

TEMELJNE ZNAČAJKE I OČUVANJE KRŠKIH PODZEMNIH STANIŠTA U HRVATSKOJ

STRUČNI ČLANAK

LIVIJA CERANIĆ, NENAD BUZJAK I SANJA GOTTSTEIN

Hrvatska obiluje speleološkim pojavama koje su krška podzemna staništa iznimnih geomorfoloških i bioloških vrijednosti. Njihova raznolikost rezultat je složenih geoloških, geomorfoloških, hidroloških i klimatskih čimbenika te specifičnih mikroklimatskih uvjeta. U podzemlju prevladavaju stabilna temperatura, visoka vlažnost i smanjena dostupnost svjetla i hrane, što uvjetuje prisutnost specijalizirane faune. Hrvatska je dom velikog broja endemskih podzemnih organizama, čime se svrstava među najbogatije europske zemlje po bioraznolikosti podzemlja. Unatoč tome, ta staništa su ugrožena zbog antropogenih utjecaja poput zagađenja, građevinskih zahvata i klimatskih promjena. Sustav zaštite uključuje zaštićena područja i ekološku mrežu NATURA 2000, no potrebne su dodatne mjere za učinkovitu zaštitu. Predlaže se uspostava biospeleoloških rezervata i jačanje edukacije. Ključna je interdisciplinarna suradnja geografije i biologije u istraživanju i upravljanju. Obrazovanje i svijest javnosti igraju presudnu ulogu u dugoročnoj zaštiti ovih staništa u čemu je velika uloga nastavnika geografije i biologije.

Ključne riječi: krš, podzemna staništa, georaznolikost, bioraznolikost, zaštita prirode

Uvod

U krškim područjima Hrvatske postoji obilje podzemnih reljefnih oblika koji, raznolikošću svojih geomorfoloških svojstava i ekoloških uvjeta, kao staništa udomljuju raznovrsnu podzemnu faunu. Krška podzemna staništa Hrvatske su svjetski prepoznato prirodno bogatstvo (Deharveng i dr., 2019; Gottstein i dr., 2002; Sket, 2016). Stoga ih se štiti u okviru zaštićenih područja i lokaliteta ekološke mreže NATURA 2000 (Gottstein, 2010). Krški reljef općenito je važan predmet geografskih istraživanja. Geografi geomorfološkim, mikroklimatskim, hidrološkim i geokološkim istraživanjima doprinose poznavanju krških staništa. Dok biolozi istražuju specifičnosti

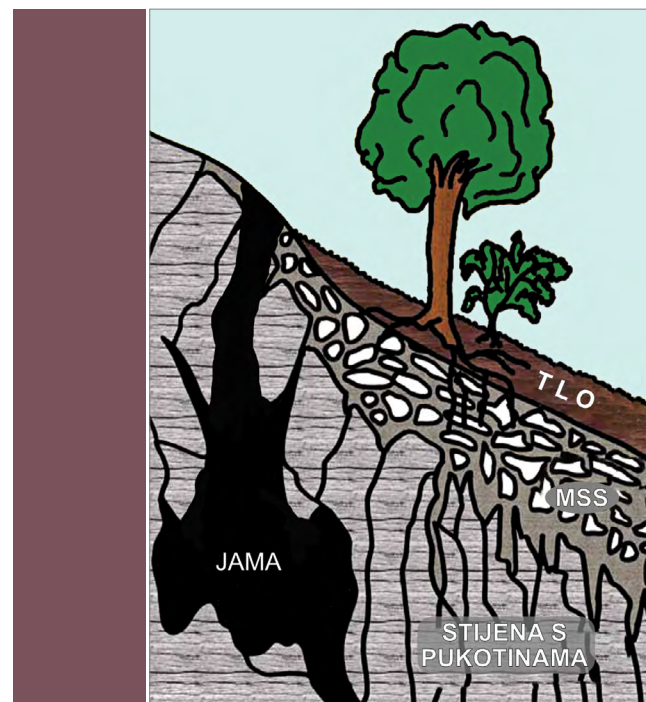
podzemne faune i njezine prilagodbe, geografija interdisciplinarnim pristupom i metodama integrira znanja o prirodnim i društvenim čimbenicima kako bi pružila temelj za učinkovito upravljanje i očuvanje krških ekosustava. Suradnja geografa i biologa na tom je polju ključna. Ovakav interdisciplinarni pristup omogućava ne samo cjelovitije razumijevanje, već i razvoj konkretnih mjera za zaštitu s ciljem smanjenja prijetnji i pritisaka. Geografi i biolozi na svim razinama obrazovanja i djelovanja u prostoru zajedničkim radom mogu učiniti puno na podizanju svijesti o važnosti krških staništa, posebno kroz edukativne programe i popularizaciju znanosti.

Krš i krška podzemna staništa Hrvatske

Krško područje obuhvaća 44 % površine Hrvatske (Bognar i sur., 2012), a razvijeno je u karbonatnim stijenama pretežito mezozojske i kenozojske starosti (Kuhta, 2002). U njemu je, osim krškog reljefa, čest i fluviokrški reljef karakterističan za terene u dolomitima i područjima izmjene stijena različite propusnosti, te zone kontaktnog krša (Bočić, 2003; Gams, 1986; Perica i Buzjak, 2001). Lokalno su razvijeni i drugi morfološki tipovi reljefa. Takav geomorfološki razvoj je odraz složenih procesa geneze i evolucije koji su diktirani geološkim, geomorfološkim, pedološkim, hidrološkim, hidrogeološkim, klimatskim i vegetacijskim uvjetima, te antropogenim utjecajima. Tipološka raznolikost doprinosi povećanju georaznolikosti i bioraznolikosti te posebnostima, poput obalnog i potopljenog krša u kojem su danas izraženi marinski procesi, zatim okoliša krških tekućica s izmjenom fluvijalnih i krških utjecaja ili krajobraza polja u kršu u kojima se snažno prožimaju prirodni procesi i antropogeni utjecaji zbog povećane koncentracije stanovništva, gospodarstva i prometa. S aspekta biogeografskih posebnosti i biološke raznolikosti, važno je istaknuti da se Hrvatska proteže kroz tri biogeografske regije (kontinentalnu, alpsku i mediteransku), obuhvaćajući različite morfološke tipove reljefa i klimatska područja. To svoj odraz ima u značajkama podzemnih krških staništa u sve tri navedene regije.

Krška područja odlikuju tri glavne posebnosti. Na njima se, ovisno o geološkim i hidrološkim uvjetima te geomorfološkim procesima, oblikuju brojni jedinstveni površinski i podzemni reljefni oblici (škrape, ponikve, uvale, kaverne, spilje, jame i dr.). Oni su u međusobnoj interakciji geomorfološkim procesima te stal-

nom izmjenom tvari i energije putem zraka, vode, sedimenata i živih organizama. Druga posebnost je poniranje i prevlast podzemnog otjecanja vode umreženim pukotinama i šupljinama. Fluviokrški reljef, zbog izmjene stijena različite propusnosti, može imati nešto razvijeniju mrežu površinskih tokova. Treća posebnost su brojne podzemne šupljine – od manjih pukotinskih, do prostranijih kanala i dvorana koje čine umrežene sustave ponekad na velikim udaljenostima, površinama te dubinama ispod Zemljine površine i razine mora. Sve one predstavljaju staništa. Neke pukotine su inicijalno nastale tijekom taloženja stijena, dok su druge nastale djelovanjem tektonskih pokreta. Nakon toga su širene i oblikovane složenim procesima: otapanjem posredstvom vode i biokemijskih procesa – korozijom, zatim mehaničkim trošenjem, erozijom, urušavanjem i dr. Šupljine koje su svojim dimenzijama dostupne za neposredna speleološka i biološka istraživanja (*speleološke pojave* ili *speleološki objekti*), prema svojim morfološkim značajkama se dijele na *spilje* (kanali su nagiba manjeg od 45°) i *jame* (kanali su nagiba većeg od 45°). Njihovim istraživanjem bavi se znanstvena disciplina *speleologija*. Osim po morfološkim značajkama, dijele se po hidrogeološkoj ulozi, hidrološkim i mikroklimatskim svojstvima i dr. Tu valja spomenuti i *kaverne* – podzemne šupljine koje (još) nemaju prirodni spoj s površinom (ulaz). Otkrivaju se nasilno (miniranjem, kopanjem) tijekom radova u kamenolomima, rudnicima, tunelima i građevinskim iskopima (Božičević, 1969; Garašić i Garašić, 2016; Vrkljan, 2012) ili geofizičkim metodama (npr. georadarom – Čeru i Gosar, 2019). U podzemna staništa se ubrajaju i za čovjeka neprolazne pukotine te međuzrnske šupljine u tlu i regolitu (intersticijska staništa – MSS). One nisu tema ovog rada, iako u integriranom pristupu zaštiti prirode moraju imati svoje mjesto (sl. 1).



Sl. 1. Presjek kroz podzemna krška staništa. MSS = kopneno intersticijsko stanište (Gottstein, 2010.)

Hrvatski krš je poznat po brojnim speleološkim pojavama. Speleolozi svake godine pronalaze veći broj novih spilja i jama koje mogu biti interesantna staništa. U Hrvatskoj je trenutno istražena 61 spilja i jama dublja od 250 metara, od čega su četiri jame dublje od 1000 metara i četiri spilje dulje od 10 km (stanje 27. 11. 2024.; Barišić, 2024). Najveći broj dubokih jama je na planini Velebit. Neke spilje imaju velike jamske kanale koji povezuju horizontalne dijelove. Primjer je Jamski sustav Crnopac. Duljina svih kanala je 63.746 m, a najdublja točka je 830 m ispod razine ulaza, s tim da je ukupna duljina svih jamskih dijelova puno veća, što je odraz složene speleogeneze (Bočić, 2019; Barišić i Barišić, 2020). Pojedine jame imaju dugačke horizontalne dijelove, poput Slovačke jame koja je duboka 1.324 m i duga 6.416 m.

Nabrojene šupljine i pukotine mogu biti ispunjene zrakom (sl. 2), vodom (sl. 3) te raznim tipovima sedimenata: organskim i anorganskim. U njihovom zraku su često povećane koncentracije plinova, poput ugljikovog dioksida i radona te povećane vrijednosti relativne vlažnosti (Buzjak i dr., 2024). Zimi je podzemni zrak često topliji, a ljeti hladniji od površinskog što potiče njegovo strujanje. Slično vrijedi i za temperaturu vode, čiji kemijski sastav ovisi o duljini zadržavanja u podzemlju, sastavu stijena i drugim posebnostima. Karakteristike sedimenata (praha, pijeska, šljunka, kršja, blokova, organskog materijala, snijega i leda) ovise o sastavu stijena, donosu materijala (vodom, vjetrom, gravitacijski kroz ulaze s površine), organskim prinosima (detritusu koji predstavlja ostatke biljnog i/ili životinjskog podrijetla, gvanu) (Miko i dr., 2001; Kwokal i dr., 2014), djelovanju čovjeka u prošlosti (prisutnost metala, vatrišta, kostiju i izmeta vidljivih u kulturnim slojevima - Čečuk i Radić, 2005; Forenbaher i Kaiser, 2008) i zagađivalima koje donosi voda ili su rezultat ilegalnog odlaganja otpada (Butorac i dr., 2020; Kuhta, 2011; Novak i Butorac, 2020).

Osnovna ekološka obilježja podzemnih staništa su:

- smanjenje intenziteta Sunčevog svjetla u ulaznim i prijelaznim područjima te potpuni mrak u dubljim dijelovima (sl. 4),
- sezonski/godišnji hod temperature i relativne vlažnosti zraka čije se oscilacije smanjuju s udaljavanjem od ulaza i površine,
- usmjerena cirkulacija zraka koja se sezonski mijenja (ljetozima),
- procjedne, tekuće i stajaće vode te stalno potopljena (freatska) zona čiji je prostorni raspored i opseg uvjetovan svojstvima stijena i uvjetima cirkulacije vode,



Sl. 2. Dvorana spilje Kuštrovke (Gorski kotar – primjer suhog spiljskog staništa s vodom prokapnicom i cijednicom te raznim sedimentima (foto: N. Buzjak).



Sl. 3. Povremeno plavljeni kanal s jezerom u spilji Miljacka 2, NP Krka (foto: N. Buzjak)

- općenito relativno niska i stabilna temperatura vode u odnosu na površinu kopna,
- izostanak primarnih proizvođača i kratki hranidbeni lanci s malim brojem svojti,
- relativno mala količina hrane koja većim dijelom dolazi iz nadzemnih staništa.

Osim smanjenog intenziteta i trajanja u zoni ulaza te potpunog izostanka dnevne svjetlosti dublje, važan ekološki čimbenik u podzemnim krškim staništima je voda. Voda doprinosi njihovoj raznolikosti jer je medij koji s površine donosi mineralne i hranjive tvari u duboke i biološki neproduktivne zone podzemlja (Brkić i dr., 2019). Mnogo podzemnih šupljina povremeno, sezonski ili stalno sadrži vodu u raznim oblicima – kao *prokapnicu* (procjeđuje se s površine mrežom pukotina i sa stropa kaplje u kanale), *cijednicu* (cijedi se po stijenkama kanala), *konden-*

ziranu vodu (nastalu kondenzacijom iz toplijeg i vlažnijeg zraka u dodiru s hladnom površinom stijena u podzemlju), *stajalice vode* (nastale nakupljanjem cijednice, prokapnice ili kondenzirane vode, kao ostatke tekuće vode u sušnim razdobljima) i *tekuću vodu* povremeno plavljene (epifreatske) ili potopljene (freatske) zone.

U priobalnom i otočnom pojasu, nakon postglacijalnog izdizanja razine mora brojne su spilje i jame ispunjene morem i bočatom vodom (Bakran-Petricioli i Petricioli, 2008). Posebno zanimljiva staništa su podvodni izvori (*vrulje*). Vruljama, uglavnom povremeno ili sezonski, iz kopnenog zaleđa dotječe slatka voda. U njima vladaju specifični uvjeti koji su posljedica izmjena fizikalno-kemijskih svojstava slane i slatke vode (Surić i dr., 2015) te njene velike razorne snage tijekom dotjecanja, pojačane



Sl. 4. Izmjena biljnog pokrova na ulazu spilje Snježnjače (NP Plitvička jezera) - od drveća i grmlja na rubu i stijenama, preko papratnjača do mahovina i algi dublje u zonama sjene - odličan je bioindikator izmjene stanišnih uvjeta uslijed smanjenja svjetla (foto: N. Buzjak).

nošenim sedimentom čime može destruktivno djelovati na podzemne populacije. Duž jadranskih obala kopna i otoka u blizini mora, zabilježene su brojne *anhijaline* spilje i jame (od grčkog *anhialos*, "blizu mora"). Zbog procjeđivanja vode iz nadzemlja i povezanosti s morem kroz pukotinske sustave u stijenama, u njima su anhijalina jezera sa specifičnom stratifikacijom (vertikalnom raspodjelom) vode. U gornjem sloju je rjeđa (najčešće) oborinska voda, a u donjem je gušća morska voda (sl. 5 i 6) (Gottstein i dr., 2007, 2012; Sket, 1996; Sket, 2019). Njihove su značajke pod velikim utjecajem klimatskih promjena, s njima povezanih oscilacija padalina i razine mora. Zanimljive su spilje

i izvori s povećanom koncentracijom sumpora (Cukrov i dr., 2012). Podzemna staništa u priobalnim morskim zonama imaju i specifičnosti s obzirom na promjene morske razine te slaz slatke i morske vode kao i iznimno veliku količinu organskog materijala uslijed čega se na dnu pojavljuje sumporovodik (Gottstein i dr., 2007; Novosel i dr., 2007; Sket, 1996). U spiljama i jamama u planinskim područjima se povremeno javlja ili trajno zadržava snijeg i led koji snižava temperaturu ili čijim otapanjem mogu nastati značajne količine vode (Buzjak i dr., 2014; Buzjak i dr., 2018). Uslijed klimatskih promjena njegova rasprostranjenost i količina se znatno smanjila što mijenja uvjete u staništima.



Sl. 5. Ulaz u anhidralnu jamu Bunar jama na Bisagi u Kornatskom arhipelagu (foto: S. Gottstein)



Sl. 6. Ronioci u anhidralnom jezeru Medvjede pećine (Lošinj). Zbog miješanja slojeva površinske slatke vode i dublje morske vode voda je "staklasta" (foto: N. Buzjak)

Biospeleološka istraživanja

Biospeleologija je grana speleologije koja proučava podzemne organizme i njihova staništa dok je speleobiologija grana biologije koja proučava život u podzemnim staništima (sl. 7). Životinje koje ih naseljavaju uglavnom su prvotno živjele na površini, no tijekom dugog vremenskog perioda evoluirale su i prilagodile se novim uvjetima života u podzemlju. Spiljske životinje stoga imaju specifična obilježja koja im omogućuju bolje prilagođavanje uvjetima podzemnog okoliša u odnosu na vrste iz kojih su se razvile. Isto tako, neka suvišna obilježja su

izgubile, poput očiju i pigmenta. Pojava redukcije pojedinih stečenih obilježja, odnosno potpuni ili djelomični gubitak anatomskih struktura ili fizioloških procesa koji više nisu u funkciji i/ili ponašanja naziva se *regresivna evolucija* (Culver i Pipan, 2019).

Do sada je u svijetu opisano više od 7500 podzemnih svojti (vrsta i podvrsta), od čega oko 1000 u Dinaridima. U Hrvatskoj je poznato više od 500 podzemnih svojti, što je gotovo 7 % svjetskog broja vrsta. Od toga više od 50 % su endemi. U pogledu najveće brojnosti kopnenih spiljskih vrsta dominiraju kornjaši (Coleoptera) s više od 100 vrsta, zatim slijede lažištupavci (Pseudoscorpiones), pauci (Ara-



Sl. 7. Biospeleološko istraživanje u ponorskoj spilji Ponikve II (Gorski kotar; foto: N. Buzjak).

Sl. 8. Ogulinska špiljska spužvica *Eunapius subterraneus* (foto: M. Lukić) Preuzeto s: <https://www.hbsd.hr>Sl. 9. Dinaridski špiljski cjevaš *Marifugia cavatica* (foto: J. Bedek). Preuzeto s: <https://www.hbsd.hr>

neae), puževi (Gastropoda) i dvojenoge (Diplopoda). Među vodenim vrstama dominiraju rakovi (Crustacea), od kojih rakušci (Amphipoda) obuhvaćaju gotovo polovicu ukupno opisanih podzemnih vrsta rakova iz Hrvatske. Posebnost spiljske faune su i jedinstveni organizmi, poput jedine do danas poznate slatkovodne podzemne spužve, ogulinske spiljske spužvice *Eunapius subterraneus* (sl. 8; Bedek i dr., 2008), zatim jedinog poznatog slatkovodnog podzemnog školjkaša - dinarskog špiljskog školjkaša *Congerina spp.*, jedinog europskog slatkovodnog podzemnog kralješnjaka - čovječje ribice *Proteus anguinus*, jedinog podzemnog slatkovodnog žarnjaka *Velkoverhia enigmatica*, te jedinog podzemnog slatkovodnog mnogočetinaša *Marifugia cavatica* (sl. 9).

Klasifikacija faune krškog podzemlja

Razvojem znanja o fauni i ekološkim uvjetima u krškom podzemlju, pojavila se potreba za praktičnim klasifikacijama faune (Štević, 1997). One se, u osnovi, mogu podijeliti u dvije skupine:

(I) **ekološke klasifikacije**, koje se temelje na specifičnim stanišnim uvjetima i ekološkim odnosima među organizmima i njihovim okolišem te iz njih proizašlim evolucijskim posljedicama izraženim u morfološkim i fiziološkim specijalizacijama;

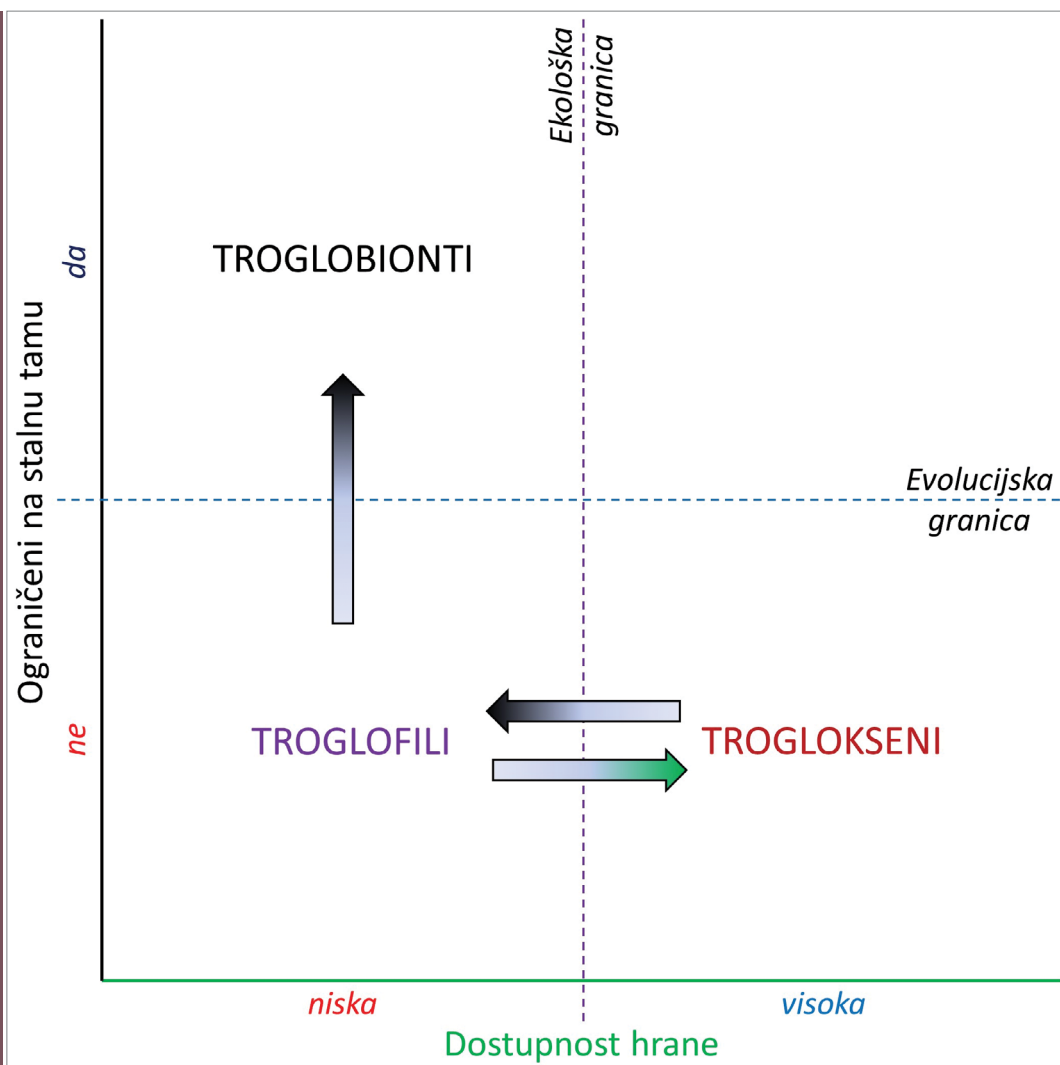
(II) **evolucijske klasifikacije**, koje naglasak stavljaju na tzv. troglomorfizam, tj. na indikatorske morfološke promjene koje su posljedica evolucijskih prilagodbi životu u podzemlju kroz prirodnu selekciju i adaptaciju (Christiansen, 2012).

Usljed rastućeg broja pojmova vezanih uz podzemnu faunu i različite stupnjeve adaptacije, znanstvenici se nisu mogli usuglasiti oko

opće prihvaćene terminologije zbog usredotočenosti samo na određene dominantne skupine organizama. Prema klasifikaciji austrijskog entomologa Ignaza Rudolpha Schinera iz 1854. godine utemeljenoj na ekološkim odnosima te kasnijim nadopunama biologa Emila Racovitze 1907. godine (poznatoj kao sustav klasifikacije podzemnih organizama Schiner-Racovitza), razlikuju se tri kategorije organizama: *troglobionti* (pravi ili isključivi stanovnici podzemlja koji su mu potpuno prilagođeni i ne mogu živjeti niti se razmnožavati izvan njega), *troglofilni* (djelomično prilagođeni životu u podzemlju) i *troglokseni* (koji su slučajno upali ili uneseni u podzemlje ili se sporadično pojavljuju u podzemlju; sl. 10; Gottstein i dr. 2002). O ovoj se klasifikaciji kritički raspravljalo u znanosti, ukazivalo na njene nedostatke, više autora ju je nadopunjavalo, ali se ipak i dalje koristi kao prepoznatljiva univerzalna jezična forma koja iziskuje modifikacije i razlikovanje prema tipu staništa i različitim stupnjevitim prilagodbama na podzemne uvjete života (Sket, 2008; Sket, 2016; Trajano i Carvalho, 2017; Culver i Pipan, 2019).

U svom pregledu klasifikacija podzemne faune Culver i Pipan (2019) su razmotrili vrste i populacije s obzirom na način na koji koriste podzemna staništa, neovisno o morfološkim promjenama. Podijelili su ih na četiri skupine:

- 1) vrste čiji se svi životni ciklusi odvijaju isključivo u podzemnim staništima,
- 2) vrste koje cijeli životni ciklus mogu dovršiti u podzemnim staništima, ali to mogu i u staništima s ograničenim dnevnim svjetlom,
- 3) vrste koje dio životnog ciklusa provode u podzemnim, a dio u površinskim staništima; to može biti godišnja (šišmiši) ili dnevna izmjena (spiljski zrikavci),
- 4) vrste koje povremeno ulaze u podzemna staništa, ali tamo ne formiraju populacije.



Sl. 10. Međuodnosi između evolucijskih (povijesnih) i ekoloških (današnjih) čimbenika koji definiraju uvjete za trogloksene, troglofile i troglobionte (prema Trajano i Carvalho, 2017).

Schinerova klasifikacija je lako razumljiva podjela na stalne stanovnike spilja i jama (tj. one koji se u podzemlju mogu razmnožavati) i one koje to nisu. Definicija troglobionata je izazvala najmanje polemika te se, onako kako ju je oblikovao Schiner, koristi i danas. O druge dvije kategorije postoje brojne polemike povezane s činjenicom jesu li u pitanju izvorno

nadzemne vrste koje su sposobne održavati stabilne podzemne populacije ili se razmatraju vrste koje trajno ili povremeno nastanjuju podzemna staništa, no vezane su za površinu zbog ishrane ili razmnožavanja. Naime, podzemna staništa nisu naseljena samo organizmima koji su se prilagodili životu u tami, već i onima koji nisu izgubili pigment i/ili oči kao glavne poka-

zatelje evolucijskih prilagodbi na podzemna staništa.

Troglokseni su "gosti" i pojavljuju se slučajno u spiljama i jamama, a uobičajeno se pojavljuju izvan njih. Troglifili vole podzemne uvjete i redovito naseljavaju dijelove spilja i jama s dnevnim svjetlom, no rijetko izvan. Troglobionti su pravi stanovnici podzemlja i žive isključivo u speleološkim pojavama u kojima se odvijaju svi dijelovi njihovog životnog ciklusa. Izvan njih se mogu naći samo u izvanrednim okolnostima, npr. ako ih izbací voda kao npr. čovječe ribice (Jelić i dr., 2015). Također, prefiks "troglo-" se koristi za ujedinjavanje svih podzemnih organizama bez obzira na specifične afinitete prema podzemnim staništima. Kao rezultat toga, neki prefiksi se namjerno izbjegavaju kako bi se spriječila nepotrebna zavrzlama oko kategorizacije. Primjerice, ne koristi se prefiks "stigo-", kojim autori posebno kategoriziraju podzemne vodene organizme. Međutim i na ova klasifikaciju ima zamjerki jer obuhvaća i one vodene organizme koji su amfibijskog stila života i ne žive isključivo u vodi.

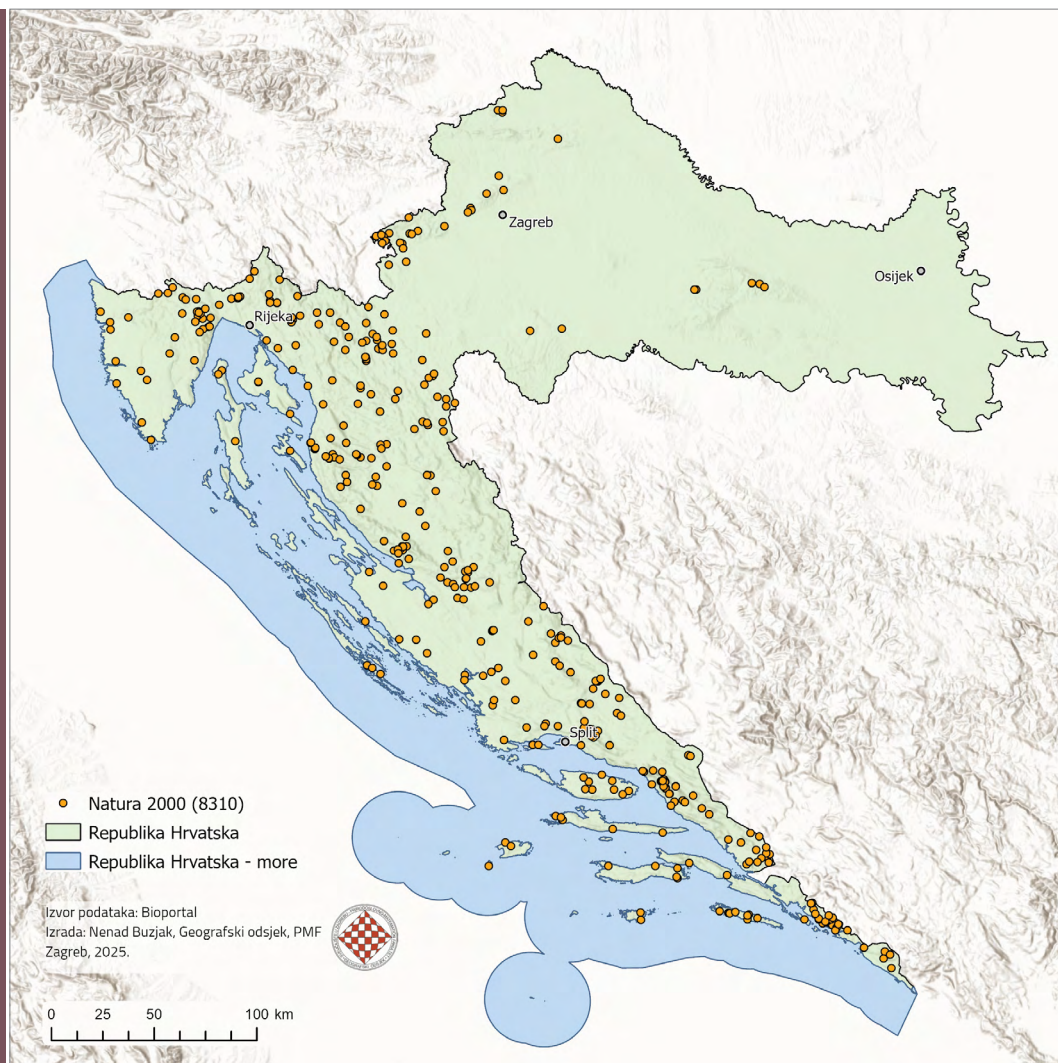
Obilježja podzemnih organizama koja su razvila kao prilagodbu na staništa su: redukcija ili potpuni nedostatak organa vida i ostalih u podzemlju nepotrebnih organa, gubitak pigmenta, stanjivanje egzoskeleta, usporeni metabolizam, složenija građa mozga i slično. Kako u podzemlju nema biljaka, ekosustav je bitno različit od onog nadzemnog, a jedini koji su preuzeli ulogu primarnih proizvođača su bakterije. Organska tvar u podzemlje dolazi isključivo iz nadzemnih ekosustava vodom, zrakom i organizmima. Na početku spiljskog hranidbenog lanca nalaze se brojni razlagači usmjereni na detritus kao primarni izvor hrane (*detritofagi*). To su gljive i bakterije koje razlažu mrtvu organsku tvar biljnog ili životinjskog podrijetla (uginule životinje, izlučevine životinja, razgrađeni listinac, druge usitnjene biljne dijelove i

dr.), igrajući ključnu ulogu na početku hranidbenog lanca spiljskih staništa, čineći pripremu i osnovu na koju se nadovezuju konzumenti te predatori. S obzirom na skromne izvore hrane, životinje iz podzemnih ekosustava su morale evoluirati na način da povećaju iskoristivost energije, povećaju otpornost na gladovanje i uspore metabolizam (Bedek i dr., 2009; Gottstein i dr., 2001).

Klasifikacija podzemnih staništa

Razmatrajući specifičnost, raznolikost i opću biološku vrijednost europskih podzemnih staništa, na području Hrvatske zabilježena je većina njihovih tipova, izuzev onih u lavi. Klasifikacija i opisi pojedinih tipova s pripadajućom faunom razvijeni su na temelju preklapanja više kriterija: geoloških uvjeta, strukture staništa i pripadajuće morfologije te ključnih ekoloških čimbenika. Prema njima odabrane su i dominantne/temeljne vrste za svako stanište. Da bi se postigla cjelovitost i bolje razumijevanje tipologije podzemnih staništa te razina njihove ugroženosti i potrebnih mjera zaštite, korisna je brojna literatura te znanstvene činjenice i podatci temeljeni na postojećim europskim klasifikacijama staništa (NATURA 2000, EUNIS, PHYSIS, CORINE; Gottstein, 2010).

U sustavu ekološka mreža NATURA 2000 samo se dva stanišna tipa odnose na podzemlje: 8310 - Spilje i jame zatvorene za javnost (sl. 11) i 8330 - Preplavljene i dijelom preplavljene morske spilje. Usprkos stalnom razvoju europske klasifikacije stanišnih tipova, niti jedna od tih klasifikacija ne obuhvaća sve posebnosti pojedinih država. U takvim se slučajevima pristupilo izradi prilagođenih i nadopunjenih nacionalnih klasifikacija. I u Hrvatskoj je zaključeno da europske klasifikacije nisu dostatne za iskazivanje ukupnog bogatstva i raznolikosti



Sl. 11. Špilje i jame koje su stanišni tip 8310 u ekološkoj mreži Natura 2000 (stanje 2024.).

stanišnih tipova Hrvatske, naročito u skupinama podzemnih i morskih staništa (Gottstein, 2010). Upravo iz tog razloga krenulo se s novim prijedlogom klasifikacije (Tab.1.).

Tab. 1. Klasifikacije vodenih i kopnenih podzemnih ekosustava i staništa.

1. KOPNENA PODZEMNA STANIŠTA
1.1. Kopneni intersticij (pukotine plitkih supstrata ili MSS)
1.1.1. Kopneni intersticij na nekrškoj podlozi
1.1.2. Kopneni intersticij na karbonatnoj podlozi
1.2. Staništa ulaznih (sumračnih) špiljskih područja
1.3. Staništa špiljske tame
1.3.1. Staništa špiljske tame ovisna o unosu organske tvari s površine
1.3.2. Energetski samostalna staništa špiljske tame
2. VODENA PODZEMNA STANIŠTA
2.1. Intersticijska vodena staništa
2.1.1. Morska i priobalna intersticijska staništa
2.1.2. Slatkovodna intersticijska staništa
2.1.2.1. Hiporeal (hiporeička zona)
2.1.2.2. Hipotelminoreal (hipotelminoreička zona)
2.1.2.3. Freatik (freatička zona)
2.2. Vode podzemnih šupljina
2.2.1. Procjedne vode epikrške zone
2.2.2. Vode ponornice (egzogene rijeke)
2.2.3. Vode estavela
2.2.4. Izvorske vode (izvori, vrela, oka)
2.2.5. Stalne podzemne tekućice (endogene rijeke)
2.2.6. Špiljske stajačice
2.2.6.1. Špiljske lokve
2.2.6.2. Špiljske vode nakapnice (kamenice)
2.2.6.3. Sustavi potopljenih pukotina (sifonska jezera)
2.2.7. Špiljske vode s autohtonim izvorom energije
2.2.8. Termalne podzemne vode
2.2.9. Anhidrijalna podzemna vodena staništa
2.2.10. Morske špilje
3. AMFIBIJSKA PODZEMNA STANIŠTA
3.1. Higropetrik
3.2. Marifugijske konkrecije

Izvor: Gottstein, 2010.

Ugroženost i zaštita staništa i faune

Unatoč neizmjernej vrijednosti podzemnih krških staništa Hrvatske, nemali broj aktera još uvijek nije posve svjestan važnosti njihova očuvanja. Ona se neprestano uništavaju, a njihova se jedinstvena fauna nepovratno gubi. No na taj način se vrlo često ugrožavaju i vrijedni podzemni resursi poput vode, te se mijenja georazolikost. Najviše stradaju staništa i populacije u lako dostupnim spiljama i jamama. Promjene u njihovom sastavu i brojnosti su indikator neželjenih promjena što zbog npr. korištenja vode, može biti značajno i za lokalno stanovništvo te poticaj za istraživanje uzroka promjena.

Glavni uzroci ugroženosti su brojni. Jedan je fizičko uništavanje spilja i jama tijekom građevinskih zahvata i u kamenolomima kada se njihovo otkriće često taji da ne bi došlo do obustave radova pa budu razorene ili zatrpane bez istraživanja. To je praksa, iako Zakon o zaštiti prirode (NN 80/13) obavezuje prijavu njihovog otkrića. Slijedi zatrpavanje otpadom (sl. 12), zatim zagađenja izazvana povećanjem koncentracije teških metala (Vrbek i Buzjak, 2004), naftnim derivatima, deterdžentima, pesticidima i drugim toksičnim tvarima u podzemnim vodama (Kuhta i Stroj, 2010; Trpčić i Kapor, 2008). Problemi se mogu javiti zbog neprikladnog turističkog uređenja, korištenja spilja i jama u druge gospodarske svrhe (uzgoj hrane, crpljenje vode) te vandalizma. Poseban izazov je globalna promjena klime koja utječe i na podzemlje. Ugroženost zbog neprimjerenog i ilegalnog sakupljanja spiljske faune zbog neznanja i raznih neprilagođenih alata rezultiraju ulovom prekomjernog broja jedinki pojedinih vrsta. Time su posebno ugrožene populacije kornjaša te neke pijavice i puževi.



Sl. 12. Komunalni otpad i lešina domaće životinje u jami kraj Perušića (foto: N. Buzjak).

Zbog sve veće urbanizacije mehanički se oštećuju gornji slojevi tla važni zbog filtriranja štetnih tvari i stjenoviti nadsloj spiljskih staništa. Prisutno je betoniranje i asfaltiranje nadsloja (npr. Đurovića špilja ispod zračne luke Dubrovnik – Buzjak, 2006; Zametska špilja u Rijeci, Martina jama kod Šibenika), što smanjuje procjeđivanje vode s hranjivim tvarima u spiljska staništa, i povećava prijetnju od prodora zagađivala povezanih s prometom. Devastacija podzemnih vodenih staništa događa se zbog otpada (sl. 13). Ugrožavaju ih opsežni hidrotehnički zahvati, od smanjenja slijevnog područja, preko melioracijskih zahvata i prekida prirodnog sustava plavljenja krških polja, do promjena vodotoka, pri čemu se vodena staništa znat-



Sl. 13. Komunalni otpad u ponoru Rupećica, lokalitetu NATURA 2000 i staništu čovječje ribice. Očišćen je akcijom Hrvatskog biospeleološkog društva, SO HPD Željezničar i inicijative Čisto podzemlje (foto: P. Kovač Konrad).

no smanjuju ili se mijenjaju njihova svojstva (zagrijavanje, promjene koncentracije otopljenog kisika i udjela organskih tvari, onečišćenja; Peručko jezero, kanjon Dobre – Pletikosić i Janton, 2016; Vilina špilja – sustav izvor Omble).

Područja važna za zaštitu spiljske faune

Gotovo je za cijeli krš Hrvatske nužna zaštita i staništa i vrsta. Ona se provodi u okviru zaštićenih područja/prostora te lokaliteta i areala ekološke mreže NATURA 2000. Već sada se

neka područja izdvajaju svojom bioraznolikošću te ih je potrebno posebno zaštititi. Stoga je prijedlog o osnivanju biospeleoloških rezervata jedan od ključnih prioriteta za zaštitu koji treba zaživjeti i ugraditi ga u strategije i akcijske planove zaštite Hrvatske (Gottstein i dr., 2001).

Prvo takvo područje je Ogulinsko – plašćanska zavala (Bočić i dr., 2016). Odlikuje se fluvijalnim, fluviokrškim i krškim reljefom s velikim spiljskim sustavima sa značajnim akumulacijama vode i refugijima s brojnim rijetkim vrstama. Zbog iznimne bioraznolikosti spiljske faune velikim dijelom je uključena u NATURA

2000. Ističe se raznolikošću vodene spiljske faune s raznim reliktima, brojnim endemičnim i ugroženim vrstama kao što su *Eunapis subterraneus*, *Proteus anguinus*, *Marifugia cavatica* i *Velkovrhia enigmatica*. Tu se ubrajaju još i mnoge vrste puževa (Gastropoda) rodova: *Belgrandiella*, *Sadleriana*, *Hauffenia*; virnjaka (Tricladida) i rakova (Crustacea) među kojima se ističu endemične svojte: *Monolistra caeca meridionalis*, *Typhlogammarus mrazeki* i *Niphargus redenseki*, a od kopnenih endema i mnogi kornjaši (Coleoptera): *Croatotrechus tvrtkovic* i *Bathyscimorphus croaticus*.

Cijelo područje Velebita odlikuje se velikom speleološkom raznolikošću s brojnim staništima - od ponora ličkih ponornica, preko dubokih jama, sniježnica i ledenica viših gorskih pojaseva, do vrulja i anhijalinih objekata u obalnom podnožju. Tu treba još ubrojiti i Biokovo s raznovrsnim spiljskim staništima - od "toplih" spilja u primorskom mediteranskom podnožju do jama i ledenica na vršnoj zaravni i spilja na kontinentalnoj padini (Sudar i Bregović, 2017). Vrijedi spomenuti i dubrovačko područje s Konavlima gdje se ističu dvije spilje, geomorfološki spomenici prirode: Močiljska spilja i Spilja za Gromačkom vlakom, te spiljski sustav Vilina špilja - izvor Omble (Ozimec i dr., 2009). Na tom području iznimno je bogata i vodena i kopnena spiljska fauna, a dosadašnjim je istraživanjima utvrđeno oko stotinjak spiljskih vrsta. Dubrovačko je područje, zbog iznimne bioraznolikosti spiljske faune, uključeno u mrežu NATURA 2000. Sljedeće važno područje su srednjodalmatinski i južnodalmatinski otoci. Među njima se posebno ističu Brač, Hvar, Vis, Korčula i Mljet zbog iznimno bogate spiljske faune s brojnim *stenoendemima* koji su poznati samo s tipskog lokaliteta tj. iz jedne spilje ili jame iz koje su opisane vrste. Sjeverozapadni dio otoka Mljeta zaštićen je u kategoriji nacionalnog parka, dok su ostali otoci uključeni u mrežu NATURA 2000.

Predlaganje mjera zaštite

Zaštita krških krajobrazza, podzemnih staništa i njihove faune zahtijeva provedbu složenih mjera prilagođenih specifičnostima krša. Ova staništa potrebno je štititi na razini pojedinačnih lokaliteta, ali i šireg utjecajnog područja, uključujući nadzemlje i slijevno područje iz kojeg površinskom i podzemnom cirkulacijom vode mogu doći različite prijetnje i pritisci. Voda može vrlo brzo prenijeti neželjene tvari i energiju u podzemne ekosustave pri čemu su posljedice teško predvidive, osobito kada postoji ograničeno poznavanje režima i smjerova kretanja podzemnih voda. Uz to, konflikti interesa između različitih korisnika prostora - lokalnog stanovništva, gospodarstva, prometa i energije - dodatno mogu otežati stanje.

Za učinkovitu zaštitu nužan je interdisciplinarni pristup koji povezuje stručnjake iz područja geologije, hidrogeologije, hidrologije, geomorfologije, geografije, biologije i drugih znanosti te zainteresiranu javnost, posebno lokalne zajednice. Nezamjenjiva je uloga speleoloških udruga i inicijative Čisto podzemlje. Uspostava sustava upravljanja vrstama od velike je važnosti te uključuje redoviti monitoring populacija i istraživanje njihove šire rasprostranjenosti. Uz *in-situ* mjere zaštite, preporučuje se i *ex-situ* zaštita, primjerice pohranjivanje genetskog materijala u banke gena, čime se osigurava očuvanje ugroženih svojti za buduće generacije.

Edukacija i podizanje svijesti javnosti od presudne su važnosti za dugoročnu zaštitu. Osvješćivanje o ugroženosti krških staništa i njihovih jedinstvenih vrsta može se postići kroz razne edukativne i promotivne aktivnosti, poput postavljanja informativnih ploča na značajnim lokalitetima. U sustave formalnog obrazovanja potrebno je uključiti sadržaje o posebnostima krša, njegovim ugroženim vrstama i načinima zaštite. Također, jedinice lokalne uprave i nevla-

dine organizacije u suradnji mogu organizirati tečajeve i radionice o zaštiti prirode. Informiranje javnosti putem medija, ključno je za širenje svijesti o potrebi zaštite. Uz informativne kampanje, važno je dosljedno provoditi zakonske mjere, poput kontrole neprikladnog korištenja i

rigoroznog kažnjavanja ilegalnog odlaganja otpada. Samo integriranim i sustavnim pristupom moguće je osigurati dugoročnu zaštitu ovih jedinstvenih ekosustava, čuvajući njihovu georaznolikost, bioraznolikost i funkcionalnu važnost.

Zaključak

Hrvatska, kao zemlja bogata krškim podzemnim staništima, predstavlja okoliš jedinstvenih ekosustava te iznimne biološke i georaznolikosti koji čine neprocjenjivu prirodnu baštinu. Međutim, podzemna krška staništa i njihove vrste sve su ugroženija zbog negativnih utjecaja urbanizacije, onečišćenja, neprikladnog upravljanja prostorom, neadekvatne zaštite i nedovoljno razvijene svijesti. Mnoge od tih vrsta su endemične, a njihovo očuvanje od globalnog je značaja za bioraznolikost i ekološku ravnotežu. Ključni korak u zaštiti ovih staništa je kontinuirano i interdisciplinarno istraživanje kako bi se razumjeli složeni procesi u podzemlju. Uz to, edukacija i podizanje svijesti javnosti o važnosti ovih staništa i njihovoj osjetljivosti na ljudske aktivnosti nužni su za dugoročnu zaštitu. U tom procesu, nastavnici geografije i biologije imaju ključnu ulogu u oblikovanju generacija koje razumiju važnost očuvanja prirodnih vrijednosti. Kroz kvalitetne školske kurikule, nastavnici mogu integrirati sadržaje koji potiču razumijevanje krških ekosustava, njihovih ekoloških i znanstvenih vrijednosti te prijetnji s kojima se suočavaju. Terenska nastava, posjete speleološkim lokalitetima, radionice i projektna nastava pružaju priliku učenicima da neposredno iskuse važnost zaštite prirode i razviju odgovornost prema okolišu. Takvi programi mogu uključivati proučavanje staništa, praćenje utjecaja čovjeka na prirodu te rasprave o praktičnim rješenjima za očuvanje podzemlja. Nastavnici, kroz edukaciju i vođenje učenika, mogu biti ključni nositelji promjena i ambasadori zaštite prirode. Stoga je nužno kontinuirano unapređivati obrazovne programe i osigurati da buduće generacije razumiju vrijednost podzemnih staništa te budu aktivni sudionici u njihovoj zaštiti i očuvanju za budućnost.

Literatura

- Bakran-Petricioli, T., Petricioli, D. 2008: Habitats in Submerged Karst of Eastern Adriatic Coast - Croatian Natural Heritage. *Croatian Medical Journal*, 49, 455-458
- Barišić, A. 2024: Popis najdubljih i najduljih speleoloških objekata u Republici Hrvatskoj. HPS, <https://www.hps.hr/speleologija/speleoloski-objekti/> (9. 1. 2025.)
- Barišić, A., Barišić, T. 2020: Jamski sustav Crnopac 2015.-2020. Vlastita naklada, Šibenik
- Bedek, J., Bilandžija, H., Jalžić, B. 2008: Ogulinska špiljska spužvica *Eunapis subterraneus* Sket et Velikonja, 1984, rasprostranjenost i ekologija vrste i staništa, *Modruški zbornik*, 2, 103-130
- Bedek, J., Bilandžija, H., Hamidović, D., Cvitanović, H., Dražina, T., Jalžić, B., Jalžić, V., Kovač Konrad, P., Lukić, M., Miculinić, K., Ozimec, R. i Pavlek, M., 2009: Svijet ispod svijeta (World under world), Zagreb, 1-79

- Bočić, N. 2003: Relation between karst and fluviokarst relief on the Slunj plateau (Croatia). *Acta carsologica*, 32, 2, 137-146
- Bočić, N. 2019: Krš - definicija, svojstva, distribucija. U: Rnjak, G. (ur.): *Speleologija*, SD Velebit, HPS i HGSS, Zagreb
- Bočić, N., Pahernik, M., Maradin, M. 2016: Temeljna geomorfološka obilježja Karlovačke županije. *Prirodoslovlje*, 16 (1-2), 153-172
- Bognar, A., Faivre, S., Buzjak, N., Pahernik, M., Bočić, N. 2012: Recent Landform Evolution in the Dinaric and Pannonian Regions of Croatia, U: Lóczy D., Stankoviansky M., Kotarba A. (ur.): *Recent Landform Evolution*, Springer Geography, 313-344
- Božičević, S. 1969: Horvatova pećina uz branu Sklope. *Geološki vjesnik*, 22, 501-510
- Brkić, Ž., Kuhta, M., Larva, O., Gottstein, S. 2019: Groundwater and connected ecosystems: an overview of groundwater body status assessment in Croatia, *Environmental Sciences Europe*, 31, 75 (2019), 1-20
- Butorac, V., Novak, R., Buzjak, N. 2020: Polluted Caves, The Most Endangered Component Of Croatian Geoheritage. *Oxford Geoheritage Virtual Conference Abstract Volume*, Oxford University Museum of Natural History, 25.-28. 5. 2020, 83-84
- Buzjak, N. 2006: Speleomorfološke i hidrološke značajke Đurovića špilje (Čilipi, južna Dalmacija), *Hrvatski geografski glasnik*, 68(2), 57-72
- Buzjak, N., Dubovečak, V., Paar, D., Bočić, N. 2014: The influence of karst topography to ice cave occurrence - example of Ledena jama in Lomska duliba (Croatia), 6th International Workshop on Ice Caves, 17-23
- Buzjak, N., Bočić, N., Paar, D., Bakšić, D., Dubovečak, V. 2018: Ice Caves in Croatia, U: Persoiu, A., Lauritzen, S. (ur.) *Ice Caves*, Amsterdam, Elsevier, 335-369
- Buzjak, N., Gabrovšek, F., Perşoiu, A., Pennos, C., Paar, D., Bočić, N. 2024: CO2 Emission from Caves by Temperature-Driven Air Circulation—Insights from Samograd Cave, Croatia. *Climate*, 12(12), 199. <https://doi.org/10.3390/cli12120199>
- Christiansen, K. 2012: Morphological Adaptations. U: White, W.B., Culver, D.C., Pipan, T. (ur.): *Encyclopedia of Caves*, Academic Press, 517-528
- Cukrov, M., Ozimec, R., Cukrov, N., Bedek, J., Jalžić, B. 2012: Sumporače – preliminary results from research into unique anchialine sulphur caves in Croatia. *Natura Croatica*, 21, 1, 36-42
- Culver, D.C., Pipan, T. 2019: Ecological and evolutionary classifications of subterranean organisms, U: White, W.B., Culver, D.C., Pipan, T. (ur.): *Encyclopedia of Caves*, Academic Press, 376-379
- Čečuk, B., Radić, D. 2005: Vela spila. Centar za kulturu «Vela Luka», Vela Luka
- Čeru, T., Gosar, A. 2019: Pregled uporabe georadarja na krasu. *Geologija*, 62/2
- Deharveng, L., Gibert, J., Culver, D.C. 2019: Biodiversity in Europe, U: White, W.B., Culver, D.C., Pipan, T. (ur.): *Encyclopedia of Caves*, Academic Press, 136-145
- Forenbaher, S., Kaiser, T. 2008: Grapčeva špilja. *Književni krug*, Split
- Gams, I. 1986: Kontaktni fluviokras. *Acta Carsologica*, XIV/XV, 71-87

- Garašić, M., Garašić, D. 2016: Some new and interesting caverns in tunnels and along stretches of the Croatian Highways (Dinaric Karst, Croatia). *Environ Earth Sci* (2016) 75:5, DOI 10.1007/s12665-015-4771-2
- Gottstein, S., Ozimec, R., Jalžić, B., Kerovec, M., Bakran-Petricioli, T. 2002: Raznolikost i ugroženost podzemne faune Hrvatske, Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja
- Gottstein Matočec, S., 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., Ternjaj, I., Tvrtković, N. 2002: An overview of the cave and interstitial biota of Croatia, *Natura Croatica*, Vol. 11, Suppl. 1, 1-112.
- Gottstein, S., Ivković, M., Ternjaj, I., Jalžić, B., Kerovec, M. 2007: Environmental features and crustacean community of anchialine hypogean waters on the Kornati islands, Croatia. *Marine Ecology*, 28, 24-30.
- Gottstein, S. 2010. Priručnik za određivanje podzemnih staništa u Hrvatskoj prema Direktivi o staništima EU, Državni zavod za zaštitu prirode
- Jelić, D., Gambiroža, P. (ur.) 2015: Crvena knjiga vodozemaca i gmazova Hrvatske, MZOP-DZZP-Hrvatsko herpetološko društvo HYL A, Zagreb
- Kuhta, M. 2002: The karst. In: Gottstein Matočec, S. (ur.): *An Overview Of The Cave Andinterstitial Biota Of Croatia*, *Natura Croatica*, Vol. 11, Suppl. 1, 4-8
- Kuhta, M. 2011: Pazinska jama and its impact on the quality of springs in the valley of the river Raša. U: Prelovšek, M. i Zupan Hajna, N. (ur.): *Pressures and Protection of the Underground Karst - Cases from Slovenia and Croatia*, 128-137
- Kuhta, M., Stroj, A. 2010: Primjeri incidentnih onečišćenja speleoloških objekata tekućim ugljikovodicima i njihove posljedice. U: Buzjak, N., Paar, D. (ur.), *Stručni seminar o zaštiti špilja i podzemne faune*, Zbornik radova, 24-38
- Kwokal, Ž., Cukrov, N., Cuculić, V. 2014: Natural causes of changes in marine environment: Mercury speciation and distribution in anchialine caves. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 151, 10-20
- Miko, S., Kuhta, M., Kapelj, S. 2001: Bat Guano Influence on the Geochemistry of Cave Sediments from Modrič Cave; Croatia. *13th International Congress of Speleology Proceedings*, 187-192
- Novak, R. i Butorac, V. 2020: Onečišćeni speleološki objekti Republike Hrvatske. *Geografski horizont*, 2/2020, 33-44
- Novosel, M., Jalžić, B., Novosel, A., 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 (Suppl. 1), 3-9
- Ozimec, R., Bedek, J., Gottstein, S., Jalžić, B., Slapnik, R., Bilandžija, H. i dr. 2009: Crvena knjiga špiljske faune Hrvatske. Ministarstvo kulture Republike Hrvatske i DZZP, Zagreb
- Perica, D., Buzjak, N. 2001: Kontaktni krš Južnog Velebita. *Acta Carsologica*, 30, 2, 103-113
- Pletikosić, N., Janton, D. 2016: Speleološka istraživanja SK Ozren Lukić na području Špehara u općini Bosiljevo, *Subterranea Croatica*, 21, 37-45

- Sket, B. 1996: The ecology of anchihaline caves. *Trends Ecol. Evol.*, 11 (5), 221–225
- Sket, B. 2008: Can we agree on an ecological classification of subterranean animals?, *Journal of Natural History*, 42 (21), 1549-1563
- Sket, B. 2016: Subterranean (Hypogean) Habitats in Karst and Their Fauna, U: Max Finlayson i dr. (ur.), *The Wetland Book*, 1-14
- Sket, B. 2019: Anchihaline (Anchialine) caves and fauna. U: U: White, W.B, Culver, D.C, Pipan, T. (ur.): *Encyclopedia of Caves*, Academic Press, 56-64
- Sudar, V., Bregović P. 2017: Prva biospeleološka ekspedicija – Biokovo 2017, *Subterranea Croatica*, 15 (2), 2-20
- Surić, M., Lončarić, R., Buzjak, N., Schultz, S. T., Šangulin, J., Maldini, K., Tomas, D. 2015: Influence of submarine groundwater discharge on seawater properties in Rovanijska-Modrič karst region (Croatia). *Environmental Earth Sciences*, 74, 7, 5625-5638
- Štević, Z. 1997: Sistematikai/ili taksonomija. *Natura Croatica*, vol. 6, no. 2, 291-300
- Trajano, E., 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
- Trpčić, M., Kapor, F. 2008: Kvaliteta vode izvora Vrelić u Donjim Dubravama, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 20 (1), 27-40
- Vrbek, B., Buzjak N. 2004: Contribution to the knowledge of the content of heavy metals (Pb, Cu, Zn and Cd) in speleological objects in the Risnjak National Park (Croatia), *Acta Carsologica*, 33 (2), 181-188
- Vrkljan, I. 2012: Iskustva tunelogradnje u dinarskom kršu. *Razprave 6. posvetovanja slovenskih geoteknikov*, Lipica, 14. - 15. junij 2012, *SloGeD*, 49-64



PRIMLJENO: 27. 1. 2025.

PRIHVACENO: 6. 2. 2025.

LIVIJA CERANIĆ, UNIV. MAG. OECOL.

Zagradski odvojak 6, 47300 Ogulin, e-mail: livija.ceranic@gmail.com

PROF. DR. SC. **NENAD BUZJAK**

Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 10000 Zagreb, e-mail: nbuzjak@geog.pmf.hr

PROF. DR. SC. **SANJA GOTTSTEIN**

Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 10000 Zagreb, e-mail: sanja.gottstein@biol.pmf.hr