

# Speleogeneza špilje u kamenolomu Debeljača (Lovinac, Lika)

**Petra Bajo**

U radu su izneseni rezultati speleomorfoloških i geoloških istraživanja špilje te rezultati fazne analize uzoraka sedimenata iz špilje. Usporedbom dobivenih rezultata s dosadašnjim spoznajama o geologiji, hidrogeologiji i strukturno-tektonskim odnosima šireg područja dane su osnovne speleogeneze istraživane špilje.

**Ključne riječi:** Špilja u kamenolomu Debeljača, speleogeneza, speleomorfologija, speleotemi, fazna analiza sedimenata, Lika

## **Speleogenesis of the Cave in the Debeljača Quarry (Lovinac, Lika)**

This article presents the results of speleomorphological and geological research of the cave as well as results of the phase analysis of the sediment samples from the cave. Speleogenesis of the cave was proposed based on the comparison of the results obtained in our research and previous knowledge on geology, hydrogeology and structural-tectonic features of the wider area.

**Key words:** the Cave in the Debeljača quarry, speleogenesis, speleomorphology, speleothems, sediment phase analysis, Lika

## **UVOD**

Špilja u kamenolomu Debeljača nalazi se u južnom dijelu Like, 5 km sjeverno od naselja Lovinac na istoimenom uzvišenju koje je sastavni dio Ličkog sredogorja. Kamen se na njegovim južnim padinama eksploatirao od 2002.-2004. godine za potrebe izgradnje autoceste Zagreb-Split. U tom je razdoblju miniranjem urušen strop dijela špiljskog kanala i otvoren jamski ulaz u špilju dimenzija 20 x 10 m. U svibnju 2004. godine članovi Speleološkog odsjeka PDS „Velebit” su na poziv načelnika općine Lovinac g. Hrvoja Račića počeli istraživati špilju. U istraživanju su sudjelovali i speleolozi SD „Lika” iz Gospića, SO PD „Mosor” iz Splita i SO HPK „Sv. Mihovil” iz Šibenika. Do sada je istraženo i topografski snimljeno 908 m špiljskih kanala koji dopiru do dubine od 66.5 m čime se ova špilja ubraja u srednje duge speleološke objekte. U budućnosti se planira njeno turističko uređenje u sklopu turističke revitalizacije općine Lovinac. Cilj rada je na temelju dosadašnjih spoznaja o geologiji, hidrogeologiji i strukturno-tektonskim odnosima šireg područja, kao i na temelju speleomorfoloških oblika u špilji te fazne analize uzoraka sedimenata iz špilje dati osnovne pretpostavke speleogeneze ove špilje.

## GEOGRAFSKI POLOŽAJ

Geografski položaj Špilje u kamenolomu Debeljača prikazan je na slici 1. Koordinate ulaza špilje su  $x = 5552,051$  E,  $y = 4921,073$  N. Nedaleko od ulaza u glavnu špilju u smjeru SI nalazi se mala špilja. Na temelju njenog položaja i speleomorfoloških karakteristika može se zaključiti da su one dio istog špiljskog sustava.

Uzvišenje Debeljača (820 m) je jedno od uzvišenja u nizu: Kikova greda (772 m)-Gradina (727 m)-Keljac (724 m)-Krkenjača (853 m)-Budačak (910 m). Sa sjeverne, zapadne i južne strane Kikove grede i Debeljače prostire se Lička zaravan čija je visina u okolici kamenoloma 585-615 metara nad morem. S istočne strane pruža se smjerom SZ-JI udolina Vranik koja je povremeno plavljena. Na ovom području nalazi se razvodnica između rijeka Like i Ričice. Sjeverno od Debeljače korito je rijeke Jadove koja teče prema rijeci Lici, a s njegove južne strane su plitka korita Banice i Suvaje koje su dio sliva Ričice. S južne strane Debeljače i sjeverne strane Kikove grede nalazi se nekoliko povremenih i stalnih izvora od kojih su neki kaptirani (Bukanja, Šestinovac). Sjeveroistočno i jugoistočno od Debeljače dvije su zone poniranja, a na južnom dijelu udoline Vranik je nekoliko ponora.

## MATERIJALI I METODE RADA

Pri speleološkom istraživanju špilje korištene su speleološke i alpinističke tehnike svladavanja vertikala. Pri izradi topografskog nacrtu (tlocrt i profil) u mjerilu 1:500 korištena je mjerna vrpca dužine 50 metara, laserski daljinomjer, kompas i padomjer marke Shunto. Izmjereni podaci su zapisivani na milimetarski papir na kojem je na licu mjesta crtan i topografski nacrt špilje. Sakupljena je bogata fotodokumentacija te je izrađena i video snimka. Dimenzije strujnica su mjerene na dostupnim mjestima metrom, a dimenzije kupola su procijenjene.

Uzorkovanje sedimenta za faznu analizu je obavljeno prilikom posjeta špilji u studenom 2005. godine. Uzeto je pet uzoraka, a točne lokacije uzorkovanja označene su na topografskom nacrtu špilje na slici 2.

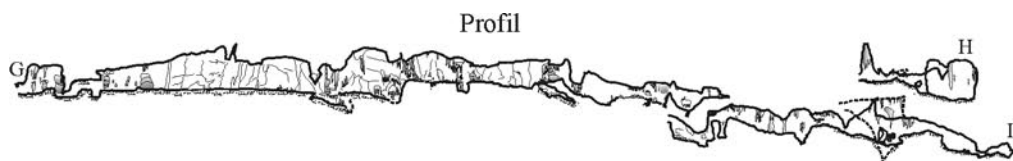
Pomoću metode difrakcije rendgenskih zraka na praškastom uzorku određene su faze prisutne u svim uzorcima iz špilje. Snimanja su provedena na Mineraloško-petrografskom zavodu PMF-a na Philips X'pert rendgenskom difraktometru. Kao rezultat snimanja difraktometrom dobiveni su difraktogrami. Svaka kristalizirana faza u uzorku ima karakterističan difraktogram s točno definiranim položajima pojedinih difrakcijskih maksimuma i njihovim relativnim intenzitetima. Iz vrijednosti mjerenja ( $2\theta$ ,  $d$  i  $I_{rel}$ ) uz pomoć programa Philips X'pert High Score (PHILIPS ANALYTICAL B.V., 2001) i usporedbom s JCPDS bazom podataka (ICDD, 2004) određeno je koje su faze prisutne u analiziranim uzorcima.

Pomoću programa Unit Cell (HOLLAND I REDFERN, 1997) izračunate su dimenzije jedinične ćelije kalcita prisutnog u uzorcima. Da bi se odredilo o kakvom je kalcitu riječ uspoređene su dimenzije jedinične ćelije kalcita prisutnog u uzorcima s dimenzijama jedinične ćelije Mg kalcita (MACKENZIE i dr., 1983) i jedinične ćelije Fe kalcita (ROSENBERG, 1963).



Sl. 1. Isječak topografske karte s ucrtanom Špiljom u kamenolomu Debeljača, list Gornja Ploča 470 - 1 - 2 (VGI)

Fig. 1 Segment of the topographic map with the added map of the Cave in the Debeljača quarry, sheet Gornja Ploča 470-1-2 (VGI)



### Špilja u kamenolomu Debeljača

Lovinac

9.5.2004.-07.11.2005.

Duljina: 908 m

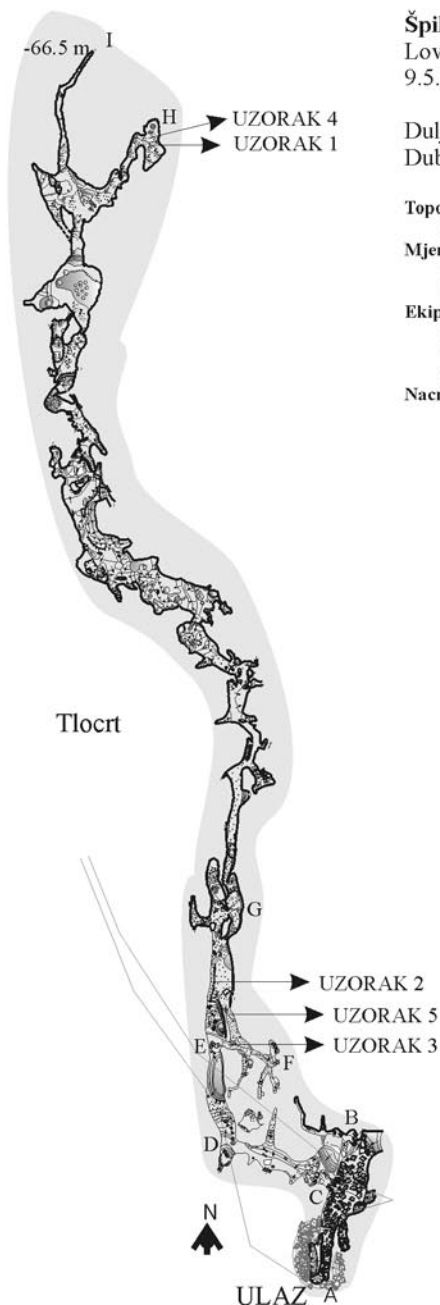
Dubina: 66.5 m

**Topografski snimili:** Matija Čepelak, Darko Bakšić, Dalibor Paar, Mladen Šaban, Ronald Železnjak, Filip Filipović, Teo Barišić

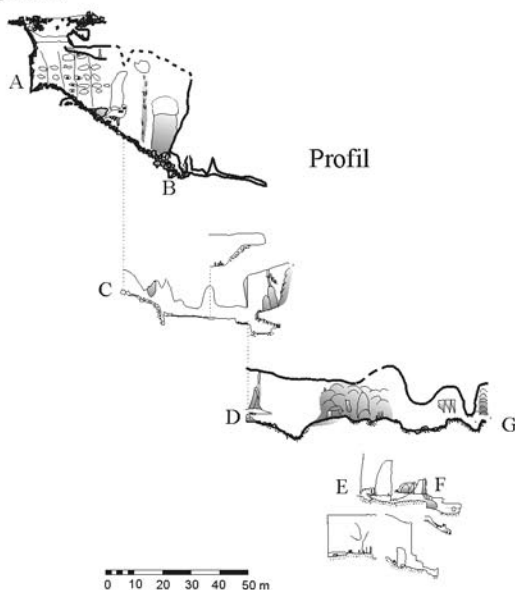
**Mjerili:** Tomislav Bajo, Ana Bakšić, Maja Dasović, Goran Jurković, Marko Lukić, Marinko Malenica, Darko Troha, Petra Ujević, Ivančica Zovko, Darko Štefanac, Ena Vrbek, Aida Barišić

**Ekipa:** Slaven Boban, Marin Glušević, Ivan Bučan, Mladen Vranjić, Joso Gracin, Ante Ercegović, Marko Babić, Vedrana Jerat-Miloš, Tonči Gačina Speleološki odsjek PDS "Velebit", Speleološko društvo "Lika", SO PD "Mosor", SO HPK "Sv.Mihovil"

**Nacrt uredili:** Dalibor Paar, Teo Barišić



### ULAZ



Sl. 2. Tlocrt i profil Špilje u kamenolomu Debeljača s točkama uzorkovanja

Fig. 2 Map of the Cave in the Debeljača quarry with the location of sampling

## GEOLOŠKA GRADA, HIDROGEOLOŠKI I STRUKTURNO-TEKTONSKI ODNOSI

Špilja u kamenolomu Debeljača oblikovana je u vapnencima jurske (malmske) starosti (Sokač i dr. 1976). Vapnenac je dobro uslojen, debljina slojeva varira od 20-80 cm, a nagib slojeva je prosječno 20°. Smjer pružanja slojeva je JZ-SI.

Vapnenci u kojima je špilja oblikovana su zbog tektonske izlomljenosti dobro vodo-propusni. Trasiranje vode u ponornoj zoni uz rijeku Jadovu na Gornjoj Ploči dokazalo je podzemne veze tog područja s izvorima uz lijevu obalu rijeke Ričice (Biondić 1981). Tim istraživanjima je dokazano da površinske vode ovog područja pripadaju slivu rijeke Like, a podzemne teku prema jugu i pripadaju slivu rijeke Zrmanje. Brzina podzemnih voda koja je izmjerena tom prilikom (10 cm/s) ukazuje na dobro razvijene dublje podzemne kanale kojima se voda kreće (Pavičić i dr. 2001) i dobru okršenost naslaga u kojima su oblikovani.

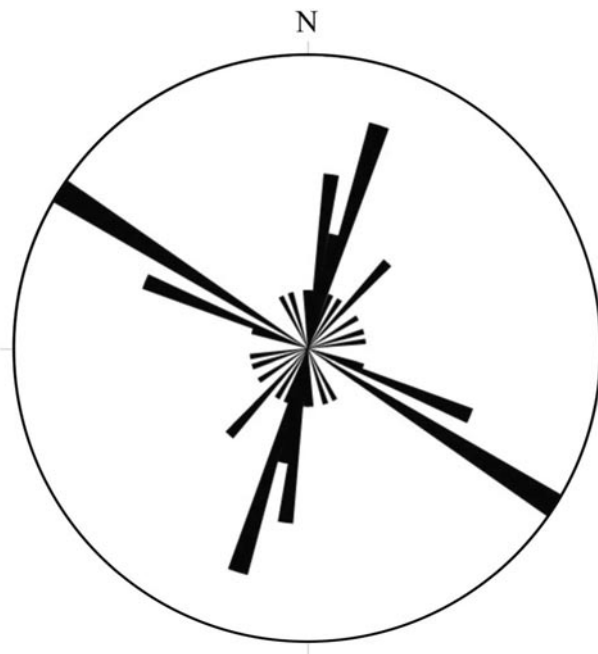
Smjerovi otjecanja podzemnih i površinskih voda na ovom području uvelike su određeni strukturno-tektonskim odnosima šireg područja. Vodonepropusne naslage u jezgrama tektonskih jedinica Velebit i Bravno (zapadno i jugoistočno od Debeljače) imaju funkciju potpunih barijera podzemnih voda pa su tokovi usmjereni prema sjeveru i jugu.

Geološke strukture ovog dijela Dinarida posljedica su dva perioda tektonske aktivnosti. Za vrijeme tercijarnog tektonskog ciklusa kompresijski pokreti su bili orijentirani SI-JZ. Ti pokreti su doveli i do izdizanja Dinarida. U kasnijem neotektonskom periodu glavno naprezanje je bilo smjerom SSZ-JJI i dovelo je do daljnjeg izdizanja i deformacija starijih struktura.

Posljedica neotektonskog stresa je i formiranje rasjeda s horizontalnim pomakom. Takvi rasjedi tvore *pull-appart* i *pop-up* strukture. Kod *pull-appart* strukture dolazi do ekstenzije i to se morfološki u terenu odlikuje spuštanjem terena, odnosno stvaranjem udolina ili polja. Primjer *pull-appart* strukture je udolina Vranik jugoistočno od Debeljače. Kod *pop-up* strukture dolazi do transpresije i takve strukture na terenu primjećujemo kao uzvišenja. Uzvišenje Debeljača je jedno od njih (Navratil i Pavičić 2001).

## TEKTONIKA ŠPILJE U KAMENOLOMU DEBELJAČA

U kamenolomu, u zasjeku 100 m zapadno od ulaza u špilju opažena su tri sustava pukotina (300/80, 280/80 i 210/80). U špilji su izmjerene orijentacije pukotina na 26 lokacija. Izmjerene vrijednosti prikazane su grafički na rozeta dijagramu (sl.3.). Nagibi pukotina su strmi, vrijednosti se uglavnom kreću od 75° do 85°. Pružanje pukotina kao i njihovi nagibi podudaraju se s pružanjem i nagibima pukotina izmjerenih na površini terena. Uspoređujući pružanje pukotina u špilji s pružanjem špiljskih kanala (sl.2.) vidi se da se kanali pružaju duž izmjernih pukotina. Analiziranjem učestalosti pukotina na rozeta dijagramu dobiva se pogrešan dojam da su kanali špilje formirani većinom po pravcu pružanja SZ-JI. Pukotine koje se pružaju smjerom SZ-JI jesu učestalije, ali su kanali formirani smjerom S-J duži i te pukotine su one koje stvarno dominiraju u špilji. To je vidljivo i na slici 2.



Sl. 3. Rozeta dijagram pružanja pukotina u špilji u kamenolomu Debeljača  
Fig. 3 *Rose diagram of joint directions in the Cave in the Debeljača quarry*

### SPELEOMORFOLOGIJA ŠPILJE U KAMENOLOMU DEBELJAČA

Špilja u kamenolomu Debeljača je špilja s jamskim ulazom. Ulaz je umjetni otvor u stropu špiljskog kanala, a ne jamski kanal. Na dnu 25 m duge vertikale je sipar koji je nastao kao posljedica ubacivanja kamenih blokova s površine terena dok je kamenolom bio aktivan. U špilji prevladavaju kanali visoki i preko 15 m, širine do 12 m čije je dno gotovo u cijelosti ispunjeno sitnozrnatom glinovitim sedimentom. Kanali se danas oblikuju u vadoznim uvjetima. Ne postoji stalni ni povremeni tok, tek prokapnica i pokoje manje jezerce koje nastaje za vrijeme jačih padalina. Mjestimično su stropovi kanala zaravnjeni što može biti rezultat zaravnjavanja po slojnoj plohi ili znak parageneze. Lokalno su u špilji primjećena urušavanja od kojih su neka rezultat nedavnog miniranja u kamenolomu, a neka su se dogodila davno prije jer su urušeni speleotemi ponovno zasigani.

Od mikroreljefnih oblika u špilji su uočene strujnice, stropne kupole i špiljske škrape.

Strujnice su najuočljiviji mikroreljefni oblik u istraživanoj špilji. To su školjkasta i zdjelasta udubljenja u zidovima kanala, nastaju većinom turbulencijom toka u freatskim uvjetima. Veličina im može varirati od manje od 10 mm do nekoliko metara (Lauritzen i Lundberg 2000). Manje strujnice su asimetrična oblika, strmije su na onoj strani otkud voda dolazi, a blaže su i postupno nestaju u smjeru toka vode (Slabe 1995). Kao takve mogu poslužiti kao pokazatelji smjera paleotoka. Kod većih strujnica asimetrija se gubi pa strujnice veće od 0,5 m ne mogu poslužiti u određivanju smjera paleotoka (Slabe 1995).

Dužina strujnica je obrnuto proporcionalna brzini i viskoznosti toka (Ford i Williams 1989, 305). To bi značilo da male strujnice nastaju pri brzom, a velike pri sporom toku.

Strujnice u špilji u kamenolomu Debeljača se nalaze po svim dijelovima špiljskih kanala. Mjestimično su prekrivene koraloidima, heliktitima i stalaktitima. U ovoj špilji strujnice su velikih dimenzija, promjer pojedinih prelazi i 1 m. To je najbolje vidljivo na ulaznom dijelu špilje. Velike strujnice u špilji u kamenolomu Debeljača nastale su turbulencijom sporog vodenog toka u freatskim uvjetima kada su kanali bili u potpunosti ispunjeni vodom. Zbog toga u danas hidrološki neaktivnoj špilji strujnice nalazimo i na gornjim dijelovima kanala kao i na stropovima.

Kupole (Buzjak 2006) su polukuglasta udubljenja u stropovima špiljskih kanala i dvorana (Jennings 1971). Kupole se oblikuju vrtloženjem duž pukotina ili na mjestima gdje je stijena heterogena sastava, a vrtloženje može biti kontrolirano oblikom kanala. Nastaju u freatskim i epifreatskim uvjetima. Početne granice u formiranju kupola su uglavnom kontrolirane brzinom toka i pritiskom na rub kanala te položajem u kanalu. Kasnije, samo oblik kupole određuje vrtloženje i njeno daljnje oblikovanje (Slabe 1995).

U špilji u kamenolomu Debeljača kupole su uočene na više mjesta. Pojavljuju se u nizovima ili samostalno kao jednostavne kupole ili kupole u nekoliko nivoa. Dimenzije su im od 20 do 50 cm. Dobro su uočljive na ulaznom dijelu špilje gdje kanal mijenja smjer, visinu i nagib. Kupole se često pojavljuju u kombinaciji s velikim strujnicama. Njihova zajednička pojava i u istraživanoj špilji potvrđuje da su oba oblika nastala u freatskim ili epifreatskim uvjetima turbulencijom sporog vodenog toka.

## ŠPILJSKI SEDIMENTI

U špilji su uočeni klastični i kemijski sedimenti. Jedino organski sedimenti nisu uočeni.

Klastični sedimenti u obliku sitnozrnatog glinovitog sedimenta prekrivaju gotovo u cijelosti dno kanala. U početnom dijelu kanala uočljiv je paket sedimenta debeo preko 3 m. Sediment je crvenkasto-smeđe boje s primjetnom, ali ne jako izraženim laminama. U krajnjem dijelu špilje laminacija je izraženija. Sediment je na pojedinim dijelovima prekrila sigovina koja je taložena slijevanjem vode u tankom filmu preko zidova kanala i sedimenta. Ispiranjem sedimenta ispod tako iskristaliziranog pokrova zaostaju police koje ukazuju na nekadašnje dno kanala.

Ispunjavanje sedimentom se dogodilo i u spomenutoj maloj špilji. Na to ukazuje sigasti most na kojem je kasnije u vadoznoj fazi taložen stalagmit, a sediment ispod mosta je ispran (sl. 4.). Ovaj most nam pokazuje najvišu, danas vidljivu, razinu ispunjavanja sitnozrnatim klastičnim sedimentom.

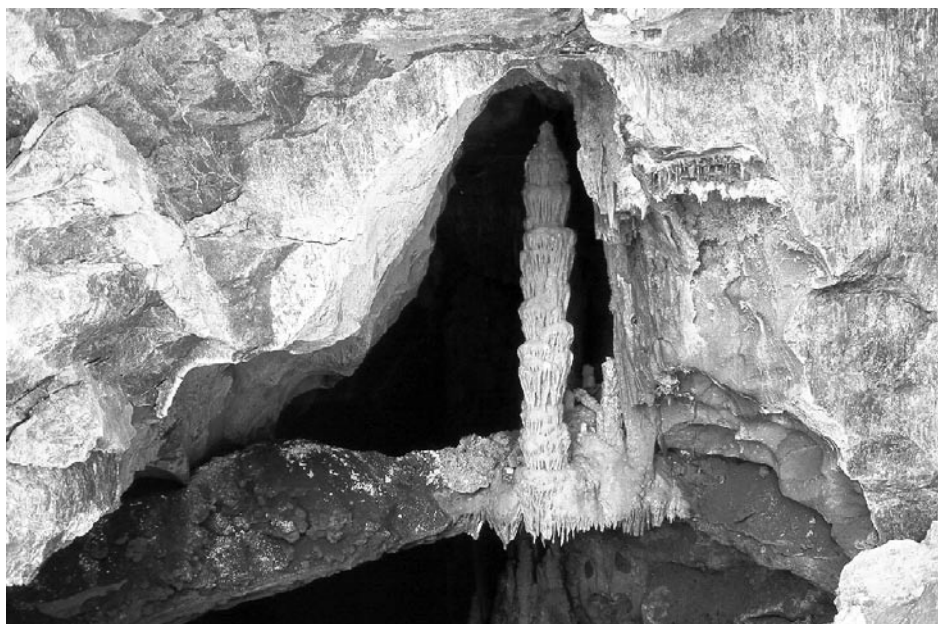
Fazna analiza dva uzorka sedimenta iz špilje (Uzorak 1 i Uzorak 2) pokazala je da u mineralnom sastavu uzoraka prevladava kvarc. Osim kvarca u uzorcima su prisutni klorit, illit te u manjim količinama kalcit, plagioklas i kaolinit.

Unutar sedimenta uočene su špiljske konkrecije čiji je mineralni sastav također određen faznom analizom (Uzorak 4 i Uzorak 5). Glavni sastojak konkrecija je kalcit uz kojeg u manjim količinama ima i kvarca, illita i klorita.

Od s p e l e o t e m a u istraživanoj špilji su uočeni: stalaktiti, makaroni, stalagmiti, koraloidi, heliktiti, zavjese, saljevi, kaskade, obalne ploče te „coral pipes” (piramide). Treba istaknuti da ovu špilju posebno karakteriziraju koraloidi kojih ima po dnu i zidovima kanala kao i po drugim sigama. Te sige zbog svoje krhkosti čine ovu špilju posebno osjetljivom na posjetitelje (sl.5).

U dvorani Dva grada uočeni su speleotemi u obliku piramida i tornjića. Hill i Forti (1997.) takve oblike nazivaju „*coral pipes*”. „*Coral pipes*” nastaju tamo gdje voda kapajući razara sediment i formira udubljenja. Oko ostataka sedimenta u obliku piramida koji voda ne ispere taloži se prskanjem vode tanka kalcitna korica. To znači da se proces razaranja sedimenta i proces taloženja kalcitne korice oko ostataka sedimenta u obliku piramida događa istovremeno.

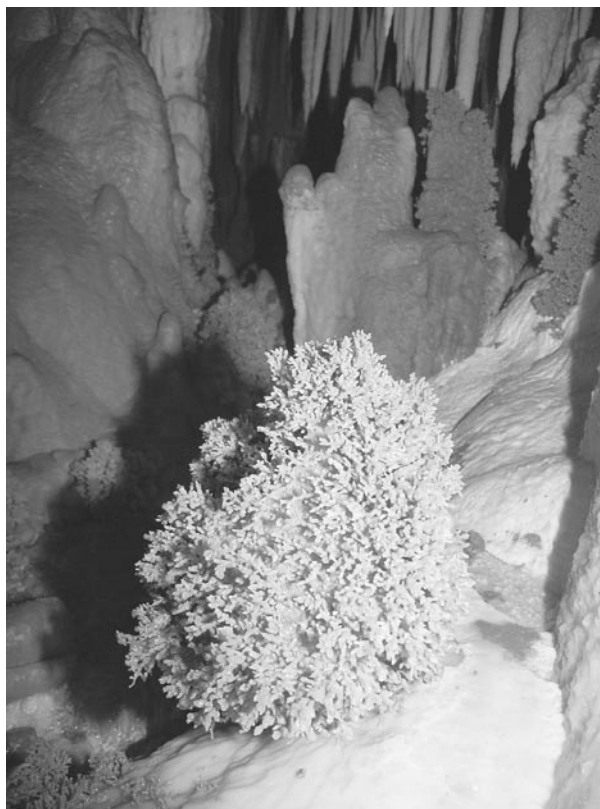
Fazna analiza komada sige s početka špilje, pored Kosog tornja, (Uzorak 3) je pokazala da je siga građena od gotovo čistog kalcita.



Sl. 4. Most sa stalagmitom u maloj špilji (Snimio: D.Lacković)

Fig. 4 Natural bridge with a stalagmite in the small cave (D. Lacković)





Sl. 5. Koraloidei – najuočljivije sige u istraživanoj špilji (Snimio: D. Mimica)  
Fig. 5 Coralloids – the most noticeable speleothems in the explored cave (D. Mimica)

## SPELEOGENEZA ŠPILJE U KAMENOLOMU DEBELJAČA

Pod pojmom speleogeneze razumijevamo sve procese koji utječu na genezu i razvoj podzemnih prirodnih šupljina. Najvažniji od njih u hrvatskom kršu su korozija, erozija i urušavanje, a na njih utječu litološke karakteristike stijena, tektonika, klima i hidrološki uvjeti.

Kao i na oblikovanje drugih objekata u kršu, tako je i na oblikovanje Špilje u kamenolomu Debeljača utjecalo više međusobno povezanih faktora. Uzvišenje u kojem je špilja formirana građeno je od malmskih vapnenaca dobro podložnih okršavanju (Krašić 2001). Pri proučavanju speleogeneze ne smiju se zanemariti ni strukturno–tektonske karakteristike ovog terena okarakterizirane brojnim rasjedima i sustavima pukotina. Tektonska izlomljenost terena dominantan je faktor koji omogućuje procijeđivanje vode u podzemlje. Treći, ali ništa manje važan faktor su hidrološki uvjeti u prošlosti koji su pogodovali oblikovanju ove špilje.

Špilja u kamenolomu Debeljača je formirana duž dva sustava pukotina: smjerom S–J i SZ–JI. Pukotine SZ–JI vjerojatno su starije, nastale za vrijeme Iaramijske orogeneze kojom je došlo do izdizanja Dinarida. Iako su te pukotine brojnije kanali su formirani većinom duž pukotina S–J. Pukotine S–J su mlađe i vjerojatno su rezultat neotektonskih pokreta.

U inicijalnoj (početnoj) fazi formiranja špilje pukotine se sporo proširuju procesom korozije. Kako proces korozije napreduje pukotne se proširuju i međusobno povezuju te se stvaraju uvjeti za spori tok. Pri sporom toku korozija je intenzivnija pa se pukotine brže proširuju.

U glavnoj fazi uz proces korozije važnu ulogu ima i fluvijalna erozija. Voda mehanički razara stijenu i odnosi čestice. Te čestice mehanički razaraju matičnu stijenu i volumen špilje se povećava. U glavnoj fazi su kanali u cijelosti ispunjeni vodom vladaju freatski uvjeti. Na početku glavnog kanala uočene su strujnice veličine oko 30 cm i prema njima se može pretpostaviti da je smjer toka u vrijeme njihova nastanka bio prema sjeveru. Taj smjer je obrnut od današnjeg smjera toka podzemnih voda. Promjena smjera toka vjerojatno je posljedica tektonskih pokreta u prošlosti. Na stropovima i na gornjim dijelovima kanala danas primjećujemo kupole. Prisutnost strujnica i kupola direktan je pokazatelj da su špiljski kanali upravo u freatskoj fazi dosegнули svoj maksimalni volumen pa možemo reći da se radi o freatskim kanalima. Velike strujnice i stropne kupole također pokazuju i to da je tok koji ih je formirao bio spor i da je dolazilo do turbulencije kojom su ovi mikroreljefni oblici nastali. Veličina poprečnih presjeka pokazuje da su ovim kanalima protjecale ogromne količine vode.

Ako je ovim kanalima protjecala konstantna količina vode proširivanjem kanala došlo je do usporavanja toka. Usporavanjem toka dolazi do taloženja sitnozrnatog sedimenta po dnu špiljskih kanala. Prisustvo isključivo sitnozrnatog glinovitog sedimenta, odnosno nedostatak krupnozrnatijeg sedimenta pokazuje i to da je ponorna zona bila i nekoliko kilometara udaljena od današnje špilje. Dakle, Špilja u kamenolomu Debeljača krajnji je dio većeg špiljskog sustava koji je bio hidrološki aktivan u geološkoj prošlosti. Fazna analiza sitnozrnatog sedimenta iz špilje je pokazala da je glavni sastojak sedimenta kvarc. Kvarc nam potvrđuje da sediment nije autigen već je donešen vodom s nekrškog terena. To dodatno potvrđuje pretpostavku da je smjer toka u glavnoj fazi formiranja ove špilje bio prema sjeveru jer se izvorište nekrškog materijala nalazi južno od istraživane špilje.

U kasnoj (recentnoj) fazi formiranja ove špilje, koja traje još i danas, snižavanjem erozijske baze i razine podzemnih voda uspostavljeni su vadozni uvjeti i počinje taloženje speleotema. U ovoj fazi dolazi i do urušavanja koje je u špilji prisutno samo mjestimično. Moguće je da je do prelaska iz freatskih u vadozne uvjete došlo zbog mlađih neotektonskih pokreta kojima je došlo do izdizanja uzvišenja Debeljače u odnosu na okolnu zaravan.

Treba istaknuti da je moguće da su se glavna i kasna faza izmjenjivale više puta, odnosno da prelazak iz glavne u recentnu fazu nije bio oštar.

Prilikom miniranja i eksploatacije kamenoloma došlo je do značajnog antropogenog utjecaja na ovaj speleološki objekt. Posljedice kao što su urušavanje speleotema i zatrpavanje ulazne dvorane blokovima vidljive su danas, a pukotine nastale miniranjem moguće će se odraziti na daljnju speleogenezu ovog objekta.

Bojanje vode u jami na Gornjoj Ploči, na desnoj obali rijeke Jadove, dokazalo je podzemne veze tog područja s izvorima uz lijevu obalu rijeke Ričice. Pružanje kanala u špilji u kamenolomu Debeljača smjerom S–J podudara se s potencijalnim smjerom recentnog podzemnog toka. Može se pretpostaviti da ispod istraživane špilje postoje dobro razvijeni kanali kojima teče recentni podzemni tok. Oni se danas oblikuju u freatskim/epifreatskim uvjetima.

## PERSPEKTIVE

Na temelju dobivenih rezultata ne mogu se dati precizniji podaci o speleogenezi ovog objekta. Rezultati istraživanja u špilji u kamenolomu Debeljača pokazuju da je ova špilja ostatak nekadašnjeg puno većeg špiljskog sustava i da se njen postanak i razvoj ne može promatrati neovisno o speleološkim objektima šireg područja. Potrebno je na isti ili bolji način istražiti speleološke objekte šireg područja kako bi se dobila jasna slika o speleogenezi speleoloških objekata Južne Like.

## ZAHVALA

*Zahvaljujem prof. dr. sc. Andriji Bognaru i docentici dr. sc. Sanji Faivre na poticanju objavljivanja ovog rada, prof. dr. sc. Darku Tibljašu na pomoći pri faznoj analizi uzoraka, dr. sc. Andreju Mihevcu na vremenu provedenom na terenu i prenesenom znanju, dr. sc. Nenadu Buzjaku na korisnim savjetima, Zdenki Ivković na prijevodu teksta na engleski jezik. Veliko hvala članovima SO PDS „Velebit” jer bez njih ovog rada ne bi bilo.*

## LITERATURA

- Biondić B.**, 1981: Hidrogeologija Like i južnog dijela Hrvatskog Primorja, Disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- Buzjak N.**, 2006: Geomorfološke i speleomorfološke značajke Žumberačke gore i geokološko vrednovanje endokrškog reljefa, Disertacija, Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- Ford D. i Williams P.**, 1992: Karst Geomorphology and Hydrology, Chapman & Hall, London, str. 305
- Hill C. i Forti P.**, 1997: Cave Minerals of the World, Second Edition. National Speleological Society, Inc., Alabama, 61 – 62
- Holland T.J.B. i Redfern S.A.T.**, 1997: Unit cell refinement from powder diffraction data: the use of regression diagnostics. Mineralogical Magazine 61, 65-77
- ICDD**, 2004: Powder Diffraction File PDF-2, Release 2004. Newtown Square.
- Jennings J.N.**, 1971: Karst, The M.I.T. press, Cambridge, Massachusetts and London, England
- Krasić O.**, 2002: Elaborat o rezervama tehničko-građevnog kamena u istražnom prostoru „Debeljača”, Za Bechtel International Inc. Podružnica u Hrvatskoj, Ogulin izradio Adriakamen d.o.o., Zagreb

- Lauritzen S.-E. i Lundberg J.**, 2000: Solutional and Erosional Morphology, u Klimchouk A.B., Ford D.C., Palmer A.N. i Dreybrodt W. (Eds.): Speleogenesis, Evolution of Karst Aquifers. National Speleological Society, Inc., Huntsville, 408 - 426
- Mackenzie F.T., Bischoff W.D., Bishop F.C., Loijens M., Schoonmaker J. i Wollast R.**, 1983: Magnesian calcites: low-temperature occurrence, solubility and solid-solution behavior, u Reeder R.J. (Eds.): Carbonates: Mineralogy and Chemistry, Reviews in Mineralogy, 3, Mineralogical Society of America, 97 – 144
- Navratil D. i Pavičić A.**, 2001: Utjecaj kamenoloma „Kikova Greda” na vode rijeke Ričice i crpilišta gračačkog vodovoda, u Kako zaštititi vode Hrvatske s gledišta vodoopskrbe i odvodnje, Znanstveno – stručni skup, Pula, 221 – 227
- Pavičić A., Navratil R. i Buljan R.**, 2001: Kamenolom „Kikova Greda”; Hidrogeološki istražni radovi, Fond stručne dokumentacije, Institut za geološka istraživanja 18/1, Zagreb
- Philips analytical B. V.**, 2001: x'-Pert High Score, Version 1.0, Almelo
- Rosenberg P.E.**, 1963: Subsolidus relations in the system  $\text{CaCO}_3 - \text{FeCO}_3$ , American Journal of Science 261, 683 - 690
- Slabe T.**, 1995: Cave Rocky Relief and its Speleogenetical Significance, Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Ljubljana
- Sokač B., Šušnjar M., Bukovac J. i Bahun S.**, 1976: Osnovna geološka karta. M 1:100 000, Tumač za list Udbina L 33 – 128, Institut za geološka istraživanja Zagreb (1965), Savezni geološki zavod, Beograd
- Starkey H.C., Blackmon P.D. i Hauff P.L.**, 1984: The Routine Mineralogical Analysis of Clay-Bearing Samples, U.S. Geological Survey Bulletin 1563

## SUMMARY

# Speleogenesis of the Cave in the Debeljača quarry (Lovinac, Lika)

Petra Bajo

This article presents the results of speleomorphological and geological research of the cave as well as the results of the phase analysis of the samples from the cave. Speleogenesis of the cave was proposed based on the comparison of the results obtained in our research and previous knowledge on geology, hidrogeology and structural-tectonic features of the wider area.

The cave is located in southern Lika, 5 km north of Lovinac. It was discovered in the Debeljača quarry operating from 2002 to 2004 to facilitate the construction of the motorway Zagreb–Split.

The hill inside which the cave is located was built of the Malm limestone susceptible to the karst solution processes due to tectonic fractures. Passages were formed along two systems of joints. Joints in the NW–SE direction are more frequent, but the passages formed along the N–S joints are longer and therefore these joints had greater influence on the speleogenesis of the cave.

Passages, some higher than 15 meters, dominate the cave. At present they are formed in vadose conditions. Walls of the passages are covered by the scallops over 1 meter in dimension, with some

smaller ones as well. Ceiling pockets have been noted in the ceiling. These microrelief forms led to the conclusion that passages reached maximum volume under phreatic conditions.

Size of cross sections is evidence that large amounts of water have once flowed through these passages.

A thick profile of exclusively finely grained clay sediment suggests that this cave was the end part of a large, multiple-cave system, as well as that the sinking zone must have been several kilometers away from the location of the present-day cave.

Scallops of about 30 cm in size found at the beginning of the cave led to the conclusion that the flow direction of the underground streams at the time of their formation was toward the north, which is opposite to the present flow direction. Phase analysis has shown the main component of the sediment to be quartz. Since non-carbonatic terrain from which quartz could have been brought lies south of the cave, its presence additionally corroborates the conclusion about the flow direction toward the north.

The assumption is that underneath the cave there exist well developed passages with underground streams flowing through them. Today they are formed under phreatic/epiphreatic conditions.

Results obtained in this research are not sufficient enough to answer more specific questions about the speleogenesis of this cave. Further research requires additional analyses and inspection of the caves in the wider area, either in the same or a more detailed way.

Primljeno (Received): 09 - 03 - 2006

Prihvaćeno (Accepted): 23 - 04 - 2006

**Petra Bajo, prof.** geologije i geografije  
Gustava Krkleca 24  
10 000 Zagreb, Hrvatska/Croatia

