

*Janina Wrzak-Tomić\**  
*Andrzej Manecki\**

**HYDROTHERMAL PHENOMENA IN RISOVAČA CAVE AND  
WITHIN VENCAC MASSIF SHUMADIES, SERBIA**

**ХИДРОТЕРМАЛНЕ ПОЈАВЕ У ПЕЋИНИ РИСОВАЧА У ОКВИРУ  
МАСИВА ВЕНЧАЦ ШУМАДИЈА, СРБИЈА**

**Abstract:** In the Risovača cave are found, for the karst, atypical alteration in the limestones structure. Also, morphogenesis of the object can not be logically interpret. Those differences are result of hydrothermal process in initial phase of karstic cycle. And then activity of hot water and hot emanations brought up to the metasomatism and destruction of rock, enormous excrete of ornaments and later, ceiling collapse and fill up of cave room.

**Key words:** Risavača cave, hydrothermal processes, karstic cycle, metasomatizam.

**Извод:** У Пећини Рисовача нађене су за карст нетипичне промене у струк тури кречњака. Такође, морфогенеза објекта не подвргава се логичном тумачењу. Та одступања су последица хидротермалног процеса у иницијалној фази краификације. Дејство топле воде и топлих еманација је тада довело до метасоматозе и деструкције стене, обилног лучења накита а касније до рушења таванице и запуњавања простора.

**Кључне речи:** Пећина Рисовача, хидротермалне појаве, краифика ција, метасоматизам.

---

\* Janina Wrzak-Tomić, Andrzej Manecki, Department of mineralogy, petrography and geochemistry, Technical University of mining and metallurgy, , 30-059 Cracow, Mickiewica street 30, Poland.

### Scope and field of studies

Intensive exploration works in the Risovača cave have been carried out in the years 1995-1997. Several structural changes in limestone rocks were found which are not typical for classical karst objects. Moreover, some morphological irregularities are inconsistent with evolution schemes of classical karst caves.

For many years the attempts of finding logical continuation of excavated galleries and caverns were not successful. In order to explain the cause of these non typical phenomena additional data had to be obtained.

These phenomena can be characterized as follows:

1. Morphology of walls and galleries (conduits) : limestone rock unaltered by karst processes (observed in outcrop) is compact, finecrystalline and showing slightly marked jointing. The rock observed on the walls of galleries of this cave, particularly in its parts close to the opening, is conglomerate-like but, in fact, it is not such rock in character.
2. Traces of erosion by water are visible only in initial part of the cave, where rock is hard and displays primary structure.
3. In deeper parts of the cave no traces of erosion by water are observed. The rock is softened, delaminated, porous or cemented with calcite, cavernous and locally filled with moon milk (in caverns), decolourized or coloured by iron and manganese hydrated oxides

### Обим и област проучавања

Интензивни истраживачки радови пећине Рисовача обављени су 1995-1997. године. Пронађене су неколике промене у структури кречњака нетипичне за класичне карстне објекте. Штавише, неке морфолошке неправилности нису доследне обрасцима еволуције класичних карстних пећина.

Годинама су настојања да се пронађе логичан наставак ископаних галерија и пећина били неуспешни. Да би се објаснили узроци ових нетипичних појава, било је потребно прибавити додатне податке.

Ове се појаве могу окарактерисати на следећи начин:

1. Морфологија зидова и галерија (водова): кречњачка стена неизмењена красификацијом (уоченом код изданка) је компактна, фино кристална и показује благо уочљиве спојеве. Стена уочена на зидовима галерија ове пећине, а посебно на њеним деловима близу отвора, је налик на конгломерат али, у ствари, по природи није таква стена.
2. Видљиви су трагови ерозије само у предњим деловима пећине, где је стена чврста и показује примарну структуру.
3. У дубљим деловима пећине не уочавају се трагови водене ерозије. Стена је омекшана, порозна или цементирана калцитом, шупљикава и локално попуњена пећинским млеком, необојена или обојена хидратним оксидима олова и мангана

to yellow, red brown and rusty tints. Primary rock shows dark gray colour, being bleached only on the surfaces subjected to karst processes.

4. Walls and roof in deeper parts of the cave (where no traces of erosion by water are observed) show tendency to fissility, concordant with parallel surfaces e.g. of bedding or sliding planes. This fissility is marked by calcitic sinters, precipitated on these surfaces.

5. There is lack of continuity of the oldest morphologic formation, represented by caverns filled with sinters. Between them there appear zones of cauliflower-like sinters, filling fissures joining them.

6. In the roof of potholes, above the traces of water (river) erosion, limestone is intensely disintegrated and brown coloured, soft and scattering. Similar phenomenon, accompanied by structures of boxwork type was observed in a chimney called Cascade Gallery, being the upper floor of the cave.

7. The basement of potholes is represented by usually 2-10 cm thick coarse-crystalline calcitic cover.

8. Worth emphasizing is high content of clays and secondary substances. The former are filling fractures in this part of the cave where there are no traces of erosion by water. These are plastic finegrained substances showing green, yellow and red-brown colouration and containing Fe and Mn hydrated oxides. Cauliflower sinter is underlain by red, hard substance, forming a layer 3-5 cm thick.

у нијансе жуте, црвенкасто браон и боје рђе. Примарна стена има трагове тамно сиве која је избељена само на површинама изложеним красификацији.

4. Зидови и таваница дубљих делова пећине(где се не уочавају трагови водене ерозије) нагињу шкриљавости, која је у складу са паралелним површинама, нпр. равнима услојавања или клизним површинама. Ова шкриљавост је обележена кречњачким наслагама сиге, која се таложи на овим површинама.

5. Код најстарије морфолошке формације, коју представљају пећине испуњене сигом, не постоји континуитет. Између њих се јављају појасеви сига налик на карфиол, који испуњава пукотине које их спајају.

6. На таваници лонца, изнад трагова водене ерозије (речне), кречњак је изразито издробљен и обојен браон бојом, мек и расипа се. Слична појава праћена структурама типа „бохворк“ уочена је у димњаку названом Каскадна галерија која представља горњи ниво пећине.

7. Основу лонца чини обично 2-10 cm дебео слој грубо кристалног калцита.

8. Вреди истаћи висок садржај глина и секундарних супстанци. Прве попуњавају преломе у овом делу пећине где нема трагова водене ерозије. Ово су пластичне ситнозрнасте супстанце са траговима зелене, жуте и црвенкасто-браон обојености и садржајем

During successive exploration systematic measurements, sampling and studies in the cave and its environs were carried out to explain the above mentioned irregularities. It was found that these specific phenomena were caused by hydrothermal processes. They resulted in the formation of a pre-cave, metasomatic alterations and origin of non-typical sinters: cauliflower-shaped, coarse-crystalline flowstones and rock falls from the roof.

Topographic and tectonic measurements in the cave and quarry, as well as elaboration of their results were performed in cooperation with the Serbian Academy of Sciences and Arts (SANU). Very detailed morphologic analysis of galleries in the cave was carried out. Samples of unaltered rocks and those subjected to all the recorded alteration processes were collected, as well as of clays filling tectonic fissures, sinters, flowstones and dropstones, including so called „onyx” and alluvial deposits.

Rock samples were analyzed in the Department of Mineralogy, Petrography and Geochemistry of the Technical University of Mining and Metallurgy in Cracow as planned research work no.10.140.348. Optical and electron (SEM) microscopy was applied. The changes in chemical composition in alteration zone were

хидратних оксида гвожђа и мангана. У основи карфиоласте сиге налази се 3-5 cm. дебео слој црвене тврде супстанце.

За време непрекидних истраживања пећине и њене околине обављена су систематска мерења, узорковања и проучавања како би се објасниле горе поменуте неправилности. Утврђено је да су хидротермални процеси проузроковали ове конкретне појаве. Оне су имале за резултат формирање „прапећине“, метасоматске измене и порекло нетипичних сига: у облику карфиола, грубо кристалних течних стена и обрушавајућих стена.

Топографска и тектонска мрежа пећине и каменолома, као и обрада њихових резултата обављени су у сарадњи са Српском академијом наука и уметности (САНУ). Извршене су веома детаљне морфолошке анализе галерија у пећини. Прикупљени су узорци неизмењених стена и оних изложених свим забележеним процесима промена, као и глине која испуњава тектонске пукотине, сига, течних стена и обрушавајућих стена, укључујући и тзв. „оникса” и алувијалних наслага.

Узорци стена анализирани су на Катедри за минералогiju, петрографију и геохемију Техничког универзитета рударства и металургије у Кракову (као планирани истраживачки рад бр.10.140.348). Примењена је оптичка и електронска (СЕМ) микроскопија. Промене у хемијском саставу зоне

studied using LINK EDS-spectrometer. Quantitative analyses and distribution map of Fe were carried out. Moreover, comparative analyses of megascopically similar alteration types observed in carbonate rocks of closest environs (less than 20-30 km around the cave) related with local mining of iron ores (Venčac massif).

The analysis of clays filling fractures, finegrained fraction of fluvial sediments and of mineralized limestones from the cave and quarries in the Vencac massif was carried out using XRD method. Coarsegrained fraction of cave deposits and insoluble residue contained, sinters and flowstones were examined using stereomicroscopy, powder preparations for transmittant light and SEM method.

#### **Morphology of cave, its deposits and mode of filling its space**

1. Risovača is a small horizontal cave, originally completely filled with river muds. In the parts near the opening till a calcitic sinter barrier (75 m from the opening), closing the gallery, actually removed river mud is a typical bedded fluvial deposit. It contained Miocene fauna, diversified mineral assemblage and animal bones. No quartz gravel was found, typical for sediments of post-Miocene

алтерације проучаване су коришћењем ЛИНК ЕДС-спектрометра. Извршена је квантитативна анализа и мапа дистрибуције гвожђа. Штавише, компаративна анализа мегаскопски сличних типова промене уочених код карбонатних стена у непосредној близини (мање од 20-30 km око пећине), повезане су са локалним вађењем руде гвожђа (масив Венчац).

Анализа глине која попуњава пукотине, фино зрнаста фракција флувиалних седимената и минерализованих кречњака из пећине и каменолома на масиву Венчац извршена је применом метода ХРД. Грубо зрнасте фракције пећинских наноса и нерастворивих остатака садржавали су сиге и течне стене које су анализирани коришћењем стереомикроскопије, прашкастих препарата за преносно светло и метод СЕМ.

#### **Морфологија пећине, њених наноса и облик попуњавања простора**

1. Рисовача је мала хоризонтална пећина која је првобитно била потпуно испуњена речним муљем. У деловима близу отвора до калцитне сига препреке (75 m од отвора), налази се типично лежиште флувијалног наноса који је уствари речни муљ и затвара галерију. Он је садржавао миоценску фауну различитих минералних целина и кости животиња. Није откривен никакав

streams.

2. Behind the sinter barrier the deposits are different in character. The space is filled with loose debris composed of fragments of different size or massive rocks cemented with calcite.

3. About 25 m behind the barrier a large hollow was found, approximately 20x15 m in size. Its floor is covered by loose rock debris, originally deposited up to about 0.5 m below the roof of the chamber. Its actual thickness (after removing 2-3 m thick rock debris) amounts to at least 5-6 m since excavations did not reach the lithic rock of the floor. The roof is tattered, showing no traces of erosional activity of water what is typical for the parts situated close to the opening of the cave.

4. Exploration of the cave was stopped after numerous attempts of excavations in all the possible directions due to lack of morphologic indicators of continuation of this cave.

5. The floor of the gallery, 60-85 m from the opening, is covered by calcitic flowstone, 40 cm thick, intensely recrystallized and showing banded colouration by Fe compounds what is characteristic feature of onyx. In Protić-Nikolić's (2) opinion, „onyx” of this type is precipitated from thermal waters flowing into earlier formed hollows in the caves of karst- spring type. High content of silica (up to 28 wt. %) may indicate thermal origin of calcium flowstone.

6. Characteristic is the occurrence

кварцни шљунак типичан за седimente пост-миоценских токова.

2. Иза сига препреке наноси су различите природе. Простор је попуњен расутим остацима које чине комади различитих величина или масивних стена очврслих калцитом.

3. Око 25 метара иза ове препреке пронађена је велика шупљина, величине приближно 20-15 m. Дно јој је покривено расутим седиментима, који су били првобитно нанети до висине 0,5 m испод таванице просторије. Њихова стварна дебљина (пошто су уклоњени остаци стена дебљине 2-3 m) износи око барем 5-6 m пошто ископавања нису доспела до матичних стена на дну. Таваница је искрзана, не показује трагове водене ерозије која је типична за делове који се налазе у близини отвора пећине.

4. Истраживање пећине заустављено је након бројних покушаја ископавања у свим могућим правцима, због недостатка морфолошких индикатора у ком се правцу пећина наставља.

5. Дно галерије, 60-85 m од отвора, покривено је калцитним течним стенама, дебљине 40 cm интензивно рекристализованим и са траговима тракасте обојености једињењима гвожђа што је карактеристична одлика оникса. По мишљењу Протић-Николића (2), „оникс” овог типа таложи се из термалних вода које теку у раније оформљене шупљине у пећинама карстно изворског типа. Висок садржај кварца (до 28 wt. %) може указати на термално порекло

of potholes in the roof of the gallery between the opening and the sinter barrier.

калцијумских течних стена.

б. Карактеристична је и појава димњака у крову галерије између отвора и сига препреке.

### Localization and geological setting

The hill is built entirely Cretaceous limestones of the Shumadide unit, being a tectonic horst margined by a complicated fault system. Limestones display tectonic contact with Paleozoic Venčac massif, consisting of crystalline schists, serpentinites and marbles, mineralized with Fe compounds. This massif is embedding Bukulji granitic laccolith of unknown age (ranging from Paleozoic to Miocene in local authors opinions). The intrusion is accompanied by penetration of thermal mineral waters of Mg-Na-Ca type.

As followed from the results of these investigations, the cave in question was formed within a tectonic node related with an intense strike-slip zone of Dinaride strike ( $50^\circ$ ), being simultaneously of overthrust character, what is marked by two directions of slickoliths. Strike-slip - overthrust movement took place also along the Dinaride plane ( $320$  and  $290^\circ$ ). The inversion of these two functions resulted from the change of direction of tectonic movements whereby that compressional remained constant. This change was probably caused by

### Локализација и геолошко окружење

Брдо је сачињено од искључиво кречњака из периода Креде шумадијске јединице која је тектонски гребен омеђен компликованим системом раседа. Кречњак показује тектонски додир са масивом Венчаца из Палеозоика који се састоји од кристаластих шкриљаца, серпентина и мермера, минерализованих једињењима гвождја. Овај масив има усадјен букуљски гранитски лаколит непознате старости (према мишљењу локалних аутора креће се од пале-озоика до миоцена). Интрузију прати продирање термалних минералних вода типа Mg-Na-Ca.

Како следи из резултата ових истраживања, дата пећина формирана је у оквиру тектонског сутока који је повезан са зоном интензивних раседа и подвлачења Динаридског правца ( $50^\circ$ ), који истовремено има карактер раселине коју означавају два правца сликолита. Померање раседа и подвлачења - раселине одвијало се дуж Динаридске равни ( $320$  и  $290^\circ$ ). Инверзија ове две функције проистекла је из правца тектонских померања због чега је то набирање остало константно. Ову промену је

rigid Paleozoic Venčac massif, situated just at the course of motion of Dinaride units. On its eastern margin calcareous plates were moving at the angle of  $90^\circ$  relative to original direction of motion and also at  $90^\circ$  relative to primary direction of compression.

The concordance of the strike of discontinuity was also estimated related to steep and vertical tectonic planes, recorded within the cave and on the overlying surface - in the quarry. Moreover, a slightly sloped overthrust zone was found, appearing on the walls of galleries and determining an initial plane for primary, actually completely removed erosional phase.

#### **Tectonics and morphology of cave**

The fragment situated close to the opening reflects the main Dinaride direction of poorly marked compression ( $50$  and  $320^\circ$ ). Central part of the cave was developed along compressional overthrusting planes ( $290^\circ$ ). In the vertical strike-slip zone ( $350^\circ$ ) the development of vertical phenomena was initiated, observed in the roof (chimney-shaped Cascade Gallery i.e. a chimney in the roof of the main course of the cave), being concordant with this azimuth. On the other side, the main hall of the cave,

вероватно изазвао крути масив Венчац из Палеозоика који се налазио управо на правцу кретања Динаридских јединица. На његовим источним обронцима кречне равни кретале су се под углом од  $90^\circ$  у односу на првобитан правац кретања, као и под углом од  $90^\circ$  у односу на примарни правац набирања.

Такође је процењена сагласност дисконтинуитета правца у односу на стрме и вертикалне тектонске равни забележене унутар пећине и на горњим површинским слојевима – у каменолому. Шта више, пронађена је благо нагнута зона раселина која се јавља на зидовима галерија и која одредјује почетну раван за примарну, уствари потпуну преобликовану фазу ерозије.

#### **Тектоника и морфологија пећине**

Фрагмент који се налази у близини отвора одражава главни Динаридски правац слабо израженог набирања ( $50$  и  $320^\circ$ ). Централни делови пећине развили су се дуж набраних равни раселине ( $290^\circ$ ). У вертикалној зони правца раселине ( $350^\circ$ ) јавила се вертикална појава, уочена на таваници (Каскадна галерија у облику димњака, тј. димњак на таваници главног правца пећине), која се слаже са овим азимутом. На другој страни формирана је главна



triangular in shape, was formed along two strike-slip directions (50 and 70°) and the overthrust plane 290°.

Fragments of the cave showing traces of erosion by water display strike concordant with dominant tectonic predisposition. However, they were developed due to fine fractures oriented diagonally relative to the elongation of conduits. This fact evidences considerable progress in erosional averaging of azimuth and so, in this concrete case, in the intensity of erosional phase.

The series of caverns was developed concordantly with the strike of barrier overthrust planes, showing considerable horizontal and small vertical size, lenticular in cross-section. The system of roof and floor (where accessible) corresponds to the slope of initial tectonic plane. Linear orientation of some caverns results from the increase of susceptibility to karst processes of smoothly sloped compressional plane at the crossing with those of vertical tectonic zones.

In the roof of this cave the zones of maximal concentration of vertical fractures occur. There appear numerous forms showing morphology of potholes or of oval chimneys originated from fissures. As already mentioned, these are not typical pressure-conditioned forms. Water erosion precludes simultaneous precipitation of calcite and the presence of non-consolidated rock if just this water would form these potholes under

просторија пећине, троугластог облика у два правца подвлачења (50 и 70°) и на равни раседања од 290°.

Фрагменти пећине са траговима водене ерозије показују правац који је у складу са претежном тектонском предиспозицијом. Међутим, он је настао због финих пукотина које су усмерене дијагонално у односу на пружање водова. Ова чињеница сведочи о знатном одмицању просечне ерозије азимута, па у овом конкретном случају и о интензитету ерозионе фазе.

Низ пећина развио се сагласно правцу препрека на равнима раседања, значајних размера хоризонтално, а мањих вертикално са пресеком у облику сочива. Систем таванице и дна (тамо где је доступно) одговара нагибу иницијалне тектонске равни. Линеарна оријентација неких пећина резултат је повећања изложености равномерно раседнуте нагнуте равни красификацији на преласцима према овим вертикалним тектонским зонама.

На таваници ове пећине јављају се делови максималне концентрације вертикалних напрелина. Ту има бројних форми које показују морфологију лонца или овалних димњака који потичу од напрелина. Да је само та вода могла формирати те лонце под условима повишеног притиска, водена ерозија могла је спречити истовремено таложење калцита и при-

increased pressure conditions. On the other side, the lowest fragments (destroyed by later erosion of flowing stream) of inclined walls of the mentioned formations *are covered by thick layer of intensely recrystallized calcitic flowstone (!) resembling „onyx” in structure*. The dissolution of rock was accompanied by simultaneous precipitation of calcite in the form of flowstones from gravitationally flowing down solutions saturated with  $\text{CaCO}_3$  at the bottom of generating erosional forms.

The rock in top parts of highly-situated potholes is completely disintegrated, soft and resembling clay. This unstable substance could not be preserved during the flow of water - not only under increased pressure conditions but also of weak streams. It is observed in lower parts of potholes which look like washed whereby the rock preserves yellowish colour of originally altered disintegrated zone. Only erosional forms closest to the opening of the cave roof show no symptoms of disintegration.

The Cascade Gallery represents identical formation. Its considerably larger dimensions result from vertical erosion along tectonic zone, continuing up to the surface. The morphology of walls resembles that typical for waters flowing under increased pressure conditions but the structure of rock walls excludes such possibility.

Similarly as in potholes, this rock

суство неконсолидованих стена. С друге стране, најнижи фрагменти (уништени каснијом ерозијом воденим токовима) нагнутих зидова поменутих формација *покривени су дебелим слојем интензивно рекристализованих калцитних течних стена (!) који по структури подсећају на „оникс”*. Растварање стена било је праћено истовременим таложењем калцита у облику течних стена из раствора засићених  $\text{CaCO}_3$  који су се сливали на дно гравитационом, стварајући ерозионе форме.

Стена на највишим деловима високо постављених лонаца потпуно је здобљена, мека и подсећа на глину. Ова се нестабилна супстанца није могла очувати током протока воде – не само под повећаним притиском, већ и код слабих токова. Ово се оучава у нижим деловима лонца који изгледају испрани, због чега је стена сачувала жућкасту боју првобитно измењене зоне растварања. Једино ерозионе форме које су најближе пећинској таваници не показују знаке здобљења.

Каскадна галерија представља идентичну формацију. Њене знатно веће димензије су резултат вертикалне ерозије дуж тектонске зоне која се наставља све до површине. Морфологија зидова подсећа на ону типичну за водотокове под повећаним притиском, али структура стеновитих зидова искључује такву могућност.

Слично као у лонцима, ова

displays granular disintegration. Better preserved fragments form typical „boxwork”, originated from the erosion of calcite veinlets. Undeformed crystals formed in fractures are not so easily dissolved during karsts processes. In these places where water is flowing down on the walls (contemporaneous infiltration of meteoric waters) disintegrated rock is removed. The roof of gallery is closed by rich recrystallized sinters and fragments of recrystallized calcitic flowstones, up to 1 m thick. This is one more case of crystallization of „onyx”.

Both Cascade Gallery and potholes (including chimney forms formed in transversal fractures above the main gallery which initiated the origin of the barrier) *are ending* without any continuation upwards. Consequently, they cannot represent neither tributaries nor any forms of flow under increased pressure conditions. Fine contemporaneous outflows appearing in them result from their drainage function relative to the surrounding rocks.

Lateral walls of caverns are covered by rich, very old and partly destroyed sinters. Classical stalactites and stalagmites of karst caverns are passing into cauliflower-like sinters, filling the space between the planes of roof and floor of initial overthrust surface in the places where caverns were not formed.

The above mentioned morpho-

стена показује трагове зрнастог дробљења. Боље очувани делови формирају типични „бохворк”, који потиче од ерозије калцитних прожилака. Током карсификације недеформисани кристали који су формиран у пукотинама не растварају се тако лако. На местима где се вода слива на зидове (истовремено продирање метеорских вода) распаднуте стене су склоњене. Таваницу галерије затварају богате рекристаллизоване сиге и фрагменти рекристализованих калцитних течних стена дебљине до 1 м. Ово је још један случај кристализације „оникса”.

И каскадна галерија и лонци (укључујући облике димњака који су формиран у трансверзалним пукотинама изнад главне галерије одакле потиче препрека) *завршавају се* без наставка ка горе. Сходно томе, они не могу представљати нити притоке нити било какве облике тока под повећаним притиском. Фини истовремени изливи који се на њима јављају су резултат дренажне функције коју су имали према околним стенама.

Бочни зидови пећина покривени су богатим, веома старим и делимично обрушеним сигама. Класични сталактити и сталагмити карстних пећина прелазе у сиге „карфиолног“ облика, попуњавајући простор између равни таванице и дна првобитно навучене површине на местима где пећине нису биле формиране.

ligical symptoms are typical for hydrothermal karst characterized by significant role of active warm water vapour. Standard hydrothermal karst, comparable with the phenomena reported in the case of Risovaca, was described to occur in the caves of Hungary (5), Caucasus (3) and USA (4).

Горе поменути морфолошки симптоми типични су за хидротермални карст који карактерише значајна улога активних испарења топле воде. Описано је да се стандардни хидро-термални карст, који се може поредити са појавом забележеном у случају Рисоваче, јавља у пећинама Мађјарске (5), Кавказа (3) и САД (4).

### **Destruction of rock structure and formation of rock falls**

In the final chamber till the sinter barrier (actually removed) the following phenomena have been established:

1. *Infiltration of waters through strike-slip tectonic zones* (azimuth 50 and 70°) from the rock mass building the hill down to the cave (chamber). These waters have corroded the oldest sinters and caused mechanical destruction of the rock covered by them. The intensity of these phenomena is evidenced by fracturing and delamination of large fragments of rocks fixed and protected by sinters, being hardly susceptible to karst processes. These fractured rock parts, devoid of primary sinters, subjected to infiltration, considerably change their structure. Megascopically they are softened, cavernous, brecciated, covered by flowstones and small (centimetric) sinters. The fractures in

### **Обрушавање структуре стена и формирање обрушавајућих стена**

У завршној просторији све до сига препреке (која је уствари отклоњена) утврђене су следеће појаве:

1. *Продирање воде кроз тектонску зону правца раселине* (азимут 50 и 70°) из масе стена низ брдо у пећину (подземна просторија). Ове воде су кородирале најстарије сиге и изазвале механичко уништење стена којима су биле покривене. О интензитету ових појава сведочи ломљење и деламинација великих фрагмената стена фиксираних и заштићених сигама, које су слабо подложне красификацији. Ови напрсли делови стена, без икаквих примарних сига, знатно су променили своју структуру под утицајем изложености продирања воде. Они су мегаскопски омекшани, шупљикави, бречастии, покривени течним

breccia are filled with hairlike crystallites of secondary calcite of moon milk type. Most probably they are the products of resublimation of water vapour due to the contact with cold surface of the rock. The latter is bleached and coloured by mobilized and oxidized Mn and Fe compounds and, thus, showing green, brown and black tints.

The above described destruction phenomena were never observed in typical (meteoric) karst processes.

2. *Water flow on the overthrust plane.* The main zone of geochemical-structural alterations was localized behind the final chamber (and in its roof) during excavations in soft brecciated material. Infiltration through fractures (corresponding to overthrust plane and accompanying tensional fissures) is evidenced by the occurrence of a series of apparent roofs and walls. They are, in fact, the surfaces of washed out fissures covered by recrystallized sinter. These series show spatial density corresponding to network of cracks whilst the rock between them preserves original joint system.

Limestone rock of this zone is cavernous, displaying erosionally widened joint fracturing, enriched in megascopically visible incrustations of Mn-Fe compounds. Originally dark-gray in colour, it is gradually replaced by soft green-pinkish rock

стенама и малим (сантиметрима изражени) сигама. Пукотине у бречи испињене су кристалићима попут длаке секундарног калцита типа пећинског млека. То су највероватније производи ресублимације водених испарења због контакта са хладним површинама стене. Ови потоњи су избељени и обојени активним и оксидисаним једињењима Mn и Fe, па стога показују зелене, браон и црне тонове.

Горе описана појава обрушавања никада није уочена код типичних (метеорских) карстних процеса.

2. *Водоток у раседима.* Главна зона геохемијских-структуралних измена локализована је иза завршне просторије (и у њеној таваници) током ископавања меког бречастог материјала. О продирању кроз пукотине (што одговара раселини и прати пукотине услед истења) сведочи појава низа читих таваница и зидова. То су уствари површине испраних пукотина покривене рекристализованом сигом. Ови низови показују просторну густину која одговара мрежи напрлина док стене између њих задржавају првобитан систем спојева.

Кречњачка стена из ове зоне је шупљикава, и показује ерозијом проширену пукотину споја, која је обогаћена мегаскопски видљивим инкрустацијама једињења Mn-Fe. Првобитно тамно-сиве боје њу је постепено заменила бледо зеленка-

showing clayey consistence and distinctly laminar fissility. Nevertheless, it is preserving primary joint system. This fissility is marked by laminary iron hydroxides of goethite type, metasomatically replacing calcite and crystallized between intercalations of softer, yellowish clay. In the roof of this alteration zone there occurs distinct, sharply marked boundary between parent and metasomatically changed rock.

3. *Gravitational falls of roof rock* are leading to the formation of equilibrium vault. They result from the above mentioned changes in rock structure. Falling down of rock fragments observed in the main chamber proceeded concordantly with the surfaces of apparent roofs, separating beds of disintegrated, soft and scattering rock. Simultaneously the underlying cavern was filled with this material. In these places, where there was no empty space (e.g. under the wall or in a fissure), the softened rock, cut by washed out fissures, was gravitationally subsiding. Consequently, the primary system of joints was changed and a sinter breccia was formed. In general, metasomatic decrease of mass was compensated by mechanical increase of volume. These falls have detached considerable part of primary sinters related with original roof of the chamber.

In classical meteoric karst the presence of sinters leads to inforcement and consolidation. In the described case the roof of the

сто-розикаста стена која показује глинасту конзистентност и изразиту ламинарну дељивост. Па ипак, он задржава примаран систем спојева. Ову дељивост обележавају ламинарни хидроксиди гвождја типа гетита, метасоматски замењујући калците и кристализујући се између уметака мекше, жуће глине. На таваницама ових зона измене јавља се јасна, оштро означена граница између матичне и метасоматско измењене стене.

3. *Гравитационо падање плафонских стена* води до формирања равнотежног свода. Ово падање настаје због горе поменутих промена у структури стена. Обрушавање фрагмената стена уочено у главној просторији одвијало се истовремено када и обрушавање површина уочљивих таваница које раздвајају лежишта здробљене, меке и разбацане стене. Истовремено је основна шупљина била испуњена овим материјалом. На местима где није било празног простора (нпр. испод зидова или у пукотини), гравитацијом се таложила омекшана стена исечена испраним пукотинама. Сходно томе, промењен је примарни систем спојева и формирала се сига бреча. Уопштено говорећи метасоматско смањење масе надокнадило је механичко повећање обима. Овим обрушавањима одваљени су знатни делови примарних сига које су биле повезане са првобитном таваницом просторије.

Код класичног метеорског ка-

chamber was too soft to sustain the weight of growing sinter forms.

The effect of erosion by hot water vapour (liberated from free water mirror, penetrating to the chamber along strike-slip planes) and its condensation after saturation with calcium carbonate are the roof forms of pothole type in the main chamber. Another evidences are: disintegration and metasomatic alteration of rock, as well as chaotic precipitation of CaCO<sub>3</sub> as moon milk and flowstones at the bottom of potholes.

Mechanical river erosion, recorded in the sector between sinter barrier and the opening of this cave, caused the removal rock debris and washing out the disintegrated layer from the walls. This factor has also contributed to the origin of surficial layer resembling conglomerate. It was formed due to leaching of softened rock from joint fractures since aggressive solvent is attacking first of all edges and corners of polygons, leaving their rounded remnants.

Apart from sinter barrier, another trace of hydrothermal alteration is yellow colouration of rocks of lithic roof, succesively disappearing towards the opening of cave. In the parts close to it the dark limestone is covered by thin bleached layer of calcite grains devoid of cement due to karst processes what is typical meteoric karsting.

рста, присуство сига доводи до консолидације. У описаном случају таваница просторије је исувише мекана да би издржала тежину растућих форми сига.

Последицу ерозије паром вруће воде (ослобођене из водене површине, која продире у просторију дуж правца раселина) и њена кондензација након засићења калцијум карбонатом представљају таваничне форме типа лонца у главној просторији. Остали докази су: дробљење и метасоматска измена стена, као и хаотично таложење CaCO<sub>3</sub> као пећинског млека и течних стена на дну лонаца.

Механичка речна ерозија, забележена у деловима између сига препреке и отвора ове пећине довела је до отклањања расутих стена и испирања здробљеног слоја са зидова. Овај фактор је такође био важан у пореклу површинског слоја који подсећа на конгломерат. Он је формиран лужењем омењале стене из спољних пукотина када је агресиван раствор прво напао ивице и углове многоугаоника, остављајући њихове заобљене остатке.

Осим сига препреке, још један траг хидро-термалне измене је жута обојеност стене матичне таванице која полако нестаје ка отвору пећине. У деловима близу њега тамни кречњак је прекривен танким избељеним слојем калцитних зрна без цемента због красификације типичне за настанак метеорског карста.

### Microscopic study of changes of structure of limestones Limestones of infiltration zones

This rock type is represented by bleached or secondarily coloured greenish to brownish, fractured and brecciated, porous and cavernous limestones. In this sections the following phenomena were observed in them:

- disappearing of primary organogenic structures. Their transformation begins from the surfaces of fractures and develops into the rock mass. Rock fragments are dissolved. Simultaneously precipitation form solutions in widening fractures takes place and partial recrystallization of diminishing rock fragments till their complete disappearing. The most advanced stage of these alterations is characterized by complete recrystallization, resulting in the formation of marble-like texture,

- removal of pigments (Fe compounds) - oxidation and migration of these compounds into the rock,

- precipitation chalcedonic rims on the surfaces of detrital quartz grains dissolved *in situ*.

The application of scanning microscopy in the study of these structures allowed to record more phenomena related with dissolution i.e. superficial corrosion of quartz fragments. Chalcedonic rims observed

### Микроскопска студија промена структуре кречњака Кречњаци зоне инфилтрације

Овај тип теме представљају избељени или секундарно обојени зеленкасто-браонкасти, напрсли и брачасти, шупљикави и порозни кречњаци. У овом одељку код њих су уочене следеће појаве:

- нестанак примарних органогенских структура. Њихова трансформација почиње са површина пукотина и развија се у стеновиту масу. Фрагменти стена се разлажу. Истовремено долази до таложења из раствора у проширеним пукотинама, као и до делимичне ре-кристализације смањујућих фрагмената стена све до њиховог потпуног нестанка. Најодмаклију фазу ових измена карактерише потпуна рекристализација која доводи до формације текстуре налик мермеру,

- нестанак пигмента (једињења Fe) – оксидација и прелазак ових једињења у стене,

- таложење калцедонских ивица на површинама разрушеног зрнастог кварца који се разлажу *in situ*.

Примена скенирајуће микроскопије у проучавању ових структура омогућила је бележење више појава које су повезане са разлагањем, тј. површинском корозијом фрагмената кварца. Ка-



in thin sections are the effect of crystallization of silica in the place of its dissolution i.e. directly at the surface of quartz grains. The grains visible in SEM photographs, resembling aggregates covered by silica (estimated using microprobe analysis) represent a negative relating to recrystallizing calcite grains, surrounding them.

лцедонске ивице уочене у танким деловима су последица кристализације силицијум диоксида на месту њиховог разлагања, тј. директно на површини зрнастог кварца. Зрна видљива СЕМ фотографијом, која подсећају на масу покривену силицијум диоксидом (процењено коришћењем анализе микросондом) представљају негатив који се односи на рекристализовани зрнаст калцит који их окружује.

### **Rocks of metasomatic alteration zone**

In vertical profile of alteration zone in limestones of the overthrust zone the following phenomena have been distinguished:

- disintegration of calcite grains,
- replacement of micas and feldspars by chlorite and megascopically indistinguishable clay substance
- metasomatic replacement of calcite along lamination planes by goethite; SEM analysis of specimens cut perpendicularly to lamination planes have revealed crystallization of spherical goethite aggregates at the surfaces of lamines, whereby unaltered calcitic central parts of lamines are preserved,
- enrichment of rock in corroded quartz after partial dissolution of  $\text{CaCO}_3$ .

### **Стене зоне метасоматских алтерација**

На вертикалном профилу зоне алтерације код кречњака у зони раседа уочене су следеће појаве:

- дробљење зрна калцита,
- замена лискуна и фелдспата хлоритом и мегаскопских неразлучујућих глиненних супстанци,
- метасоматска замена калцита дуж ламинатне равни гетита; СЕМ анализа узорака усправно пресечених до ламинатне равни открила је кристализацију сферичних маса гетита на површини листова чиме су очувани неизмењени калцитни централни делови листова,
- обогаћивање стена у кородираним кварцу након делимичног разлагања  $\text{CaCO}_3$ .

### **Rocks showing „boxwork“ structure**

Examination of structure of boxwork type in thin section using optical microscopy reveals but very advanced granular disintegration of rock. Much more information is obtained by means of scanning microscopy. Worth emphasizing is the intensity of corrosion of grains, comparable with the action of concentrated solvent in modal studies carried out by the present authors. Destruction process is spreading along the discontinuity planes within grains, leading to the origin of rhombohedral hollows and, in effect, of skeletal structure (this process is opposite to crystallization).

All these changes in the structure of limestones can be explained by hydrothermal processes. Both mechanical destruction as well as intensive dissolution, precipitation, migration of pigments, recrystallization and metasomatic alterations fully confirm such interpretation of these phenomena.

### **Red substance underlying cauliflower sinter**

Both fresh fracture of this lithified substance and its hardly soluble in water residue were studied using SEM technique. It was found

### **Стене „boxwork“ структуре**

Испитивање структура „бохворк“ типа у танком делу коришћењем оптичке микроскопије открива врло одмакло зрнасто дробљење стене. Много више информација прибављено је скенирајућом микроскопијом. Вреди напоменути интензитет корозије зрна која се може упоредити са деловањем концентрованих раствора у модалним проучавањима која су спровели ови аутори. Процес обрушавања се ширио ради дисконтинуитета унутар зрна, што је упутило на порекло ромбоидних шупљина, и уствари, скелетних структура (овај процес је супрота процесу кристализације).

Све ове промене у структури кречњака могу се објаснити хидротермалним процесима. И механичко обрушавање, као и интензивно разлагање, таложење, прелазак пигмената, рекристализација и метасоматске измене у потпуности потврђују оваква тумачења ових појава.

### **Црвена супстанца у основи „карфиолне“ сиге**

Коришћењем технике СЕМ проучене су и нове пукотине ове окамењене супстанце, као и њени остаци тешко раствориви у води.

that the substance in question represents cemented primary clay residue related (as follows from its position in erosional profile) with the oldest phase of formation of this cave. It is composed predominantly of detrital quartz grains showing traces of superficial corrosion and of aggregates of clay minerals. The latter aggregates, cemented with calcite with iron oxide admixture, are rounded what indicates their redeposition and repeated cementation of this sediment.

#### **Microscope studies of water-insoluble fraction of sinters**

All the insoluble fractions show identical mineral composition and morphological features of observed grains. Dominant detrital quartz is a primary component of limestones typical for arenaceous Cretaceous deposits of the Shumadide unit. In sinters and flowstones it is a residual insoluble component left after karst processes. The surfaces of quartz grains in all the samples examined are intensely corroded by secondarily crystallized silica *in situ* in the form of chalcedony aggregates. The admixture of heavy mineral and feldspar grains is negligible.

It is, thus, concluded that the

Утврђено је да дата супстанца представља цементовани остатак примарне глине која је повезана (како следи из њеног положаја у ерозионом профили) са најстаријом фазом формирања ове пећине. Она се претежно састоји од разрушеног зрнастог кварца, који показује трагове површинске корозије, и масе глинастих минерала. Ове друге масе, цементиране калцитом са додатком оксида гвожђа, заобљене су, што указује на њихово поновно таложење и поновљено цементирање овог седимента.

#### **Микроскопска проучавања водо-нерастворних делова сиге**

Сви нераствориви делови показују идентичан минерални састав и морфолошке одлике посматраних зрна. Доминантан разрушени кварц је примарна компонента кречњака типичног за претежно пескасте стеновите наслаге из периода Креде шумадијске јединице. Код сиге и течних стена то је резидуална нерастворива компонента која остаје након краификације. Код свих испитаних узорака површина зрнастог кварца је интензивно кородирана секундарно кристализованим силицијум диоксидом *in situ* у облику калцедонске масе. Примеса тешких минерала и зрнастог фелдспата је занемарљив.

Тако се закључује да величина

grain size distribution and morphology of quartz grains both in metasomatically altered rocks as in precipitates, indicate the same source of material (primary limestone) as well as clearly determining the sequence of phenomena in which these grains were involved. Warm aggressive mineral water and warm water vapour have dissolved the rock, corroding quartz grains contained in carbonate matrix. Soon they were saturated with the dissolved substances and from these solutions fairly thick layers of flowstones were precipitated, containing insoluble residue from parent limestones.

Localization of flowstones and the identity of their composition with "onyx" suggest identical origin of this formation too, negating the thesis on precipitation of "onyx" in question directly from warm mineral waters.

### **X-ray studies**

- clay minerals in metasomatically altered rocks and in tectonic fissures (situated close to the main final chamber) are represented by montmorillonite of saponite type and chlorites,

- clay minerals formed in the rock subjected to the action of water vapour (boxwork structures, roof potholes and redeposited residue underlying cauliflower sinter, being subordinate admixture in the rock) represent kaolinite group. They can be the products of alteration of detrital feldspars of

дистрибуције и морфологије зрна зрнастог кварца како код метасоматски измењених стена, тако и код таложења указује на исти извор материјала (примарно кречњак), као што и јасно утврђује редослед појава у које су ова зрна била укључена. Топла агресивна минерална вода и пара топле воде разложили су стене, кородирајући зрнасти кварц садржан у матрици карбоната. Оне су убрзо била засићена раствореним супстанцама и из ових раствора су се таложиле релативно дебели слојеви течних стена, који су садржали нераствориве остатке матичног кречњака.

Локализација течних стена и идентитет њиховог састава са „ониксом“, указују на исто порекло и ове формације, чиме се негира теза о таложењу односног „оникса“ директно из топле минералне воде

### **Рендгенска проучавања**

- глиновите минерале (хидратски алуминијумске силикате) у метасоматски измењеним стенама и тектонским пукотинама (које се налазе близу главне завршне просторије) представљају монтморилонит сапонитског типа и хлорите,

- глиновити минерали формирану у стени изложени деловању водених пара („бохворк“ структуре, тавански лонци и поновно нанети остаци основне „карфиолне“ сиге која је споредна примеса у стени) представљају каолинитску групу.

parent rock,

- tectonic fissures and primary caverns in the region of Cascade Gallery are filled with nearly pure kaolinite,

- aquaous and residual deposit, contaminated by water sediment (originated outside the cave) contains mainly illite or its admixture as it is in the case of clays from the roof of chamber, containing montmorillonite but contaminated by contemporaneous infiltration waters, transporting illite from the surface,

- metasomatic intergrowths in the cave contain goethite.

Mineral composition of the clay fraction, apart from purely fluvial deposite, indicates their different origin. The presence of montmorillonite of saponite group suggest and seem to confirm hydrothermal origin of clays folling tectonic fissures.

Они могу бити производ измене разбијених фелдспата матичне стене,  
- тектонске пукотине и примарне шупљине у региону Каскадне галерије испуњене су скоро чистим каолинитом,

- водени и резидуални наноси, загађени воденим седиментом (који је пореклом изван пећине) углавном садржи илит или његову примесу, као што је случај са глинама са таванице просторије које садрже монтморилонит, али загађен истовременим продором воде, који носи илит са површине,

- метасоматске сраслине у пећини садрже гетит.

Минерални састав делова глине, осим чисто флувијалних наслага, указује на њихово различито порекло. Присуство монтморилонита сапонитског типа, указује и изгледа потврђује хидро термално порекло глине које испуњавају тектонске пукотине.

#### References Литература

- Protić, D., Nikolić, D.** (1972): *Paleohidrogeološke pojave u okolini Aranđelovca i njihov značaj u istraživanju termo-mineralnih voda*. Zbornik radova 2. jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, Sarajevo
- Лазаревић, Р.** (1987): *Рисовача*. Музеј у Аранђеловцу, Аранђеловац, 50 стр.
- Dublansky V.N.**, (1984): *Chemical denudation in the karst areas of Ukrainian Carpathians Crimea and the Caucasus*
- Ford, D.C., Williams, P.W.** (1989): *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman, London, pp. 1-601
- Kovacs J., Muller P.**; (1984): *Origin of the hydrothermal karstic phenomena in the Buda-Hills (Hungary)*. Kras i speleologia, t. 5(XIV)



