



Tomina jama kod Krvavca u dolini rijeke Neretve

Slika 4. | Podzemno jezero u Tominoj jami | Foto: Paško Visković

Branko Jalžić^{1,2,5,6}, Neven Cukrov³, Elvira Bura-Nakić³, Dario Omanović³, Nuša Cukrov³, Bishop Renée Pierce⁴, Vedran Sudar^{1,2,5}, Markica Vuica^{1,2}

¹ Baštinik - Društvo za promicanje zaštite prirodne i kulturne baštine Neretve, Metković

² Hrvatsko biospeleološko društvo, Zagreb

³ Institut Ruđer Bošković, Zagreb

⁴ Državno sveučilište Pennsylvania, SAD

⁵ Društvo za istraživanje krša – Freatik, Zagreb

⁶ Speleološki odsjek HPD Željezničar, Zagreb

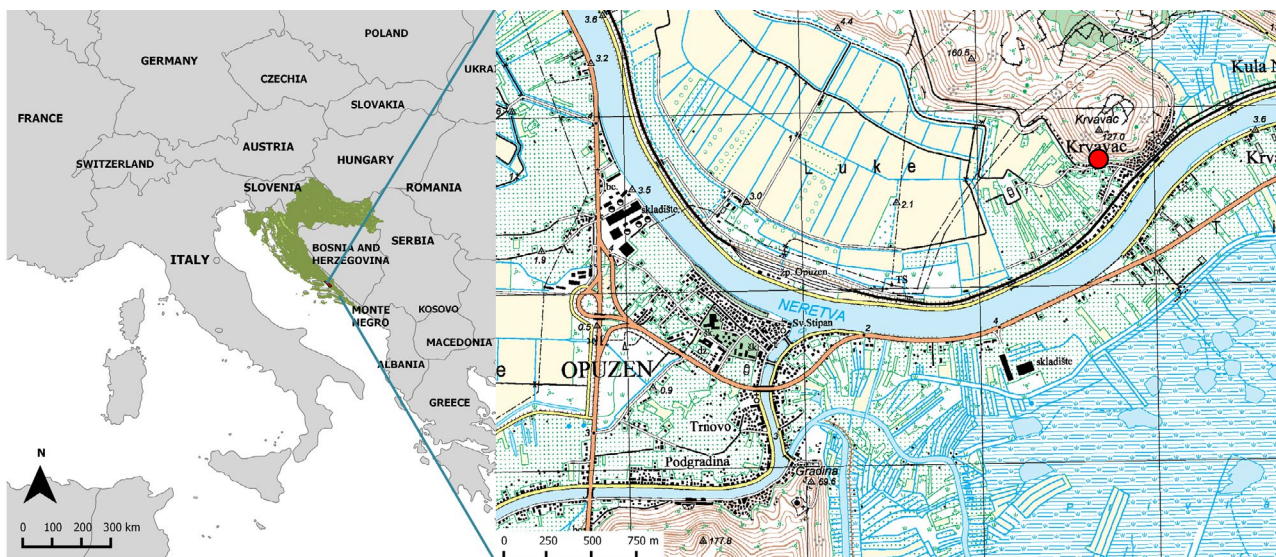
Uvod

Osnutkom društva Baštinik 2009. godine u Metkoviću nastavljena su sustavna speleološka istraživanja na širem području donjeg toka rijeke Neretve, koja je do tada provodio Hrvatski prirodoslovni muzej u razdoblju od 1995 – 1998. godine. Prilikom terenskih istraživanja

13.02.2015. zahvaljujući gospodinu Tomi Jelčiću, speleolozi su dospjeli i do ulaza u nepoznatu jamu poviše mjesta Krvavac (Slika 1). Nakon što je prošireno suženje u ulaznom dijelu jame, Alen Kirin i Branko Jalžić, spuštaju se tridesetak metara duboko, niz vertikalni dio jame, te dolaze do podzemnog jezera. Nakon toga uslijedio je niz speleoronilačkih

akcija tijekom kojih je jama istražena. Utvrđeno je da se radi o anhijalnoj jami u kojoj obitava bogata stigobiontna, na život u podzemnim vodama prilagođena, fauna.

S obzirom na to da jama nije imala ime, istraživači su je, u zahvalu vodiču, nazvali Tomina jama.



Slika 1. | Geografska karta s položajem Tomine jame

Geomorfologija

U nedavnoj prošlosti Tomina jama je bila kaverna. Ulaz u jamu otvorili su talijanski vojnici prilikom vađenja kamena, u danas napuštenom kamenolomu, za građevinske potrebe tijekom ratnih zbivanja 1942. i 1943. godine. Tomina jama je nastala u karbonatnim stijenama istaloženi-ma u vrijeme gornje krede (prije 100 – 66 milijuna godina). Smještena je u jugozapadnom krilu antiklinale izgrađene od vapnenaca s rudistima. S obzirom na pružanje kanala, objekt je nastao duž pukotine paralelne osi antiklinale.

Ulaz u jamu se nalazi u litici napuštenog kamenoloma južno od vrha Krvavac u mjestu Krvavac.

Otvor jame usmjeren je ka jugu na nadmorskoj visini 37 m. Nalazi se 30 m iznad ceste (Slika 2.). Ulazni dio je horizontalan, duljine cca 7 m, visok je 8 m, a širok 3 m. Objekt je jama sa špiljskim ulazom ukupne dubine 55 m i horizontalne duljine 60 m. Generalno pružanje objekta je sjeveroistok-jugozapad što se podudara s pružanjem regionalnim geološkim strukturama. Morfološki se objekt može podijeliti u dva dijela, ulazni horizontalni dio i vertikalni dio koji je od dubine 32 m do dubine 55 m potopljen, što daje podzemno jezero dubine 23 m i dimenzija 8 x 6 m. Objekt spada u koljenasti tip



Slika 2. | Ulaz u Tominu jamu. Foto: Branko Jalžić



Slika 3. | Uski prolaz u vertikalni dio Tomine jame. | Foto: Branko Jalžić

jama dubine (do vode) 32 m, a dubina vode od najnižeg sidrišta 23,5 m, s time da se dubina vode mijenja u ovisnosti o dotoku slatke vode. Vertikalni dio započinje suženjem 0,6 x 0,5 m (Slika 3). Slijedi vertikala od 7 m nakon koje je sljedeće suženje dimenzija 0,6 x 0,5 m. Na toj dubini nalazi se polica dimenzija 5 x 2 m. Nakon toga slijedi vertikala do vode (Slika 4.) koja je nakon 10 m razbijena dvostrukim sidrištem. Pod vodom jama se nastavlja do dubine od 23,5 m. U početnom dijelu ima dimenzije kao na površini jezera. Na 12 m dubine počinje se sužavati sve do dna. Na dnu se jama sužava i nastavlja u dubinu oko 6 m kroz usku pukotinu na čijem je dnu fini sediment. Objekt je bogat sigovinom od koje prevladavaju saljevi i stalaktiti.

Tehnički opis

Za opremanje objekta potrebno je 45 m užeta, 5 karabinera i 5 pločica. Sva umjetna sidrišta su postavljena fiksevima F 8 mm. U objektu su postavljena 3 sidrišta. Prvo je dvostruko iznad prvog suženja. Sljedeće sidrište je na drugom suženju, a treće je dvostruko sidrište. Na dnu objekta 1 m iznad vode je s 2 pločice i 2 karabinera postavljena platforma za ronioce.

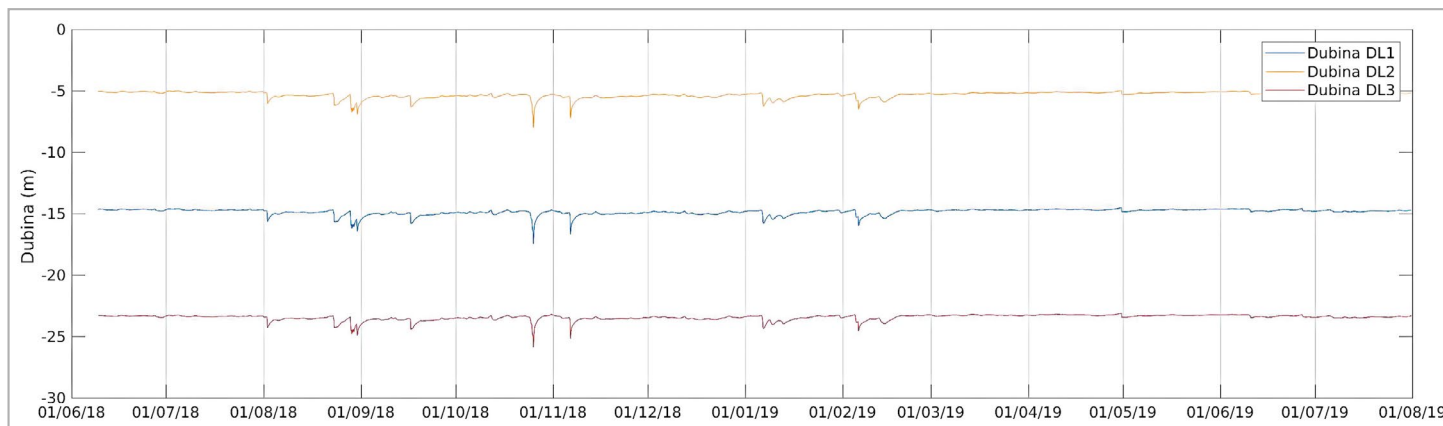
Ekološka obilježja

Tomina jama je tipični anhijalini speleološki objekt sa slatkom vodom na površini podzemnog jezera i morskom vodom na dnu. Sloj bočate vode varira ovisno o dotoku slatke

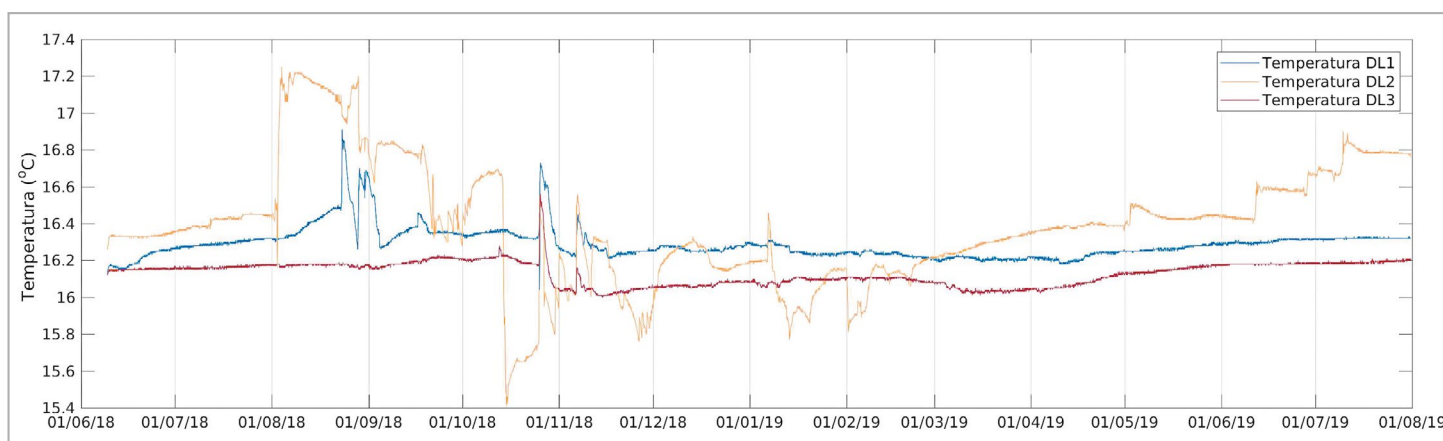
vode, a haloklina je smještena na deset metara. Izmjereni salinitet vode tijekom ovih istraživanja (svibanj, 2017. i svibanj 2018.) bio je od 0 na površini pa do 33 na 22 m dubine. Koncentracija otopljenog kisika kretala se od 9,1 mg/L na površini do potpuno anoksičnih uvjeta u dubini (potpuni nedostatak kisika). Temperatura vode jezera je uslijed utjecaja toplije morske vode pokazala porast s dubinom, te je na površini izmjereno 14,8 °C, a 16,2 °C na dnu. Istovremeno, vrijednost pH se smanjuje s dubinom od 7,74 do 6,86. Tomina jama je najudaljenija od mora od svih do sada poznatih anhijalinih špilja i jama u Hrvatskoj (10 km). Pojava morske vode u jami, najvjerojatnije je u svezi prodora kroz brojne podzemne pukotine iz korita rijeke Neretve jer Neretva u tom dijelu ima morski sloj na dnu. [WU1] [WU2].

Promjene nivoa i temperature vode u jami mjerene su data loggerima Sensus Ultra (ReefNet Inc.) od lipnja 2018. do kolovoza 2019. godine (slike 5, 6). Loggeri su postavljeni u jezeru na dubinama od DL2-5m, DL1-15m i DL3-24 m (slike 5, 6). Promjene dubine vode su vezane za padaline, uslijed kojih je dolazilo do porasta nivoa vode u jami. Nakon porasta nivoa vode slijedilo je nešto sporije vraćanje u normalu. Promjene nivoa vode uzrokovane plimom i osekom nisu zabilježene, vjerojatno zbog male propusnosti pukotina koje povezuju špilju s morskom vodom. Temperatura vode izmjerena data loggerima je imala znatno nepravilnije promjene. Očekivano, plice postavljene data loggeri izmjerili su veće promjene. Najviša temperatura vode (17,2 °C) izmjerena je u kolovozu 2018 (Slika 6), a najniža (15,4 °C) u listopadu iste godine. Zanimljivo je uočiti kako je nakon najniže temperature u listopadu došlo na naglog porasta temperature na svim dubinama što je vjerojatno posljedica prodora toplije morske vode.

Izmjerene koncentracije tragova metala osjetljivih na redoks uvijete (tj. Mo i U) odstupale su od



Slika 5. | Dijagram dubine



Slika 6. | Dijagram temperature

konzervativnog ponašanja odnosno, nema linearne ovisnosti koncentracije otopljenog Mo i U o salinitetu. Površinski sloj slatke vode karakteriziran je niskim koncentracijama Mo i U, odnosno 6,5 i 2,1 nmol/L. Porast saliniteta s dubinom uzrokuje i povećanje koncentracija Mo i U (65,0 odnosno 8,1 nmol/L). Međutim, zabilježene koncentracije Mo i U su značajno niže od koncentracije Mo i U karakteristične za morske uzorke (~ 115 i ~ 13,5 nmol / L), što upućuje na proces taloženja Mo i U unutar pridnenog slanog sloja vode (salinitet 33) gdje su zabilježeni i anoksični uvjeti. Daljnja istraživanja mehanizma taloženja kao i razina obogaćenja Mo i U unutar špiljskog sedimenta su nužna kako bi se utvrdila moguća veza između fizikalno-kemijskih svojstava pornih voda (osobito koncentracije sulfida tzv. okidača za početak taloženja Mo) i vodenog stupca i koncentracije Mo i U u sedimentu. U pridnenom anoksičnom dijelu (nedostatak kisika) vodenog stupca uočene su povećane koncentracije

otopljenog željeza (Fe) i mangana (Mn), što ukazuje na nastanak reduciranih minerala spomenutih elemenata.

Fauna

U slatkovodnom sloju otkriveno je više vrsta špiljskih beskralješnjaka, prilagođenih na život u podzemnim vodama - stigobionata. Najistaknutiji je i ujedno prvi nalaz kolonije endemskih serpulida, špiljskog mnogočetinaša roda *Marifugia* (Slika 7.), u jednom anhijalinom speleološkom objektu. Preliminarni rezultati DNA analize pokazuju da nađeni serpulidi u Tominoj jami pripadaju rodu *Marifugia*, ali postoje naznake da se radi o novoj vrsti.

Od druge faune nađen je jedan primjerak jednakonožnog raka (Isopoda) *Monolistra* sp., dvije vrste rakova deseteronožaca (Decapoda), *Troglocaris* (*Troglocaris*) *anophthalmus periadriatica* i *Troglocaris*

(*Spelaecaris*) sp., a od rakušica (Amphipoda) zabilježene su dvije vrste, *Niphargus kolombatovici* i *Niphargus* sp.

Od vodenih puževa, u sedimentu na dnu jame sakupljeno je više kućica puža *Hauffenia* sp.

Ispod halokline (u sloju morske vode) su pronađene nakupine bakterija (slika 9) na špiljskim zidovima i dnu. Vjerojatno je riječ o složenom grupiranju vlaknastih formacija koje bi mogle biti bakterijskog (prema SM) ili anorganskog izvora (prema SEM snimkama).

Oni se nadopunjuju mineralnim česticama smeđe boje (SM). U uzorku su, osim bakterija i anorganske tvari, prisutne i gljive, što je potvrđeno specifičnim bojenjem na hitin. U svakom slučaju, materijal je izrazito heterogen i zbog toga nezahvalan za molekularnu analizu kojom bi se potvrdio točniji sastav nakupina.



Slika 7. | Nakupina *Marifugia* na stijeni. | Foto: Branko Jalžić



Slika 8. | Rakušac *Niphargus* sp. | Foto: Branko Jalžić



Slika 9. | Bakterijama prekrivene stijene u morem potopljenom dijelu jame. | Foto: Branko Jalžić

Zaključak

Tomina jama je relativno malen vertikalni speleološki objekt, ali je značajno stanište podzemne vodene faune. Radi se o anhijalnoj jami sa stratificiranim podzemnim jezerom s obzirom na salinitet. Razina jezera mijenja se u ovisnosti o dotoku slatke vode s okolnog područja. Na dubinu halokline, osim dotoka slatke vode, utječe i more odnosno doticanje morske vode kroz pukotine, iako izmjena plime i oseke u jami nije izmjerena jer je propusnost pukotina nedovoljna za promjenu razine vode u vremenu izmjene plime i oseke. Iako je Tomina jama od obale mora najudaljeniji anhijalini speleološki objekt u RH, more koje se koritom rijeke Neretve probija sve do Metkovića, podzemnim putem dolazi i u jama. Biospeleološki nalazi u jami pokazali su se izuzetno zanimljivim. U slatkom sloju vode nađena je kolonija endemskog dinarskog špiljskog cjevaša roda *Marifugia*. To je prvi nalaz ovog serpulida u jednoj anhijalnoj jami. Molekularne analize ukazuju da se radi o novoj vrsti. U jami su nađeni i drugi stigobiontni beskralješnjaci, jednakožni rak roda *Monolista*, dvije vrste špiljskih kozica roda *Troglocaris* i dvije vrste rakušaca roda *Niphargus*. U morem potopljenom dijelu jame, gdje vlada anoksija, stijene su prekrivene nakupinama bakterija. U sedimentu na dnu jame nađene su kućice špiljskih slatkovodnih puževa roda *Hauffenia*.

Zahvale

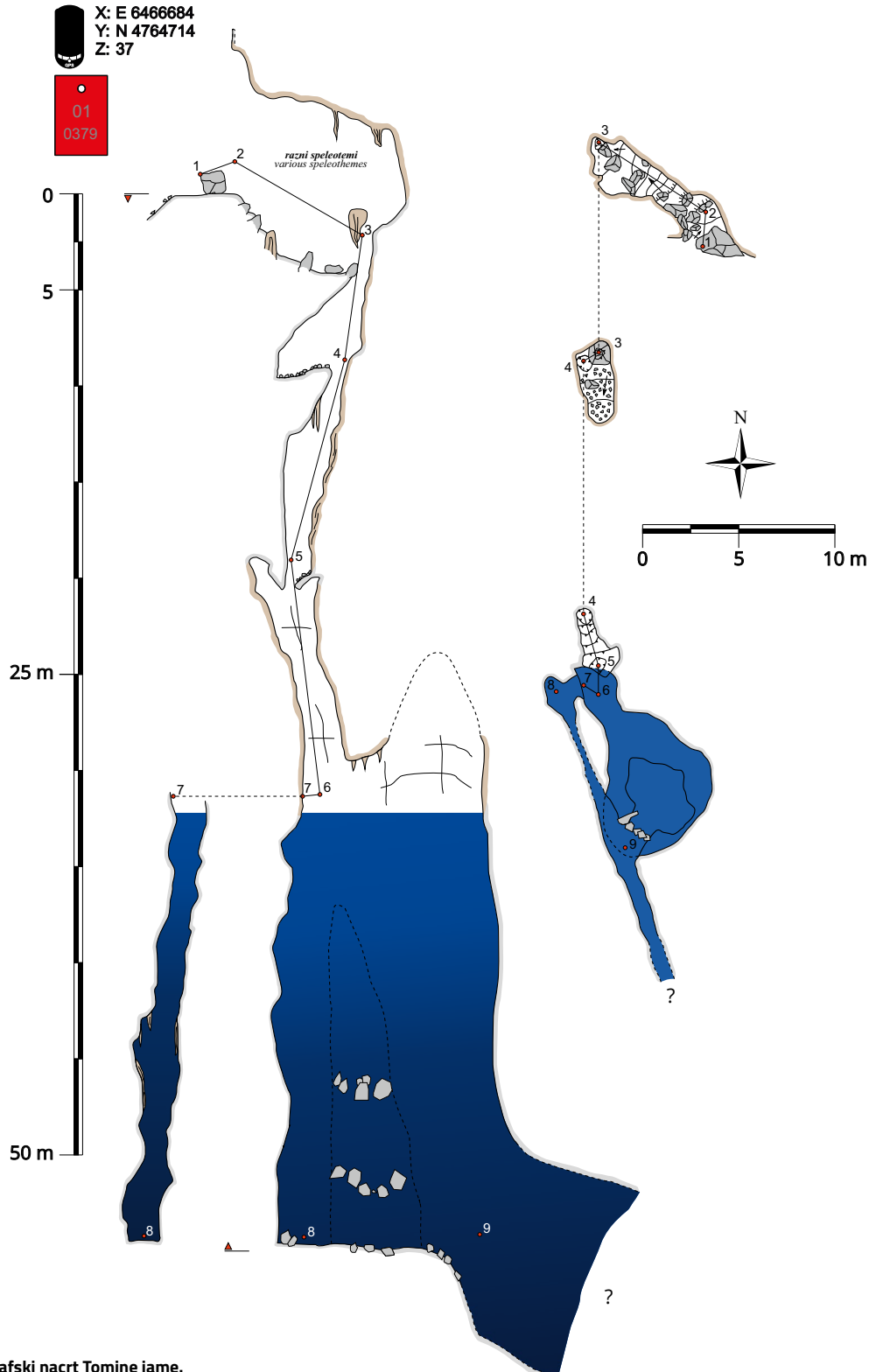
Zahvaljujemo se na pruženoj pomoći: Nikoli Krstičeviću, načelniku Općine Kula Norinska, vodiču Tomislavu Jelčiću, biologima Roku Kostajnskeku, Teu Deliću, Valeriji Zakšek, Kristijanu Cindriću te speleolozima na ustrajnoj pomoći: Alenu Kirinu, Nikolini Kuharić, Pašku Viskoviću i Šimi Sržiću.

TOMINA JAMA KRVAVAC, METKOVIĆ

Crtali: Vedran Sudar (suhi dio), Branko Jalžić (potopljeni dio)
Mjerili: Alen Kirin, Branko Jalžić
Datum: 23/10/2017, 1/5/2018, 24/7/2018 i 14/8/2018
Udruga: HBSD, Breganja, SKOL, SO Željezničar, Baštinik, SAK Ekstrem
Duljina: 60 m
Horizontalna duljina: 25 m
Dubina: 55 m
Ekipa: Markica Vuica, Nikolina Kuharić, Paško Visković, Šime Srzić



Digitalna obrada nacrtava: Vedran Sudar



Slika 10. | Topografski nacrt Tomine jame.

Literatura

- Jalžić B., Bishop Pierce R., Cukrov N., Bura-Nakić E., Omanović D., Cukrov N., Sudar V., Vuica N. Preliminary result of research in "Tomina jama" an anchialine cave, Neretva River Estuary, Croatia. IV International Symposium for Anchialine Ecosystems, Lanzarote, 2018, Poster

Tomina jama by Kravac in the Neretva River Estuary

The cave Tomina jama was explored and the preliminary research was conducted from 2015 to 2019. It is currently the only known anchialine cave in the Neretva River area. At this time, the cave has been explored up to 58 m with the last 23 to 25 m submerged. Tomina jama is a typical anchialine cave system with a freshwater lens at the surface and seawater layer at the bottom. Salinity in the cave increased from 0 at the surface to 33 at a depth of 22 m, whereas dissolved oxygen concentrations decreased from 9.1 mg/L to anoxic conditions at depth. The hypoxic/anoxic zone extended for more than 10 m. Water temperature ranged from 14.8°C at the surface to 17.2°C at the bottom while pH decreased with depth from 7.74 to 6.86.

Redox sensitive trace metals (i.e. Mo and U) deviated from salinity driven conservative mixing behavior. The upper freshwater layer was characterized by low Mo and U concentrations, 6.5 and 2.1 nmol/L, respectively. As salinity increased with depth, Mo and U concentration also increased (65.0 and 8.1 nmol/L, respectively). Of interest however, as depth continued to increase to the bottom salt layer (salinity 33) the Mo and U concentrations were significantly lower than for open ocean (~115 and ~13.5 nmol/L, respectively) implying removal process of Mo and U within the anoxic bottom waters. Further investigation of possible Mo and U enrichment within the cave sediment and porewaters is needed in order to establish possible linkages between the water and porewater chemistry (i.e. especially sulphide concentration, a trigger for Mo water column exhaustion) and the removal processes of Mo and U within the water column. Within the anoxic bottom waters, increased concentrations of Fe and Mn were observed indicating the formation of reduced Fe and Mn minerals within.

Several stygobionts were discovered in the freshwater layer including serpulids *Marifugia* sp. and crustaceans of the genera *Monolista*, *Troglocaris* and *Niphargus*. Most notable is the finding of the endemic serpulids, which is the first record of this animals for an anchialine cave. Prior to this discovery, *Marifugia* has only been found in freshwater caves from Dinaric karst region. Preliminary DNA results indicate that this specimen might not belong to *Marifugia cavatica* species. Below the halocline, the cave walls and bottom were covered with a significant bacterial mat. Samples were collected for future microbiome analyses.