

Makrogeomorfološka regionalizacija raznolikosti faune u anhijalnim špiljama istočne obale Jadranskog mora

Matijević, Jovana

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:217:917282>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Jovana Matijević

**Makrogeomorfološka regionalizacija raznolikosti faune u anijalnim špiljama istočne
obale Jadranskog mora**

Diplomski rad

Zagreb, 2023.

Ovaj rad je izrađen u Laboratoriju za ekologiju životinja na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Sanje Gottstein. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra struke znanosti o okolišu.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojoj mentorici prof. dr. sc. Sanji Gottstein na nesebičnoj pomoći, razumijevanju i strpljenju tijekom procesa izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji na ogromnoj podršci koju mi pružaju čitav život.

Zahvaljujem se Bogu, mojoj alfi i omegi.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

Makrogeomorfološka regionalizacija raznolikosti faune u anhijalnim špiljama istočne obale

Jadranskog mora

Jovana Matijević

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Anhijaline špilje pripadaju specifičnim speleološkim fenomenima Mediteranskog krša. Tijekom protekla četiri desetljeća istraživanja anhijalnih špilja u Hrvatskoj enormno su se proširila i intenzivirala. Međutim, ukupna zajednica vodenih beskrležnjaka ostala je nedovoljno poznata. Istraživanje zajednica je provedeno na 99 uzoraka prikupljenih u 39 anhijalnih špilja tijekom svih sezona u razdoblju od rujna 2001. do svibnja 2011. godine kako bi se analizirala struktura i raznolikost vodenih beskrležnjaka te opisale razlike između četiri Makrogeomorfološke regije Hrvatske definirane prema Bognaru i sur. (2012). Zabilježeno je ukupno 46 svojti vodenih beskrležnjaka unutar šest koljena. Najdominantniji predstavnici jadranske anhijalne špiljske faune bili su člankonošci ili točnije rakovi. Identificirali smo vruće točke bioraznolikosti, Vodenu jamu na otoku Gustac u Kornatskom arhipelagu u makrogeomorfološkoj regiji 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom. Makrogeomorfološka regija od posebnog interesa za zaštitu je 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom unutar koje je zabilježen najveći ukupni broj vodenih beskrležnjaka u istraživanim anhijalnim špiljama, te najveći broj špilja (ukupno četiri) s velikim brojem svojti vodenih beskrležnjaka (≥ 15).

Ključne riječi: vodeni beskrležnjaci, rakovi, salinitet, vruće točke, raznolikost, prioriteti za zaštitu

(38 stranica, 16 slika, 1 tablica, 72 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: Prof. dr. sc. Sanja Gottstein

Ocjenitelji:

Prof. dr. sc. Sanja Gottstein

Izv. prof. dr. sc. Jasna Lajtner

Prof. dr. sc. Nenad Buzjak

Prof. dr. sc. Damir Bucković

Rad prihvaćen: 09. veljače 2023.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Master thesis

Macrogeomorphological regionalisation of fauna diversity in anchialine caves of the Eastern

Adriatic Sea coast

Jovana Matijević

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Anchialine caves belong to the specific speleological phenomenon in the Mediterranean karst. Over the last four decades, research on the anchialine caves in Croatia has expanded enormously. However, total anchialine aquatic invertebrate assemblages remain poorly understood. The assemblages were determined from 99 samples collected in 39 anchialine caves during seasonal surveys carried out from September 2001 to May 2011 to analyze the structure and diversity of aquatic invertebrate assemblages and to describe the differences between four Macrogeomorphological regions of Croatia according to Bognar et al. (2012). A total of 46 taxa of invertebrates in six phyla were identified. The most dominant representatives of the Adriatic anchialine cave fauna were arthropods or, more precisely, crustaceans. We identified a hotspot of biodiversity the pit Vodena jama on the island Gustac in Kornati Archipelago in the Macrogeomorphological region 2.3. NW Dalmatia with archipelago. Macrogeomorphological region of particular interest for protection is 2.3. NW Dalmatia with the archipelago within which the largest total number of aquatic invertebrates were recorded in the investigated anchialine caves, and the largest number of caves (four in total) with a large number of aquatic invertebrate taxa (≥ 15).

Keywords: aquatic invertebrates, crustaceans, salinity, hot spot, diversity, protection priority
(38 pages, 16 figures, 1 table, 72 references, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: Prof. Sanja Gottstein, PhD

Reviewers:

Prof. Sanja Gottstein, PhD
Assoc. Prof. Jasna Lajtner, PhD
Prof. Nenad Buzjak, PhD
Prof. Damir Bucković, PhD

Thesis accepted: 9th February 2023

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Konceptijski modeli anhidralnih podzemnih ekosustava.....	1
1.2. Makrogeomorfološka regionalizacija Jadranskog mora i priobalja.....	4
1.3. Ekologija anhidralnih špilja uz obalu Jadranskog mora	6
1.4. Sastav zajednica vodene faune anhidralnih špilja	8
1.5. Ciljevi istraživanja.....	9
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....	11
2.1. Regionalizacija istočne obale Jadranskog mora i priobalja.....	11
2.2. Klimatska obilježja istraživanog područja	11
2.3. Geološka obilježja istraživanog područja.....	12
2.4. Hidrološka obilježja istraživanog područja	13
2.5. Popis istraživanih lokaliteta.....	14
3. MATERIJALI I METODE	19
3.1. Materijali	19
3.2. Dinamika terenskih istraživanja	19
3.3. Metode terenskih istraživanja.....	20
3.3.1. Uzorkovanje i pohrana bioloških uzoraka	20
3.3.2. Uređaji i metodologija mjerenja fizikalno-kemijskih parametara vode	21
3.4. Metode laboratorijskih istraživanja	21
3.5. Analiza podataka	21
3.5.1. Analiza fizikalno-kemijskih parametara vode.....	21
3.5.2. Analiza zajednica vodenih beskralješnjaka	22
4. REZULTATI.....	23
4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode.....	23
4.1.1. Temperatura.....	23
4.1.2. Salinitet.....	24
4.2. Sastav zajednica i zastupljenost vodenih beskralješnjaka	24
4.3. Raznolikost zajednica vodenih beskralješnjaka	26
4.4. Sličnost zajednica vodenih beskralješnjaka	27
4.5. Vruće točke biološke raznolikosti	27
4.6. Područja od posebnog interesa za zaštitu	29

5. RASPRAVA	30
6. ZAKLJUČAK	32
7. LITERATURA	33

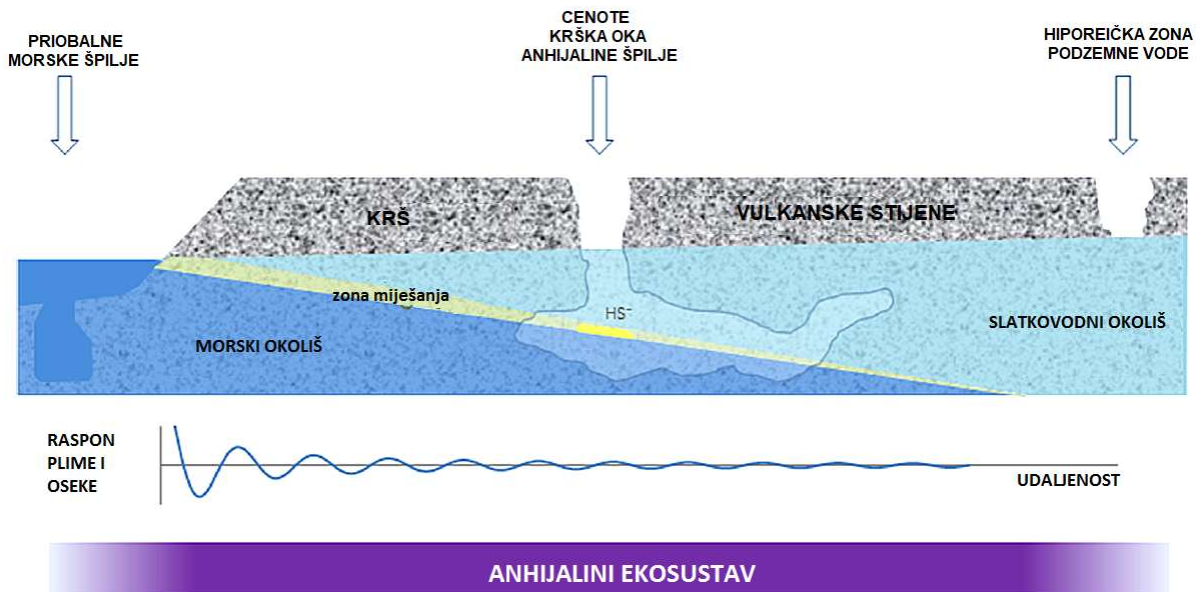
ŽIVOTOPIS

1. UVOD

1.1. Konceptijski modeli anhidralnih podzemnih ekosustava

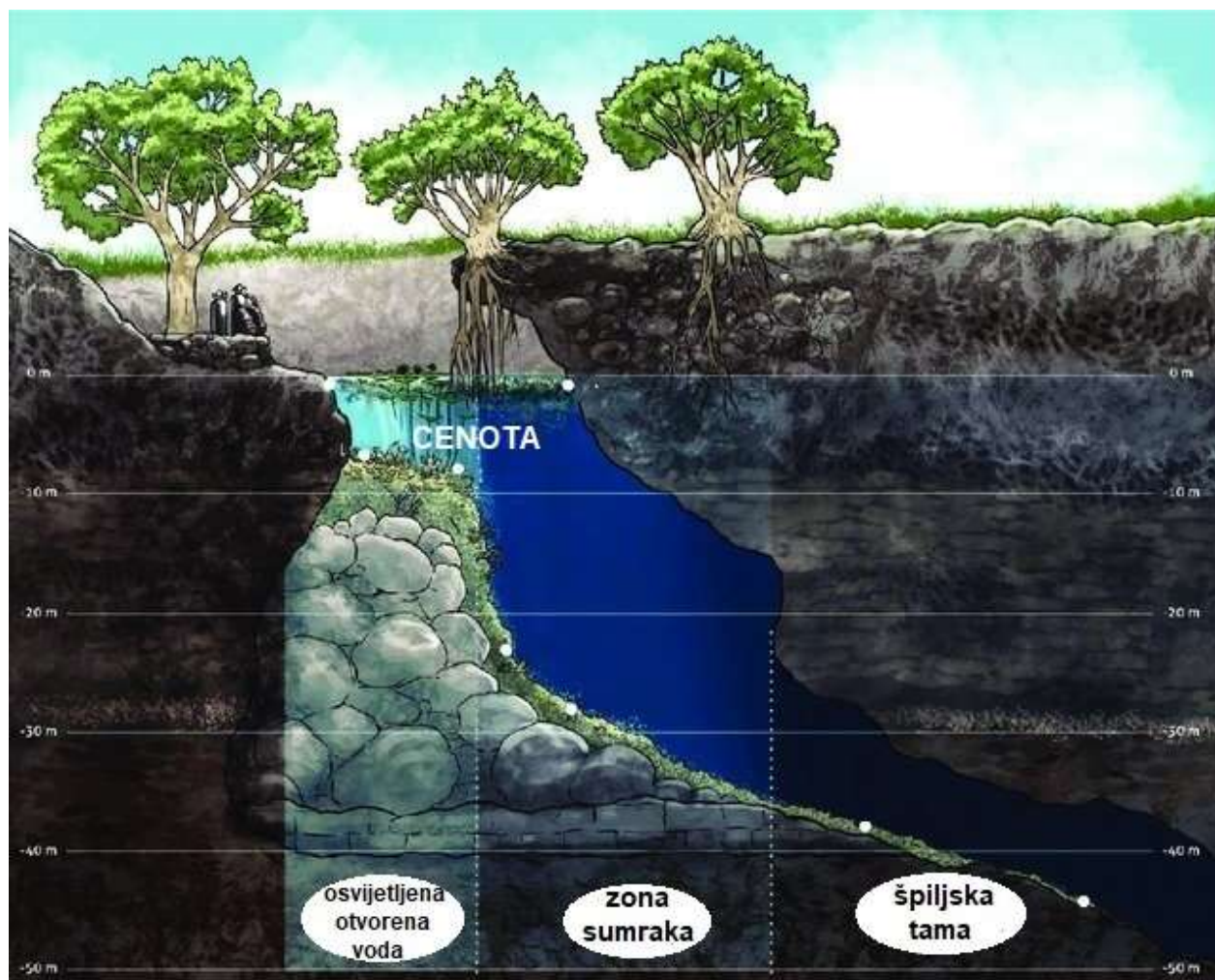
Naziv „anidralno“ je grčkog podrijetla i etimološki je povezana s riječi „ankhialos“ što znači blizu ili nedaleko mora. Službena definicija anidralnih speleoloških objekata kao zasebnih ekosustava potječe iz 1984. godine, kada su na Bermudima tijekom Međunarodnog simpozija o biologiji morskih špilja prihvatili taj naziv (Cukrov i sur. 2011). Međutim, za speleološke objekte uz obalu mora dugo vremena se koristio i naziv “Randhöelen“ koji označava rubne anidralne špilje i čiji naziv je prvi puta upotrijebio Riedl, istražujući anidralne speleološke objekte duž Mediterana (Riedl 1966).

Nastanak anidralnih špilja (AŠ) povezana je s događajima u geološkoj prošlosti, a razumijevanje funkcionalnih zakonitosti i strukture zajednica povezana je s biološkim, ekološkim, fiziološkim i geokemijskim procesima (Surić 2010, Pochlman i sur. 2011, Wicks i Humphrey 2011). Hijerarhijski gledano AŠ pripadaju podzemnim ekološkim sustavima u kojima su podzemne šupljine najčešće u kršu ili vulkanskim stijinama ispunjene vodom različite koncentracije saliniteta zbog različite blizine mora i intenziteta utjecaja plime i oseke tj. do granice prodiranja morske vode (Stock i sur. 1986, Gottstein 2010, Culver i Pipan 2019). Na temelju brojnih istraživanja anidralnih špilja Meksika i ogromnih potopljenih krških šupljina kojima teku podzemne rijeke Bishop i sur. (2015) su opisali novi konceptijski model anidralnih podzemnih sustava koje su nazvali krški podzemni estuariji, koji se mogu protezati stotinu kilometara u kontinent i u kojima teku podzemne rijeke s haloklinom (gradijentom saliniteta) (Slika 1).



Slika 1. Konceptijski model koji prikazuje krški podzemni estuarij s osnovnim tipovima podzemnih šupljina povezanih s morskim okolišem (prilagođeno iz Bishop i sur. 2015).

Najpoznatiji i najveličanstveniji krški podzemni estuariji nalaze se na poluotoku Yucatan u Meksiku (Culver i Pipan 2019), gdje se podzemne šupljine prostiru preko 130 km od obale Karipskog mora. Na površini su vidljive urušene vrtače poznate pod lokalnim nazivom cenote (od riječi *ts'onot* podrijetlom od starih Maya, što znači provalija), koje su brojne diljem cijelog poluotoka Yucatan, a omogućavaju pristup mrežama špilja (potopljenih kanala) koje se kriju ispod tropske kišne šume. Većina do sada istraženih špilja potpuno je ispunjena vodom, pa se istraživanje ovih sustava stoga provodi speleoronjenjem. Geomorfologija i speleogeneza ovih potopljenih špilja ukazuje na njihov prostorni raspored i nastanak koji je u ovisnosti o razini mora i dubine zone miješanja slatke i morske vode, gdje fenomen korozije uslijed miješanja stvara vode nedovoljno zasićene u odnosu na kalcijev karbonat *in situ*. Cenote povezuju gustu mrežu freatskih špilja, a nastaju uglavnom mehaničkim urušavanjem svodova špilja tijekom niskih razina mora kada se gubi plutajući oslonac. Velika većina cenota duž Karipske obale nema izložene i s površine pristupačne bazene vode, jer ostaju nevidljivi iz zraka ispod zatvorenih šumskih krošnj (Angyal i sur. 2022)(Slika 2).



Slika 2. Poprečni presjek kroz cenotu s osnovnim zonama (prilagođeno prema Angyal i sur. 2022).

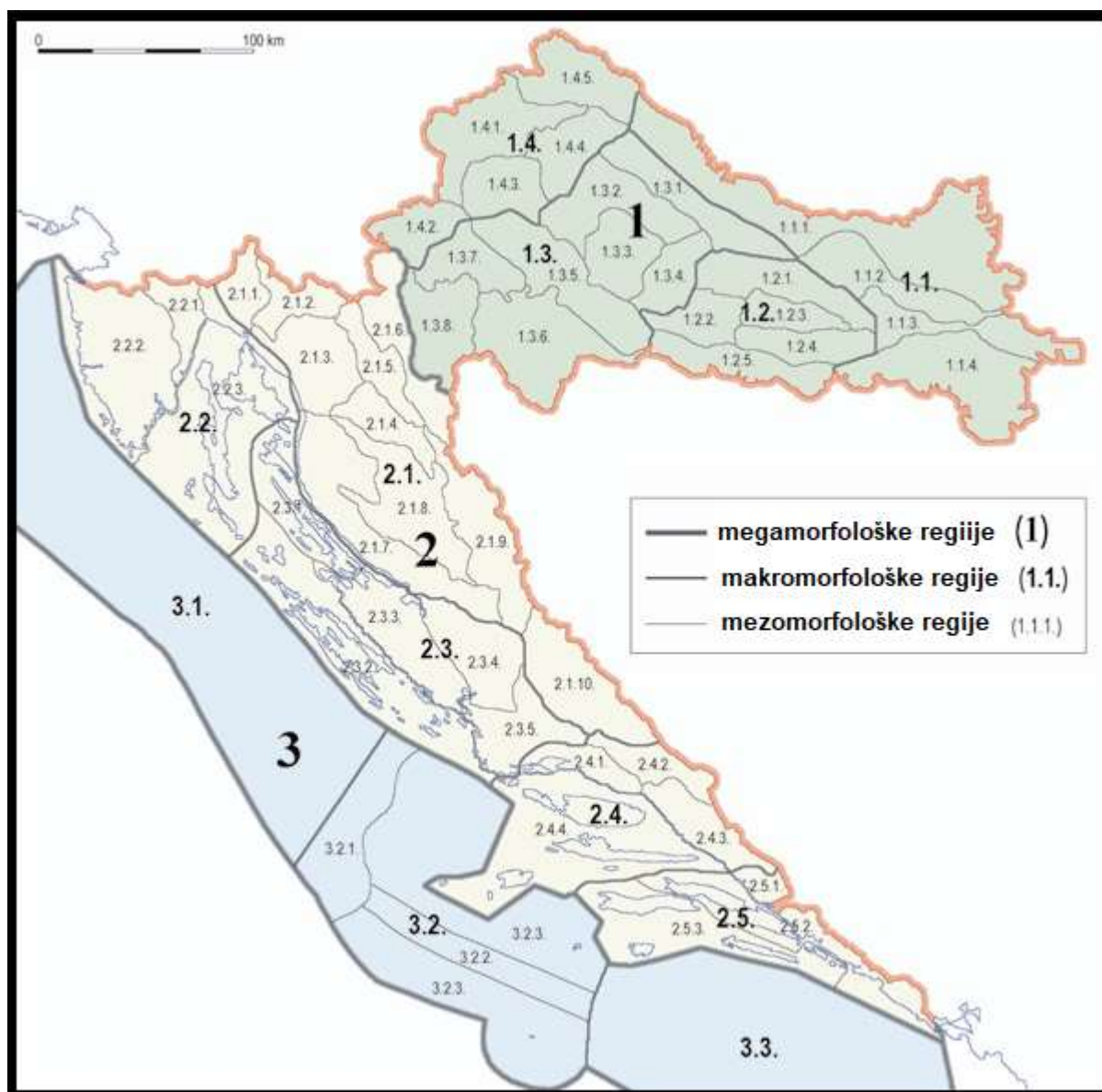
Podzemne šupljine u AŠ mogu sadržavati homogenizirani stupac bočate vode ili su s gradijentom saliniteta te nemaju direktnu vezu s površinom okolnog mora ili oceana već putem poroznog krša slana voda ulazi poput klina ispod slatke (limničke) vode manje gustoće (Culver i Pipan 2019). Anhijaline ekosustave obilježava spora izmjena vode, nedostatak svjetla i niska koncentracija kisika, povremena pojavnost sumpornih spojeva te posljedično kemosintetskih organizama (Gottstein 2010, Gottstein i sur. 2007, Calderón-Gutiérrez i sur. 2017).

1.2. Makrogeomorfološka regionalizacija Jadranskog mora i priobalja

Regionalizacija po svom sadržaju može biti opća i posebna. Opća geomorfološka regionalizacija provodi se istraživanjem svih geomorfoloških objekata analiziranog područja procesom inventarizacije svih temeljnih obilježja (morfografskih, morfometrijskih, morfogenetskih i evolucijskih). Posebna regionalizacija se provodi bilježenjem samo nekih ciljanih oblika reljefa kao što su krški oblici, jaruge, vrtače, špilje, jame i sl. ili pojedinačnih geomorfoloških pokazatelja (morfografskih, morfogenetskih i sl.). Iz toga proizlazi da ovim postupkom možemo izdvojiti mnogo geomorfoloških regija različitih obilježja. Grupiranje i hijerarhija tih regija te njihove granice ovisit će o postavljenim ciljevima istraživanja (Bognar 2001).

Geomorfološka regionalizacija reljefa Hrvatske temelji se na morfostrukturnim, morfogenetskim, orografskim i litološkim kriterijima, kojima se mogu dodati i dopunski čimbenici kao što su hidrografska mreža i prostorna povezanost. Kriteriji su jedinstveni na razini kontinenta i država. Iako su pristupi različiti, najčešće se izdvaja osam hijerarhijskih taksonomskih jedinica: morfofacijes, morfofacijesne grupe, mikrogeomorfološke, subgeomorfološke, mezogeomorfološke, makrogeomorfološke i megageomorfološke regije te morfogenetski sustavi (Pecsi i Somogyi 1967). Makrogeomorfološke regije su velike reljefne cjeline kojima je geomorfološki razvoj jedinstven kroz dulje vremensko razdoblje. U Hrvatskoj se može izdvojiti dvanaest makrogeomorfoloških regija: Istočnohrvatska ravnica, Slavonsko gromadno gorje, zavala SZ Hrvatske, gorsko–zavalsko područje SZ Hrvatske, gorska Hrvatska, Istra s Kvarnerskim arhipelagom, SZ Dalmacija s arhipelagom, centralna Dalmacija s arhipelagom, južna Dalmacija s arhipelagom, SZ dio Jadranskog šelfa, Srednjejadranski prag i Južnojadranska zavala. Prve četiri regije čine Panonski bazen, idućih pet regije Dinarskog gorskog sustava, a tri regije Jadranskog bazena. Hrvatsku obalu obilježava izrazito naglašena razvedenost i velika brojnost otoka. Evolucijski gledano, razvoj obale i otoka u geomorfološkom smislu teče kroz zajedničku povijest, a obala i otoci slijede dinarski smjer pružanja (SZ-JI). Jadranski bazen nalazi se između gorskih sustava Dinarida, Apenina, Alpa i Helenida te je geotektonski vezan uz područje Jadranske platforme koja se pruža od Istre do Otrantske zavale. Tri podmorska makrogeomorfološka tipa tj. regije su Sjevernojadranski šelf, Srednjejadranski prag i Južnojadranska zavala (Bognar 2001, Bognar i sur. 2012).

U okviru ovog istraživanja u analizu je uključena makrogeomorfološka regionalizacija Hrvatske preuzeta od Bognara i sur. (2012) (Slika 3).



Slika 3. Geomorfološka regionalizacija Hrvatske (prema Bognaru 2001, preuzeto iz Bognar i sur. 2012).

1.3. Ekologija anhidralnih špilja uz obalu Jadranskog mora

Anhidralne špilje uz istočnu obalu Jadranskog mora najmanje su istraženi podzemni ekosustavi našeg krša (Ozimec 2006) iako su istraživane još od prve polovice 20. stoljeća zahvaljujući istraživanjima geologa Josipa Poljaka 1920. godine. Na temelju dosadašnjih istraživanja i pretpostavki smatra se da ih ima preko stotinu duž obale i po otocima Jadranskog mora (Surić i sur. 2010).

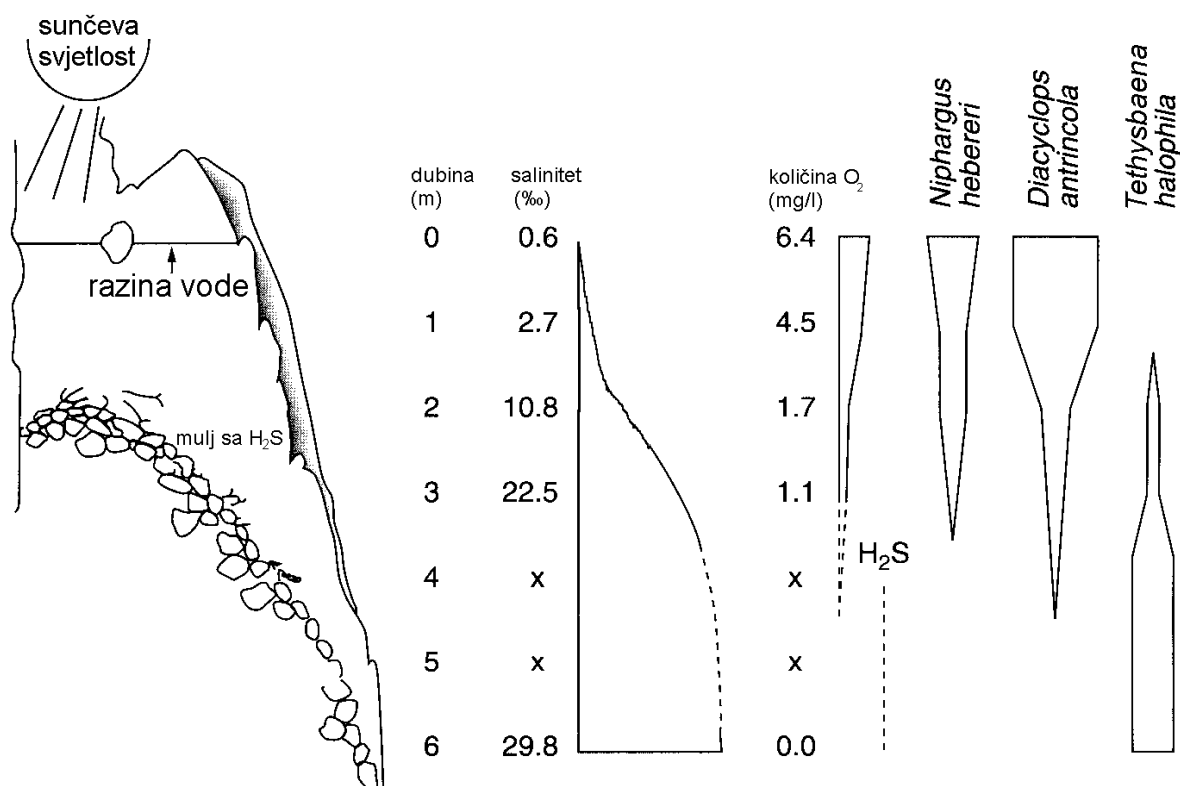
Od bioloških istraživanja svakako treba spomenuti istraživanja anhidralnih bunara, jama i špilja okolice Dubrovnika, a osobito špilju Šipun u Cavtatu zahvaljujući Stanku Karamanu tijekom 50-tih godina 20. stoljeća (Karaman 1953). Biološka i ekološka istraživanja potom provode Riedl i Ozretić (Riedl 1966, Riedl i Ozretić 1969), Gordan Karaman (1984, 1985, 1989) i Sket (1977, 1981, 1986a, 1986b, 1988, 1994, 1996) te s početkom 21. stoljeća Cukrov sa suradnicima (Žic i sur. 2008, Cuculić i sur. 2011, Cukrov i sur. 2017, Chen i sur. 2020), Gottstein (Gottstein 2010, Gottstein i sur. 2007, 2012), Jalžić i Kršinić (1998, 2012, 2015, 2017), Kršinić i sur. (2020), Kršinić i Boxshall (2021), ali i brojni drugi istraživači zahvaljujući kojima smo proširili i ekološka saznanja o ovim specifičnim speleološkim objektima, ali i saznali o, za znanost, novoj fauni u ovim špiljama.

Ovi horizontalni ili vertikalni speleološki objekti smješteni su neposredno uz obalu Jadranskog mora uz kopno i na otocima, ali i preko dva kilometra od obale mora, ovisno o intenzitetu prodora mora (Gottstein 2010). Unutar ovih speleoloških objekata nalazi se podzemno jezero koje može biti direktno ili indirektno (putem poroznog krša) spojeno s okolnim morem (Ozimec 2006, Gottstein 2010). Podzemna anhidralna jezera mogu imati potpuno izmiješan (bočati) stupac vode, što znači da je sloj površinske slatke (limničke) vode izmiješan sa stupcem morske vode na dnu. Međutim u većim podzemnim anhidralnim jezerima imaju tri odvojena sloja: sloj slatke vode na površini, sloj bočate vode, nastale miješanjem slatke i slane vode, te najdublji sloj slane vode, odnosno mora (Ozimec 2006, Gottstein 2010). U svakom od ovih slojeva živi specifična struktura zajednica prilagođena na ekološke uvjete pojedinog sloja (Slika 4). Najzanimljivijom se pokazala fauna najdubljeg morskog sloja koji naseljava ili dubokomorska fauna ili visokoprilagođena fauna upravo na uvjete visokog saliniteta, stalne tame, niže temperature i na uvjete bez strujanja vode (Ozimec 2006).

Anhidralne jame uz obalu Jadranskog mora često su tijekom geološke prošlosti mijenjale svoj status iz kopnenih jama u anhidralne jame te u morske i obrnuto (Sket 1986a). Anhidralne špilje

obilježavaju ekstremni uvjeti i danas, ali i, zbog niza promjena u geološkoj prošlosti, velika brojnost endema (Calderón-Gutiérrez i sur. 2018). Na to direktan utjecaj imaju abiotički i biotički čimbenici. Od abiotičkih čimbenika najveći utjecaj imaju salinitet, temperatura, količina otopljenog kisika u vodi, stratifikacija vode i izmjena plime i oseke. Stratifikacija vode se pojavljuje zbog više razloga. Osim zbog razlike u salinitetu vode od površine prema dubljim dijelovima speleoloških objekata, događa se i zbog razlike u gustoći vode, temperaturi i količini otopljenog kisika u vodi. U pravilu je temperatura najniža blizu površine i povećava se prema dnu, no hoće li temperatura biti u gornjim slojevima toplija ili hladnija ovisi o položaju staništa (ima li ili nema utjecaja Sunca), dubini, geografskoj širini i godišnjem dobu. Količina kisika ovisi o temperaturi, salinitetu i o količini organske tvari u vodi. U mnogim se jamama pojavljuje pri dnu H₂S (sumporovodik), kao posljedica razgradnje velike količine organske tvari u uvjetima snižene količine otopljenog kisika u vodi uslijed povećanog saliniteta vode, pa može doći i do potpune odsutnosti kisika ili anoksije. U najdubljim dijelovima se ponovno može pojaviti kisik, zbog direktnog kontakta jame s morem i bolje cirkulacije vode (Sket 1981, 1986b, 1996, Iliffe 1992, 2000, Gottstein Matočec i sur. 2002).

Hranidbene mreže anhijalinih špilja općenito su siromašne nutrijentima i ovise o opskrbi hranjivom organskom tvari s površine (Gottstein Matočec i sur. 2002). Novija istraživanja ističu važnost kemosintetske aktivnosti bakterijskih zajednica u takvim sustavima (Perez-Moreno i sur. 2016). Znanstvena istraživanja posljednjih godina pokazuju izrazitu ugroženost anhijalinih ekosustava zbog sve intenzivnijeg utjecaja klimatskih promjena i raznih oblika onečišćenja (Marrack i sur. 2021).



Slika 4. Shema tipične morfologije anhijaline špilje istočne obale Jadrana s prikazom stratifikacije saliniteta, rasporeda količine otopljenog kisika u vodi, pojave sumporovodika u vodi i tipičnim sastavom rakova i njihovom abundancijom i rasprostranjenosti (Sket 1996, doradila Gottstein Matočec i sur. 2002).

1.4. Sastav zajednica vodene faune anhijalinih špilja

Od osamdesetih godina 20. stoljeća do danas AŠ i podzemni estuariji su ključni rezervoari za opise novih vrsta za znanost ne samo među skupinom Metazoa već i među mikroorganizmima (Gonzales i sur. 2011, Gottstein i sur. 2007, 2012, Kršinić 1998, 2012, 2015, 2017, Calderón-Gutiérrez i sur. 2017, Kajan i sur. 2022). Najbrojnija i najraznolikija skupina beskralježnjaka su brojne skupine rakova, no u AŠ možemo naći i predstavnike ostalih Invertebrata te ribe (Illife, 1992). Stigofauna AŠ može se sastojati od brojnih skupina kao što su Ciliophora, Polychaeta,

Oligochaeta, Remipedia, Ostracoda, Copepoda, Amphipoda, Phyllocarida, Mistacea, Mysidacea, Thermosbaenacea, Isopoda, Chaetognatha, Decapoda te ribe (Botosaneanu 1986).

Na području Jadrana AŠ su brojne. Faunistička istraživanja započeta su sredinom 20. st. zahvaljujući istraživanjima AŠ Istre (Riedl 1966, Riedl i Ozretić 1969), a intenzivirala su se u drugoj polovici 20. i početkom 21. st. zahvaljujući sustavnim faunističkim i ekološkim istraživanjima od Istre, preko otoka Primorja i Dalmacije sve do krajnjeg jugoistočnog dijela obale Hrvatske (špilja Šipun, Cavtat) (Sket 1986, Gottstein i sur. 2007, 2012, Cukrov i sur. 2017, Cukrov 2020). U hrvatskim anhijalnim špiljama najintenzivnije su istraživane zajednice rakova (Sket 1986a, b, Gottstein i sur. 2007, 2012) te su unutar skupine Copepoda opisane brojne nove vrste za znanost (Kršinić 1998, 2012, 2015, 2017, Kršinić i Boxshall 2021), ali i nalazi invazivnih vrsta beskralješnjaka (Cukrov 2020). Zanimljivo je spomenuti i nalaze dubokomorskih organizama na dnu anhijalnih speleoloških objekata, kao što su dubokomorske spužve *Asbestopluma hypogea* i *Oopsacas minuta* (Bakran-Petricioli i sur. 2007, Novosel i sur. 2007).

1.5. Ciljevi istraživanja

U više od 40 godina intenzivnih istraživanja anhijalnih špilja jugoistočne obale Jadranskog mora razumijevanje vodenih zajednica i njihove ekologije još uvijek ima brojne podatkovne praznine.

Cilj je ovog rada stoga istražiti uvjete koji vladaju u anhijalnim špiljama Jadrana, bogatstvo, strukturu i zastupljenost pojedinih predstavnika vodenih beskralješnjaka te pokazatelje raznolikosti faune u makrogeomorfološkim regijama obale Jadranskog mora Hrvatske prema Bognaru (2001). Usprkos dugogodišnjim istraživanjima za anhijaline špilje Jadrana još uvijek nedostaje cjeloviti uvid u sastav zajednica te posebno prisutnost visoko prilagođenih i rijetkih predstavnika podzemne vodene faune te invazivnih vrsta. U anhijalnim špiljama otoka i istočne obale Jadranskog mora provedena su višegodišnja istraživanja faune i analize fizikalno-kemijskih parametara vode u okviru nekoliko projekata, a izolacijom i analizom prikupljenih uzoraka, u okviru ovog rada definirani su sljedeći ciljevi:

1. prikazati ukupnu raznolikost i bogatstvo svojti u anhijalnim špiljama Hrvatske;

2. usporediti bogatstvo svojti između makrogeomorfoloških regija obale Jadranskog mora Hrvatske;
3. utvrditi vruće točke biološke raznolikosti anhidralnih špilja duž obale istočnog Jadrana;
4. definirati zone i područja od posebnog interesa za zaštitu s obzirom na prisutnost rijetkih i ugroženih svojti.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

2.1. Regionalizacija istočne obale Jadranskog mora i priobalja

U geomorfološkoj regionalizaciji prostora postoje mikrofacijesi, morfofacijesne grupe, geomorfološke mikroregije, geomorfološke subregije, mezogeomorfološke regije, makrogeomorfološke regije, megageomorfološke regije te morfogenetski geomorfološki pojasi. Makrogeomorfološke regije istraživanog područja obuhvaćaju 2.2. Istarski poluotok s Kvarnerskim primorjem i arhipelagom, 2.3. SZ Dalmaciju s arhipelagom, 2.4. Središnju Dalmaciju s arhipelagom i 2.5. Južnu Dalmaciju s arhipelagom (Bognar 2001). Geomorfološka mikroregija promatranog područja je npr. otok Žirje unutar subregije Šibenske otočne skupine koja pripada mezoregiji otočja SZ Dalmacije. Megageomorfološke regije sastoje se od većih cjelina na globalnom nivou. Dinaridi i Panonski bazen dio su Alpsko-Himalajskog gorskog pojasa, a Jadranski bazen je složena potolina nastala tektonikom Jadranske mikroploče na kontaktu s velikom Euroazijskom pločom. Jadranska mikroploča oblikovana je orogenim pokretima kojima su nastali gorski sustavi Dinarida, Apenina, Alpa i Helenida (Bognar 2001). Događaj je započeo u kasnoj kredi, a kulminaciju doživljava u oligocenu i miocenu kada su Dinaridi finalno uzdižu. Posljedica toga je i nastanak Jadranskog bazena. Dinaridi se dijele na vanjske i unutarnje. U kontekstu egzogenih procesa Hrvatska pripada umjerenom fluvio-erozijskoj zoni, s dominantnim krškim i fluvio-erozijskim procesima na jugu teritorija (Bognar i sur. 2012). Ostaci dna Jadranskog mora sastoje se od Jadranskog šelfa, Centralne jadranske platforme i Južnog jadranskog bazena (Bognar i sur. 2012). Unutrašnje Dinaride smještene između Panonskog bazena i vanjskih Dinarida karakteriziraju ofioliti, a vanjske Dinaride karakteriziraju stijene koje su ostaci Gondwane i Jadranske karbonatne platforme tj. siliciklastični karbonati te fliš (Bognar i sur. 2012).

2.2. Klimatska obilježja istraživanog područja

Na klimu Hrvatske utječu brojni čimbenici. Jedan od njih je smještaj u umjerenim geografskim širinama. Zbog položaja u blizini Atlantskog oceana zamjetan je utjecaj zapadnih vjetrova. Hrvatska se nalazi između dvije velike kopnene cjeline, Euroazije i Afrike. Osim kopnenih masa, važne su i vodene mase, i to sjeverni Atlantik i Sredozemno more. Važnu modifikatorsku ulogu i utjecaj na klimu istraživanog područja ima upravo Sredozemno more. U hladnom dijelu godine na tom području prisutna je izrazita ciklogenetska aktivnost. Čimbenik koji

je izrazito važan je i reljef. Velik dio teritorija prelazi visinu od 500 m, a i 1000 m. Suprotan čimbenik reljefu su konkavni oblici, kakav je Panonska zavala. Što se tiče Dinarida koji se pružaju neposredno uz obalu Jadranskog mora, njihov je utjecaj ograničen isključivo na uski obalni pojas. Utjecaj Jadranskog mora osjeća se više u rasporedu padalina, nego u režimu temperature. Što se tiče temperature, vrlo važna činjenica je globalna radijacija. Ona se dijeli na onu koja kroz atmosferu prolazi direktno i onu koja se raspršuje na česticama pa se zove difuzna. Direktna radijacija važan je čimbenik insolacije tj. osunčanosti područja. Tamo gdje je naoblaka manja, direktna radijacija je znatnija pa je i insolacija veća. To je izrazito bitno za promatrano područje, a posebno otoke koji obaraju rekorde u broju sunčanih sati. Iako reljef ima velik utjecaj na temperaturu, analiza termike mora fokusirana je na analizu izoterma. Što se tiče padalina, treba spomenuti orografske padaline koje su vezane uz reljef, a najveća reljefna prepreka su Dinaridi koji predstavljaju barijeru zračnim masama koje dolaze sa zapada (Šegota i Filipčić, 1996). Topli, vlažni zrak dolazi nad kontinent s Jadranskog mora tj. sa Sredozemlja, stoga su zime u Primorskoj Hrvatskoj tople i vlažne. Suh i hladan zrak dolazi iz ostatka Europe. Taj hladni zrak se noću još više ohladi, posebno u konkavnim oblicima (Šegota i Filipčić 2003). Klima samog područja pripada umjereno toploj kišnoj klimi, i to ponajprije klimi masline te umjereno toploj vlažnoj klimi, i to onoj s vrućim ljetom (Šegota i Filipčić, 1996). Sredozemni dio Hrvatske ima sredozemnu klimu s vrućim ljetom. Topliji uži primorski pojas i kvarnerski otoci imaju umjereno toplu vlažnu klimu s vrućim ljetom (Šegota i Filipčić 2003).

2.3. Geološka obilježja istraživanog područja

Dinarski krš pokriva gotovo 50% teritorija Hrvatske, uključujući obalu i otoke, osim Brusnika i Jabuke. Krš i fluviokrš zajedno zauzimaju 43,7% teritorija Hrvatske (Bognar i sur. 2012). Prostor istočne obale Jadrana oblikovao se u mezozoiku i paleogenu. Tijekom Alpske orogeneze nastao je Dinarski smjer pružanja obale i otoka, sjeverozapad-jugoistok. Taj prostor bio je pod utjecajem egzogenih procesa. Tijekom kvartara prostor je bio oblikovan promjenama morske razine, i to prvenstveno obalni prostor. Konačni oblik litoralna regija je dobila u kasnom pleistocenu do holocenu. Tim procesima nastao je Dalmatinski tip obale (Surić i sur., 2010).

Na temelju litoloških razlika, glavnih geomorfoloških značajki i hidroloških karakteristika hrvatski krš može se podijeliti u tri paralelne zone: niski obalni i otočni jadranski krš, planinski krš zaleđa i niski kopneni krš (Herak i sur. 1969).

Količinu i raspored podzemnih voda u Hrvatskoj određuju prije svega geološke, a posebno litološke karakteristike, kao i klima. Po svojim hidrogeološkim značajkama Hrvatska je jasno podijeljena na dvije potpuno različite hidrogeološke regije: kopnenu, izgrađenu od pretežno klastičnih sedimentnih stijena, koja se obično naziva panonska (ili panonska i peripanonska) i drugu, pretežno kršku, koja se obično naziva dinarska regija unutar koje su provedena istraživanja u okviru ovog diplomskog rada. Granica između tih regija prolazi uskim središnjim dijelom Hrvatske, dijeleći je na dva gotovo jednaka područja. Spomenute regije gotovo odgovaraju dvama glavnim slivnim područjima u Hrvatskoj, slivnom području Dunava (Crno more) i slivnom području Jadranskog mora. U istraživanom priobalnom dijelu Hrvatske su prevladavajuće stijene vapnenci i dolomiti koje pripadaju sedimentnim stijenama. Mogu biti nisko i visoko propusne. Na istraživanim lokalitetima to su propusne karbonatne stijene (Orešić i Čanjevac 2020).

Za postanak špilja, pa tako i anhidralnih speleoloških objekata važan je pukotinski sustav SI-JZ i S-J duž kojih je erozijom i korozijom vapnenačkih naslaga došlo do današnjeg izgleda anhidralnih speleoloških objekata duž istočne obale Jadranskog mora (Jalžić 2007).

2.4. Hidrološka obilježja istraživanog područja

Rijeke Jadranskog sliva ulijevaju se u Jadransko more. Obilježava ih pojavnost ponornica. Speleohidrogeološki kriteriji govore o postojanju speleoloških objekata s hidrogeološkom funkcijom, i to u kršu. Hidrogeološku funkciju imaju izvori, ponori, estavele i vrulje. Neki od njih, konkretno izvori i ponori, vezani su uz špilje i jame, a npr. vrulje, izvori pod morem, pojavljuju se na samom morskom dnu (Garašić 1991). Količina i prostorna distribucija vode u krškom području vezana je uz klimu, ali i uz litološke karakteristike krškog segmenta naše zemlje. S obzirom na litološke karakteristike teritorij se može podijeliti na dva podjednaka dijela, Panonsku i Dinarsku regiju. Dinarski krš pojam je u svijetu. Osim karbonatnih stijena na krškom području ima i fliša. Karbonatne stijene dobro propuštaju vodu, dok su flišne stijene slabo vodopropusne. Veći otoci imaju flišnu zonu koja zadržava vodu. Vransko jezero na Cresu je najveća kriptodepresija u Hrvatskoj, najdublje jezero i najveći prirodni rezervoar pitke vode na našim otocima. Važno je

spomenuti potopljena riječna ušća koja u uvjetima plime i oseke uvjetuju značajne oscilacije saliniteta. U kvartaru je gornji tok Zrmanje bio desna pritoka Krke, a kasnije je Zrmanja probila vlastito korito. Oba estuarija čine proširenja, Prokljansko jezero na rijeci Krki i Novigradsko more na Zrmanji (Orešić i Čanjevac 2020).

Anhijaline špilje i jame su speleološki objekti koji hidrološki gledano imaju troslojni karakter: slatku (limničku) vodu na površini koja je u većini slučajeva oborinska voda koja se kao leća slatke vode nakuplja iznad gušće morske vode. U zoni miješanja unutar dubljih speleoloških objekata prisutna je haloklina. Anhijaline špilje i jame mogu imati direktnu ili indirektnu povezanost s okolnim morem ili estuarijem rijeke (Gottstein Matočec i sur. 2002, Gottstein 2010). Kako bi se dokazala povezanost podzemnog estuarija s anhijalinom špiljom prate se morske mijene, plima i oseka, što je dobro vidljivo na primjeru anhijalinih špilja u estuariju rijeke Krke (Cukrov i sur. 2017).

S hidrološkog aspekta značajno je spomenuti kako je nakon posljednjeg glacijalnog maksimuma promjena razine mora bila od oko 130 m (Surić 2009), što je pretvorilo mnoge anhijalne špilje tog vremena u morske (Iliffe 2012) dok su neke slatkovodne špilje postale anhijaline. Dokaz za iznimno velike oscilacije razine mora bilježimo u nekim najdubljim anhijalnim speleološkim objektima duž istočne obale Jadranskog mora, poput Jame u Podstražišću na otoku Braču u kojoj je vidljivo u potopljenom dijelu objekta kako je more bilo niže više od 60 m (Surić i sur. 2011).

2.5. Popis istraživanih lokaliteta

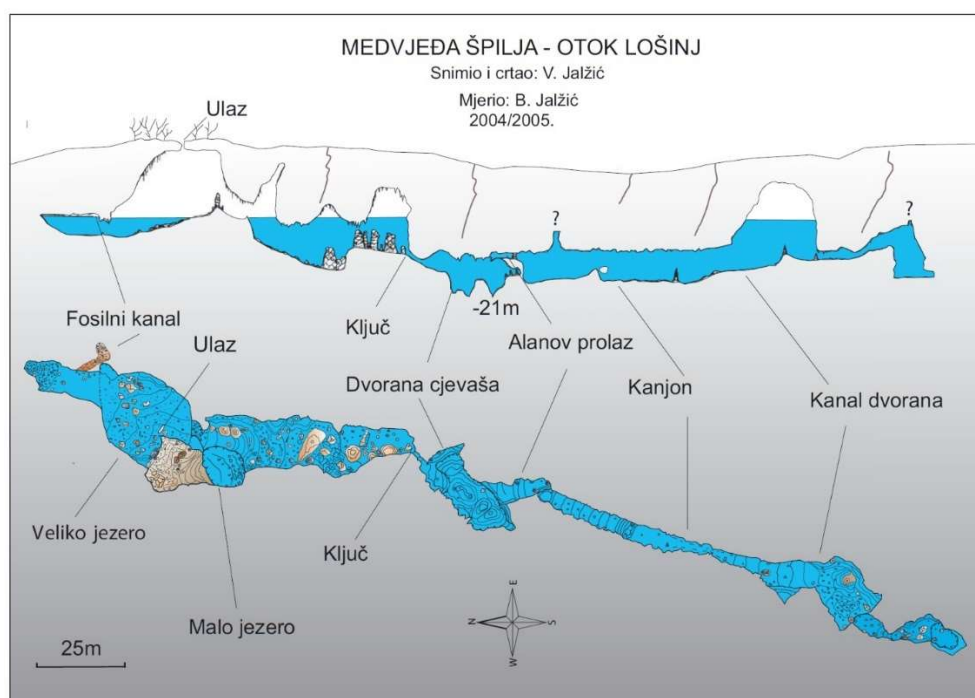
Podzemni objekti su istraživani primjenom standardnih speleoloških tehnika. Položaji objekata određeni su pomoću GPS uređaja Garmin GPSMAP 64. Za dodatnu kontrolu položaja uzeti su azimuti na poznate kote upotrebom optičkog kompasa Shunto. Kao podloga za lociranje položaja speleoloških objekata, korištene su topografske karte 1:25 000.

Tijekom provedenih terenskih istraživanja anhijalinih speleoloških objekata duž istočne obale Jadranskog mora ukupno je u okviru ovog istraživanja biospeleološki istraženo trideset i devet (39) lokaliteta. Šest lokaliteta je istraženo u makrogeomorfološkoj regiji 2.2. Istarski poluotok s Kvarnerskim primorjem i arhipelagom, dvadest lokaliteta je istraženo u makrogeomorfološkoj regiji 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom, četiri lokaliteta je istraženo u

makrogeomorfološkoj regiji 2.4. Središnja Dalmacija s arhipelagom i devet lokaliteta je istraženo u makrogeomorfološkoj regiji 2.5. Južna Dalmacija s arhipelagom. Istraživanjem je obuhvaćeno devetnaest otoka duž istočne obale Jadranskog mora. Najveći broj otoka obuhvaćen je na Kornatskom arhipelagu, ukupno sedam, gdje je istraženo i najveći broj speleoloških objekata. Najveći broj objekata istražen je na otoku Kornat i na otoku Mljetu, ukupno četiri na svakom od njih (Tablica 1).

Najduža istražena špilja je Medvjeda špilja duga 245 m na otoku Lošinju (Jalžić 2007) (Slika 5) u kojoj je veći dio kanala potopljen morem i dostupan speleoroniocima koji su je istraživali u nekoliko ekspedicija (Slika 6 i 7). Najdublja je Jama u Podstražišću s 45 m dubokim suhim dijelom i preko 50 m vodenog stupca. Rijetki istraživani anhidralni speleološki objekti imaju otvoreni kontakt s morem. Jedan takav je Medova buža na otoku Rabu (Radić i sur. 2017).

Istraživani lokaliteti obuhvaćaju horizontalne podzemne objekte ili špilje i vertikalne podzemne objekte ili jame. Među objektima vertikalnog tipa istražene su i četiri bunar jame. Ukupno je istraženo osam špilja i 31 jama (Tablica 1).



Slika 5. Nacrt Medvjede špilje na otoku Lošinju – najduže istražene anhidralne špilje, ukupne dužine 245 m (Jalžić 2007).



Slika 6. Ulazna vertikala Medvjede špilje na otoku Lošinju (foto. D. Saganić, preuzeto sa: <https://speleo-klub-samobor.hr/cres-i-losinj2021/>)



Slika 7. Potopljeni dio Medvjede špilje na otoku Lošinju (foto. A. Kovačević).

Tablica 1. Lista istraženih anhidralnih špilja i jama istočne obale Jadranskog mora s pridruženim makrogeomorfološkim regijama Hrvatske prema Bognaru (2001).

	Istraživane špilje i jame	Grad / Otok	Makrogeomorfološke regije
1	Jama na Punta Korente	Rovinj	2.2. Istarski poluotok s Kvarnerskim primorjem i arhipelagom
2	Jama pod vodu pod Dragami	Krk	
3	Jama Vrtare male	Crikvenica	
4	Medvjeda špilja	Lošinj	
5	Špilja na Punta Ert	Kraljevica	
6	Urinjska špilja	Rijeka	
7	Bunar jama na otoku Bisaga	Kornati, Bisaga	2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom
	Bunar jama na otoku Kameni	Kornati, Kameni	
8	Žakan	Žakan	
9	Bunar jama na otoku Škulj	Kornati, Škulj	
10	Bunar jama Šipnate	Kornat	
11	Jama Buža Kukurina	Pag	
12	Jama Gradina	Žirje	
13	Jama Gravrnjača	Kornati, Kurba Vela	
14	Jama ispod Vruljskog brda	Kornat	
	Jama iznad uvale Velika		
15	Ropotnica	Kornat	
16	Jama iznad Vrulja	Kornat	
17	Jama na Gajcu	Pag	
18	Jama pod Orljakom	Šibenik	
19	Jama u uvali Mag	Rab	
20	Špilja Katina Buža	Pag	
21	Mandalina špilja	Šibenik	
22	Špilja Medova Buža	Rab	
23	Jama Nozdarica	Murter	
24	Jama Podvodnje	Žirje	
25	Jama U vode	Kornati, Smokvica	
26	Vodena jama	Kornati, Gustac	
27	Špilja Živa voda	Hvar	2.4. Središnja Dalmacija s arhipelagom
28	Jama Bijaka	Brač	
29	Jama Podstražišće	Brač	
30	Jama Supurina	Vis	
31	Jama kod Dubokog doca	Pelješac	2.5. Južna Dalmacija s arhipelagom
32	Jama Stračinčica	Korčula	
33	Jama Zaglave	Korčula	
34	Jama na Badiji	Badija (Korčula)	
35	Jama Zaglavica	Mljet	

Nastavak Tablice 1

	Istraživane špilje i jame	Grad / Otok	Makrogeomorfološke regije
36	Jama u šumi uvale Bječajka	Mljet	
37	Jama ispod Maranovića	Mljet	
38	Jama na rtu Lenga	Mljet	
39	Špilja Šipun	Cavtat	

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Materijali

Provedenim terenskim istraživanjima u anhijalnim podzemnim ekosustavima uz istočnu obalu Jadranskog mora prikupljeno je 99 uzoraka na 39 lokaliteta (Tablica 1) na kojima su izmjereni osnovni fizikalno-kemijski parametri vode (temperatura i salinitet vode). Uzorci anhijaline špiljske faune su prikupljeni u cilju utvrđivanja prostornog rasporeda sastava zajednica vodenih beskralješnjaka u pojedinim makrogeomorfološkim regijama Jadranskog mora i priobalja prema Bognaru (2001) i Bognaru i sur. (2012).

3.2. Dinamika terenskih istraživanja

Terenska istraživanja su provedena u anhijalnim podzemnim objektima od Istre do krajnjeg juga Dalmacije na otocima i uzduž istočne obale Jadranskog mora primjenom speleoloških i speleoronilačkih tehnika (Iliffe 2018) u razdoblju od 2001. do 2011. godine. Istraživanja su provedena tijekom svih sezona u svim makrogeomorfološkim regijama.

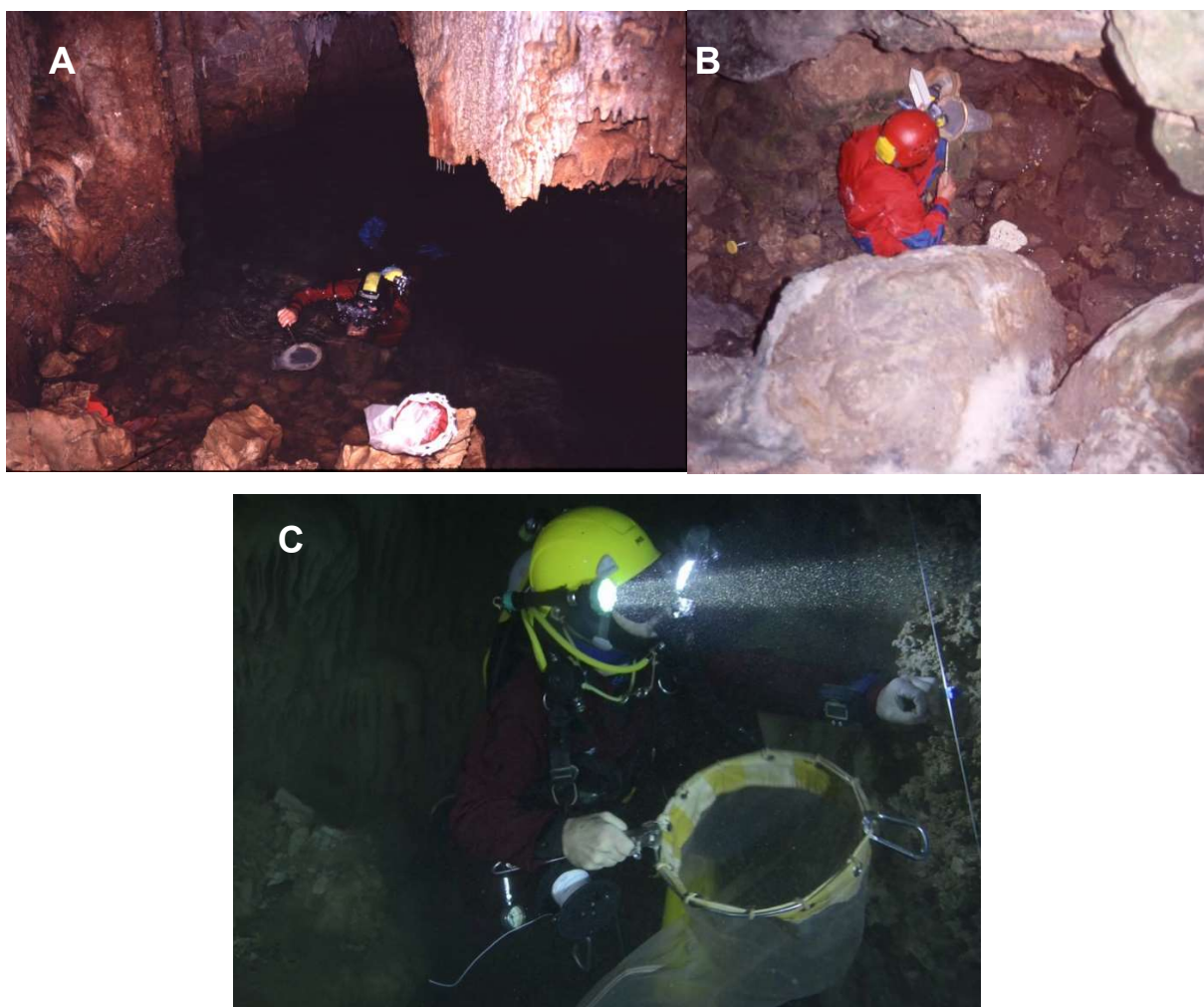


Slika 8. Primjena speleoronilačkih tehnika u istraživanju anhijalnih špilja istočne obale Jadranskog mora. Istraživanje anhijalnih špilja estuarija rijeke Krke (foto. N. Cukrov).

3.3. Metode terenskih istraživanja

3.3.1. Uzorkovanje i pohrana bioloških uzoraka

Prikupljanje vodenih životinja provedeno je pomoću mreže za bentos (veličine oka 156 μm) u površinskom limničkom sloju vode i pomoću planktonske mreže (veličine oka 70-80 μm), povlačenjem s površine ili pri ronjenju. Zbog vrlo uskih ulaznih dijelova u objekte i čestog spuštanja direktno na vodenu površinu tehnika prikupljanja s mrežicama kombinirana je i s lovnim klopama koje su izrađene od plastičnih boca za vodu. Speleoronilačka aktivnost obavljena je upotrebom standardne ronilačke opreme (Slika 9A).



Slika 9. A - Prikupljanje faune mrežom za bentos tijekom ronjenja u Jami iznad Vrulja, o. Kornat (foto. S. Gottstein); B – prikupljanje vodene faune mrežom za bentos s površine vode na dnu sjevernog kanala u jami U vode, o. Smokvica (foto. B. Jalžić); C – prikupljanje vodene faune planktonskom mrežom prilagođenom za speleoronjenje na području Kornata (foto. V. Jalžić).

Prikupljeni uzorci faune su konzervirani u 80% etanolu s glicerolom i u 4% formaldehidu odmah po izlasku iz špilje.

3.3.2. Uređaji i metodologija mjerenja fizikalno-kemijskih parametara vode

Osnovni fizikalno-kemijski parametri vode (temperatura i salinitet) su mjereni WTW sondama (Oxi 330/SET i Cond 340i/SET). Međutim zbog nedovoljnog broja izmjera za cijelo istraživano područje za temperaturne vrijednosti unutar pojedinih objekata preuzela sam srednju godišnju temperature lokalnog područja gdje je špilja smještena iz “Klimatskog atlasa Hrvatske” (Zaninović i Tadić 2008).

3.4. Metode laboratorijskih istraživanja

U okviru laboratorijskih istraživanja faunu sam izolirala i sortirala po skupinama te determinirala pod stereo-lupom Zeiss STEMI 2000 do najniže sistematske kategorije ovisno o kompleksnosti i mogućnosti determinacije pojedinih predstavnika.

U svrhu determiniranja faune koristila sam specijalističke ključeve za pojedine skupine: Amphipoda (S. Karaman 1932, G. Karaman 1969, G. Karaman 1985, G. Karaman 1989, Karaman 1993, Ruffo i Krapp-Schickel 1969, Schellenberg 1932, Sket i G. Karaman 1990), Hydrachnidia (Davids i sur. 2005), Copepoda (Dussart i Defaye 1995, Einsle 1993, Einsle 1996, Petkovski 1955), Ostracoda (Petkovski 1969, 1977), Oligochaeta (Brinkhurst 1963), Lepidoptera (Agassiz 1996).

3.5. Analiza podataka

3.5.1. Analiza fizikalno-kemijskih parametara vode

Za potrebe prikaza raspona temperature između pojedinih makrogeomorfoloških regija koristila sam kartu distribucije srednjih vrijednosti temperature zraka u Hrvatskoj na kojoj je prikazan položaj istraživanih lokaliteta i na temelju toga procijenjen raspon očekivanih temperaturnih vrijednosti unutar špilja, budući da za sve lokalitete nije izmjerena temperatura ili je izmjerena samo u određenom sloju potopljenog dijela špilje. Kako bi se izbjegle razlike u analizi i usporedbi koristila sam kartu iz Klimatološkog atlasa Hrvatske (Zaninović i Tadić 2008). Salinitet je opisan samo u vidu ukupno utvrđenih raspona iz istih razloga kao i temperatura.

3.5.2. Analiza zajednica vodenih beskralješnjaka

Analiza sastava zajednica makroskopskih beskralješnjaka provela sam u računalnim programima Microsoft Excel 16 i Primer v.6. Podatke o sastavu zajednica i brojnosti jedinki pojedinih skupina unijela sam u Microsoft Excel 16. Rezultate sam prikazala pomoću stupičastih grafova kako bi se usporedila brojnost jedinki i relativni udjeli po skupinama u pojedinim makrogeomorfološkim regijama Hrvatske.

Za utvrđivanje raznolikosti zajednica u pojedinim istraživanim anhijalinih špiljama te makrogeomorfološkim regijama istočne obale Jadranskog mora i priobalja izračunala sam sljedeće indekse: Shannon-Wienerov (H') i Simpsonov indeks raznolikosti (λ) te Pielouov indeks ujednačenosti (J'), primjenivši programski paket Primer v.6 (Clarke i Gorley, 2006):

Shannon-Wienerov indeks raznolikosti (H') služi za uspoređivanje zajednice unutar različitih sezona ili za uspoređivanje raznolikosti dviju ili više zajednica prema formuli:

$$H' = -\sum p_i \ln(p_i), \text{ gdje je: } p_i - \text{udio jedinki vrste } i \text{ u zajednici.}$$

Simpsonov indeks raznolikosti (λ) izražava vjerojatnost da dvije slučajno odabrane jedinke iz zajednice pripadaju različitim kategorijama (vrstama), prema formuli: $\lambda = \sum (n_i / N)$, gdje je: n_i - ukupni broj jedinki vrste i i N - ukupan broj jedinki svih vrsta.

Ovi indeksi određuju raznolikost kao vjerojatnost da će dvije jedinke nasumično odabrane iz zajednice biti različite vrste, a razlikuju se po tome što je prvi osjetljiviji na brojnost rijetkih vrsta, a drugi na brojnost dominantnih vrsta.

Pielouov indeks ili indeks ujednačenosti zajednice (J') predstavlja omjer izračunate raznolikosti zajednice i maksimalne moguće raznolikosti zajednice (zastupljenost svih vrsta u zajednici u jednakim udjelima), prema formuli: $J' = H' / \log(S)$, gdje je: H' - Shannon-Wienerov indeks, S - ukupni broj vrsta u zajednici.

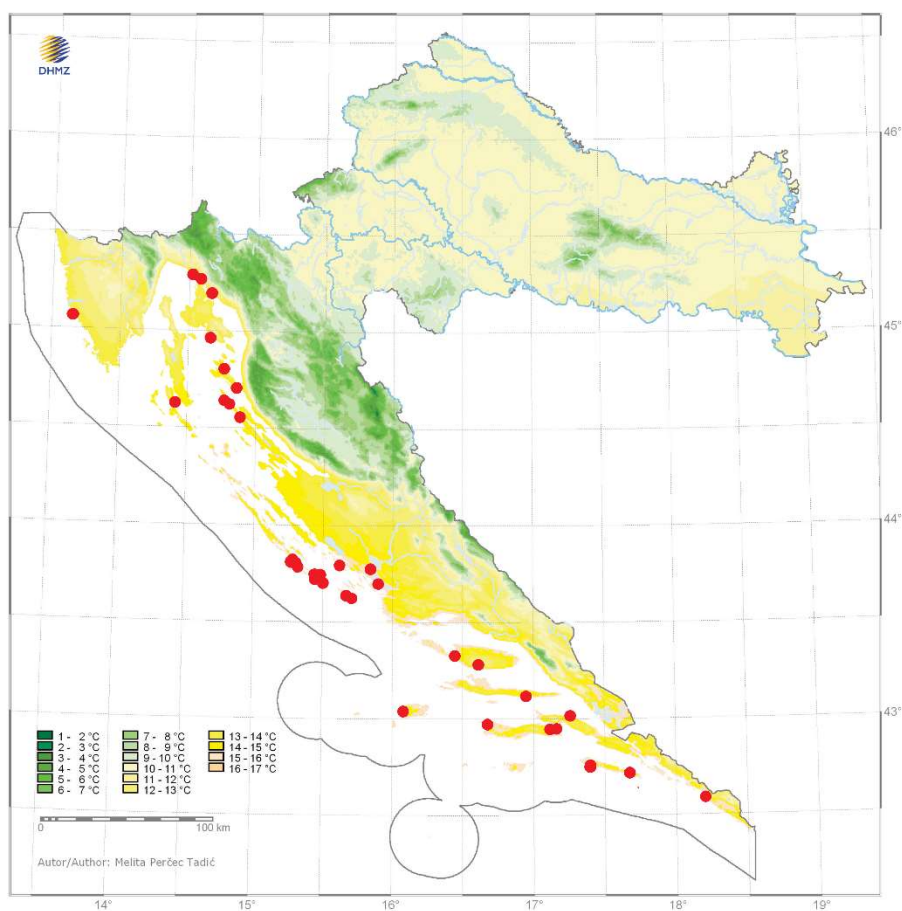
Analizu sličnosti zajednica između pojedinih makrogeomorfoloških regija istočne obale Jadranskog mora (Bognar 1999) provela sam u program Primer v.6. Na temelju dobivenih rezultata sličnosti zajednica, primjenom QGIS-a 3.16.1 definirala sam zone i područja Jadrana od posebnog interesa za zaštitu podzemne faune anhijalinih špilja te makrogeomorfološku regionalizaciju faune.

4. REZULTATI

4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode

4.1.1. Temperatura

Temperatura vode nije izmjerena u svim speleološkim objektima te su u analizu uzete srednje godišnje temperature s obzirom na položaj pojedinih anhidralnih speleoloških lokaliteta koji su istraživani, kao pokazatelj raspona uvjeta u pojedinim makrogeomorfološkim regijama. Na temelju provedenih analiza i primjene karte distribucije srednjih temperatura zraka vidljiv je raspon vrijednosti temperature u speleološkim objektima od 13 do 14 °C na području Istre te na krajnjim južnim pučinskim otocima uz južne obale Mljeta od 16 do 17 °C (Slika 10).



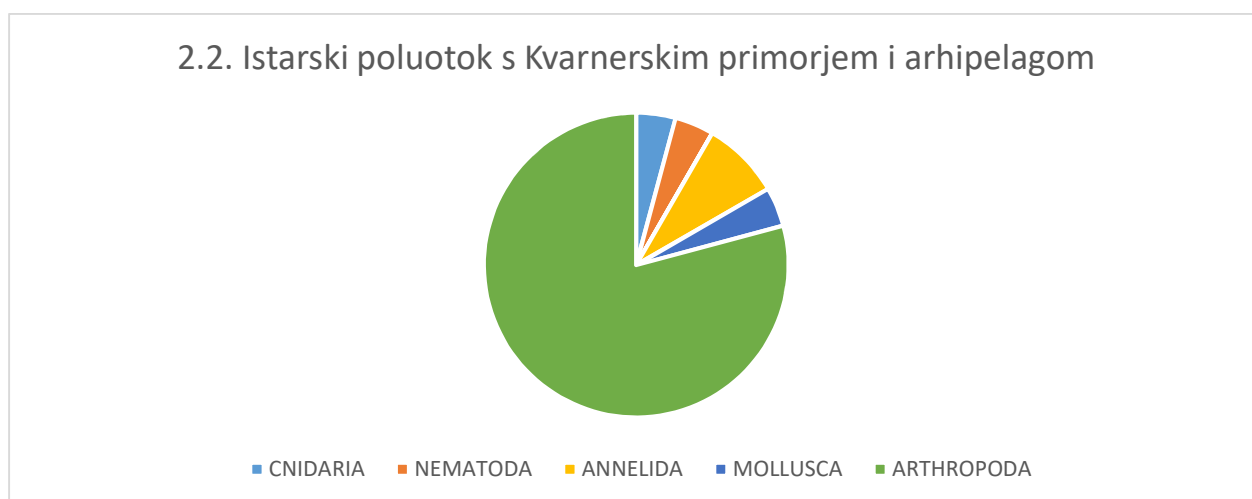
Slika 10. Raspon srednje godišnje temperature zraka na istraživanim lokalitetima (karta srednjih godišnjih temperatura zraka preuzeta iz Zaninović i Tadić 2008).

4.1.2. Salinitet

Raspon izmjerenih vrijednosti saliniteta vode iznosio je od slatke (limničke) vode na površini s vrijednosti od 0 ‰ do 38 ‰ na dnu troslojno stratificiranih anhijalinih speleoloških objekata. U plićim objektima voda je bila jednoličnog saliniteta bez uslojavanja s rasponom vrijednosti od 1,9 do 10,4 ‰.

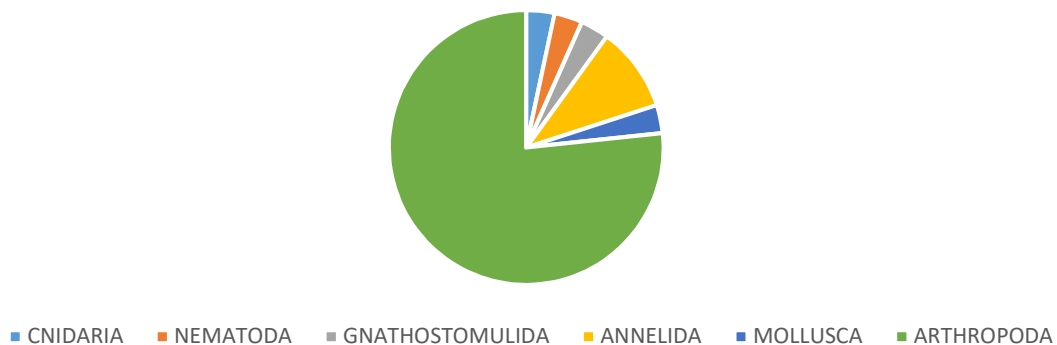
4.2. Sastav zajednica i zastupljenost vodenih beskralješnjaka

Analizom zastupljenosti vodenih beskralješnjaka u anhijalnim speleološkim objektima unutar pojedinih makrogeomorfoloških regija na razini viših sistematskih kategorija (koljena) utvrđena je prisutnost i udio predstavnika iz šest koljena: Annelida, Arthropoda, Cnidaria, Gnathostomulida, Mollusca i Nematoda. Na području makrogeomorfološke regije 2.2. Istarski poluotok s Kvarnerskim primorjem i arhipelagom zabilježeni su predstavnici iz pet koljena, u regiji 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom utvrđeni su predstavnici svih šest koljena, u regiji 2.4. Središnja Dalmacija s arhipelagom utvrđeni su predstavnici samo dva koljena, a u regiji 2.5. Južna Dalmacija s arhipelagom utvrđeni su predstavnici četiri koljena. Predstavnici koljena Arthropoda najzastupljeniji su predstavnici u sve četiri regije i također u svim istraženim anhijalnim speleološkim objektima. Postojanost u zastupljenosti utvrđena je i kod predstavnika koljena Annelida (Slika 11 i 12).

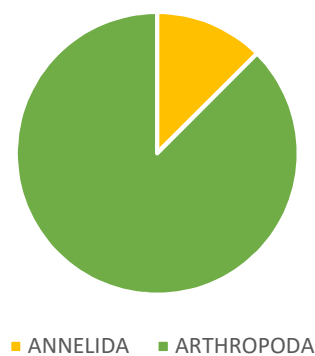


Slika 11. Zastupljenost pojedinih koljena vodenih beskralješnjaka u anhijalnim speleološkim objektima makrogeomorfološke regije 2.2. Istarski poluotok s Kvarnerskim primorjem i arhipelagom.

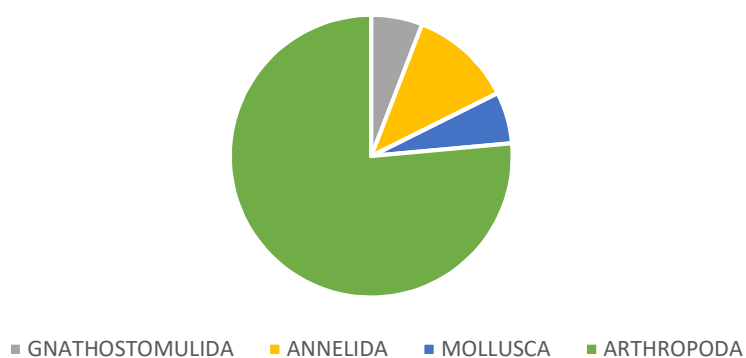
2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom



2.4. Središnja Dalmacija s arhipelagom



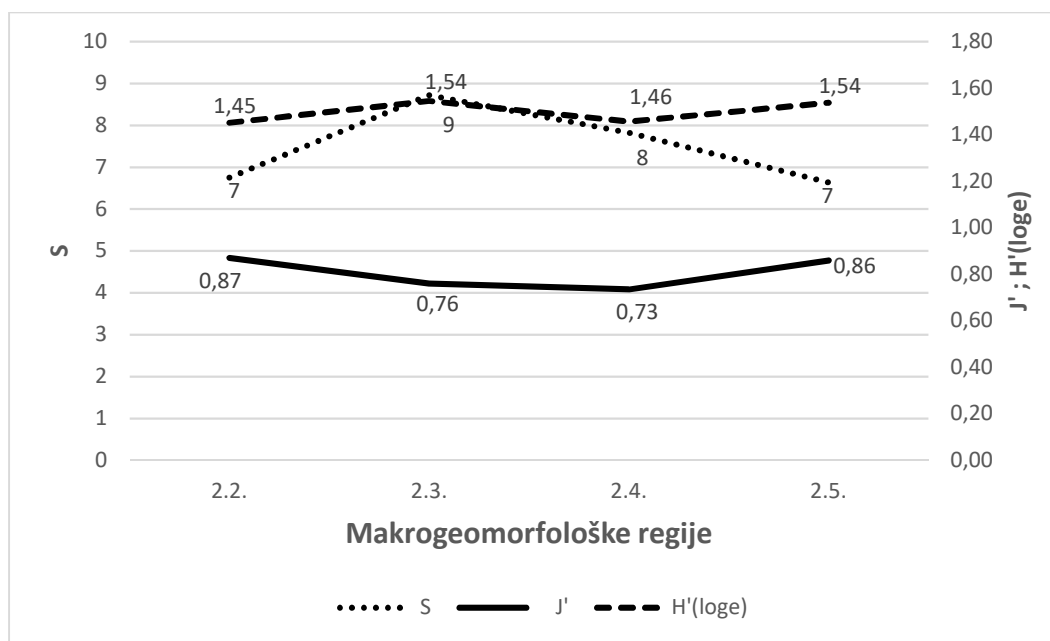
2.5. Južna Dalmacija s arhipelagom



Slika 12. Zastupljenost pojedinih koljena vodenih beskralješnjaka u anhijalnim spelelološkim objektima makrogeomorfoloških regija: 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom, 2.4. Središnja Dalmacija s arhipelagom i 2.5. Južna Dalmacija s arhipelagom.

4.3. Raznolikost zajednica vodenih beskralješnjaka

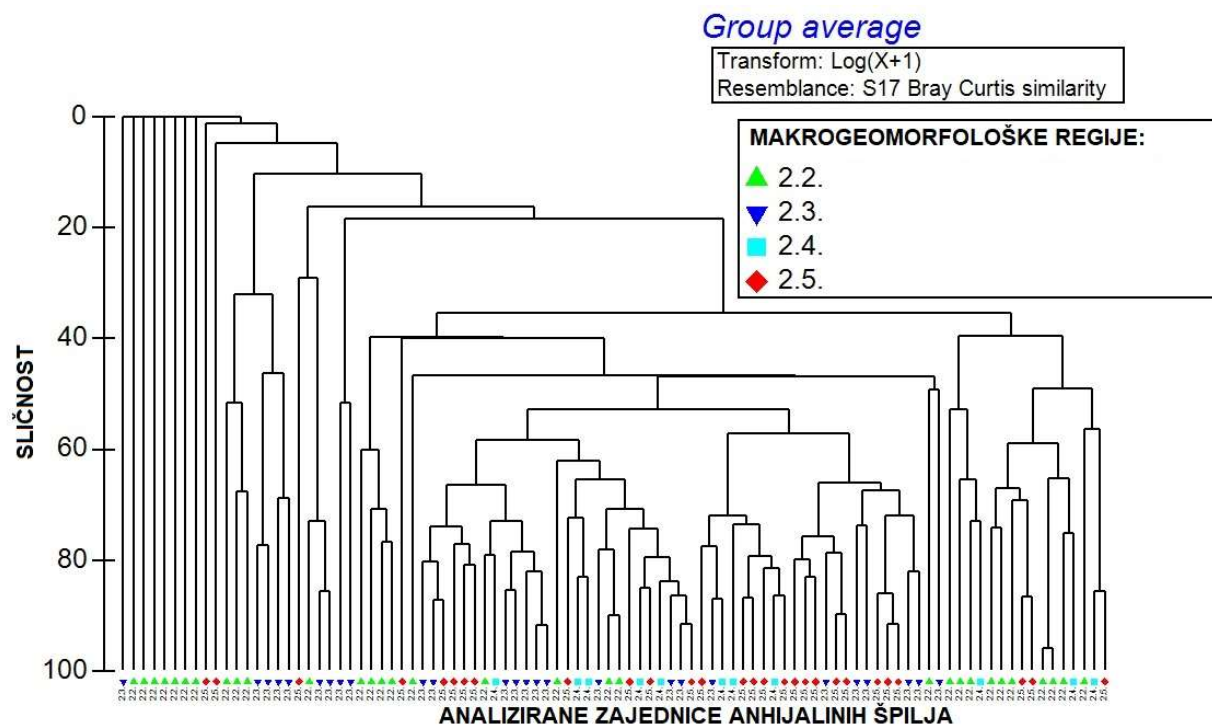
Bogatstvo vrsta, Shannonov indeks raznolikosti ($H'(\log_e)$) i Pielouov indeks ujednačenosti (J') zajednica unutar trideset i devet anhijalinih špilja izračunat je za svih 99 prikupljenih uzoraka, a vrijednosti su izražene kao srednje vrijednosti unutar pojedine makrogeomorfološke regije. Na temelju dobivenih rezultata utvrđena je najviša prosječna vrijednost bogatstva vrsta (S) u anhijalinih špiljama sjeverozapadne Dalmacije s arhipelagom u iznosu od devet svojti. Najviše prosječne vrijednost Shannonovog indeksa raznolikosti ($H'(\log_e)$) izračunate su za sjeverozapadnu Dalmaciju s arhipelagom i južnu Dalmaciju s arhipelagom u iznosu od 1,54. Najviša prosječna vrijednost Pielouovog indeksa ujednačenosti utvrđena je za Istarski poluotok s Kvarnerskim primorjem i arhipelagom u iznosu od 0,87 (Slika 13). U analizi pojedinačnih lokaliteta najvišu vrijednost bogatstva vrsta utvrdila sam za anhijalinu jamu Gravrnjača koja je smještena u Kornatskom arhipelagu na otoku Kurba Vela, u kojoj sam utvrdila 23 svojte. Najvišu vrijednost Shannonovog indeksa raznolikosti ($H'(\log_e)$) izračunala sam za zajednicu iz Bunar jame na Kamenom Žaknu u Kornatskom arhipelagu, u kojoj sam utvrdila vrijednost od 2,43.



Slika 13. Bogatstvo vrsta (S), Shannonov indeks raznolikosti ($H'(\log_e)$) i Pielouov indeks ujednačenosti (J') zajednica anhijalinih špilja istočne obale Jadranskog mora u četiri makrogeomorfološke regije prema Bognaru (2001): 2.2. Istarski poluotok s Kvarnerskim primorjem i arhipelagom; 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom, 2.4. Središnja Dalmacija s arhipelagom i 2.5. Južna Dalmacija s arhipelagom.

4.4. Sličnost zajednica vodenih beskralješnjaka

Provedene analize Bray Curtisovog indeksa sličnosti ukazuju na nisku razinu grupiranja anhidralnih speleoloških objekata prema Makrogeomorfološkim regijama. No u pojedinim dijelovima dendrograma vidljivo je jasnije odvajanje sjevernih od srednjih i južnih regija. Visoka razina sličnosti utvrđena je za dio speleoloških objekata sve tri regije Dalmacije, a osobito središnju i južnu Dalmaciju (Slika 14).

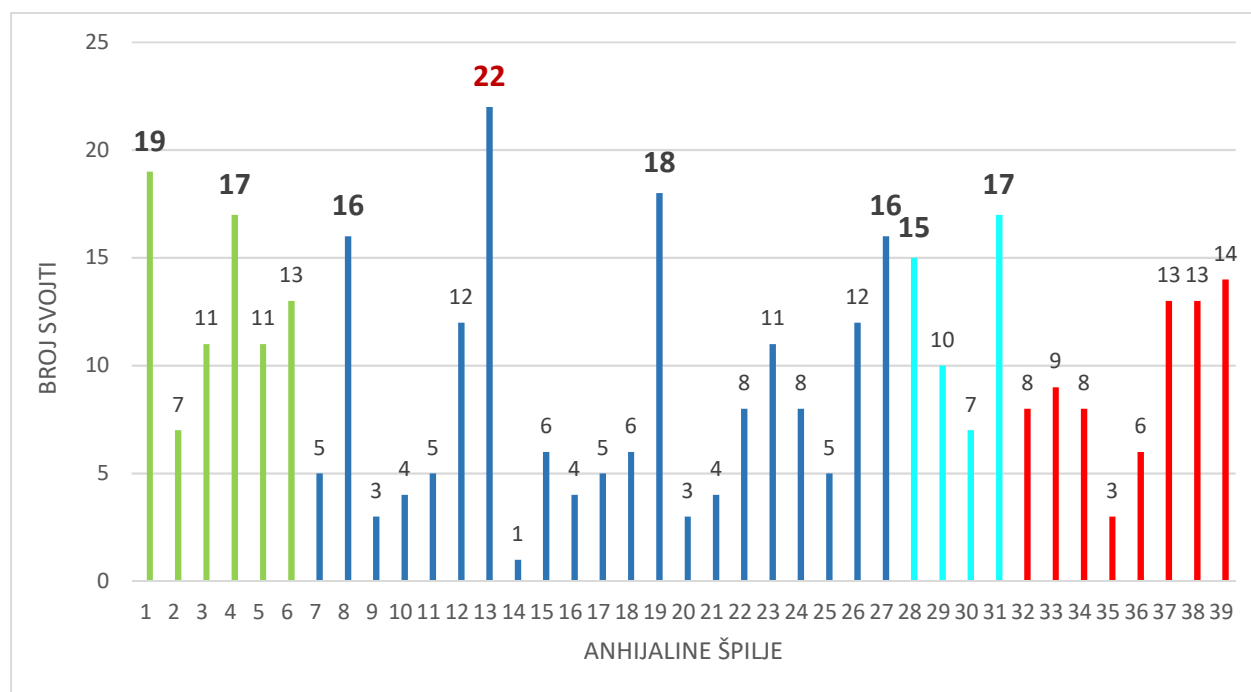


Slika 14. Dendrogram sličnosti zajednica vodenih beskralješnjaka anhidralnih speleoloških objekata prema Bray Curtisu za pojedine makrogeomorfološke regije.

4.5. Vruće točke biološke raznolikosti

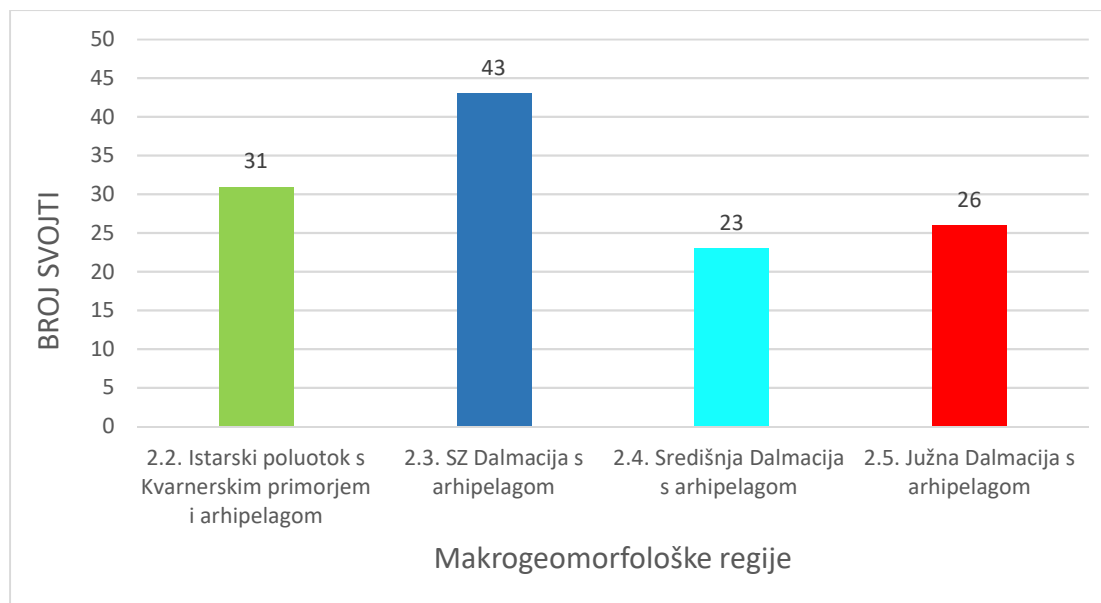
Na temelju provedenih istraživanja zajednica vodenih beskralješnjaka anhidralnih špilja istočne obale Jadranskog mora utvrđene su špilje s velikim brojem svojti (≥ 15). U makrogeomorfološkoj regiji 2.2. Istarski poluotok s Kvarnerskim primorjem i arhipelagom najveći broj svojti zabilježen je u Jami na Punta Korente kod Rovinja s ukupno 19 svojti vodenih beskralješnjaka. U makrogeomorfološkoj regiji 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom najveći broj svojti zabilježen je u Jami Gravrnjači na otoku Kurba Vela u Kornatskom arhipelagu s ukupno 22 svojte

vodenih beskralješnjaka, što je ujedno i najveći broj zabilježenih svojti u anhijalnim jamama duž cijele istočne obale Jadranskog mora te ju možemo smatrati vrućom točkom biološke raznolikosti za anhijaline speleološke objekte istraživanog područja. U makrogeomorfološkoj regiji 2.4. Središnja Dalmacija s arhipelagom najveći broj svojti zabilježen je u Jami Supurini na otoku Visu s ukupno 17 svojti vodenih beskralješnjaka. U makrogeomorfološkoj regiji 2.5. Južna Dalmacija s arhipelagom najveći broj svojti zabilježen je u špilji Šipun u Cavtatu s ukupno 14 svojti vodenih beskralješnjaka (Slika 15).



Slika 15. Prikaz ukupnog broja vodenih beskralješnjaka koji je zabilježen u pojedinoj anhijalinoj špilji u pojedinim makrogeomorfološkim regijama: zeleno - 2.2. Istarski poluotok s Kvarnerskim primorjem i arhipelagom; plavo - 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom; tirkizno - 2.4. Središnja Dalmacija s arhipelagom, crveno - 2.5. Južna Dalmacija s arhipelagom.

Na temelju analize ukupnog broja svojti unutar pojedinih makrogeomorfoloških regija utvrđen je najveći broj svojti vodenih beskralješnjaka u anhijalnim speleološkim objektima u regiji 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom, unutar kojih su ukupno zabilježene 43 svojte (Slika 16).



Slika 16. Prikaz ukupnog broja vodenih beskrležšnjaka u anhidralnim špiljama pojedinih makrogeomorfoloških regija.

4.6. Područja od posebnog interesa za zaštitu

Na temelju provednih analiza zajednica vodenih beskrležšnjaka anhidralnih speleoloških objekata duž istočne obale Jadranskog mora utvrđeni su pojedini speleološki objekti od posebnog interesa za zaštitu s obzirom na visoke vrijednosti ukupnog broja faune, ali i specifične uvjete koji u njima vladaju. Ovdje treba posebno istaknuti sljedeće anhidralne speleološke lokalitete u kojima je zabilježen veliki broj svojti (≥ 15): Jama na Punta Korente kod Rovinja, Medvjeda špilja na Malom Lošinju, Bunar jama na otoku Kameni Žakan u Kornatskom arhipelagu, Jama Gravrnjača na otoku Kurba Vela u Kornatskom arhipelagu, Vodena jama na Gustacu u Kornatskom arhipelagu, Jama pod Orljakom u estuariju rijeke Krke kod Šibenika, špilja Živa voda na otoku Hvaru i Jama Supurina na otoku Visu (Slika 15). Svi navedenih anhidralni speleološki objekti su duboke ili velike špilje s izrazitim troslojnim uslojavanjem vode.

Makrogeomorfološka regija od posebnog interesa za zaštitu je 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom unutar koje je smješten najveći broj istraženih anhidralnih speleoloških objekata s velikim brojem svojti vodenih beskrležšnjaka (≥ 15), njih ukupno četiri te pojedinačni anhidralni speleološki objekt (Vodena jama na Gustacu) s ukupno najvećim brojem zabilježenih vodenih beskrležšnjaka duž istočne obale Jadranskog mora, njih ukupno 22 (Slika 15 i 16).

5. RASPRAVA

Temperaturni uvjeti u podzemnih objektima povezani su sa srednjom godišnjom temperaturom zraka područja u kojem se taj objekt nalazi, u ovisnosti o nadmorskoj visini, geološkoj širini, ali i ekspoziciji na kojem je objekt smješten (Gottstein Matočec i sur. 2002). Stoga sam za potrebe ovog rada preuzela srednju godišnju temperaturu zraka lokalnog područja iz „klimatskog atlasa Hrvatske“ (Zaninović i Tadić 2008) kao relevantni pokazatelj temperaturnih raspona u istraživanim anhijalnim speleološkim objektima. Na temelju provedenih analiza raspona temperature zraka na pojedinim istraživanim lokalitetima, utvrđena je najveća razlika u srednjoj vrijednosti između makrogeomorfološke regije 2.2. Istarski poluotok s Kvarnerskim primorjem i arhipelagom s prosječnom vrijednosti od 13,67 °C u odnosu na ostale regije koje su u rasponu vrijednosti od 15,1 °C za regiju 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom, 15,5 °C za regiju 2.4. Središnja Dalmacija s arhipelagom pa do 15,6 °C za krajnju južnu regiju 2.5. Južna Dalmacija s arhipelagom. Međutim treba naglasiti kako je u dubljim špiljama i općenito speleološkim objektima s gradijentom saliniteta i kisika moguće očekivati temperaturni gradijent te razlike u temperaturi pojedinih slojeva vode u speleološkom objektu. Na temelju istraživanja anhijaline špilje Živa voda na otoku Hvaru utvrđene su blage oscilacije temperature vode tijekom godine u rasponu od oko dva stupnja, međutim primijećeno je kako se tijekom ljeta toplina polako širi u dublje slojeve, a tijekom zimskog hlađenja se na vrhu stvara sloj gušće vode koji počinje tonuti, stvarajući toplinska konvekcijska strujanja (Novosel i sur. 2007). S aspekta kemizma vode, u anhijalnim speleološkim objektima zanimljivo je spomenuti izuzetno zanimljivu kombinaciju estuarijskog i dubokomorskog tipa otopljenog anorganskog joda u vodi anhijaline špilje Bjeajka na otoku Mljetu. Niske koncentracije jodida ispod halokline ukazuju kako procesi oksidacije jodida, koji obično prevladavaju u dubokim oceanskim vodama, također mogu postojati u ovim špiljama (Cukrov i sur. 2007, Žic i sur. 2008).

Na temelju provedenih istraživanja zajednica vodenih beskralješnjaka u anhijalnim speleološkim objektima duž istočne obale Jadranskog mora može se potvrditi kako na sastav, gustoću i raznolikost vodene faune beskralješnjaka priobalnih speleoloških objekata utječe položaj anhijalnih špilja tj. udaljenost od mora, veličina objekta i prisutnost gradijenta saliniteta te prisutnost sumporovodika tj. kemizam špilja, ali zasigurno i paleoekologija istraživanih objekata povezana s hidrološkim i geomorfološkim obilježjima (Sket 1996, Gottstein Matočec i sur. 2002, Gottstein i sur. 2007, 2012, Gottstein 2010), a vrlo vjerojatno i prirodnim utjecajem kemizma

povezanog s raznim vrstama metala (Cuculić i sur. 2011). Na temelju prethodnih istraživanja predstavnika podkoljena rakova na gotovo istom setu uzoraka utvrđena je ukupna raznolikost rakova od 27 svojti (Gottstein i sur. 2012). Ovim istraživanjem je samo u jednom anhijalinom speleološkom objektu, u Jami Gravrnjači na otoku Kurba Vela u Kornatskom arhipelagu, ukupno zabilježeno čak 22 svojte vodenih beskralješnjaka, što je ujedno i najveći broj zabilježenih svojti u anhijalinim jamama duž cijele istočne obale Jadranskog mora u okviru ovih istraživanja. Ako to usporedimo sa nalazima unutar anhijaline špilje Zinzulusa, koja je smještena na području jugoistočne Italije i u kojoj je do sada zabilježeno 25 vrsta (od čega dvije endemične vrste koje su poznate samo iz te špilje) (Belmonte 2022), nalazi ovako visokog broja svojti, među kojima je također zabilježen velik broj endema i stenoendema istraživanog područja (Gottstein i sur. 2012), zavređuje posebnu pozornost i inicijativu za posebnu kategoriju zaštite. Naime, visoka bioraznolikost u špilji Zinzulusa omogućila je da Karst Water Institute (Charleston Town, Sjedinjene Američke Države) uvrsti ovu špilju na popis “za zaštitu najvrjednijih” krških okoliša u svijetu (Belmonte 2022).

Anhijalini speleološki objekti u Republici Hrvatskoj jedinstveni su, rijetki i ugroženi stanišni tip koji je u nacionalnoj klasifikaciji staništa definiran kao NKS H 1.4. u Pravilniku o vrstama stanišnih tipova, karti staništa, ugroženim i rijetkim stanišnim tipovima te o mjerama za očuvanje stanišnih tipova (NN 7/06, NN 119/09), a prema klasifikaciji staništa Nature 2000 definirane su kao 8330 Preplavljene ili dijelom preplavljene morske špilje ili prema Palearktičkoj klasifikaciji prema kojoj su definirane kao jedinstveni tip staništa „65. 815 Istočnojadranske anhijaline biocenoze“ (Gottstein 2010). S obzirom da je riječ o rijetkom stanišnom tipu navedenom Pravilnikom, zahtjeva se provođenje mjera očuvanja i propisane mjere zaštite. Uzevši u obzir da je u brojnim anhijalnim speleološkim objektima istočne obale Jadranskog mora zabilježeno tijekom posljednjeg desetljeća i pol čak sedam novih vrsta za znanost iz skupine Copepoda (Crustacea), čiji su nalazi uključeni i u analize ovog rada (Kršinić 1998, 2012, 2015, 2017, Kršinić i Boxshall 2021), status zaštite pojedinih objekata, ali i anhijalinih podzemnih ekosustava u cjelini, zavređuje viši rang zaštite nego što je do sada definiran. Klimatske promjene, povišenje srednjih godišnjih temperatura zraka i smanjenje količine oborina zasigurno će značajno negativno utjecati i na ove rijetke i osjetljive ekosustave kojima treba posebna zaštita i veća pozornost što hitnije.

6. ZAKLJUČAK

Istraživane Makrogeomorfološke regije Hrvatske, u pogledu temperaturnih vrijednosti u anhidralnim speleološkim objektima, imaju povećanje srednjih temperaturnih vrijednosti istraživanih lokaliteta od krajnjeg sjeverozapadnog prema krajnjem jugoistočnom području u rasponu od 2 °C (od 13,7 do 15,7 °C).

Salinitet vode u istraživanim anhidralnim speleološkim objektima je u rasponu od limničke do polihaline kategorije.

Najzastupljeniji predstavnici u svim istraživanim anhidralnim speleološkim objektima su predstavnici različitih skupina potkoljena Crustacea tj. koljena Arthropoda.

Najveći broj predstavnika, svih šest zabilježenih koljena faune (Cnidaria, Nematoda, Gnathostomulida, Annelida, Mollusca, Arthropoda) zabilježen je u Makrogeomorfološkoj regiji 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom.

Najviša prosječna vrijednost bogatstva vrsta u pojedinom istraživanim Makrogeomorfološkim regijama kao i najviša vrijednost Shannonovog indeksa raznolikosti utvrđene su u regiji 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom.

Grupiranje zajednica vodenih beskralješnjaka između istraživanih Makrogeomorfoloških regija nije izrazito, a utvrđena grupiranja odnose se na zajednice svih regija Dalmacije.

Jama Gravnjača na otoku Kurba Vela u Kornatskom arhipelagu utvrđena je kao vruća točka biološke raznolikosti za anhidralne špilje istočne obale Jadranskog mora s ukupno 22 svojte vodenih beskralješnjaka, među kojima su dvije vrste stenoendemi anhidralnih špilja istočne obale Jadranskog mora.

Makrogeomorfološka regija od posebnog interesa za zaštitu je 2.3. SZ Dalmacija s arhipelagom unutar koje je zabilježen najveći ukupni broj vodenih beskralješnjaka u istraženim anhidralnim speleološkim objektima te najveći broj objekata (ukupno četiri) s velikim brojem svojti vodenih beskralješnjaka (≥ 15), među kojima je i objekt definiran kao vruća točka biološke raznolikosti.

7. LITERATURA

- Agassiz, D. J. L. 1996. Lepidoptera Pyralidae, (China Mark) Moths. U: Nilsson, A. (ur.), Aquatic Insects of North Europe. A taxonomic Handbook. Volume 1. Ephemeroptera – Plecoptera – Heteroptera – Neuroptera – Megaloptera – Coleoptera – Trichoptera – Lepidoptera. Apollo Books, Stenstrup, str. 257-263.
- Angyal, D., Cohuo, S., Castro-Pérez, J. M., Mascaró, M., Rosas, C., 2022. Benthic species assemblages change through a freshwater cavern-type cenote in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Subterranean Biology*, 44: 1–20.
- Anonymous, 2006. Pravilnik o vrstama stanišnih tipova, karti staništa, ugroženim i rijetkim stanišnim tipovima te o mjerama za očuvanje stanišnih tipova. Narodne novine, Zagreb, 7.
- Anonymous, 2009. Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o vrstama stanišnih tipova, karti staništa, ugroženim i rijetkim stanišnim tipovima te o mjerama za očuvanje stanišnih tipova. Narodne novine, Zagreb, 119.
- Bakran-Petricioli, T., Vacelet, J., Zibrowius, H., Petricioli, D., Chevaldonné, P., Rađa, T., 2007. New data on the distribution of the ‘deep-sea’ sponges *Asbestopluma hypogea* and *Oopsacas minuta* in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology*, 28: 10-23.
- Belmonte, G., 2022. A new species of Pseudocyclopiidae (Crustacea, Copepoda, Calanoida) from an anchialine environment of South-Eastern Italy. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 246.
- Bishop, R.E., Humphreys, W.F., Cukrov, N., Žic, V., Boxshall, G.A., Cukrov, M., et al. 2015. ‘Anchialine’ redefined as a subterranean estuary in a crevicular or cavernous geological setting. *Journal of Crustacean Biology*, 35: 511–514.
- Bognar, A., 1999. Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. *Acta Geographica Croatica*, 34: 7–29.
- Botosaneanu, L., 1986. *Stygofauna Mundi*. E.J. Brill, Leiden, str. I-VI+1–740.
- Brinkhurst, R.O. 1963. A guide for the identification of British Aquatic Oligochaeta. Freshwater biological Association, Scientific publication No. 22, Westmorland, str. 1-55.
- Calderón-Gutiérrez, F., Solís-Marín, F.A., Gómez, P., Sánchez, C., Hernández-Alcántara, P., Álvarez-Noguera, F., et al. 2017. Mexican anchialine fauna. With emphasis in the high biodiversity cave El Aerolito. *Regional Studies in Marine Science*, 9: 43–55.

- Chen, X., Cukrov, N., Santos, I. R., Rodellas, V., Cukrov, N., Du, J., 2020. Karstic submarine groundwater discharge into the Mediterranean: radon-based nutrient fluxes in an anchialine cave and a basin-wide upscaling. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 268: 467-484.
- Cuculić, V., Cukrov, N., Kwokal, Ž., Mlakar, M., 2011. Distribution of trace metals in anchialine caves of Adriatic Sea, Croatia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95 (1): 253-263.
- Cukrov, M., Cukrov, N., Jalžić, B., Cuculić, V., 2007. Geokemijska istraživanja voda anihialine jame u uvali Bjejjaka, otok Mljet. *Subterranea Croatica*, 5 (8): 16-19.
- Cukrov, M., 2020. Špilja u uvali Vidrovača – novi dom invazivne vrste cjevaša *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel, 1923). *Subterranea Croatica*, 18 (2): 54–59.
- Cukrov, N. Bishop, R.E., Cuculić, V., Cukrov, M., Cukrov, N., Garnier, C., Geček, S., Jalžić, B., Klanjšček, T., Kwokal, Ž., et al. 2017. Anihialine špilje estuarija rijeke Krke. U: Marguš, D. (ur.) *Zbornik radova sa znanstveno-stručnog skupa „Vizija i izazovi upravljanja zaštićenim područjima prirode u Republici Hrvatskoj“*. JU Nacionalni park Krka, Šibenik, str. 687–704.
- Culver D.C., Pipan T., 2019. *The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats*. *Biology of Habitats Series*, Oxford University Press, str. 1-336.
- Davids, K., Di Sabatino, A., Gerecke, R., Gledhill, T., Smit, H., 2005. On the taxonomy of water mites (Acari: Hydrachnidia) described from the Palaearctic, part 1: Hydrachnidae, Limnocharidae and Eylaidae. *Zootaxa*, 1061 (1): 35–64.
- Dussart, B.H., Defaye, D. 1995. Copepoda Introduction to the Copepoda. U: Dumont, H.J.F. (ur.), *Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World 7*. SPB Academic Publishing bv, Amsterdam, str. 1-227.
- Einsle, U. 1993. *Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, str. 1-208.
- Einsle, U. 1996. Copepoda: Cyclopoida Genera Cyclops, Megacyclops, Acanthocyclops. U: Dumont, H.J.F. (ur.), *Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World 10*. SPB Academic Publishing bv, Amsterdam, str. 1-208.
- Gonzalez, B.C., Iliffe, T.M., Macalady, J.L., Schaperdoth, I., Kakukm B. 2011. Microbial hotspots in anchialine blue holes: initial discoveries from the Bahamas. *Hydrobiologia*, 677: 149–156.
- Gottstein, S. 2010. Priručnik za određivanje podzemnih staništa u Hrvatskoj prema Direktivi o staništima EU. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, str. 1–104.

- Gottstein, S., Ivković, M., Ternjej, I., Jalžić, B., Kerovec, M., 2007. Environmental features and crustacean community of anchihaline hypogean waters on the Kornati islands, Croatia. *Marine Ecology*, 28: 24–30.
- Gottstein, S., Kršinić, F., Ternjej, I., Cukrov, N., Kutleša, P., Jalžić, B., 2012. Shedding light on crustacean species diversity in the anchihaline caves of Croatia. *Natura Croatica: periodicum Musei historiae naturalis Croatici*, 21 (Suppl. 1): 54-58.
- Gottstein Matočec, S., Ozimec, R., Jalžić, B., Kerovec, M., Bakran-Petricioli, T., 2002. Raznolikost i ugroženost podzemne faune Hrvatske. *Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, Zagreb*, str. 1-82.
- Herak, M., Bahun, S., Magdalenic, A., 1969. Pozitivni i negativni utjecaji na razvoj krša u Hrvatskoj. U: Petrik M, Herak M (ur.) *Krš Jugoslavije/Carsus Iugoslaviae*, vol. 6, JAZU, Zagreb, str. 45–71.
- Iliffe, T.M., 1992. Anchialine cave biology. U: Camacho, A.I. (ur.) *The Natural History of Biospeleology*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, str. 614–636.
- Iliffe, T., 2000. Anchialine cave ecology. U: Wilkens, H. i sur. (ur.), *Ecosystems of the world 30: Subterranean Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam, str.59-76.
- Iliffe, T. M., 2012. Diving investigations of Bermuda's deep water caves. *Natura Croatica: Periodicum Musei Historiae Naturalis Croatici*, 21 (Suppl. 1): 64-67.
- Iliffe, T.M., 2018. Collecting and processing crustaceans from anchialine and marine caves. *Journal of Crustacean Biology*, 38(3): 374-379.
- Jalžić, B., 2007. Medvjeda špilja na otoku Lošinju. *Speleolog*, 55 (1): 45-55.
- Kajan, K., Cukrov, N., Cukrov, N., Bishop-Pierce, R., Orlić, S., 2022. Microeukaryotic and Prokaryotic Diversity of Anchialine Caves from Eastern Adriatic Sea Islands. *Microbial Ecology* 83: 257–270.
- Karaman, G. 1969. XXI Beitrag zur kenntnis der Amphipoden Die Gattung *Hadzia* Kar. in Jugoslavien. *Acta, Musei Macedonici Scientarum Naturalium*, Skopje, 11 (9): 161-177.
- Karaman, G., 1984. Contribution to the knowledge of the amphipoda 133. new data on a genus *Hadzia* S. Kar. in Yugoslavia. *Poljoprivreda i šumarstvo, Titograd*, 30 (1): 13-31.
- Karaman, G., 1985. New dana on the genus *Niphargus* Schiödte (fam. Niphargidae) in Italy and adjacent regions. *Bolletino, Museo Civico di Storia Naturale di Verona, Verona*, 12: 209-228.

- Karaman, G. 1989. *Hadzia fragilis stochi*, n.ssp., from Italy (Amphipoda, Gammaridea, Hadziidae). *Fragmenta Balcanica, Musei Macedonici Scientiarum Naturalium*, Skopje, 14 (8): 69-80.
- Karaman, G. 1993. Crustacea Amphipoda di aqua dolce. *Fauna d'Italia*, vol. 31. Edizioni Calderini, Bologna, str. 1-337.
- Karaman, S. 1932. Beitrag zur Kenntnis der Süßwasser-Amphipoden. *Prirodoslovne rasprave*, Ljubljana, 2: 179-232.
- Karaman, S., 1953. Über subterrane Amphipoden und Isopoden des karsters von Dubrovnik und seines Hinterlandes. *Acta musei Macedonici scientiarum naturalium*, 7: 137-167.
- Kršinić, F., 1998. Vertical distribution of protozoan and microcopepod communities in the South Adriatic Pit. *Journal of Plankton Research*, 20 (6): 1033-1060.
- Kršinić, F., 2012. Description of *Stephos boettgerschnackae* sp. nov., a new copepod (Calanoida, Stephidae) from an anchialine cave in the Adriatic Sea. *Crustaceana*, 85 (12-13): 1525-1539.
- Kršinić, F., 2015. Description of *Stephos grievae* sp. nov. (Calanoida, Stephidae) from an anchialine cave in the Adriatic Sea. *Marine Biodiversity Records*, 8.
- Kršinić, F., 2017. A new species of *Speleophriopsis* (Copepoda: Misophrioida) from an anchialine cave in the Adriatic Sea, Mediterranean. *Marine Biodiversity*, 47 (3): 941-947.
- Kršinić, F., Böttger-Schnack, R., Vidjak, O., 2020. Small copepods of the deep South Adriatic Pit: diversity, seasonal and multi-annual dynamics, and implications from the regional hydrography. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (8): 1-30.
- Kršinić, F., Boxshall, G. A., 2021. New arietellid copepods (Calanoida, Arietellidae) from anchialine caves in the Eastern Adriatic Sea. *Zootaxa*, 4951 (1): doi: 10.11646/zootaxa.4951.1.4. PMID: 33903415.
- Marrack, L., Wiggins, C., Marra, J. J., Genz, A., Most, R., Falinski, K., Conklin, E., 2021. Assessing the spatial–temporal response of groundwater-fed anchialine ecosystems to sea-level rise for coastal zone management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31 (4): 853-869.
- Novosel, M., Jalžić, B., Novosel, A. E., Pasarić, M., Požar-Domac, A., Radić, I., 2007. Ecology of an anchialine cave in the Adriatic Sea with special reference to its thermal regime. *Marine Ecology*, 28: 3-9.

- Pécsi, M., Somogyi, S., 1967. Physisch-geographische Landschaften und geomorphologische Regionen Ungarns. Földrajzi Közlemény, Magyar Földrajzi Tarsosag, Budapest, 4, 285—304.
- Pérez-Moreno, J. L., Iliffe, T. M., Bracken-Grissom, H. D., 2016. Life in the Underworld: Anchialine cave biology in the era of speleogenomics. *International Journal of Speleology*, 45 (2): 149-170.
- Petkovski, T. K. 1955. IV Beitrag zur Kenntnis der Copepoden. *Acta Musei Macedonici Scientiarum Naturalium*, Skopje, 3 (3): 71-104.
- Petkovski, T. K. 1969. Einige neue und Bemerkenswerte Candoninae aus dem Ohridsee und Einigen anderen Fundorten in Europa (Crustacea – Ostracoda). *Acta Musei Macedonici Scientiarum Naturalium*, Skopje, 11 (5): 81-110.
- Petkovski, T. K. 1977. Ostracodenfauna des mindelsees (S. W. Deutschland). *Acta Musei Macedonici Scientiarum Naturalium*, Skopje, 15 (3): 49-94.
- Pohlman, J.W., 2011. The biogeochemistry of anchialine caves: progress and possibilities. *Hydrobiologia*, 677 (1): 33-51.
- Por, F.D., 2007. Ophel: a groundwater biome based on chemoautotrophic resources. The global significance of the Ayyalon cave finds, Israel. *Hydrobiologia*, 592: 1–10.
- Riedl, R., Ozretić, B., 1969. Hydrobiology of marginal caves. Part I. General problems and introduction. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 54 (4): 661–683.
- Riedl, R., 1966. *Biologie der Meereshöhlen*. Paul Parey, Hamburg, Berlin, str. 1–636.
- Ruffo, S., Krapp-Schickel, G. 1969. Hydrobiologie der Randhöhlen Teil II. Troglobionte Amphipoden aus Karstsiphonen von Istrien. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie*, Berlin, 54 (5): 685-696.
- Schellenberg, A. 1932. Weitere deutsche und ausländische Niphargiden. *Zoologische Anzeiger*, Jena, 102: 22-33.
- Sket, B., 1977. *Niphargus* im brackwasser. *Crustaceana*, (Suppl. 4): 188-191.
- Sket, B., 1981. Fauna of Anchialine (Costal) Cave Waters, its Origin and Importance. *Proceeding of 8th International Congress of Speleology*, Bowling Green, Kentucky, SAD: 645-647.
- Sket, B., 1986a. Ecology of the mixohaline hypogean fauna along the Yugoslav coast. *Stygologia*, 2 (4): 317-338.
- Sket, B., 1986b. Morfološke, hidrološke in biološke značilnosti obalnih (anhialinih) jam (na primeru dveh jam na Kornatih, Jugoslavija). *Naš krš*, Sarajevo, 12 (20): 59-61.

-
- Sket, B. 1988. Zoogeografija sladkovodnih in somornih rakov (Crustacea) v kvarnersko-velebitskom območju. Biološki vestnik, Ljubljana, 36 (2): 63-76.
- Sket, B., 1994. Distribution patterns of some subterranean Crustacea in the territory of the former Yugoslavia. Hydrobiologia, Dordrecht, 287: 65-75.
- Sket, B., 1996. The ecology of anchihaline caves. Trends of ecology and evolution, Oxford, 11 (5): 221-224.
- Sket, B., Karaman, G. 1990. *Niphargus rejici* (Amphipoda), its relatives in the Adriatic islands, and its possible relations to S. W. Asian taxa. Stygologia, Leiden, 5 (3): 153-172.
- Stock, J.H., Iliffe, T.M., Williams D., 1986. The concept of “anchialine” reconsidered. Stygologia, 2: 90–92.
- Surić, M., Lončarić, R., Lončar, N., 2010. Submerged caves of Croatia: distribution, classification and origin. Environmental Earth Sciences, 61 (7): 1473–1480.
- Surić, M., Richards, D. A., Hoffmann, D. L., Tibljaš, D., Juračić, M., 2009. Sea-level change during MIS 5a based on submerged speleothems from the eastern Adriatic Sea (Croatia). Marine Geology, 262 (1-4): 62-67.
- Zaninović, K., Tadić, P., 2008. Klimatski atlas Hrvatske/Climate atlas of Croatia. DHMZ, Zagreb, str. 1-172.
- Žic, V., Truesdale, V. W., Cukrov, N., 2008. The distribution of iodide and iodate in anchialine cave waters—Evidence for sustained localised oxidation of iodide to iodate in marine water. Marine Chemistry, 112 (3-4): 168-178.

ŽIVOTOPIS

Rođena sam 15. svibnja 1993. godine u Glini, u Republici Hrvatskoj. Pohađala sam Osnovnu školu Glina te Srednju školu Glina, smjer opća gimnazija. Tijekom osnovnoškolskog obrazovanja sudjelovala sam na brojnim natjecanjima, a u gimnaziji sam sudjelovala na državnom natjecanju iz geografije u Primoštenu. Osim na znanstvenom polju, ostvarila sam određene uspjehe i na umjetničkom polju. Bila sam dio dramske skupine Srednje škole Glina te sam također u sklopu programa skupine sudjelovala na natjecanjima. Nepresušan izvor inspiracije oduvijek mi je bila znanost, čak i u pjesmama koje pišem, pa sam naposljetku upisala Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, smjer Znanosti o okolišu 2013. godine, kao logičan nastavak mojih težnji ka znanstvenom ostvarenju. Izdvojila bih činjenicu da sam jedno vrijeme kao studentica imala priliku dijeliti spoznaje s velikanima znanosti na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu. To iskustvo koje je trajalo kraće vrijeme, ostavilo je u meni neizbrisiv trag i želju da barem djelomično živim disciplinu i predanost ljudi koje sam ondje upoznala. Odrasla sam i živim na obiteljskom poljoprivrednom gospodarstvu.