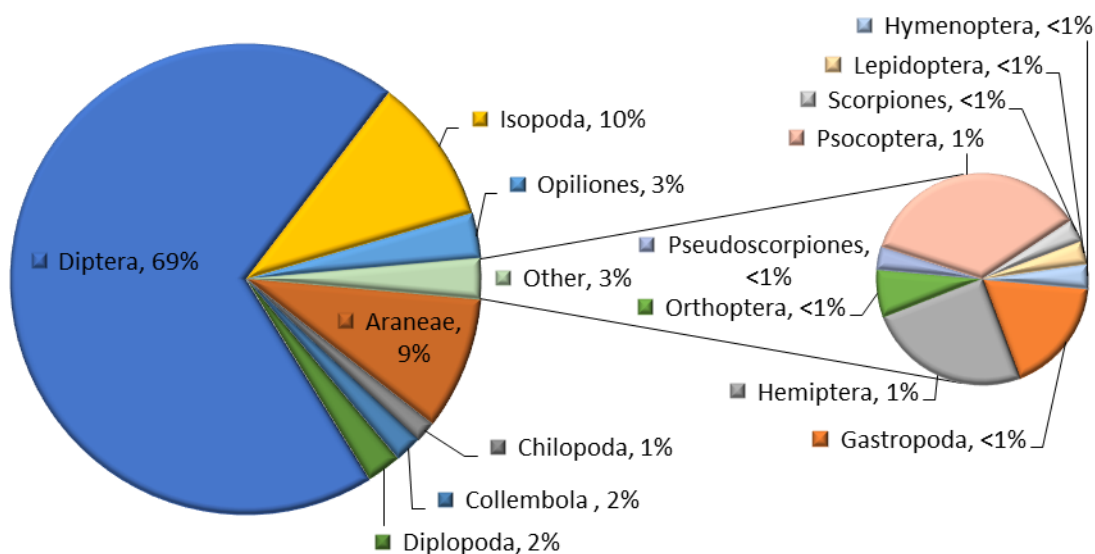
### 3.2.2 Sedrena špilja kod stola

Najveća brojnost faune u Sedrenoj špilji kod stola zabilježena je u trećem dijelu špilje, ali navedene razlike u brojnosti faune između pojedinih dijelova nisu pokazale statističku značajnost (KW test:  $p > 0,05$ ). Niti sezonske oscilacije nisu bile statistički značajne, iako su uočljivi proljetno/ljetni maksimum brojnosti u sva tri promatrana dijela špilje (Slika 30). Prosječna brojnost faune u Sedrenoj špilji kod stola na temelju dvogodišnjeg uzorkovanja iznosi  $57 \pm 15$  jedinki.



**Slika 30.** Ukupna brojnost faune po sezonama i dijelovima Sedrene špilje kod stola.

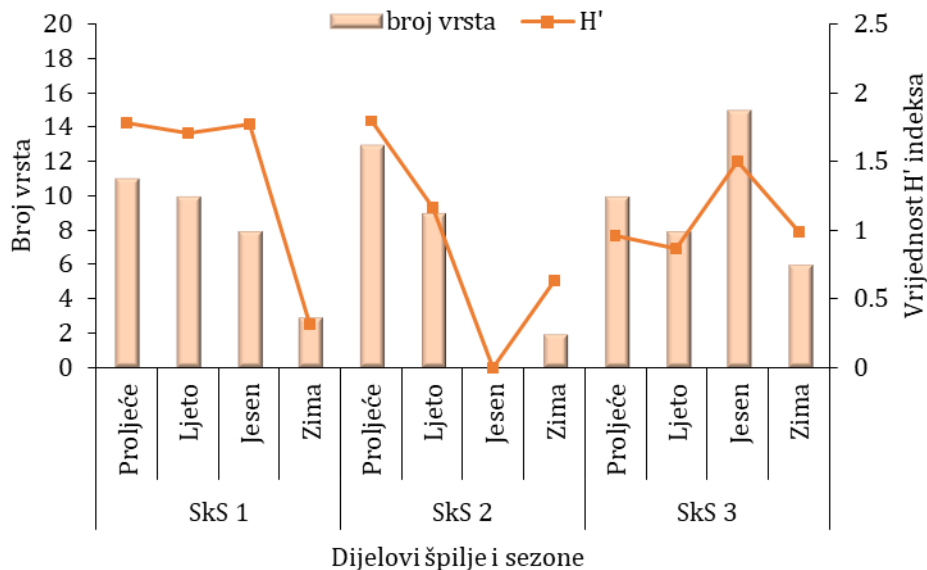
U ovom malom speleološkom objektu zabilježeno je čak 18 viših sistematskih skupina: Acari, Araneae, Chilopoda, Coleoptera, Collembola, Diplopoda, Diptera, Gastropoda, Hemiptera, Hymenoptera, Isopoda, Lepidoptera, Oligochaeta, Opiliones, Orthoptera, Pseudoscorpiones, Psocoptera i Scorpiones (Slika 31, Dodatak 2).



**Slika 31.** Relativan udio brojnosti faune u Sedrenoj špilji kod stola.

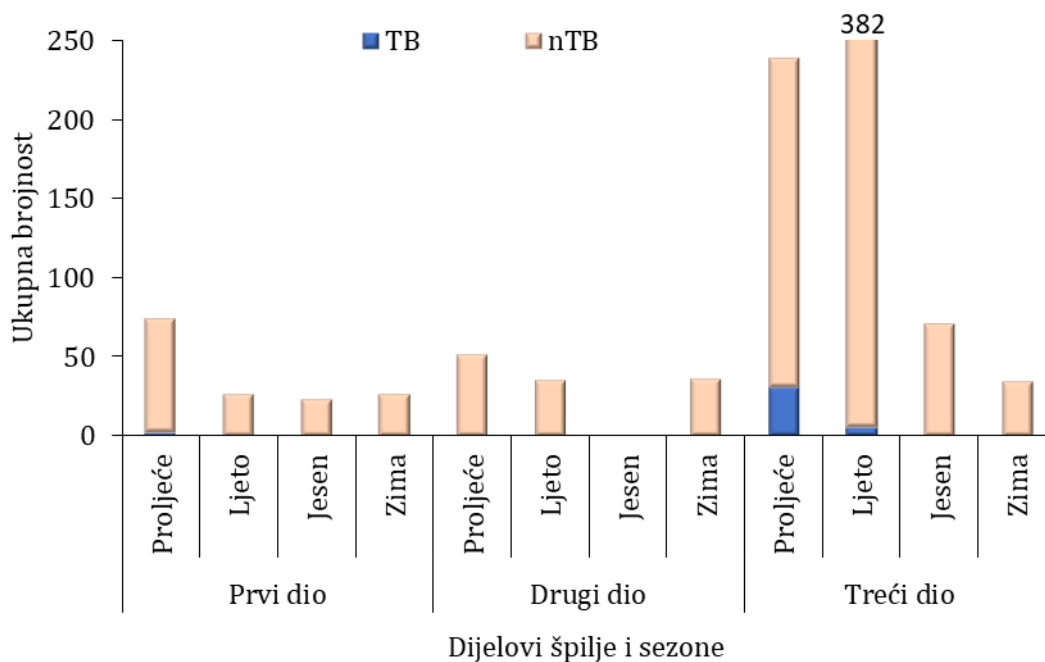
Ukupno je ovim istraživanjem zabilježeno 28 svojti, s prosjekom od  $10 \pm 5$  svojti zabilježenih po posjeti objekta. Skupine koje su dominirale po brojnosti su Diptera, Araneae i Isopoda (Slika 32) dok su ostale skupine bile zastupljene s relativno malom brojnošću, uglavnom ispod 3%. Eudominantne svojte pripadale su dvokrilcima (Diptera), među kojima su prevladavali komari (Tipulidae) roda *Limonia* s dominantnošću od 47%. Dominantne skupine predstavljaju jednakonožni rakovi (Isopoda) s dominantnošću od 10% i pauci (Araneae) s dominantnošću od 9%. Subdominantna svojta s dominantnošću od 3% jest lažipauk *N. troglodytes*. Jedina utvrđena troglobiontna svojta ovog objekta bila je vrsta *A. balthasari* s dominantnošću od 4% (Dodatak 2).

U proljeće, prva dva dijela špilje dosežu maksimum brojnosti, broja vrsta i najveću vrijednost  $H'$  indeksa raznolikosti. Ako promatramo objekt u cjelini, sezona s najnižom vrijednost  $H'$  indeksa je zima, a treći dio špilje pokazuje najmanja odstupanja  $H'$  indeksa (Slika 33).



**Slika 32.** Vrijednost Shannonovog ( $H'$ ) indeksa i broj vrsta po sezonama i dijelovima Sedrene špilje kod stola.



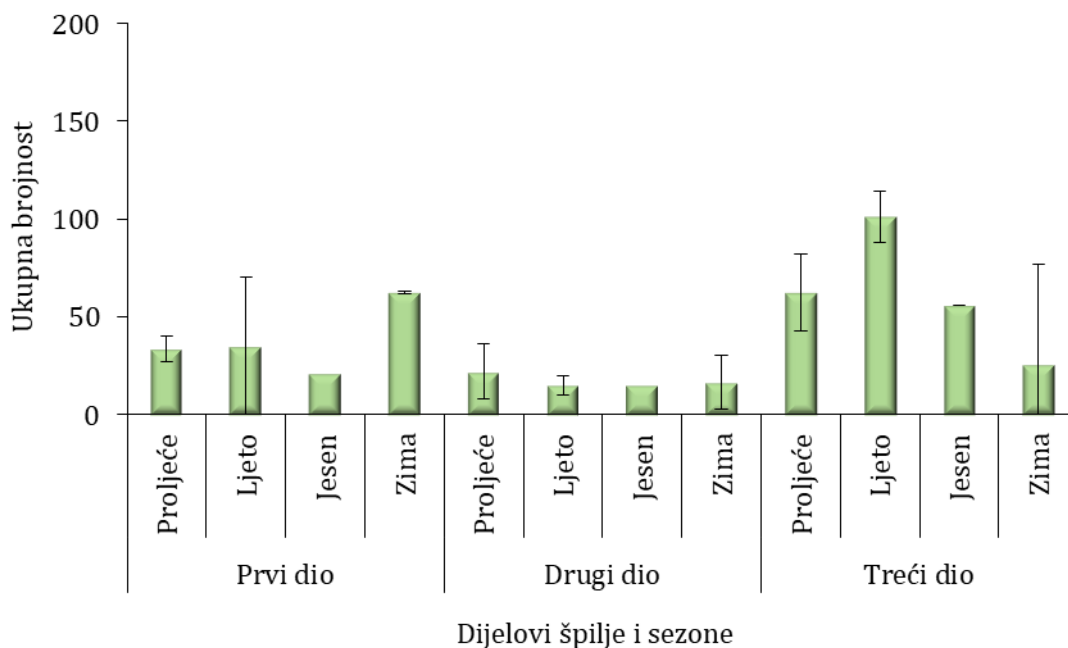


**Slika 33.** Ukupna brojnost troglobionata (TB) i netroglobionata (nTB) po sezonama i dijelovima Sedrene špilje kod stola.

Na Slici 33 jasno je vidljiva dominacija troglofilnih i trogloksenskih organizama (nTB), što je bilo očekivano, jer se ovdje radi o malom speleološkom objektu izloženom velikim utjecajem vanjskih čimbenika. U ljetnom razdoblju veliku brojnost u trećem dijelu špilje imali su pripadnici Diptera. Troglobionti (predstavljani jedino s vrstom *A. balthasari*) su zabilježeni gotovo isključivo u trećem dijelu špilje, osim u proljeće kada dosežu maksimum brojnosti, i tada se mogu pronaći i na ulaznom, prvom dijelu.

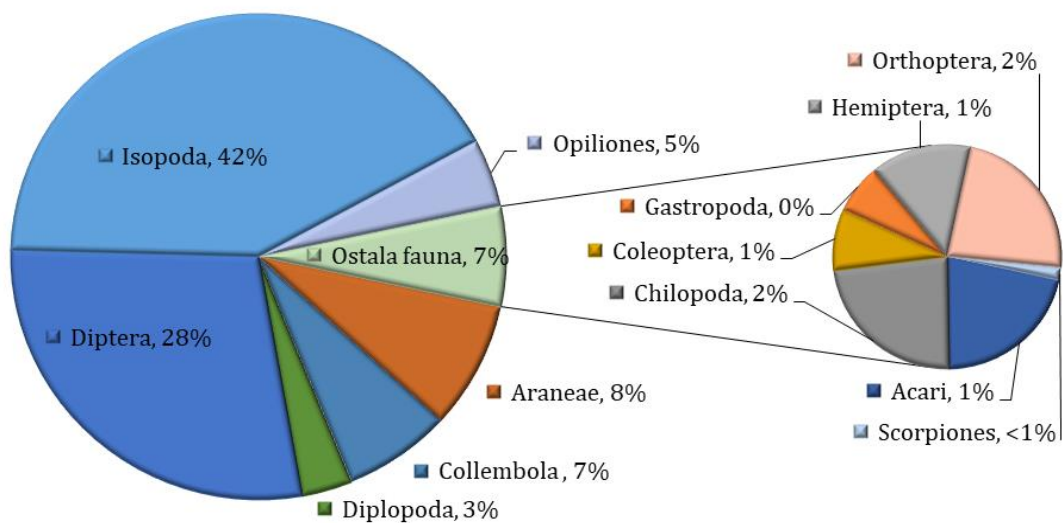
### 3.2.3 Sedrena špilja s jamskim ulazom

Prosječna brojnost faune u Sedrenoj špilji s jamskim ulazom po prebrojavanju iznosila je  $31 \pm 27$  jedinki. Gledano po pojedinim dijelovima špilje najveće brojnosti faune zabilježene su u prvom (ulaznom) dijelu i trećem dijelu objekta, ali navedene razlike u ukupnoj brojnosti faune između pojedinih dijelova špilje nisu pokazale statističku značajnost (KW test:  $p > 0,05$ ). Sezonske oscilacije ukupne brojnosti faune također nisu bile statistički značajne, a maksimalne vrijednosti u pojedinim dijelovima špilje su postignute u različitim godišnjim dobima (prvi dio – zima, drugi dio – proljeće, treći dio – ljeto; Slika 34).



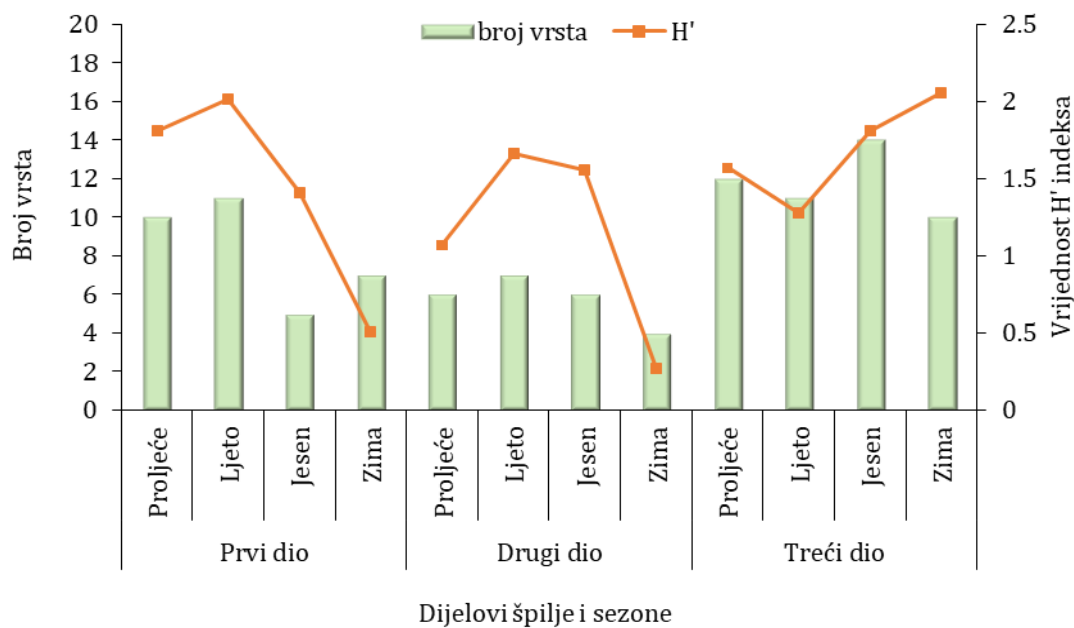
**Slika 34.** Ukupna brojnost faune po sezonama i dijelovima Sedrene špilje sa jamskim ulazom.

Ovim istraživanjem zabilježene su ukupno 22 svojte. Prosječno je po prebrojavanju pronađeno  $11 \pm 2$  različitih svojti, a zabilježene svojte pripadaju skupinama: Acari, Araneae, Chilopoda, Coleoptera, Collembola, Diplopoda, Diptera, Gastropoda, Hemiptera, Isopoda, Opiliones, Orthoptera i Scorpiones (Slika 35; Dodatak 2). Dominirajuće skupine beskralješnjaka u ovome objektu su jednakonožni rakovi (Isopoda) i dvokrilci (Diptera). Eudominantne svojte troglobiontna vrsta ovog lokaliteta *A. balthasari* s dominantnošću od 37% i troglofilni komari (Tipulidae), pripadnici roda *Limonia* s dominantnošću od 24%. Dominantne svojte (s udjelom brojnosti između 5 i 10%) pripadaju paucima (Araneae), lažipaucima (Opiliones), skokunima (Collembola), edafskim vrstama jednakonožnih rakova (Isopoda, bez vrste *A. balthasari*) te dvokrilcima (Diptera, izuzevši rod *Limonia*) (Dodatak 2).



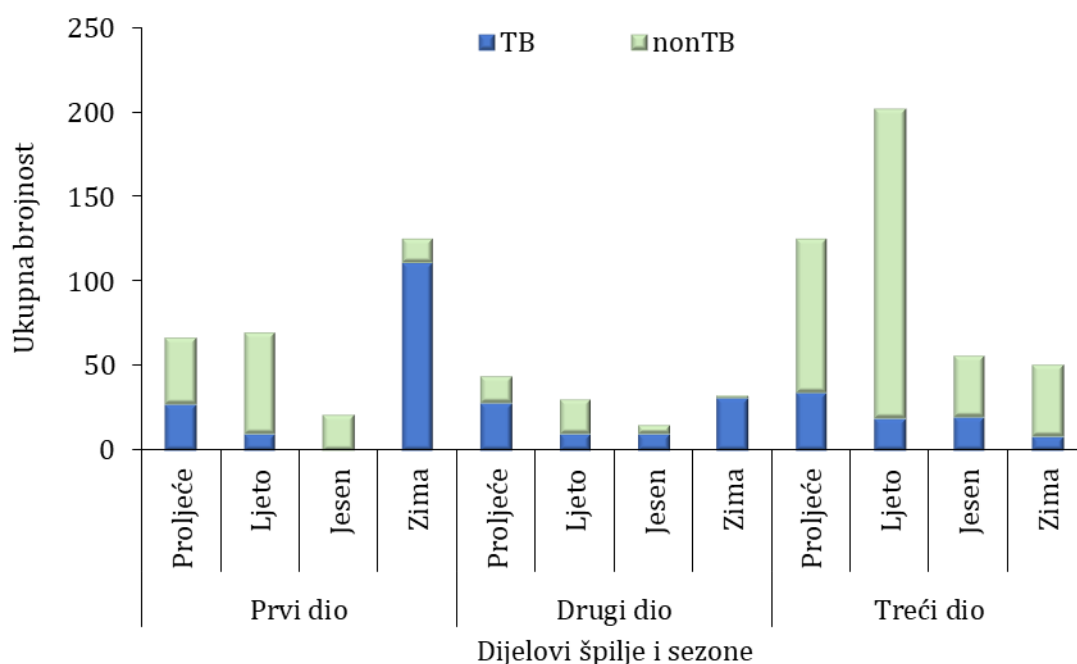
**Slika 35.** Relativan udio brojnosti faune u Sedrenoj špilji sa jamskim ulazom.

U prvom dijelu špilje uvijek su bili prisutni trogloksenski skokuni, ali s relativno malom brojnošću od  $3 \pm 2$  jedinke. H' indeks raznolikosti je izrazito varirao između pojedinih dijelova špilje i sezona, ali nije utvrđena korelacija njegovih oscilacija sa prostorno – sezonskim varijablama, osim što je vidljivo da najmanja odstupanja H' indeksa ima treći dio. Najviše vrsta zabilježeno je u trećem, a najmanje u drugom dijelu špilje (Slika 36).



**Slika 36.** Vrijednost Shannonovog (H') indeksa i broj vrsta po sezonama i dijelovima Sedrene špilje s jamskim ulazom.

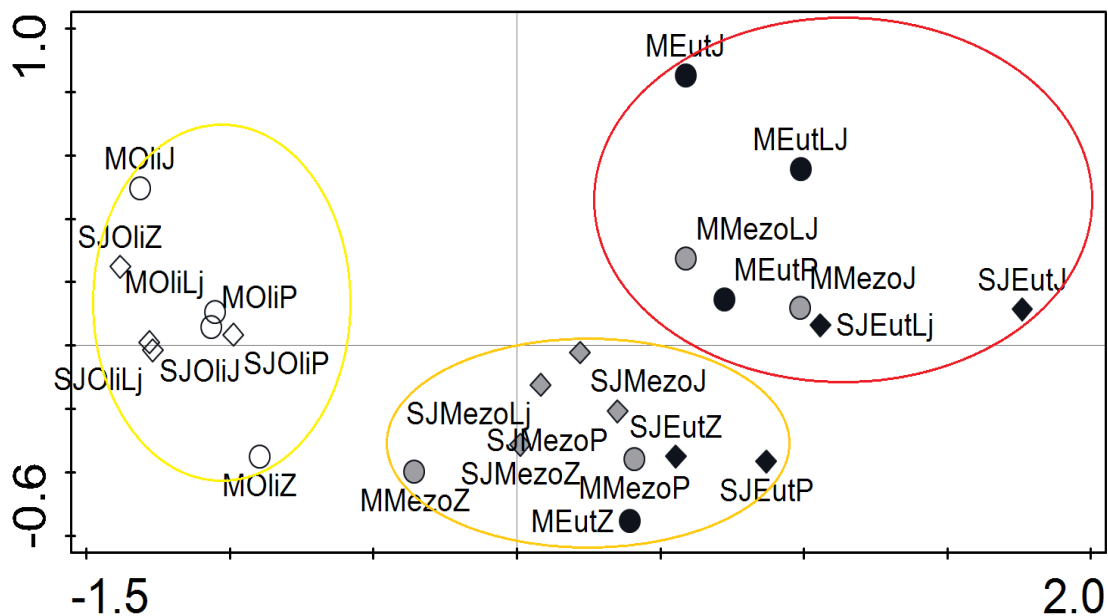
U prvom dijelu špilje troglobiontni i edafski jednakonožni rakovi (Isopoda) su relativno brojni, no kroz cijelu špilju nalazimo sve navedene ekološke grupe (TB, TF i TX), a ističu se dva maksimuma - troglobionti u prvom i troglofili u trećem dijelu špije (Slika 37). Statistička analiza potvrđuje značajnu razliku trećeg dijela od ostalih dijelova špilje, s obzirom na brojnost netroglobionata (KW test:  $H = 12,13$ ;  $p = 0,0023$ ). Zimskom maksimumu troglobionata u prvom dijelu u cijelosti su doprinijeli jednakonožni rakovi roda *A. balthasari*, dok je u ljetnom periodu u trećem dijelu špilje maksimum troglofilnih životinja koje uglavnom čini brojna populacija dvokrilača roda *Limonia*.



**Slika 37.** Ukupna brojnost troglobionata (TB) i netroglobionata (nonTB) po sezonama i dijelovima Sedrena špilje s jamskim ulazom.

### 3.3 Nemetričko multidimenzionalno skaliranje (NMDS)

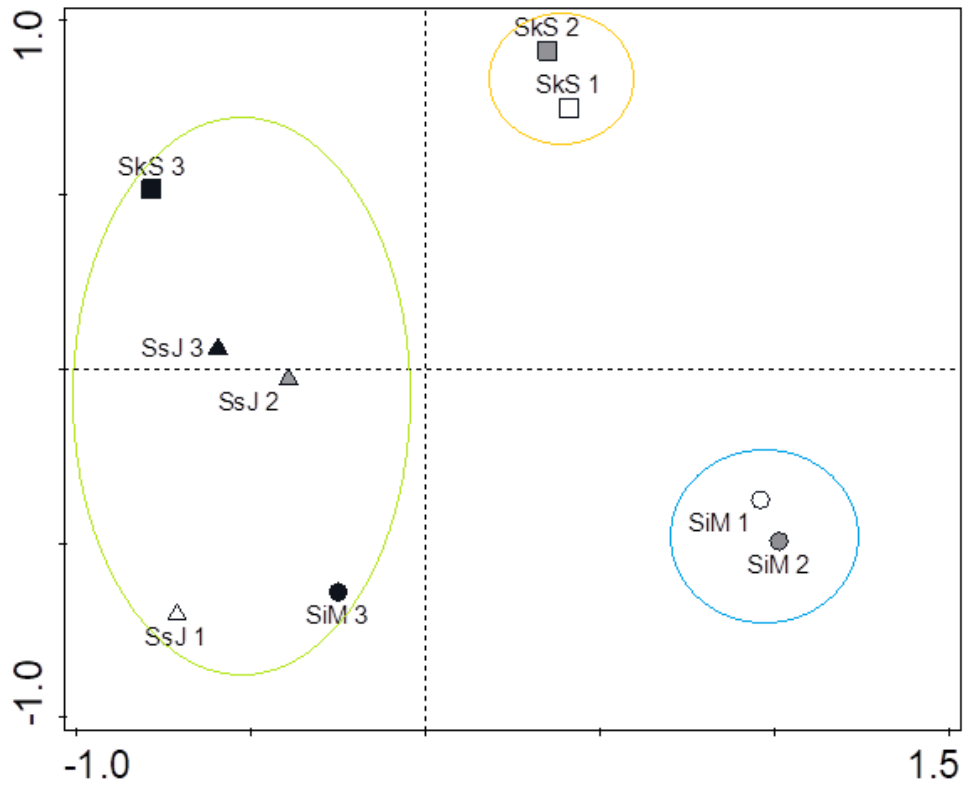
Za NMDS analizu uzet je sveobuhvatni set podataka iz obje istraživanje špilje u kojima je provedeno testiranje cenzusa metodom ploha (Stara jametina i Miljacka II). Dobiveni rezultati jasno razdvajaju pojedine plohe po trofijama, a ne po špiljama. Na lijevoj strani Slike 38, uz NMDS 2 (y) os grafičkog prikaza (koja objašnjava 94,14% varijance), grupirane su sve oligotrofne plohe Stare jametine i Miljacke II, a njima su najbliže mezotrofne plohe oba speleološka objekta tijekom zimskog razdoblja. U desnom dijelu grafičkog prikaza, duž NMDS 1 (x) osi (koja objašnjava 83,22% varijance), raspoređene su ostale mezotrofne i sve eutrofne plohe.



**Slika 38.** Rezultat NMDS analize Stare jametine (SJ; dijamant) i Miljacke II (M; krug) po plohami (eutrofna ploha – Eut, crno; mezotrofna ploha – Mezo, sivo; oligotrofna ploha – Oli, bijelo) u sezoni (P – proljeće, Lj – ljeto, J – jesen, Z – zima).

U analizi sedrenih špilja (Sedrene špilja iza mlina, Sedrene špilja kod stola i Sedrene špilja s jamskim ulazom) nije utvrđena sezonalnost, niti na razini skupina niti na razini svojti pa se NMDS analizu bazirala samo na prostornom rasporedu faune tj. prema pojedinim dijelovima špilja. Rezultati ove analize grupiraju dublje dijelove objekata (Sedrena špilja iza mlina, Sedrena špilja kod stola i Sedrena špilja s jamskim ulazom), koji su pod najmanjim utjecajem vanjskih čimbenika te predstavljaju vlažna i hladna staništa koja troglobiontne svojte preferiraju (Slika 39). U grupaciji sa dubljim

staništima ostalih objekata, nalaze se svi dijelovi Sedrene špilje s jamskim ulazom. Zasebno su odvojeni prvi i drugi dio Sedrene špilje kod stola te prvi i drugi dio Sedrene špilje iza mlina, koji su pod velikim utjecajem vanjskih čimbenika i u kojima je prisutno izrazito strujanje zraka, te su uglavnom nastanjeni netroglobiontima.



**Slika 39.** Rezultat NMDS analize Sedrenih špilja (Sedrena špilja iza mlina – SiM, krug; Sedrena špilja kod stola – SkS, kvadrat, Sedrena špilja s jamskim ulazom – SsJ, trokut) po dijelovima objekata (prvi dio – 1, bijelo; drugi dio – 2, sivo; treći dio – 3, crno).

## 4 Rasprava

Zbog slabog poznavanja biologije i ekologije te izuzetno malih areala većine špiljskih vrsta, za pojedina krška područja u svijetu pa tako i u Hrvatskoj, uglavnom nisu određene bioindikatorske vrste, kao mjerilo kvalitete kopnenih i vodenih staništa. Stoga se biospeleološki monitoring temeljio na praćenju sastava faune (kvalitativno) i brojnosti populacija (kvantitativno) podzemnih beskralješnjaka, što je provedeno cenzusom objekta ili plohe. Ti su podaci upotpunjeni s mikroklimatskim mjerenjima, speleomorfološkim podacima i vizualnim opažanjima unutar špiljskog prostora.

Glavni ciljevi ovog rada su bili statistički ispitati i obraditi dvije odabrane metode za praćenje stanja staništa i faune u podzemnim ekosustavima te tako po mogućnosti i pridonijeti razvoju metodologije istraživanja živoga svijeta u podzemlju. Stavljen je fokus na određene metode terenskog uzorkovanja faune, koje uključuju „cenzus ploha“, „cenzus objekta“ i upotrebu mamaca te ovdje raspravljamo o mogućnostima njihove primjene.

Jedna od ispitanih metoda terenskog uzorkovanja je metoda „cenzus ploha“. Ova metoda je u sličnom obliku već primjenjivana od strane drugih autora, kao na primjer Taylor i sur. (2006) koji su koristili manje plastične kvadrate veličine  $0,1\text{m}^2$  smještene na četiri pozicije: pod, bočne zidove i strop. Ovaj način su koristili za cenzus faune na označenoj ruti s dva metra razmaka. Broj kvadrata je izabran ovisno o duljini špilje, a za dulje špilje kombinirali su i s drugim metodama. Za razliku od njih, Mammola i Isaia (2016) su za monitoring pauka u Italiji odabrali plohe veličine  $1\text{m}^2$ . Iz navedenoga možemo primijetiti da se metode modificiraju s obzirom na ciljane vrste i morfologiju samog objekta.

Metoda cenzusa ploha primijenjena je u Staroj jametini, u kojoj su najbrojnije utvrđene svojte i po nekoliko tisuća zabilježenih primjeraka: troglobiontna vrsta jednakonožnog raka (Isopoda) *A. balthasari*, troglofilna vrsta skokuna (Collembola) *H. nitidus*, skokuni iz porodice Hypogastruridae te subtroglofilni dvokrilci *Limonia* sp., a njihove velike populacije i značajna biomasa omogućavaju razvoj i održavanje stabilnih i brojnih populacija vršnih predatora poput troglobiontne vrste pauka *Stalagtia hercegovinensis* (Nosek, 1905) (Ferreira 2019, Gottstein 2010). Fauna Stare jametine nije u drugoj, trećoj i četvrtoj dvorani homogeno raspoređena već je koncentrirana u određenim staništima. U dubljim dijelovima špilje pronalazimo brojna staništa pogodna

za naseljavanje velikog broja troglobionata, ali i troglofila. Zbog stabilnih abiotičkih uvjeta koji vladaju u Staroj jametini, upravo je izvor hrane glavni čimbenik koji uvjetuje rasprostranjenost i brojnost faune u ovom objektu (Ferreira 2019, Sket 1999).

U Staroj jametini guano (i u manjoj mjeri izmet drugih sisavaca) je jedan od osnovnih izvora hrane za neke vrste te je fauna često koncentrirana u staništima s većom količinom guana. Iako veliki broj vrsta u špilji guano ne privlači, dolaskom guanobionata i guanofila čije su populacije brojne, oko tih područja je povećan i broj predatora koji se njima hrane (Ferreira 2019, Gottstein 2010). To je vidljivo i iz analize ploha, gdje na plohi s guanom (S3) nalazimo značajno veću brojnost faune. Iako je sezonski boravak šišmiša u špilji povezan s godišnjim dobima, dinamika populacija koje naseljavaju guano ne mogu se jednostavno objasniti. Razlog tome je specifičnost guana kao izvora hrane koje u određenom stupnju raspadanja, starosti, rahlosti, vlažnosti, kemijskih parametara poput kiselosti te stupnja razvoja gljivica, privlači određene svojte u značajnoj mjeri (Ferreira 2019, Rawat i sur. 2017). Primjer toga je dinamika između skupina Collembola i Isopoda. Njihove zabilježene najveće i najniže brojnosti u različitim dijelovima objekta su im međusobno bile obrnuto proporcionalne. Iako obje vrste nastanjuju nakupine guana, očito preferiraju drugačije razvojno stanje toga staništa. S druge strane imamo i pojavu velike brojnosti skokuna iz porodice Hypogastruridae, koja je isključivo vezana za staništa s guanom. U jesenskom razdoblju je i do 50-ak primjeraka ove svojte uočeno na pojedinim izmetima šišmiša slične starosti, dok ih na drugim izmetima na istoj hrpi guana uopće nije bilo. Iz navedenog je vidljivo da je tumačenje sezonalnosti faune na guanu i u staništima gdje dominira guano kao izvor hrane vrlo kompleksno te zahtijeva specifično postavljenu metodologiju istraživanja s učestalijim izlascima na teren povezanim sa dinamikom boravka šišmiša u špilji.

Stara jametina s čak devet vrsta troglobionata i bogatom ostalom faunom predstavlja jedan od biospeleološki najznačajnijih speleoloških objekata u NP Krka. Vrlo značajne za Staru jametinu su rijetke troglobiontne svojte poput potencijalno nove vrste za znanost lažištipavca iz porodice Chthoniidae, nova vrsta skokuna *Verhoeffiella margusi* Lukić & Deharveng, 2018 te dvojenoga (Diplopoda) *Solentanodesmus insularis* Antić & Reip, 2014. Iako su primjerci zabilježeni, nađeni su u jako malom broju pa bi se stoga drugačija metoda trebala preporučiti i testirati za monitoring rijetkih vrsta u ovakvom tipu objekta. Kao na primjer, metoda ciljanog prebrojavanja na određenim



transektima u špilji ili bi bilo potrebno napraviti specijalizirane zamke, kojima bi se uzorkovala takva fauna (Ortuna i sur. 2013).

Drugi objekt u kojem je provedena metoda cenzusa ploha je Miljacka II. Kod tumačenja rezultata istraživanja Miljacke II, obavezno se mora uzeti u obzir dinamika dvaju čimbenika: dinamika kolonija šišmiša i dinamika aktivnog vodenog toka. Zbog velikog utjecaja šišmiša i taloženja guana, fauna beskralješnjaka i staništa glavnog kanala nisu homogeno raspoređeni. Guano je glavni čimbenik što uvjetuje prostorni, kvalitativni i kvantitativni raspored faune te je ona u pravilu koncentrirana na staništima s većom ili manjom količinom guana te vezana za stupanj raspadanja, starosti, rahlosti, vlažnosti, količine urina, kiselosti te stupanj razvoja gljivica i mikroorganizama na guanu (Ferreira 2019, Rawat i sur. 2017, Engel 2010). Drugi značajan faktor koji utječe na raspored faune jest aktivni vodeni tok, koji u jesenskom i zimskom periodu za vrijeme najviših vodostaja preplavljuje dijelom ili u potpunosti glavni kanal, ispirući i prekrivajući guano slojem sedimenta.

Iako su šišmiši su u Miljacki II prisutni kroz cijelu godinu, vrsta *M. capaccinii* u proljetnom i ljetnom razdoblju u ovom objektu stvara velike porodiljne kolonije. Najveća brojnost beskralješnjaka zabilježena je upravo u ljetnim mjesecima. Ove sezonske promjene nisu statistički značajne na promatranim plohama, međutim ukazuju na dinamiku brojnosti faune koja je povezane s količinom i dostupnošću hrane tj. guana šišmiša na pojedinim plohama.

Najdominantnije dvije vrste (*H. nitidus* i *A. balthasari*) imaju maksimume brojnosti kroz sva četiri razdoblja na različitim plohama s guanom, udaljenim nekoliko desetaka do sto metara. Ovakav rezultat upućuje da sezonalnost ovih vrsta i druge faune, treba potražiti u prostornom rasporedu šišmiša u špilji i u stupnju raspadanja guana i razvoja gljivica i mikroorganizama na njemu, jer pojedine svojte preferiraju različito stanje guana (Ferreira 2019, Lukić 2019, Rawat i sur. 2017, Engel 2010). Stoga prostorni raspored troglobionata i troglofila zabilježen u Miljacki II, nije karakterističan za objekte sa malom količinom unesene organske tvari, već bi mogao poslužiti kao dobar primjer objekta kojem guano predstavlja značajan izvor hrane za špiljske beskralješnjake (Ferreira 2019, Simon 2019, Zagmajster 2019, Rawat i sur. 2017).

Istu dinamiku vrsta možemo primjetiti u Miljacki II i u Staroj jametini, gdje različite vrste preferiraju različitu razvojnu fazu guana. Tako na primjer vrsta *H. nitidus* pokazuje vrlo malu brojnost na svježem guanu, a istovremeno kada je guano povoljan za

razvoj velikog broja skokuna, populacija jednakonožnog raka *A. balthasari* na plohi bilježi minimum brojnosti. Ovakvi rezultati nam uvelike pomažu u boljem shvaćanju ekologije pojedinih vrsta i podzemne zajednice, općenito.

NMDS analiza ploha jasno je razdijelila staništa i dijelove špilje/plohe s obzirom na utjecaj guana te je time dokazana heterogenost špiljskih staništa. Pratiti promjene u populacijama pojedinih vrsta u Miljacki II je moguće postavljanjem većeg broja ploha, odnosno potrebno je napraviti replikate ploha istih kategorija (eutrofne, mezotrofne, oligotrofne). No, rezultati upućuju i na složenost praćenja stanja populacija različitih vrsta na eutrofnim staništima (s guanom) te da je za njihovo bolje razumijevanje i preciznije praćenje potrebno postaviti eksperiment ciljano za određeno stanište, skupine i vrste.

NMDS analiza potvrdila je sličnost između ploha istih kategorija i iz više različitih špilja. Tako su eutrofne i mezotrofne plohe Miljacke II i Stare jametine na grafičkom prikazu jasno odvojene od oligotrofnih ploha tih špilja. Oligotrofnim ploham na grafičkom prikazu, najbliže su postavljene mezotrofne plohe zimskog perioda, kada te plohe u oba objekta imaju najmanje hrane pa su ekološki najbližije oligotrofnim ploham. To nam pokazuje da su plohe različitih objekata relativno slične i dobro definirane te da se prilikom planiranja istraživanja takve plohe mogu smatrati ploham istog tipa, sa sličnim faunističkim sastavom i ostalim faktorima što utječu na nju. Ovi rezultati također ukazuju kako je naš pristup praćenja stanja bio kvalitetno proveden te su definirane plohe stručno postavljene na specifična mikrostaništa u objektima, koja vrlo dobro obuhvaćaju karakterističnu faunu tih staništa.

Postavljanje mamaca nije pokazalo statistički značajnu razliku u zabilježenoj fauni prije i nakon postavljanja mamca te unatoč modifikacijama metoda postavljanja, mamac su u nekoliko navrata pojeli sisavci (u objektu su pronađeni izmeti različitih veličina koji bi mogli odgovarati puhu i jazavcu) ili krupniji špiljski beskralješnjaci (kornjaši, lažipauci). Kako bi se po mogućnosti izbjeglo određene nepravilnosti koje susrećemo kod postavljanja mamca (npr. narušena kvaliteta plohe zbog privučenih sisavaca ili problem uznemiravanja faune kod prvog mjerenja), buduće metode praćenja stanja faune i staništa, trebalo bi modificirati. Umjesto mamca, kako bi se dokumentirala brojnost vrsta koje nisu zabilježene na ploham te omogućilo praćenje premještanja povoljnih mikrostaništa i promjene u brojnosti uvjetovane migracijama unutar objekta, preporučuje se postavljanje većih ploha, kombinacija sa metodom cenzusa objekta ili

ciljano prebrojavanje (Miculinić i sur. 2016). Ciljano prebrojavanje je prebrojavanje jedinki određene vrste u čitavom objektu ili na točno određenom dijelu/dijelovima objekta bez vremenskog ograničenja. Naposljetku, metoda cenzusa ploha se pokazala odličnom metodom za velike speleološke objekte, pod uvjetom da se obrati pozornost na postavljanje dovoljno velikog broja ploha različitih trofija i njihovih replikata.

Druga korištena metoda terenskog uzorkovanja bila je metoda „cenzus objekta“, koja uključuje brojanje ukupnog broja jedinki po dijelovima špilje (Culver i Sket 2002). Prednosti ove metode su uzorkovanje faune koja bi primjenom plohe bila izostavljena, poput faune po zidovima (Tipulidae, Diptera, , Opiliones, Araneae...) te životinja koje migriraju ovisno o mikroklimatskim i ostalim uvjetima u objektu (Miculinić i sur. 2016).

Na primjeru Sedrene špilje iza mlina možemo primijetiti kako je relativna vlaga zraka jedan je od najbitnijih čimbenika u podzemnim staništima, naročito jer su špiljske životinje izrazito higrofilne i osjetljive na isušivanje staništa (Mammola i sur. 2019, White, Culver i Pipan 2019). Zbog posebne morfologije i brojnih ulaza, kroz veći dio objekta postoji strujanje zraka koje nepovoljno utječe na staništa, uzrokujući isušivanje i oscilacije temperature i vlage u zraku. Zbog toga u špilji nalazimo najveći broj organizama u trećem dijelu, koji je najvlažniji dio špilje te najpovoljniji tip staništa za troglobionte. Trajni mjerni instrument za mjerenje temperature i relativne vlage zraka bio je smješten u tom dijelu, a mjerenja relativne vlage zraka pokazala su gotovo stalnu 100%-tnu zasićenost. Povoljnost uvjeta za faunu u prvom dijelu sezonski je uvjetovana, dok je drugi dio izuzetno suh, a time i nepovoljan za opstanak većeg broja brojnih populacija i vrsta. Stoga, iako se radi o relativno kompleksnom objektu, cenzus objekta kao metoda praćenja stanja ovog objekta se pokazala primjenjiva.

Zimsko razdoblje u Sedrenoj špilji iza mlina pokazuje nisku vrijednost broja svojti i raznolikosti u prvom i drugom dijelu što objašnjavaju pad temperature i znatne oscilacije razine vlage u zraku koje su opažene u tim dijelovima. Takvi uvjeti mogu uzrokovati preseljenje faune u druge dijelove objekta (Mammola i sur. 2020), koji su pod manjim utjecajem vanjskih uvjeta od ostala dva dijela špilje, što objašnjava povišenu brojnosti organizama u tom dijelu tijekom zimskog razdoblja.

Jedino pauci kao skupina pokazuju statistički značajnu sezonalnost, odnosno pad brojnosti zimi. Ovo se može objasniti sa smanjenom količinom potencijalnog plijena u zimskom periodu, i to prvenstveno dvokrilaca. Test korelacije potvrđuje ovu

pretpostavku - brojnost pauka (i lažipauka) pozitivno korelira s ukupnom brojnošću plijena, ali i s brojnošću pojedinih skupina, poput dvokrilaca.

U glavnom kanalu (trećem dijelu) ustanovljena je najveća brojnost faune, najveći broj svojiti i najveći indeks raznolikosti. U Sedrenoj špilji iza mlina brojnošću prevladavaju troglofilni organizmi, kojima pripada 62% od ukupne faune. Iako je zabilježen relativno velika brojnost troglobiontnih svojiti, ovakav tip spelološkog objekta prvenstveno privlači trogloksene i troglofile (Niemiller i sur. 2019, White, Culver i Pipan 2019). Zbog velikih temperaturnih razlika (čak 10,3°C u trećem dijelu špilje) brojni stenotermni (slabo tolerantni na promjene temperature) troglobionati ne mogu nastanjivati ovu špilju. Unatoč tome, ustanovljene su dvije troglobiontne svojite, jednakonožni rak *A. balthasari* i skokun *T. pallidus*.

Viša brojnost netroglobionata (odn. trogloksena) u glavnom kanalu tokom ljetnih i jesenskih mjeseci je moguća posljedica nepovoljnih vremenskih uvjeta na površini, zbog kojih traže utočište u špilje. Shodno tome, jesensko razdoblje je najpovoljnije za paučnjake, koji u to doba pronalaze značajan izvor hrane, odnosno plijena zbog emigracija iz vanjskih staništa.

Drugi objekt u kojem se provodila metoda cenzusa objekta je Sedrena špilja kod stola. To je mali i morfološki jednostavan objekt koji je pod velikim utjecajem vanjskih čimbenika, što uvjetuje dominaciju edafske, trogloksenske i troglofilne faune.

U rezultatima jasno je vidljiva dominacija troglofilnih i trogloksenskih organizama, što je bilo očekivano zbog same morfologije ove male špilje. Troglokseni i troglofili unutar kanala Sedrene špilje kod stola uglavnom traže zaštitu od nepovoljnih uvjeta, prvenstveno visokih ili niskih temperatura čime se mogu objasniti zimski i ljetni maksimumi u brojnosti netroglobionata (npr. *Limonia* sp.) (White i Culver 2019). Troglobionti (predstavljani jedino s *A. balthasari*) su zabilježeni gotovo isključivo u trećem dijelu špilje, gdje prevladavaju pravi podzemni uvjeti – nedostatak svjetla i stabilnije temperaturne oscilacije.

Sedrena špilja s jamskim ulazom je mali speleološki objekt sa stabilnim mikroklimatskim uvjetima, koji omogućavaju suživot različitih skupina (troglobionata, troglofila i trogloksena). Zanimljivo je opažanje izrazito brojne populacije *A. balthasari* (preko 100 jedinki) pri dnu vertikale (prvog dijela špilje) tijekom zimskog razdoblja 2015. godine. Navedena brojna populacija je primijećena na specifičnom mikrostaništu – vlažnoj stijeni obrasloj korijenjem. Možemo pretpostaviti kako ulazna vertikala

predstavlja svojevrsan ekoton – područje gdje se miješaju vanjski i podzemni ekološki uvjeti i pripadajuća fauna. Ovaj vertikalni dio je specifičan, s gotovo uvijek prisutnom vlagom na površini stijena, relativno niskom temperaturom te s korijenskim sustavom koji obrasta stijene. Navedeni uvjeti su uzrokovali miješanje vanjske, edafske i troglobiontne faune na površinom malom području. Tako da taj vertikalni skok s korijenskim izdancima tvori posebno mikrostanište, prijelaznu zonu između nadzemnih i podzemnih uvjeta te je ovaj dio u podjeli dijelova objekta za monitoring staništa potrebno sagledati zasebno. Ostali dijelovi špilje se za potrebe monitoringa mogu sagledati u cjelini, bez podjele na navedene dijelove. Ovakav neočekivani rezultat potvrđuje da generalni trendovi i sezonsko-prostorna distribucija faune čak i vrlo manjih speleoloških objekata mogu biti složeniji nego što je uobičajeno mišljenje (Kozel i sur. 2019).

NMDS analiza triju sedrenih špilja (Sedrene špilje kod stola, Sedrene špilje iza mlina, Sedrene špilje s jamskim ulazom) grupira “dublja”, “prava” podzemna staništa sa svim staništima Sedrene špilje s jamskim ulazom. To nam poručuje da stanište najbližnje pravom špiljskom staništu Sedrene špilje s jamskim ulazom počinje već od samog ulaza u špilju, te se cijeli objekt može sagledati kao jedna cjelina. Treći dijelovi svih sedrenih špilja pokazuju najmanja odstupanja H' indeksa, što ukazuje na stabilne ekološke uvjete tih dijelova objekata, odnosno kako se tu radi o “pravim” podzemnim staništima. Unatoč takvim opažanjima, KW test statistički značajno ne razlikuje H' indeks i broj vrsta između pojedinih sezona ili dijelova objekata.

Metodom cenzusa ploha u Staroj jametini zabilježilo se 22 vrste, a prethodno je znano 23, dok je u Miljacki II zabilježeno 23 svojite od prethodno znanih 54. Ograničavanjem na plohe određeni dijelovi špilje i fauna što migrira može ostati nezabilježena. Stoga kombinirane metode cenzusa ploha i cenzusa objekta (s ciljanim traženjem određenih vrsta) se čine kao najbolja metoda za praćenje stanja velikih objekata.

Metodom cenzusa objekta u Sedrenoj špilji iza mlina zabilježeno je 28, a prethodnim istraživanjima zabilježeno je njih 36. U Sedrenoj špilji kod stola zabilježile su se 24 svojite beskralješnjaka, a prethodno su poznate 22 te u Sedrenoj špilji s jamskim ulazom zabilježeno je 23 vrste od prethodno znanih 31. Miculinić i sur. (2016) komentiraju da vremensko ograničenje kod primjene cenzusa objekta može uvjetovati da neke vrste ostanu nezabilježene, ali kod malih objekata (osobito kao što je to Sedrena

špilja kod stola) potrebe za dužim vremenskim cenzusom nema, tako da svaku metodu treba prilagoditi specifikacijama objekta.

Ako promotrimo rezultate svih pet obrađivanih špilja po sezonama, možemo zaključiti kako je zima najnepovoljnije razdoblje (za netroglobionte) i tada su zabilježene najmanje brojnosti svih skupina. Nasuprot tome, tokom proljeća u ovim špiljama obitava najviše različitih svojti beskralješnjaka te u tim razdobljima su manje brojčane dominacije pojedinih svojti, što rezultira visokim vrijednostima indeksa bioraznolikosti.

Dugogodišnjim praćenjem objekata dobivamo bolju predodžbu o staništima i utjecaju okolišnih promjena na njih. Razumijevanje kvalitativne (tko) i kvantitativne (koliko) razine trofičkih interakcija možemo doći do zaključaka o ugroženosti vrsta i staništa (Derocles i sur. 2018). Tako da prateći brojnost, raznolikost faune te omjer troglobiontnih i netroglobiontnih vrsta možemo direktno procijeniti kvalitetu podzemnih staništa. Međusobnom usporedbom pojedinih staništa i promjena u staništu kroz vrijeme dobivamo uvid na koje objekte treba staviti naglasak prilikom određivanja mjera zaštite ili na koje treba obratiti posebnu pozornost u daljnjim istraživanjima. Korištenim metodama u ovom radu, dobili smo uvid u dinamiku populacija i ekologiju vrsta koje nastanjuju podzemna staništa, što je osnova za njihovu zaštitu.

## 5 Zaključak

- Guano i ostali faktori vezani uz njega su bitni čimbenici koji uvjetuju sezonske i prostorne promjene sastava i raznolikosti faune, jer čine temelj hranidbene mreže brojnih špiljska staništa.
- Metoda cenzusa ploha može koristiti za praćenje sezonalnosti faune i staništa različitih, posebice velikih objekata, ali preporučeno ju je koristiti paralelno s drugim metodama (poput cenzusa objekta, ciljanog prebrojavanja, postavljanja zamki i sl.).
- Upotreba mamaca uz metodu cenzusa ploha nije pokazala statistički značajnu razliku u uzorkovanom sastavu i brojnosti faune te unatoč modifikacijama metoda postavljanja mamaca, nije pronađen način na koji bi mamac svakoga puta ostao nedirnut. U nekoliko navrata mamac su pojeli sisavci ili krupniji špiljski beskralješnjaci.
- Cenzus objekta je izvrsna metoda za uzorkovanje manjih objekata (bez šišmiša – jer pojedine guanofilne/guanobiontne zajednice broje i po nekoliko tisuća primjeraka, čije bi prebrojavanje moglo narušiti kvalitetu pretrage ostalih staništa zbog unaprijed određenog vremenskog ograničenja metode).
- Metodom cenzusa objekta bilježi se fauna koja bi primjenom drugih metoda bila izostavljena, poput faune po zidovima te životinja koje migriraju ovisno o uvjetima u objektu.
- NMDS analiza je primjenjiva metoda za klasifikaciju sličnih staništa različitih objekata, ukoliko fauna sadrži donekle slične svojte, koje po mogućnosti trebaju biti određene do vrste, za što je bitno stručno osoblje na terenu koje dobro poznaje potencijalne vrste.
- U svim istraživanim objektima redovito su bilježene troglobiontne svojte, koje su zaštićene zakonom, što čini promatrane objekte vrijednim dijelom prirodne baštine Hrvatske.
- Rezultati ovoga rada doprinijeli su boljem razumijevanju ekologije vrsta, posebice međusobne dinamike zajednica što u podzemnim staništima nastanjuju guano šišmiša.

## 6 Literatura

Andersen, T., Baranov, V., Hagenlund, L. K., Ivković, M., Kvifte, G. M., & Pavlek, M. (2016). *Blind Flight? A New Troglolithic Orthoclad (Diptera, Chironomidae) from the Lukina Jama – Trojama Cave in Croatia*. PLOS ONE, 11(4), e0152884. doi:10.1371/journal.pone.0152884

Barr, T.C. (1968). *Cave Ecology and the Evolution of Troglobites* u: Dobzhansky T., Hecht M.K., Steere W.C. (ur.) *Evolutionary Biology*, 3, Springer, Boston, Massachusetts. 35-38, 47-48. doi: 10.1007/978-1-4684-8094-8\_2

Bedek, J., Gottstein Matočec, S., Jalžić, B., Ozimec, R. i Štamol, V. (2006). *Katalog tipskih špiljskih lokaliteta faune Hrvatske*. Natura Croatica, 15 (1), Hrvatski prirodoslovni muzej, 1-154, Zagreb.

Bilandžija, H., Puljas, S., Čuković, T. (2014.). *Nacionalni programi za praćenje stanja očuvanosti vrsta i staništa u Hrvatskoj, Congeria kusceri Bole, 1962 i Congeria jalzici Morton & Bilandžija, 2013*. Državni zavod za zaštitu prirode.

Bilandžija, H., Hollifield, B., Steck, M., Meng, G., Ng, M., Koch, A., Gračan, R., Četković, H., Porter, M., Renner, K. & Jeffery, W. (2020). *Phenotypic plasticity as a mechanism of cave colonization and adaptation*. eLife, 9, 1–27. doi:10.7554/elife.51830.

Bindschedler, S., Millière, L., Cailleau, G., Job, D., & Verrecchia, E. P. (2012). *An Ultrastructural Approach to Analogies between Fungal Structures and Needle Fiber Calcite*. Geomicrobiology Journal, 29 (4), 301–313. doi:10.1080/01490451.2011.558565

Bondaruk, J., Janson, E., Wysocka, M., & Chałupnik, S. (2015). *Identification of hazards for water environment in the Upper Silesian Coal Basin caused by the discharge of salt mine water containing particularly harmful substances and radionuclides*. Journal of Sustainable Mining, 14 (4), 179–187. doi:10.1016/j.jsm.2016.01.001

Bohan, D. A., Vacher, C., Tamaddoni-Nezhad, A., Raybould, A., Dumbrell, A. J., & Woodward, G. (2017). *Next-Generation Global Biomonitoring: Large-scale, Automated Reconstruction of Ecological Networks*. Trends in Ecology & Evolution, 32(7), 477–487. doi:10.1016/j.tree.2017.03.001



Božić, V. i Malinar, H. (2013). *Razvoj speleološke opreme i tehnike*, Hrvatski planinarski savez, Zagreb.

Culver, D.C. i Pipan, T. (2008). *Superficial subterranean habitats – gateway to the subterranean realm?* Cave and Karst Science, 5, 5–12.

Culver, D.C. i Pipan, T. (2015). *Shifting Paradigms of the Evolution of Cave Life*. Acta carstologica, 44 (3), Postojna, 415 – 425.

Culver, D.C. i Pipan, T. (2019). *The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats*, (2nd edition), Oxford University Press, Oxford, United Kingdom

Culver, D.C. i Sket, B. (2000). *Hotspots of Subterranean Biodiversity in Caves and Wells*, Journal of Cave and Karst Studies, 62 (1), 11-17.

Culver, D. C. i Sket, B. (2002). *Biological monitoring in caves*. Acta Carsologica, 31, 1, 55-64. 31, 1, 55-64.

Derocles, S. A. P., Bohan, D. A., Dumbrell, A. J., Kitson, J. J. N., Massol, F., Pauvert, C., Plantegenest, M., Vacher, C., Evans, D. M. (2018). *Biomonitoring for the 21st Century: Integrating Next-Generation Sequencing Into Ecological Network Analysis*. Advances in Ecological Research, 1–62. doi:10.1016/bs.aecr.2017.12.001

Durbešić, P. (1988). *Upoznavanje i istraživanje kopnenih člankonožaca*. Hrvatsko ekološko društvo i dr. Ante Pelivan, Zagreb.

Engel, A.S., Meisinger, D.B., Porter, M.L., Basker, S., Baskar, R., Lee, N.M. (2008). *Cave microbiology as a window into the subsurface*, CAREX meeting, Sant Feliu de Guixols, Spain.

Engel, A.S. (2010). *Microbial Diversity of Cave Ecosystems*. U: Barton, L.L., Mandl, M., Loy, A. (ur.), *Geomicrobiology: Molecular and Environmental Perspective*, Springer, 219-238.

Ferreira, R.L. (2019). *Guano communities*. U: White, B.W., Culver, D.C., Pipan, T. (ur.), *Encyclopedia of Caves*, 3, Elsevier, 1-6.

Fišer, Ž. (2019). *Adaptation to low food*. U: White, B.W., Culver, D.C., Pipan, T. (ur.), *Encyclopedia of Caves*, 3, Elsevier, 1-6.

Fong, D.W. (2004). *Intermittent pools at headwaters of subterranean drainage basins as sampling sites for epikarst fauna*. U: Jones, W.K., Culver, D.C., Herman, J.S. (ur.), *Epikarst*. Karst Waters Institute Special Publications, 9, 114-188.

Gottstein, S. (2010). *Priručnik za određivanje podzemnih staništa u Hrvatskoj prema Direktivi o staništima EU*, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb.

Gottstein Matočec, S. (ur.), Bakran-Petricioli, T., Bedek, J., Bukovec, D., Buzjak, S., Franičević, M., Jalžić, B., Kerovec, M., Kletečki, E., Kralj, J., Kružić, P., Kučinić, M., Kuhta, M., Matočec, N., Ozimec, R., Rađa, T., Štamol, V., Ternjej, I. & N. Tvrtković (2002). *An overview of the cave and interstitial biota of Croatia*. *Natura Croatica*, 11 (1), 1–112, Zagreb.

Hmura, D., Čuković, T., Bregović, P. (2013.): *Nacionalni programi za praćenje stanja očuvanosti vrsta i staništa u Hrvatskoj. Tankovratić Leptodirus hochenwartii Schmidt, 1832*. Državni zavod za zaštitu prirode

Hodžić, M., Šorić, Ž. (2011). *Neke klimatske posebnosti prostora Srednjodalmatinske zagore i njihov odnos prema priobalju*, u Matas, M. i Faričić, J. (ur.), *Zagora između stočarsko-ratarske tradicije te procesa litoralizacije i globalizacije*. Sveučilište u Zadru, Zadar; Kulturni sabor Zagore, Ogranak Matice hrvatske, Split,

Kranjc, A. (2011). *The Origin and evolution of the term "Karst."*, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 19, 567–570. doi:10.1016/j.sbspro.2011.05.170

Juberthie, C. (2000). *The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world*. U: Wilkens H., Culver D.C., Humphreys W.F. (ur.), *Subterranean Ecosystems*. *Ecosystems of the World*, 30, Elsevier, Amsterdam 17-39.

Kozel, P., Pipan, T., Mammola, S., Culver, D., Novak, T. (2019). *Distributional dynamics of a specialized subterranean community oppose the classical understanding of the preferred subterranean habitats*. *Invertebrate biology*, 138 (3), Wiley. doi: 10.1111/ivb.12254

Lukić, M., Delić, T., Zagmajster, M., & Deharveng, L. (2018). *Setting a morphological framework for the genus Verhoeffiella (Collembola, Entomobryidae) for describing new troglomorphic species from the Dinaric karst (Western Balkans)*. *Invertebrate Systematics*, 32 (5), 1118-1170. doi:10.1071/is17088

Lukić, M. (2019). *Collembola* u White, B.W., Culver, D.C., Pipan, T. (ur.), *Encyclopedia of Caves*, 3, Elsevier, 308-318.

Mammola, S., Chiappetta, N., Giachino, P.M., Antić, D.Ž., Zapparoli, M., Isaia, M. (2020). *Exploring the homogeneity of terrestrial subterranean communities at a local spatial scale*. *Ecological entomology*, The Royal Entomological Society. doi: 10.1111/een.12883

Mammola, S., Piano, E., Cardoso, P., Vernon, P., Domínguez-Villar, D., Culver, D. C., Pipan, T. i Isaia, M. (2019). *Climate change going deep: The effects of global climatic alterations on cave ecosystems*. *The Anthropocene Review*, 6 (1-2), 98-116.

Mammola, S., Isaia, M. (2016). *The ecological niche of a specialized subterranean spider*. *Invertebrate Biology*, 135, 20-30.

Marguš D., Barišić T., Bedek J., Dražina T., Gracin J., Hamidović D., Jalžić B., Komerički A., Lukić M., Marguš M., Menđušić M., Miculinić K., Mihelčić G., Ozimec R., Pavlek M. (2012). *Tajne podzemlja*. Šibenik, JU NP Krka.

Marguš M., Bedek J., Dražina, T., Gracin J., Jalžić B., Komerički A., Lukić M., Marguš, D., Miculinić K., Mihelčić G., Ozimec R., Pavlek M. (2013). *Speleološki vodič Nacionalnog parka Krka*. Šibenik, JU NP Krka.

Miculinić, K., Komerički, A., Bedek, J., Bregović, P., Dražina, T., Jalžić, B., Kutleša, P., Lukić, M., Pavlek, M. (2016). *Istraživanje podzemne faune beskralješnjaka šibensko-kninske županije u svrhu razvoja metodologije monitoringa*. Hrvatsko biospeleološko društvo, Zagreb, 1-280.

Moldovan, O. T., Kováč, L., Halse, S. (ur.) (2018). *Cave Ecology*. *Ecological studies* 235. Springer Nature Switzerland AG, Cham, 1-173, 229-330, 451-532.

Niemiller, M.L., Taylor, S.J., Slay, M.E., Hobbs, H.H. (2019). *Biodiversity in the United States and Canada*. U: White, B.W., Culver, D.C., Pipan, T. (ur.), *Encyclopedia of Caves*, 3, Elsevier, 223-226.

Ozimec, R., Bedek, J., Gottstein, S., Jalžić, B., Slapnik, R., Štamol, V., Bilandžija, H., Dražina, T., Kletečki, E., Komerički, A., Lukić, M., Pavlek, M., (2009). *Crvena knjiga špiljske faune*

*Hrvatske (Red book of Croatian cave dwelling fauna)*. Ministarstvo kulture, Državni Zavod za zaštitu prirode, Zagreb, 1-371.

Ozimec, R i Šincek, D. (2011). *Speleološki objekti planinskih masiva SZ Hrvatske*. HAZU, Zavod za znanstveni rad, Varaždin

Pavlek, M., Bregović, P., Delić, T., Bedek, J. (2018). *Biospeleologija Šverde. Subterranea Croatica*, 16, 2, Speleološki klub "Ursus spelaeus", Karlovac, 41 – 50.

Pavlinić, I., Đaković, M., Tvrtković, N. (2010). *The Atlas of Croatian bats (Chiroptera)*, Part I. *Natura Croatica*, 19 (2), Hrvatski prirodoslovni muzej, Zagreb, 295-337.

Pentecost, A. (2005) *Organisms Associated with Travertine*. In: *Travertine*. Springer, Dordrecht. doi:10.1007/1-4020-3606-X\_9

Pipan, T., & Culver, D. C. (2012). *Shallow Subterranean Habitats. Encyclopedia of Caves*, 683–690. doi:10.1016/b978-0-12-383832-2.00101-8

Polak, S., Pipan, T. (2011). *Subterranean habitats and fauna, their threats and conservation*, u: *Pressures and protection of the underground karst : cases from Slovenia and Croatia* (ur. Prelovšek M i Zupan Hajna, N.), Karst Research Institute ZRC SAZU, Postojna, 23-30.

Previšić, A., Schnitzler, J., Kučinić, M., Graf, W., Ibrahim, H., Kerovec, M., & U. Pauls, S. (2014). *Microscale vicariance and diversification of Western Balkan caddisflies linked to karstification*. *Freshwater Science*, 33 (1), 250–262. doi:10.1086/674430

Racovitza, É. G. (1907). *Biospéologica: Essai sur les problèmes biospéologiques*, I. Schleicher frères.

Radovčić, J. (1968). *Ekološka obilježja špilja*, *Speleolog*, 15, Speleološki odsjek Hrvatskog planinarskog društva Željezničar, Zagreb, 11-13.

Rawat, S., Rautela, R. & Johri, B. N. (2017). *Fungal World of Cave Ecosystem. Developments in Fungal Biology and Applied Mycology*, 99–124. doi:10.1007/978-981-10-4768-8\_7

Sarbu, S.M., Kane, T.C., Kinkle, B.K. (1996). *A chemoautotrophically based groundwater ecosystem*, *Science*, 272, 1953–1955.

Schiner, I. R. (1854). *Diptera austriaca*.

Simon, K.S. (2019) *Cave ecosystems*. U: White, B.W., Culver, D.C., Pipan, T. (ur.), *Encyclopedia of Caves*, 3, Elsevier, 223-226.

Sket, B. (2004). *The cave hygropetric – a little known habitat and its inhabitants*. Archiv Für Hydrobiologie, 160 (3), 413–425. doi:10.1127/0003-9136/2004/0160-0413

Spellerberg, I. F. i Fedor, P. J. (2003). *A tribute to Claude Shannon (1916-2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the “Shannon-Wiener” Index*. Global Ecology and Biogeography, 12 (3), 177–179. doi:10.1046/j.1466-822x.2003.00015.x

Taylor, S.J., Slay, M.E., Handel, W.C., (2006). *Cave fauna, survey and monitoring at Fort Leonard Wood, Missouri*. Illinois Natural History Survey Center for Biodiversity Technical Report, 245.

Trajano E. (2019). *Biodiversity in South America* u White, B.W., Culver, D.C., Pipan, T. (ur.), *Encyclopedia of Caves*, 3, Elsevier, 177-186.

Trajano, E. i Carvalho, M.R. (2017). *Towards a biologically meaningful classification of subterranean organisms: a critical analysis of the Schiner-Racovitza system from a historical perspective, difficulties of its application and implications for conservation*. Subterranean Biology, 22, 1–26. doi: 10.3897/subtbiol.22.9759

Trajano, E. (2012). *Ecological classification of subterranean organisms*. U: White, B.W., Culver, D.C. (ur.) (2012). *Encyclopedia of Caves*, 2, Elsevier, 1-962.

Trontelj, P., Borko, Š. i Delić, T. (2019). *Testing the uniqueness of deep terrestrial life*. Scientific Reports, 9 (15188). doi: 10.1038/s41598-019-51610-1

Vidaković Šutić, R., Vrcelj, B., Kotaran Munda, M. (2010). *Plan vodoopskrbe Šibensko-kninske županije*. Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb

Zagmajster, M. (2019). *Bats* u White, B.W., Culver, D.C., Pipan, T. (ur.), *Encyclopedia of Caves*, 3, Elsevier, 94-101.

White, B.W., Culver, D.C., Pipan, T. (ur.) (2019). *Encyclopedia of Caves*, 3, Elsevier, 1-1260.

White i Culver (2019). *Cave, definition of*. U: White, B.W., Culver, D.C., Pipan, T. (ur.) (2019). *Encyclopedia of Caves*, 3, Elsevier, 1-1260.

White, B.W., Culver, D.C. (ur.) (2012). *Encyclopedia of Caves*, 2, Elsevier, 1-962.

URL 1: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:31992L0043&from=EN> (pristupljeno 28.8.2020.)

URL 2: <https://www.hbsd.hr/završeni-projekti/> (pristupljeno 29.6.2020.)

URL 3: <http://adipa.hr/projekti/> (pristupljeno 29.6.2020.)

URL 4: <http://speleologija.hr/popis> (pristupljeno 11.9.2020.)

URL 5: <http://natura2000.dzpz.hr/speleo/> (pristupljeno 11.9.2020.)

## 7 Prilozi

1. Skupine i vrste zabilježene u Sraraj jametini i Miljacki II sa pripadajućim vrijednostima dominantnosti (Dom) i konstantnosti (Konst) te ekološkom klasifikacijom (TB – troglobiont, TF – troglofil i TX – trogloksen)
2. Skupine i vrste zabilježene u Sraraj jametini i Miljacki II sa pripadajućim vrijednostima dominantnosti (dom) i konstantnosti (konst) te ekološkom klasifikacijom (TB – troglobiont, TF – troglofil, TX – trogloksen i Par –parazit)

**Prilog 1.** Skupine i vrste zabilježene u Sraroj jametini i Miljacki II sa pripadajućim vrijednostima dominantnosti (Dom) i konstantnosti (Konst) te ekološkom klasifikacijom (TB – troglobiont, TF – troglofil i TX – trogloksen)

Skupina/vrsta	Stara Jametina		Miljacka II		Ekološka kategorija
	dom	konst	dom	konst	
<b>Acari</b>	0.30%	43%			
Rhagidiidae	0.30%	43%			TX
<b>Araneae</b>	2.28%	100%	0.15%	71%	
Araneae, sp. 1			0.08%	29%	TX
Agelenidae	0.08%	29%			TX
<i>Episinus cavernicola</i> (Kulczyński, 1897)	0.05%	29%			TF
<i>Micrargus herbigradus</i> (Blackwall, 1854)	1.48%	86%			TF
<i>Nesticus eremita</i> Simon, 1879			0.07%	43%	TF
<i>Stalagtia hercegovinensis</i> (Nosek, 1905)	0.67%	100%			TB
<b>Coleoptera</b>	1.06%	71%	3.58%	86%	
<i>Atheta spelaea</i> (Erichson, 1839)	0.39%	29%	2.47%	86%	TF
<i>Laemostenus cavicola</i> (Schaum, 1858)	0.64%	71%	0.03%	14%	TF
<i>Leptinus</i> sp.	0.02%	14%			TF
Staphylinidae	0.02%	14%	0.55%	71%	TX
<b>Collembola</b>	61.84%	100%	56.85%	100%	
<i>Heteromurus nitidus</i> (Templeton, 1835)	33.70%	100%	49.42%	100%	TF
Hypogastruridae	26.82%	43%	0.19%	29%	TB?
<i>Neelus murinus</i> Folsom, 1896	0.44%	29%	0.03%	43%	TF
<i>Pseudosinella heteromurina</i> (Stach, 1929)			5.86%	100%	TB
<i>Troglopedetes pallidus</i> Absolon, 1907	0.82%	100%	1.34%	100%	TB
<i>Verhoeffiella margusi</i> Lukić & Deharveng, 2018	0.07%	43%			TB
<b>Chilopoda</b>	0.03%	29%			
<i>Eupolybothrus tridentinus</i> (Fanzago, 1845)	0.03%	29%			TF
<b>Diplopoda</b>	0.03%	29%	1.13%	86%	
<i>Brachydesmus subterraneus</i> Heller, 1858			1.13%	86%	TF
<i>Solentanodesmus insularis</i> Antić & Reip, 2014	0.03%	29%			TB
<b>Diplura</b>	0.03%	29%			
<i>Plusiocampa</i> sp.	0.03%	29%			TB
<b>Diptera</b>	1.58%	43%	1.32%	71%	
Diptera, varia	1.56%	43%	1.21%	71%	TX
Muscidae	0.02%	14%			TX
Nycteribiidae			0.10%	29%	TX
<b>Gastropoda</b>			0.10%	57%	
<i>Oxychilus cellarius</i> (O.F. Müller, 1774)			0.10%	57%	TF
<b>Isopoda</b>	31.92%	100%	35.43%	100%	
<i>Alpioniscus balthasari</i> (Frankenberger, 1937)	31.92%	100%	35.22%	100%	TB
<i>Cyphopleon kratochvili</i> (Frankenberger, 1939)			0.21%	71%	TF
<b>Oligochaeta</b>			0.02%	29%	
Lumbricidae			0.02%	29%	TX
<b>Opiliones</b>	0.50%	86%	1.33%	100%	
<i>Nelima troglodytes</i> Roewer, 1910	0.50%	86%	1.33%	100%	TF
<b>Orthoptera</b>	0.39%	86%	0.05%	57%	
<i>Dolichopoda araneiformis</i> (Burmeister, 1838)	0.39%	86%	0.05%	57%	TF
<b>Pseudoscorpiones</b>	0.03%	29%	0.03%	29%	
Chthoniidae	0.03%	29%	0.03%	29%	TB



**Prilog 2.** Skupine i vrste zabilježene u Sraroj jametini i Miljacki II sa pripadajućim vrijednostima dominantnosti (dom) i konstantnosti (konst) te ekološkom klasifikacijom (TB – troglobiont, TF – troglofil, TX – trogloksen i Par –parazit)

Skupina / vrsta	Sedrena špilja iza mlina		Sedrena špilja kod stola		Sedrena špilja s jamskim ulazom		Ekološka kategorija
	dom	konst	dom	konst	dom	konst	
<b>Acari</b>	0.86%	42.86%			1.43%	57.14%	
<i>Eschatocephalus vespertilionis</i> (Koch, 1844)	0.86%	42.86%			1.43%	57.14%	Par
<b>Araneae</b>	24.73%	85.71%	9.08%	85.71%	8.46%	100.00%	
Araneae, varia	3.32%	71.43%	8.98%	85.71%	8.22%	100.00%	TX
Araneae, sp. 2	4.18%	42.86%					TX
Araneae, sp. 3	1.28%	42.86%					TX
<i>Barusia meheni</i> (Kratochvil & Miller, 1939)	1.50%	57.14%					TF
<i>Nesticus eremita</i> Simon, 1879	8.24%	71.43%					TF
Tetragnathidae	6.21%	85.71%	0.10%	14.29%	0.24%	14.29%	TF
<b>Chilopoda</b>	0.21%	14.29%	1.48%	57.14%	1.55%	71.43%	
<i>Eupolybothrus tridentinus</i> (Fanzago, 1845)	0.11%	14.29%			1.55%	71.43%	TF
Lithobiidae, sp. 1.			1.48%	57.14%			
<i>Scutigera coleoptrata</i> Linneaus, 1758	0.11%	14.29%					TX
<b>Coleoptera</b>					0.60%	57.14%	
Pselaphinae, sp. 1					0.36%	28.57%	TF
Staphylinidae, sp 1					0.24%	28.57%	TX
<b>Collembola</b>	7.39%	85.71%	1.88%	71.43%	7.03%	100.00%	
Collembola, varia	2.78%	57.14%	1.88%	71.43%	7.03%	100.00%	TX
<i>Lepidocyrtus</i> sp.	0.11%	14.29%					TX
Onychiuridae	0.86%	57.14%					TX
<i>Troglopedetes pallidus</i> Absolon, 1907	3.64%	28.57%					TB
<b>Diplopoda</b>	2.03%	71.43%	2.37%	100.00%	3.34%	100.00%	
<i>Apfelbeckia insculpta</i> (C.L. Koch, 1867)	1.07%	57.14%					TF
<i>Brachydesmus langhofferi</i> Verhoeff, 1929			0.20%	28.57%			TF
Callipodida, sp. 1			0.39%	42.86%			TX
<i>Dyocerasoma intermedia</i> Makarov et al., 2003	0.43%	42.86%	0.79%	71.43%	2.38%	85.71%	TB?
<i>Glomeris klugii</i> Brandt, 1833			0.10%	14.29%			TX
<i>Glomeris pulchra</i> C.L. Koch, 1847	0.54%	42.86%	0.39%	28.57%	0.60%	28.57%	TX
Julidae, sp. 1			0.49%	28.57%			TX
<i>Metonomastus albus</i> (Verhoeff, 1901)					0.36%	28.57%	TF
<b>Diptera</b>	14.35%	85.71%	69.20%	85.71%	28.25%	71.43%	
Diptera, varia	2.25%	71.43%	22.31%	71.43%	4.77%	42.86%	TX
Tipulidae	12.10%	57.14%	46.89%	42.86%	23.48%	28.57%	TF
<b>Gastropoda</b>	1.07%	57.14%	0.49%	42.86%	0.48%	57.14%	
<i>Oxychilus cellarius</i> (O.F. Müller, 1774)	0.75%	42.86%	0.30%	42.86%	0.36%	42.86%	TF
Gastropoda, varia	0.32%	28.57%	0.20%	28.57%	0.12%	14.29%	TX
<b>Hemiptera</b>	3.43%	100.00%	0.69%	42.86%	0.95%	57.14%	
Cixiidae, sp. 1	3.43%	100.00%	0.69%	42.86%	0.95%	57.14%	TX
<b>Isopoda</b>	26.34%	100.00%	10.07%	85.71%	41.72%	100.00%	
<i>Alpioniscus balthasari</i> (Frankenberger, 1937)	18.52%	100.00%	4.15%	57.14%	36.71%	100.00%	TB
Isopoda, varia	7.82%	85.71%	5.92%	71.43%	5.01%	85.71%	TX
<b>Lepidoptera</b>			0.10%	14.29%			
Lepidoptera, sp. 1			0.10%	14.29%			TX
<b>Opiliones</b>	15.20%	100.00%	3.16%	85.71%	4.53%	100.00%	
<i>Nelima troglodytes</i> Roewer, 1910	15.20%	100.00%	3.16%	85.71%	4.53%	100.00%	TF
<b>Orthoptera</b>	3.21%	100.00%	0.20%	28.57%	1.55%	71.43%	
Rhaphidophoridae, varia	3.21%	100.00%	0.20%	28.57%	1.55%	71.43%	TF
<b>Pseudoscorpiones</b>	0.21%	28.57%	0.10%	14.29%			
<i>Neobisium</i> sp.	0.21%	28.57%	0.10%	14.29%			TF
<b>Psocoptera</b>			0.99%	42.86%			
Psocoptera, sp. 1			0.99%	42.86%			
<b>Scorpiones</b>			0.10%	14.29%	0.12%	14.29%	
<i>Euscorpium</i> sp.			0.10%	14.29%	0.12%	14.29%	TX

## Životopis

### osobni podaci:

ime i prezime: Leo Hrs

email: hrsleo@gmail.com

### obrazovanje:

2017- 2020      Diplomski studij **ekologije i zaštite prirode** na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu (PMF), Sveučilište u Zagrebu – mag. oecol. et prot. nat

2013-2017      Preddiplomski studij **biologije** na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu (PMF), Sveučilište u Zagrebu, Sveučilišni prvostupnik biologije – bacc. univ. biol

2009-2013      Prirodoslovna škola Vladimira Preloga u Zagrebu, smjer: **prirodoslovna gimnazija**

### dodatno obrazovanje:

speleološka škola:                      speleološki odsjek HPD „Željezničar“, Zagreb, 2020. - **speleolog pripravnik**

### radno iskustvo:

kolovoz, 2019. -                      stručni rad sa društvom za istraživanje i očuvanje prirodoslovne raznolikosti Hrvatske „**ADIPA**”

- sudjelovanje na ekspedicijama:

    „*Popovo polje 2019*”, općina Ravno

    „*Tjedan prirodoslovlja 2019*”, Korčula

    (ADIPA; <http://adipa.hr/>)

svibanj, 2019. -                      instruktor iskustvenog učenja u prirodi u neprofitnoj organizaciji „**Outward Bound Croatia**”

    (OBC; <https://www.outwardboundcroatia.com/>)

lipanj – srpanj, 2019.                      volonterski rad u sklopu biospeleološke sekcije edukacijsko - istraživačkog kampa „Operation Wallacea Croatia 2019” u NP Krka

    (OpWall; <https://www.opwall.com/location/croatia/>)

2017. -2020.                      voditelj sekcije za gljive u **udruzi studenata biologije - „BIUS”**

2014. - 2020.

volonterski rad u „**BIUS**“-u

- sudjelovanje na istraživačko-edukacijskim projektima:

„*Papuk 2015*“

„*Mura-Drava 2016*“

„*Insula Tilagus 2017*“

„*Šuma Žutica 2018*“

„*Zlarin 2019*“

(BIUS; <http://bius.hr/>)

ožujak, 2003. -

aktivno sudjelovanje volonterskim radom u udruzi - **odred izviđača „Plamen“**

(volonterski pokret „Boranka“; <https://www.zadobrobit.hr/akcije/boranka-projekt-posumljavanja-opozarenih-podrucja-dalmacije>)

**dodatna znanja:**

strani jezik: Engleski C1, Talijanski A2

informatička znanja: QGIS, MS Office (Excel, Word, Access...)

vozačka dozvola: B kategorija

**ostale zanimacije:**

biospeleologija,

mikologija,

permakultura,

sport - košarka, penjanje, jahanje, yoga,...

umjetnost - crtanje, snimanje, sviranje:

(Vibrica, Mimo koncert: <https://www.youtube.com/watch?v=mj7iR47DMCY>)