

# Speleogeni špilje Vrlovke kod Kamanja

---

Okički, Lea

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:217:528719>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Repository / Repozitorij:

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



**Lea Okićki**

**Speleogeni špilje Vrlovke kod Kamanja**

**Diplomski rad**

**Zagreb  
2024.**

**Lea Okićki**

# **Speleogeni špilje Vrlovke kod Kamanja**

## **Diplomski rad**

predan na ocjenu Geografskom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog zvanja  
magistra struke znanosti o okolišu

**Zagreb  
2024.**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Znanosti o okolišu* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Nevena Bočića.

Sveučilište u Zagrebu  
 Prirodoslovno-matematički fakultet  
 Geografski odsjek

Diplomski rad

## Speleogeni špilje Vrlovke kod Kamanja

Lea Okićki

**Izvadak:** Vrlovka je špilja smještena u blizini mjesta Kamanje, uz rijeku Kupu. Špilja je geomorfološki spomenik prirode i Natura 2000 područje. Objekt je poznat gotovo 100 godina i u njemu se redovito vrše istraživanja unutar raznih grana prirodnih i društvenih znanosti. Djelomično je otvorena za javnost i pretrpjela je mnoge antropogene intervencije. Cilj ovog istraživanja bio je kartirati, klasificirati i protumačiti speleogene unutar špilje, koji su prethodno utvrđeni, ali nikada nisu posebno istraživani. Kao produkt sinteze ovog istraživanja izrađene su dokumentacijske kartice koje služe kao svojevrsan katalog svih mikromorfoloških oblika zabilježenih u špilji. Uz to oblici su prikazani na karti speleološkog objekta kako bi se dočarao njihov prostorni raspored.

80 stranica, 67 grafičkih priloga, 1 tablica, 46 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

**Ključne riječi:** speleogeni, krš, speleološki nacrt, geomorfologija, Kamanje

**Voditelj:** prof. dr. sc. Neven Bočić

**Povjerenstvo:** izv. prof. dr. sc. Tvrtko Dražina  
 prof. dr. sc. Nenad Buzjak  
 prof. dr. sc. Blanka Cvetko Tešović

**Tema prihvaćena:** 4. 7. 2024.

**Rad prihvaćen:** 5. 9. 2024.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geography

Master Thesis

## Speleogens of the Vrlovka cave near Kamanje

Lea Okićki

**Abstract:** Vrlovka is a cave situated near the village of Kamanje, alongside the Kupa River. Recognized as a geomorphological natural monument and a Natura 2000 site, the cave has been known for nearly a century, with research conducted regularly in various fields of natural and social sciences. As it is partially accessible to the public, the cave has experienced numerous anthropogenic changes. This research aimed to map, classify, and interpret the speleogen formations within the cave that were previously identified but never thoroughly studied. The outcome of this study includes creating documentation cards that catalog all recorded micromorphological features, along with a cave map showcasing their spatial distribution.

80 pages, 68 figures, 1 tables, 46 references; original in Croatian

**Keywords:** speleogens, karst, cave map, geomorphology, Kamanje

**Supervisor:** Neven Bočić, PhD, Full Professor

**Reviewers:** Tvrtko Dražina, PhD, Associate Professor  
Nenad Buzjak, PhD, Full Professor  
Blanka Cvetko Tešović, PhD, Full Professor

**Thesis title accepted:** 04/07/2024

**Thesis accepted:** 05/09/2024

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

# SADRŽAJ

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | UVOD.....   | 1  |
| 1.1   | Krš.....  | 1  |
| 1.2   | Speleološki objekti i njihovi morfološki elementi ..... | 2  |
| 1.3   | Speleogeneza .....                                      | 3  |
| 1.4   | Speleomorfologija .....                                 | 4  |
| 1.5   | Speleogeni .....  | 5  |
| 2.    | ISTRAŽIVANO PODRUČJE .....                              | 10 |
| 2.1   | Krš Karlovačke županije .....                           | 10 |
| 2.1.1 | Klima .....   | 10 |
| 2.2   | Osnovne informacije o Vrlovci .....                     | 11 |
| 2.2.1 | Geomorfološki spomenik prirode .....                    | 12 |
| 2.2.2 | Antropogeni utjecaj .....                               | 13 |
| 3.    | DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA .....                           | 15 |
| 3.1   | Biospeleologija .....                                   | 15 |
| 3.2   | Geospeleologija .....                                   | 19 |
| 4.    | CILJEVI ISTRAŽIVANJA .....                              | 20 |
| 5.    | METODE RADA .....                                       | 21 |
| 6.    | REZULTATI .....   | 22 |
| 6.1   | Popis speleogena u špilji Vrlovci .....                 | 22 |
| 6.2   | Dokumentacijske kartice .....                           | 25 |
| 7.    | RASPRAVA.....   | 69 |
| 8.    | ZAKLJUČAK.....  | 75 |
| 9.    | LITERATURA .....  | 76 |
| 10.   | PRILOZI.....  | VI |

# 1. UVOD

## 1.1 Krš

Krš je vrsta reljefa koja se formira na topivim stijenama poput vapnenca, dolomita, soli i gipsa. Najviše ga povezujemo s karbonatima zbog njihove velike podložnosti kemijskom (korozija) i mehaničkom trošenju (erozija, abrazija) te širokoj rasprostranjenosti (Moldovan i dr., 2018).

Krš možemo definirati kao područje s jedinstvenim reljefnim oblicima koji nastaju zbog kombinacije visoke topivosti stijena, dobro razvijene pukotinske poroznosti i prisutnosti tekuće vode. Poroznost se odnosi na količinu šupljina u volumenu stijene. Sedimentolozi definiraju primarnu (matičnu) poroznost kao onu koja nastaje tijekom taloženja stijene i prisutna je u stijeni od njezinog nastanka, a sekundarnu poroznost kao onu koja nastaje kasnije uslijed dijagenze, djelovanjem vanjskih sila poput savijanja, uslojavanja i rasjedanja stijena. Kada se otapanjem duž prohodnih pukotina kruženjem podzemnih voda razvijaju kanali, to se naziva tercijskom (ili kanalskom) poroznošću. Topive stijene s izuzetno visokom primarnom poroznošću (30–50 %) obično imaju slabo razvijen krš. Međutim, topive stijene s neznatnom primarnom poroznošću (<1 %) koje su kasnije razvile veliku sekundarnu i tercijsku poroznost podržavaju odličan krš. Krška područja karakteriziraju ponornice, špilje, krška polja, zaravni, ponikve, kukovi i izvori (Ford i Williams, 2007).

Na razvoj krša, odnosno na proces okršavanja utječe mnogo geomorfoloških denudacijskih procesa poput korozije, erozije, urušavanja i drugih. Korozija je proces trošenja odnosno otapanja stijena kemijskim djelovanjem vode, dok je erozija mehanički proces odnošenja stijenskih fragmenata razaračkim djelovanjem vode (Bočić, 2017; Curić i Curić, 1999). Krš karakteriziraju specifični hidrološki i hidrogeološki odnosi koji su definirani odsustvom površinskih voda. Površinski vodotoci su rijetki, dok je u podzemlju voda obilna. U kršu je podzemni tok uvijek veći od površinskog, a postoje i značajne razlike između topografskih (površinskih) i hidrogeoloških (podzemnih) granica između slivova (Garašić, 1986; 2021).



## 1.2 Speleološki objekti i njihovi morfološki elementi

Speleološki objekti prirodne su podzemne šupljine nastale u stijinama čijim se istraživanjem, promatranjem i kartiranjem bavi znanstvena disciplina pod nazivom speleologija (URL1). Inicijalno istraživanje speleoloških objekata, njihovo otkrivanje, mjerenje i izrada nacрта te popunjavanje osnovnog speleološkog zapisnika predstavlja prvi korak speleološkog istraživanja. Zatim slijede znanstvena istraživanja geologa, geomorfologa, hidrogeologa, klimatologa, biologa, paleontologa, arheologa i drugih stručnjaka.

Speleološke objekte dijelimo prema nagibu njihovog glavnog kanala, stoga razlikujemo kategoriju špilje i jame. Špilje su objekti s prosječnim nagibom manjim od  $45^\circ$ , odnosno pretežno su horizontalne, dok jame imaju nagib veći od  $45^\circ$  i pretežno su vertikalne (Garašić, 1991). Neki objekti ne spadaju strogo ni u jednu od ovih kategorija pa se pojavljuju nazivi kao špilja s jamskim ulazom ili pak špiljski i jamski sustavi - poput našeg najvećeg Jamskog sustava Crnopac koji obuhvaća cijelu mrežu horizontalnih i vertikalnih kanala na više etaža s mnogobrojnim ulazima. Posebnu kategoriju speleološkog objekta čine još i kaverne. To su speleološki objekti koji su u potpunosti nepristupačni jer nemaju ulaz na površini. Ulazi u takve objekte nastaju umjetnim putem tijekom građevinskih radova (npr. bušenje tunela, radovi u kamenolomima i sl.) ili uslijed prirodnog urušavanja.

Da bi se podzemni prostor smatrao špiljom on mora biti duži ili dublji od 5 m, dok dimenzije ulaza moraju biti manje od dubine ili dužine objekta (Božić, 2000). Jednostavni speleološki objekti imaju samo jedan kanal (horizontalni ili vertikalni), te općenito nastaju u kompaktnoj stijeni, a njihova speleogeneza započinje samo iz jednog izvora. Iako bi se očekivalo da su jednostavni speleološki objekti obično manjih dimenzija, to nije uvijek slučaj. Neke špilje su dublje ili dulje od 200 m, a ipak se smatraju jednostavnim objektima (Garašić, 1991). Špilju Vrlovku smatramo jednostavnim speleološkim objektom unatoč tome što se u njoj nalazi nekoliko sporednih kanala, no oni su relativno kratki i malih dimenzija u usporedbi s glavnima kanalom koji čini glavninu objekta.

### 1.3 Speleogeneza

Speleogeneza je temeljni denudacijski proces formiranja i razvoja speleoloških objekata. Dio je šireg procesa okršavanja, koji rezultira nastankom specifičnog reljefa - površinskog (egzokrš) i sustava podzemnih šupljina (endokrš).

Pojednostavljeni mehanizam nastanka speleoloških objekata započinje padalinama koje svojim putem kroz atmosferu, a zatim i tlo, na sebe vežu ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) i na taj način tvore slabu ugljičnu kiselinu ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Ona se procjeđuje kroz tlo i dolazi u kontakt s karbonatnim stijenama koje postepeno otapa. Kada ta blago kisela voda koja sadrži  $\text{CO}_2$  reagira s vapnencem, stvara se kalcijev bikarbonat, koji je vrlo topiv i lako se ispire vodom. Reakcija se može prikazati na sljedeći način:  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (Das i dr., 2007).

Cijeli proces speleogeneze odvija se u tri faze: inicijalna, glavna i završna. Inicijalna faza započinje kada topive stijene postanu izložene atmosferi. Pored površinske korozije, meteorska voda prodire kroz pukotine i korodira njihove stijenske. Pukotine se postupno šire dok voda prodire dublje u stijenu prema erozijskoj bazi, odnosno prema izlazu iz krškog sustava. Kada voda, zahvaljujući koroziji, uspostavi put od ulaza do izlaza iz krškog sustava, pukotine postaju tzv. krški provodnici. Iako takve pukotine još uvijek ne možemo nazvati špiljama, zbog svoje funkcije provodnika nazivamo ih protošpiljama. Voda se brže kreće kroz protošpilju i širi je sve više. Stopa širenja špilja značajno se povećava kada se tok otapajuće vode promijeni iz laminarnog u turbulentni. Doseže se speleogenetski prag (kada je širina pukotine nekoliko milimetara). Inicijalna faza može trajati veoma dugo, čak i milijunima godina (Bočić i Mišur, 2017).

Glavna faza speleogeneze počinje dostizanjem speleogenetskog praga i traje sve dok se špilja širi tj. funkcionira kao aktivni provodnik. Zbog turbulentnog kretanja vode dolazi do pojačane denudacije stjenki kanala. Širenje špilje ovdje nije ograničeno hidrauličkim otporom kanala, već propusnošću najmanje propusnog sloja (Klimchouk i Ford, 2009). Brzina širenja kanala u ovoj fazi može dosegnuti i do 0,1 cm godišnje. Širenjem, pukotina postaje kanal, a širenjem kanala pojačava se protok vode. Zbog toga se procesu korozije pridružuje i fluvijalna erozija. U ovoj fazi značajno je i urušavanje, a u vadoznim kanalima je prisutno zapunjavanje sigovinom iznad razine vodenog toka.

Završna faza razvoja speleološkog objekta započinje kada on više nema hidrogeološku funkciju. Špiljski prostori se ispunjavaju sigovinom, površinska krška denudacija se nastavlja, razina površine se spušta i može dosegnuti samu špilju. Snižavanjem razine površine dolazi do

potpune denudacije špilje, što rezultira time da kanali ostanu bez stropa, čime završava razvojni ciklus špilje (Bočić i Mišur, 2017).

Razvoj špilja najčešće se odvija u dva ciklusa: prvi je freatski ciklus, tijekom kojeg se špilje formiraju otapanjem stijena, a zatim nakon pada razine podzemne vode, slijedi vadozni ciklus. U drugom ciklusu počinju se formirati špiljski ukrasi tj. speleotemi. U vadoznim uvjetima, špilje rijetko znatno povećavaju svoje dimenzije. Postoji teorija da dolazi do međukoraka između ciklusa koji uključuje ispunjavanje prolaza i dvorana glinom prije spuštanja razine podzemne vode. Na to ukazuju mnoge špilje koje su do danas ispunjene sedimentima, koji se polako erodiraju pod utjecajem podzemnih tokova (Das, 2007). Na svom putu od površine do podzemnih dubina, voda prolazi kroz različite hidrološke zone. Freatska zona je podzemni prostor koji je potpuno ispunjen vodom, a kanali nastaju sporim kretanjem vode pod tlakom. Zona oscilacije razine vode u kanalima, koja može iznositi od nekoliko desetaka do više od stotinu metara i podložna je sezonskim poplavama naziva se epifreatska zona. Naposljetku vadoznu zonu čini područje smješteno između površine tla i razine podzemne vode (vodnog lica), gdje prostori nisu potpuno ispunjeni vodom i gdje se voda uglavnom kreće pod utjecajem gravitacije i kapilarnog djelovanja (Klimchouk, 2013). Većina špilja posjeduje karakteristike različitih uvjeta nastanka, mnoge imaju samo freatsku povijest, dok je vrlo malo njih u potpunosti vadoznog porijekla (Bretz, 1942).

Prosječan nagib špilje Vrlovke iznosi  $3,9^\circ$  što upućuje da u špilji ne dolazi do velikih ni naglih promjena, te da je špilja iznimno horizontalna. Cijela duljina kanala nalazi se u rasponu od  $\pm 3$  m visinske razlike u odnosu na visinu ulaza što sugerira da je špilja u svojoj glavnoj fazi speleogeneze najvjerojatnije nastajala u freatskoj i epifreatskoj zoni tj. u zoni blizu vodnog lica. Morfologija zabilježena u dijelovima špilje bližim ulazu ukazuje na to da je veći dio špilje bio trajno poplavljen dok je najdublji južni dio špilje bio djelomično u vadoznim uvjetima što je imalo za posljedicu jače dubinsko usijecanje (Bočić i Barudžija, 2022).

#### 1.4 Speleomorfologija

Speleomorfologija grana je geomorfologije koja se bavi se analizom podzemnih oblika nastalih djelovanjem korozijske, erozijske i urušavanja. Za razliku od površinske morfologije, speleomorfologija ne uključuje oblike nastale sedimentacijom. Ova disciplina klasificira podzemne oblike u velike, srednje i male forme, tj. na makro-, mezo- i mikrospeleomorfologiju (Bögli, 1980). Makrospeleomorfologija razmatra speleološke objekte kao cjelinu, razdvajajući

ih na nekoliko vrsta prema stupnju nagiba u špilje, jame i kaverne, te prema morfološkom tipu na jednostavne i složene. Mezospeleomorfologija proučava uvijete i procese nastanka različitih tipova kanala. Osnovni tipovi špiljskih kanala su freatske cijevi, vadozni kanjoni, vertikale, pukotinski kanali i dvorane (Bočić i Mišur, 2017). Na značajke kanala utječe pružanje i nagib pukotina, slojnih ploha i slojeva topivih stijena duž kojih su nastali, te djelovanje podzemnih tokova. U većini špilja lako se razlučuju dijelovi koji su nastali u pojedinim etapama speleogeneze.

Freatske cijevi nastale su u periodima kada su bile potpuno potopljene zbog visokih razina podzemne vode. Obično imaju kružni ili eliptičan presjek jer su prolazi razvijeni u svim smjerovima duž kojih se voda pod hidrostatskim pritiskom mogla kretati u vrijeme kada su nastali. Na zidovima su vidljivi mikroreljefni oblici kao što su fasete (strujnice) i stropne kupole (Buzjak, 2002). Vadozni kanjoni nastaju radom podzemnog toka koji teče po dnu kanala te ga produbljuje tvoreći njihov karakteristični izduženi vertikalni presjek nalik na kanjon. Tako tvore uske vijugave kanale koji često povezuju više vertikalnih otvora. Vertikale su kanali vrlo strmog nagiba u kojima se procjedna voda većinom kreće prema dolje pod utjecajem gravitacije, proširujući okomite pukotine. Jače su izložene atmosferilijama u slučaju ulaznih otvora kroz koje direktno pristižu padaline, češće budu ispunjene ledom ili čak sedimentom i stijenama s površine (Bretz, 1942). Pukotinski kanali nastali su, kao što i sam naziv kaže na mjestima izraženih pukotina koje su korozijski proširene i na rubovima se sužavaju tako da tvore lećasti poprečni presjek. Dvorane su proširenja kanala koja najčešće nastaju na sjecištima pukotina i rasjeda ili urušavanjem pregrada između paralelnih kanala. Tijekom širenja pukotine, početno otapanje se najvjerojatnije odvijalo nepravilno i stvorio bi se složeni sustav malih međusobno povezanih kanala. (Bočić i Mišur, 2017; White i Culver, 2012). Naposljetku, mikrospeleomorfologija je grana koja proučava denudacijske oblike koji su manjih dimenzija od promjera kanala. Njih još nazivamo speleogenima.

### 1.5 Speleogeni

Speleogeni su mikrospeleomorfološki denudacijski oblici koji se pojavljuju na zidovima, stropovima i podovima unutar speleoloških objekata. Za razliku od svih drugih špiljskih formacija poput speleotema, speleogeni nisu mineralne ni kristalne naslage. Oni su naime dio osnovne stijene u kojoj je špilja formirana, oblikovani erozijom i otapanjem u karakteristične zanimljive oblike (URL 2).

## **Vrtložni lonci**

Rijetko se može naići na špiljski pod koji čini čista stijena. Naslage gline, pijeska i šljunak u vodotoku te sigovina prekriva podove. Izloženi podovi najčešće se nalaze u koritima potoka gdje zatim nastaju zanimljive formacije (Bretz, 1942). Vrtložni lonci su udubine, obično kružnog ili eliptičnog oblika, koje su urezane u podlogu špilje djelovanjem vode i sedimenta koji ona nosi. Nastaju u vadoznim uvjetima tamo gdje, turbulentni tok, često pun pijeska ili šljunka, mehanički erodira površinu stijene tijekom vremena. Mogu varirati u veličini od nekoliko centimetara do nekoliko metara u promjeru i dubini, ovisno o snazi i trajanju toka vode. Često su izduženiji na jednoj strani gdje su čestice sedimenta izlazile iz cirkulacije, a možemo ih naći pojedinačno ili u nizu. Materijal uključen u turbulentno strujanje igra važnu ulogu u nastanku i razvoju vrtložnih lonaca. Obično se pojavljuju u donjim dijelovima kanala gdje, nošen vodom, dospije najveći dio krupnozrnatog sedimenta i često dolazi do vrtloženja. Veličina vrtložnog lonca nije izravna posljedica brzine protoka vode. Sam po sebi brži tok stvara manje lonce, ali isto tako brz i jak protok prenosi više materijala koji ubrzava proces (Slabe, 1995).

## **Kupole i stropni džepovi**

Kupole i stropni džepovi su formacije nastale putem nekoliko mehanizama. Jedan od njih je uzrokovan sporim tokom vode u vrijeme kada je kanal bio gotovo potpuno saturiran vodom. Drugi način nastanka formacija bio je za vrijeme promjena razina vode u špiljskom kanalu. Zrak bi pod pritiskom ostao zarobljen uz sam strop špiljskog kanala i tamo bi se zadržao do povratka normalne razine vode. U špiljama temperatura može biti relativno stabilna, ali mogu postojati male razlike između temperature stropa špilje i zraka. Kada topliji, vlažan zrak dođe u kontakt s hladnijim površinama, vodena para iz zraka se kondenzira u tekuću vodu na stropu špilje i uzrokuje kondenzacijsku koroziju. Voda koja se kondenzira je blago kisela zato što sadrži otopljeni ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ) iz zraka. On formira ugljičnu kiselinu koja počinje korodirati površinu stijene (Bretz, 1942). Stropni džepovi mogu biti pojedinačni ili kombinirani. Pojedinačni džep je polukružnog ili elipsoidnog presjeka i sužava se prema unutra. Kombinirani džepovi imaju nekoliko vrsta, mogu se sastojati od nekoliko manjih džepova unutar jednog većeg ili nekoliko džepova jednakih ili različitih veličina koji su bočno povezani. Džepovi se pojavljuju na strmim ili blago nagnutim stropovima koji se spuštaju uslijed suženja u špiljskom kanalu (Slabe, 1995). Glavna razlika između kupola i stropnih džepova su njihove dimenzije. Kupole su najčešće šire, zaobljenije i pravilnije dok su džepovi manji, nepravilnijeg oblika i češće ovise o razvijenim pukotinama (Palmer, 2007).

## Niše

Niše su horizontalni žljebovi ili udubljenja koji nastaju na zidovima špilja u visini nekadašnje stabilne razine vode ili iznad nekadašnjih sedimentnih ispuna. Nastaju zbog dugotrajnog kontakta vode i stijene na određenoj razini, gdje je kemijsko otapanje koncentrirano. Stijena se otapa horizontalno, stvarajući policu. Ovi oblici služe kao pokazatelji povijesnih vodostaja, pružajući uvid u hidrološku povijest špilje. Također mogu označavati prijelaz između različitih faza razvoja špilje, kao što su promjene u razini vode ili početak vadoznih uvjeta (Palmer, 2007). Niše također mogu biti meandarske što znači da ih je udubio turbulentni vodeni tok u vrijeme kada su u špilji već vladali vadozni uvjeti, ako dolazi do periodičkog poplavlivanja. Snažni bujični vodeni tok erodirao je stijenu na jednoj strani kanala odnosno, na vanjskoj strani zavoja. Njihova veličina i oblik su kontrolirani količinom vode, brzinom toka i trajanjem zadržavanja određene razine vode. Površine niša znaju biti prekrivene fasetama (Slabe, 1995).

## Stropni kanali i anastomoze

Stropni kanali su uski, vijugavi utori na stropovima špiljskih prolaza. Ukazuju na smjer i obrasce toka vode koja se nekoć kretala uz strop špilje. Poput kanala, anastomoze čini mnoštvo manjih, vijugavih prolaza duž slojne plohe na stropu špilje. Stropni kanali i anastomoze imaju odnos poput toka rijeke i njenih pritoka. Oni su ostaci najranije faze razvoja špilje za vrijeme prolaza freatske vode i nastaju zbog povećanog pritiska vode na strop kanala. Najranije kretanje vode našlo je najpovoljnije putove, bilo je vrlo sporo i u pravilu laminarno. Cijevi imaju približno polukružne do kružne poprečne presjeka i promjera su od oko jednog centimetra kod anastomoza do nekoliko metara kada pričamo o kanalima. Povećanje promjera cijevi najizraženije je u smjeru prema gore, a cijevi se sužavaju što se više udaljavaju od svog izvora. Iako nije često, moguće je da se formiraju duž pukotina, čiji raspored i orijentaciju zatim slijede, što ih čini nepravilnijima (Bretz, 1942; Palmer, 2007). U posebnim uvjetima mogu nastati i u sada već suhim prolazima za vrijeme poplava koje bi napunile špilju sitnozrnim sedimentom i time uzrokovale transformaciju starih kanala (Slabe, 1995).

## Stijenski privjesci

Stijenski privjesci su izolirani izbočeni ostateci matične stijene koje nalazimo između mreže udubljenja na stropu špilje (kanali ili anastomoze) gdje je otapanje stijena bilo manje snažno. Takvi oblici ne postoje na podovima špilja, dok se na zidovima javljaju samo ispod prevjesa. Bez obzira na nagib zida, uvijek su vertikalno izduženi (Bretz, 1942.) Privjesci se

pojavljaju u kanalima koji se sezonski poplavljuju sporim tokom vode koja taloži tanke slojeve sitnozrnog sedimenta na izbočinama na stropu. Zahvaljujući tom sedimentu matična stijena zaštićena je od korozije. Također mogu nastati kao rezultat kapanje vode kroz pukotine u stropu. Mehanizam je vrlo sličan, voda prenosi sitnozrnati sediment i širi ga u tankom sloju po stropu špilje gdje se on taloži i usporava otapanje stijene (Slabe, 1995).

### **Fasete**

Fasete se mogu opisati kao male, plitke, okomite i paralelne udubine koje su smještene vrlo blizu ili čak jedna unutar druge. Presjek faseta je polukružan, a njihovo dno je blago valovito (Slabe, 1995). Često se uspoređuju s vodenim strujnim valovima zbog svog oblika i orijentacije. Njihove veličine, proporcije i nagib padina određeni su karakteristikama vodenog toka, a ne vapnenca. Njihov nastanak treba pripisati dugotrajnom ispiranju zida kontinuiranim protokom vode. Rezultat su otapanja i korozije uslijed turbulentnog vodenog toka. Pojavljaju na zidovima, stropovima i podovima, a njihove površine mogu biti prekinute izbočinama tvrdih stijena. Ne mogu se koristiti kao dokaz o postojanju freatskih uvjeta u vrijeme njihovog nastanka, ali su korisne za bilježenje smjera i brzine paleotoka (Bretz, 1942). Smjer protoka znamo zato što je strmija stjenka fasete uvijek okrenuta nizvodno, a brzinu možemo procijeniti zato što su veće fasete nastale uslijed sporijeg vodenog toka i obrnuto (Bočić i Mišur, 2017).

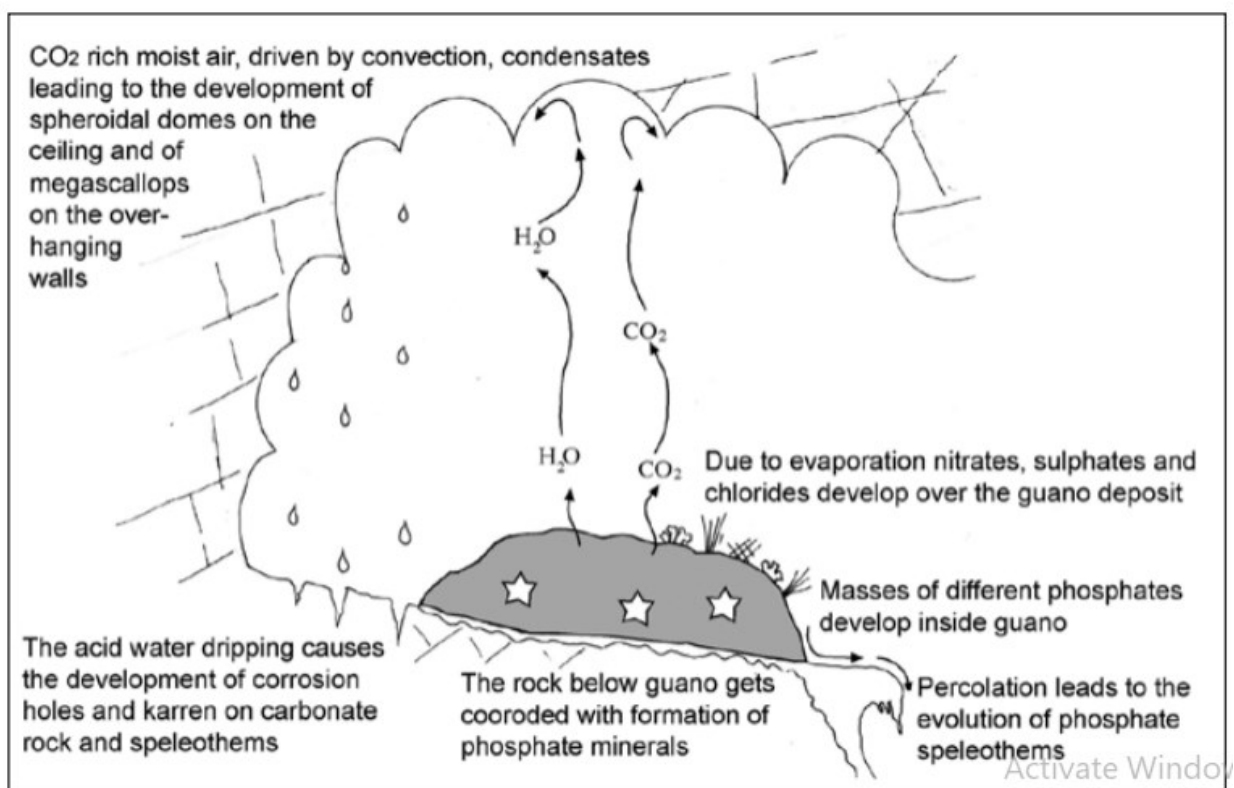
### **Škrape**

Škrape su uski žljebovi i brazde na vapnenačkim stijenama, koje su međusobno odvojene oštrim ili zaobljenim stjenovitim bridovima. Njihova dubina može biti od nekoliko milimetara sve do nekoliko decimetara. Škrape nastaju kemijskim djelovanjem vode procjednice koja teče zidovima kanala u vadoznim uvjetima. Dva genetska tipa škrapa su: pukotinske škrape, koje su predisponirane postojanjem pukotinama na dnu brazde i žljebaste škrape, koje je opticanje vode urezalo u vapnenačku površinu u obliku žljeba, a usmjerene su nagibom površine (Bočić i Mišur, 2017).

### **Biokorozijski oblici**

Biokorozija je tip korozije uzrokovan (ili pojačan) biološkim procesima. Uključuje fizičku eroziju od strane organizama koji buše ili otapanje putem organskih kiselina (Palmer, 2007). U špiljama je najveći uzročnik biokorozije guano, odnosno izmet šišmiša. U špiljama koje su sklonište za velike kolonije šišmiša dolazi do debelih naslaga guana, do nekoliko metara debljine, koji igra ulogu u otapanju osnovne stijene (URL 2). Procesi oksidacije i mineralizacije

guana su egzotermni, zbog njih se oslobađaju velike količine vode, ugljičnog dioksida te topline koja je uzrok snažne konvekcije atmosfere u špilji. Ovi procesi proizvode značajne količine jakih kiselina, prvenstveno dušične ( $\text{HNO}_3$ ), sumporne ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) i fosforne ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) kiseline. Mogu imati značajne morfološke posljedice, uzrokujući razvoj specifičnih oblika kondenzacijske korozije poput škrapa na izbočenim zidovima i kupola na stropovima. Organske tvari ispirane iz guana često dovode do razvoja crnih naslaga. Njihova boja može biti posljedica prisutnosti bitumena unutar različitih slojeva speleotema (Forti i dr., 2006) ili reakcija mokraće šišmiša s kalcitom iz stijene što rezultira nastankom fosfatnih minerala (npr. karbonat-hidroksilapatit) koji su tamnosmeđe boje (Lacković, 2017).



Slika 1. Skica efekta uzrokovanog nakupinama guana na morfologiju špilja (preuzeto iz Forti i dr., 2006).

### Oblici kondenzacijske korozije

Oblike kondenzacijske korozije čine tanki žljebići najčešće na zidovima špiljskih kanala koji su nastali nakupljanjem kapljica vode kondenziranih zbog razlike u temperaturi vodene pare u zraku i površine stijene. Što je veća razlika u temperaturi to će često ti oblici biti većih dimenzija. Najčešće ćemo ih naći blizu ulaza u speleološke objekte gdje su dnevne i sezonske fluktuacije u temperaturi najveće (Tarhule-Lips i Ford, 1998).



## 2. ISTRAŽIVANO PODRUČJE

### 2.1 Krš Karlovačke županije

Karlovačka županija čini svojevrsnu poveznicu između Slovenije i BiH spajajući središnji i gorski dio zemlje na najužem djelu kontinentalne Hrvatske.

U ovom plitkom kršu nalaze se najduže špilje u Hrvatskoj: Sustav Đula–Medvednica (16396 m), Sustav Panjkov ponor–Varičakova špilja (11578 m), Špilja u kamenolomu Tounj (8487 m) i Sustav Jopićeva špilja–Bent (6710 m) (Ozimec, 2009). Karlovačka županija ima jedinstven geomorfološki položaj gdje se susreću Panonski bazen i Dinarski gorski sustav. Aktivna tektonika i dominantna prisutnost karbonatnih stijena značajno su utjecali na oblikovanje reljefa ovog područja. Od morfofenetskih tipova na području županije zastupljeni su krški, fluviokrški, fluvijalni i fluviodenudacijski reljefi (Bočić i dr, 2016).

#### 2.1.1 Klima

Šira okolica špilje nalazi se u zoni kontinentalne klime, a na mikroklimu najviše utječe blizina Žumberačke gore. Prema Köppenovoj klasifikaciji, područje Kamanja ima umjereno toplu kišnu klimu s toplim ljetima. Najtopliji mjesec ima prosječnu temperaturu nižu od 22°C, a najhladniji mjesec višu od -3°C. Prema Thornthwaiteovoj klasifikaciji, ovo područje spada u humidnu klimu, što znači da je količina oborina veće od evapotranspiracije (Zaninović i dr., 2008; URL 3). Temperatura zraka u speleološkim objektima ovisi o prosječnoj godišnjoj temperaturi vanjskog zraka, te o veličini i obliku špilje, dok prosječna godišnja temperatura ovisi o geografskoj širini i nadmorskoj visini objekta (Božić, 2000).

Na mikroklimu špilje Vrlovke izravno utječe jednostavna morfologija glavnog kanala, dva velika ulaza, zatrpanost završnog dijela špilje, aktivan vodeni tok, periodičko poplavljanje zbog blizine rijeke Kupe, te antropogene promjene povezane s turističkim uređenjem. Mjerenja temperature i vlažnosti zraka su pokazala poprilične varijacije u mikroklimi u ulaznom dijelu špilje (udaljenost od oko 100 m), dok su dublji dijelovi špilje pod stabilnijim mikroklimatskim uvjetima. Prosječna temperatura zraka unutar špilje iznosi 12,95°C (Basara, 2021). Vlažnost zraka u dubljim dijelovima špilje uvijek je oko 100%, dok se u blizini ulaza kreće u rasponu od 90 do 100% (Mazija i Renje, 2017).

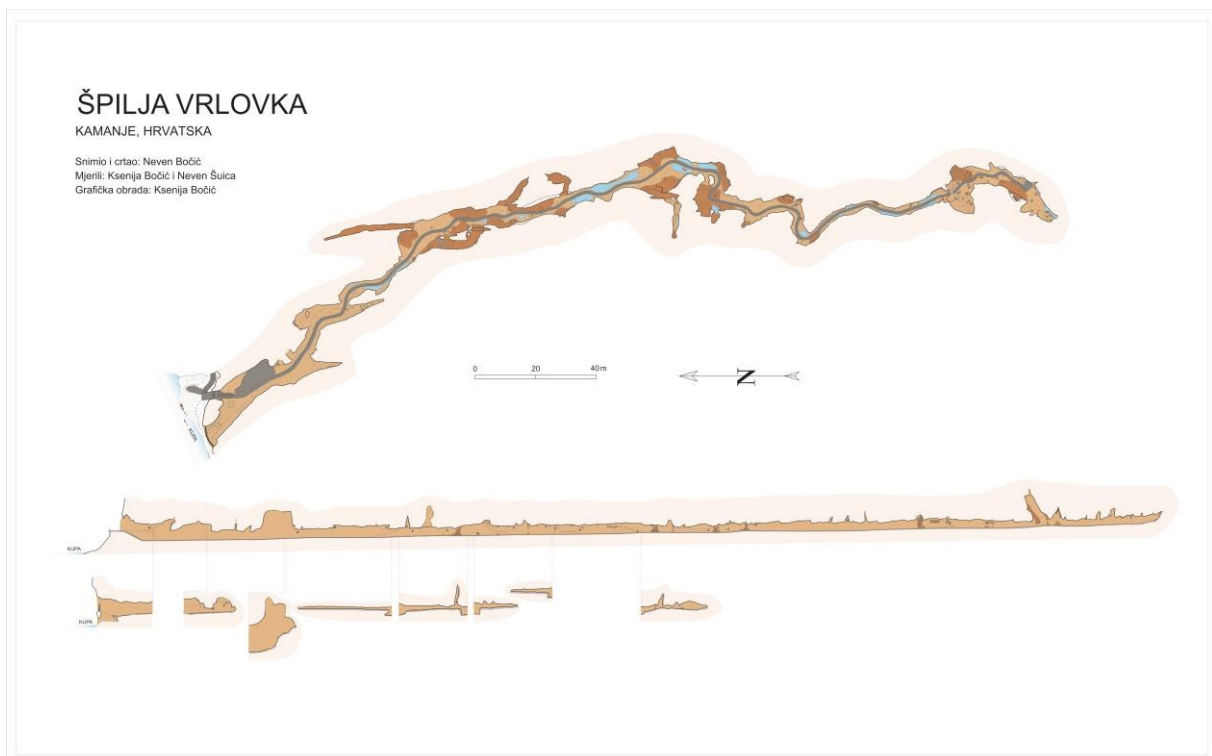
## 2.2 Osnovne informacije o Vrlovci

Špilju Vrlovku prvi je istražio Vladimir Horvat, pisac, novinar, fotograf, speleolog i planinar, 1928. godine. Uz pomoć predanih članova planinarskog društva "Runolist" iz Zagreba, špilja je uređena i svečano otvorena za posjetitelje 2. rujna 1928. godine. (Božičević, 1961; URL 4). Na dan otvorenja stigao je poseban vlak izletnika iz Zagreba (Božić, 1999). Za turističke posjete špilja je dodatno adaptirana 1978. kada većinski poprima današnji izgled. Posljednji projekt uređenja prezentacijskog prostora i postavljanja nove rasvjete završio je početkom prosinca 2015. Realizacija je obavljena u razdoblju od tri godine, a špilja je ponovno otvorena za javnost u rujnu 2016. godine. Tada je postavljena nova LED rasvjeta, hladnijeg osvjetljenja, koja bi trebala smanjiti zagrijavanje i rast obraštaja tzv. lampenflore (Trpčić, 2015). Ukupna istražena dužina je 380 m, od čega je 330 m uređeno stazom kako bi bilo primjereno za posjećivanje. Budući da je ulaz u špilju zaklonjen i pristup nije oduvijek bio jednostavan, špilja se u povijesti koristila kao ratno sklonište, te imala obrambenu ulogu u vrijeme osmanlijskih prodora. Na to ukazuje kameni zid koji jednim dijelom pregrađuje niži ulaz (Božić, 1999).

Sama špilja smještena je na desnoj obali rijeke Kupe, u sjevernom dijelu naselja Kamanje, blizu granice s Republikom Slovenijom i regijom Dolenjskom. Administrativno spada pod Karlovačku županiju, u okviru Općine Kamanje. Kamanje se nalazi otprilike 10 km od grada Ozlja, na državnoj cesti DC 228 Jurovski Brod - Kamanje - Ozalj - Karlovac. Ulaz u špilju nalazi se unutar ekološke mreže Natura 2000, na samoj obali u kanjonu rijeke Kupe, okrenut prema rijeci, otprilike 500 metara zračne linije od centra naselja Kamanje (Plan upravljanja, 2023). Koordinate ulaza su 413616 S, 5055906 I (HTRS96/TM). Ulaz je prikazan na topografskoj karti 1:25000 (Geoportal DGU), ali na pogrešnom mjestu, oko 100 m uzvodno od ispravne lokacije.

Vrlovka je horizontalna špilja s nekoliko kraćih sporednih kanala, te se svrstava među jednostavne speleološke objekte. Špilja ima dva ulaza, gornji i donji. Gornji ulaz zatvoren je rešetkastim vratima horizontalnih pregrada koja omogućuju slobodno kretanje šišmiša, te služi kao glavni ulaz u objekt. Donji ulaz služi kao izvor ili ponor za vodeni tok koji prolazi kroz špilju za vrijeme obilnijih kiša ili višeg vodostaja rijeke Kupe. Djelomično je ograđen kamenim zidom i spušta se prema Kupi (Bočić i Barudžija, 2022). Oba ulaza vode u glavni kanal i međusobno su udaljeni 15 m. Gotovo cijelom duljinom glavnog kanala prostire se betonirana staza. Prva polovica špilje pruža se prema jugoistoku, dok se ostatak proteže prema jugu uz blago vijuganje.

Osim prostranije ulazne dvorane, glavni kanal sadrži još četiri dodatna proširenja, odnosno dvorane, koje su međusobno povezane užim kanalima. Također, postoji nekoliko sporednih prolaza koji se granaju na većim visinama unutar špilje (Basara, 2021). Na stijeni pored glavnog ulaza nalazi se pločica koja nosi broj 69—200 – šifru speleološke udruge, u ovom slučaju Speleološkog kluba "Ursus spelaeus" iz Karlovca, koji je uveo podatke o špilji u katastar speleoloških objekata, i broj speleološkog objekta unutar njihove interne baze (URL 5).



Slika 2. Speleološki nacrt špilje Vrlovke (autori: Neven i Ksenija Bočić)

### 2.2.1 Geomorfološki spomenik prirode

Špilja Vrlovka zaštićena je kao geomorfološki spomenik prirode 1962. godine, a njome danas upravlja NATURA VIVA, javna ustanova za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode na području Karlovačke županije. Od svih zaštićenih područja u Republici Hrvatskoj, najveći broj – čak 36 od ukupno 54 – zaštićen je kao geomorfološki spomenik prirode. Najaktivnije razdoblje zaštite geoloških lokaliteta bilo je tijekom 1960-ih godina, kada je zaštićeno ukupno 28 lokaliteta. Zaštićeni geološki, geomorfološki i hidrološki lokaliteti zajedno čine geobaštinu (Zwicker i dr., 2009). Geobaština uključuje najznačajnije dijelove nežive prirode (geološki, geomorfološki i pedološki važna područja) izvanredne znanstvene, obrazovne, kulturne i estetske vrijednosti koje treba očuvati za buduće generacije (Buzjak, 2011; Žeger Pleše i

Zwicker, 2019). Geobaština obuhvaća elemente georaznolikosti, kao što su špilje, minerali, izdanci stijena i fosili, koji imaju značajnu znanstvenu vrijednost i zaslužuju daljnja istraživanja. Ostali elementi georaznolikosti nazivaju se geolokalitetima što ne znači da nužno sadrže veliku znanstvenu vrijednost (Brilha i dr., 2018; Butorac i Talaja, 2021). Speleološki objekti zaštićeni su Zakonom o zaštiti prirode (NN 80/13), što znači da svaki speleološki objekt predstavlja geolokalitet. Oni speleološki objekti koji posjeduju značajnu znanstvenu vrijednost klasificiraju se i kao geobaština. Nažalost, vrijednost georaznolikosti često se procjenjuje samo na temelju velike estetske vrijednosti lokaliteta (Butorac i Talaja, 2021).

Osim u obliku geomorfološkog spomenika prirode, špilja Vrlovka, te područje oko nje, nalazi se pod još jednom razinom zaštite, pripada ekološkoj mreži Naturi 2000. Natura 2000 europska je mreža koja okuplja zaštićena područja koja obuhvaćaju prirodne stanišne tipove i staništa divljih vrsta od interesa za Europsku uniju. Cilj mreže je očuvanje ili, kada je potrebno, obnova povoljnog stanja očuvanja određenih staništa i vrsta unutar njihovih prirodnih područja rasprostranjenosti. Strategije zaštite se temelje na EU direktivama, a područja se biraju prema određenim stručnim kriterijima. Ekološka mreža obuhvaća područja očuvanja značajnih za ptice, te područja očuvanja značajnih za vrste i stanišne tipove (URL 3).

### 2.2.2 Antropogeni utjecaj

Prvi pisani navod o interesu ljudi za posjećivanje neke špilje u Hrvatskoj seže sve do 1601. kada dubrovački svećenik mašta o ljepotama špilje Raca na otoku Lastovu u nadi da će je jednog dana moći posjetiti. Prvi podatak o fizičkoj zaštiti neke špilje u Hrvatskoj seže do 1834. i špilje Biserujke na otoku Krku na čiji ulaz su postavljena vrata, te zaposleni čuvari. Postavljene mjere nažalost nisu bile dovoljne da zaštite objekt od devastacije. Slomivši vrata počinitelji su ušli u špilju i pokrali sige misleći da će ih moći skupo prodati. Bio je to i prvi zabilježeni slučaj kažnjavanja počinitelja za štetu prouzročenu u nekom speleološkom objektu. Prva turistički uređena špilja u Hrvatskoj je Gospodska špilja kod Vrlike u kojoj su izgrađene stube za lakši pristup (Božić, 1999).

Osim u svrhu rasonode i turizma postoji mnogo razloga zašto su se ljudi uputili u mračna i hladna podzemna prostranstva. Kroz povijest razlozi su bili potraga za skloništem, bijeg od predatora ili nepovoljnih vremenskih uvjeta te potraga za mjestom izvršavanja religijskih obreda. Danas ljudi posjećuju špilje kako bi se divili njihovim prirodnim ljepotama, fotografirali ih, obavljali znanstvena istraživanja (proučavali stijenske formacije, otkrili nove

vrste ili pronašli povijesne artefakte), educirali se, rekreirali ili jednostavno jer imaju želju za otkrivanjem novih prostora (Božić, 1999).

Kako bi se neka špilja ili jama mogla smatrati turistički uređenom, ona treba zadovoljavati određene uvjete. Treba imati osiguran prikladan pristup objektu, cestu, parkiralište te pješačku stazu do samog ulaza. Treba sadržavati osiguranu infrastrukturu poput puteva i stepenica kako bi se posjetitelji bez prethodnog iskustva mogli sigurno kretati objektom bez opasnosti, saginjanja, proklizavanja, bez da se smoče ili zaprljaju. Posjetiteljima mora biti osigurana rasvjeta, bilo to osobna rasvjeta, poput kacige s rasvjetom, ili češće električna rasvjeta postavljena duž objekta. Lokalitet treba imati i stručnu službu koja brine o zaštiti špilje, održava puteve i rasvjetu, čisti za posjetiteljima, vrši promidžbu, te prodaje ulaznice. Također je potrebno organizirati stručno vodstvo koje će brinuti za posjetitelje, te ih educirati o ljepotama i posebnostima objekta (Božić, 1999).

Gdje god ona postoji, ljudska aktivnost sa sobom donosi i mnoge negativne utjecaje na okoliš. U špilji Vrlovci negativan utjecaj započeo je opsežnim tehničkim zahvatima koji su bili potrebni za turističko uređenje špilje. Fizičke promjene uzrokovane kopanjem i gradnjom staza bile su prvi korak, a zatim su uslijedila površinska oštećenja na stijenama, devastacije poput lomljenja i odnošenja speleotema, urezivanje i ispisivanje grafita po zidovima, te na koncu promjene izazvane učestalim gaženjem posjetitelja. Turističkim djelatnostima zagrijava se stanište, smanjuje relativna vlažnost i povećava se koncentracija ugljikovog dioksida. Uvelike se povećava svjetlosno onečišćenje zbog krivo postavljene ili krivo odabrane vrste električne rasvjete koja onda uzrokuje pojavu obraštaja (lampenflora). Povećana je vjerojatnost odlaganja otpada i biološkog onečišćenja u smislu unošenja spora, sjemenki, bakterija ili organskog materijala. Buka je također problem u objektima u kojim boravi veći broj šišmiša, a svi ovi faktori zajedno ugrožavaju opstanak drugih špiljskih populacija. Podzemne vode onečišćuju se komunalnim otpadnim vodama, pesticidima, umjetnim gnojivima i naftnim derivatima, koji prodiru s ceste i pruge iznad špilje. Zaštita špilja stoga ne smije biti ograničena samo na njih same, već treba obuhvatiti šire slivno područje. Negativni utjecaji iz naseljenih i gospodarskih zona ili njihove blizine, mogu biti izuzetno opasni za podzemlje zbog posebnosti krških vodonosnika (Buzjak, 2008; Ozimec i dr., 2009; Ozimec, 2011).

### 3. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

#### 3.1 Biospeleologija

Zbog iznimno velike kopnene površine pod kršem, Hrvatska obiluje speleološkim objektima, a špiljska fauna jedna je od najzanimljivijih posebnosti bioraznolikosti Hrvatske (Ozimec i dr. 2009). Karlovačka županija kolijevka je hrvatske biospeleologije. Josip Sapetza i Julijana Pichler Stiegler bili su među prvim istraživačima koji su u prvoj polovici 19. stoljeća prikupljali špiljsku faunu u Ozaljskoj špilji. Od tada se špiljska fauna županije istražuje s povremenim prekidima i impresivnim rezultatima. Do danas je identificirano čak 30 endemskih vrsta i nekoliko novih vrsta za znanost (Bedek i dr., 2009).

Jedni od glavnih stanovnika špilje Vrlovke svakako su šišmiši. Kroz povijest je u špilji zabilježeno svega 8 vrsta šišmiša, od kojih je najčešći južni potkovnjak (*Rhinolophus euryale*), a kontinuirano su prisutni veliki (*Rhinolophus ferrumequinum*) i mali potkovnjak (*Rhinolophus hipposideros*). Upravo je zaštita šišmiša razlog uvođenju određenih restrikcija. Naime špilja Vrlovka otvorena je za posjetitelje uz stručno vodstvo, ali posljednjih godina ulasci su ograničeni na 5–15 posjetitelja dnevno, u razdoblju od 2 mjeseca u godini, od sredine travnja do sredine lipnja, kada je broj jedinki šišmiša manji i negativni utjecaj na faunu je minimalan. Posjeti su ograničeni na prvih 270 metara špilje kako bi se izbjegla posljednja dvorana u kojoj je utvrđeno da šišmiši najviše obitavaju, osobito u periodu predviđenom za posjete (Plan upravljanja, 2023). Brojne vrste šišmiša koriste špilju veći dio godine, ne samo zimi kada hiberniraju, nego i ljeti kada formiraju porodične kolonije (Monitoring šišmiša, 2022). Veliki šišmiš (*Myotis myotis*) i riđi šišmiš (*Myotis emarginatus*) ljeti koriste špilju za razmnožavanje i odgoj mladih. Nekoć se u špilji mogao naći i dugokrili pršnjak (*Miniopterus schreibersii*). Ova visoko ugrožena vrsta dugo godina nije zabilježena u Vrlovci što nam govori da trenutni uvjeti u špilji više nisu pogodni za nju. Naime, vrsta je izrazito osjetljiva na uznemiravanje i ne podnosi vrata na ulazima u objekte. Dugonogi šišmiš (*Myotis capaccinii*), druga najugroženija vrsta šišmiša, isključivo je vezana za špilje, te se također može naći u Vrlovci. Riječni šišmiš (*Myotis daubentonii*) zimi se sklanja u pukotine oko ulaza u špilju. Ova vrsta preferira staništa uz vodene površine ili tokove, što špilju Vrlovku, smještenu tik uz rijeku Kupu, čini savršenim skrovištem za njega. Ponekad se može vidjeti i kasni noćnjak (*Eptesicus serotinus*), unatoč tome što je njihova prisutnost obično vezana uz urbana područja (Bedek i dr., 2009).

U sklopu ekološke mreže Natura 2000, područje oko špilje Vrlovke za cilj očuvanja ima vrste *Rhinolophus euryale*, *Rhinolophus ferrumequinum* i *Myotis capaccinii*, a špilja je također međunarodno važno sklonište prema UNEP/EUROBATS Sporazumu o zaštiti europskih populacija šišmiša (Mazija i Renje, 2022).



Slika 3. Porodiljna kolonija vrste *Rhinolophus euryale*, kolovoz 2016. godine. (foto: B. Krstinić, preuzeto iz Žvorc i sur., 2016)

Špiljske životinje klasificiraju se prema njihovom stupnju prilagodbe na život u podzemnim uvjetima: mogu biti potpuno prilagođene (troglobionti na kopnu i stigobionti u vodi), djelomično prilagođene (troglifili na kopnu i stigofili u vodi), te slučajni stanovnici koji nisu prilagođeni podzemnim uvjetima (troglokseni na kopnu i stigokseni u vodi). Lisice, žabe i skakavci primjeri su trogloksena koji mogu povremeno ući u špilje tražeći hlad i sklonište, ali veći dio svog života provode na otvorenom ili u drugim staništima (Čuković i dr., 2017). Šišmiši su povremeni posjetitelji špiljskih staništa i čine troglofilnu faunu. To su organizmi koji nisu nužno vezani isključivo za podzemna staništa, ali su prilagođeni takvim okruženjima te ih često koriste za hibernaciju, razmnožavanje i odgajanje mladih te kao zaklon od potencijalnih predatora tijekom dana. Kod šišmiša najbitniju prilagodbu uključuje sposobnost kretanja i navigacije u mraku koristeći eholoknaciju (sposobnost snalaženja u prostoru koristeći samo zvučne signale) (URL 6). Špilja Vrlovka također ima svoje stalne stanovnike – troglobionte i stigobionte. Špilja je tipski lokalitet za jednu vrstu puža – srednju haufeniju. Tipski lokaliteti

(*locus typicus*) speleološki su objekti gdje su prvi puta sakupljeni primjerci neke nove životinjske vrste. Ti isti uzorci zatim se koriste za znanstveni opis nove vrste. Za mnoge vrste tipski lokaliteti ujedno su i jedino nalazište što dodatno upućuje na potrebu njihove zaštite (Jalžić i dr. 2010). U Vrlovci je tako prvi puta pronađen vodeni pužić srednja haufenija (*Hauffenia media*) što je tada bilo otkriće nove vrste za znanost. Nova vrsta je opisana 1961. godine, a za sada je u Hrvatskoj zabilježena samo u Vrlovci dok je inače rasprostranjena u sjeveroistočnoj Sloveniji (Bedek i dr., 2006; Bedek i dr. 2009). Vrsta je klasificirana kao kritično ugrožena (CR) prema Crvenoj knjizi špiljske faune Hrvatske. Ovaj pužić živi u lokvicama na kamenu i na komadima trulog drveta unutar špilje. On je stenoendem sjeverno dinarske biogeografske regije. (Ozimec i dr., 2009). Osim njega u špilji je čest sitni kopneni pužić špiljaš (*Zospeum isselianum*). Rasprostranjen je u Sloveniji, Italiji, Austriji i sjeverozapadnoj Hrvatskoj. U vodenom toku mogu se vidjeti sitni račići sljepušci (*Niphargus* sp.) i vodeni račić velkovrhova kuglašica (*Monolistra velkovrhi*), endem sjeverozapadnih Dinarida prisutan u Sloveniji i Hrvatskoj. Bijeli titanaš (*Titanethes albus*) je vrsta klasificirana je kao ugrožena (EN) prema Crvenoj knjizi špiljske faune Hrvatske. Podzemljak (*Parapropus sericeus intermedius*) se smatra endemom vrlo uskog areala jer je pronađen na samo tri lokacije, sve tri u blizini rijeke Kupe. U špilji žive i dvije vrste trčaka potpuno prilagođene životu u podzemlju: Kaufmannov slijepac (*Anophthalmus kaufmanni*) i *Anophthalmus hirtus*, kao i lažištupavac iz roda *Roncus*. Vrlovka je prvo nalazište u Hrvatskoj gdje su zabilježeni sićušni kornjaši pipalice (*Pselaphinae*) iz roda žmuraca (*Machaerites*) (Bedek i dr., 2009; URL 7).





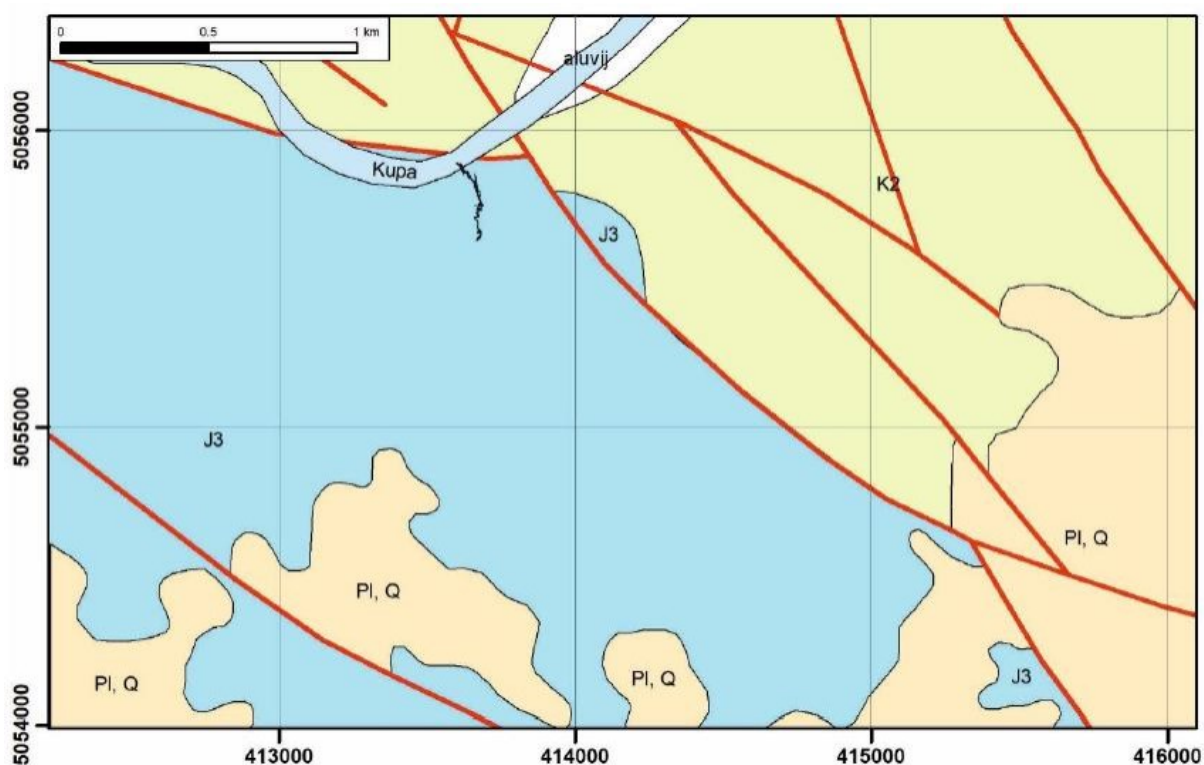
Slika 4. *Hauffenia media* (foto M. Lukić, preuzeto iz Ozimec, 2011).

Sva podzemna fauna i staništa strogo su zaštićeni postojećim Zakonom o zaštiti prirode (NN 80/13) i Pravilnikom o proglašavanju divljih vrsta zaštićenim i strogo zaštićenim (NN 7/2006). Navedenim propisima zabranjeno je njihovo ubijanje, uznemiravanje, ugrožavanje i uništavanje njihovih staništa na bilo koji način (Ozimec i dr., 2009).

Zbog povećane osvjetljenosti turističkih špilja može doći do promjene mikroklimе podzemnog staništa i pojave organskih obraštaja (lampenflora), koji se sastoje od gljiva, algi, mahovina, papratnjača, pa čak i viših biljaka (Ozimec i dr., 2009). Za vrijeme posjeta špilji u sklopu ovog istraživanja utvrđeno je da u Vrlovcu postoji nekoliko biljaka koje su se razvile zahvaljujući sjemenkama donesenim vodenim tokom kroz donji ulaz špilje. Biljke su nikle u blizini rasvjetnih tijela i blizu ulaza gdje još uvijek dopire difuzno svjetlo izvana. Točnu vrstu tih biljaka teško je utvrditi jer su slabo razvijene, kržljave i vrlo blage zelene boje zbog ograničene količine svjetlosti koju primaju. U ulaznoj dvorani nekoliko je zidova prekriveno mahovinom.

### 3.2 Geospeleologija

U špilji Vrlovci temeljito su istražena primarna speleogenetska obilježja, s petrografskim i strukturnim značajkama špilje. Špilja je uglavnom oblikovana u zrnastim vapnenacima, specifično pekstonima do grejnstonima, koji su prepuni fosilnog materijala poput bentičkih foraminifera, zelenih algi i bioklasta rudistnih školjkaša i ježinaca. Rudisti su red školjkaša koji su živjeli od kraja jure prije 160 milijuna godina do kraja krede prije 66 milijuna godina, kada su izumrli (URL 8). U širem području su uglavnom razvijeni biolititi te su utvrđene zajednica sferaktinida, elipsaktinida, briozoa, školjkaša, puževa, koralja i krinoida. Svi ti fosilni organizmi ukazuju na nekadašnju prekrivenost plitkim morem Paratehtys. Najstarije stijene ovog područja su grebenski i subgrebenski vapnenci gornjojurske starosti, dok najmlađe naslage čine holocenske aluvijalne naslage rijeke Kupe. Uz njih se na ovom području mogu naći konglomerati, breče i fliš, na rasjednom kontaktu naslaga gornje krede. Najveći dio izgrađuju flišne naslage koje čine lapori i pješčenjaci (Bočić i Barudžija, 2022; Bukovac i dr., 1984).



Slika 5. Isječak Osnovne geološke karte 1:100000, list Črnomelj (preuzeto iz Bukovac i dr., 1984). Legenda: J3 – vapnenci gornje jure, K2 – breče, konglomerati i fliš gornje krede, Pl, Q – pliokvartarne klastične naslage. aluvij – aluvijalne naslage rijeke Kupe, crvene linije – rasjedi.

Rasjedi i pukotinski sustav u špilji većinom su orijentirani u smjeru sjeverozapad-jugoistok, odnosno dinarskom orijentacijom, i imali su značajnu ulogu u postanku i razvoju morfologije špilje. U različitim dijelovima špilje nalaze se brojne pukotine i rasjedi koji su najvjerojatnije potpomogli širenju dijelova glavnog kanala (Bočić i Barudžija, 2022).



Slika 6. Fosilni ostatak rudistnog školjkaša s muljnim petroglifima na bočnom zidu glavnog kanala špilje Vrlovke.

#### 4. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

U špilji je zabilježen niz različitih speleogena međutim, do danas nije provedeno njihovo sustavno istraživanje i interpretacija. S obzirom da se radi o važnom geomorfološkom lokalitetu, cilj ovog rada je kartirati, klasificirati i protumačiti speleogene unutar špilje Vrlovke kod Kamanja. U radu će se koristiti metode i tehnike terenskog kartiranja unutar speleološkog objekta, dokumentiranja, prostorne analize i interpretacije speleogena. Očekuje se da će provedeno istraživanje pomoći u interpretaciji nastanka i razvoja ove špilje, te također u definiranju njene georaznolikosti. Upoznavanje sa speleogenima špilje Vrlovke ima za cilj poboljšanje, te učinkovitije upravljanje špiljom kao geomorfološkim spomenikom prirode.

## 5. METODE RADA

Izrada rada je započela pregledom relevantne znanstvene literature i prethodnih istraživanja provedenih u špilji Vrlovci. Provedeno je terensko istraživanje u špilji gdje je izvršen detaljan pregled površine stijena u kanalu kako bi se prepoznao što veći broj mikromorfoloških reljefnih oblika, točnije speleogena. Zatim je provedena njihova inventarizacija i kartiranje.

Budući da se špilja istražuje već gotovo 100 godina, speleološki nacrt špilje odavno je dostupan i to u nekoliko izdanja, a najnoviji izradili su Neven i Ksenija Bočić 2016. godine. Nacrt speleološkog objekta je umanjeni grafički prikaz objekta koji sadrži osnovne karakteristike objekta i njegove dimenzije, a sastoji se od tlocrta i profila (Barišić, 2017). Objekt je snimljen modernim tehnikama topografskog snimanja, te digitalno nacrtan pomoću programa Adobe Illustrator, Na nacrtu se mogu naći i dodatni simboli kako bi se što zornije predočio objekt. Primjerice, na navedenom nacrtu ucrtana je asfaltirana staza za posjetitelje i ulazne stepenice, kao i neki značajniji geomorfološki oblici. U sklopu ovog istraživanja na nacrtu su dodatno ucrtane brojčane oznake lokacija i simboli popisanih speleogena u objektu.

Za svaki pojedini uočeni speleogen izrađena je dokumentacijska kartica koja sadrži redni broj koji označava lokaciju na speleološkom nacrtu, naziv oblika, njegovu udaljenost od ulaza, položaj unutar kanala/dvorane, uvjete i procese nastanka, procjenu zastupljenosti pojedinog oblika unutar objekta, fotografije lokaliteta te bilo kakve dodatne opservacije uočene tokom istraživanja. Zastupljenost pojedinih oblika ocijenjena je na ljestvici od 1 do 3, pri čemu 1 označava najmanje prisutne oblike, a 3 najzastupljenije.

Kako bi se foto dokumentirali svi speleogeni špilje Vrlovke korišteni su fotoaparat Canon EOS 350D te mobilni uređaji Samsung Galaxy S10e i Honor 90 Lite. Kako bi se dočaralo mjerilo na fotografijama koristio se preklopni metar s oprugom kojem duljina jednog članka iznosi 20 cm.

## 6. REZULTATI

### 6.1 Popis speleogena u špilji Vrlovci

U sklopu ovog rada obrađeno je 47 mikromorfoloških oblika (Tablica 1) identificiranih prilikom terenskog istraživanja. Redni brojevi u tablici su dodjeljivani u skladu s redoslijedom pojave oblika od ulaza prema kraju špilje. Navedeni su i uvjeti i procesi koji su doveli do nastanka oblika.

Tablica 1. Speleogeni špilje Vrlovke i njihove osnovne karakteristike.

| Redni broj | Naziv                                | Uvjeti nastanka | Procesi nastanka                                  |
|------------|--------------------------------------|-----------------|---|
| 1.         | Vrtložni lonac                       | Vadozni         | Mehanička erozija + korozija                      |
| 2.         | Kupola                               | Freatski        | Korozija (duž pukotina) + biokorozija             |
| 3.         | Kupole                               | Freatski        | Korozija (duž pukotina) + biokorozija             |
| 4.         | Niša                                 | Vadozni         | Korozija turbulentnim vodenim tokom               |
| 5.         | Kupola                               | Freatski        | Korozija turbulentnim vodenim tokom + biokorozija |
| 6.         | Biokorozija u usjeku                 | Vadozni         | Biokorozija                                       |
| 7.         | Korodirane sige                      | Vadozni         | Kondenzacijska korozija + biokorozija             |
| 8.         | Morfološki tragovi biokorozije       | Vadozni         | Biokorozija                                       |
| 9.         | Korozijski oblici u pukotinskoj zoni | Freatski        | Korozija turbulentnim vodenim tokom               |
| 10.        | Niša                                 | Vadozni         | Kondenzacijska korozija + erozija                 |
| 11.        | Stropni džepovi                      | Freatski        | Korozija (duž pukotina)                           |
| 12.        | Korozijski oblici u pukotinskoj zoni | Vadozni         | Korozija (duž pukotina)                           |
| 13.        | Anastomoza                           | Freatski        | Korozija (duž pukotina)                           |

|     |                                      |          |                                     |
|-----|--------------------------------------|----------|-------------------------------------|
| 14. | Anastomoza                           | Freatski | Korozija (duž pukotina)             |
| 15. | Stropni džep                         | Freatski | Korozija pod pritiskom              |
| 16. | Stropni kanal                        | Freatski | Korozija                            |
| 17. | Anastomoza/stropni kanal             | Freatski | Korozija                            |
| 18. | Biokorodirani zid i sige             | Vadozni  | Biokorozija                         |
| 19. | Stropni kanal                        | Freatski | Korozija                            |
| 20. | Stijenski privjesci                  | Freatski | Korozija pod pritiskom              |
| 21. | Stijenski privjesci                  | Freatski | Korozija pod pritiskom              |
| 22. | Stropni kanal                        | Freatski | Korozija                            |
| 23. | Niša                                 | Vadozni  | Kondenzacijska korozija             |
| 24. | Morfološki tragovi biokorozije       | Vadozni  | Biokorozija                         |
| 25. | Korozija duž pukotina                | Freatski | Korozija turbulentnim vodenim tokom |
| 26. | Morfološki tragovi biokorozije       | Vadozni  | Biokorozija                         |
| 27. | Škrape                               | Vadozni  | Korozija procjednicom               |
| 28. | Korozijski oblici u pukotinskoj zoni | Vadozni  | Korozija                            |
| 29. | Fasete                               | Freatski | Korozija turbulentnim vodenim tokom |
| 30. | Iskorodirane međuslojne plohe        | Freatski | Korozija                            |
| 31. | Korozija u pukotinskoj zoni          | Freatski | Korozija                            |
| 32. | Fasete                               | Freatski | Korozija turbulentnim vodenim tokom |
| 33. | Fasete                               | Freatski | Korozija turbulentnim vodenim tokom |

|     |                                |          |   |
|-----|--------------------------------|----------|---|
| 34  | Fasete                         | Freatski | Korozija turbulentnim vodenim tokom               |
| 35. | Morfološki tragovi biokorozije | Vadozni  | Korozija procjednicom + biokorozija               |
| 36. | Kaskadne škrape                | Vadozni  | Korozija procjednicom                             |
| 37. | Fasete                         | Freatski | Korozija turbulentnim vodenim tokom Korozija      |
| 38. | Kupola                         | Freatski | Korozija (duž pukotina) + biokorozija             |
| 39. | Kupola                         | Freatski | Korozija (duž pukotina) + biokorozija             |
| 40. | Vrtložni lonci                 | Vadozni  | Mehanička erozija + korozija                      |
| 41. | Škrape                         | Vadozni  | Korozija procjednicom                             |
| 42. | Stropni džep                   | Freatski | Korozija pod pritiskom                            |
| 43. | Stropni kanal                  | Freatski | Korozija  |
| 44. | Fasete                         | Freatski | Korozija  |
| 45. | Škrape                         | Vadozni  | Kondenzacijska korozija ili korozija procjednicom |
| 46. | Uzlazni žljeb iz pukotine      | Freatski | Korozija  |
| 47. | Anastomoze                     | Freatski | Korozija (duž pukotina)                           |

## 6.2 Dokumentacijske kartice

Redni broj: 1.

Naziv: **Vrtložni lonci**

Lokacija: ~ 5 m od ulaza

Položaj: na dnu špiljskog kanala koji započinje sporednim ulazom

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: mehanička erozija + korozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 1

Uz desni rub ulazne dvorane prostire se korito vodenog toka koje započinje u sedimentu, a kako se približava izlazu iz špilje postupno se usijeca u stijenu te tvori vadozni kanjon. Originalni freatski kanal se zbog promjene uvjeta pretvara u vadozni kanjon tj. u kanal tipa ključanice. U koritu su se formirale stepenice unutar kojih su mali vrtložni lonci, a na njihovom dnu se nalaze dva najveća vrtložna lonca čija dna su probušena zbog prelaska vodenog toka u vodopad. Vrtložni lonci su povezani erozijskim mostom i s obzirom na to da su probušeni, kroz njih voda izlazi iz same špilje.

Fotografije:





Redni broj: 2 i 3

Naziv: **Kupole**

Lokacija: ~ 20 m od ulaza

Položaj: na stropu špiljskog kanala koji se nastavlja na ulaznu dvoranu

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija (duž pukotina) + biokorozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Kupole su malih dimenzija i nalaze se u nizu na stropu kanala u pukotinskoj zoni. Dodatno su proširene pod utjecajem biokorozije.

Fotografija:



Redni broj: 4

Naziv: **Niša**

Lokacija: ~ 32 m od ulaza

Položaj: desni zid ulazne dvorane

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: korozija turbulentnim vodenim tokom

Procjena zastupljenosti u špilji: 1

Udubina u stijeni posljedica je korozije uzrokovane vodenim tokom koji se periodički pojavljuje kada špilja poplavi. Zbog položaja na desnom rubu dvorane čiji bočni zid je zakrivljen, pojačava se trošenje. Utjecaj korozije seže do visine od oko 1 m.

Fotografija:



Redni broj: 5

Naziv: **Kupola**

Lokacija: ~ 40 m od ulaza

Položaj: na stropu

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija turbulentnim vodenim tokom + biokorozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Kupola je višestruka s 2 tjemena. Blago je izdužena jer se nalazi na pukotini. Široka je 1,1 m, a dugačka 1,3 m. Oblikovana je korozijom duž pukotina, a produbljena biokorozijom.

Fotografija:



Redni broj: 6

Naziv: **Biokorozija u usjeku**

Lokacija: ~ 45 m od ulaza

Položaj: na stropu kanala

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: biokorozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Fotografija:



Redni broj: 7

Naziv: **Korodirane sige**

Lokacija: ~ 48 m od ulaza

Položaj: na stropu u kutu kanala

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: kondenzacijska korozija + biokorozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Sige koje se nalaze iznad naslaga guana su potrošene i prekrivene crnim naslagama bitumena tokom procesa biokorozije.

Fotografija:



Redni broj: 8

Naziv: **Morfološki tragovi biokorozije**

Lokacija: ~ 58 m od ulaza

Položaj: na zidu s lijeve strane kanala

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: biokorozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Stijena je nagrižena pod utjecajem biološke korozije, a crna boja naslaga dolazi od organskog spoja bitumena.

Fotografija:



Redni broj: 9

Naziv: **Korozijski oblici u pukotinskoj zoni**

Lokacija: ~ 62 m od ulaza

Položaj: na lijevoj strani kanala

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija turbulentnim vodenim tokom

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Fotografija:



Redni broj: 10

Naziv: **Niša**

Lokacija: ~ 65 m od ulaza

Položaj: nalazi se s obe strane kanala

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: kondenzacijska korozija + erozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 1

Visoka je 1 m, duboka 20 cm

Gornju granicu niše čini svjetla linija kondenziranih kapljica vode i bakterija. Te mikrobne zajednice sadrže određene vrste aktinomiceta koje su žućkaste boje i hidrofobne, što znači da voda na njima tvori kapljice koje izgledaju kao svjetlucavi zlatni sjaj (URL9).

Fotografije:





Redni broj: 11

Naziv: **Stropni džepovi**

Lokacija: ~ 67 m od ulaza

Položaj: na stropu kanala

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija (duž pukotina)

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Fotografije:



Redni broj: 12

Naziv: **Korozijski oblici u pukotinskoj zoni**

Lokacija: ~ 72 m od ulaza

Položaj: obe strane kanala

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: korozija (duž pukotina)

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Fotografija:



Redni broj: 13

Naziv: **Anastomoza**

Lokacija: ~ 80 m od ulaza

Položaj: na stropu druge dvorane

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija (duž pukotina)

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Prosječne širine 7 cm i dubine 1-2 cm.

Fotografije:



Redni broj: 14

Naziv: **Anastomoza**

Lokacija: ~ 83 m od ulaza

Položaj: na stropu druge dvorane

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija (duž pukotina)

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Ova anastomoza je tanja i dublja od prethodne (redni broj: 13), širine i dubine oko 3 cm. Na jednoj strani završava udubinom u stropu, a na drugoj se spaja sa stropnim kanalom koji također prolazi kroz dvoranu.

Fotografija:



Redni broj: 15

Naziv: **Stropni džep**

Lokacija: ~ 82 m od ulaza

Položaj: na stropu druge dvorane

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija pod pritiskom

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Fotografije:



Redni broj: 16

Naziv: **Stropni kanal**

Lokacija: ~ 86 m od ulaza

Položaj: na stropu druge dvorane

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Širina kanala u najširoj točki iznosi oko 45 cm.

Fotografija:



Redni broj: 17

Naziv: **Anastomoza/stropni kanal**

Lokacija: ~ 90 m od ulaza

Položaj: na stropu druge dvorane

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Radi se o fragmentu anastomoze, što je vjerojatno rezultat erozije ili pomaka okolnih stijena čime je očuvan samo dio strukture.

Fotografije:



Redni broj: 18

Naziv: **Biokorodirani zid i sige**

Lokacija: ~ 94 m od ulaza

Položaj: na stropu i lijevom zidu u drugoj dvorani

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: biokorozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Moguće ih je naći u blizini mjesta na stropu gdje se u ljetnim mjesecima zadržavaju rodiljne kolonije šišmiša. Ispod kolonija će se naći debele naslage guana, koje isparavanjem uzrokuje kondenzaciju i stvaranje sumporne kiseline. Ovdje kondenzacijska korozija uzrokuje pukotine u svim smjerovima, koje se još nazivaju „slonova koža“. Na stropu iznad zida se nalaze stalaktiti, dio je netaknut, dok je dio iznad naslaga guana korodiran.

Fotografije:





Redni broj: 19

Naziv: **Stropni kanal**

Lokacija: ~ 120 m od ulaza

Položaj: na stropu

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Fotografije:



Redni broj: 20 i 21

Naziv: **Stijenski privjesci**

Lokacija: ~130 i 135 m od ulaza

Položaj: na stropu između žljebova stropnih kanala

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija pod pritiskom

Procjena zastupljenosti u špilji: 1

Privjesci ostaju poput otoka između sjecišta stropnih kanala

Fotografije:



Redni broj: 22

Naziv: **Stropni kanal**

Lokacija: ~ 145 m od ulaza

Položaj: na stropu

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

On je nastavak stropnog kanala pod rednim brojem 19. koji je na pola puta prekinut dimnjakom (vertikalnim kanalom koji vjerojatno seže sve do površine).

Fotografija:



Redni broj: 23

Naziv: **Niša**

Lokacija: ~ 150 m od ulaza

Položaj: urezana u zid s lijeve strane na 1,2m visine

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: kondenzacijska korozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 1

Fotografija:



Redni broj: 24

Naziv: **Morfološki tragovi biokorozije**

Lokacija: ~ 152 m od ulaza

Položaj: zid s desne strane staze

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: biokorozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Fotografije:



Redni broj: 25

Naziv: **Korozija duž pukotina**

Lokacija: ~ 155 m od ulaza

Položaj: zid s desne strane staze

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija turbulentnim vodenim tokom

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Fotografija:



Redni broj: 26

Naziv: **Morfološki tragovi biokorozije**

Lokacija: ~ 160 m od ulaza

Položaj: na lijevom zidu

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: biokorozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Fotografija:



Redni broj: 27

Naziv: **Škrape**

Lokacija: ~ 177 m od ulaza

Položaj: na zidu s lijeve strane kanala

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: korozija procjednicom

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Škrape su žljebaste forme, najčešće na zidovima kanala, koje se postepeno produbljuju protokom vode. Jedan su od indikatora razvoja u vadoznim uvjetima.

Osim škrapa, na cijeloj površini stijene se vide tamni nepravilni uzorci. To su vermikulacije, vijugavi, isprekidani talozi mulja koji se nalaze na zidovima, stropovima i podovima špilja. Nazivaju se još petroglifi. Nastaju sporim nejednolikim isušivanjem tankog filma vode i sitnozrnatog materijala koji je prevučen preko stijena (URL7).

Fotografija:





Redni broj: 28

Naziv: **Korozijski oblici u pukotinskoj zoni**

Lokacija: ~ 180 m od ulaza

Položaj: na zidu s lijeve strane kanala

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: korozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Fotografije:



Redni broj: 29

Naziv: **Fasete**

Lokacija: ~ 195 m od ulaza

Položaj: s lijeve strane kanala

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija turbulentnim vodenim tokom

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Fasete su blago zaobljene udubine na stijenama unutar špilja, nastale korozijom pod utjecajem vodenog toka. Pomoću njih dobivamo uvid u smjer kretanja toka u vrijeme njihova nastanka, zato ih nazivamo još i strujnice. Ovdje je njihov izvorni oblik modificiran zbog sloja sigovine koji je prekrrio njihovu površinu.

Fotografija:



Redni broj: 30

Naziv: **Korodirane međuslojne plohe**

Lokacija: ~ 200 m od ulaza

Položaj: na zidu s desne strane kanala

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Nalaze se na istom zidu kao i redni broj 31. Iako su jedno pored drugog potpuno su drugačije geometrije.

Fotografija:



Redni broj: 31

Naziv: **Korozijski oblici u pukotinskoj zoni**

Lokacija: ~203 m od ulaza

Položaj: na zidu s desne strane staze

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Fotografija:



Redni broj: 32

Naziv: **Fasete**

Lokacija: ~ 206 m od ulaza

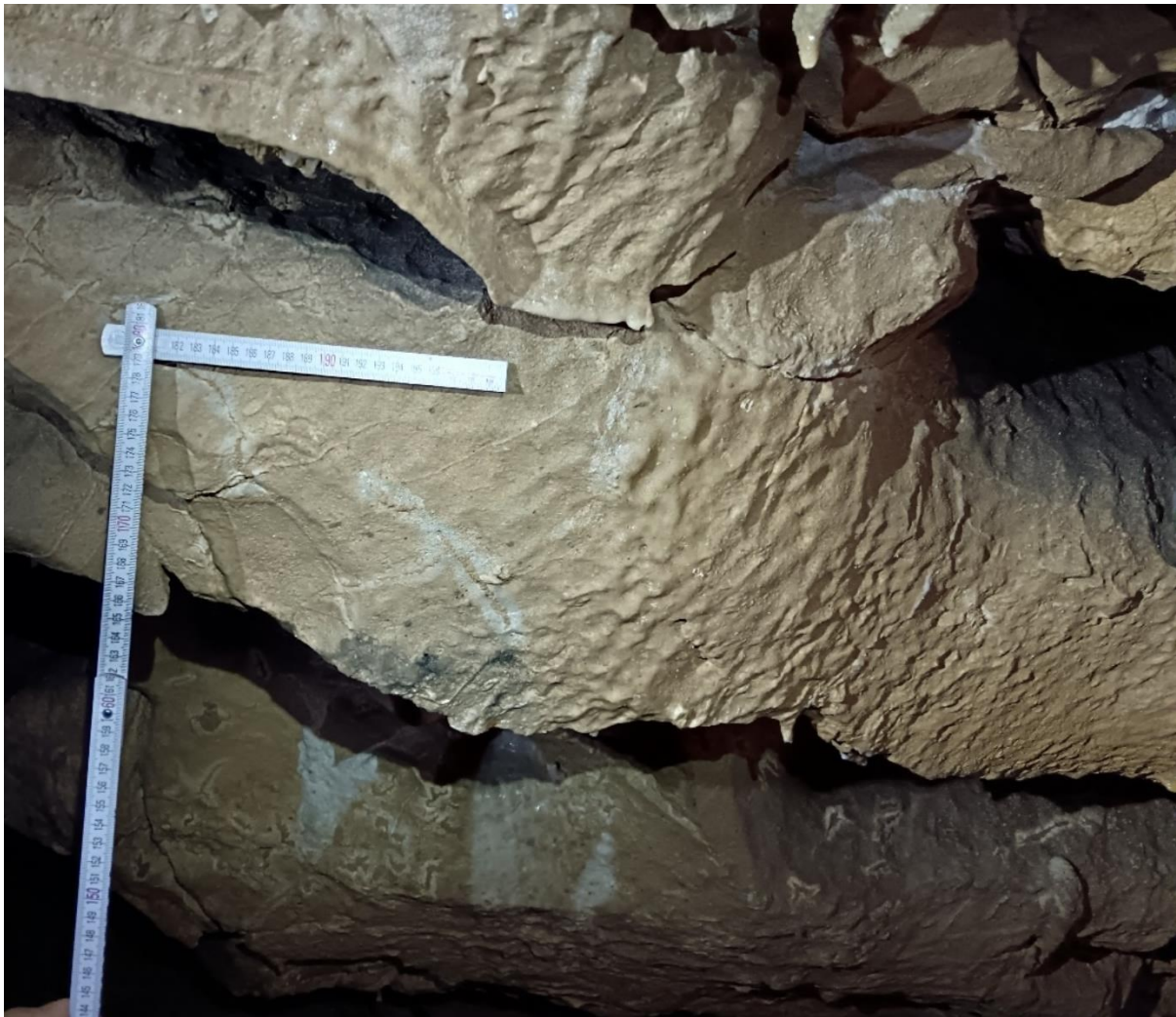
Položaj: na zidu s lijeve strane staze

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija turbulentnim vodenim tokom

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Fotografija:



Redni broj: 33

Naziv: **Fasete**

Lokacija: ~222 m od ulaza

Položaj: na desnom zidu kanala

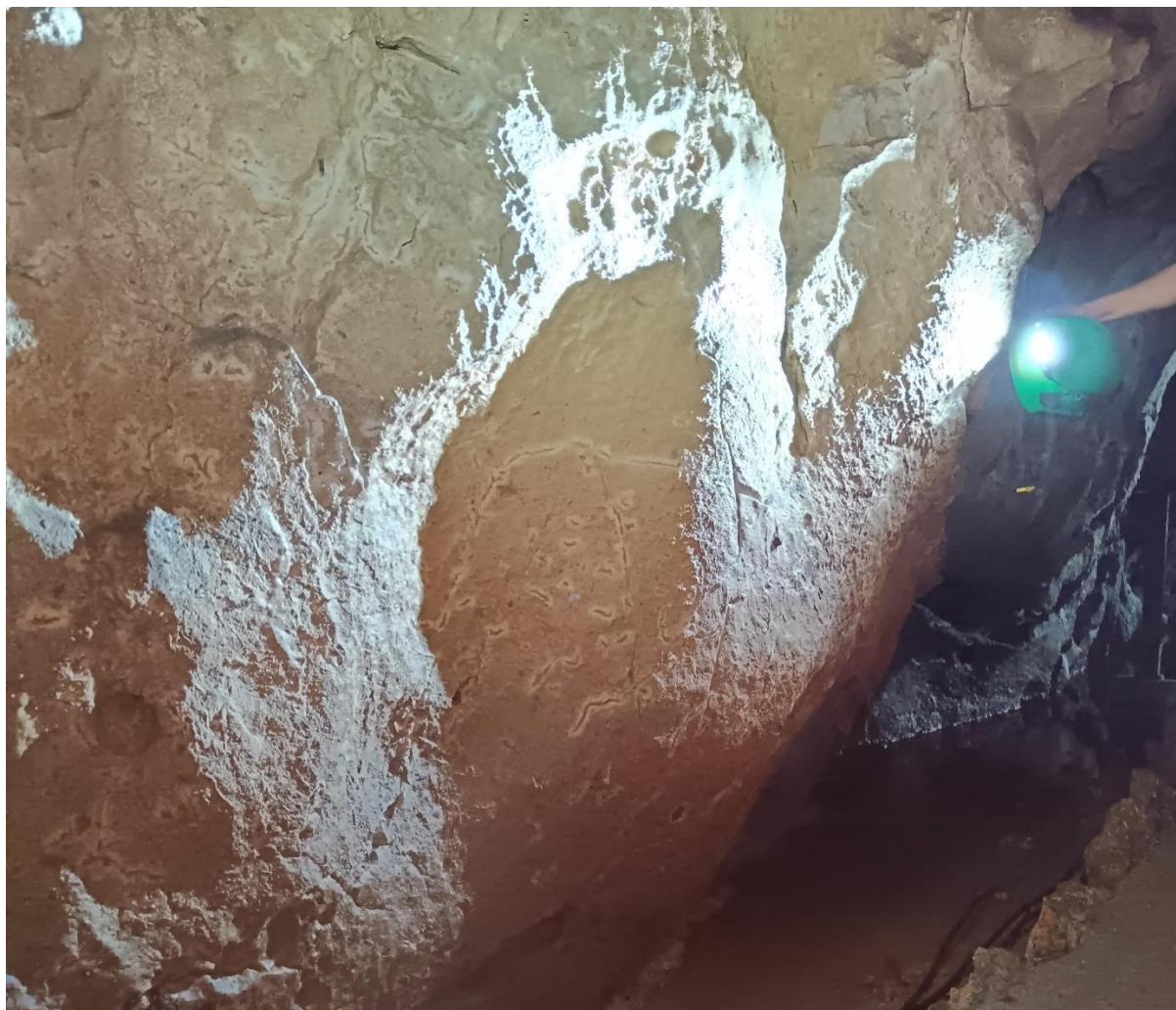
Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija turbulentnim vodenim tokom

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Iznimno velike fasete, starije generacije unutar kojih se nalazi dvije generacije mlađih manjih faseta. Dimenzije najstarijih faseta se u rasponu od 40-70 cm, druge generacije 10-20 cm, a najmlađih oko 2-3 cm. Najveće su nastale u vrijeme kada je špiljom tekao spori tok pod velikim pritiskom, a najmanje su bile pod utjecajem bržeg toka.

Fotografija:



Redni broj: 34

Naziv: **Fasete**

Lokacija: ~ 223 m od ulaza

Položaj: na lijevom zidu kanala

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija turbulentnim vodenim tokom

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Nalaze se vrlo nisko, blizu vodenom toku. Dimenzije oko 2,5 cm.

Fotografija:



Redni broj: 35

Naziv: **Morfološki tragovi biokorozije**

Lokacija: ~ 226 m od ulaza

Položaj: na polici na desnoj strani kanala

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: korozija procjednicom + biokorozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Površinska voda procjeđivala se preko naslaga guana. U kontaktu sa sigovinom se raspršuje i kapljice uzrokuju trošenje u obliku ovog kratera.

Fotografija:





Redni broj: 36

Naziv: **Kaskadne škrape**

Lokacija: ~ 228 m od ulaza

Položaj: na polici s desne strane staze

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: korozija procjednicom

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Fotografija:



Redni broj: 37

Naziv: **Fasete**

Lokacija: ~ 230 m od ulaza

Položaj: na zidu s desne strane kanala

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija turbulentnim vodenim tokom

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Fotografija:



Redni broj: 38 i 39

Naziv: **Kupole**

Lokacija: ~ 233 i 237 m od ulaza

Položaj: na stropu kanala

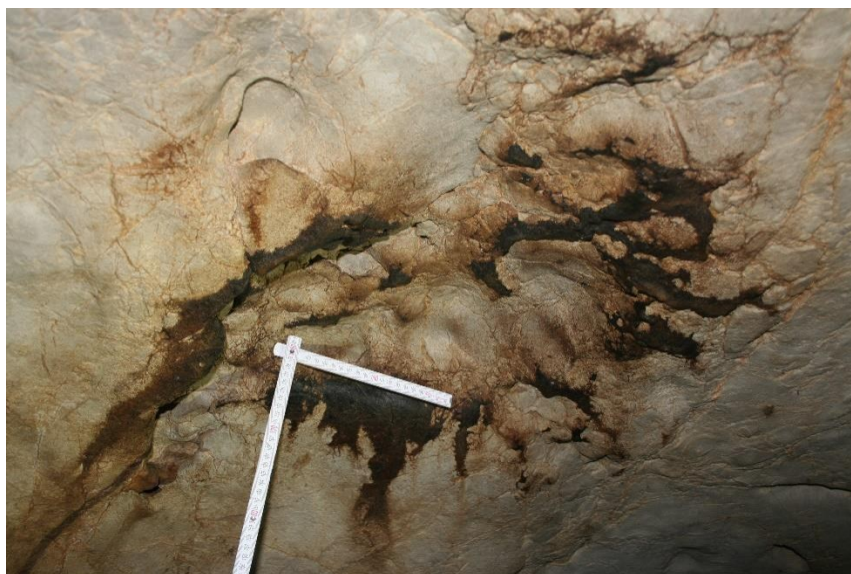
Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija (duž pukotina) + biokorozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Prva kupola ima otvor širine 60 cm i dubinu 65 cm, dok je druga gotovo jednako široka sa 62 cm, ali je vrlo plitka svega 12 cm dubine.

Fotografije:



Redni broj: 40

Naziv: **Vrtložni lonac**

Lokacija: ~ 240 m od ulaza

Položaj: na polici s desne strane kanala

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: mehanička erozija + korozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 1

Ovo su vjerojatno ostaci vrtložnih lonaca. Oni uglavnom nastaju na dnu špiljskog kanala, dok se ovdje nalaze na oko 1 m visine. To nam govori da je između njihovog nastanka i danas na tom mjestu došlo do naknadnog usijecanja u stijenu oko 1 m ispod tadašnje razine.

Fotografija:



Redni broj: 41

Naziv: **Škrape**

Lokacija: ~ 245 m od ulaza

Položaj: na zidu s lijeve strane staze

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: korozija procjednicom

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Na najširem dijelu dimenzije iznose 40 cm. Po unutarnjim rubovima škrape se stvaraju koraloidi. Oni su nakupine kalcita u obliku okruglastih kvržica. Mogu nastati na spektar različitih načina, od procjeđivanja, prskanja kapljica ili kondenzacije, a smatraju se jednom od najčešćih špiljskih ukrasa (URL 11).

Fotografije:



Redni broj: 42

Naziv: **Stropni džep**

Lokacija: ~ 255 m od ulaza

Položaj: na stropu kanala

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija pod pritiskom

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Fotografija:



Redni broj: 43

Naziv: **Stropni kanal**

Lokacija: ~ 260 m od ulaza

Položaj: na stropu kanala

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Fotografija:



Redni broj: 44

Naziv: **Fasete**

Lokacija: ~ 277 m od ulaza

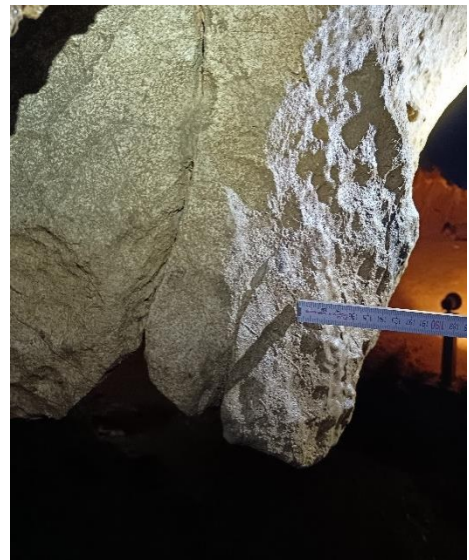
Položaj: na stijenskim izbočinama s desne strane staze

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija turbulentnim vodenim tokom

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Fotografija:





Redni broj: 45

Naziv: **Škrape**

Lokacija: ~ 285 m od ulaza

Položaj: na zidu s lijeve strane staze

Uvjeti nastanka: u vadoznoj zoni

Procesi nastanka: kondenzacijska korozija ili korozija procjednicom

Procjena zastupljenosti u špilji: 2

Voda koja se cijedi iz dimnjaka radi žljebaste udubine, a zatim udara u tlo o prskanjem dodatno uzrokuje kondenzacijsku koroziju koja stvara sitne udubine s donje strane stijene.

Fotografija:



Redni broj: 46

Naziv: **Uzlazni žljeb iz pukotine**

Lokacija: ~ 290 m od ulaza

Položaj: prostire se duž pukotine koja se spušta sa stropa

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Fotografija:



Redni broj: 47

Naziv: **Anastomoze**

Lokacija: ~ 300 m od ulaza

Položaj: na stropu zadnje dvorane, odnosno na kraju betonirane staze

Uvjeti nastanka: u freatskoj zoni

Procesi nastanka: korozija (duž pukotina)

Procjena zastupljenosti u špilji: 3

Fotografija:

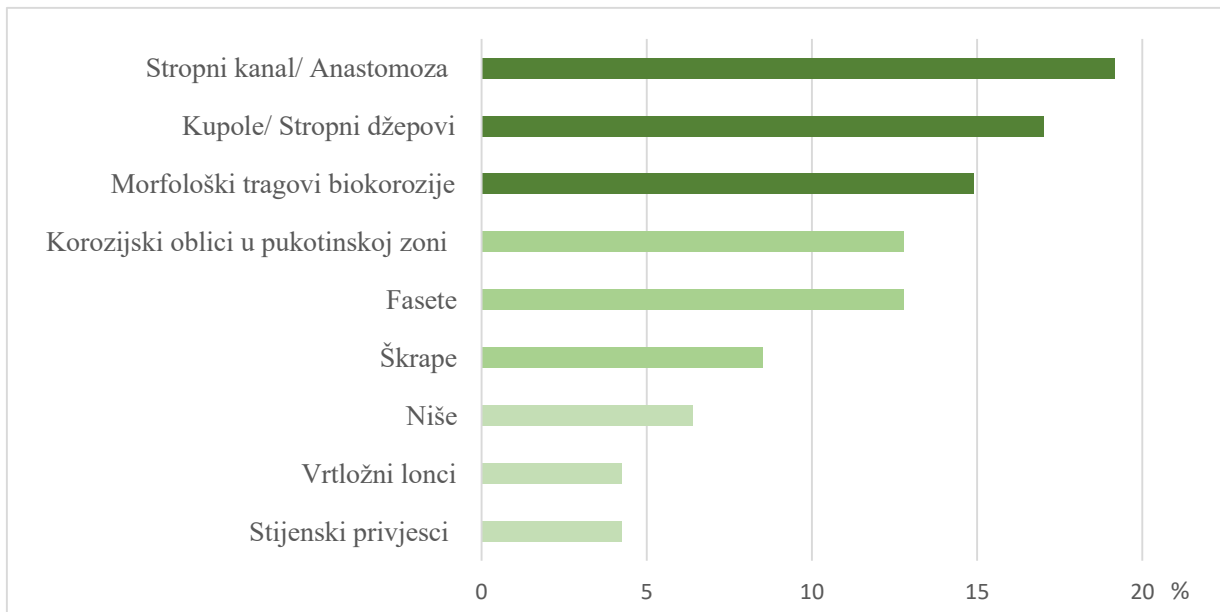


## 7. RASPRAVA

Istraživanje karakteristika speleoloških objekata svodi se na promatranje rezultata posljednje faze razvoja, a samo povremeno uključuje rezultate prethodnih faza speleogeneze. Proučavamo višestruko preoblikovane početne geološke strukture zbog čega je vrlo teško nagađati o najstarijim formacijama, budući da su one često preoblikovane onim novijim. Moramo pokušati pronaći odgovore na površini stijena i neizravno spekulirati o uvjetima tijekom nastanka sadašnje špilje. U kanalima gdje su očuvani tragovi freatskih uvjeta, određene značajke već su promijenjene samim time što su naknadno nastupili vadozni uvjeti (Knez, 1998).

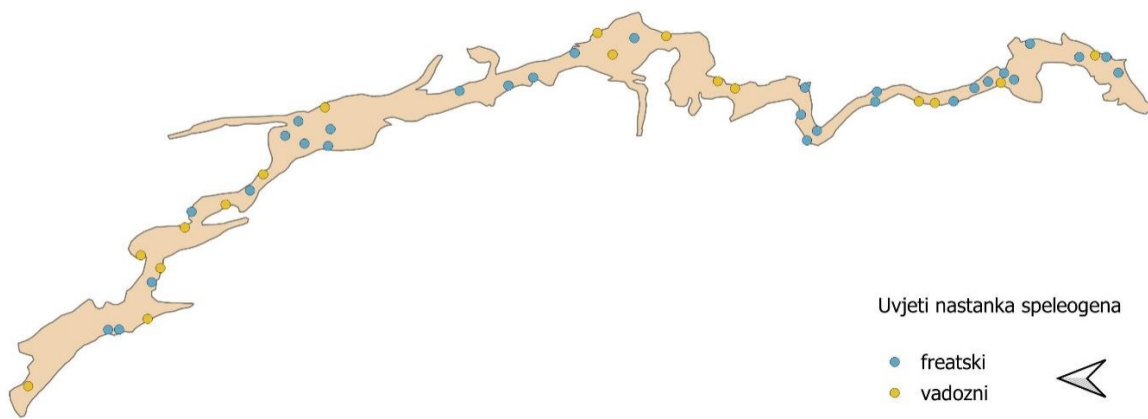
Ključan utjecaj na oblikovanje špilje Vrlovke u samom početku njenog razvoja imali su rasjedi i pukotine. Oni glavni većinom se pružaju u smjeru sjever-jug, što je također i orijentacija glavnog kanala. dok su poprečne pukotine doprinijeli proširenju dijelova glavnog kanala (Bočić i Barudžija, 2022). Velik je utjecaj na poprečne pukotine imala i korozija koja ih je proširila i oblikovala, a na to nam ukazuje veliki broj speleogena koji su započeli svoj razvoj baš na pukotinama.

Proučavani su tipovi speleogena i njihova brojčana zastupljenost u špilji. Od svih kartiranih mikrospeleomorfoloških oblika najveću zastupljenost imali su stropni kanali i anastomoze, njih čak 9 od 47 oblika što iznosi 19%. Nakon njih su slijedile kupole i stropni džepovi, njih 8 što iznosi 17%. Sljedeći po redu su bili biokorozijski morfološki oblici, njih 7 odnosno 15%. Ovim trima skupinama je dodijeljen broj 3 tokom procjene zastupljenosti oblika u špilji. Zatim slijede skupine kojima je dodijeljen broj 2. To su korozijski oblici u pukotinskoj zoni i fasete, svaki sa po 6 oblika odnosno 13%, te škrape s 4 oblika, odnosno zastupaju 9% ukupne raznolikosti. Najmanje zastupljene su bile niše, njih 3 što čini 6%, te stropni privjesci i vrtložni lonci svaki po dvije pojave i 4% ukupnog udjela. Njima je u procjeni zastupljenosti oblika u špilji dodijeljen broj 1. Ne čudi da vrtložni lonci imaju najmanju brojnost, ako uzmemo u obzir da se najčešće formiraju na podu, a pod špilje Vrlovke je uvelike modificiran izgradnjom betonske šetnice koja se proteže gotovo cijelom dužinom staze.



Graf 1. Zastupljenost tipova speleogena u špilji Vrlovci

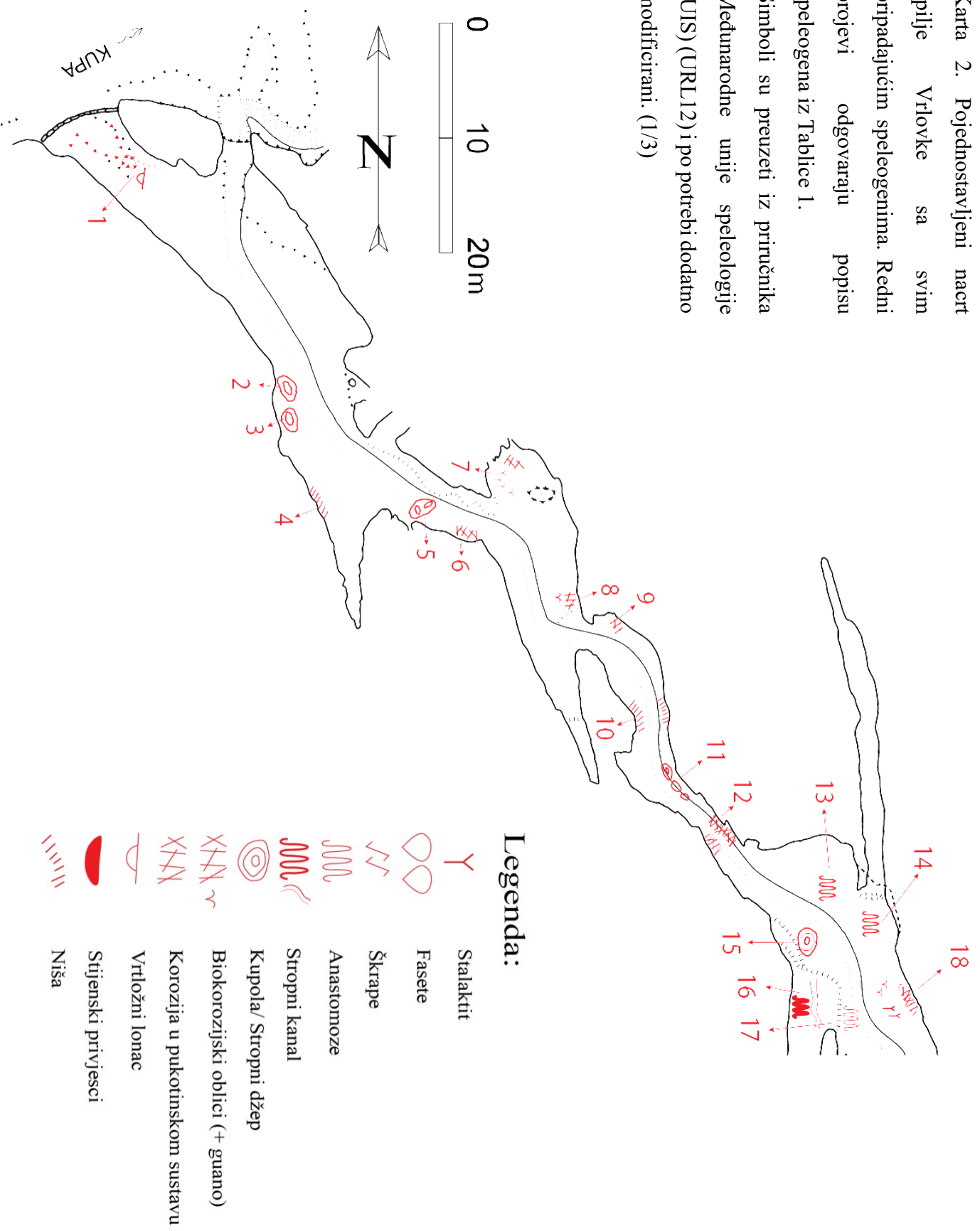
Većina tipova speleogena ima podjednaku zastupljenost u svim dijelovima špilje. Izuzetak su škrape i fasete koje nalazimo samo u zadnjoj trećini špilje, tj. prve škrape se pojavljuju na oko 180 m od ulaza, a zadnje praktički na samom kraju uređenog djela špilje. Omjer oblika nastalih u pretežno vadoznim uvjetima iznosi 38% kartiranih pojava, naspram 62% onih koji su nastali u freatskim uvjetima. Promatranjem prostornog rasporeda speleogena prema uvjetima u kojim su nastajali ne uočavaju se značajne pravilnosti. Špilja se najvjerojatnije u svojoj glavnoj fazi speleogeneze razvijala u freatskoj i epifreatskoj zoni zbog čega nalazimo pregršt oblika na stropu špiljskog kanala. U kasnijem razdoblju dolazi do spuštanja razine vodnog lica i tada se pojavljuju oblici karakteristični za suše kanale poput škrapa i vrtložnih lonaca. Dijelovi špilje bliži ulazu su duži period vjerojatno proveli trajno poplavljeni dok je najdalji dio špilje bio više suh što je imalo za posljedicu jače dubinsko usijecanje kanala.



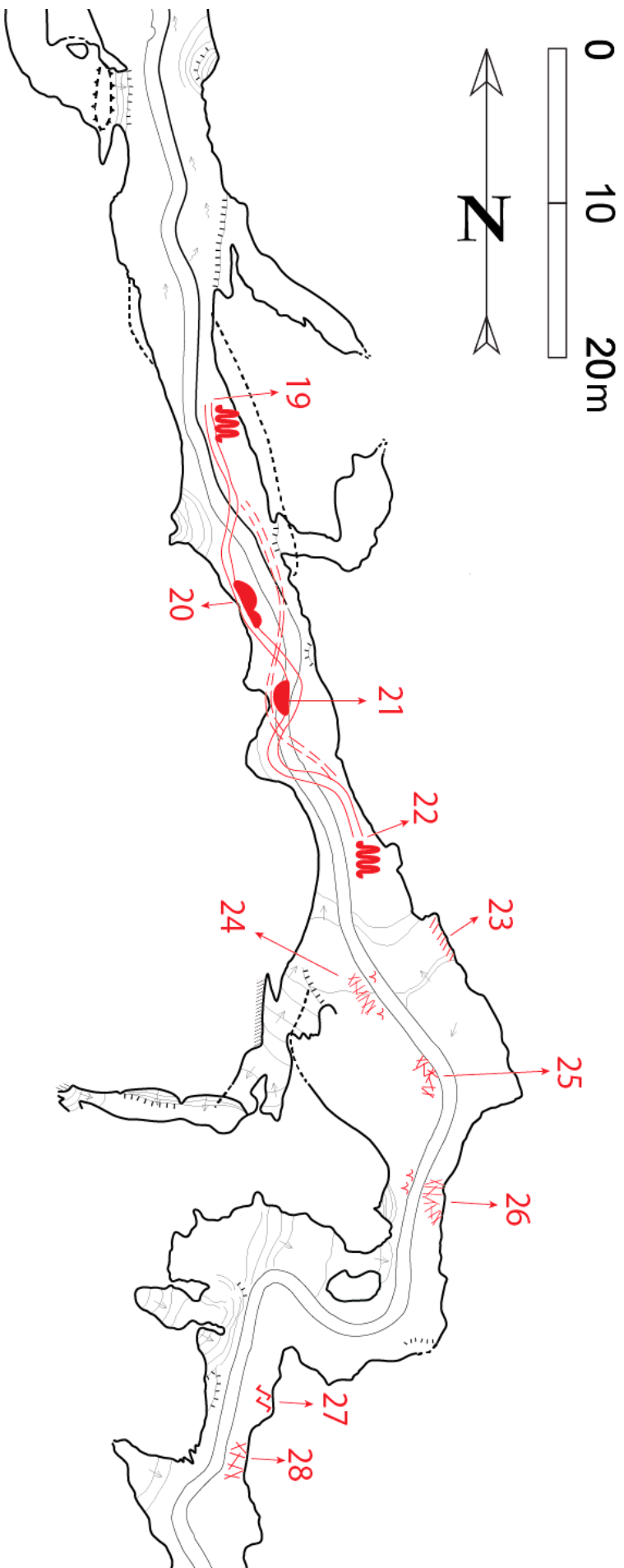
Karta 1. Prostorni raspored speleogena prema uvjetima nastanka

Osim speleogena, špilju krase i brojni stalaktiti, stalagmiti, koraloidi, zavjese, kaskade i saljevi koji su taloženjem kalcita obogatili matičnu stijenu.

Karta 2. Pojednostavljeni nacrt špilje Vrljovke sa svim pripadajućim speleogenima. Redni brojevi odgovaraju popisu speleogena iz Tablice 1. Simboli su preuzeti iz priručnika Međunarodne unije speleologije (UIS) (URL12) i po potrebi dodatno modificirani. (1/3)

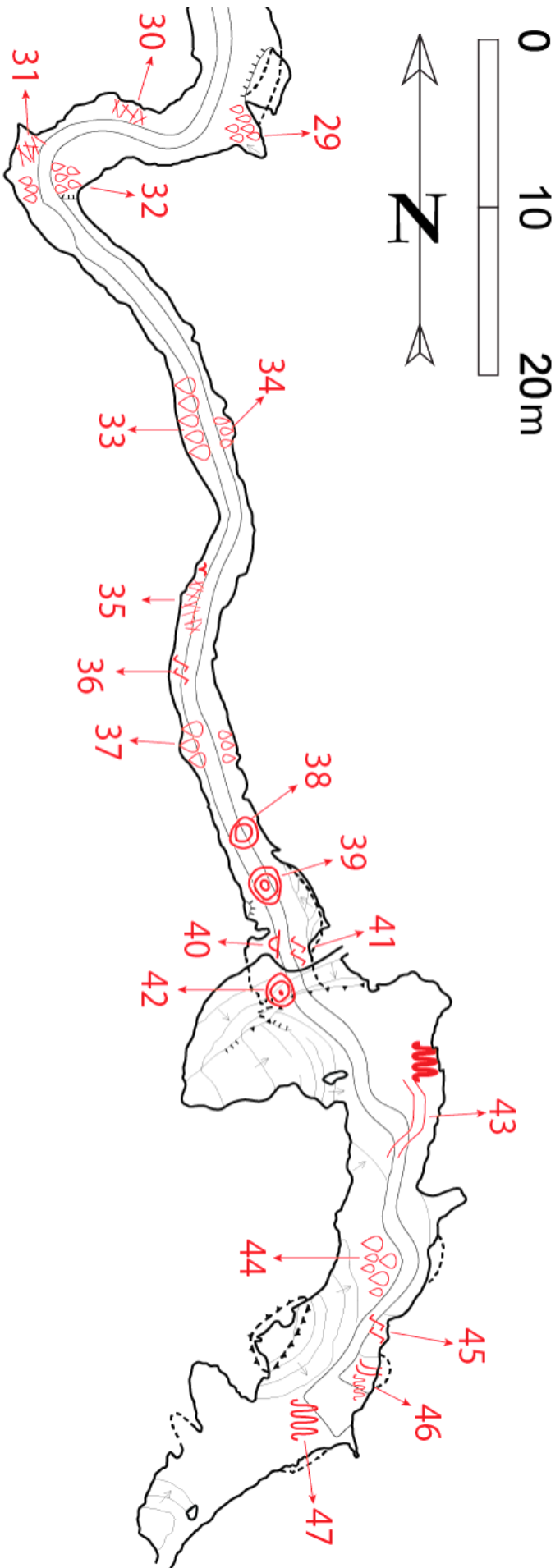


Karta 3. Pojednostavljeni nacrt špilje Vrlovke sa svim pripadajućim speleogenima (2/3)





Karta 4. Pojednostavljeni nacrt špilje Vrlovke sa svim pripadajućim speleogenima (3/3)



## 8. ZAKLJUČAK

Špilja Vrlovka, smjestila se u vapnencima gornjojurske starosti, krednim vapnencima i aluvijalnim naslagama rijeke Kupe. Predstavlja jednostavan speleološki objekt od velikog geomorfološkog značaja. Pretežno je formirana u epifreatskim uvjetima, s dominantnim freatskim oblicima. Tokom istraživanja, zabilježeno je 47 speleogenih pojava unutar manje od 300 metara špilje, što je znatan broj za tako mali prostor. Najbrojnije forme su stropni kanali i anastomoze koji čine gotovo 1/5 svih zabilježenih pojava, dok su vrtložni lonci i stropni privjesci najmanje zastupljeni, svaki s tek 4%.

Speleogeni su mikromorfološki oblici su dio osnovne stijene u kojoj je špilja formirana, oblikovani erozijom i korozijom u karakteristične zanimljive oblike. Za razliku od svih drugih špiljskih formacija poput speleotema, speleogeni nisu mineralne ni kristalne strukture i to ih čini mnogo otpornijim na promjene uvjeta i antropogene utjecaje. Specifičnost pojedinih dijelova objekta može proizlaziti iz obilježja hidrološke funkcije, te dijelova koji se nalaze u pojedinim hidrografskim zonama. Svi ti uvjeti su prilično ujednačeni duž cijele površine ove relativno male špilje i ne uzrokuju značajne varijacije u prostornom rasporedu mikromorfoloških oblika koje su pomogli stvoriti. Morfologija špilje ukazuje na speleogenezu koja se odvijala pretežno u freatskim uvjetima ispod vodene površine. Međutim, škrape, biokorozijski oblici i vrtložni lonci predstavljaju oblike nastale prodorom površinskih voda nakon isušivanja špilje i nastupa vadoznih uvjeta.

Mikro-, mezo- i makromorfološki oblici zajedno doprinose visokoj georaznolikosti špilje. Špilja Vrlovka pripada u jedan od devet vrsta zaštićenih područja u Hrvatskoj, a to kao geomorfološki spomenik prirode. Ovaj status označava njezinu značajnu geološku i geomorfološku vrijednost i osigurava zaštitu njenih jedinstvenih prirodnih obilježja. Špilja je djelomično otvorena za javnost, što doprinosi njezinoj popularnosti, ali i zahtijeva dodatnu pažnju u pogledu očuvanja njene prirodne i intrinzične vrijednosti od daljnjih antropogenih utjecaja.

## 9. LITERATURA

- Barišić, T., 2017: Speleološki nacrt – topografsko snimanje i simboli. U: Rnjak, G. (ur.) Speleologija, Planinarsko društvo Sveučilišta Velebit, Zagreb, 428–75.
- Basara, D., 2021: Praćenje ekoloških parametara s ciljem očuvanja i zaštite špilje Vrlovke, Stručni elaborat, Osmica, 1–76.
- Bedek, J., Bilandžija, H., Hamidović, D., Cvitanović, H., Dražina, T., Jalžić, B., Jalžić, V., Kovač Konrad, P., Lukić, M., Miculinić, K., Ozimec R., Pavlek, M., 2009: Svijet ispod svijeta: Bioraznolikost špiljske faune Ogulina i Kamanja – podzemna baština od svjetske važnosti sakrivena u Karlovačkoj županiji, Hrvatsko biospeleološko društvo, Zagreb.
- Bedek, J., Gottstein, S., Jalžić, B., Ozimec, R., Štamol, V., 2006: Katalog tipskih špiljskih lokaliteta faune Hrvatske, *Natura Croatica* 15 (1), Hrvatski prirodoslovni muzej, 1–154.
- Bočić, N., Pahernik, M., Maradin, M., 2016: Temeljna geomorfološka obilježja Karlovačke županije, *Prirodoslovlje* 16, 10–32.
- Bočić, N., 2017: Krš – definicija, svojstva, distribucija. U: Rnjak, G. (ur.) Speleologija, Planinarsko društvo Sveučilišta Velebit, Zagreb, 557–570.
- Bočić, N., Mišur, I., 2017: Speleogeneza i spleomorfologija. U: Rnjak, G. (ur.) Speleologija, Planinarsko društvo Sveučilišta Velebit, Zagreb, 572–581.
- Bočić, N., Barudžija, U., 2022: Usluge geomorfološkog istraživanja s izradom elaborata za Geomorfološki spomenik prirode - Špilja Vrlovka – Završno izvješće, 1–23.
- Bögli, A., 1980: Speleomorphology, the World of Forms Created by the Subterranean Removal of Matter. U: *Karst Hydrology and Physical Speleology*, Springer, Berlin, Heidelberg, 151–164.
- Božić, V., 1999: Speleološki turizam u Hrvatskoj - vodič po uređenim i pristupačnim špiljama i jamama, *Ekološki glasnik*, Zagreb.
- Božić, V., Bakšić, D., Bakšić, A., Paar, D., Barišić, T., Aleraj, B., Malinar H., Novosel, Lj., Josipović, Č., Železnjak, R., Ozimec, R., Rešetar, S., Hrašćanec, S., Lacković, D., Čop, A., Čepelak, M., 2000: Speleologija, Planinarsko društvo Sveučilišta Velebit, Zagreb.
- Božičević, S., 1961: Život posvećen planinama, *Naše planine* 13(7), 158–165.
- Bretz, J. H., 1942: Vadose and Phreatic Features of Limestone Caverns, *The Journal of Geology* 50(6), 675–811.

- Brilha, J., Gray, M., Pereira, D. I., Pereira, P., 2018: Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature, *Environmental Science and Policy* 86, 19–28.
- Bukovac, J., Šušnjar, M., Poljak, M., Čakalo, M., 1984: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Črnomelj L33–91, Geološki zavod Zagreb, Geološki zavod Ljubljana, Savezni geološki institut Beograd.
- Butorac, V., Talaja, M., 2021: Evaluation of geodiversity of speleological objects for the purpose of systematic protection and management development, *Speleolog* 69(1), 8-17.
- Buzjak, N., 2002: Speleološke pojave u Parku prirode "Žumberak – Samoborsko gorje", *Geoadria* 7(1), 31–49.
- Buzjak, N., 2008: Geoecological Evaluation of the Speleological Features of Žumberačka gora Mt., *Hrvatski Geografski Glasnik* 70, 73–89.
- Buzjak, N., 2011: Georaznolikost i geobaština – pojam i značenje, u: 5. hrvatski geografski kongres, Knjiga sažetaka, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, 1–30.
- Curić, Z., Curić, B., 1999: Školski geografski leksikon, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb.
- Čuković, T., Čukušić, A., Rnjak, D., 2017: Biospeleologija U: Rnjak, G. (ur.) Speleologija, Planinarsko društvo Sveučilišta Velebit, Zagreb, 661–674.
- Das, M., Goswami, S., Guru, B., 2007: Caves and caverns. *Everyman's Science* 16 (6), 392–396.
- Ford, D. C., Williams P., 2007: Karst Hydrogeology and Geomorphology, John Wiley & Sons Ltd, 1–30.
- Forti, P., Galli, E., Rossi, A., 2006: Peculiar Minerogenetic Cave Environments of Mexico: The Cuatro Ciénegas Area, *Acta Carsologica* 35, 1–21.
- Garašić, M., 1986: Hydrogeology and Morphogenesis of the Caves in Croatian Karst. Ph.D. Thesis, University of Zagreb, Faculty of Geology, Zagreb, 1–161.
- Garašić, M., 1991: Morphological and hydrogeological classification of speleological structures (caves and pits) in the Croatian karst area, *Geološki vjesnik* 44, 289–300.
- Garašić, M., 2021: The Dinaric Karst System in Croatia. *Cave and Karst Systems of the World*, Springer, Cham, 1–30.
- Jalžić, B., Bedek, J., Bilandžija, H., Cvitanović, H., Dražina, T., Gottstein, S., Kljaković Gašpić, F., Lukić, M., Ozimec, R., Pavlek, M., Slapnik, R., Štamol, V., 2010: Atlas špiljskih tipskih lokaliteta faune Republike Hrvatske, svezak 1., Hrvatsko biospeleološko društvo, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, 1–261.

- Klimchouk, A.B., Ford, D.C., 2009: Hypogene Speleogenesis and Karst Hydrogeology of Artesian Basins, Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Simferopol, 1–280.
- Klimchouk, A.B., 2013: Hypogene Speleogenesis, Treatise on Geomorphology 6, Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Simferopol, 220–240.
- Knez, M., 1998: The influence of bedding-planes on the development of karst caves (a study of Velika Dolina at Škocjanske Jame caves, Slovenia), *Carbonates Evaporites* 13, 121–131.
- Lacković, D., 2017: Sige. U: Rnjak, G. (ur.) Speleologija, Planinarsko društvo Sveučilišta Velebit, Zagreb, 596–614.
- Mazija, M., Renje, S., 2017: Monitoring faune šišmiša u geomorfološkom spomeniku prirode špilji Vrlovka (Kamanje), Završni izvještaj, Udruga za zaštitu šišmiša Tragus, Zagreb.
- Mazija M., Renje S., 2022: Monitoring faune šišmiša u geomorfološkom spomeniku prirode špilji Vrlovka (Kamanje) za 2022. godinu, Završni izvještaj, Udruga za zaštitu šišmiša Tragus, Zagreb.
- Moldovan, O. T., Kovac, L., Halse, S., 2018: *Cave Ecology*, Springer. Basel, 1–43.
- Ozimec, R., Bedek, J., Gottstein, S., Jalžić, B., Slapnik, R., Štamol, V., Bilandžija, H., Dražina, T., Kletečki, E., Komerički, A., Lukić, M., Pavlek, M., 2009: Crvena knjiga špiljske faune Hrvatske, Ministarstvo kulture, Državni Zavod za zaštitu prirode, Zagreb, 1–371.
- Ozimec, R., 2009: Biospeleološka izložba: Karlovačka županija kolijevka Hrvatske biospeleologije, *Subterranea Croatica* 7(11), Karlovac, 1–46.
- Palmer, A.N., 2007: Characteristics of solution caves. U: *Cave geology*, Cave Books, 138–185.
- Slabe, T., 1995: Cave Rocky Relief and its Speleogenetical Significance, Znanstvenoraziskovalni Center SAZU, Ljubljana, 1–134.
- Tarhule-lips, R., Ford, D., 1998: Condensation Corrosion in Caves on Cayman Brac and Isla de Mona, *Journal of Cave and Karst Studies* 60, 1–12.
- Trpčić, M., 2015: Uređenje špilje Vrlovke u Kamanju, Speleoskop, *Speleolog* 63 (1), 105-134.
- White, W.B., Culver, D.C., 2012: *Encyclopedia of caves*, Academic Press, 1–945.
- Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Kатуšin, Z., Kaučić, D., Likso, T., Lončar, E., Lončar, Ž., Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnec, L., Vučetić, V., 2008: Klimatski atlas Hrvatske 1961 - 1990, 1971 - 2000, DHMZ, Zagreb.
- Zwicker, G., Žeger Pleše, I., Župan, I., 2009: Zaštićena geobaština Republike Hrvatske, Državni zavod za zaštitu prirode, 1–80.

Žeger Pleše, I., Zwicker, G., 2019: Geobaština u Hrvatskoj - jučer, danas i sutra, *Acta Geographica Croatica* 45./46(1), 1–13.

Žvorc, P., Kipson, M., Hamidović, D., 2016: Istraživanje faune šišmiša špilji Vrlovka i prijedlog njihovog trajnog monitoringa, Hrvatsko biospeleološko društvo (HBSD), Zagreb.

#### IZVORI:

URL 1: *Speleološki objekti*, <https://naturaviva.hr/prirodne-vrijednosti/speleoloski-objekti/> (30.7.2024)

URL 2: *Speleogeni*, <https://caves.org/virtualcave/speleogens/> (12.8.2024)

URL 3: *Plan upravljanja geomorfološkim spomenikom prirode Vrlovka i područjem ekološke mreže oko špilje Vrlovke (PU 6042)*, Natura Viva, 2023, <https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ZA%C5%A0TITU%20IRODE/NATURA%202000/PU%206042%20Vrlovka.pdf> (15.7.2024.)

URL 4: *Vladimir Horvat*, Hrvatski bibliografski leksikon <https://hbl.lzmk.hr/clanak/7896> (20.6.2024)

URL 5: *Katastar speleoloških objekata*, Crospeleo, <https://crospeleo.mingor.hr/objects/56172779-8da5-4195-baaf-afb055b4d7c7> (13.6.2024)

URL 6: *O šišmišima*, <https://tragus.hr/> (24.6.2024)

URL 7: *Prirodoslovne vrijednosti špilje Vrlovke*, Natura viva, [https://naturaviva.hr/noviweb/wp-content/uploads/2023/05/Vrlovka\\_Studija\\_prirodoslovne-vrijednosti\\_draft\\_2011.pdf](https://naturaviva.hr/noviweb/wp-content/uploads/2023/05/Vrlovka_Studija_prirodoslovne-vrijednosti_draft_2011.pdf) (5.7.2024.)

URL 8: *Rudisti*, <https://ucmp.berkeley.edu/taxa/inverts/mollusca/rudists.php> (4.8.2024)

URL 9: *Svjetlucave bakterije*, <https://www.smithsonianmag.com/travel/how-bacteria-make-underground-cave-shine-gold-and-why-nasa-wants-study-them-180955670/> (26.8.2024)

URL 10: *Vermikulacije*, <https://speleologija.eu/znanost/sige/sige-oblici-ostalo.html> (27.8.2024)

URL 11: *Koraloidi*, <https://caves.org/virtualcave/popcorn/> (26.8.2024)

URL 12: *Popis špiljskih simbola*, UIS, <https://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/> (31.8.2024)

## 10. PRILOZI

### *Popis slika*

Slika 1. Skica efekta uzrokovanog nakupinama guana na morfologiju špilja.

(preuzeto iz Forti i dr., 2006).

Slika 2. Speleološki nacrt špilje Vrlovke (autori: Neven i Ksenija Bočić).

Slika 3. Porodiljna kolonija vrste *Rhinolophus euryale*, kolovoz 2016. godine.

(foto: B. Krstinić, preuzeto iz Žvorc i sur., 2016).

Slika 4. *Hauffenia media* (foto M. Lukić, preuzeto iz Ozimec, 2011).

Slika 5. Isječak Osnovne geološke karte 1:100000, list Črnomelj

(preuzeto iz Bukovac i dr., 1984). Legenda: J3 – vapnenci gornje jure, K2 – breče, konglomerati i fliš gornje krede, Pl, Q – pliokvartarne klastične naslage. aluvij aluvijalne naslage rijeke Kupe, crvene linije – rasjedi.

Slika 6. Fosilni ostatak rudistnog školjkaša s muljnim petroglifima na bočnom zidu glavnog kanala špilje Vrlovke.

### *Popis tablica*

Tablica 1. Speleogeni špilje Vrlovke i njihove osnovne karakteristike.

### *Popis karata*

Karta 1. Prostorni raspored speleogena prema uvjetima nastanka.

Karta 2. Pojednostavljeni nacrt špilje Vrlovke sa svim pripadajućim speleogenima. (1/3)

Karta 3. Pojednostavljeni nacrt špilje Vrlovke sa svim pripadajućim speleogenima. (2/3)

Karta 4. Pojednostavljeni nacrt špilje Vrlovke sa svim pripadajućim speleogenima. (3/3)

### *Popis grafova*

Graf 1. Zastupljenost tipova speleogena u špilji Vrlovci