

# SLOVENSKÝ KRAS

ACTA CARSOLOGICA SLOVACA

ROČNÍK 46  
ČÍSLO 2



2008

Liptovský Mikuláš

**Editor / Editor**

doc. RNDr. Zdenko Hochmuth, CSc.

**Výkonný redaktor / Executive Editor**

Ing. Peter Holúbek

**Redakčná rada / Editorial Board**

**Predseda / Chairman**

doc. RNDr. Zdenko Hochmuth, CSc.

**Členovia / Members**

RNDr. Pavel Bella, PhD., RNDr. Václav Cílek, CSc., RNDr. Ľudovít Gaál, PhD.,  
prof. Dr. hab. Jerzy Głazek, doc. RNDr. Ján Gulička, CSc., Ing. Jozef Hlaváč,  
Ing. Peter Holúbek, doc. RNDr. Jozef Jakál, DrSc., doc. RNDr. Vladimír Košel, CSc.,  
doc. RNDr. Ľubomír Kováč, CSc., acad. Dr. Andrej Kranjc, Ing. Marcel Lalkovič, CSc.,  
RNDr. Ladislav Novotný, Mgr. Marián Soják, PhD., prof. Ing. Michal Zacharov, CSc.

**Recenzenti / Reviewers**

Ing. Jozef Hančulák, doc. RNDr. Zdenko Hochmuth, CSc.,  
doc. Ing. Stanislav Jacko, PhD., doc. RNDr. Jozef Jakál, DrSc.,  
RNDr. Ľubomír Kováčik, CSc., Mgr. Vladimír Mítáš, Ing. Ľubomír Petro, CSc.,  
Dr. Jacek Piasecki, Štefan Roda, Doc. dr hab. Ewa Stworzewicz,  
RNDr. Marcel Uhrin, prof. Ing. Michal Zacharov, CSc., RNDr. Petr Zajíček

© Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva a Štátna ochrana prírody  
Slovenskej republiky – Správa slovenských jaskýň, 2008

**ISSN 0560-3137**

# OBSAH CONTENTS

## ŠTÚDIE STUDIES

<i>Pavel Bella</i> Speleomorfológia a jej postavenie v rámci geovedného výskumu jaskýň <i>Speleogeomorphology and its position within the framework of geoscientific research of caves</i> .....	261
<i>Katarína Bónová, Zdenko Hochmuth, Ján Derco</i> Predbežné výsledky mineralogického štúdia fluviaálnych sedimentov v jaskyni Skalitý potok (Slovenský kras) <i>Preliminary results from mineralogical study of fluvial sediments in the Skalitý potok Cave (Slovak Karst)</i> .....	277
<i>Michal Zacharov</i> Výskum disjunktívnej tektoniky Drienovskej jaskyne v Slovenskom krase <i>Disjunctive tectonics research of Drienovská cave in Slovak Karst</i> .....	287
<i>Pavel Michal</i> Ponický a Lehotský kras Drienockej vrchoviny <i>The Ponický and Lehotský Karst of the Drienocka vrchovina Highland</i> .....	301
<i>Jozef Psotka</i> Príspevok k formám modelácie Hrušovskej jaskyne <i>Contribution to study of modelation of the Hrušovská Cave</i> .....	315
<i>Michal Gradziński</i> Origin of a unique tree-mould type cave in travertine based on examples from the village of Lúčky (Liptov, Slovakia) <i>Vznik unikátneho typu stromových jaskýň v travertínoch na príklade lokality Lúčky (Liptov, Slovenská republika)</i> .....	325
<i>Miloš Briestenský, Josef Stemberk</i> Monitoring mikropohybov v jaskyniach západného Slovenska <i>Micromovements Monitoring in the Western Slovakia Caves</i> .....	333
<i>Nikola Jurková, Miloš Briestenský</i> Recent Movements along Tectonic Failures in the Západní Cave (Ještěd Ridge, Northern Bohemia) <i>Súčasný pohyby pozdĺž tektonických zlomov v Západnej jaskyni (hrebeň Jěštěda, severné Čechy)</i> .....	341
<i>Viola Altová, Petra Štěpančíková</i> Karst Phenomena in the Rychlebské Mts. and their Tectonic Setting (Czech Republic) <i>Krasové javy v Rychlebských vrchoch a ich tektonická situácia (Česká republika)</i> .....	347
<i>Daniel Moravanský, Monika Orvošová</i> Fosfátové minerály v slovenských jaskyniach <i>Phosphate minerals in Slovak caves</i> .....	353
<i>Jiří Hebelka, Jacek Piasecki, Tomasz Sawiński</i> Air exchange in the Kateřinská Cave – first contribution <i>Výměna vzduchu v Kateřinské jaskyni – prvý príspevok</i> .....	361

<i>Krzysztof Strug, Ján Zelinka</i> The Demänovská Ice Cave – Mass balance of Ice monolith in 2003 – 2007 (Slovakia) <i>Demänovská ľadová jaskyňa – vyváženosť masy ľadového monolitu 2003 – 2007 (Slovensko) ...</i>	369
<i>Jozef Šteffek, Jozef Grego</i> The current status of the genus cf. <i>Hauffenia</i> (Mollusca: Gastropoda: Hydrobiidae) distribution research in Slovakia <i>Súčasný stav rodu cf. Hauffenia (Mollusca: Gastropoda: Hydrobiidae), výskum rozšírenia</i> <i>na Slovenku .....</i>	387
<i>Zuzana Višňovská</i> Netopiere (Chiroptera) Belianskej jaskyne <i>The bats (Chiroptera) of the Belianska Cave (The Belianske Tatry Mts.) .....</i>	393
<i>Alena Nováková</i> Mikroskopické houby v jeskyních České republiky a Slovenska <i>Microscopic fungi in caves of Czech and Slovak Republics .....</i>	409
<i>Marián Soják</i> Jaskyne Slovenského krasu a okolia vo svetle nových archeologických objavov <i>Caves of Slovenský kras (Slovak Karst) region in the light of new archaeological finds .....</i>	419

## S P R Á V Y R E P O R T S

<i>Jindřich Štelcl, Jiří Faimon, Miroslav Komberec, Petra Veselá</i> Advances in cave aerosol research <i>Postupy pri jaskynnóm aerosolovom výskume .....</i>	439
<i>Jiří Faimon, Dana Troppová</i> Cave Microclimate Impact on Karst Processes: Role of Cave Ventilation <i>Vplyv jaskynnej mikroklimy na krasové procesy. Úloha jaskynného vetrania .....</i>	443
<i>Monika Schwarzová, Jiří Faimon</i> Concentration of CO <sub>2</sub> in soils and caves of the Moravian karst (Czech Republic) <i>Koncentrácia CO<sub>2</sub> v pôdach a jaskyniach Moravského krasu (Česká republika) .....</i>	447

## R E C E N Z I E R E V I E W S

<i>Marcel Lalkovič</i> Székely, K.: Kessler Hubert a barlangkutató .....	451
<i>Mikuláš Lysický</i> Košel, V.: História výskumu subterárnej fauny v Západných Karpatoch (1841 – 1990) ...	454



SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	261 – 276	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## Š T Ú D I E – S T U D I E S

### SPELEOGEOMORFOLÓGIA A JEJ POSTAVENIE V RÁMCI GEOVEDNÉHO VÝSKUMU JASKÝŇ

PAVEL BELLA

Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; Pedagogická fakulta KU, Námestie Andreja Hlinku 56/1, 034 01 Ružomberok; bella@ssj.sk, Pavel.Bella@fedu.ku.sk

#### **P. Bella: Speleogeomorphology and its position within the framework of geosciential research of caves**

**Abstract:** Knowledge on geomorphological forms and processes belong to the fundamental and most important data related to caves or cave environment. The paper refers to the natural scientific significance of geomorphological forms in caves, emphasizes the influence of cave morphology to the diversity of cave geosystems, characterizes theoretical, general and regional approaches and prevailing specifications of geomorphological research of caves, and defines the speleogeomorphology as the geosciential discipline within the framework of geomorphology. Consecutively basic aims and future perspectives of the development of speleogeomorphology based on geosystematic approach of the research cave georelief are considered and discussed.

**Key words:** physical speleology, geospeleology, speleogeomorphology, cave georelief, complex geomorphological research of caves, cave geomorphological mapping, cave geomorphological information system

#### ÚVOD

Poznatky o geomorfologických formách a procesoch v jaskyniach patria medzi základné a dôležité údaje o týchto pozoruhodných podzemných prírodných javoch vytvorených v litosfére. Geomorfologické formy svojou morfológiou a priestorovým usporiadaním odrážajú podmienky a zákonitosti ich vzniku a vývoja. Takisto usmerňujú priebeh a intenzitu súčasných prírodných procesov v jaskynných geosystémoch. S cieľom získať analytické, ale najmä syntetizujúce poznatky o geomorfologických formách a procesoch v jaskyniach treba uplatňovať progresívnu metodológiu parciálneho i komplexného geomorfologického výskumu, ktorým sa na základe systémového prístupu skúma jaskynný georeliéf z morfometrického, morfogenetického, morfochronologického i morfodynamického hľadiska.

Predložená štúdia poukazuje na prírodovedný význam geomorfologických javov v jaskyniach, zdôrazňuje vplyv morfológie podzemných priestorov na diverzitu jaskynných geosystémov, hodnotí doterajšie smery geomorfologického výskumu jaskýň a charakterizuje speleogeomorfológiu ako geovednú disciplínu v rámci geomorfológie. Ďalej načrtáva základné ciele a perspektívy rozvoja speleogeomorfológie v nadväznosti na geosystémový prístup pri výskume jaskynného georeliéfu, komplexný geomorfologický výskum jaskýň, tvorbu geomorfologického informačného systému o jaskyniach, ako aj možnosti aplikácie geomorfologických poznatkov pri riešení environmentálnych problémov a ochrany jaskýň.

#### GEOMORFOLOGICKÉ FORMY A PROCESY V JASKYNIACH, VÝZNAM GEOMORFOLOGICKÝCH POZNATKOV O JASKYNIACH

V jaskyniach sa vyskytujú denudačné (stropné a bočné korytá, stropné kupoly, zarovnané stropy, lastúrovité jamky, krútnavové hrnce a iné), akumulčné (sutinové kopy, riečiskové štrkové lavice, náplavové kužele a iné) i kombinované denudačno-akumulčné alebo

akumulačno-denudačné geomorfologické formy (zložené terasové stupne, riečiská vyhlbené v podlahe tvorenej aluviálnymi sedimentmi, egutačné jamky v jemných sedimentoch a iné). Vytvorili sa na litosférických povrchoch – na skalných stenách, stropoch alebo podlahách podzemných priestorov alebo na povrchoch sedimentov uložených v podzemných priestoroch (obr. 1, 2, 3 a 4).

Lange (1959, 1960) a Šušteršič (1979a) rozlišujú: (1) „speleogénne“ skalné tvary podzemných dutín, vytvorené denudáciou pevnej horninovej hmoty koróznou alebo eróznou činnosťou vody, resp. inými geomorfologickými procesmi; (2) „speleotémne“ tvary, vzťahujúce sa na uloženie jaskynných sedimentov. Polemizuje sa, či podzemné dutiny v litosfére, ktoré úplne vyplňajú sedimenty, možno považovať za jaskyne. Podľa Cykina (1978 in Klimčuk, 1985) je jaskyňou iba podzemná dutina, ktorá nie je úplne vyplnená sedimentmi. Podzemná dutina v určitej etape vývoja úplne vyplnená sedimentmi nevytvára voľný podzemný priestor. Keďže sedimenty sú súčasťou litosféry, z geoeologického hľadiska sa takýto útvar vzťahuje iba na litosféru (jaskyňa ako environmentálny prírodný geosystém tvoria aj ďalšie hmotné komponenty krajinnnej sféry). Doteraz sa však za jaskyne, zväčša v geológii, považujú podzemné dutiny čiastočne alebo úplne vyplnené tekutou alebo pevnou látkou (napr. Muravski, 1980; Dubljanskij a Andrejčuk, 1989, 2000).

Speleogénne geomorfologické formy v podzemných priestoroch akýchkoľvek genetických typov Slabe (1995) označuje termínom „jaskynný skalný reliéf“. Širšie chápaný termín „jaskynný georeliéf“ zahŕňa speleogénne i speleotémne formy (Bella, 2006). Maruašvili (1985) používa termín „speleoreliéf“. Jaskyne sú vytvorené v litosfére a sú súčasťou geomorfosféry zaberajúcej časti všetkých geosfér, v ktorých prebiehajú geomorfologické procesy (pozri Bartkowski, 1977; Minár, 1996).

Hlavné geomorfologické formy v jaskyniach (chodby, dómy, siene, priepasti a pod.) predstavujú povrch trojrozmerných podzemných priestorov, na ktorom sa odohrávajú, resp. sú usmerňované prírodné procesy v rozličných štádiách vývoja jaskyne (mnohé jaskyne sa vytvorili v dávnejších geologických dobách, neskôr sa čiastočne alebo iba minimálne remodelovali následnými geomorfologickými procesmi). V chodbách, dómoch, sieňach či priepastiach sa vytvorilo



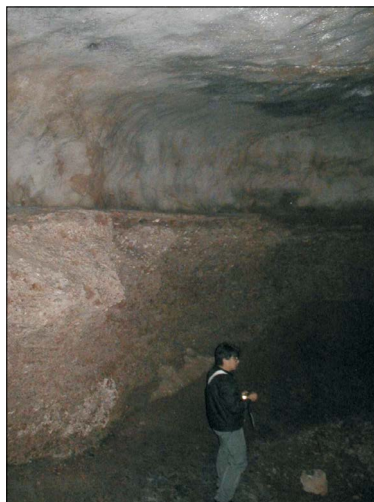
Obr. 1. Zarovnaný strop a šikmé ploché spodné časti stien, Kungurská ľadová jaskyňa, Rusko. Foto: P. Bella  
Fig. 1. Solution flat ceiling and facets (Facetten, planes of repose), Kungur Ice Cave, Russia. Photo: P. Bella



Obr. 2. Meandrovité stropné koryto a skalné visiaky, jaskyňa Fig Tree Cave, Austrália. Foto: P. Bella  
Fig. 2. Meandering ceiling channel and rock pendants, Fig Tree Cave, Australia. Photo: P. Bella



Obr. 3. Akumulačný kužeľ pod zrútenou časťou stropu, Kungurská ľadová jaskyňa. Foto: P. Bella  
 Fig. 3. Accumulation cone below a collapsed part of ceiling, Kungur Ice Cave. Photo: P. Bella



Obr. 4. Úzky postranný terasový stupeň vyhlbený vo fluvialných sedimentoch, jaskyňa Akiyoshi-do, Japonsko. Foto: P. Bella  
 Fig. 4. Narrow side terraced step deepened into fluvial deposits, Akiyoshi-do Cave, Japan. Photo: P. Bella

množstvo menších až drobných geomorfologických foriem (lastúrovňové jamky, stropné kapsy a kupoly, stropné kanály, meandrovité zárezy, podlahové kanály, krúťňavové hrnce, skalné pendanty a iné), ktoré dotvárajú celkovú morfológiu jaskynných priestorov (obr. 2 a 5).

Z hľadiska dimenzionálnej hierarchie geomorfologických foriem Malkov et al. (2001) rozlišujú jaskynný makroreliéf (viacúrovňové jaskyne, jednotlivé úrovne jaskýň a pod.), mezoreliéf (kanály, siene, priestory a iné formy, z ktorých sa skladajú formy makroreliéfu) a mikroreliéf (menšie formy na mezoformách, napr. zárezy na stenách alebo podlahe a pod.), ako aj menšie formy jaskynného georeliéfu, ktoré zodpovedajú nanoúrovni (napr. medzivrstevné anastomózne a iné ranofreatické kanály) a najnižšej pikoúrovni (prúdové facety, resp. lastúrovňové jamky (angl. *scallops*) a iné skulptúrne drobné formy odrážajúce podmienky cirkulácie podzemných vôd).

Geomorfologické formy sú veľmi významné indikátory a záznamy, ktoré umožňujú rekonštruovať geomorfologický vývoj jaskýň. Hlavné morfológické tvary podzemných priestorov sú výsledkom pôsobenia geomorfologických procesov, ktoré mali hlavný vplyv na genézu jaskyne. Geomorfologické formy umožňujú skúmať vplyv litologických a štruktúrno-tektonických pomerov, hydrografických a hydrologických pomerov, ako aj hydraulických, klimatických či iných prírodných podmienok a procesov na vznik



Obr. 5. Fluviokrasová chodba so stropným korytom a stenovými zárezmi poukazujúcimi na viacfázové zarezávanie riečiska, jaskyňa Domica. Foto: P. Bella  
 Fig. 5. Fluviokarst passage with ceiling channel and wall notches indicating a more-phased downcutting of riverbed, Domica Cave, Slovakia. Photo: P. Bella

a vývoj podzemných priestorov. Jaskynné úrovně sú dôležité nielen z hľadiska rekonštrukcie vývojových etáp jaskyne, ale aj z hľadiska korelácie, resp. synchronného vývoja jaskynných priestorov s vývojom povrchového georeliéfu. Drobné tvary dokladajú nielen morfológickú a genetickú rozmanitosť jaskynného georeliéfu, ale aj fázy vývoja jaskýň alebo ich častí, vrátane remodelácie pôvodných podzemných priestorov (obr. 5).

Jaskynný georeliéf výrazne vplýva na vymedzenie a diverzitu jaskynných geosystémov. Patrí medzi hlavné diferenciálne faktory jaskynného prostredia – podmieňuje a usmerňuje chod prírodných procesov, ktoré určujú fungovanie či dynamiku jaskynných geosystémov (prúdenie vzduchu medzi dolnými a hornými vchodmi vzhľadom na morfológiu a vertikálnu členitosť jaskýň, dlhodobé udržiavanie až stagnáciu studeného vzduchu v depresných vrecovitých priestoroch s ich následným zaľadnením, prúdenie vody v podzemných riečiskách s eróziou skalného podložia alebo akumuláciou fluvialných sedimentov, tvorbu rozličných foriem sintrových nátekov v závislosti od usmerneneho stekania kalcimorfných roztokov po šikmej alebo previsovej skalnej stene, vytváranie alebo modifikovanie biotopov v závislosti od priestranosti a dostupnosti podzemných dutín či pôsobenia geomorfologických procesov a pod.).

Poznatky o geomorfologických formách a súčasných geomorfologických procesoch sú dôležité z hľadiska celkového poznania jaskynných geosystémov. Na jaskyne, najmä ak sú súčasťou značne labilnej krasovej krajiny, vplývajú viaceré antropogénne aktivity vykonávané v podzemí i na povrchu, ktoré narušujú, poškodzujú, prípadne až ničia zložky jaskynného prostredia vrátane jaskynného georeliéfu. Ochrana geomorfologických javov v jaskyniach musí byť integrovanou časťou komplexnej ochrany jaskýň (Bella, 2006c).

Morfológia a vertikálna členitosť podzemných priestorov výrazne vplýva aj na spôsob sprístupnenia jaskýň a ich prevádzkovanie (sprístupnenie prehladkovým chodníkom, prípadne trasou na presun návštevníkov dopravným prostriedkom, úzke chodby limitujú množstvo prechádzajúcich návštevníkov za určitý čas, niektoré jaskynné siene a dómy s dobrou akustikou sa využívajú na organizovanie hudobných koncertov a pod.).

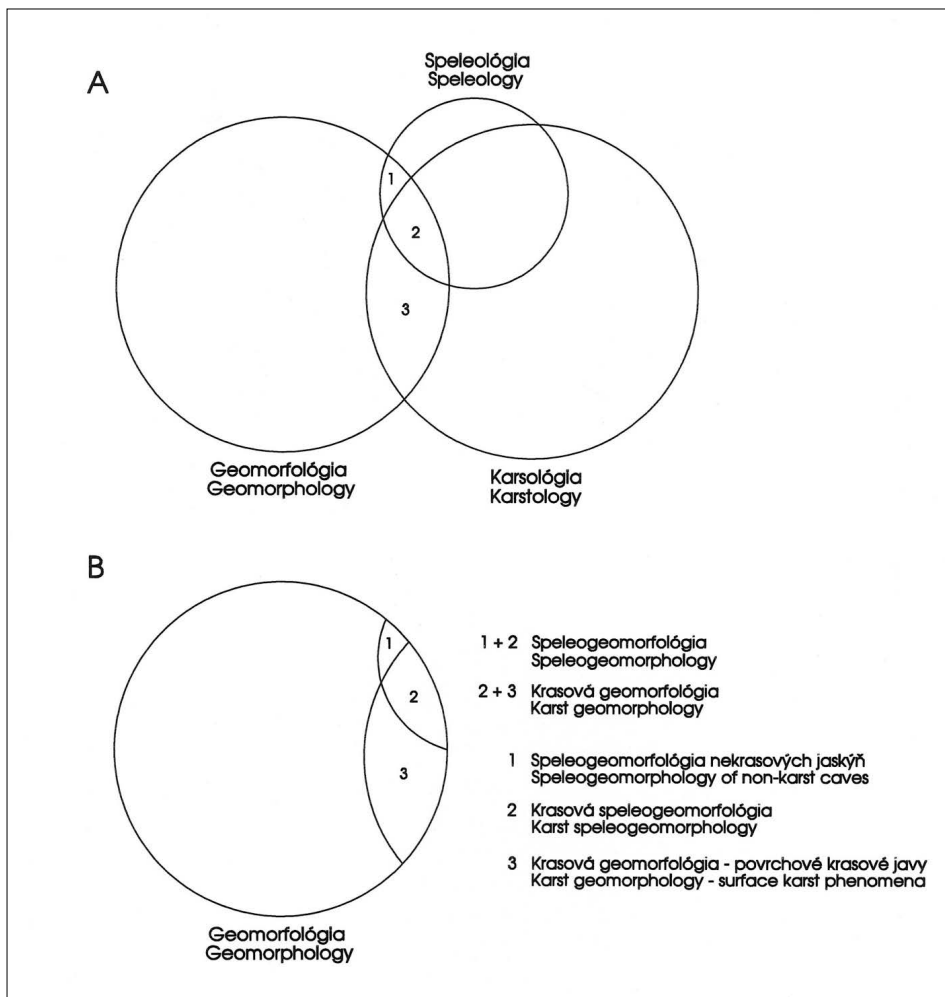
Vedecký význam a environmentálne aplikácie geomorfologických poznatkov o jaskyniach nastoľujú potrebu ďalšieho rozvoja speleogeomorfologického výskumu na teoreticko-metodologickej, všeobecnej i regionálnej úrovni. Geomorfologický výskum patrí medzi hlavné oblasti prírodovedného výskumu jaskýň.

## SPELEOGEOMORFOLÓGIA A JEJ POSTAVENIE V GEOVEDNOM VÝSKUME JASKÝŇ

Speleogeomorfológia ako vedná disciplína predstavuje časť geomorfológie, ktorá z hľadiska morfológie, morfometrie a genézy komplexne skúma geomorfologické formy v jaskyniach – jaskynný georeliéf, ako aj súčasné geomorfologické, resp. morfodynamické procesy v jaskyniach (Bella, 2006a, c). Patrí medzi geovedné disciplíny, ktoré skúmajú anorganické komponenty jaskýň, resp. jaskynných geosystémov a s nimi súvisiace geodynamické procesy.

Speleogeomorfológia sa vytvorila a postupne sa dotvára najmä v rámci krasovej geomorfológie a speleológie, resp. fyzickej speleológie či geospeleológie (pozri Trimmel, 1968; Gorbunova a Maksimovič, 1987), ktorej vedeckou súčasťou je aj geomorfologický výskum jaskýň. Vzhľadom na skutočnosť, že jaskyne nie sú vytvorené iba v rozpustných (krasových), ale aj v nekrasových horninách, speleogeomorfológia ako súčasť geomorfológie presahuje rámec krasovej geomorfológie (obr. 6). Panoš (1995) v systéme karsologických vied vyčlenil aj glaciokarsológiu a vulkanokarsológiu vrátane výskumu podzemných dutín vytvorených prírodnými procesmi.

Dubljanskij (1985, 1987 in Dubljanskij a Andrejčuk, 1989, 2000) však neuvažuje o vzájomnom prieniku medzi geomorfológiou a karsológiou a za objekt geomorfologického výskumu považuje iba jaskyne vytvorené sufóziou a abráziou. Krasové, bradykrasové a tachykrasové jaskyne považuje iba za objekt karsológie, jaskyne vytvorené vulkanickou činnosťou za objekt



Obr. 6. Postavenie speleogeomorfológie vo vzťahu ku geomorfológii, karsológii a speleológii (A), resp. ku geomorfológii a krasovej geomorfológii (B)

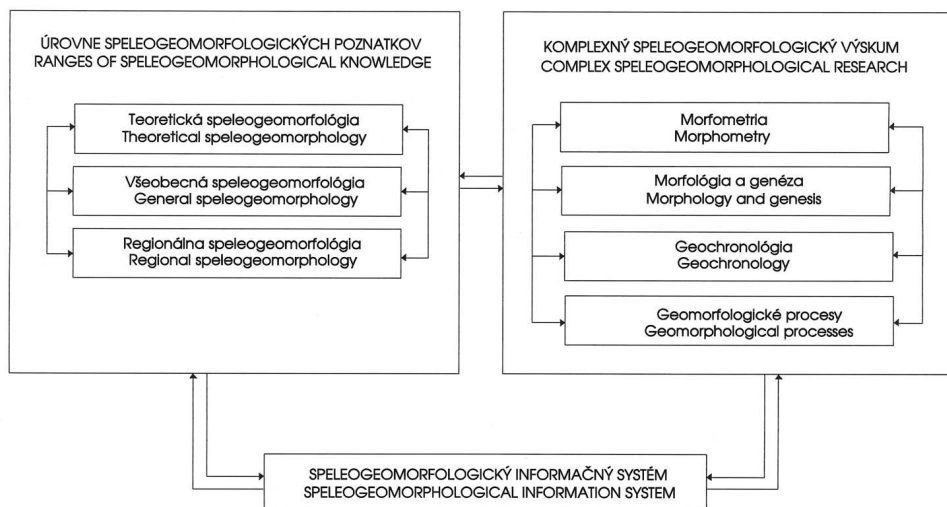
Fig. 6. Position of speleogeomorphology in relation to geomorphology, karstology and speleology (A), or to geomorphology and karst geomorphology (B)

vulkanológie, ablačné jaskyne za objekt glaciológie a podzemné dutiny vytvorené horením za objekt geochémie. Tento názor nezohľadňuje základné triedenie prírodných vied, resp. geovied podľa jednotlivých komponentov krajiny ako objektu ich výskumu (negeografické analytické disciplíny podľa Mičiana, 1984), ani chápanie karsológie ako logického súboru špecifických častí jednotlivých geovied skúmajúcich príslušné prírodné komponenty krajiny budovanej rozpustnými horninami.

Objektom speleogeomorfológie je jaskynný georeliéf (geomorfologické formy a procesy v jaskyniach) ako súčasť geomorfosféry, jej predmetom sú vnútorné vzťahy a zákonitosti v rámci jaskynného georeliéfu, ako aj vzťahy medzi jaskynným georeliéfom a ostatnými komponentmi jaskynného prostredia, resp. krajiny. V kontexte zaradenia geomorfológie v rámci výskumu krajiny k parciálne syntetizujúcim geovedám (Minár, 1996) možno aj speleogeomorfológiu vzhľadom na jaskyne ako prírodné geosystémy v rámci krajiny považovať za parciálne syntetizujúcu geovednú disciplínu.

Podobne ako iné vedné disciplíny, aj speleogeomorfológia sa vzhľadom na charakter a úroveň poznatkov delí na regionálnu, všeobecnú a teoretickú, čo sa detailnejšie opisuje v nasledujúcej časti príspevku. Speleogeomorfológiu možno deliť sa čiastkové disciplíny aj z hľadiska odborného zamerania výskumu. Panoš (1995) v rámci krasovej geomorfológie rozlišuje speleogenetiku (skúma zákonitosti vzniku a vývoja jaskýň) a speleomorfológiu (skúma morfológiu jaskýň). Podobne vzhľadom na celkový záber geomorfologického výskumu jaskýň Dublyansky a Andrejchuk (2000) v rámci vedeckej i regionálnej speleológie vyčleňujú dve vedné disciplíny zaoberajúce sa speleogenezou a morfológiou jaskýň. Pri formulovaní zákonitostí vzniku a vývoja jaskýň Maruašvili (1985) charakterizuje speleomorfológiu, ako aj problematiku speleomorfogenézy a speleomorfocyklov. Ollier (1966) poukazuje na ciele a metódy speleochronológie, ktorá sa zaoberá geochronológiou vývoja jaskýň a ich výplní. Z týchto členení však jednoznačne nevyplýva, či takto chápané čiastkové disciplíny alebo oblasti speleogeomorfologického výskumu zahrnujú aj problematiku morfometrie podzemných priestorov a skúmania súčasných geomorfologických procesov v jaskyniach.

Speleogeomorfológia zahŕňa všetky oblasti geomorfologického výskumu v akýchkoľvek jaskyniach, nielen krasových. V nadväznosti na základnú koncepciu a údajové atribúty komplexného geomorfologického výskumu (pozri Minár, 1996) speleogeomorfológia sa delí na čiastkové odvetvia, resp. smery výskumov zamerané na morfometriu a priestorovú usporiadanosť podzemných priestorov, morfológiu a genézu jaskynných priestorov vrátane ich geomorfologického mapovania, geochronológiu vývoja jaskýň a súčasné geomorfologické procesy v jaskyniach. Každé z týchto čiastkových odvetví sa rozvíja v teoreticko-metodologickej, všeobecnej i regionálnej rovine (obr. 7).



Obr. 7. Základné odvetvové členenie a vzťahy medzi čiastkovými smermi a špecifikáciou výskumu v rámci speleogeomorfológie

Fig. 7. Basic branched partition and relations among partial trends and the specification of research within the framework of speleogeomorphology

## ÚROVNE POZNATKOV A HLAVNÉ SMERY DOTERAJŠIEHO GEOMORFOLOGICKÉHO VÝSKUMU JASKÝŇ

Z regionálneho i všeobecného hľadiska sa geovedný, ako aj geomorfologický výskum jaskýň zameriavajú najmä na podmienky a procesy vzniku a rekonštrukciu vývoja podzemných

priestorov v priestorových i časových súvislostiach. V podstatne menšej miere sa rozpracovali teoretické, resp. teoreticko-metodologické prístupy a postupy geomorfologického výskumu, ktoré zohľadňujú špecifické znaky morfológie a genézy jaskynných priestorov. Keďže geomorfologický výskum jaskýň je integrálnou súčasťou geomorfológie, rozdielne úrovne poznatkov o morfometrii, morfológii či genéze jaskýň možno porovnať s úrovňami poznatkov v rámci geomorfológie ako celku.

V geomorfológii sa rozlišujú tri úrovne poznania (pozri Demek, 1987). Najnižší stupeň geomorfologických poznatkov zodpovedá regionálnej geomorfológii (skúma všetky zložky georeliéfu na určitom území, zohľadňuje absolútnu polohu skúmaných javov). Vyšší stupeň poznatkov so vzrastajúcou abstrakciou predstavuje všeobecná geomorfológia (zjednodušuje modely, neberie do úvahy neopakovateľnosť a individualitu geografickej polohy), ktorá sa delí na štruktúrnú, klimatickú, klimatogenetickú a dynamickú geomorfológiu (vrátane experimentálnej geomorfológie), paleogeomorfológiu (historickú geomorfológiu), ako aj na antropogénnu geomorfológiu a aplikovanú geomorfológiu. Najvyšší stupeň abstrakcie a vytvorenie modelov sa vzťahuje na teoretickú geomorfológiu (formulovanie všeobecných pravidiel a zákonitostí platných pre všetky odvetvia geomorfológie).

Na teoreticko-metodologické, všeobecné i regionálne prístupy geomorfologického výskumu jaskýň poukazujú Dubljanskij a Andrejčuk (1989, 2000). Tomu zodpovedajú základné úrovne geomorfologických poznatkov a smery výskumu geomorfologických foriem a procesov v jaskyniach (obr. 7):

1. *Teoreticko-metodologický speleogeomorfologický výskum.* Zaoberá sa tvorbou všeobecných teórií a modelov, ktoré objasňujú geomorfologický vývoj jaskýň (napr. Ford, 1977; Ford a Ewers, 1978). Počítačové modelovanie procesov speleogenézy na fyzikálnych a geochemických základoch v rozličných podmienkach krasových akvíferov (Ford et al., 2000; Gabrovšek, 2000; Dreybrodt et al., 2005; Kaufmann, 2005 a iní) vytvára predpoklady na ucelenejšie a exaktnejšie interdisciplinárne objasnenie vývoja jaskynných systémov. Ďalej sa zavádzajú a definujú morfometrické ukazovatele na určovanie dimenzie a tvaru podzemných priestorov (Šušteršič, 1980; Dubljanskij et al., 1981, 1987; Jakopin, 1981; Goran, 1984, 1991, 1992 a iní), vzhľadom na rôzne tvary iniciálnych štruktúr sa modeluje vytváranie priečných profilov chodieb rozpúšťaním pri uniformnom rozširovaní, rozširovaní s konštantným a exponenciálnym gradientom, uniformnom rozširovaní pod vodnou hladinou, stupňovitom rozširovaní a uniformnom rozširovaní so sedimentáciou (Lange, 1959, 1968a,b,c), simulácia nepravidelných tvarov sa aplikuje na reálne priečne profily jaskynných priestorov (Šušteršič, 1979b, 1985), na základe teórie grafov sa hodnotí zložitosť pôdorysnej štruktúry jaskýň (Howard, 1971), interpretuje sa priestorová konfigurácia podzemných priestorov v rámci jaskýň (Šušteršič, 1979a; Goran, 1992; Bella, 1995a), načrtáva sa exaktný spôsob určovania priebehu jaskynných priestorov ako polygónu pomocou Fourierovej analýzy (Šušteršič, 1987). V základných rysoch sa rieši aj problematika elementarizácie a hierarchizácie jaskynného georeliéfu a nastoľujú sa teoreticko-metodologické postupy komplexného geomorfologického výskumu jaskýň (morfometrický, morfogenetický, morfochronologický i morfodynamický prístup) a tvorby geomorfologického informačného systému o jaskyniach (Bella, 2006a).

2. *Všeobecný speleogeomorfologický výskum.* Zameriava sa na problematiku morfológie a genézy jaskýň vo všeobecnej rovine. Mnohé poznatky získané regionálnym výskumom sa transformujú do podoby všeobecne platných zákonitostí geomorfologického vývoja jaskýň. Výsledkom sú štúdie zaberajúce sa speleogéznou koróznou a koróznou-eróznou jaskýň (Ford, 1977, 2000; Ford a Ewers, 1978; Palmer, 1991, 2007; Audra, 1994 a iní), hydrotermálnou a artézskou, resp. hypogénnou speleogéznou (Müller a Sárvásy, 1977; Dubljanskij, 1980, 2000; Klimchouk, 1997, 2000, 2007 a iní), morfológickou a genetickou klasifikáciou jaskýň (White, 1988; Dubljanskij a Andrejčuk, 1989; Bella, 1994, 1995b; Ljachnickij, 2001; Ford a Williams, 2007 a iní), vývojom jaskynných úrovní (napr. Ek, 1961, Droppa, 1966; Palmer



1987), typológiou geomorfologických tvarov v jaskyniach (Slabe, 1994, 1995; Bella, 2002 a iní), morfogenetickými procesmi a genézou niektorých geomorfologických tvarov (napr. Lange, 1963, 1964; Curl, 1966, 1974; Ewers, 1966; Wilford, 1966; Renault, 1968; Kempe et al., 1975; Rudnickí, 1978; Cocean, 1979; Mucke et al., 1983; Bögli, 1984; Cigna a Forti, 1986; Völker, 1989; Lismonde, 2000; Osborne, 2004) či experimentálnym modelovaním procesov ich vzniku v laboratóriách (napr. Lauritzen, 1981; Reinboth, 1992; Slabe, 1995). Všeobecné poznatky o morfológii a genéze jaskýň sa prezentujú vo viacerých známych karsologických a speleologických monografiách a štúdiách (Bretz, 1942; Trimmel, 1968; Bögli, 1978; Jennings, 1985; White, 1988; Slabe, 1995; Lauritzen a Lundberg, 2000; Ford a Williams, 2007; Palmer, 2007 a iné).

3. *Regionálny speleogeomorfologický výskum.* S postupným rozvojom speleológie výskumy tohto zamerania sa realizovali v takmer všetkých krasových oblastiach sveta. V podmienkach Slovenska sú príkladom monografie o niektorých významných jaskyniach (Droppa, 1957; Tulis a Novotný, 1989). Z kvantitívneho hľadiska v rámci geomorfologickej literatúry o jaskyniach výrazne dominujú a prinášajú množstvo dôležitých poznatkov o výskyte a vývoji jaskýň vytvorených v rozpustných i nerozpustných horninách. Okrem množstva regionálnych poznatkov o morfológii a genéze jaskýň sú východiskom na formuláciu zákonitostí morfogenézy jaskýň vo všeobecnej rovine, ktoré sa „späťne“ regionálne využívajú aj na objasnenie vývoja jaskýň v určitých územiach.

## ZÁKLADNÉ CIELE A PERSPEKTÍVY GEOMORFOLOGICKÉHO VÝSKUMU JASKÝŇ

V rámci ďalšieho rozvoja speleogeomorfológie treba okrem exaktizácie klasických regionálnych a všeobecných výskumov značnú pozornosť venovať najmä rozpracovaniu teoreticko-metodologických prístupov a postupov interpretácie jaskyne ako morfogeografického systému (elementarizácia a hierarchizácia jaskynného georeliéfu), spresneniu a doplneniu typológie geomorfologických foriem v jaskyniach, praktickej realizácii koncepcie komplexného geomorfologického výskumu, tvorbe geomorfologického informačného systému o jaskyniach, ako aj problematike geomorfologického mapovania jaskýň. Značný potenciál interdisciplinárnej spolupráce možno využiť v rámci ďalšieho modelovania procesov speleogenézy, geomorfologickej rekonštrukcie vývoja jaskýň, výskumu paleokrasových javov a pod.

*Elementarizácia a hierarchizácia jaskynného georeliéfu.* Rozsiahlé jaskyne sú zvyčajne morfologicky i morfometricky heterogénne (menšie formy sú hierarchicky usporiadané v rámci väčších, formy rovnakého hierarchického rádu so vzájomnou priestorovou kontinuitou tvoria kompaktný celok). Preto sa nastoľuje otázka taxonómie, resp. hierarchických úrovní jednotlivých foriem jaskynného georeliéfu a interpretácie ich priestorového rozloženia (Jakál, 1979; Dubljanskij a Klimčuk, 1987; Bella, 1995a, 2001, 2006). Morfogeografický prístup elementarizácie, resp. individualizácie a priestorovej štrukturalizácie jaskynného georeliéfu umožňuje jeho geosystémovú interpretáciu.

Definovanie a identifikácia elementárnych geneticky, dynamicky i morfometricky homogénnych územných jednotiek georeliéfu, ktoré určujú štruktúrnú hierarchiu a z hľadiska veľkostnej rozlišovacej úrovne v danej mierke mapy ďalej nedeliteľných areálov, patrí medzi základné úlohy geomorfológie a je nevyhnutným predpokladom a východiskom komplexného geomorfologického výskumu a mapovania. Elementárne geomorfologické jednotky majú určitú morfometrickú, morfogenetickú, morfochronologickú i morfodynamickú homogenitu (Minár, 1996, 1998, 2000; Minár a Evans, 2008). Medzi štruktúrnou a veľkostnou, resp. dimenzionálnou hierarchiou existuje určitá súvislosť, pretože geometrická a genetická zložitosť, ale aj veľkosť vyčlenených segmentov georeliéfu vzrastá od elementárnych foriem k typom georeliéfu. Štruktúrne kategórie sa vyčleňujú na rôznych veľkostných úrovniach. Pri prechode z nižšej do vyššej veľkostnej hierarchickej úrovne, t. j. z vyššej do nižšej rozlišovacej úrovne, sa štruktúrne zložitejší segment môže transformovať na jednoduchší segment (Minár, 1996).



Hoci podzemné priestory majú špecifickú morfológiu vzhľadom na terén povrchu krajiny, tento zámer treba analogicky, avšak v modifikovanej podobe aplikovať aj pri geomorfologickom výskume jaskýň.

V rámci taxonomických geografických dimenzií jaskynného georeliéfu (veľkostná hierarchia) Bella (1995a, 2001, 2006a) vyčleňuje parciálne topické (speleomorfotopy) a chorické jednotky jaskynného georeliéfu (speleomorfochory a súbory speleomorfochor). Speleomorfotopy ako kvázihomogénne trojdimenzionálne časti jaskyne z hľadiska morfológie, morfometrie, genézy, resp. charakteru súčasných geomorfologických procesov sú základným morfológickým fundamentom priestorovej štruktúry rozsiahlych jaskynných priestorov. Pri detailnejšej rozlišovacej úrovni v rámci speleomorfotopov možno vyčleniť ich parciálne povrchy (jednotlivé morfológicky odlišné steny, strop, podlahu, prípadne ich morfológické menšie časti). Speleomorfotopy sa na základe vývojových vzťahov najmä horizontálneho smeru grupujú do väčších jednotiek chorickej dimenzie – speleomorfochor. Mnohé rozsiahlejšie jaskyne, najmä tie, ktoré sú geomorfologicky značne diferencované, pozostávajú zo súboru alebo súborov speleomorfochor.

V nadväznosti na uvedenú koncepciu elementarizácie a hierarchizácie jaskynného georeliéfu sa treba zaoberať spôsobmi jednoznačného a objektívneho vymedzovania speleomorfotopov, resp. elementárnych jednotiek jaskynného georeliéfu vo vzťahu k stanovenému stupňu rozlišovacej úrovne, ako aj problematikou konštrukcie ich priramených geometrických aproximácií. Podobne treba detailnejšie rozpracovať problematiku vymedzovania chorických jednotiek jaskynného georeliéfu v rozličných priestorových konfiguráciách pri viacerých morfogeneticky rozdielnych typoch jaskýň, najmä v prípadoch labyrintových sieťových a špongiovitých jaskýň, ktoré vznikli v litologicky obmedzených krasových akviféroch.

Základná trojdimenzionálna elementarizácia jaskynného georeliéfu je platformou na analýzu topologických vzťahov a priestorovej hierarchickej štruktúry väčších segmentov jaskyne patriacich do funkčných celkov až kompletnej jaskyne ako celku (polohová, resp. topologická hierarchia). Pritom treba uplatniť taxonomickú klasifikáciu štruktúry geomorfologických foriem od najnižších čiastkových hierarchických častí (na základe vzťahu inklúzie a ostatných množinových operácií), ich funkčného zoskupenia do vyšších hierarchických častí (napr. na základe organizácie gravitačného pohybu), nakoniec až do kompletnej jaskyne ako jedného celku najvyššieho hierarchického rádu. Na základe geomorfologickej analýzy sa určia systémové vlastnosti a zákonitosti usporiadania jaskynného georeliéfu (v kontexte Urbánka, 1974, 2000).

V jaskyniach sa vyskytujú geomorfologické formy viacerých veľkostných dimenzií, ktoré sa vytvárali alebo remodelovali vo viacerých vývojových fázach alebo etapách. Vek jednotlivých foriem či segmentov georeliéfu sa vzťahuje na jeho uvažovanú veľkostnú hierarchickú štruktúru. Pri zvyšovaní rozlišovacej úrovne sa zväčša znižuje absolútny vek geomorfologických foriem (Minár, 1996). V rámci speleogeomorfologického výskumu sa treba zaoberať aj problematikou časovej, resp. chronologickej hierarchie geomorfologických foriem. Čiastočne sa jej týka rozlišovanie jednofázových a viacfázových koincidenčných alebo aincidenčných speleomorfotopov, jednofázových a viacfázových fluviokrasových speleomorfochor, ako aj synchronných a asynchronných súborov speleomorfochor (Bella, 1998).

*Typológia geomorfologických tvarov v jaskyniach.* Na základe skúmania morfológie a morfogenetických zákonitostí rozličných denudačných, akumuláčných, denudačno-akumuláčných alebo akumuláčno-denudačných foriem treba detailnejšie rozpracovať a dotvoriť systematizáciu a kategorizáciu geomorfologických foriem v jaskyniach. Z praktických dôvodov i náučných potrieb je žiaduca aj ich výstižná a prehľadná katalogizácia, v niektorých prípadoch aj s doriešením terminologických nejednoznačností. S cieľom jednoznačnej identifikácie treba určiť hlavné morfológické alebo iné hlavné či doplnujúce indikačné znaky niektorých genetických typov geomorfologických foriem, ktoré zatiaľ nie sú striktne definované (napr. *Facetten a planes of repose*). Z vedeckého hľadiska je dôležité spoznať zákonitosti výskytu

určitých geomorfologických tvarov podľa genetických typov jaskýň, resp. zistiť a zdôvodniť súvislosti medzi morfológiou a genézou takýchto jaskýň (morfo-genetické znaky určitých typov speleogenézy).

*Komplexný speleogeomorfologický výskum.* Geomorfologické formy jaskyniach, resp. elementárne formy jaskynného georeliéfu možno skúmať z hľadiska ich morfometrie, morfológie a druhu genézy, geochronológie ich vývoja i modelácie súčasnými geomorfologickými procesmi. Takýto obsahovo ucelený prístup nastoľuje koncepcia komplexného speleogeomorfologického výskumu. Jeho hlavným cieľom je získať o jednotlivých segmentoch jaskynného georeliéfu morfometrické, morfo-genetické, morfochronologické i morfodynamické údaje (Bella, 2001, 2006a v zmysle Minára, 1996, 2000).

Vo vzťahu k morfometrii jaskynných priestorov je žiadúce sprehľadniť a prípadne doplniť lineárne, plošné i objemové ukazovatele rozličných geomorfologických foriem v jaskyniach na rôznej úrovni štruktúrnej i veľkostnej hierarchie. Osobitnú pozornosť treba upriamiť na problematiku geometrických abstrakcií reálnych trojdimenzionálnych tvarov podzemných priestorov v jaskyniach. V nadväznosti na teóriu grafov sa treba zaoberať analýzou a exaktným hodnotením pôdorysnej štruktúry jaskynnej siete, t. j. zákonitostami polohovej hierarchie segmentov jaskynného georeliéfu podľa morfológických a genetických typov jaskýň.

Skúmanie morfológie a morfo-genézy jaskýň treba zavŕšiť kategorizáciou všetkých geomorfologických foriem v jaskyniach na rôznych úrovniach veľkostnej hierarchie a následným objasnením zákonitostí výskytu určitých geomorfologických foriem podľa genetických typov jaskýň, ako aj podľa ich vývojových štádií (určiť základné morfológické indikačné znaky jednotlivých genetických typov jaskýň).

V rámci morfochronológie vývoja jaskýň sa treba detailnejšie zaoberať zákonitostami morfostratigrafie geomorfologických tvarov (v priečných i pozdĺžnych profiloch) v určitých genetických typoch jaskýň (posúdenie relatívneho veku geomorfologických tvarov) a vo väčšom rozsahu rekonštruovať vývoj jaskýň na základe datovania jaskynných sedimentov (posúdenie veku geomorfologických tvarov pomocou absolútneho veku sedimentov, ktoré sa v skúmanej časti jaskyne nachádzajú).

Výskum súčasných geomorfologických procesov v jaskyniach, ktoré viac či menej menia morfológiu podzemných priestorov (obr. 8 a 9), treba rozšíriť formou stacionárnych i experimentálnych pozorovaní v rozličných genetických typoch jaskýň. Dôležité je sledovať intenzitu a režim týchto procesov v kontexte fungovania jaskynných geosystémov. Žiadúca je kategorizácia geomorfologických procesov podľa genetických typov jaskýň, ako aj porovnanie výskytu a intenzity týchto procesov v rôznych štádiách vývoja jaskýň.

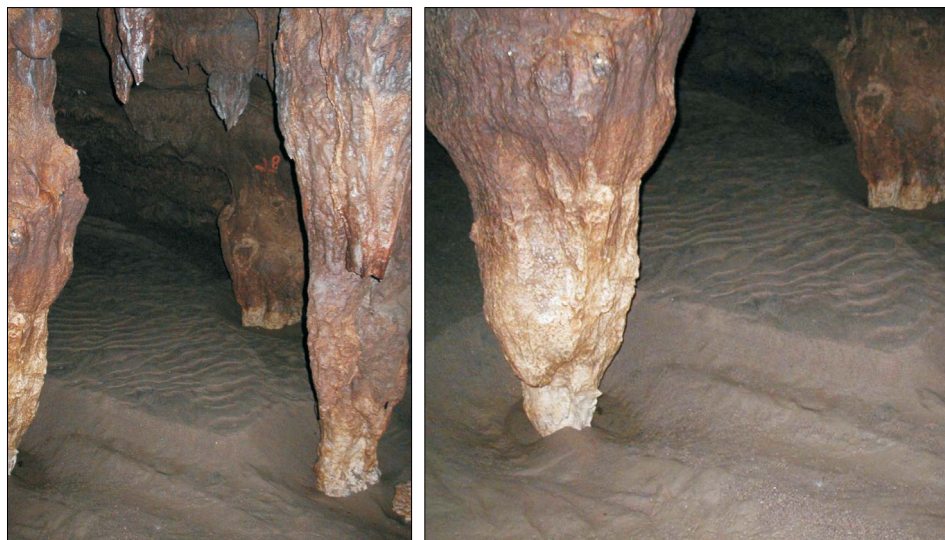
*Geomorfologické mapovanie jaskýň.* Výsledky geomorfologických výskumov sa zatiaľ neprezentujú kartograficky ako výsledok systematického geomorfologického mapovania foriem. Pri zostavovaní komplexnej geomorfologickej mapy majú kľúčové postavenie elementárne formy georeliéfu. Pri kartografickom zobrazovaní jaskýň (zväčša v mierkach 1 : 200 a 1 : 500) elementárnymi jednotkami jaskynného georeliéfu v geomorfologických máp sú jednotky chorických dimenzií viacerých hierarchických rádov alebo speleomorfotopy (Bella, 2006b), čo je prejavom variability štruktúrnej hierarchie georeliéfu v závislosti od veľkosti mierky mapy (pozri Minár, 1996, 1998). Doterajšie základné plány a mapy jaskýň zobrazujú prevažne ich hlavnú morfológiu, ktorá sa kartograficky vzťahuje na obrisy skalných stien chodieb, siení, dômov alebo iných podzemných priestorov. Geomorfologické mapovanie jaskýň si vyžaduje rozpracovať vizuálne prehľadné metódy kartografického zobrazovania a prezentácie geomorfologických tvarov na rozličných stupňoch rozlišovacej úrovne (vrátane legendy vyplývajúcej z morfo-genetickej klasifikácie geomorfologických tvarov v jaskyniach).

*Speleogeomorfologický informačný systém.* Z obsahového hľadiska by mal podávať čo najkomplexnejší geomorfologický obraz jaskyne a poskytovať dôležité údaje a informácie pre ďalší geovedný výskum jaskynných geosystémov. Z funkčného hľadiska bude obsahovať zber, spracovanie, generovanie, vizualizáciu, verifikáciu a aktualizáciu morfometrických,



Obr. 8. Oválne vertikálne žľaby na okraji občasne zaplavovaného riečiska, Drienovská jaskyňa. Foto: P. Bella

Fig. 8. Oval vertical grooves on the bank of occasionally flooded floor channel, Drienovská Cave, Slovakia. Photo: P. Bella



Obr. 9. Koncové časti obkorodovaných stalaktitov pokryté fluviálnymi sedimentmi v opakovane zaplavovanom riečisku (prúdové značky na povrchu fluviálnych sedimentov), jaskyňa Aggiti, Grécko. Foto: P. Bella

Fig. 9. Ended parts of corroded stalactites covered by fluvial deposits in a repeatedly flooded riverbed (flow marks on the surface of fluvial deposits), Aggiti Cave, Greece. Photo: P. Bella

morfo-genetických, morfo-chronologických a morfo-dynamických údajov o jednotlivých elementoch jaskynného georeliéfu, ako aj údajov o priestorovo-polo-hových vzťahoch medzi jednotlivými elementmi georeliéfu. Keďže základnú bázu speleogeomorfolo-gického informačného systému tvorí komplexná geomorfologická mapa jaskyne (v kontexte Minára a Kusendovej, 1995; resp. Minára, 1996), jeho tvorba je nadstavbou komplexného geomorfologického výskumu jaskýň (obr. 7).

V nadväznosti na základné teoreticko-metodologické aspekty a východiská tvorby speleogeomorfolo-gického informačného systému, ktoré načrtáva Bella (2001, 2006a), treba detailnejšie rozpracovať najmä štruktúru geodatabáz a funkčných vzťahov jej jednotlivých častí. Hoci v prípade morfológie jaskýň ide aj o trojrozmerné podzemné formy, určité analogické postupy tvorby speleogeomorfolo-gického informačného systému (napr. čiastočné štruktúrovanie databázy) vyplývajú aj zo zámerov a možností praktickej implementácie geomorfologického informačného systému o území (pozri Minár et al., 2005).

Formy jaskynného georeliéfu, ktoré predstavujú obvod trojdimenzionálnych dutín v litosfére, v rámci tvorby speleogeomorfolo-gického informačného systému podmieňujú tvorbu priestorového modelu jaskynných priestorov na platforme 3D-zobrazenia. Automatizovaná analýza a generované údaje o priestorovej speleogeomorfolo-gickej štruktúre jaskýň z morfometrického, morfo-genetického, morfo-chronologického i morfo-dynamického hľadiska sú základným predpokladom systémového výskumu a modelovania geomorfologického vývoja i súčasných geomorfologických procesov v jaskyniach.

## ZÁVER

Speleogeomorfológia ako geovedná disciplína, ktorá sa zaoberá geomorfologickým výskumom jaskýň, má do budúcnosti značné perspektívy rozvoja v teoretickej, všeobecnej i regio-nálnej rovine. Tento rozvoj do značnej miery stimuluje a podmieňuje potreba a dôležitosť geomorfologických poznatkov o jaskyniach pre vedu i praktické environmentálne aplikácie (Jakál, 1996; Bella, 2006c a iní).

Pozornosť treba upriamiť na dotvorenie morfo-genetickej klasifikácie všetkých geomorfo-logických tvarov v jaskyniach, ako aj na skúmanie súčasných geomorfologických procesov v jaskyniach (poznatky o geodynamických procesoch sú dôležité aj z hľadiska environmentálnej ochrany jaskýň). Doteraz pomerne málo rozpracovaným, avšak mimoriadne perspektív-nym je morfo-geografický prístup skúmania jaskynného georeliéfu založený na geosystémo-vom prístupe (elementarizácia a hierarchizácia geomorfologických tvarov v jaskyniach, záko-nitosti priestorovej konfigurácie geomorfologických tvarov podľa genetických typov jaskýň). Vyjadrovanie geomorfologických poznatkov o jaskyniach alebo ich častiach v mapách by malo byť samozrejmom súčasťou prezentácie výsledkov ich geomorfologického výskumu. Praktické využitie a postupná realizácia koncepcie komplexného geomorfologického výskumu jaskýň je aj nevyhnutným predpokladom tvorby údajovo ucelených priestorových databáz geomorfo-lo-gického informačného systému o jaskyniach.

Speleogeomorfológia sa i naďalej musí rozvíjať v úzkej interdisciplinárnej spolupráci, naj-mä s niektorými geologickými vedami (pri analyzovaní štruktúrno-tektonických a hydrogeo-logických podmienok speleogenézy, rekonštrukcii geochronologického vývoja jaskýň a pod.), ako aj s niektorými odvetvami fyziky či chémie (modelovanie procesu rozpúšťania hornín s vývojom podzemnej drenáže v rozličných priestorových a hydraulických podmienkach kra-sových akvíferov a pod.).

Využívaním moderných i novokoncipovaných metód výskumu a modelovaním speleoge-nézy sa získa množstvo poznatkov a údajov, ktoré výrazne prehĺbia doterajší stav geomorfo-logických poznatkov o jaskyniach.

## LITERATÚRA

- AUDRA, PH. 1994. Karsts alpins, genèse de grands réseaux souterrains. Exemples: le Tennengebirge (Autriche), l'Île de Crémieu, la Chartreuse et le Vercors (France). *Karstologia Mémoires*, 5, 280 p.
- BARTKOWSKI, T. 1977. Metody badań geografii fizycznej. PWN, Warszawa – Poznań, 543 s.
- BELLA, P. 1994. Genetické typy jaskynných priestorov Západných Karpát. *Slovenský kras*, 32, 3–22.
- BELLA, P. 1995a. Cave as a Morphogeographic System and Evaluation of Spatial Differentiation of Underground Geosystems. In Bella, P. (Ed.): *Caves and Man. Proceedings of International Symposium, Liptovský Mikuláš*, 30–38.
- BELLA, P. 1995b. Princípy a teroreticko-metodologické aspekty klasifikácie morfológických typov jaskýň. *Slovenský kras*, 33, 3–15.
- BELLA, P. 1998. Priestorová a chronologická štruktúra jaskynných geosystémov. Základné teroreticko-metodologické aspekty. *Slovenský kras*, 36, 7–34.
- BELLA, P. 2001. Geomorfologické aspekty tvorby informačného systému o jaskynnom georeliéfe. *Geografické štúdie*, 8, Banská Bystrica, 218–225.
- BELLA, P. 2002. Základná morfogenetická klasifikácia jaskynného georeliéfu. *Geomorphologia Slovaca*, 2, 1, 19–27.
- BELLA, P. 2006a. Jaskynný georeliéf – priestorová hierarchická štruktúra a základné speleogeomorfologické atribúty. *Slovenský kras*, 44, 23–53.
- BELLA, P. 2006b. Geomorfologické mapovanie jaskýň – základné teroreticko-metodologické problémy a prístupy. *Geomorphologia Slovaca*, 6, 2, 42–54.
- BELLA, P. 2006c. Prírodovedný a spoločenský význam geomorfologických javov v jaskyniach. *Aragonit*, 11, 33–36.
- BÖGLI, A. 1978. *Karsthydrographie und physische Speläologie*. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 292 s.
- BÖGLI, A. 1984. Fließfazetten – ein karsthydrographisch wichtiges Merkzeichen des Fließverhaltens von Karstwasser. *Die Höhle*, 35, 3/4, 119–126.
- BRETZ, J. H. 1942. Vadose and phreatic features of limestone caverns. *Journal of Geology*, 50, 675–811.
- CIGNA, A. A. – FORTI, P. 1986. The Speleogenetic Role of Air Flow Caused by Convection. *International Journal of Speleology*, 15 (1–4), 41–52.
- COCEAN, P. 1979. Les voutes planes-horizontales et le niveau de base karstique. *Travaux de l'Institute de Spéologie „Émile Racovitza“*, 18, 219–224.
- CURL, R. L. 1966. Cave conduit enlargement by natural convection. *Cave Notes*, 8, 1, 2–6.
- CURL, R. L. 1974. Deducing flow velocity in cave conduit from scallops. *The Bulletin of the National Speleological Society*, 36, 2, 1–5.
- DEMEK, V. 1987. *Obečná geomorfologie*. Academia, Praha, 480 s.
- DREYBRODT, W. – GABROVŠEK, F. – ROMANOV, D. 2005. Processes of speleogenesis: a modeling approach. *Carsologica*, 4, Založba ZRC, ZRC SAZU, Postojna – Ljubljana, 375 p.
- DROPPA, A. 1957. Demänovské jaskyne. Krasové javy Demänovskej doliny. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava, 289 s.
- DROPPA, A. 1966. The correlation of some horizontal caves with river terraces. *Studies in Speleology*, 1, 186–192.
- DUBLJANSKY, Y. V. 2000. Hydrothermal Speleogenesis – Its Settings and Peculiar Features. In Klimchouk, A. B. – Ford, D. C. – Palmer, A. N. – Dreybrodt, W. (Eds.): *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville, Alabama, U. S. A., 292–297.
- DUBLJANSKY, V. N. 1980. Hydrothermal karst in the alpine folded belt of southern parts of the USSR. *Kras i speleologia*, 3 (12), 18–36.
- DUBLJANSKIJ, V. N. – ANDREJČUK, V. N. 1989. Speleologija (terminologija, svjazi s drugimi naukami, klassifikacija polostej). *Ural'skoe otdelenie AN SSSR, Kungur*, 33 s.
- DUBLJANSKY, V. – ANDREJCHUK, V. 2000. The matter of speleology. *Kras i speleologia*, 10 (19), 11–26.
- DUBLJANSKIJ, V. N. – KLIMČUK, A. B. 1987. O probleme speleogeneza i taksonomii karstovych polostej. *Problemy izučeniya, ekologii i ochrany peščer*, Kiev, 15–16.
- DUBLJANSKIJ, V. N. – ILJUCHIN, V. V. – LOBANOV, J. E. 1981. Morfometričeskie pokazateli karstovych polostej. *Peščery*, 18, Perm, 85–94.
- DUBLJANSKY, V. N. – ILYUKHIN, V. V. – LOBANOV, Y. E. 1987. Some Problems of Karst Morphometry. *Studies in Speleology*, 7, Newbury, 17–22.
- EK, C. 1961. Conduits souterrains en relation avec les terrasses fluviales. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 84, 313–340.
- EWERS, R. O. 1966. Bedding-plane anastomoses and their relation to cavern passages. *The Bulletin of the National Speleological Society*, 28, 3, 133–140.

- FORD, D. C. 1977. Genetic Classification of Solution Cave System. *Proceeding of the 7<sup>th</sup> International Congress of Speleology*, Sheffield, 189–192.
- FORD, D. C. 2000. Speleogenesis Under Unconfined Settings. In Klimchouk, A. B. – Ford, D. C. – Palmer, A. N. – Dreybrodt, W. (Eds.): *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, U. S. A., 319–324.
- FORD, D. C. – EWERS, R. O. 1978. The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 15, 1783–1798.
- FORD, D. C. – LAURITZEN, S. E. – EWERS, R. 2000. Hardware and Software Modeling of Initial Conduit Development in Karst Rocks. In Klimchouk, A. B. – Ford, D. C. – Palmer, A. N. – Dreybrodt, W. (Eds.): *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville, Alabama, U. S. A., 175–183.
- FORD, D. C. – WILLIAMS, P. W. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester, 562 p.
- GABROVŠEK, F. 2000. Evolution of Early Karst Aquifer: From Simple Principles to Complex Models. Založba ZRC, ZRC SAZU, Ljubljana, 150 p.
- GORAN, C. 1984. Le rapport entre l' extension et le dénivellement du cavernement, un indice spéléométrique éloquent. *Theoretical and Applied Karstology*, 1, Bucharest, 83–89.
- GORAN, C. 1991. La spéléométrie des cavités et des réseaux souterrains. Les paramètres spéléométrique: définition et utilisation. *Travaux de l' Institut de Spéologie „Émile Racovitza“*, 30, Bucharest, 129–158.
- GORAN, C. 1992. La configuration et le développement spatial des cavités et des réseaux karstiques. La géométrie des cavités et des réseaux karstiques. *Theoretical and Applied Karstology*, 5, Bucharest, 13–65.
- GORBUNOVA, K. A. – MAKSIMOVIČ, N. G. 1987. Osnovnye napravlenija razvitija speleologii. *Problemy izučeniija, ekologii i ochrany peščer*, Kiev, 4–6.
- HOWARD, A. D. 1971. Quantitative Measures of Cave Patterns. *Caves and Karst*, 13, 1, 1–7.
- JAKÁL, J. 1979. K otázke typologického a individuálneho názvoslovia krasu. *Spravodaj SSS*, 10, 2, 35–45.
- JAKÁL, J. 1996. Geovedný výskum a jeho aplikácia pri ochrane sprístupnených jaskýň. In Bella, P. (Ed.): *Sprístupnené jaskyne – výskum, ochrana a využívanie*. Zborník referátov, Liptovský Mikuláš, 125–129.
- JAKOPIN, P. 1981. On Measuring Caves by Volume. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Congress of Speleology*, vol. 1–2, Bowling Green, 270–272.
- JENNINGS, J. N. 1985. *Karst Geomorphology*. Oxford, Basil Blackwell, 293 p.
- KAUFMANN, G. 2005. Structure and evolution of karst aquifer: a finite-element numerical modeling approach. In Dreybrodt, W. – Gabrovšek, F. – Romanov, D.: *Processes of speleogenesis: a modeling approach*. *Carsologica*, 4, Založba ZRC, ZRC SAZU, Postojna – Ljubljana, 323–375.
- KEMPE, S. – BRANDT, A. – SEEGER, M. – VLADI, F. 1975. „Facetten“ and „Laugdecken“, the typical morphological elements of caves developed in standing water. *Annales des spéléologie*, 30, 4, 705–708.
- KLIMČUK, A. B. 1985. Ponjatie o peščere i nekotorye problemnye voprosy teoretičeskoj speleologii. *Fizičeskaja geografija i geomorfologija*, 2, Kiev, 18–21.
- KLIMCHOUK, A. 1997. Artesian speleogenetic setting. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Congress of Speleology*, 1, La Chaux-de-Fonds, 157–160.
- KLIMCHOUK, A. 2000. Speleogenesis Under Deep-Seated and Confined Settings. In Klimchouk, A. B. – Ford, D. C. – Palmer, A. N. – Dreybrodt, W. (Eds.): *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville, Alabama, U. S. A., 244–260.
- KLIMCHOUK, A. 2007. Hypogene Speleogenesis: Hydrological and Morphogenetic Perspective. *National Cave Karst Research Institute, Spec. Pap.*, 1, Carlsbad, NM, 106 p.
- LANGE, A. 1959. Introductory notes on the changing geometry of cave structures. *Cave studies*, 11, San Francisco, 69–90.
- LANGE, A. 1960. Geometrical Basis for Cave Interpretation. *The Bulletin of the National Speleological Society*, 22, 1, 77–84.
- LANGE, A. 1963. Planes of repose in caves. *Cave Notes*, 5, 6, 41–48.
- LANGE, A. 1964. Planar domes in solution caves. *Cave Notes*, 6, 3, 20–23.
- LANGE, A. 1968a. The changing geometry of cave structures. Part I: The constant solution gradient. *Caves and Karst*, 10, 1, 1–10.
- LANGE, A. 1968b. The changing geometry of cave structures. Part II: The exponential solution gradient. *Caves and Karst*, 10, 2, 13–19.
- LANGE, A. 1968c. The changing geometry of cave structures. Part III: Summary of solution processes. *Caves and Karst*, 10, 3, 29–32.
- LAURITZEN, S. E. 1981. Simulation of rock pendants – small scale experiment. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Congress of Speleology*, vol. 1–2, Bowling Green, 407–409.
- LAURITZEN, S. E. – LUNDBERG, J. 2000. Solutional and erosional morphology. In Klimchouk, A. B. – Ford, D. C. – Palmer, A. N. – Dreybrodt, W. (Eds.): *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville, Alabama, U. S. A., 408–426.

- LISMONDE, B. 2000. Corrosion des cupoles de plafond par les fluctuations de pression de l' air emprisonné. *Karstologia*, 35, 39–46.
- LJACHNICKI, J. S. 2001. Strukturno-morfologičeskaja klassifikacija karstovych polostej i ich sistem. *Peščery*, 157–161.
- MALKOV, V. N. – GURLAKO, I. – MONACHOVA, L. B. – ŠAVRINA, E. V. – GURLAKO, V. A. – FRANC, N. A. 2001. Karst i peščery Pinežja. *Asociacija EKOST*, Moskva, 208 s.
- MARUAŠVILI, L. I. 1985. Zakonomernosti speleomorfogeneza. *Peščery Gruzii*, 10, 5–14.
- MIČIAN, E. 1984. The analysis and comparison of the selected conceptions of geographical sciences system. *Acta Facultatis rerum naturalium Universitatis Comenianae, Geographica*, 24, 41–54.
- MINÁR, J. 1996. Niektoré teoreticko-metodologické problémy geomorfológie vo väzbe na tvorbu komplexných geomorfologických máp. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Geographica*, 36, Bratislava, 71–25.
- MINÁR, J. 1998. Definícia a význam elementárnych foriem georeliéfu. *Folia geographica*, 2, Prešov, 315–321.
- MINÁR, J. 2000. Tvorba komplexnej geomorfologickej mapy Devínskej Kobyly (metodické poznámky). In Lacika, J. (Ed.): *Zborník referátov z 1. konferencie Asociácie slovenských geomorfológov pri SAV*. Bratislava, 86–90.
- MINÁR, J. – EVANS, I. S. 2008. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. *Geomorphology*, 95, 236–259.
- MINÁR, J. – KUSENDOVÁ, D. 1995. Komplexná geomorfologická mapa ako súčasť GIS. *Geographia Slovaca*, 10, 157–162.
- MINÁR, J. – MENTLÍK, P. – JEDLIČKA, K. – BARKA, I. 2005. Geomorphological information system: idea and options for practical implementation. *Geografický časopis*, 57, 3, 247–266.
- MUCKE, B. – VÖLKER, R. – WADEWITZ, S. 1983. Cupola formation in occasionally inudated cave roofs. *Evropska regionalna konferencia po speleologija, Sbornik ot materialy*, 2, Sofia, 129–132.
- MURAVSKI, G. 1980. *Tolkovoj slovar nemeckich geologičeskich terminov*. Red. Milanovskij, E. E., Mir, Moskva, 373 s.
- MÜLLER, P. – SÁRVÁRY, I. 1977. Some aspects of the developments in Hungarian speleology theories during the last 10 years. *Karszt-és-Barlang, special issue*, 53–60.
- OLLIER, C. D. 1966. Speleochronology. *Helictite*, 5, 1, 12–21.
- OSBORNE, A. 2004. The troubles with cupolas. *Acta carsologica*, 33/2, 9–36.
- PANOŠ, V. 1995. Karstology, an integrated system of sciences on karst. *Acta Carsologica*, 24, 41–51.
- PALMER, A. N. 1987. Cave levels and their interpretation. *The Bulletin of the National Speleological Society*, 49, 2, 50–66.
- PALMER, A. N. 1991. Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin*, 103, 1, 1–21.
- PALMER, A. N. 2007. *Cave Geology*. Cave Books, Dayton, Ohio, 454 p.
- REINBOTH, F. 1992. Laborversuche zur Entstehung von Stillwasserfacetten und Laugdecken – mit einem kritischen Überblick zum Stand der Diskussion. *Die Höhle*, 43, 1, 1–18.
- RENAULT, PH. 1968. Contribution à l' étude des action mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. *Annales de spéléologie*, 23/3, 529–596.
- RUDNICKI, J. 1978. Role of convection in shaping subterranean karst. *Kras i speleologia*, 11, 2, 92–101.
- SLABE, T. 1994. Klasifikacija in poimenovanje jamkih skalnih oblik. *Naše jame*, 36, 43, 43–57.
- SLABE, T. 1995. Cave rocky relief and its speleogenetical significance. *Zbirka ZRC*, 10, ZRC SAZU, Ljubljana, 128 p.
- ŠUŠTERŠIČ, F. 1979a. Kaj je speleometrija. *Naše jame*, 20, Ljubljana, 21–29.
- ŠUŠTERŠIČ, F. 1979b. Some principles of the cave profiles simulation. *Proceedings of the International Symposium on Karstic Erosion, Aix-en-Provence – Marseille – Nîmes*, 125–131.
- ŠUŠTERŠIČ, F. 1980. Dimenzioniranje kraških votlin. *Naše jame*, 21, Ljubljana, 61–73.
- ŠUŠTERŠIČ, F. 1985. Speleometrična izhodišča za proučevanje jamskih prečnih rezov. *Naš krš*, 11, 18–19, Sarajevo, 81–87.
- ŠUŠTERŠIČ, F. 1987. Nekaj misli o Fourierjevi analizi in teoriji jamskih vijug. *Naš krš*, 13, 22, Sarajevo, 27–37.
- TRIMMEL, H. 1968. *Höhlenkunde*. Friedr. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 268 s.
- TULIS, J. – NOVOTNÝ, L. 1989. Jaskynný systém Stratenskej jaskyne. *Osveta*, Martin, 464 s.
- URBÁNEK, J. 1974. Niekoľko poznámok ku klasifikácii geomorfologických tvarov. *Geografický časopis*, 26, 1, 16–41.
- URBÁNEK, J. 2000. Geomorfologická analýza: hľadanie systému. *Geografický časopis*, 52, 3, 197–210.
- VÖLKER, R. 1989. Die Kondenswasserkorrosion als höhlenraumbildender Faktor. *Die Höhle*, 40, 1, 1–10.

- WHITE, W. B. 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford Univ. Press, Oxford – New York, 464 p.
- WILFORD, C. E. 1966. „Bell Holes“ in Sarawak Caves. *The Bulletin of the National Speleological Society*, 28, 4, 179–182.

## SPELEOGEOMORPHOLOGY AND ITS POSITION WITHIN THE FRAMEWORK OF GEOSCIENTIAL RESEARCH OF CAVES

### S u m m a r y

The investigation of geomorphological forms and processes in underground spaces is the inseparable and essential part of the geosciential research of caves or cave environment. The morphology and spatial configuration of geomorphological forms into hierarchical units are resulted by variable natural conditions of speleogenesis. Geomorphological forms are very significance indicators for the reconstruction of cave development. Also they influence to the geoecological diversity of cave geosystems. Several recent natural processes in caves are more or less conditioned and controlled by cave morphology. Geomorphological knowledge on caves is relevant for various environmental applications, mainly oriented to the use and protection of caves.

Geomorphological phenomena in caves are studied by speleogeomorphology as the partial and special branch of geomorphology. Speleogeomorphology was established and formed mainly within the framework of karst geomorphology and speleology (physical speleology, geospeleology) which scientific part is also geomorphological research of caves. Since caves are originated not only in karst (solution) rocks, but also in non-karst rocks, speleogeomorphology as the part of geomorphology transcends the framework of karst geomorphology (Fig. 6). The object of speleogeomorphology is cave georelief (geomorphological forms and processes) as a part of geomorphosphere. Its subject is presented by internal relations and principles of formation and spatial configuration of cave georelief, also relations among cave georelief and other natural components of cave environment or landscape. Speleogeomorphology includes all scopes of geomorphological research related to various lithological, morphological or genetic types of caves. According to the basic conception and data attributes of complex geomorphological research, several partial research branches and trends oriented to morphometry and spatial configuration of underground spaces, morphology and genesis of underground spaces including their geomorphological mapping, geochronology of cave development, and recent geomorphological processes in caves are distinguished within the speleogeomorphology. Each of these partial branches develops on the theoretical, general and regional range (Fig. 7).

Within the framework of the next development of speleogeomorphology, besides of the exactness of classical regional and general researches the fair-sized attention is needed mainly to the elaboration of theoretical and methodological approaches for (1) the individualization or elementary segmentation, typology and spatial hierarchical structure of cave georelief, (2) the precision and completion of the typology of all geomorphological forms in caves, (3) the practical realization of complex geomorphological research applied to hierarchical units of cave georelief, (4) the methodology and practical realization of geomorphological mapping, and (5) the creation of geomorphological information system with georeferenced morphometric, morphogenetic, morphochronological and morphodynamic data. These problems present progressive and substantive topics of speleogeomorphology. The great potential of interdisciplinary co-operation can be used for modeling of speleogenesis processes, geochronological reconstruction of cave development, research of paleokarst phenomena, etc.



SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	277 – 286	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## PREDBEŽNÉ VÝSLEDKY MINERALOGICKÉHO ŠTÚDIA FLUVIÁLNYCH SEDIMENTOV V JASKYNI SKALISTÝ POTOK (SLOVENSKÝ KRAS)

KATARÍNA BÓNOVÁ<sup>1</sup>, ZDENKO HOCHMUTH<sup>1</sup>, JÁN DERCO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ústav geografie, Prírodovedecká fakulta UPJŠ, Jesenná 5, 040 01 Košice, Slovenská republika; katarina.bonova@upjs.sk; hochmuth@kosice.upjs.sk

<sup>2</sup> Štátny geologický ústav D. Štúra – RC Košice, Jesenského 8, 040 01 Košice, Slovenská republika; jan.derco@geology.sk

**K. Bónová, Z. Hochmuth, J. Derco: Preliminary results from mineralogical study of fluvial sediments in the Skalistý potok Cave (Slovak Karst)**

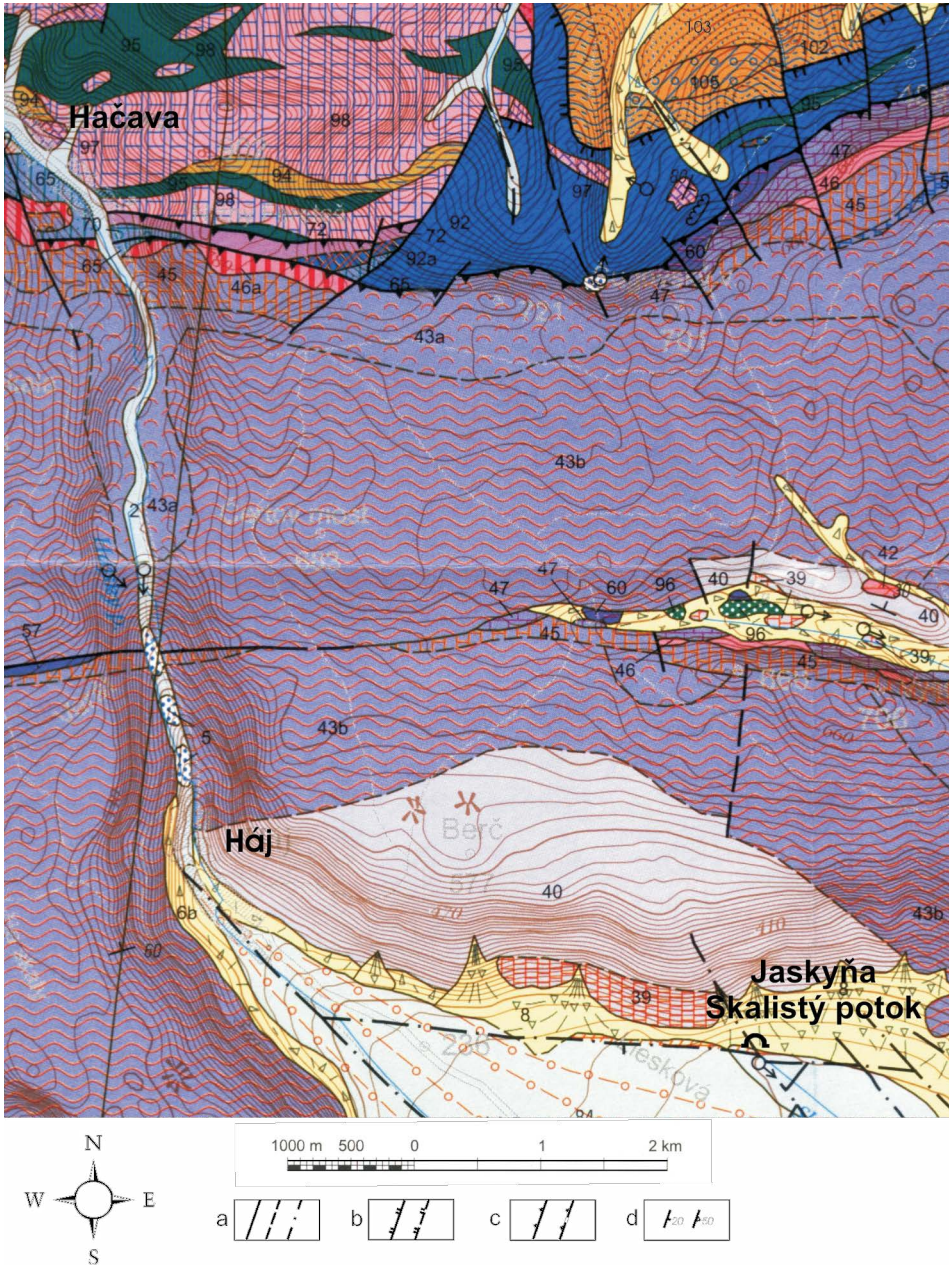
**Abstract:** The research of allochthonous sediments in caves (and other endokarst forms) can provide more information on palaeogeographic development and palaeo-hydrological conditions of the studied area. This contribution provides the first report about a proportion of heavy minerals in fluvial sediments from the Skalistý potok Cave. The gravels in fluvial sediments were not found, so that mainly heavy mineral assemblages from the psammitic component were investigated by optical microscopy and X-ray spectrometry. The following heavy minerals were distinguished mostly: ilmenite, magnetite, amphibole, hematite, pyrite, chalcopyrite, garnet, zircon, monazite and epidote. Tourmaline, apatite, rutile, barite and pyroxene (?) are sporadically present. Crystal typology of discovered zircons was used as well. Chemical composition of accessories was not carried out. Despite this, consideration about the provenience of minerals is tentative. However, heavy mineral assemblages indicate their origin mainly in metabasic rocks from the Bôrka nappe simultaneously in metasedimentary (crystalline basement rocks) and Late Paleozoic sedimentary cover rocks from the Gemicum.

**Key words:** allochthonous cave minerals, Skalistý potok Cave, Jasovská Plateau, Slovak Karst

### ÚVOD

Mineralogický výskum sedimentov vyskytujúcich sa v rôznych endo- a exogénnych krasových formách má mimoriadny význam pre riešenie otázok týkajúcich sa ich formovania a vývoja. Významnejšia pozornosť sa doteraz venovala najmä štúdiu autochtónnych minerálov jaskýň (Bláha, 1955; Droppa, 1957; Harman a Derco, 1976; Tulis a Novotný, 1989; Moravanský, 1996; Moravanský a Ženiš, 1997; Orvošová, 2004, 2005; Zacharov a Košuth, 2005; Cílek, 2005 a i.). Niektorí autori ako jaskynné opisujú aj minerály identifikované z ostatných krasových foriem (závrto, travertínových kôp; Cílek a Bednářová, 1994). Súčasný stav poznatkov o mineráloch jaskýň Slovenska autochtónneho i alochtónneho pôvodu prehľadne opisujú Moravanský a Orvošová (2007). Detailnejšiemu výskumu alochtónnych sedimentov (nekrasovému materiálu) krasových foriem sa v ostatnom čase venovala napr. Orvošová et al. (2005, 2006) v oblasti Nízkych Tatier.

Cieľom príspevku je priniesť predbežné výsledky mineralogického štúdia fluviálnych sedimentov v skúmanej oblasti. Výskum má skôr orientačný charakter a jeho hlavnou myšlienkou je prispieť k poznaniu jaskyne, čím zároveň vyzýva na jeho pokračovanie, keďže alochtónne sedimenty v krasových formách sú významným zdrojom informácií o geologickom a paleogeografickom vývoji blízkeho územia, ako aj hydrologii pôvodných paleotokov.



Obr. 1. Geologická mapa okolia jaskyne Skalický potok (výrez z mapy Mella et al., 1996). Vysvetlivky: *kvartér – holocén*: 2 – fluvialne sedimenty: nív riek – hlinité, hlinito-piesčité, ilovité; nív potokov – štrkovité, štrkovito-piesčité, 5 – travertíny; *pleistocén – holocén*: 6b – deluviálne sedimenty (hlinito-kamenité a kamenité), 8 – deluviálno-proluviálne sedimenty (ronové a osypové kužele); *pleistocén*: 14 – proluviálne sedimenty (štrky a piesčité štrky náplavových kužeľov); *Silicikum, Silický príkrov – trias*: 39 – dachsteinské rifové a lagunárne vápence, 40 – waxenecké vápence, 42 – wettersteinské dolomity, 43a – wettersteinské vápence rífové, 43b – wettersteinské vápence lagunárne, 45 – steinalmské vápence, 46 – gutensteinské dolomity; a – miestami hematizované, 47 – gutensteinské vápence, verfenské súvrstvie: 57 – sinské vrstvy: bridlice, slienité

vápence, vápence, 60 – bodvasilašské vrstvy: pestré pieskovce a bridlice; *Turnaikum*, *Turniansky príkrov – trias*: 65 – dvornícke vrstvy: bridlice, fylity s vložkami pieskocov, silicitov, zrnitých vápencov a bázičických vulkanoklastických hornín, 70 – červené detritické vápence a zlepenca, 72 – gutensteinské dolomity; *príkrov Bôrky – trias – jura*: 92 – tmavé a čierne fylity, miestami s laminami metasiltocov a metapieskocov, a – s polohami tmavých kryštalických vápencov, *trias: Dúbravské súvrstvie*: 94 – chloriticko-sericitické fylity s polohami kryštalických vápencov a metabázičických hornín (prevažne metatufitov), 95 – metabázičické horniny (prevažne glaukofanity), 96 – serpentinity, 97 – sivozelené a svetlé bridličnaté kryštalické vápence, 98 – svetlé kryštalické vápence, *?perm: Jasovské súvrstvie*: 102 – sericitické a chloriticko-sericitické fylity ± s chloritoidom, 103 – metamorfované pieskovce, 105 – metamorfované oligomiktne zlepenca. a – zlomy: zistené, predpokladané, zakryté; b – prešmyky: zistené, zakryté; c – príkrovové línie: zistené, zakryté; d – smery a sklony: vrstiev, bridličnatosti

Fig. 1. Geological map of the Skalistský potok and surrounding area (after Mello et al., 1996). Explanations: *Quaternary – Holocene*: 2 – fluvial sediments: of alluvial plains – loamy, loamy-sandy, clayey; of brook alluvium – gravelous, sandy-gravelous, 5 – travertine, *Pleistocene – Holocene*: 6b – deluvial sediments (loamy stony and stony), 8 – deluvial-proluvial sediments (runn-off fans and talus piles); *Pleistocene*: 14 – proluvial sediments (gravels and sandy gravels of alluvial fans); *Silicicum, Silica nappe – Triassic*: 39 – Dachstein Riff and Lagoonal limestones, 40 – Vaxeneck limestones, 42 – Wetterstein dolomites, 43a – Wetterstein riff limestones, 43b – Wetterstein lagoonal limestones, 45 – Steinalm limestones, 46 – Gutenstein dolomites; a-hematitized at places, 47 – Gutenstein limestones, Werfen Formation: 57 – Szin Beds: shales, marlstones, limestones, 60 – Bódvaszilás Beds: variegated sandstones and shales; *Turnaikum, Turňa nappe – Triassic*: 65 – Dvorníky Beds: shales, phyllites with intercalations of sandstones, silicites, limestones and basic volcanoclastic rocks, 70 – red detritic limestones and conglomerates, 72 – Gutenstein dolomites; *Bôrka nappe – Triassic – Jurassic*: 92 – dark and black phyllites, with laminae of metasiltstones and metasandstones, a – with intercalations of dark crystalline limestones, *Triassic: Dúbrava Formation*: 94 – chlorite-sericite phyllites with intercalations of crystalline limestones and metabasic rocks (predominantly metatuffites), 95 – metabasic rocks (predominantly glaucophanites), 96 – serpentinites, 97 – grey-green and light shaly crystalline limestones, 98 – light crystalline limestones, *?Permian: Jasov Formation*: 102 – sericite and chlorite-sericite phyllites ± with chloritoid, 103 – metasandstones, 105 – metamorphosed oligomict conglomerates. a – faults: observed, inferred, covered; b – reverse faults: observed, covered; c – thrust lines: observed, covered; d – strike and dip: of beds, of schistosity

## GEOLOGICKO-GEOMORFOLOGICKÉ POMERY

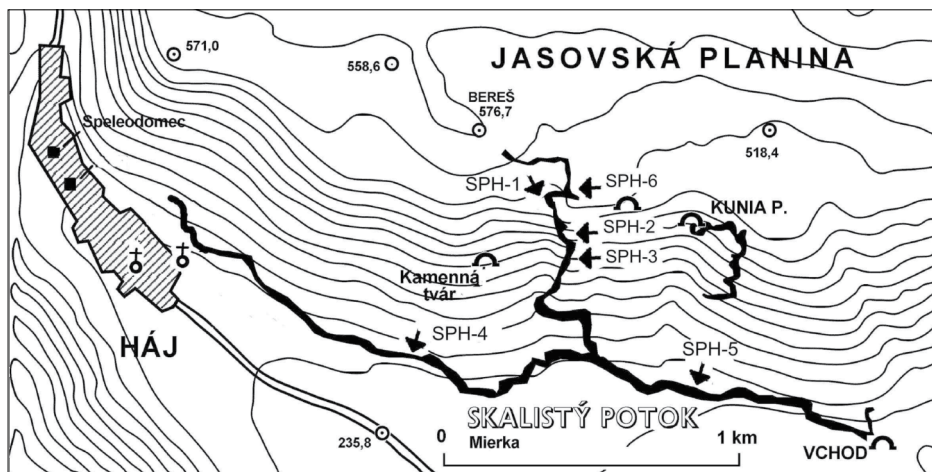
Jaskyňa Skalistský potok sa nachádza na južnom úpätí Jasovskej planiny približne 2 km severne od obce Turňa nad Bodvou. Ide o fluviokrasovú jaskyňu, resp. aktívny fluviokrasový výverový jaskynný systém s vodným tokom. Jej podzemné priestory sa tiahnu od rovnomernej vyvieracky až k obci Háj. Dosahuje dĺžku 6032 m a vertikálne prevýšenie 317 m. Je najdlhšou a najhlbšou jaskyňou Jasovskej planiny i celého Slovenského krasu. Tvorí ju najmä hlavná horizontálna spodná chodba s mnohými vodnými sífónmi a podzemnými jazerami, ktorá sa tiahne popod úpätie svahu planiny smerom do Hájskej doliny. Koncové časti jaskyne sa nachádzajú takmer pod okrajom obce Háj. Výraznú bočnú vetvu jaskyne tvorí stúpajúca riečne modelovaná chodba, ktorá sa začína asi 830 m od vchodu (za 20. sífónom) a severným smerom vedie stupňovito nahor až tesne pod vrcholovú časť planiny. Do jaskyne prenikajú aj vody z neďalekej Kunej priepasti, avšak pozdĺž tohto prítoku sa jaskynné priestory zatiaľ neobjavili. Detailnejšiu geomorfologickú charakteristiku a výsledky podrobných mapovacích prác v jaskyni Skalistský potok uvádza Hochmuth (1989, 1992, 1994).

Jaskyňa je vytvorená prevažne vo waxeneckých (karn) a dachsteinských (norik) svetlých vápencoch silického príkrovu silicika (cf. Mello et al., 1996; obr. 1). V najbližšom okolí jaskyne, najmä v oblasti jej ústia (vchodu) a samotnej vyvieracky Skalistého potoka, vystupujú pleistocénno-holocénne deluviálno-proluviálne sedimenty, prípadne fluviálne sedimenty holocénneho veku spojené s eróznou a akumuláčnou činnosťou riek a potokov (l. c.).

## LOKALIZÁCIA A ODBER VZORIEK

Keďže psefitická zložka sedimentu, ktorá predstavuje najspoľahlivejší materiál z hľadiska výpovednej hodnoty o zdrojových horninách, v odoberaných vzorkách absentuje, pozornosť sa sústredila na odber vzoriek psamitickéj frakcie. Aktívny tok Skalistého potoka

v horných častiach jaskyne s prietokom v letných mesiacoch cca 3 – 4 l.s<sup>-1</sup> tečie sčasti po skalnom dne, vytvárajúc miestami kaskády. Na priamejších úsekoch toku v zákrutách ukladá psamitické sedimenty na úrovni hladiny a na dne, odkiaľ boli odobraté vzorky SPH-1 až SPH-5. V sifonálnych úsekoch je možné psamitickú frakciu nájsť na miestach so zvýšenou rýchlosťou toku (prúdnica). Celkovo bolo odobratých 5 vzoriek – vzorky SPH-1 až SPH-5 (každá s hmotnosťou cca 25 – 30 g). Lokalizácia odberových miest je znázornená na obr. 2. Taktiež bola odobratá vzorka povlaku, resp. kôry zo steny jaskyne (vzorka SPH-6).



Obr. 2. Mapa jaskyne Skalistý potok s vyznačením miest odberu vzoriek (SPH-1 – SPH-6)  
 Fig. 2. Plan of the Skalistý potok Cave with sampling points (SPH-1 – SPH-6)

## METODIKA

Kvalitatívne zastúpenie jednotlivých minerálov skúmaných sedimentov sa vyhodnocovalo opticky pomocou binokulárnej lupy Carl Zeiss Jena a NIKON SMZ 1 500 s možnosťou fotodokumentácie (Štátny geologický ústav D. Štúra – RC v Košiciach). Detailnejšie sa skúmali ťažké minerály (frakcia <0,5 mm) vo vzorke SPH-5. Pri sporadicky sa vyskytujúcim zirkónom sa sledoval stupeň opracovania, prípadne jeho morfológický typ (sensu Pupin, 1980). Problematické minerály (neidentifikovateľné pomocou binokulárnej lupy pre silnú koróziu alebo opracovanie minerálu) sa určili rtg. metódou.

S cieľom presne charakterizovať mineralogické zloženie skúmaných sedimentov – predovšetkým povlakov zo stien jaskyne (vzorka SPH-6) – bola vykonaná rtg. difrakčná analýza na pracovisku Štátného geologického ústavu D. Štúra – RC v Košiciach. Práškový preparát sa analyzoval na prístroji DRON-UM 1 za týchto podmienok: žiarenie Cu K $\alpha$ , Ni-filter, intenzita prúdu 20 mA, urýchľovacie napätie 30 kV, časová konštanta T-2, clony 2<sup>-7</sup> – 2<sup>7</sup> a 1 – 0,25, posun ramena goniometra 2°/min. Vyhodnotenie rtg. záznamov sa vykonalo podľa klasických tabuliek ASTM (Berry et al., 1974).

## VÝSLEDKY

V piesčitom sedimente aktívneho toku jaskyne možno odlišiť množstvo litických úlomkov s rôznym štádiom opracovania. Vyskytujú sa zrná so stupňom zaoblenia 0,5 až 0,9 (sensu Krumbein, 1941). Ich rozmer nepresahuje 2 mm, charakter ich povrchu je rozmanitý: prítomné sú zaoblené zrná metamorfovaných hornín s matným povrchom, zrná s hladkým lesklým povrchom indikujú prítomnosť silicítov v skúmanom sedimente. Sporadicky boli zaznamenané zrná karbonátových hornín. Presné petrografické zaradenie vzhľadom na ich rozmery sa neskúmalo.



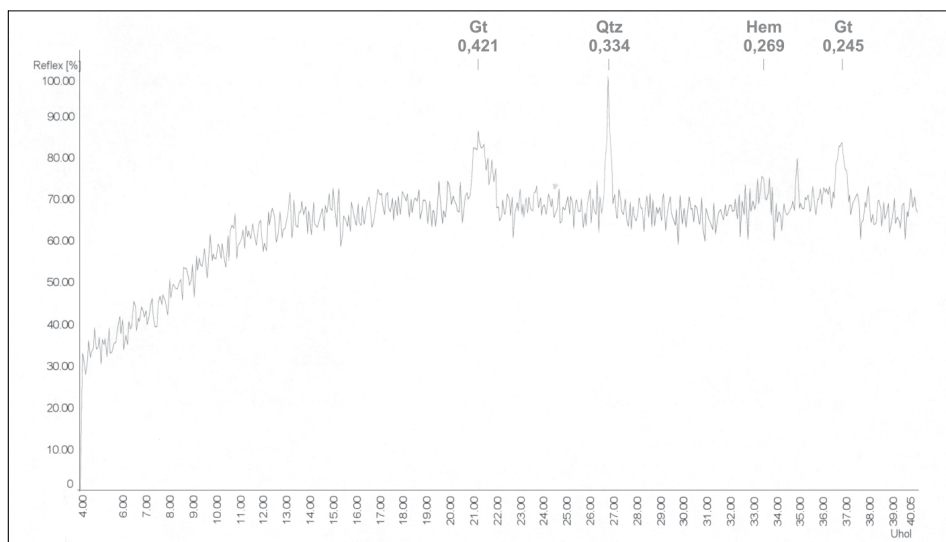
K autochtónnej zložke skúmaných jaskynných sedimentov možno zaradiť *kalcit*, ktorý sa vyskytuje najčastejšie vo forme drobných úlomkov sintrov (obr. 5a) vo vzorkách SPH-1 až SPH-3, vzácnejšie tvorí euhedrálne bezfarebné klenca a skalenoédre bez akýchkoľvek znakov transportu. Patrí k najvýraznejšie zastúpeným komponentom sedimentu (do 70 %). Vo vzorkách SPH-2, SPH-3 sa ďalej identifikovali kremeň, plagioklas, draselný živce a sľudové minerály, pričom svetlá sľuda výrazne prevláda nad biotitom. Z ťažkých minerálov je vo vzorkách zastúpený magnetit, ilmenit, pyrit a chalkopyrit v množstve nepresahujúcom 1 %. Čiastočne odlišný charakter má alochtónny materiál v oblasti pred dvadsiatym sífonom (vzorka SPH-4, cf. obr. 2) s výraznou prevahou kremeňa nad kalcitom. Okrem plagioklasu, draselného živca, sľúd, kaolinitu?, magnetitu, ilmenitu, pyritu sa zriedkavo vyskytuje amfibol a hematit.

Zreteľnejšie sú v sedimente – vzorka SPH-5 – zastúpené minerály typické pre horniny bázického charakteru, nápadne stúpa podiel ilmenitu, magnetitu, hematitu (spekularit), pyritu a predovšetkým amfibolu (cca 20 %). Prítomné sú tiež spinely. Ďalej sú zastúpené kremeň, ktorý markantne prevláda nad kalcitom, živce, sľudové minerály. Z priesvitných akcesórií je bežný granát (grossulárového typu?), zirkón, epidot-zoizit, monazit, iba vzácné sa vyskytujú turmalín, apatit, rutil, baryt a pyroxén?.

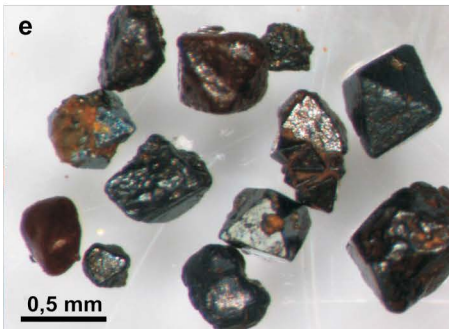
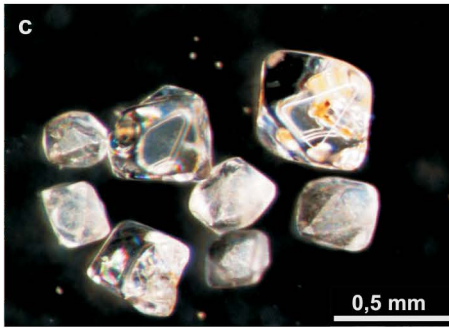
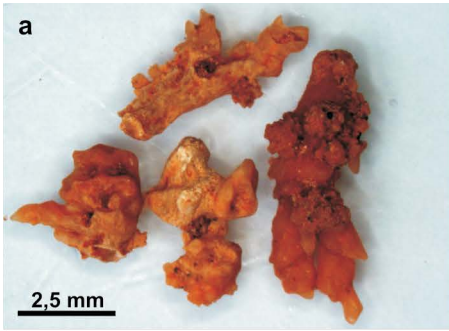
Analýza povlakov, resp. nepravidelnej kôry zo steny jaskyne (vzorka SPH-6) poukázala na prítomnosť kremeňa, draselného živca, sericitu a kaolinitu v podobe mechanickej prímеси v jemnozrnnom hnedočiernom až okrovohnedom goethitovo-hematitovom substráte (obr. 3). Rtg. difrakčný záznam (obr. 4) poukazuje na nízky stupeň usporiadania



Obr. 3. Úlomok goethitovo-hematitovej kôry (povlaku) zo steny jaskyne, vzorka SPH-6. Foto: K. Bónová  
Fig. 3. Fragment of goethite-hematite crust from cave surface, SPH-6 sample. Photo: K. Bónová



Obr. 4. Rtg. difrakčný záznam minerálneho zloženia vzorky SPH-6. Záznam je sprevádzaný amorfnými oxidmi železa, z ktorých vykryštalizoval goethit a hematit  
Fig. 4. RTG diffraction record of mineral composition of SPH-6 sample is accompanied by amorphous Fe-oxides. Goethite and hematite crystallized from them



Obr. 5. Fotografie vybraných minerálov (vz. SPH-3): a – kalcitové sintre, (vz. SPH-5); b – obličičky kremeňa; c –  $\beta$ -kremeň; d – ilmenit; e – magnetit; f – pyrit; g – granát; h – zirkón. Foto: K. Bónová  
 Fig. 5. Photographs of selected minerals (SPH-3 sample): a – calcite sinters, (SPH-5 sample); b – rounded quartz; c –  $\beta$ -quartz; d – ilmenite; e – magnetite; f – pyrite; g – garnet; h – zircon. Photo: K. Bónová

kryštálovej mriežky goethitu a hematitu. Vznik goethitu, resp. ďalších oxihydroxidov Fe v jaskynnom prostredí bližšie opisuje Orvošová (2005 b).

## CHARAKTER MINERÁLOV

Napriek hojnému výskytu *kremeňa*, vyplývajúcemu z jeho rezistencie voči chemickému zvetrávaniu a odolnosti voči mechanickým účinkom transportu v splachoch, resp. náplavoch aktívnych (alochtónnych) tokov vo fluviokrasových jaskyniach Slovenského krasu, je dôležité poukázať na jeho dvojaký charakter v skúmanej jaskyni: vyskytuje sa vo forme dokonale zaoblených čírych, sklovito lesklých zŕn  $\beta$ -kremeňa alebo bieleho (mliečneho) kremeňa žilného alebo metamorfného? pôvodu, poukazujúcich na dlhý transport, resp. jeho resedimentačný pôvod (obr. 5b); prípadne v podobe čiastočne zaoblených, miestami euhedrálne obmedzených, často polámaných zŕn monokryštalického bipyramidálneho  $\beta$ -kremeňa, indikujúcich znos z pôvodne vulkanického materiálu (najmä kyslých efuzív; obr. 5c). Zaujímavým fenoménom je prítomnosť zaoblených zŕn čierneho kremeňa v goethitovo-hematitovom povlaku resp., kôre zo steny jaskyne (vzorka SPH-6).

*Živce* tvoria obyčajne polámané, miestami euhedrálne obmedzené zrná, sčasti premenené. Sú súčasťou alochtónneho materiálu najmä vo vzorkách SPH-1 až SPH-3. *Ilmenit* sa vyskytuje vo forme zrnitých agregátov, častejšie vo forme tabuľkovitých celistvých kryštálov (obr. 5d). V kavernóznych priestoroch sú viditeľné znaky selektívnej leukoxenizácie (cf. Bačo et al., 2004). *Magnetit* tvorí hrubozrnné celistvé agregáty, vyskytujú sa aj dokonale obmedzené oktaedrické tvary, menej ich zrasty (obr. 5e). Len sporadicky sa vyskytujú primárne zrasty magnetitu s hematitom. Väčšina týchto minerálov však javí známky korózneho pôsobenia. Hojné zastúpenie magnetitu je výsledkom jeho vysokej odolnosti voči intrastratálnemu rozpúšťaniu a jeho hustoty. *Pyrit* je zastúpený dokonale obmedzenými kubickými tvarmi s charakteristicky vyvinutým ryhovaním na plochách, ešte častejšie tvorí tzv. pyritotvar (pentagonálny dodekaéder). Výnimočne býva zdvojitý podľa (110) vo forme prerastlice tzv. „železného kríža“ (obr. 5f). Na povrchu má často vyvinuté povlaky limonitu (goethitu) signalizujúce oxidačné podmienky. *Hematit* ocelevosivej farby býva vyvinutý najčastejšie vo forme hrubozrnných spekulovitých agregátov. *Amfibol* ako menej odolný minerál (cf. Morton, 1984) sa vyskytuje vo forme ostrohranných úlomkov, vznikajúcich v dôsledku jeho rozpadu podľa dokonalejšie štiepatelnosti. Z priesvitných ťažkých minerálov je pomerne hojne zastúpený *granát*. Okrem dokonalých dodekaédrových tvarov s hladkými plochami a bez náznakov korózie častejšie vystupuje vo forme čiastočne opracovaných a mierne až výrazne korodovaných (nerovný povrch, leptové stopy), iba sporadicky polámaných zŕn sýtej oranžovej farby, ojedinele sa vyskytujú granáty ružových odtieňov (obr. 5g). Ružové *zirkóny* sú obyčajne neopracované, tvoria euhedrálne až subhedrálne kryštály, obyčajne bez fraktúr, s množstvom fluidných inklúzií. Miestami sa vyskytujú inklúzie opakných minerálov (obr. 5h). Prítomnosť zaoblených, zvyčajne čírych zirkónových zŕn indikujúca ich resedimentáciu je skôr ojedinelá. Aj keď o typologickú distribúciu sa nemožno spoľahlivo oprieť vzhľadom na zanedbateľný počet určených zirkónových zŕn ( $n = 30$ ), zaujímavosťou je ich príslušnosť k dvom typologickým súitám. Prvú skupinu tvoria zirkóny zastúpené  $L_2$ ,  $S_2$ ,  $S_7$  a  $S_8$  typmi, na druhej strane sú prítomné  $S_{12}$ ,  $S_{17}$ ,  $S_{22-25}$  a  $P_5$ ,  $J_5$  typy (Páupin, 1980). *Monazit* tvorí tabuľkovité zelenkavé alebo žltkasté, menej často oranžové kryštály s mierne korodovaným (kavernóznym) povrchom, vyskytuje sa aj vo forme pomerne zaoblených zŕn. *Epidot* býva stĺpčekovitý, výrazne opracovaný.

## DISKUSIA A ZÁVER

Štúdium minerálov prítomných v náplavoch aktívneho toku jaskyne Skalísty potok poukázalo na ich detritický pôvod (výnimkou sú autigénne idiomorfné kalcity a kalcitové sintre prítomné v sedimente). Pomerne pestré zastúpenie alochtónnych minerálov poukazuje na niekoľko typov zdrojových hornín. Vysoký obsah kremeňa, plagioklasu a draselného živca

vo vzorkách (SPH-2, SPH-3) so zanedbateľným zastúpením akcesorických (aj opakných) minerálov indikuje ich pôvod v magmatických (kyslých) horninách. Na tento typ horniny čiastočne poukazuje prítomnosť minimálne opracovaných L- a nízkych S-typov zirkónov, ktoré sú charakteristické pre aluminózne monzogranity až granodiority (sensu Pupin, 1980), prípadne prítomnosť monazitov. Nízky podiel priesvitných ťažkých minerálov v sedimente neumožňuje hodnoverný predpoklad o type zdrojovej horniny, keďže práve ťažké minerály sú dôležitým indikátorom pôvodného materiálu sedimentu. Na druhej strane značná redukcia spektra priesvitných ťažkých minerálov by mohla súvisieť s resedimentáciou minerálov, keďže ťažké minerály už raz uložené počas transportu ťažšie opätovne „vstupujú“ do transportného média ako kremeň (resp. ľahké minerály; Morton a Hallsworth, 1999).

Veľké množstvo angulárnych úlomkov amfibolu svedčí o jeho pomerne blízkej provenienčnej oblasti a spolu s vysokým obsahom ilmenitu a prítomnosťou spinelov v študovanom sedimente predpokladá intermediárny až bázický zdroj najpravdepodobnejšie metamorfného pôvodu. Vyššie zastúpenie muskovitu (resp. svetlej sludy) tiež indikuje metamorfnú provenienciu, keďže v granitoidných horninách muskovit obvyčajne netvorí vysoké objemové percento (Vozárová, 2000). Na druhej strane, vzhľadom na anomálne hydrodynamické správanie sa slúd počas transportu spôsobené ich tvarom, ich kvantitatívne zastúpenie pre provenienčné úvahy stráca význam.

Idiomorfny ilmenit, hematit (spekularit) spolu s granátmi, zirkónmi  $P_5$  a  $J_5$  typu typologickej škály a monokryštalickými bipyramidálnymi  $\beta$ -kremeňmi sú ukazovateľmi vulkanického, resp. metavulkanického zdrojového materiálu (ryolity?).

Väčšia časť granátov pravdepodobne pochádza z metamorfítov, resp. metasedimentov, čomu nasvedčujú ich mierne až značne korodované povrchy (cf. Morton a Hallsworth, 1999). Čiastočne prekvapujúce je zanedbateľné množstvo najstabilnejších ťažkých minerálov, ako sú rutil a turmalín. Nízky obsah apatitu v sedimente môže indikovať intenzívne chemické zvetrávanie, keďže je rozpustný aj v slabých kyselinách.

Komplikovaná geologická stavba skúmaného územia, resp. zberná oblasť toku (tokov alebo paleotokov?) prinášajúceho rôznorodý materiál do jaskyne Skalistý potok neumožňuje pristúpiť k jednoznačným záverom o zdrojovej oblasti alochtónneho sedimentárneho materiálu. Na základe predbežných výsledkov mineralogického štúdia môžeme sčasti predpokladať jeho pôvod v mezozoických horninách príkrovu Bôrky (metabázické horniny Dúbravského súvrstvia?), časť materiálu má pravdepodobne pôvod v ryolitoch a ryolitových vulkanoklastických sedimentoch (Bučinské súvrstvie?). Časť alochtónneho materiálu nepochybne pochádza zo sedimentárnych hornín mladšieho paleozoika a metasedimentov gemerika. Najmä asociácia ťažkých minerálov poukazujúca na provenienciu v bázických horninách (ilmenit, spinely, amfiboly) môže naznačovať komunikáciu Skalistého potoka s Hájskym, v ktorom sa prostredníctvom šlichovej prospekcie alúvia (Varga, 1973) potvrdila časť minerálov pochádzajúcich z glaukofanítov (severne od Hačavy). Na druhej strane treba pripomenúť, že asociácia ťažkých minerálov nemusí vždy jednoznačne odrážať zloženie zdrojových hornín, na ktoré výrazne vplyvávajú rozličné podmienky počas transportu – hydraulický režim ovplyvnený hustotou, tvarom a rozmermi zrn; spôsob depozície, selektívne triedenie a pod.

Aby sa dosiahli ucelenejšie závery, treba v budúcnosti pristúpiť k detailnejšiemu štúdiu asociácií (predovšetkým priesvitných) ťažkých minerálov; veľkú perspektívu na riešenie genetických otázok má najmä mikrochemické štúdium granátov a amfibolov, prípadne ďalších akcesorických minerálov.

Podakovanie: Príspevok vznikol za podpory grantovej úlohy VEGA č. 1/3062/06. Za pomoc pri identifikácii sporných ťažkých minerálov ďakujeme RNDr. P. Bačovi zo Štátneho geologického ústavu D. Štúra v Košiciach.



## LITERATÚRA

- BAČO, P. – AUGUSTIŇÁKOVÁ, B. – BAČOVÁ, N. – BAKOŠ, F. – BÓNA, J. – FODOROVÁ, V. – DZURENDA, Š. – HOLICKÝ, I. – HVOŽDÁRA, P. – KARABÍNOVÁ, V. – KNĚSL, J. – KOVANIČOVÁ, L. – KRÍŽANI, I. – KYSEĽOVÁ, M. – MIHÁE, I. – POLUBŇÁKOVÁ, E. – REPKOVÁ, E. – REPČIAK, M. – SMOLKA, J. – ŠOFRANEC, M. – STERCZ, M. 2004. Atlas ťažkých minerálov. Záverečná správa z úlohy Reinterpretácia šlichového prieskumu na území Slovenska. Manuskript – Geofond Bratislava, 62 s.
- BERRY, L. G. – POST, B. – WEISSMANN, S. – MCCCLUNE, W. F. 1974. Selected powder diffraction data for minerals. Philadelphia, USA., 174 pp.
- BLÁHA, L. 1955. Aragonitová jaskyňa pri Hornom Hrádku. *Krásky Slov.*, 11, 32.
- CÍLEK, V. 2005. Jeskynné minerály a sedimenty. In: Stankovič, J., Cílek, V. (Eds.): *Krásnohorská jaskyňa Buzgó. Regionálna rozvojová agentúra Rožňava*, 96–105.
- CÍLEK, V. – BEDNÁŘOVÁ, J. 1994. Bahenné železné rudy v krasových výplňach lomu Gombasek ve Slovenském krasu. *Slov. kras.*, 32, 41–46.
- DROPPA, A. 1957. Výskum Ochtinskej aragonitovej jaskyne. *Čs. kras*, 10, 141–142.
- HARMAN, M. – DERCO, J. 1976. K problematike mineralógie a genézy mäkkých sintrov zo slovenských jaskýň. *Slov. kras*, 14, 61–81.
- HOCHMUTH, Z. 1989. Výsledky speleopotápačského prieskumu jaskyne Skalistý potok. *Slovenský kras* 27, Martin, 8 str. *máp.*, 3–16.
- HOCHMUTH, Z. 1992. Novšie poznatky z prieskumu jaskyne Skalistý potok a morfológia častí objavených v rokoch 1989 – 1990. *Slov. kras*, 30, 3–15.
- HOCHMUTH, Z. 1994. Skalistý potok – ďalší príklad divergencie podzemného toku. *Sprav. Slov. speleol. spol.*, 4, 15–17.
- KRUMBEIN, W. C. 1941. Measurement and geological signification of shape and roundness of sedimentary particles. *Journ. Sediment. Petrol.*, 11, 64–72.
- MELLO, J. (ED.) – ELEČKO, M. – PRISTAŠ, J. – REICHWALDER, P. – SNOPOK, L. – VASS, D. – VOZÁROVÁ, A. 1996. Geologická mapa Slovenského krasu – 1: 50 000. MŽP SR a GSSR, Bratislava.
- MORAVANSKÝ, D. 1996. Guánové minerály. *Miner. Slov.*, 28, 231–236.
- MORAVANSKÝ, D. – ŽENIŠ, P. 1997. Guánové minerály v niektorých jaskyniach západného a stredného Slovenska. *Miner. Slov.*, 29, 61–72.
- MORAVANSKÝ, D. – ORVOŠOVÁ, M. 2007. Súčasný stav poznatkov o mineráloch jaskýň Slovenska. *Miner. Slov.*, 39, 3, 203–216.
- MORTON, A. C. 1984. Stability of detrital heavy minerals in Tertiary sandstones from the North sea basin. *Clay Minerals*, 19, 287–308.
- MORTON, A. C. – HALLSWORTH, C. H. 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sed. Geol.*, 124, 3–29.
- ORVOŠOVÁ, M. 2004. Mineralogické zaujímavosti krasu Demänovskej doliny. *Sinter*, 12, 12–15.
- ORVOŠOVÁ, M. 2005a. Kalcitové kryštály v reliktoch fosilneho hydrotermálneho krasu v Nízkyh Tatráh. *Slovenský kras*, 43, 53–66.
- ORVOŠOVÁ, M. 2005b. Limonitové kvaple, sintrové náteky a ďalšie formy výskytu oxidohydroxidov Fe v starej štólňi pri Smolníku. *Sinter*, 13, 14–17.
- ORVOŠOVÁ, M. – UHLÍK, P. – UHER, P. 2005. Allochtonné sedimenty jaskýň vysokohorského krasu Nízkyh Tatier. In: *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Demänovská dolina*, 26. – 29. 9. 2005.
- ORVOŠOVÁ, M. – UHLÍK, P. – UHER, P. 2006. Paleokras Ohnišťa – výskum sedimentárnej výplne Veľkého závrťu (Nízke Tatry). *Slovenský kras – Acta Carsologica Slovaca*, 44, 71–80.
- PUPIN, J. P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, 207–220.
- TULIS, J. – NOVOTNÝ, L., 1989. Jaskynný systém Stratenskej jaskyne. *SSS Liptovský Mikuláš*, 456 s.
- VARGA, I. 1973. SGR – JUH I. Hg, Cu a ostatné farebné kovy – VP. Stav k 1. 10. 1973. Manuskript – Geofond Bratislava, 149 s.
- VOZÁROVÁ, A. 2000. Petrografia sedimentárnych hornín. UK, Bratislava, 173 s.
- ZACHAROV, M. – KOŠUTH, M. 2005. Výskyt sadrovca v Drienovskej jaskyni – Slovenský kras. *Slovenský kras – Acta Carsologica Slovaca*, 43, 145–154.

### PRELIMINARY RESULTS FROM MINERALOGICAL STUDY OF FLUVIAL SEDIMENTS IN THE SKALISTÝ POTOK CAVE (SLOVAK KARST)

#### Summary

This contribution presents a preliminary research of allochthonous fluvial sediments in the Skalistý potok Cave situated in the south boundary of the Jasovská Plateau (the Slovak Karst, Western Carpathians).

There was found non-karst material represented mainly by heavy minerals in active stream. Presence of the angular amphibole, ilmenite and spinels in studied fluvial sediments indicates their origin in intermediate to basic metamorphic rocks. Euhedral ilmenite, hematite (specularite), garnets, zircons dominated by  $P_5$  and  $J_5$  morphological types (sensu Pupin, 1980) and bipyramidal  $\beta$ -quartz show volcanic parental rock source. Several garnets with the corroded surfaces advert to their metamorphic or metasedimentary origin. Metasedimentary (crystalline basement rocks) and Late Paleozoic sedimentary cover rocks from the Gemicum and metabasic rocks from the Bôrka nappe are considered to be a source of non-karst material in the Skalický potok Cave system.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	287 – 300	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## VÝSKUMDISJUNKTÍVNEJTEKTONIKYDRIENOVSKÉJ JASKYNE V SLOVENSKOM KRASE

MICHAL ZACHAROV

Technická univerzita v Košiciach, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Ústav geovied, Park Komenského 15, 042 00 Košice; michal.zacharov@tuke.sk

### M. Zacharov: Disjunctive tectonics research of Drienovská cave in Slovak karst

**Abstract:** Research of the Drienovská cave disjunctive tectonics is part of the research task, which is about relation between formation and development of endokarst and character of disjunctive tectonics in east part of Slovak karst and Medzevská pahorkatina upland. Drienovská cave is situated in southeast side of Jasov plateau about 1500 m northerly from village Drienovec. The cave is situated in cross-area of Rožňava fault (NW – SE direction) and fault of river Bodva (NE – SW direction). These faults are important regional disjunctive structures that influence structure of this part of Slovak karst and close units of Turnianska kotlina basin. The cave formation and development, its location, orientation and space character are absolutely connected with mentioned regional tectonics. This connection is proved by presence, distribution and character of analogical disjunctive fault structures that were determined in the Drienovská cave during a structural research.

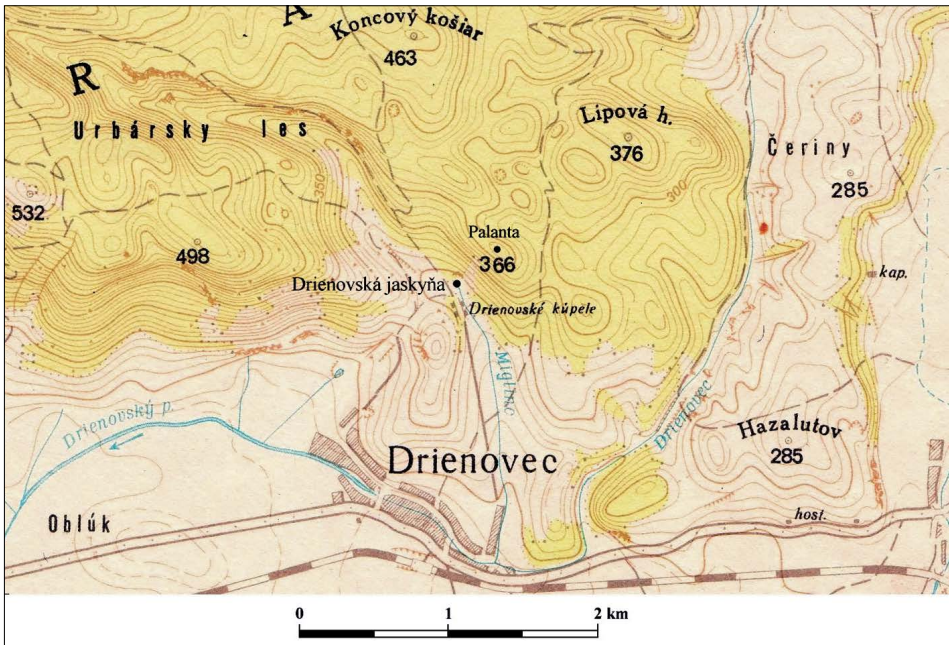
**Key words:** Slovak karst, Drienovská cave, geological and tectonic structures, characterization of disjunctive tectonics

### 1. ÚVOD

Významnou jaskyňou východnej časti Slovenského krasu je Drienovská jaskyňa. Nachádza sa na Jasovskej planine asi 1500 m severne od obce Drienovec v ústi doliny Migline (obr. 1). Je to výverová fluviokrasová jaskyňa (obr. 2), dosahujúca dĺžku 1348 m (Bella et al., 2007), cez ktorú preteká aktívny vodný tok. Priestory jaskyne sú vytvorené v troch hlavných výškových úrovniach v rozpätí 60 m, ktoré sú výrazne premodelované procesmi rútenia.

Prvé údaje o geologických pomeroch jaskyne a zároveň aj o jej objave publikoval Sóbanyi (1896). Výsledky ďalších geologických výskumov jaskyne, včítane orientačného popisu tektonických štruktúr publikovali Senes (1956), Zacharov (1985), Zacharov a Terray (1987), Zacharov a Košuth (2005). Rozsiahly prehľad ďalších údajov o jaskyni speleologického, archeologického a turistického charakteru uvádza Bella et al. (2007).

Výskum disjunktívnej tektoniky Drienovskej jaskyne je súčasťou grantovej úlohy VEGA č. 1/4030/07. Vedeckým cieľom úlohy je výskum závislosti vzniku a vývoja endokrasu východnej časti Slovenského krasu a Medzevskej pahorkatiny od charakteru disjunktívnej tektoniky. Drienovská jaskyňa sa nachádza na juhovýchodnom okraji Jasovskej planiny v oblasti styku rožňavského zlomu a zlomu rieky Bodva, významných regionálnych disjunktívnych štruktúr, ovplyvňujúcich stavbu tejto časti Slovenského krasu a prilahlých jednotiek Turnianskej kotliny. Pozícia jaskyne a výskumom zistená prítomnosť, distribúcia a charakter disjunktívnych štruktúr v jej priestoroch (Zacharov, 2008 in print) v značnej miere súvisí s uvádzanou regionálnou tektonikou.



Obr. 1. Situačná mapa okolia Drienovskej jaskyne  
 Fig. 1. Location map of Drienovská cave surroundings



Obr. 2. Vchod do Drienovskej jaskyne vytvorený v zóne subvertikálneho SZ – JV zlomu ( $245^{\circ}/81^{\circ}$ ).  
 Foto: M. Zacharov  
 Fig. 2. The entrance to Drienovská cave that is created in zone of subvertical NW – SE fault ( $245^{\circ}/81^{\circ}$ ).  
 Photo: M. Zacharov

## 2. GEOLOGICKÁ STAVBA SLOVENSKEHO KRASU V OKOLÍ DRIENOVskej JASKYNE

Rozsiahle územie Slovenského krasu podľa súčasných poznatkov tvorí päť základných tektonických (paleoalpínskych) jednotiek – silicikum, turnaikum, meliatikum, príkrov Bôrky a gemerikum (Mello et al., 1997). Na stavbe sa zúčastňujú aj lokálne zachované výskyty vrchnej kriedy, ktoré však nie sú súčasťou týchto jednotiek. Uvedené jednotky nesúvisle prekrývajú sedimenty kenozoika.

Na geologickej stavbe okolia Drienovskej jaskyne sa z uvedených jednotiek zúčastňuje len silicikum, vrchná krieda a pokryvné sedimenty terciéru a kvartéru. Silicikum je zastúpené triasom a jurou silického príkrovu. Spodný trias vo vývoji bodvasilašských vrstiev sa vyskytuje len v údolí Miglinc v tektonickej pozícii. Trias, stredný a vrchný tvorí podstatnú časť skrasovatených karbonátov. Najviac sú zastúpené karbonáty fácie karbonátovej platformy – gutensteinské, steinalmské, wettersteinské rífové aj lagunárne vápence, waxenecké (tisoenské) vápence a dachsteinské rífové a lagunárne vápence. Časť triasu je tvorená schreyeralmskými, reiflinskými a pseudoreiflinskými vápencami, patriacimi k svahovým a panvovým faciám. Jura zastúpená adnetskými, hierlatzkými vápencami a allgäuskými vrstvami sa vyskytuje len v malom rozsahu v údolí Miglinc, pretože je výrazne tektonicky redukovaná. Vrchnú kriedu zastupujú miglinecké vápence, taktiež v tektonickej pozícii v doline Miglinc (Mello et al., 1997). Kenozoikum je tvorené pokryvnými sedimentmi paleogénu, neogénu a kvartéru. Paleogén je zastúpený šomodským súvrstvom a charakteristická je najmä fácia drienovských zlepcov, ktoré zasahujú až na bázu neogénu. Ďalej je neogén zastúpený polohami poltárskeho súvrstvia. Kvartér je tvorený nesúvisle rozšírenými delúviami, kolúviami, prolúviami a fluvialnými sedimentmi nív potokov a riek.

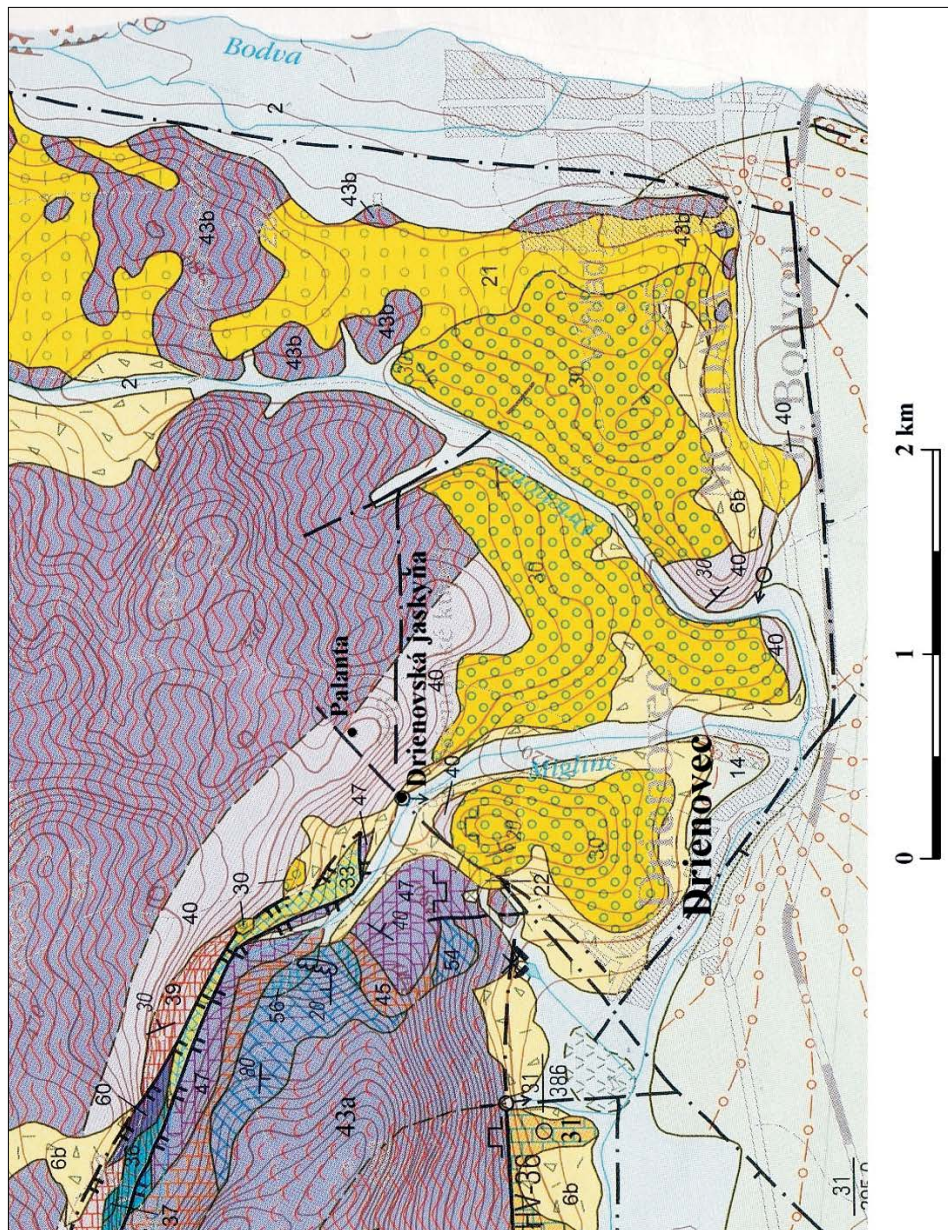
Vzájomný vzťah, rozsah, základná litostratigrafia a taktiež pozícia uvedených prvkov geologickej stavby je zrejmá z geologickej mapy (obr. 3). Z tohto dôvodu nepovažujem za potrebné vzhľadom na charakter príspevku uvádzať ďalšie podrobnejšie údaje o geologickej stavbe.

Územie, kde je situovaná jaskyňa, má zložitú tektonickú stavbu. Mezozoikum Slovenského krasu a prilahlé jednotky Turnianskej kotliny sú intenzívne porušené vrásou a hlavne zlomovou tektonikou. Vrásovou tektonikou sa v príspevku nezaobráame, pretože v karbonátoch silického príkrovu a šomodskom súvrství vrásové štruktúry neboli pozorovateľné. Juhovýchodným okrajom Jasovskej planiny severne od obce Drienovec prebieha regionálne významný rožňavský hlbinný zlom SZ – JV smeru, ktorý vyznieva v blízkosti jaskyne (obr. 3). Uvedený zlom sa výrazne prejavuje morfológicky dolinou Miglinc a je zároveň aj hranicou dvoch čiastkových tektonických štruktúr silického príkrovu Slovenského krasu. Severovýchodne od zlomu je vyvinutá štruktúra hačavsko-jasovská a na juhozápadnej strane štruktúra silicko-turnianska. Dolinou prebiehajú početné prešmykové štruktúry so sklonom k juhozápadu, ktoré významne ovplyvňujú rozsah a pozíciu jednotlivých typov hornín jednotky silického príkrovu, ale aj sedimentov vrchnej kriedy a terciéru (obr. 3).

Ďalšími významnými tektonickými prvkami stavby územia sú zlomové systémy Turnianskej kotliny, ktoré sa podieľajú aj na formovaní južného a juhovýchodného okraja Jasovskej planiny. Sú to terciérne zlomové systémy SV – JZ, SZ – JV, V – Z smeru a zlomy S – J smeru (Mello et al., 1996, 1997), (obr. 3). Z uvedených zlomových štruktúr má pre stavbu územia zásadný význam zlomový systém SV – JZ smeru, stotožňovaný so zlomovou zónou Darnó charakteru sinistrálneho posunu (Vass et al., 1994). Tento systém je považovaný za najstarší a jeho prejavy súvisia s oživovaním jeho aktivity. Pokračovanie tohto systému, tzv. zlom rieky Bodva s úklonom k severozápadu, prebieha juhozápadne od obce Drienovec až ku kóte Palanta, kde vyznieva v oblasti jaskyne (obr. 3). Zlomy V – Z smeru s úklonom k juhu sa taktiež výrazne podieľajú na stavbe a formovaní Turnianskej kotliny. Tieto zlomy oddeľujú mezozoikum Jasovskej planiny od Turnianskej kotliny. Morfológicky je výrazný najmä zlom



severozápadne od Drienovca, oddeľujúci vysokú kryhu Jasovskej planiny od kenozoika Turnianskej kotliny a taktiež zlom juhovýchodne od Drienovca (obr. 3). Zlomy uvedeného systému vykazovali aktivitu v období pliocén – pleistocén (Vass et al., 1994). Skutočnosť, že sú porušené zlomami ostatných uvádzaných systémov, svedčí o ich staršom založení (Vass et al., 1994). Zlomové systémy SZ – JV s úklonom k juhu a sporadické subvertikálne zlomy S – J smeru spôsobujú priečne rozblokovaní okraja Jasovskej planiny vzhľadom na generálny VZ priebeh jej okraja. V študovanom území je SZ – JV zlom tohto typu na juhovýchodnom okraji obce Drienovec a podieľa sa na tvorbe drenážnej siete územia, kde kontroluje priebeh koryta potoka Drienovec.



Obr. 3. Geologická mapa okolia Drienovskej jaskyne – výrez z Geologickej mapy Slovenského krasu 1 : 50 000, (Mello et al., 1996)

Fig. 3. Geological map of Drienovská cave surroundings – the crop from Geological map of the Slovenský kras Mts. 1 : 50 000, (Mello et al., 1996)

Vysvetlivky ku geologickej mape:

KVARTÉR: 2 – fluvialne sedimenty: nív riek – hlinité, hlinito-piesčité, ílovité; nív potokov – štrkovité, štrkovito-piesčité (holocén); 6b – deluviálne sedimenty: hlinito-kamenité a kamenité (pleistocén); 14 – proluviálne sedimenty: štrky a zahmlené piesčité štrky náplavových kužeľov (pleistocén – würm); TERCIÉR: 21 – poltárske súvrstvie: pestré íly, štrky, piesky (neogén – pont); 30 – drienovské zlepence: karbonátické zlepence (vrchný oligocén – spodný miocén); 31 – šomodské súvrstvie: sivé laminované, alebo masívne sladkovodné vápence (paleogén, eocén – oligocén); MEZOZOIKUM: 33 – Miglinecké vápence: biele masívne vápence (krieda, senón: kampán); SILICIKUM: 36 – allgäuske vrstvy: tmavé slienité vápence a sliene, miestami škvrnité (jura, lias – spodný doger); 37 – adnetské a hierlatzské vápence, pestré bazálne brekcie (jura, lias); 39 – dachsteinské rífové a lagunárne vápence (trias, norik); 40 – waxenecké (tisovské) vápence (trias, karn); 43a – wettersteinské rífové vápence (trias, ladin); 43b – wettersteinské lagunárne vápence (trias, ladin); 45 – steinalmské vápence (trias, anis); 47 – gutensteinské vápence (trias, najvyšší spat – anis); 54 – reiflinské a pseudoreiflinské vápence (trias, pelsőn – kordevoľ); 56 – schreyeralmské vápence (trias, ilýr – fasan); 60 – bódvasilašské vrstvy: pestré pieskovce a bridlice (trias, griesbach – spodný namal)

Explanation to geological map:

QUARTERNARY: 2 – fluvial sediments: of alluvial plains – loamy, loamy-sandy, clayey; of brook alluvium – gravelous, sandy-gravelous (Holocene); 6b – deluvial sediments: loamy-stony and stony (Pleistocene); 14 – proluviálne sedimenty: gravels and loamy sandy gravels of alluvial fans (Pleistocene – Würm); TERTIARY: 21 – Poltár formation: variegated clays, gravels, sands (Neogene – Pontian); 30 – Drienovec Conglomerates: carbonatic conglomerates (Upper Oligocene – Lower Miocene); 31 – Šomodý Formation: gray laminated or massive fresh water limestone (Paleogene, Eocene – Oligocene); MESOZOIC: 33 – Miglinecké limestones: white massive limestones (Cretaceous, Senonian; Campanian); SILICICUM: 36 – Allgäu Beds: dark marly limestones and marls, spotty at places (Jurassic, Liassic – Lower Doggerian); 37 – Adnet and Hierlatz limestones, variegated basal breccias (Jurassic, Liassic); 39 – Dachstein Riff and Lagoonal limestones (Triassic, Norian); 40 – Waxeneck (Tisovec) limestones (Triassic, Carnian); 43a – Wetterstein Riff limestones (Triassic, Ladinian); 43b – Wetterstein Lagoonal limestones (Triassic, Ladinian); 45 – Steinalm limestones (Triassic, Anisian); 47 – Gutenstein limestones (Triassic, Upermost Spathian – Anisian); 54 – Reifling and „Pseudoreifling“ limestones (Triassic, Pelsonian – Cordevolian); 56 – Schreyeralm limestones (Triassic, Illyrian – Fasnian); 60 – Bódvaszilás Beds: variegated sandstones and shales (Triassic, Griesbachian – Lower Nammalian)

### 3. GEOLOGICKÁ STAVBA DRIENOVskej JASKYNE

Drienovská jaskyňa sa nachádza na juhovýchodnom okraji Jasovskej planiny v masíve kóty Palanta (366 m n. m.). V rámci riešenia úlohy boli pri výskume tektonických pomerov vykonané aj litologické štúdie hornín.

#### 3.1. LITOLÓGIA

Priestory jaskyne sú vytvorené v troch základných typoch hornín – waxeneckých vápencoch, drienovských zlepenkoch a brekciách (Zacharov, 2008 in print). Podstatná časť priestorov je vytvorená v sivých až tmavosivých, lokálne bielych waxeneckých vápencoch (karn: jul – tuval). Vápence sú značne tektonicky porušené početnými puklinovými systémami a dislokačnými štruktúrami, na ktoré sú viazané rozsiahle zóny kataklastických brekcií. Drienovské zlepence a brekcie hnedej až červenohnedej farby veku vrchný oligocén – spodný miocén (Elečko a Vass, 1997 in Mello et al., 1997) sú horninami, v ktorých je vytvorená len malá časť priestorov jaskyne. Priestory jaskyne v nich dosahujú dĺžku asi 25 m a predstavujú plazivkovité chodby medzi blokmi rozsiahleho závalu. Uvedené horniny tvoria sekvenciu z polôh slabo vytriedených, hlavne karbonátových klastík a boli zistené na úrovni podzemného toku v oblasti 2. závalu (obr. 5) vo výraznej dislokačnej zóne (obr. 8, 9). Ich pozícia je tektonická a celkový rozsah polohy nie je dosiaľ určený. A aj tieto typy hornín sú lokálne tektonicky prepracované na kataklastické brekcie. Podrobnejšie litologické charakteristiky uvedených základných typov hornín vyskytujúcich sa v Drienovskej jaskyni opísal Zacharov, 2008 in print.

## 3.2. TEKTONIKA

Výskum disjunktívnej tektoniky v Drienovskej jaskyni prebieha od roku 2006. V priestoroch jaskyne, ale aj na povrchu v širšom okolí jaskyne bolo vykonané geologicko-štruktúrne mapovanie. Tektonické štruktúry sú v jaskyni reprezentované disjunktívnymi štruktúrami, – puklinami a zlomami. Aj keď sú tu pukliny najrozšírenejšími štruktúrami ich podstatná časť je nesystematická a ich využitie pre štruktúrnú analýzu je problematické a ťažko interpretovateľné. Systematické pukliny geneticky späté so zlomami sú veľmi sporadické a určenie ich pozície je zložité pre časté prekrytie sintrami. Z uvedených dôvodov pukliny neboli analyzované.

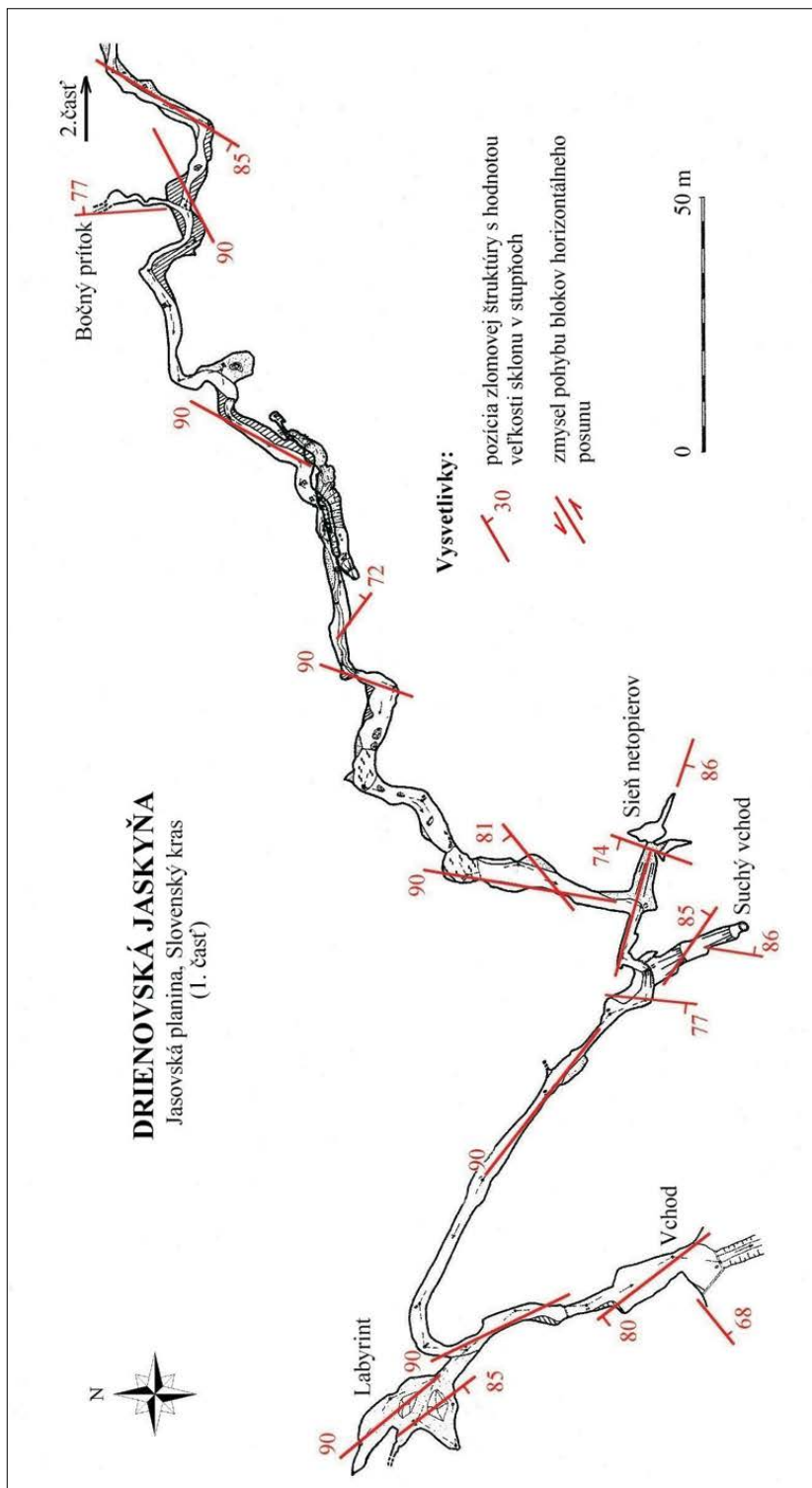
Štruktúrny výskum sa sústredil na zlomy, ktoré sú v jaskyni početné a jednoznačne predisponovali vznik a vývoj jej priestorov. Veľkým problémom štúdia zlomov bol len ojedinelý výskyt indikátorov pre kinematickú klasifikáciu zlomov. Aj zlomy sú taktiež rozsiahle prekryté sintrami a ďalej sú výrazne premodelované intenzívnou eróziou aktívneho vodného toku a rútením. V prvej etape štruktúrneho výskumu od roku 2006 až do polovice roku 2007 v hlavnej časti priestorov na úrovni vodného toku neboli dokonca získané žiadne kinematické indikátory. Podstatná časť registrovaných zlomov ich mala porušené alebo úplne zničené. Na plochách zlomov sa sporadicky vyskytujú tektonické zrkadlá s ryhovaním, čiže striácia-mi vyvinutými na kalcitových povlakoch. Avšak len v minimálnom počte boli zistené a použiteľné pre určenie diferenciálnych pohybov blokov pre kinematickú klasifikáciu zlomov až v druhej etape výskumu jaskyne. Počas tejto etapy bolo štruktúrne preskúmané vrchné poschodie jaskyne a priestory v oblasti 3. závalu (obr. 5), v ktorom sa jaskyňa predbežne končí. Orientácia zlomov sa zisťovala meraním smeru sklonu a veľkosti sklonu zlomových plôch. Namerané hodnoty boli vyhodnotené formou sumárnych tektonogramov veľkých oblúkov smerov sklonov zlomových plôch v stereografickej projekcii na spodnú hemisféru. Štatistický súbor 87 meraní bol rozdelený do piatich častí tak, aby charakterizoval jednotlivé časti jaskyne z hľadiska morfológie, vývojových výškových úrovní a zároveň aj tektoniky. Prvá vyhodnocovaná časť jaskyne zaberá oblasť Vchodu, Labyrintu, Suchého vchodu a Siene nepopierov a druhá nadväzujúca časť zaberá oblasť chodieb smerujúcich k Bočnému prítoku, oblasť Zrútenej chodby s 1. závalom a Korálovej chodby. Tretia časť zaberá oblasť 2. závalu, ktorý tu uzatvára pokračovanie jaskyne na úrovni vodného toku. Štvrtá časť zaberá oblasť Strateného domu a Českej chodby, ktoré predstavujú vrchné pochodia jaskyne, a piata časť je oblasť Mesačného domu. Posledná časť opätovne predstavuje priestory na úrovni vodného toku, ukončené ďalším, v poradí 3. závalom. Rozsah a pozícia jednotlivých vyhodnocovaných oblastí je zrejme z obr. 4, 5.

### 3.2.1. CHARAKTERISTIKA ZLOMOV

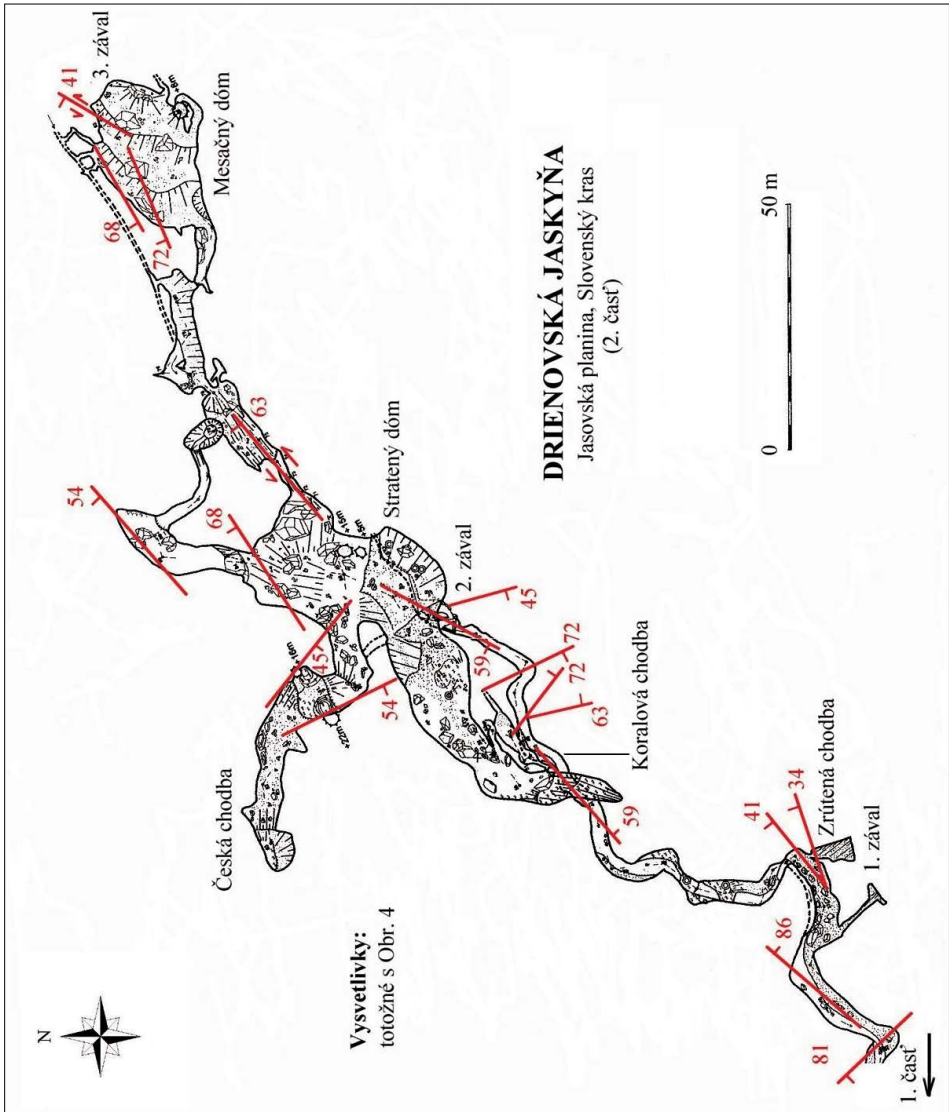
Na základe výskumu doteraz zistených zlomových štruktúr bol vznik a vývoj jaskyne predisponovaný hlavne zlomami SV – JZ a SZ – JV smeru a v malej miere aj zlomami S – J a V – Z smeru. Rozmiestnenie najvýznamnejších zlomov v jaskyni a ich orientácia je schematicky zobrazená na obr. 4, 5. Orientácia zlomov a ich vzájomný vzťah v jednotlivých vyhodnocovaných častiach jaskyne je zobrazený na tektonogramoch v obr. 6.

Zlomy SV – JZ smeru sú charakteristické veľmi strmým sklonom (50 – 75°) hlavne k SZ, ale aj JV a ich značná časť je subvertikálna, resp. vertikálna (obr. 6). Časť uvedených zlomov má sklon v rozpätí 34 – 45°. Tieto zlomy boli zistené len v blízkosti závalov a je pravdepodobné, že ich sklon je sekundárny, ovplyvnený postupným poklesávaním tektonicky a erozívne porušeného horninového masívu do priestorov jaskyne. Na zlomových plochách sú sporadicky zachované tektonické zrkadlá s ryhovaním. Zlomy sú sprevádzané zónami tektonických brekcií zvyčajne dosahujúcich šírku 10 až 70 cm a ojedinele až niekoľko metrov v Stratenom a Mesačnom dome (obr. 7). V niekoľko metrových zónach brekcií boli často zistené nepenetratívne diferenciálne zlomové plochy s tektonickými zrkadlami vyvinutými





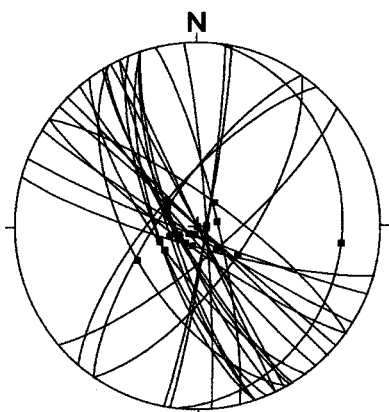
Obr. 4. Mapa Drienovskej jaskyne so schematickým znázornením rozmiestnenia a orientácie najdôležitejších zlomov – časť 1. (Podľa mapových podkladov Speleoklub Cassovia zostavil M. Zacharov, 2008)  
Fig. 4. Drienovská cave map with schematic marking of allocation and orientation of the most important faults – part 1. (According to Speleoklub Cassovia map background, made out by M. Zacharov, 2008)



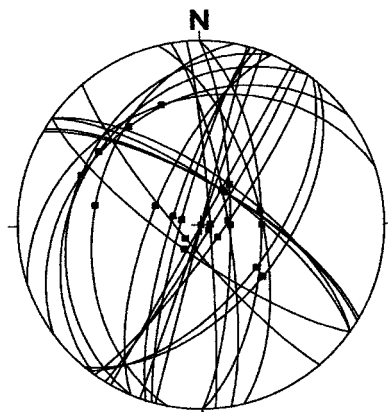
Obr. 5. Mapa Drienovskej jaskyne so schematickým znázornením rozmiestnenia a orientácie najdôležitejších zlomov – časť 2. (Podľa mapových podkladov Speleoklubu Cassovia zostavil M. Zacharov, 2008)

Fig. 5. Drienovská cave map with schematic marking of allocation and orientation of the most important faults – part 2. (According to Speleoklub Cassovia map background, made out by M. Zacharov, 2008)

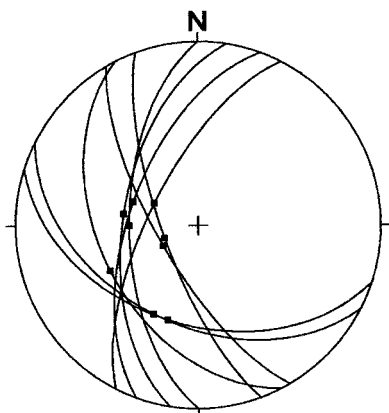
v akumuláciách sekundárneho kalcitu. Špecifický charakter majú zlomy SV – JZ smeru zistené v oblasti 2. a 3. závalu. Na uvedenej zlomovej štruktúre v 2. závale sa stýkajú waxenecké vápence, tvoriace nadložný blok s drienovskými zlepenkami v podloží. V centrálnej časti zóny zlomu je tu vyvinutá 10 až 20 cm hrubá poloha červenohnedého materiálu „bauxitického“ charakteru (obr. 8). V ďalšej smernej časti toho istého zlomu táto poloha vykliňuje a v zóne zlomu sa priamo stýkajú intenzívne kataklázované vápence so zlepenkami. Kataklastické brekie vápencov a zlepenčov sú chaoticky premiešané a sekundárne spevnené kalcitom a červenohnedým tektonickým ílom (obr. 9). Takisto aj v Mesačnom dóme v blízkosti 3. závalu bola zistená zlomová štruktúra s výplňou materiálu „bauxitického“ charakteru.



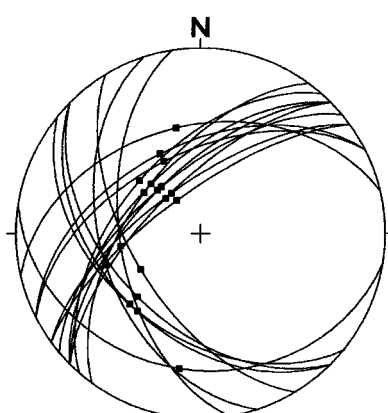
1. časť počet meraní: 28



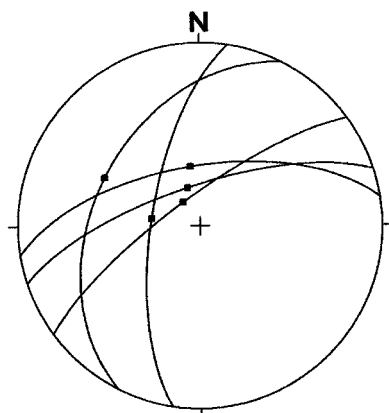
2. časť počet meraní: 27



3. časť počet meraní: 9



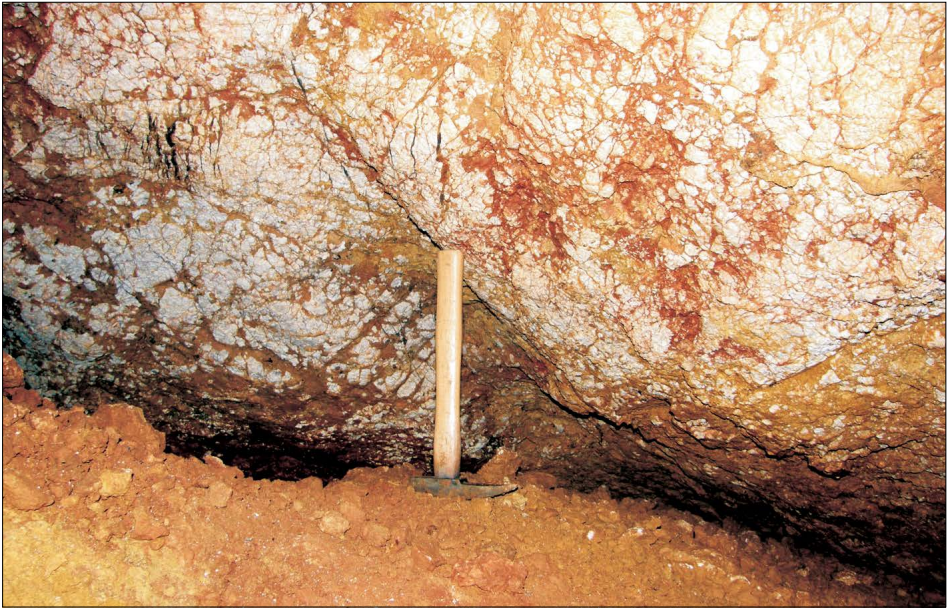
4. časť počet meraní: 18



5. časť počet meraní: 5

Obr. 6. Sumárne tektonogramy veľkých oblúkov smerov sklonov zlomových plôch v jednotlivých častiach Drienovskej jaskyne

Fig. 6. Summary fault plain's diagrams of strike dips in particular areas of Drienovská cave



Obr. 7. Kataklastické brekie v zóne SV – JZ zlomu (333°/54°), severná časť Strateného dómu. Foto: M. Zacharov

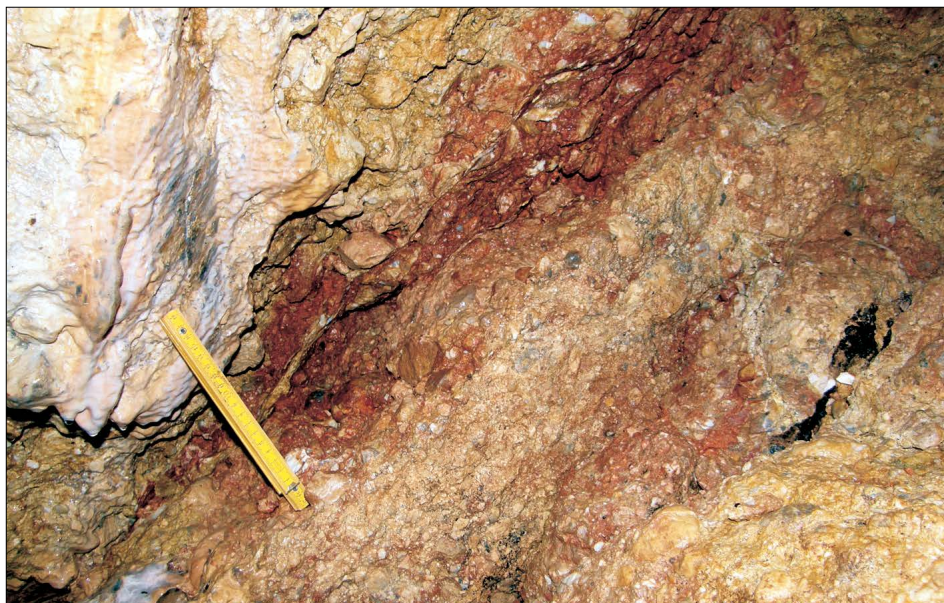
Fig. 7. Cataclastic breccias in NE – SW fault zone (333°/54°), northern part of Stratený dome. Photo: M. Zacharov



Obr. 8 Ostrý tektonický styk waxeneckých vápencov a drienovských zlepcov na SV – JZ zlome v oblasti 2. závalu. Horniny sú len minimálne kataklázované a centrálnu časť zlomu vyplňa materiál „bauxitického“ charakteru. Foto: M. Zacharov

Fig. 8. Strict tectonic contact of Waxeneck limestones and Drienovec conglomerates on NE – SW fault in area of 2. cave brake down. The rocks are just minimally cataclased and the central part of fault is filled by material that has „bauxide“ character. Photo: M. Zacharov





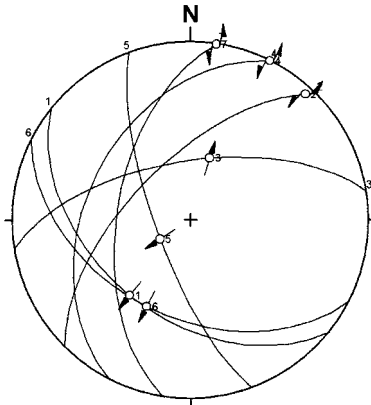
Obr. 9. Tektonický styk waxeneckých vápencov a drienovských zlepcov na SV – JZ zlome v oblasti 2. závalu. Horniny sú rozsiahle kataklázované a centrálna časť zlomu je sekundárne spevnená kalcitom a červenohnedým tektonickým ilom. Foto: M. Zacharov

Fig. 9. Tectonic contact of Waxeneck limestones and Drienovec conglomerates on NE – SW fault in area of 2. cave brake down. Rocks are extremely cataclased and the central part of fault is secondary beaded by calcite and by red-brown tectonic clay. Photo: M. Zacharov

Táto štruktúra je však vyvinutá len vo waxeneckých vápencoch a je sprevádzaná asi 4 metrovou zónou brekcií. Pri ostatných druhoch zlomov sa zistila opisovaná „baxuitická“ výplň zóny zlomov. Na základe štúdia lineácií na povrchu tektonických zrkadiel je možné zlomy SV – JZ smeru z hľadiska kinematickej klasifikácie zaradiť k sinistrálnym smerným posunom (obr. 5, 10). Vzhľadom na ich výskyt vo všetkých závalových oblastiach jaskyne je pravdepodobné, že sú v kombinácii so zlomami SZ – JV smeru a v súčinnosti s procesmi kravovej korózie a erózie vodného toku hlavnou príčinou tvorby závalov.

Zlomy SZ – JV smeru majú sčasti strmý až veľmi strmý sklon v rozpätí 45 – 75° k JZ a lokálne aj k SV. Ich značná časť je však subvertikálna, resp. vertikálna (obr. 6). Aj tieto zlomy majú sporadicky zachované tektonické zrkadlá s ryhovaním a vo väčšine skúmaných výskytov je analogický rozsah a vývoj zón tektonických brekcií ako u zlomov SV – JZ smeru. Jedinou dosiaľ zistenou odlišnosťou z hľadiska stavby zlomovej zóny je, že časť zlomov (oblasť Bočného prítoku, Korálovej chodby a Českej chodby) má tektonické brekcie tmelené sekundárnym kalcitom. Brekcie tak nadobúdajú charakter kompaktnej horniny. Z hľadiska kinematickej klasifikácie uvedené zlomy zaraďujeme k poklesom a šikmým sinistrálnym poklesom (obr. 10).

Ďalšie dva druhy zlomov sa v jaskyni zistila len v malom počte. Na základe orientácie sem boli začlenené zlomy s azimutálnou disperziou do  $\pm 20^\circ$  okolo základnej orientácie S – J, resp. V – Z. Zlomy S – J smeru dosahujú veľmi strmý (65 – 78°) sklon k V aj Z, prípadne sú subvertikálne (obr. 6). Podľa štúdia lineácií ich zaraďujeme k sinistrálnym smerným posunom (obr. 10). Zlomy V – Z smeru sa zistili len veľmi ojedinele (počet 4). Majú strmý až subvertikálny sklon v rozpätí 40 – 85° k J a S a z hľadiska kinematickej klasifikácie ich zaraďujeme k šikmým dextrálnym poklesom (obr. 10). Takisto aj tieto dva druhy zlomov majú vyvinuté tektonické zrkadlá a sú sprevádzané zónami brekcií, ktoré však dosahujú menšiu hrúbku, a to 10 – 40 cm.



Obr. 10. Sumárny tektonogram veľkých oblúkov smerov sklonov zlomových plôch s vyznačením lineácií ryhovania s orientáciou zmyslu pohybu v Drienovskej jaskyni. 1 – pokles, 2 – sinistrálny smerný posun, 3 – dextrálny šikmý pokles, 4 – sinistrálny smerný posun, 5 – sinistrálny šikmý pokles, 6 – pokles, 7 – sinistrálny smerný posun

Fig. 10. Summary fault plain's diagrams of strike dips with marked slickenside lineation with orientation of sense of movement in Drienovská cave. 1 – normal fault, 2 – sinistral strike slip fault, 3 – dextral oblique slip fault, 4 – sinistral strike slip fault, 5 – sinistral oblique slip fault, 6 – normal fault, 7 – sinistral strike slip fault

Pri charakteristike uvedených zlomov sa bližšie nevenujem ich významu a vplyvu na vznik a vývoj jaskyne. Táto problematika sa už čiastočne riešila (Zacharov, 2008 in print) a bude jej venovaný osobitný príspevok.

#### 4. DISKUSIA

Zlomové štruktúry podieľajúce sa na vzniku a vývoji Drienovskej jaskyne svojim charakterom zodpovedajú štruktúram, formujúcim tektonickú stavbu južného a juhovýchodného okraja východnej časti Slovenského krasu a príľahlej Turnianskej kotliny. Jednotlivé druhy zlomov zistené v jaskyni je možné porovnať a priradiť k zlomovým systémom okolia jaskyne, resp. obce Drienovec. Drienovská jaskyňa je vytvorená v hačavsko-jasovskej štruktúre silického príkrovu. Pre formovanie jaskyne majú zásadný význam zlomy SV – JZ a SZ – JV smeru. Podstatná časť priestorov je geneticky spätá so zlomami SV – JZ smeru (obr. 4, 5). Uvedené zlomy charakteru sinistrálneho smerného posunu predstavujú súčasť významného zlomu rieky Bodva (stotožňovaného so zlomovou zónou Darnó). Tento regionálne významný zlom v oblasti kóty Palanta, kde je situovaná jaskyňa, vyznieva a zároveň tu utína juhovýchodné pokračovanie rožňavského zlomu SZ – JV smeru (obr. 3). Zlomy SZ – JV smeru zaraďované k poklesom a šikmým sinistrálnym poklesom (obr. 10) sú analógom zlomov SZ – JV smeru podieľajúcich sa na tektonickom vývoji severovýchodného výbežku Turnianskej kotliny v oblasti Drienovca. Je pravdepodobné, že uvedené zlomy v oblasti jaskyne predstavujú rejuvenizované pôvodne prešmykové štruktúry, vyvinuté v zóne rožňavského zlomu. Tieto zlomy sa podieľajú najmä na tvorbe úvodných priestorov jaskyne, ako je to zrejme z obr. 4. V miestach križovania zlomov SV – JZ a SZ – JV smeru sú v jaskyni vždy vytvorené rozsiahle zóny kataklastických brekcií a horninový masív je tu výrazne mechanicky oslabený. Najväčšia, až 25 metrov široká zóna podmienila vytvorenie obrovského závalu (2. zával), ktorý siaha od úrovne vodného toku až do priestorov vrchného poschodia, kde tvorí dno Strateného dómu.

Aj zlomy S – J smeru, sinistrálne smerné posuny a V – Z smeru zaradené k šikmým dextrálnym poklesom, zistené v jaskyni, tiež možno priradiť k zlomom rovnakej orientácie, ako sú vyvinuté v miestach výraznej zmeny morfológie terénu, kde hraničí Jasovská planina s Turnianskou kotlinou. Uvedené zlomy najmä V – Z smeru však pri vývoji a vzniku jaskyne majú nepomerne menší význam ako ich ekvivalenty výrazne ohraničujúce mezozoikum Jasovskej planiny oproti terciéru a kvartéru Turnianskej kotliny. Je to dôsledok toho, že zlomy v jaskyni sú vyvinuté asi 2 km od južného okraja mezozoika Jasovskej planiny. V takejto vzdialenosti uvedené zlomy už postupne vyznievajú a zanikajú. Tento fakt je dobre pozorovateľný na povrchu východnej časti Slovenského krasu a ako je zrejme, potvrdzujú ho aj štúdie tektoniky v Drienovskej jaskyni.



Uvedené porovnanie zlomových štruktúr, zistených v jaskyni s povrchovými sa vykonalo nielen z pohľadu generálne zhodnej orientácie. Aj na povrchu širšieho okolia jaskyne vykonaný štruktúrny výskum preukázal výraznú zhodu v analogickom zatriedení povrchových zlomových štruktúr aj z hľadiska ich kinematickej klasifikácie. Prezentácia faktov, ktoré to dokumentujú, však značne presahuje rámec príspevku.

Poďakovanie. Výskum disjunktívnej tektoniky Drienovskej jaskyne sa uskutočnil s podporou projektu Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied, VEGA r. č. 1/4030/07. Autor osobitne ďakuje členom Speleoklubu Cassovia Slovenskej speleologickej spoločnosti za pomoc pri terénnom výskume.

#### LITERATÚRA

- BELLA, P. – HLAVÁČOVÁ, I. – HOLÚBEK, P. 2007. Zoznam jaskýň Slovenskej republiky (stav k 30. 6. 2007). Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Správa slovenských jaskýň, Slovenská speleologická spoločnosť, Liptovský Mikuláš, 364 s.
- MELLO, J. – ELEČKO, M. – PRISTAŠ, J. – REICHWALDER, P. – SNOPKO, L. – VASS, D. – VOZÁROVÁ, A. 1996. Geologická mapa Slovenského krasu 1 : 50 000. MŽP SR, GS SR Bratislava.
- MELLO, J. – ELEČKO, M. – PRISTAŠ, J. – REICHWALDER, P. – SNOPKO, L. – VASS, D. – VOZÁROVÁ, A. – GAÁL, L. – HANZEL, V. – HÓK, J. – KOVÁČ, P. – SLAVKAY, M. – STEINER, A. 1997. Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského krasu 1 : 50 000. Vydavateľstvo D. Štúra, Bratislava, 255 s.
- SENEŠ, J. 1956. Výsledky speleologického výskumu Drienovskej (Šomodý) jaskyne v Slovenskom krase. Geografický časopis SAV, VIII, 1, Bratislava, 18–26.
- SOBÁNYI, G. 1896. DIE Entwicklungsgeschichte der Umgebung des Kanyaptatales. Földtani Közlöny XXVI, Budapest, 193–207.
- VASS, D. – ELEČKO, M. – HORSKÁ, A. – PETRÍK, F. – BARKÁČ, Z. – MELLO, J. – VOZÁROVÁ, A. – RADOČZ, G. – DUBĚCI, B. 1994. Základné črty geológie turnianskej depresie. Geologické práce, Správy 99, GÚDŠ, Bratislava, 7–22.
- ZACHAROV, M. 1985. Geomorfologické a geologické pomery nových priestorov Drienovskej jaskyne. Spravodaj SSS, 16, 1–2, MSK a OP Liptovský Mikuláš, 3–7.
- ZACHAROV, M. 2008. Geologické a tektonické pomery Drienovskej jaskyne v Slovenskom krase. Slovenský kras – Acta Carsologica Slovaca 46, 1, 41–52.
- ZACHAROV, M. – KOŠUTH, M. 2005. Výskyt sadrovca v Drienovskej jaskyni – Slovenský kras. Slovenský kras – Acta Carsologica Slovaca 43. SMOPaJ, Liptovský Mikuláš, 145–153.
- ZACHAROV, M. – TERRAY, M. 1987. Objav nových priestorov v Drienovskej jaskyni v Slovenskom krase. Slovenský kras 25, MSK a OP Liptovský Mikuláš, 189–194.

#### DISJUNCTIVE TECTONICS RESEARCH OF DRIENOVSKÁ CAVE IN SLOVAK KARST

##### S u m m a r y

Spaces of the cave are created in three basic rock types: in Waxeneck limestones (Carnian: Julian – Tuvalian) – main part of the cave, in Drienov conglomerates and breccias (Upper Oligocene – Lower Miocene). The limestones are highly corrupted by many joint systems and dislocation structures. Large zones of cataclastic breccias are connected with mentioned joint systems and dislocation structures.

Faults structures, which take part on formation and development of Drienovská cave (Fig. 4, 5), are up to structures that are forming tectonic structure of south and southeast boundary of Slovak karst and close Turnianska kotlina basin. Particular faults types that were determined in the cave we are able to correlate with and assign to fault systems of the cave surroundings (village Drienovec surroundings). Drienovská cave is created in Hačava – Jasov structure of Silica nappe. Faults of NE – SW and NW – SE direction have a cardinal import for a forming of the cave.

Constituent of the cave spaces is general oriented in NE – SW direction and is genetically connected with faults of NE – SW direction (Fig. 4, 5). Mentioned faults have sinistral strike slip character. These faults represent a part of the important fault of river Bodva (that is associated with fault zone Darnó). River Bodva fault fade-outs and shears southeast continuance of Rožňava fault (that has NE – SW direction) in area of ground elevation Palanta (here is the cave situated) (Fig. 3). Faults of NW – SE direction in the cave are normal faults and sinistral oblique slip faults (Fig. 6). These mentioned faults in cave are analogue of NW – SE direction faults that take part on tectonic development of northeast Turňa basin spur in Drienovec

region. In area of the cave mentioned faults probably present rejuvenation originally reverse fault structures that were developed in zone of Rožňava fault. These NW – SE direction faults share mainly on formation of opening cave spaces (see Fig. 4).

In the cave there were also determined N – S direction faults – sinistral strike slip and E – W direction faults – dextral oblique slip faults. These N – S and E – W faults we are also able to connect with faults of same orientation (outside of cave), which are developed in area of marked change of terrain morphology (border between Jasov plateau and Turňa basin). Mentioned faults (mainly with E – W orientation) have less import in formation and development of the cave. Outside equivalent of these faults are more important. They make marked border between Jasov plateau Mesozoic and Turňa basin Tertiary and Quaternary. The reason is that in the cave these faults are developed about 2 km from south border of Jasov plateau Mesozoic. Presented faults in so distance little by little fade-out and vanish and only in very small measure they fault rock massif.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	301 – 313	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## PONICKÝ A LEHOTSKÝ KRAS DRIENOCKEJ VRCHOVINY

PAVEL MICHAL

FPV UMB Katedra geografie a krajinnej ekológie, Tajovského 40, Banská Bystrica; michal@fpv.umb.sk

### P. Michal: The Ponický and Lehotský Karst of the Drienocká vrchovina Highland

**Abstract:** The Ponický Karst was delimited as a karstic territory of the Drienocká vrchovina Highland that is spread in the west, in the north-west and in the south of Poniky. Among the particular karst territories of the Drienocká vrchovina Highland the Ponický Karst is the most complex one from the point of view of karst forms and a degree of karstness. All important forms and phenomena that are connected with the surface karstness and fluvial-karstic processes more particular: karrens, karstic dolines, uvalas, dry karstic valleys, half-blind karstic valleys, blind karstic valleys, karstic border plains, karstic depressions, karstic ridges, karstic pocket valleys, ponors, karstic resurgences apart from polje are represented here. We can find there also the forms which are connected with underground karst processes as caves, caverns, karstic chimney and other underground cavities. The Lehotský Karst is one of the karst areas within the Drienocká vrchovina Highland which is spread in the north and in the north-east of Ponická Lehôtka. The depressive forms of the relief as karst dolines, dry karstic valleys are mainly represented in the karstic territory. A unique phenomenon are polje from which the most developed is Pôľč and Brezie. A characteristic hydrological phenomenon are forms and karst resurgences.

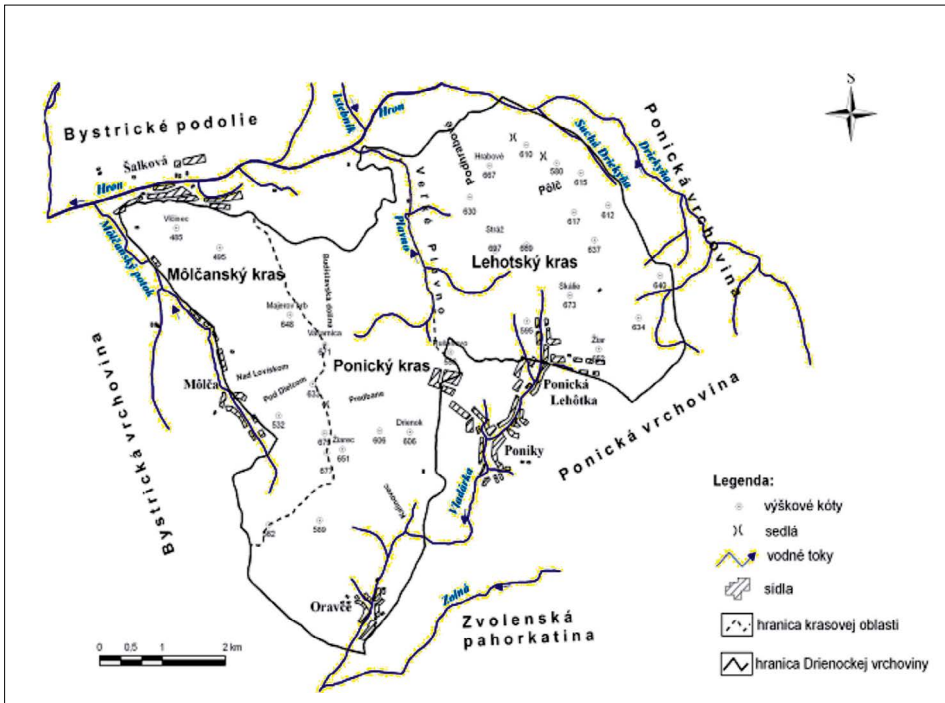
**Key words:** karrens, karstic dolines, uvala, dry karstic valley, half-blind karstic valley, blind karstic valley, karstic ridge, ponors, karstic resurgences, caves, polje

## ÚVOD A VYMEDZENIE ÚZEMIA

Drienockú vrchovinu sme vyčlenili (Michal, 2005) ako osobitný podcelok Zvolenskej kotliny, ktorá predstavuje krasovú krajinu s vysokým stupňom povrchového a podzemného skrasovatenia. V geomorfologickom členení Mazúra a Lukniša (1978) bola ako jeden z podcelkov Zvolenskej kotliny vymedzená Bystrická vrchovina. Vzhľadom na viaceré zvláštnosti územia, ktoré sme skúmali: zvýšený výskyt mezozoických uhličitanových útvarov a v súvislosti s tým aj častý výskyt krasových a fluviokrasových javov, sme sa rozhodli vyčleniť v rámci Bystrickej vrchoviny ďalší podcelok, ktorý sme nazvali **Drienocká vrchovina**. Pri vyčlenení a názve podcelku sme vychádzali z dominancie geologicko-tektonického útvaru v tomto území, s ktorým možno spájať dominantné formy reliéfu – krasové a fluviokrasové. Týmto útvarom je tektonická jednotka silicika (Polák et al., 2003), zastúpená **príkrovom Drienka**.

Drienocká vrchovina ako krasová krajina má typický krasový hydrologický režim s infiltráciou zrážkových vôd do podzemia, s prechodom od puklinovo-krasovej cirkulácie podzemných vôd k turbulentnej cirkulácii, až k tvorbe podzemných tokov.

Kras Drienockej vrchoviny je rozptýlený do troch ostrovov (Ponický, Lehotský a Môľčanský kras), z ktorých Ponický kras je z hľadiska rozlohy, počtu typov krasových foriem a ich početnosti a z hľadiska stupňa skrasovatenia najvýznamnejším krasovým územím Drienockej vrchoviny. Lehotský kras je významný svojou rozlohou, ale aj zastúpením zriedkavej formy v krase na Slovensku; tou formou je polje, pričom v Lehotskom krase sme vymedzili dve polja – polje Pôľč a polje Brezie. Môľčanskému krasu sa vzhľadom na malý počet krasových foriem nebudeme v tomto príspevku venovať.



Mapa 1. Drienocká vrchovina. Spracoval: P. Michal  
 Map 1. Drienocká vrchovina Highland. Compiled by: P. Michal

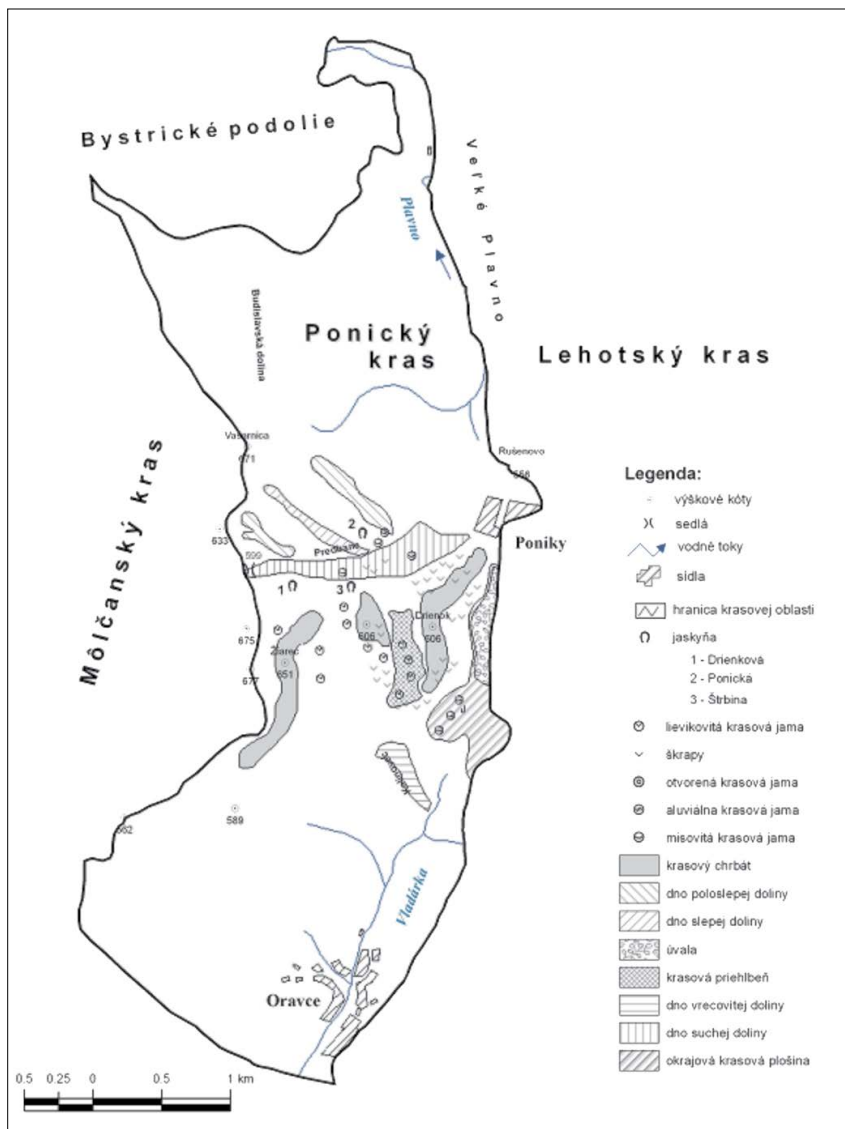
## PONICKÝ KRAS

Územie Ponického krasu sme vymedzili západne, severozápadne a juhozápadne od Poník. Do takto vymedzeného územia možno priradiť aj Oravce, ktoré sa nachádzajú na jeho juhovýchodnom okraji.

V Ponickom krase sú zastúpené všetky významné formy a javy, ktoré súvisia s povrchovým krasovatením a s fluviokrasovými procesmi okrem polí, a to: škrapy, krasové jamy, uvala, suché doliny, poloslepé doliny, slepá dolina, krasová okrajová plošina, krasová priehľbeň, krasové chrby, vrecovitá dolina, ponory, vyvieracky. Zastúpené sú aj formy, ktoré súvisia s podzemnými krasovými procesmi, ako sú jaskyne alebo iné priestory (kaverny, komíny a iné podzemné dutiny).

V Ponickom krasovom území je najväčšie sústredenie škrap v rámci celej Drienockej vrchoviny. Ide najmä o všeobecné škrapy, ktoré sú na viacerých miestach rozptýlené do škrapových polí. Takéto polia nájdeme na vrcholovej plošine Drienka (606 m), na jeho severovýchodnom a severnom svahu, tiež na vrcholovej plošine kóty 606 m nachádzajúcej sa západne od Drienka. Menej časté sú puklinové škrapy, ktoré nájdeme na chrboch tvoriacich prepážky medzi krasovými jamami, napr. v krasovej priehľbni lemujúcej západný svah Drienka. Spomínaná krasová priehľbeň je jediná v Ponickom krase, ktorá spĺňa kritériá krasovej priehľbne. Východné úpätie Drienka lemuje okrajová krasová plošina, ktorá je tiež jedinou formou svojho druhu v Ponickom krase. V severnej časti tejto okrajovej roviny možno vyčleniť formu, ktorú považujeme za uvalu. Dĺžka uvaly je okolo 800 m a šírka asi 200 m. Na jej dne sa nachádzajú mladšie lievikovité krasové jamy.

Najpočetnejšie zastúpenou povrchovou krasovou formou sú krasové jamy. V skúmanom území možno podľa genézy vyčleniť krasové jamy vzniknuté prepadnutím povál do podzemných



Mapa 2. Krasové a fluvio-karstové formy Ponického krasu. Spracoval: P. Michal  
 Map 2. Karst and fluvio-karst Forms of Ponický Karst. Compiled by: P. Michal

priestorov a krasové jamy vzniknuté rozpúšťacou činnosťou vody. Krasové jamy prvého typu môžeme vymedziť v krasovej priehľbni západne od kóty 606 m, kde bol tvorivým faktorom ich vzniku podzemný tok Oraveckej vyvieracky tým, že sa strop podzemného toku občas zrútil. Ostatné krasové jamy patria k druhému typu. Podľa tvaru tu rozlišujeme misovité a lievikovité krasové jamy. V Ponickom krase výrazne prevládajú z hľadiska tvaru lievikovité krasové jamy, ktoré majú priemer od 10 do 150 m a hĺbku až 10 m. Krasové jamy teda nájdeme na dne krasovej priehľbne západne od Drienka, na dne okrajovej krasovej plošiny a uvaly, ktoré lemujú východné úpätie Drienka, na dne suchej časti doliny Kalinovec a na dne suchej doliny Predbane, kde majú krasové jamy väčšinou misovitý tvar (okrem ponorových krasových jám).



Obr. 1 a, b, c. Priehradky medzi krasovými jamami v krasovej priehlbni pri Drienku sú pokryté početnými škrapami. Foto: P. Michal

Fig. 1 a, b, c. Separations among karst dolines in karst depression by the Drienok are covered by many karrens. Photo: P. Michal

vých javov v Ponickom krase sa zaoberal Slavkay (1962, 1963), Belička (1981, 1982), Droppa (1999), Gaál (2006).

V masíve Drienka je najvýznamnejšia Drienková jaskyňa. Jej vchod sa nachádza na severnom svahu vyššej kóty masívu Drienka (677 m) vo výške 584 m n. m., teda asi 38 m nad dnom suchej doliny Predbane v jej hornej časti v blízkosti sedla Pod Drienkom. Jaskyňa je vytvorená vo vápencoch stredného triasu, ktorých sklon je 45° na sever. Jaskynný vchod 1,8 m vysoký a 1,2 m široký je veľmi ťažko identifikovateľný v lese.

Do suchej doliny Predbane vyúsťujú na jej ľavej strane dve poloslepé doliny (jedna v západnej a druhá vo východnej časti) a jedna slepá dolina. Všetky tieto tri doliny sa tiahnu od severozápadu a pri vyústení do doliny Predbane sú ukončené ponormi. Najvýraznejší je ponor P1. Je ukončením slepej doliny začínajúcej sa na severozápade pod kótou Vašarnica (671 m) a zároveň predstavuje vchod do Ponickéj jaskyne. Ponor a teda aj dolinu ohraničuje vápencová skalná stena, ktorá je vysoká asi 6 m. Poloslepá dolina, ktorá vyúsťuje do doliny Predbane na západe, je ukončená ponorom P3 a ďalšia poloslepá dolina na východe je ukončená ponorom P4. Všetky spomínané tri doliny sú výdatnejšie pretekané najmä v dobe topenia sa snehu, prípadne pri výdatnejších dažďoch, zatiaľ čo v čase sucha skoro úplne vysychajú. Na dne doliny Predbane v jej východnej časti možno nájsť ešte dve krasové jamy fungujúce ako ponory, a to ponor P2, ktorý v čase intenzívnych zrážok pohlcuje až 50 l.s<sup>-1</sup>. Vľavo od neho je v krasovej jame ponor P5, do ktorého vteká len slabý prúd vody z pramienkov v strednej časti doliny Predbane. Viacerí autori, napríklad Lenčo (1956), Slavkay (1963), Koděra et al. (1990) predpokladajú, že voda odvádzaná všetkými spomínanými ponormi napája podzemný krasový tok, ktorý sa dostáva na povrch Oraveckou vyvierackou.

Podzemné krasové formy sú v rámci Drienockej vrchoviny zdokumentované tiež len v Ponickom krase. Ide o tri jaskyne, ktoré boli zaznamenané jednak pri bankých a ťažobných prácach (jaskyňa Štrbina a Drienková jaskyňa), jednak pri speleologickom prieskume (Ponická jaskyňa). Za jaskynnú dutinu považujú Koděra et al. (1990) aj vyústenie Oraveckej vyvieracky. Veľmi časté a početné sú aj komíny, kaverny, ktoré možno vidieť najmä v širšom okolí Drienkovej jaskyne.

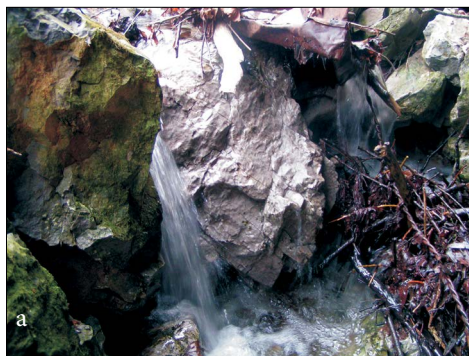
Dokumentáciou podzemných kraso-





Obr. 2. V Ponickom krase je najzaujímavejším krasovým územím suchá dolina Predbane, ktorá je po pravej strane lemovaná mnohými stopami antropogénnej činnosti (haldy, ťažobné jamy), súvisiacimi s hľadáním a ťažbou olovnato-zinkových rúd. Foto: P. Michal

Fig. 2. The most interesting karst area of Ponický karst is dry valley Predbane, which is right side bordered by many elements (heaps, exploitation hollows) antropogen activities, related with searching and mining of Pb-Zn metals. Photo: P. Michal



Obr. 3 a, b. Slepá dolina, ktorá sa tiahne od kóty Vašarnica a vyúsťuje do doliny Predbane, je uzavretá v dolnej časti asi 6 m vysokou vápencovou stenou, pod ktorou sa stráca v ponore P1 občasný výdatný tok. Tento ponor zároveň predstavuje vchod do Ponickéj jaskyne. Foto: P. Michal

Fig. 3 a, b. Blind valley, which is going from cote Vašarnica and flow into valley Predbane, which is closed in the bottom part, 6-th metre high roe-stone rock-face, whereunder intermitted flow dissapears into ponor P1. This ponor is entrance to Ponická cave. Photo: P. Michal

Od vchodu sa jaskyňa tiahne smerom na juhozápad a v dĺžke 11 m sa oblúkovite obracia na východ a po celkovej dĺžke 24 m sa končí zavalenou sieňou. Steny jaskyne sú hladko korodované, inde zasa javia stopy po oddrobovaní, čoho dôkazom je ostrohranná sutina na dne. Jaskyňa je typom korózno-rútivej jaskyne bez kvapľovej výzdoby.



Obr. 4. Najvýdatnejším krasovým prameňom v Ponickom krase je Oravecká vyvierka, ktorá má maximálnu výdatnosť okolo 200 l.s<sup>-1</sup>. Foto: P. Michal

Fig. 4. The most substantial karst flow in Ponický karst is Oravecka resurgence, which has maximum substantiality 200 l.s<sup>-1</sup>. Photo: P. Michal



Obr. 5. Druhá najvýdatnejšia vyvierka v Ponickom krase je Kalinovec s maximálnou výdatnosťou 20 l.s<sup>-1</sup>. Foto: P. Michal

Fig. 5. The second substantial karst resurgence in Ponický karst is Kalinovec with maximum substantiality 20 l.s<sup>-1</sup>. Photo: P. Michal



Obr. 6. Vo výške 584 m n. m. sa nachádza na severnom svahu vyššej kóty masívu Drienka (677 m) vchod do Drienkovej jaskyne. Foto: P. Michal

Fig. 6. In an amount 584 m. n. m. on the North slope massif Drienok (677 m) is entrance to Drienková cave. Photo: P. Michal

Slavkay (1963) uvádza existenciu jaskyne Štrbina v bývalej baníckej štôlni G. S. Titova na Drienku v dĺžke 20 m, na ktorú v roku 1960 narazili pri geologickom prieskume. V súčasnosti je vchod do štôlne zasypaný. Úroveň zasypanej štôlne je na severnej strane Drienka vo výške 560 m n. m. Jaskyňa Štrbina je podľa údajov Slavkaya (1963) miestami vyzdobená kvapľami, je suchá, bez podzemného toku. Je však predpoklad, že v minulosti tok preteká jaskyňou, o čom svedčia miestami zaoblené tvary jaskyne a výskyt sedimentov alochtónneho pôvodu. Preto jaskyňu možno charakterizovať ako typ korózne-erózne jaskyne, založenej na tektonických poruchách.

Na opačnej strane suchej doliny Predbane sa vyskytuje Ponická jaskyňa. Koděra et al. (1990) uvádza, že má dĺžku 900 m a ide o korózne-eróznú fluviokrasovú jaskyňu, pretože je pretekaná podzemným tokom. Podzemný tok je zasobovaný vodou potoka slepej doliny, ktorý sa stráca v ponore P1 (je zároveň vchodom do jaskyne) pod 6 m vysokou vápencovou stenou.

Pre vznik a vývoj krasových foriem sú splnené geologické predpoklady. Ide najmä o prítomnosť karbonátových hornín, ktoré sú z väčšej časti súčasťou litostratigrafickej jednotky silicika a v rámci nej súčasťou príkrovu Drienka. Jadrom príkrovu Drienka sú rôzne





Obr. 7. Záber z Drienkovej jaskyne, ktorá je po Ponickej jaskyni druhou najväčšou podzemnou krasovou formou. Má kalcitovú výzdobu. Jaskyňa je typom koróznno-rútivej jaskyne. Foto: P. Michal

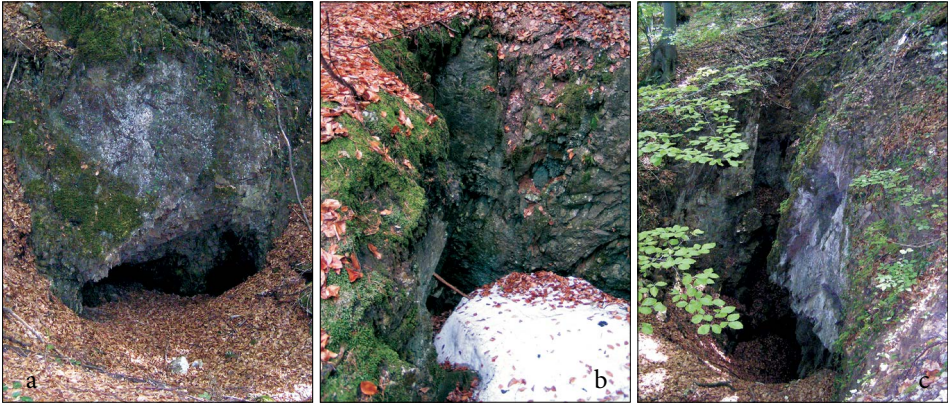
Fig. 7. The picures of Drienková cave, which is second the biggest karst underground form. It has calcite decoration. This cave is type of corrosion hurtling cave. Photo: P. Michal



Obr. 8. Záber z Ponickej jaskyne, ktorá patrí typologicky k koróznno-eróznym fluviokrasým jaskyniam. Foto: P. Michal

Fig. 8. The picture of Ponicka cave, which is type of corrosion erosion fluviokarst cave. Photo: P. Michal

typy vápencov: guttensteinské, steinalmské, reiflinské, krinoidové a wettersteinské vápence, ktoré smerom do nadložia prechádzajú do wettersteinských dolomitov. Predpoklady najmä pre fluviokrasové procesy majú aj horniny sinských vrstiev (karbonátové bridlice, ílovité karbonáty, organodetritické karbonáty). Súčasťou príkrovu Drienka sú aj triasové nekarbonátové (čiže nekrasové) horniny, ako bodvasilašské vrstvy (werfénske pieskovce a bridlice) a paleoryolity s pyroklastikami. V severnej časti Ponického krasu vystupujú aj triasové dolomity chočského príkrovu, ktoré sú súčasťou litostratigrafickej jednotky hronika.



Obr. 9 a, b, c. V širšom okolí Drienkovej jaskyne sa nachádzajú početné kaverny a komíny, ktoré vyúsťujú na povrch. Foto: P. Michal

Fig. 9 a, b, c. There are many caverns and chimneys in surroundings of Drienkova cave in the picture, which laed onto surface. Photo: P. Michal



Obr. 10. Zábér na prevažnú časť polja Brezje. V popredí je západná časť (S – J smer), ďalšia časť sa tiahne v Z – V smere. Na zábere vidieť aluviálne krasové jamy s otvorenými ponormi, vľavo je kóta 641, ktorá uzatvára polje na východe, znížený úsek vpravo je poznačený zarezávaním sa vrecovitej doliny jedného z prítokov Driekyne. Foto: P. Michal

Fig. 10. The picture of a main part of Brezje. In front is the Western part (N – S direction), another part is going in W – E direction. There are karst dolines with open ponors, there is cote 641 on the left side, which closed polje on the East and lower sector on the right side of Brezje. Photo: P. Michal

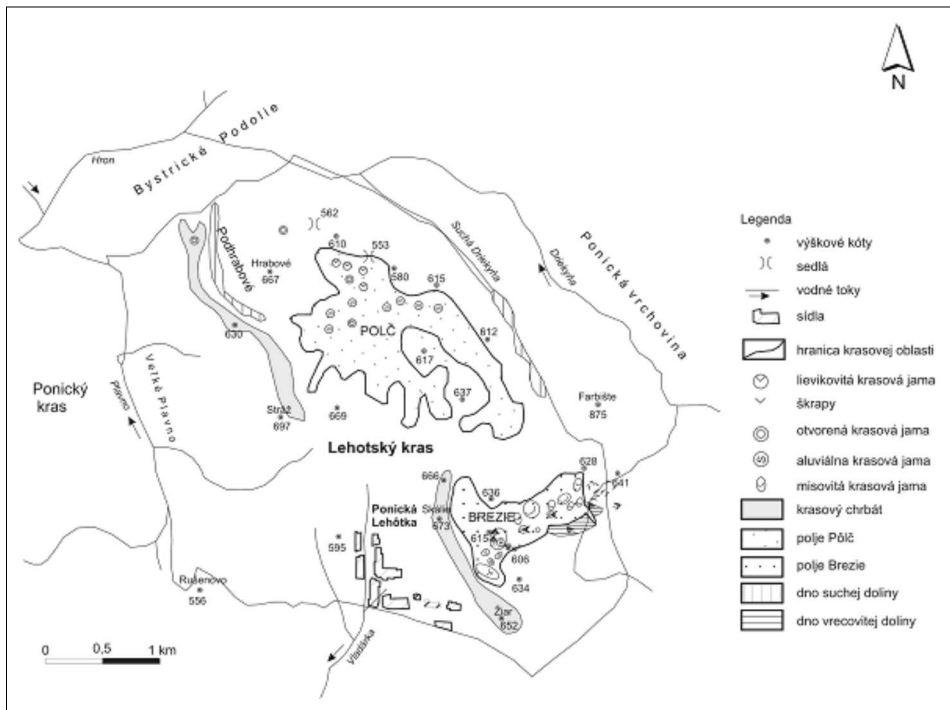


Obr. 11. Hlavná vetva polja Pôľč. Na zábere sú šípkami vpravo vyznačené aluviálne krasové jamy, vľavo zreteľné zálomy svahov ku dnu, v popredí ponor, v ktorom sa stráca tok, tečúci do polja od JV. Foto: P. Michal

Fig. 11. Main sector of polje Pôľč. There are aluvium karst dolines on the picture, there are crank slopes on the left towards bottom, in front is ponor, in which flow disappears. Photo: P. Michal

## LEHOTSKÝ KRAS

Lehotské krasové územie sa rozprestiera na severovýchod a sever od Ponickéj Lehôtky. Je to územie pomerne chudobné na počet typov krasových foriem aj na ich početnosť. Územie je chudobné na škrapy, pretože krasové horniny sú len ojedinele obnažené spod nadložných neogénnych alebo kvartérnych vrstiev. Ojedinelé škrapy nachádzame v čelách pretiahnutých misovitých krasových jám a na lúkach, ktoré pokrývajú krasovú plošinu, nachádzajúcu sa severovýchodne od Ponickéj Lehôtky, prípadne zarovnané povrchy na spojnici kót Farbište a Stráž a krasový chrbát vybiehajúci od kóty Stráž smerom na severozápad. Krasový charakter vymedzenému územiu dodávajú teda ojedinelé škrapy, ale aj krasové jamy



Mapa 3. Krasové a fluviokrasové formy Lehotského krasu. Spracoval: P. Michal  
 Map 3. Karst and fluviokarst Forms of Lehotský Karst. Compiled by: P. Michal

a ponory, nachádzajúce sa v polji Brezie. V tejto časti Lehotského krasu (SV od Ponicej Lehôtky) je krasové územie vymedzené vo vnútri trojuholníka, ktorého vrcholy tvoria kóty Skálie, Žiar a Farbište. Toto krasové územie už Lenčo (1956) a Slavkay (1963) považujú za pozostatky polja, ktoré je rozrušené spätnou eróziou Driekyne. S týmto ich názorom na chápanie uvedeného územia ako polja sa stotožňujeme.

Výrazný je tiež krasový chrbát kóty Stráž (697 m), ktorý sa v dĺžke asi 2,5 km tiahne na severozápad. Na konci sa chrbát rozširuje na menšiu plošinku s krasovou jamou a ponorom v jej strede. Východne od tohto chrbta sa v dĺžke asi 1 km tiahne suchá dolina Podhrabové, pretekaná občasným tokom, ktorý vymodeloval po jej ľavej strane eróznou ryhu širokú 2 m a hlbokú 1,5 m.

V geologickej stavbe tohto územia sa vyskytujú horniny troch litostratigrafických jednotiek: hronika, silicika a veporika. Útvary silicika, najmä prikrov Drienka, vyplňajú južnú časť. Do západnej časti zasahujú útvary hronika, najmä dolomity chočského príkrovu. Prevažnú časť územia vyplňajú útvary veporika. Krasové alebo fluviokrasové formy v tomto území sa viažu na uhličitanové horniny, ako sú rôzne druhy vápencov a dolomitov. Najvýznamnejšie zastúpenie tu majú slienité a kalpionelové vápence (neokóm), ktoré patria krížňanskému príkrovu.

Najzaujímavejšou formou v Lehotskom krasovom území je **polje Pôľč**, ktoré má nepravidelný lalokovitý pôdorys a zo všetkých strán je uzavreté. Územie, v ktorom je vyvinuté polje, je budované karbonátovými horninami, v ktorých sa často nachádzajú menej čisté polohy s charakterom nepriepustnosti (bridlice a pieskovce karpatského keuperu), na ktorých sa uplatňuje aj fluviálny proces, preto uzavretá forma polja Pôľč má časti s charakterom krasového reliéfu s prevahou korózných procesov, ale aj časti, najmä vo východnej oblasti, so silným procesom mechanickej erózie s periglaciálnymi až riečnymi dolinami.





Obr. 12. Západná časť hlavnej vetvy polja Pôľč je porastená vlhkomilnou až močiarnou vegetáciou. Foto: P. Michal  
 Fig. 12. The West part of main sector of polje Pôľč is overgrown by hygrophilous vegetation. Photo: P. Michal

liny. Vlastné polje má smer Z – V, pričom za rovnocenný sa považuje úsek, ktorý smeruje na severozápad, a končí sa na hornej hrane dolinového svahu Driekyne. Vo vzdialenosti 350 až 600 m SV od hlavného úseku Pôľča prebieha dolina Suche Driekyne, ktorej dno leží 50 až 100 m pod úrovňou dna Pôľča. Vo vzdialenosti 1,3 km SV od Pôľča leží ďalšia rovnobežná dolina (Mokrej) Driekyne, ktorej dno je 120 až 143 m pod úrovňou dna Pôľča. Dno hlavného úseku Pôľča je 50 až 150 m široké a má spád v smere hlavného a vedľajších úsekov k najnižšiemu miestu, ktoré leží v úrovni 543 m n. m. Dno je pokryté sedimentmi a podľa východov vápencov na dne krasových jám možno dedukovať, že mocnosť týchto sedimentov dosahuje 3 až 5 m. Centrálna časť hlavného úseku polja je silne zamokrená, s mokradňovou vegetáciou, čo by poukazovalo na nepriepustné podložie. Táto skutočnosť vedie k záveru, že vznik poljí možno interpretovať v zmysle ich korelatívnosti k nepriepustným horninám (Jakál, 1984), ktoré sú obklopené karbonátovými horninami. Možno tu predpokladať určité vývojové štádium formy slepej doliny. Vyprázdňovanie doliny od sedimentov sa dialo cez systém ponorov, a tak nastalo postupné zväčšovanie formy do strán i mimo nepriepustného podložia. Nedostatočné súčasné odtokové pomery viedli k zaneseniu dna polja sedimentmi mocnými 3 až 5 m so vznikom radu náplavových krasových jám.

Formy povrchového krasu polja Pôľč reprezentujú najmä krasové jamy. Ide predovšetkým o líniu aluviálnych (náplavových) krasových jám v severnej časti polja. Dosahujú veľkosť 20 – 30 m v priemere a hĺbky 3 – 4 m. Sú to väčšinou ponorové aluviálne krasové jamy s otvorenými ponormi na dne, často s charakterom prepadnutého dna (Jakál, 1984). Najrozsiahlejšia aluviálna krasová jama leží v blízkosti objektu horárne. V priemere dosahuje viac ako 50 m a na jej dne je zaklesnutá menšia ponorová krasová jama. Tá sa viaže pravdepodobne na krátky povrchový tok (asi 300 m), ktorý vznikol z vyvieracky pri kóte 550 m a stráca sa práve v tejto ponorovej krasovej jame. V západnej časti sa nachádzajú menšie disolučné krasové jamy, ktoré sú plytké. Výraznejšie disolučné krasové jamy sa nachádzajú až v severozápadnom výbežku polja, ktorý má dĺžku asi 1,2 km. Polje Pôľč a jeho výbežky

Vlastné polje leží v uzavretej brachy-synklinále Z – V smeru (Lenčo, 1956). Polje Pôľč sa vytvára z doliny, ktorá sa začína asi 1,5 km severovýchodne od Ponickéj Lehôtky a pokračuje v spáde 3 % SZ smerom. Táto dolina sa začína na nepriepustných horninách (keuper) v podobe periglaciálnych úvalín prechádzajúcich do periglaciálnej doliny. Ide o pramennú oblasť menšieho potoka, ktorého vody vytekajú z prameňa ležiaceho na západ od kóty 640 m. Dno doliny v tejto oblasti je ploché, široké a močaristé. V krasovej oblasti sa dolina zužuje a nadobúda tvar U. Dolinou preteká povrchový tok, ktorý tečie po močaristej nive širokej 10 m, miestami až 50 m. V miestach, kde sa dolina rozširuje a vyúsťuje do vlastného polja, povrchový tok sa stráca v nápadnom ponore pod 4 m mocnou výplňou dna polja.

Západne od tejto doliny je ďalšia kratšia dolina, ktorá má znaky typické pre suché doliny v krase. V južnej časti vystupujú z dna polja viaceré ploché chrbty, ktoré oddeľujú podobné periglaciálne doliny.



sú od svojho okolia oddelené na juhu verfenskými nekrasovými horninami príkrovu Drienka a na juhozápade strednotriasovými dolomitmi chočského príkrovu. Tieto horniny vystupujú vo vzdialenosti 1,5 km južne a juhozápadne od najnižšieho miesta polja do relatívnej výšky 100 až 160 m nad úroveň dna. Západne a severne od polja vystupujú slienité vápence neokómu, severovýchodne vápence jury, oboje v krížňanskom príkrove. Dolina, ktorá ústi do Pôlča na východe, prebieha nekrasovými pieskovecami a bridlicami keuperu. Západne, severne a severovýchodne vystupujú svahy do výšky 35 až 120 m nad dno polja a oddeľujú ho od doliny Driekyne a Hrona. Najnižšími miestami medzi týmito dolinami a Pôlčom sú sedlá, z ktorých najnižšie (pri severnom okraji) leží vo výške 553 m n. m., t. j. 10 m nad najnižším miestom dna. V severozápadnom dolinovom výbežku leží sedlo, ktoré dosahuje výšku 562 m n. m., t. j. 19 m nad úrovňou dna.

**Polje Brezie** sa nachádza na plošine v úrovni 590 až 615 m n. m. severovýchodne od Ponickéj Lehôtky. Toto územie patrí hydrograficky do povodia Ponického potoka (Vladárky) a do povodia Driekyne. Pre krasové územia so silným stupňom skrasovatenia je príznačné, že orografické rozvodie sa často nestotožňuje s rozvodiami hydrologickými, čo je spôsobené geologickou pozíciou uhličitanových hornín, najmä vápencov a podložných verfenských bridlíc. Túto skutočnosť si aj v skúmanom území všíma Slavkay (1963). Spomínaný jav je podľa Slavkaya evidentný v prípade rozvodí medzi povodím Ponického potoka a povodím Driekyne. Orografické rozvodie medzi týmito povodiami prechádza kótami 673 m (Skálie) a 652 m (Žiar) severne, severovýchodne a východne od Ponickéj Lehôtky. Styk verfenských bridlíc a vápencov v oblasti vyvieráčiek V1 a V2 a ponoru P1 je cca 20 m pod povrchom uklonený na juhozápad, t. j. k Ponikám a severovýchodne od kóty 673 m a 652 m vystupuje na povrch približne 400 m severovýchodne od orografického rozvodí. Vody infiltrované v tejto oblasti (medzi orografickým a hydrologickým rozvodím) sú odvádzané po nepriepustnom podloží do povodia Ponického potoka, kde vyvierajú malé pramene medzi Ponickou Lehôtkou a orografickým rozvodím v nadmorskej výške 550 – 575 m.

V Lehotskom krase sa práve na polje Brezie viažu zaujímavé hydrologické krasové javy. V krasovej jame východne od kóty 673 m (Skálie), vzdalenej asi 400 m, sú 2 vyvieracky V1 a V2 s celkovou výdatnosťou  $3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , ktoré sa spájajú a vytvárajú krátky tok (70 m), ktorý čoskoro zaniká v ponore P1, blízko poľnej cesty. Na pravej strane tejto poľnej cesty je ďalšia krasová jama v strede s malým suchým ponorom. Treba ešte spomenúť vyvieracky V3 (sú 2), severovýchodne od Ponickéj Lehôtky, vzdialené od seba cca 2 km. Ich výdatnosť kolíše v medziach  $1 - 5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Práve tieto vyvieracky sa zarezali vrecovitými dolinami do južnej a juhovýchodnej časti polja Brezie, a tak narušili jeho pôvodnú súvislú morfológickú tvornosť. Obidve vyvieracky sú zdrojnicami tokov, ktoré napájajú Driekyňu.

Polje Brezie je najrozsiahlšie na západe, kde v severojužnom smere sa jeho rozmer pohybuje okolo 1 km. Na dno tejto najširšej severojužnej časti na západe polja spadajú východné svahy krasového chrbta medzi kótou Skálie (673 m) a Žiar (654 m). Smerom na východ sa polje zužuje, dosahuje šírku 300 – 450 m. Dĺžka polja od západu na východ, až pod kótu 641 m, pod ktorou sa nachádzajú ťažobné jamy medenej mineralizácie v blízkosti kóty Farbište (675 m), sa pohybuje okolo 1,2 km. Zo západu obmedzuje polje krasový chrbát kóty Skálie. Na severozápade, severe a severovýchode má polje pomerne výrazné obmedzenie chrbtom, na ktorom vystupujú kóty 666 m, 636 m, 648 m a 628 m. Z východu polje obmedzujú západné svahy kóty 641 m, na úpätí ktorých sa nachádzajú ťažobné jamy po ťažbe medených rúd. Juhozápadné ohraničenie polja je ešte výrazné a predstavuje ho chrbát, na ktorom vystupujú kóty 634 m a 606 m. Južná a juhovýchodná hranica polja je však narušená spätnou eróziou prítokov Driekyne, ktoré svojimi prameniskami spätnou eróziou a tvarom vrecovitých dolín prenikajú do priestoru polja.

Polje Brezie spĺňa základné morfológické znaky polja, ako ich formuloval Fink (1973): uzavretosť formy (okrem častí narušených spätnou eróziou), ploché naplavené dno, systém náplavových krasových jám a ponorov na dne polja, prítok vody do polja z vyvieracky, menšie úseky povrchových tokov medzi vyvierackou a ponorom a občasná inundácia dna polja.

Polje Brezie má nepravidelný tvar: v západnej časti je jeho tvar pretiahnutý v severojužnom smere – jeho dno sa tu pohybuje v nadmorských výškach 605 – 635 m s miernym klesaním od severu na juh. V tejto časti je dno inundované hrubou vrstvou sedimentov, ktoré dosahujú hrúbku až 5 m. Obyvatelia celú plochu dna v tejto časti využívajú ako ornú pôdu s intenzívnym pestovaním poľnohospodárskych plodín. Stredná a východná časť polja je pretiahnutá v Z – V smere, dno v tejto časti sa mierne skláňa k východu s intervalom 615 – 605 m n. m. Dno je tu viac inundované vo východnej časti sedimentmi dosahujúcimi hrúbku asi 3,5 m.

Formy povrchového krasu polja Brezie reprezentujú najmä krasové jamy. Geneticky ide o krasové jamy, ktoré vznikli rozpúšťacou činnosťou vody. Na základe morfológického kritéria môžeme tu rozlišovať misovité a lievikovité krasové jamy. Najčastejším typom sú na dne polja misovité krasové jamy, ktoré vznikli najmä na hraniciach krasových a nekrasových hornín. Tieto krasové jamy sú vo viacerých prípadoch pretiahnuté jedným smerom; podľa Lenča (1956) vznikli na jednosmernej sústave puklín v smere krasovej horniny. Tento typ vznikol upchatím dna krasových jám sedimentmi a pôsobením vody do strán (bočná korózia). Na ich dne nenachádzame otvorené ponory.

Lievikovité krasové jamy vznikli intenzívnym procesom prehlbovania bez výraznejšieho obdobia s upchatím odtokových kanálov. Niektoré majú na dne otvorený, činný ponor.

Kritérium zohľadňujúce druh pokryvných hornín umožňuje vyčleniť v skúmanom území aj typ náplavových krasových jám. Tieto sú skôr vonkajším prejavom rozpustného vápencového podložia. Vápence v podloží majú vytvorenú krasovú jamu, ktorá bola pokrytá, resp. vznikla pod pokrývkou sedimentov (naplavenín, nánosov). Odnosom týchto nánosov do podzemia došlo k formovaniu depresie, a teda aj vzniku nepravé krasovej jamy. Morfológicky sa v našom území prejavujú väčšinou ako lievikovité formy. Pôsobia ako stále alebo periodicky činné ponory povrchových krasových tokov, dažďových vôd alebo vôd z topiaceho sa snehu. V polji Brezie máme jednu krasovú jamu so stále činným ponorom krasového toku. Ďalšie tri lievikovité krasové jamy majú periodicky činné ponory. Rozmery týchto krasových jám sa pohybujú okolo 30 m a hĺbka, ktorá je závislá od hrúbky nánosov, sa pohybuje okolo 3 – 5 m.

## ZÁVER

Na Slovensku máme zastúpenú širokú škálu morfológických typov krasu. Jedným z nich, ku ktorému možno zaradiť aj skúmané územie, je typ rozčleneného krasu masívnych chrbtov, hrastí a kombinovaných vrásovo-zlomových štruktúr.

V Ponickom krase sú zastúpené všetky významné formy a javy, ktoré súvisia s povrchovým krasovaním a s fluviokrasovými procesmi okrem polja. Zastúpené sú tu aj formy, ktoré súvisia s podzemnými krasovými procesmi (jaskyne, krasové komíny a iné dutiny). Jedinečným krasovým útvarom je tu okrajová krasová rovina s okrajovými krasovými jami, ktorá lemuje východné úpätie Drienka (606 m) medzi Ponikami a Oravcami.

Pre Lehotský kras je charakteristický vysoký stupeň skrasovania so zastúpením najmä depresných foriem, ako sú: krasové jamy, suché doliny, polja. Hlboké kaňonovité doliny sa v tomto území nevyskytujú. Jedinečným javom sú polja, z ktorých polje Pôľč je vyvinuté najlepšie. Severne od Ponicej Lehôtky sa nachádza polje Brezie, ktoré je rozrušené spätnou eróziou Driekyne a jej prítokov, najmä v juhovýchodnej časti.

Príspevok vznikol s podporou grantového projektu VEGA č. 1/4023/07.

## LITERATÚRA

- BELIČKA, Š. 1981. Nová jaskyňa v Ponickom krase. Spravodaj SSS, 12, 3, 7, Liptovský Mikuláš.  
BELIČKA, Š. 1982. Pracovný zraz jaskyniarov v Ponickom krase. Spravodaj SSS, 13, 3, 31–33, Liptovský Mikuláš.

- BUČEKOVÁ, M. ET AL. 1998. Mezozoikum Zvolenskej kotliny a severozápadnej časti Veporských vrchov – hg. rajón MG-078, Vyhľadávací hydrogeografický prieskum, Manuskript (archív Geokonzult, a. s.), Košice.
- DROPPA, A. 1999. Správa o výskume Ponického krasu. Spravodaj SSS, 4, 26–30, Liptovský Mikuláš.
- FINK, M. H. 1973. Mehrspachiger Lexikon der Karst und Hohlenkunde. Entwurf. Inter. Speleo. Union.
- GAAL, E. 2006. Podarí sa zachrániť Ponickú jaskyňu? Aragonit, Časopis SSJ, č. 11, 40–42.
- JAKÁL, J. 1984. Problémy ochrany krasových oblastí Slovenska. Životné prostredie, 18, 1, 10–13.
- JAKÁL, J. 1993. Karst Geomorfology of Slovakia. Typology. Geografica Slovaca, 4, Bratislava, 38 s.
- JAKÁL, J. 1975. Kras Silickej planiny. Osveta Martin, 152 s.
- JAKÁL, J. 2000. Polja a paleopolja v krasovom reliéfe Slovenska. Zborník referátov z 1. konferencie Asociácie slovenských geomorfológov, 61–64.
- JAKÁL, J. 2004. Krasová krajina a človek. Geografia, 1, 17–21.
- KODĚRA, M. ET AL. 1990. Topografická mineralógia Slovenska. (Veda) Bratislava, 1098 s.
- LENČO, V. 1956. Ponický, Môlčanský a Lehotský kras. Ochrana prírody, 11, 1, Praha, 21–29.
- LENČO, V. 1957. Krasový útvar „polje“ v krasovom území chotára Slovenskej Lupče. Krásy Slovenska, 34, 208–210.
- MAZÚR, E. – LUKNIŠ, M. 1978. Regionálne geomorfologické členenie SSR. Geografický časopis, 2, 101–125.
- MICHAL, P. 2005. Drienocká vrchovina ako krasová krajina. Geografické štúdie 13, (FPV UMB) Banská Bystrica, 72 s.
- MICHAL, P. 2005. Hydrológia a hydrografia Drienockej vrchoviny ako krasovej krajiny. Geografická revue, 1, 1, 44–57.
- MICHAL, P. 2005. Vymedzenie Drienockej vrchoviny ako krasovej krajiny. In: Geografické aspekty stredoevropského priestoru. Geografie XVI, (PF MU) Brno (50–57).
- SLAVKAY, M. 1963. Ponický kras. Slovenský kras, 4, 57–69.
- ŠILAR, J. 1968. Tektonické zdvihy a jejich vliv na vývoj krasu u Ponik jihovýchodně od Banské Bystrice. Československý kras, 19, 69–80.
- ŠILAR, J. 1968. Zpráva o barvíci zkoušce provedené na Drienku u Ponik JV od Banskej Bystrice. Československý kras, 17.

## THE PONICKÝ AND LEHOTSKÝ KARST OF THE DRIENOCKÁ VRCHOVINA HIGHLAND

### S u m m a r y

In Slovakia there is a large scale of morphological types of karst. One of them, to which also belongs an investigated territory, is the type of dissected karst of massive ridges, karst and combined fold-fault structures.

In the Ponický Karst of the Drienocká vrchovina Highland are represented all important forms and phenomena, which are connected with the surface karstness fluvial-karstic processes except for polje.

We can find here also the forms that are connected with underground karstic processes. A unique karstic formation is here a karstic border plain with karstic border dolines that borders the east bottom of the Drienok (606 m) between Poniky and Oravce.

The high degree of karstness with representation mainly depressive forms as: karstic dolines, dry karstic valleys, polje is typical for the Lehotský Karst. The deep canyon valleys are not represented here. A unique phenomenon are polje, from which Pôľe and is the most developed.



SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	315 – 324	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## PRÍSPEVOK K FORMÁM MODELÁCIE HRUŠOVSKÉJ JASKYNE

JOZEF PSOTKA

Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Liptovský Mikuláš, pracovisko Košice, Ďumbierska 26, 040 01 Košice; jozef.psotka@gmail.com

### J. Psotka: Contribution to study of modelation of the Hrušovská Cave

**Abstract:** Hrušovská cave in Slovak Karst, listed in the UNESCO World heritage, represents branching, 780 m long resurgence cave with active stream. It consists of vadose and epiphreatic passages developed in three levels. Vadose passages are typical narrow canyons with features of fluvial modelation of open channel stream: rock knives, cers, wall pockets, scallops. Epiphreatic passages show signs of flooding: floodwater fissures, ceiling pockets. Most upper tier of the cave contains remarkable speleothems – helictites, which grew out along several meters long fissures. Genesis of the cave is associated with groundwater recharge into sinkholes on the surface of western part of the Horný vrch plateau and most eastern part of the Silická plateau.

**Key words:** Hrušovská Cave, Slovak Karst, cave morphology, cave rocky relief, speleogenesis

### ÚVOD

Národná prírodná pamiatka Hrušovská jaskyňa patrí medzi najvýznamnejšie jaskyne Slovenského krasu, ktoré objavili dobrovoľní jaskyniari Slovenskej speleologickej spoločnosti. V roku 1995 bola zapísaná do zoznamu svetového prírodného dedičstva UNESCO (Bella a Klinda, 1996). Napriek tomu je tejto jaskyni venovanej veľmi málo literatúry, na čo upozorňuje už Cílek (2003). V rámci pracovnej úlohy zahrnutej do Plánu hlavných úloh Slovenského múzea ochrany prírody a jaskyniarstva som sa v rokoch 2007 – 2008 zaoberal štúdiom morfológie jaskyne, najmä fluviálne modelovaného skalného reliéfu. V príspevku podávam prehľad doterajších výskumov, základný opis morfológie jaskyne, tvarov skalného reliéfu a vyjadrujem sa aj k jej speleogenéze a speleologickým perspektívam.

### PREHLAD VÝSKUMOV

Jaskyňu objavili R. Boroš a T. Lazár v 1978 výkopom nad miestom povodňového výveru vyvieračky Eveteš. O objave jaskyne informuje Erdős (1978) v Spravodaji SSS a Buzinkay (1979) v Krásach Slovenska. Opis objavu, veľmi stručný speleologický opis jaskyne a jej pôdorys publikovali Boroš a Ščuka (1984). Udávajú dĺžku jaskyne 780 m. Predbežné výsledky výskumu fosfátových minerálov a klastických sedimentov jaskyne uvádza Cílek (2003). Zaujímavý typ speleotémy z tejto jaskyne (stegamit) opisujú Stankovič a Cílek (2005). V roku 2007 v jaskyni prebiehal geologický (L. Vlček, SSJ) a geomorfologický (J. Psotka, SMOPaJ) výskum a klimatický (J. Zelinka, SSJ) a hydrologický (D. Haviarová, SSJ) monitoring pokračoval aj v roku 2008.

### POLOHA, GEOMORFOLÓGIA A GEOLÓGIA OKOLIA JASKYNE

Vyvieračka Eveteš sa nachádza v najvýchodnejšej časti Silickej planiny v Slovenskom krase, pod jej úpäťm, juhovýchodne od sedla Soroška. Hlavný výver je zachytený do vodovodnej siete. Podľa Orvana (1984) má odtok prameňmi kombinovaný so skrytým odtokom. Orvan (1994) udáva jej výdatnosť 6 – 680 l/s, Hanzel (1997) udáva 4,8 – 673 l/s

(pozorované 1963 – 1972). V čase mierne zvýšeného prietoku 16. 4. 2008 bol aktívny aj výver na upätí sutinového kužeľa pod vchodom. V zasutinenom svahu pod vchodom sa nachádza viacero suchých výverových miest, aktívnych v čase veľkých povodní. Výkopové práce jaskyniarov nad najvyšším povodňovým výverom viedli k objavu jaskyne (Buzinkay, 1979). Vchod do jaskyne je vo výške 288 m, západne od mohutného antropogénneho sutinového kužeľa, ktorý ostal po vyrazení železničného tunela Soroška. Geologickú stavbu okolia jaskyne tvoria karbonáty silického príkrovu. Jaskyňa je vytvorená v svetlosivých rífových wettersteinských vápencoch veku ladin – kordevol (podľa geologickej mapy Mello, et al., 1996). Podľa geologickej mapy sa vápence v oblasti vyvieracky stýkajú na zistenej prešmykovej štruktúre (v tejto oblasti SV/JZ smeru) s horninami spodného triasu – sinskými vrstvami (spodný namal – sp. a stredný spat) zastúpenými prevažne bridlicami a slienitými vápencami. Z vyvierajúcich krasových vôd počas holocénu sedimentovali travertíny, ktoré vytvorili južne od výveru terasu s mocnosťou okolo 10 m (Pristaš in Mello, et al., 1997), ktorá bola odčlenená v minulom storočí.

## ZÁKLADNÁ CHARAKTERISTIKA A MORFOLÓGIA JASKYNE

### Pôdorysná štruktúra jaskyne

Pôdorysná štruktúra jaskyne je zrejماً z publikovaného pôdorysného plánu Buzikaya et al. (in Boroš a Ščuka, 1984). Jaskyňa pozostáva zo subhorizontálnych, vadóznych i epifreatických chodieb, ktoré sa stretávajú vo forme prítokov. Tých je v smere po prúde menej a sú generálne menšie ako hlavná chodba jaskyne. Ide o rozvetvený typ pôdorysnej štruktúry („branchwork pattern“). Rozvetvené jaskyne sú najviac rozšíreným typom a predstavujú podzemné ekvivalenty stromovitých riečnych sietí (Palmer, 1991). Najnižšie poschodie jaskyne predstavujú aktívne epifreatické chodby *Ave Maria*, *Mokrá chodba* a vadózny kaňon *Meander*, ktorý ústi do *Dómu fundovaných*. Pred ústím Meandra do Dómu fundovaných naberá tok dynamický spád zásluhou výškového rozdielu medzi odtokovým sifónom v Dóme fundovaných a dnom horizontálneho úseku chodby Meander. Vyššie poschodie predstavuje suchá *Rožňavská chodba* a *Dóm SSS* – tieto pozostávajú z vadóznych i epifreatických úsekov. Najvyšším poschodím jaskyne je *Dóm optimizmu* a z neho pokračujúca chodba.

## OPIS PRIESTOROV, SKALNÝ RELIÉF

### Vstupné časti, Dóm fundovaných

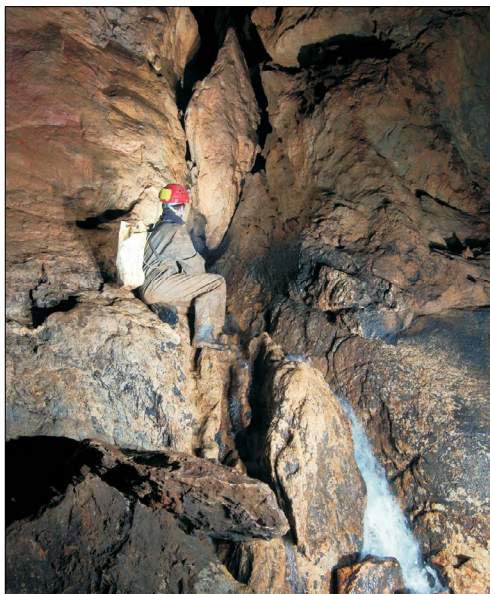
Vstupnú objavnú 2 m hlbokú šachticu vykopalí jaskyniari v stmelených svahových sedimentoch – sutinových brekciách. Ústi do nízkej sienky so zasutinenými odtokovými kanálmi, zo sienky pokračuje klesajúca plazivka – kanál s výškou len 0,5 – 1 m a šírkou 2 m, ktorý funguje ako povodňový výver v čase vysokých vodných stavov. Je vytvorený na uklonenej diskontinuite. Povrch jeho stien je hladký, bez výrazných ostrých výčnelkov, vyhlbení či prúdových jamiek. Kanál vyústi cez úzky prielez – okno pod sintrový nátekom do 7 m hlbokého priestoru, kde sa nachádza odtokový sifón. Hĺbku vody som nameral 5 m. Strop priestoru pokrývajú zvetrané stalaktity, na stenách sú povlaky povodňových kalov. Z tejto časti pokračuje úzka povodňová chodba s ostrými drobnými výbežkami stien, vytvorená na zvislých poruchách, do Dómu fundovaných. Na východnej stene dómu sa prejavuje výrazná zlomová zóna smeru V – SV/Z – JZ. Dóm má rozmery 15 × 10 × 13 m (d, š, v). Bol rozšírený najmä procesmi rozpadu a rútenia horninových úlomkov a blokov. Dno dómu pokrývajú len najväčšie bloky, materiál menšej frakcie bol odplavený tokom. Blokové sedimenty boli a sú aj v súčasnosti rozrušované dynamickým vadóznym tokom, ktorý priteká kaskádou a dnovým zárezom zo severnej strany dómu. Vodný tok odteká pomedzi veľké bloky na najnižšie miesto dómu, kde je odtokový sifón. Horninové bloky na dne, ako aj steny dómu pokrývajú povlaky kalov („mud drapes“) až do výšky 5 m nad hladinou odtokového sifónu. Poukazuje



to na skutočnosť, že odtokové kanály aktívne pri bežných prietokoch nie sú schopné v čase povodní odvádzať množstvá vody, preto po výraznom zvýšení hladiny podzemnej vody v Dóme fundovaných sa aktivizujú povodňové odtokové kanály, ktoré sú ináč suché.

### Meander, Mokrá chodba

Po prekonaní menšej kaskády (obr. 1) nasleduje chodba s názvom *Meander*. Ide o typický aktívny vadózny kaňon – analógiu povrchových skalných tiesňav, ktorý bol vytvorený na subvertikálnych diskontinuitách vertikálnym zarezávaním vodného toku s voľnou hladinou. Výška tejto chodby viacnásobne prevyšuje jej šírku:  $\text{š/v} = 0,1 - 0,3$ . Lomenia a ohyby chodby sú na križovatkách subvertikálnych puklín, pozdĺž ktorých sa vytvárali jej jednotlivé úseky. Dno chodby je skalné, úplne bez sedimentov. Pred vyústením do Dómu fundovaných má chodba výšku 9 m pri šírke len okolo 1 – 1,5 m. Zo stien vystupujú skalné kulisy (s výškou aj niekoľko m) s ostrými výbežkami, skalnými nožmi a perforáciami. Z dna koryta vyčnievajú skalné výbežky (obr. 2), zvané čery (Slabe, 1995). Medzi skalnými kulisami je vytvorená menšia kaskáda (obr. 3). Vo vyšších častiach chodby sú stalaktity, sintrové nátekové formy, stalagmity. Pri meračskom bode (ďalej len m. b.) 14a je asi 8 m dlhý oválny výklenok, ktorého dno tvoria piesčité sedimenty. Je podzemnou analógiou abrázných výklenkov v skalných stenách kaňonov povrchových tokov. Ďalej pri m. b. 15 je výška chodby 5 m a tok na jej dne má charakter kaskád. Z dna chodby vystupujú čery a zo stien skalné kulisy. Za ohybom nasleduje úplne priamy 10 m dlhý úsek vadóznej chodby (obr. 4) s výškou 7 – 10 m a šírkou 0,7 – 1,5 m (maximálna šírka je 2 m). Povrch stien rozčleňujú sténové kapsy vytvorené na puklinách, drobné korózne výbežky. Lastúrovité prúdové jamky („scallops“) od 1,5 – 8 cm dĺžky sú vymodelované len na homogénnejších úsekoch stien, ktoré nie sú porušené sieťou puklín (obr. 5). Na stenách menších bočných výklenkov tesne nad tokom ale mimo dosahu silného prúdu sa nachádzajú fluktuálne záplavové žliabky („pulse flood grooves“, Bella a Urata, 2003). Do výšky 1 m nad hladinou sú steny celej chodby pokryté čiernou patinou (Mn oxidy?). Toto je zrejme úroveň, po ktorú v nej stúpa hladina podzemného toku pri zvýšených vodných stavoch. Vodný tok priteká



Obr. 1. Kaskáda na aktívnom toku – ústie chodby Meander do Dómu fundovaných. Foto: P. Staník

Fig. 1. Cascade on active stream – mouth of the Meander passage to Room fundovaných. Photo: P. Staník



Obr. 2. Výbežok skalného dna koryta – čery, v chodbe Meander. Foto: J. Psotka

Fig. 2. Jag from the rocky stream bed – cer, in the Meander passage. Photo: J. Psotka



Obr. 3. Menšia kaskáda a skalné kulisy pri vodnom toku – chodba Meander. Foto: P. Staník  
 Fig.3. Smaller cascade and rocky wings by the active stream – Meander passage. Photo: J. Psočka

z chodby zvanej *Mokrú chodba*, ktorá sa pripája na *Meander* z juhozápadu. Pri ústí chodby sú na stene fluktuatívne žliabky (obr. 6), zhora ohraničené hladinovým zárezom vo výške

0,75 m od hladiny toku. Poukazuje to na viackrát sa opakujúci vzostup hladiny podzemného toku na túto úroveň. *Mokrú chodba* má charakter epifreatickej chodby – v čase bežných vodných stavov funguje ako vadózna a v čase povodní je jej veľká časť zaplavovaná. Vytvorená je na uklonených puklinách smerov SZ/JV, SV – JZ a V – SV/Z – JZ. Na dne sú uložené prevažne jemnozrnné sedimenty – jemnozrnný piesok, kal a íl. Čílek (2003) opisuje z týchto sedimentov drobné, opracované limonitové konkrécie. Chodba sa končí vodným sífonom, kam priteká tok z chodby *Ave Maria* (Boroš a Ščuka, 1984).

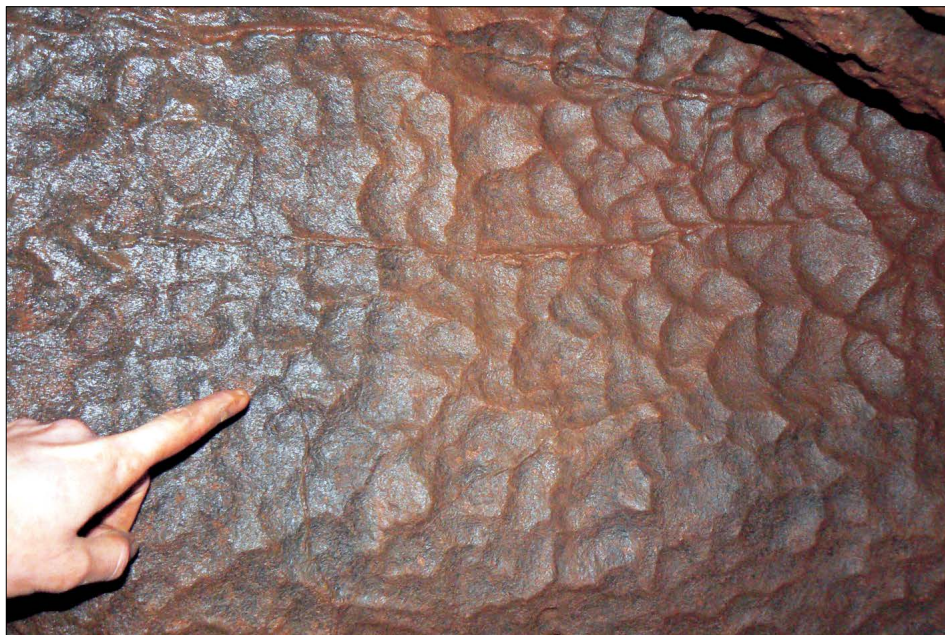


Obr. 4. Chodba Meander – typický vadózny kaňon. Foto: P. Staník  
 Fig. 4. Meander passage – typical vadose canyon. Photo: P. Staník

#### Rožňavská chodba

Od križovatky *Meandra* s *Mokrú chodbou* pokračuje ďalej suchá *Rožňavská chodba*. Po celej svojej dĺžke má prevažne charakter inaktívnej vadóznej chodby s výškou do 8 m a s epifreatickými úsekmi s výškou len 2,5 – 3,5 m. Pre vadózne úseky sú charakteristické ostré





Obr. 5. Lastúrovité prúdové jamky v Rožňavskej chodbe. Foto: J. Psotka  
 Fig. 5. Scallops in the Rožňavská passage. Photo: J. Psotka

skalné kulisy, čery a dnové hrnce. Na stenách sú korózne rozšírené pukliny a siete puklín až do podoby stenových káps („fissure pockets“). Povrch stien je prevažne veľmi nerovný – s ostrými výčnelkami a skalnými nožmi. Prúdové jamky sa vyskytujú veľmi zriedkavo, pretože steny sú nehomogénne a porušené sieťami puklín. Epifreatické úseky Rožňavskej chodby sú výrazne širšie ako jej úzke a vysoké vadózne úseky, charakteristické sú pre ne slepé stropné komíny a rozšírené pukliny oddelené skalnými visiakmi – pendantmi. V mieste, kde došlo k prekorodovaniu steny medzi dvoma stropnými komínmi, sa vytvorilo skalné okno. Medzi m. b. 23 – 24 je kanál miestami na hranici prieleznosti, po 20 m vyústi do asi 10 m dlhého priestrannejšej chodby, na konci ktorej je sifón (T. Máté, ústna informácia). Tieto priestory som neskúmal pre extrémne úzky priechod. Na mape Buzinkaya et al. sú len načrtnuté.

Guánovú koróziu sintrov v Rožňavskej chodbe a fosfátové minerály opísal Čílek (2003). Pri m. b. 29 sa Rožňavská chodba vetví do viacerých smerov. Odbočka k vodnej chodbe *Ave Maria* má charakter nízkej uklonenej epifreatickej chodby



Obr. 6. Pulzačné záplavové žľaby pri ústí Mokrej chodby do Meandra. Foto: J. Psotka  
 Fig. 6. Pulse flood grooves at the mouth of Mokrá passage to Meander. Photo: J. Psotka

so zachovanými drobnými prúdovými jamkami. Ústi nad prítokovým sífónom, kde je uviazaná aj stará vodiaca šnúra pre potápača. Vodnú chodbu *Ave Maria* som neskúmal, pretože je prístupná len plávaním alebo na člne. Končí sa asi po 70 m odtokovým sífónom, ktorý súvisí s prítokovým sífónom v *Mokrej chodbe* (Boroš a Ščuka, 1984). Od odbočky k *Ave Maria* pokračujú ďalej inaktívne epifreatické chodby. Sú tu dva typy: veľmi nízka (0,7 m), asi 5 m široká chodba a úzke, ale vyššie chodbičky na uklonených puklinách, s drobnými prúdovými jamkami na stenách. Je tu aj odbočka do priestorov, ktoré neboli zamerané. Za prielozom sa dostaneme do krátkeho úseku chodby charakteru menšieho kaňonu s dnom a stenami pokrytými fľovitými sedimentmi. Na jeho dne v čase vyššieho vodného stavu v jaskyni pritekal drobný prítok. Nad týmto miestom asi 3 m vyššie je ústie strmo ukloneného, extrémne úzkeho komína, na konci ktorého je zavesené staré lano. Na stenách komína som našiel pricementované reliktky nekrasových štrkov – vizuálne sa dajú odlíšiť drobné oblaky kremeňa a opracované limonitové konkrécie. V hlavnej chodbe pri m. b. 35 nasleduje opäť úsek vadózneho kaňonu s výškou 4 – 6 m a šírkou 0,5 – 1,3 m, dlhý okolo 15 m.

#### Dóm SSS a priestory okolo neho

Pri m. b. 38 je na kolmom krížení subvertikálnych diskontinuit smerov SV/JZ a SZ/JV vytvorený priestor s výškou 20 m. Spadá sem sintrový vodopád dlhý asi 11 m, z ktorého 5 m časť má zaujímavý valcovitý tvar. Smerom na SZ pokračuje *Dóm SSS*, dlhý 30 m s max. šírkou 5 m a výškou od 7 po 15 m. Dno je tvorené jemnozrnnými sedimentmi – prachovitými a piesčitými ílmi, typickými pre fluviokrasové jaskyne Slovenského krasu. Na východnej strane dómu je antropogénna halda týchto sedimentov, pozostatok po výkopových prácach rožňavských jaskyniarov. Sú tu dva pozoruhodné stalaktity s dĺžkami 5 a 6,5 m a tiež zoskupenie troch stalagmitov vysoké 1,5 m. Na JZ stene dómu sú na priečných subvertikálnych puklinách vytvorené stenové kapsy a výklenky, oddelené menšími pendantmi a skalnými nožmi (obr. 7). Mohutný, 4 m dlhý pendant vystupuje v JV časti dómu. V strope dómu je



Obr. 7. Stenové kapsy a pendanty v Dóme SSS. Foto: J. Psotka

Fig. 7. Wall pockets and pendants in Room of SSS. Photo: J. Psotka





Obr. 8. Korózne rozšírená diskontinuita – povodňová puklina. Foto: J. Psotka  
Fig. 8. Solutionally widened fracture – floodwater fissure. Photo: J. Psotka

kupola vysoká 6 m a tiež korózne rozšírená, „povodňová“ puklina (obr. 8). Steny dómu nenesú výrazné stopy procesov rútenia a ani na jeho dne nenájdeme uložené blokové sedimenty. Z Dómu SSS prejdeme do malej sienky (v – 4, š – 2,4 m). V strope je slepý 3,5 m vysoký puklinový komín charakteru stropnej kapsy. V strope prechodu do Dómu SSS je zaujímavý výklenok so stupňovitými plôškami zarovnaného stropu. V smere SZ pokračuje ešte 15 m dlhá a 2 m vysoká oválna chodba vytvorená na subvertikálnej pukline, ukončená nánosom jemnozrnných sedimentov. V strope sú korózne rozšírené slepé pukliny dlhé 1 – 2 m a drobné prúdové jamky do 2 cm. Na previsnutej stene je heliktitová výzdoba pokrytá kalom. Stará sonda rožňavských jaskyniarov odbočuje zo smeru prístupovej chodby na SV tesne pred jej koncom. V čase návštevy 16. 4. 2008 bola zaplavená vodou. Zo spomínanej malej sienky za Dómom SSS ešte vybieha smerom na JZ ďalšia menšia sieň. Na stene sú viditeľné pozdĺžne váloveckovité zárezy (Bella, 2004) v štyroch výrazných úrovniach. Nachádzajú sa tu tri stropné vrecia s výškami 2,5; 3,8 a 4 m, ktoré sa začínajú až nad najvyšším laterálnym zárezom. Na strmo ukлонenej pukline sa vytvoril slepý povodňový komín („floodwater fissure“) s dĺžkou 8 m. Zo speleotém sa v sieni vyskytujú stalaktity, brčka, stalagmit a heliktity.

#### Dóm optimizmu

Do najvyššieho poschodia jaskyne sa dostaneme výstupom po strmom sintrovom svahu, tesne pred odbočkou do dómu SSS. Nízkou (0,4 – 0,6 m) chodbou šírky 4,5 m sa dostaneme do Dómu optimizmu. Tento priestor má skôr charakter širokej chodby (5 – 8 m šírka), ktorá v pôdoryse viackrát mení smer. V strope tohto priestoru sú na subvertikálnych puklinách vytvorené viaceré slepo ukončené kapsy a korózne rozšírené pukliny s výškou do 6 m a šírkou 4 – 14 m. V miestach prechodov medzi kapsami sa strop znižuje na 1 – 1,5 m a na týchto úsekoch sú stropy zarovnané. Na stenách Dómu optimizmu je bohatý výskyt heliktitov, ktoré vyrastajú vo forme až niekoľko metrov dlhých pásov pozdĺž puklín. V minulosti boli

tieto speleotémy na niekoľkých miestach nenávratne poškodené neznámymi páchatelmi – zreteľné sú najmä stopy po sekaní. Útvar vo forme motýlieho krídla (foto na zadnej strane obálky Spravodaja SSS, 1982/1) odsekli a ukradli. Okrem heliktitov sa tu nachádzajú aj bežné speleotémy vytvorené z kvapkajúcej a stekajúcej vody: rôzne nátekové formy, skupiny stalaktitov, stalagmitov a stĺpov. Priestor Dómu optimizmu ďalej pokračuje na V – SV asi 15 m dlhou chodbou, ktorá sa lomí na JV a pokračuje ešte 25 m. Pred JV ukončením je chodba bohato vyzdobená: z podlahy vyrastá sintrový štít – stegamit (opis Stankovič a Cílek, 2005), sú tu dva sintrové bubny, množstvo brčiek, stalaktitov s výrastkami a excentriká – heliktity. V strope sú menšie slepo ukončené vrecia a kapsy. Chodba je v priamom smere uzavretá sintrovými nátekmi. Pre celé horné poschodie jaskyne je charakteristická výrazná korózia stien – až pol cm hrubá vrstva horniny je premenená na karbonátový prach, z toho vystupujú odolnejšie žilky kalcitu.

## POZNÁMKY KU GENÉZE JASKYNE

### Pôdorysná štruktúra, hydrografia, jaskynné úrovně

Pôdorysná štruktúra jaskýň („cave pattern“) je okrem geologických faktorov podmienená predovšetkým spôsobmi vstupu vôd (groundwater recharge) do krasového masívu (Palmer, 1991, 2007). Rozvetvený pôdorysný vzor jaskyne podľa Palmera (l. c.) poukazuje na to, že vody jej podzemného toku sa zbierajú v jednotlivých vstupoch s malou zbernou oblasťou, v tomto prípade v krasových depresiách (závrtoch) na povrchu planiny. Atmosférické vody, ktoré presakujú zónou epikrasu, sa nižšie koncentrujú do vertikálnych kanálov a šacht, klesajúcich vadóznych priestorov alebo aj do „visutých“ rúrovitých chodieb („perched tubes“). Jednotlivé zdrojnice vôd tvoria prítoky, ktoré sa spájajú a formujú postupne väčšiu jaskynnú chodbu. V oblasti, ktorú pravdepodobne odvodňuje výver Eveteš (západná časť Horného vrchu a najvýchodnejší výbežok Silickej planiny), sa speleologickým prieskumom zatiaľ nepodarilo preniknúť z povrchu planiny do týchto priestorov. Nachádza sa tu však viacero výrazných povrchových krasových foriem, ktoré majú spojitosť s podzemím alebo na podzemné skrasovatenie poukazujú. Sú to: ponory v okolí Mútnej studne, pás krasových jám od ponorov smerom na JZ a viaceré reliktné krasové formy. V spomínanom páse, ktorý je výrazne povrchovo skrasovatený, sa nachádza aj niekoľko priepastí a menších jaskýň. Komunikáciu jaskyne s povrchom planiny nepriamo potvrdzuje aj nález zaoblených limonitových konkrécií a klastického K – živca a plagioklasu vo fluvialných sedimentoch jaskyne (Cílek, 2003) či drobné obliaky kremeňa v scementovaných reliktoch štrkových sedimentov, nájdené autorom príspevku v nezameranom komíne. Stopovacou skúškou (Orvan, 1994) bola preukázaná hydrologická súvislosť Hrušovskej jaskyne s priepasťou Lipovnický Veľký Zombor (Jablonovská priepasť). Boroš a Ščuka (1984) rozoznávajú v jaskyni tri horizonty – najnižší predstavujú chodby na úrovni aktívneho toku, stredný suchá Rožňavská chodba a najvyšší horizont Dóm optimizmu. Keď uplatníme princíp superpozície a predpokladáme vývoj jaskyne pri znižovaní eróznej bázy, respektíve pri vyzdvihovaní masívu, za najmladšiu môžeme pokladať úroveň s vodným tokom, za relatívne staršiu vyššie ležiacu Rožňavskú chodbu a najstaršiu úroveň predstavuje Dóm optimizmu a súvisiace chodby v jeho úrovni.

### Genéza „povodňových“ puklín a stropných káps

Korózne rozšírené, slepo končiacie pukliny s výškou aj niekoľko metrov („floodwater fissures“) sú v jaskyni rozšírené najmä v epifreatických úsekoch chodieb, ktoré boli v čase povodní zaplavované až po strop. Vznikali pri záplavách jaskyne injekciou povodňových vôd do prístupných diskontinuit (puklín, diabláz a iných diskontinuit) a ich koróznym rozširovaním (Palmer, 2007). Palmer ich zaraďuje medzi tvary vytvorené injekciou povodňových vôd („floodwater injection features“). Smerom od riečnej chodby sa zužujú a končia sa slepo,



pretože voda po opadnutí povodne rýchlo odtečie (Palmer l. c.). Stropné pendanty obyčajne oddeľujú jednotlivé povodňové pukliny. Stropné vrecia a „vzduchové“ kapsy v jaskyni tiež nachádzame na miestach, ktoré boli zaplavované po strop. Kapsy majú väčšinou oválny prierez a môžu, ale nemusia byť vytvorené pozdĺž puklín. Bögli (1980) pripisuje ich vznik výlučne efektu zmiešanej korózie, keď dochádza k miešaniu vôd s rôznym chemickým zložením. Lismonde (2000) spája ich vznik s koróziou vodnej hmly pri stláčaní uzatvoreného vzduchu: Stúpajúca hladina vody uzatvára vzduch v stropných kapsách, tlak CO<sub>2</sub> stúpa. Stláčanie vzduchu je takmer izotermický dej, pričom sa vytvára hmla. Kvapôčky hmly procesom difúzie zachytávajú CO<sub>2</sub>. Prenos CO<sub>2</sub> zo vzduchu do kvapiek a následne do vody vyvoláva silnú koróziu vápenca.

## SPELEOLOGICKÉ PERSPEKTÍVY

Rožňavskí jaskyniari vykonávali po objave jaskyne výkopové práce na najvzdialenejšom mieste jaskyne – na konci chodby, ktorá pokračuje z Dómu SSS. Podľa charakteru a objemu vyťažených sedimentov (súdržné a silno lepkavé prachovité a piesčité íly) muselo ísť o značne namáhavú prácu. Vykopaný priestor sa konci chodby sa zvykne zaplavovať. Je veľmi ťažké posúdiť perspektívu tohto pracoviska a nemožné odhadnúť rozsah prác potrebných na prienik ďalej. V najvyššej úrovni – v Dóme optimizmu, jaskyniari kopali v oválnej chodbičke smerujúcej na SZ. Smer je to priaznivý, ale chodbu vyplňajú sedimenty až po strop. Možno by stálo za pokus urobiť lezecký traverz smerom na JZ vo vertikálnom priestore, ktorý prepája Dóm optimizmu s nižším poschodím jaskyne (chodbou pred Dómom SSS). V blízkosti m. b. 32 je prechod do puklinovej chodby, na ktorej dne priteká zo severu spod akejsi kulisy z hliny a balvanov drobný občasný prítok. Nad týmto miestom je v hline okno, ktorým vidieť do priestoru za kulisou. Medzi m. b. 23 a 24 je odbočka do extrémne úzkeho kanálu, ktorý vyústi do kratšej chodby s prítokovým sifónom. V čase veľkých vodných stavov odtiaľ priteká tok. Priestory sú v mape z článku Boroša a Ščuka (1984) len načrtnuté, zamerali ich až T. Máté s V. Kóňom v zime 2003 (T. Máté, ústna informácia). Pre veľmi ťažký prístup ich už viac neskúmali, ale T. Máté koncový sifón pokladá za perspektívne miesto na prienik. Potápačský prieskum jaskyne vykonával poľský potápač, prítokový sifón v chodbe Ave Maria sa mu prekonať nepodarilo (Hochmuth, 2000). Z literatúry nie sú známe ďalšie pokusy o jeho preplávanie.

## ZÁVER

Hrušovská jaskyňa predstavuje rozvetvenú výverovú jaskyňu, ktorá pozostáva z vadóznych i epifreatických úsekov chodieb, ako aj niekoľkých priestorov charakteru dómov či siení. Najnižším poschodím preteká aktívny tok. Pre vadózne chodby sú charakteristické skalné kulisy, čery – ostré skalné výbežky z dna, drobné kaskády, stenové kapsy a miestami prúdové jamky. Epifreatické úseky chodieb majú znížený strop, často so slepými puklinovými komínmi oddelenými skalnými visiakmi – pendantmi. Najvyššia úroveň jaskyne je bohato vyzdobená, vzácne sú predovšetkým speleotémy rastúce z kapilárnej vody – helikity a ojedinelý sintrový štít vyrastajúci z podlahy (stegamit).

## LITERATÚRA

- BELLA, P. 2004. Laterálne výklenky a zárezy vyhlbené v skalných stenách jaskýň. *Aragonit*, 9, 9–19.
- BELLA, P. – KLINDA, J. 1996. Svetové prírodné dedičstvo v Slovenskej republike. *Slovenský kras*, 34, 177–181.
- BELLA, P. – URATA, K. 2003. Fluktuácne záplavové a postzáplavové vertikálne žľaby v jaskyniach – základné poznatky a typológia. *Aragonit*, 8, 10–14.
- BÖGLI, A. 1980. *Karst hydrology and physical speleology*. Springer-Verlag, Berlin.
- BOROŠ, R. – ŠČUKA, J. 1984. Hrušovská jaskyňa. *Slovenský kras*, 22, 169–175.
- BUZINKAY, A. 1979. Nová jaskyňa v Slovenskom krase. *Krásy Slovenska*, 56, 1, Bratislava, 20–23.

- CÍLEK, V. 2003. Mineralogické výzkumy v Hrušovské jeskyni ve Slovenském krasu. *Slovenský kras*, 41, 225–27.
- ERDŐS, M. 1978. Nová jaskyňa v Slovenskom krase. *Spravodaj SSS*, 2, Liptovský Mikuláš, 33.
- HANZEL, V. 1997. Hydrogeologické pomery. In J. Mello (Ed.): *Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského krasu*. Geologická služba SR, Bratislava.
- HOCHMUTH, Z. 2000. Problémy speleologického prieskumu podzemných vodných tokov na Slovensku. *Slovenská speleologická spoločnosť*, 164 s.
- LISMONDE, B. 2000. Corrosion des coupoles de plafond par les fluctuations de pression de l'air emprisonné. *Karstologia*, 35, 1, 39–46.
- MELLO, J. – ELEČKO, M. – PRISTAŠ, J. – REICHWALDER, P. – SNOPKO, L. – VASS, D. – VOZÁROVÁ, A. 1996. Geologická mapa Slovenského krasu 1 : 50 000. Geologická služba SR, Bratislava.
- MELLO, J. – ELEČKO, M. – PRISTAŠ, J. – REICHWALDER, P. – SNOPKO, L. – VASS, D. – VOZÁROVÁ, A. – GAÁL, L. – HANZEL, V. – HÓK, J. – KOVÁČ, P. – SLAVKAY, M. – STEINER, A. 1997. *Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského krasu 1 : 50 000*. Geologická služba SR, Bratislava, 255 s.
- ORVAN, J. 1984. Podmienky využívania a ochrany podzemných vôd Slovenského krasu. Zborník referátov z VIII. celoštátnej hydrogeologickej konferencie, Geologický ústav Dionýza štúra, Bratislava.
- ORVAN, J. 1994. Podzemné vody. In M. Rozložník – E. Karasová (Eds.) *Slovenský kras, Chránená krajinná oblasť – biosférická rezervácia*. 225–234.
- PALMER, A. N. 1991. Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin*, 103, 1, 1–21.
- PALMER, A. N. 2007. *Cave geology*. Cave books, Dayton – Ohio, 454 s.
- SLABE, T. 1995. Cave rocky relief and its speleological significance. *ZC Sazu*, Ljubljana, 128 p.
- STANKOVIČ, J. – CÍLEK, V. 2005. Stegamites: first finds of the unusual cave formations in Slovakia. *Bulletin of Slovak speleological society*, 31–35.

## CONTRIBUTION TO STUDY OF MODELATION OF THE HRUŠOVSKÁ CAVE

### S u m m a r y

Hrušovská cave in the Slovak karst was discovered by digging above overflow branch of karst spring Eveteš in 1978 by cavers of Slovak speleological society. Cave is listed in the UNESCO World heritage because of its natural values which are representative among caves of the Slovak Karst. Cave is 780 m long, with active stream and consists of vadose and epiphreatic passages developed in three levels. Cave has branchwork pattern, passages are organized like tributaries. Vadose passages are typical narrow canyons with features of fluvial modelation of open channel stream: rock knives, cers, wall pockets, scallops, floodwater vertical rills. Epiphreatic passages show signs of complete flooding: frequent are floodwater fissures and ceiling pockets. Most upper tier of the cave contains remarkable speleothems – helictites, which grew out along several meters long fissures. Fluvial sediments in cave comprise of muddy sands, clayey silts, and occasionally fine gravel. Breakdown deposits are present in the hall near the entrance with exposed fault zone. Genesis of the cave is associated with groundwater recharge into sinkholes on the surface of western part of the Horný vrch plateau and most eastern part of the Silická plateau and development of flow paths to Turňa Basin. Despite they were not yet discovered and explored we presume existence of drawdown vadose passages from sinkholes on the plateau, which join each other and form larger passages downstream.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	325 – 331	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## ORIGIN OF A UNIQUE TREE-MOULD TYPE CAVE IN TRAVERTINE BASED ON EXAMPLES FROM THE VILLAGE OF LÚČKY (LIPTOV, SLOVAKIA)

MICHAŁ GRADZIŃSKI

Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, Oleandry Str. 2a, 30-063 Kraków, Poland;  
michal.gradzinski@uj.edu.pl

**M. Gradziński: Origin of a unique tree-mould type cave in travertine based on examples from the village of Lúčky (Liptov, Slovakia)**

**Abstract:** Three small but unique tree-mould caves have been recognized in an inactive travertine quarry in the village of Lúčky. The caves originated due to encrustation of tree trunks by a travertine. The trunks representing most probably ash were introduced and wedged in a travertine depositing stream during the last interglacial. They were immediately encrusted by vigorously growing travertine. Subsequently, the wood tissue decayed and voids, which constitute the caves, were formed. The caves were almost not filled with speleothems due to the compact and non porous travertine crust, formerly covering the tree bark. The crust prevented the caves from seeping of water saturated with calcium carbonate. It is very probable that caves of such origin occur in other travertine/tufa outcrops; however, their origin has not been explained so far.

**Key words:** primary caves, tree trunk encrustation, travertine, tufa

### INTRODUCTION

Primary caves are penetrable voids originated simultaneously with a host rock. Such caves are recognized in three different rock types. The most spectacular and spacious are those formed in volcanic rocks. The second type is represented by primary voids in growing reefs. The third one comprises caves in tufa or travertine deposits. Within the latter type the most known are caves developed due to progradation and overhanging of calcareous deposits forming curtain below the head of a cascade. Genetic model of progradation of tufa curtain was presented by M. Pedley (1990, fig. 2). The examples of these caves are provided by A. Pentecost (2005, p. 73) from different countries all over the world.

The list includes Anna-barlang at Lillafüred (Hungary), Olgahöhle at Honau (Germany) and Huangguosho Falls Cave in China. Other examples were recognized in Switzerland – Höllgrotte (Bögli, 1980), India (Das and Mohanti, 2005) and Turkey (Dipova and Doyuran, 2006). P. Bella (2005) described six caves originated in a similar way in Slovakia; however, some of them are later modified by other processes. One more, not described so far, occurs behind the famous cascade in the village of Lúčky. It was discovered during a geological field-work in October 2003.

Tree-moulds represent a different type of primary caves. They are known mostly from volcanic and pyroclastic rocks. L. Gaál et al. (2004) and P. Bella and L. Gaál (2007) presented a detailed description of their origin and a genetic classification. Such caves are recognized in Japan, Hawaii as well as in Slovakia. Slovakian examples are described, for instance, by L. Gaál (2002) and L. Gaál et al. (2004). Similar caves can also exist in calcareous tufas and travertines. The tree-moulds caves in calcareous tufas or travertines have not been characterized in literature so far. However, it is very probable that they were mentioned in

some notes published in several journals issued by caving clubs, but probably without genetic interpretation. The only published information upon such caves which is known to the author was given by L. Gaál (2002) and P. Bella and L. Gaál (2007); however, the caves are not described in details. P. Bella (2005) also mentioned that tree-moulds constitute some part of Jelenecká Cave (Jelenecká jaskyňa).

Three small tree-mould caves were found by the author in an old abandoned travertine quarry in the village of Lúčky during the geological field work in August 2007. The aim of this paper is to describe the caves and present some remarks on their origin.

## GEOLOGICAL BACKGROUND

An extensive complex of travertines is known from the vicinity of the village of Lúčky (Liptov, Slovakia). J. Vaškovský and V. Ložek (1972) distinguished three series of travertines of different age within the above complex. The travertines hosting tree-mould caves represent the series occurring between the village and spa. They crop out in an old, abandoned quarry located west of the village cemetery. The travertines display cyanobacterial and/or algal stromatolites and contain oncoids, numerous imprints of higher plants – leaves, twigs, branches – as well as rich assemblage of mollusk fauna (see also Němejc, 1928). Despite their structures typical of calcareous tufa, the travertines during growth were predominantly fed by CO<sub>2</sub> of deep origin, which has been proved by the stable isotope analysis (Gradziński et al., 2008). Therefore, the name travertine instead of calcareous tufa is consecutively used in this paper (see Ford and Pedley, 1996; Pentecost, 2005 for terminological discussion). J. Vaškovský and V. Ložek's (1972) basing on malacofaunal assemblage and geomorphological criterion ascribed the origin of these travertines to the last interglacial. This statement was confirmed by Gradziński et al. (2008) by means of uranium series dating of travertine.

## DESCRIPTION OF CAVES

The caves are located in the western part of the inactive quarry situated west of the cemetery (Fig. 1). The entrance of the lower cave is above 1.7 m drop. The entrance of the upper cave is approximately 2.5 m above the lower one and it is invisible from the bottom of the quarry. The inclined shelf leads to it. The third cave is located in the steep slope in the westernmost part of the quarry.

At present the lower cave is 3.5 m long (Fig. 2). However, it must have been at least 1.5 m longer, which is indicated by a bark imprint located outside the cave as its continuation (Fig. 3). The outer parts must have been destroyed during the exploitation of the travertine. The cave has irregular cross-section, especially in its entrance part. It can be due to selective dissolution or exploitation of travertine. In the deeper part the cave displays more regular cross-section with ceiling and walls constituting an almost circular line. Some coralloids are formed inside the cave.

The upper cave is 3.5 m long (Fig. 2). It shows perfectly a regular cross-section, especially in the entrance part (Fig. 4). The entrance itself is almost circular, with heights of 0.4 m and widths of 0.45 m. The cave walls are ideally smooth, being the perfect imprint of smooth tree bark. The middle part is narrowed by a wedge of travertine hanging from the cave ceiling, whose shape mirrors the structure of a tree tissue. In the end the cave ceiling keeps circular shape, while the bottom part is filled with travertine.

The length of the third cave, whose entrance displays semicircular shape, is 2.5 m (Fig. 2). The bottom part is filled with soil and travertine debris. In the end the narrow tubular impenetrable void is a continuation of the cave. Thin flowstone crust and some coralloids are formed inside the cave.

To the best of the author's knowledge the caves have not been mentioned in the literature so far. Therefore, their new names can be put forward. The lower one is proposed to be called – Dolná stromová jaskyňa v Lúčanskom lome (Lower tree-mould cave in the Lúčky

quarry), the upper one – Horná stromová jaskyňa v Lúčanskom lome (Upper tree-mould cave in the Lúčky quarry) and the third one – Malá stromová jaskyňa v Lúčanskom lome (Small tree-mould cave in the Lúčky quarry). To clear the situation up, another cave has been known from the area of Lúčky. It was described in an unpublished report by P. Mitter (1979), and subsequently included in the official list of Slovak caves (Bella et al., 2007) under the name of Čiapka. P. Mitter (1979) characterized it as a cave developed between blocks of travertines and formed along fissures and bedding planes. Hence, one can suppose that the gravitational origin of the cave was postulated. However, P. Mitter (1979) also mentioned a void after a tree trunk of primary origin, existing in the middle part of the cave. The cave Čiapka is located approximately 100 m east of the tree mould caves described in this paper (Fig. 1).

### ORIGIN OF TREE-MOULD CAVES

The caves' shape and dimensions testified that they are moulds of tree trunks. F. Němejc (1928), on the basis of leaf imprint determination, listed the following tree species from the travertines cropping out in the quarry: *Pinus sylvestris*, *Betula verrucosa*, *B. pubescens*, *Picea excelsa*, *Fraxinus excelsior*, *Ulmus* sp. and *Acer pseudoplatanus*. The relief of the bark imprinted in the cave walls suggests that the trees had the bark of smooth relief. The diameter and shape of tree-moulds point to the diameter and shape of the tree trunks. Bearing it in mind and considering F. Němejc's (1928) lists, one can suppose that the trunks belonged to *Fraxinus excelsior* (ash) (Janusz Baryła – personal information, 2007).

The trees, most probably from a riparian forest, were downed by windthrow or bank erosion and introduced into the stream. They could be transported but not for a long distance, taking into account limited capacity of a travertine deposited stream. They were stabilized being probably wedged into irregularities of banks or a stream bed. Presently, the travertine beds dip approximately to the south. The dip ranges from 15° to 65°. It reflects primary dip of travertine stream-bed forming small rapids and cascades. The tree trunks display subparallel

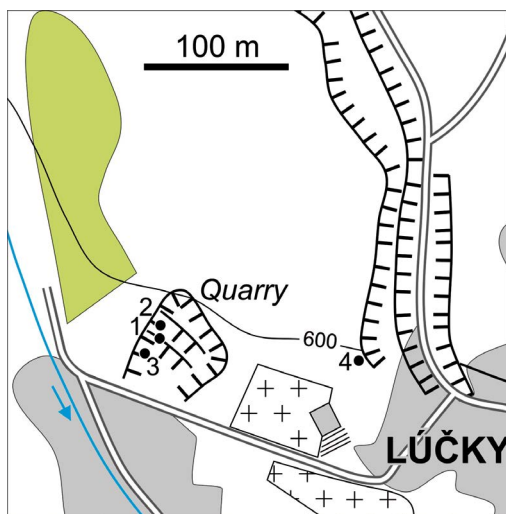


Fig. 1. Location of described caves: 1 – Lower tree-mould cave in the Lúčky quarry, 2 – Upper tree-mould cave in the Lúčky quarry, 3 – Small tree-mould cave in the Lúčky quarry; 4 – Čiapka cave

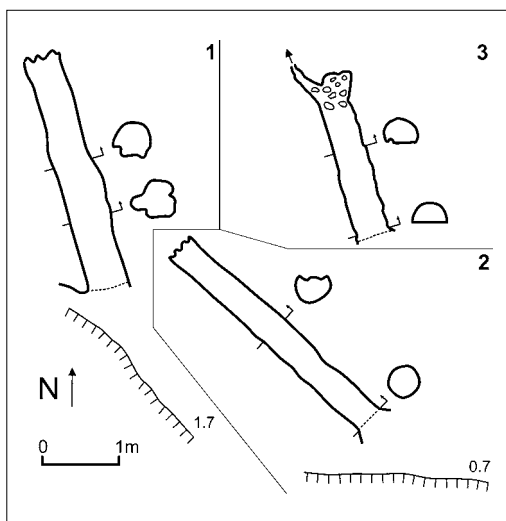


Fig. 2. Maps of described caves: 1 – Lower tree-mould cave in the Lúčky quarry, 2 – Upper tree-mould cave in the Lúčky quarry, 3 – Small tree-mould cave in the Lúčky quarry



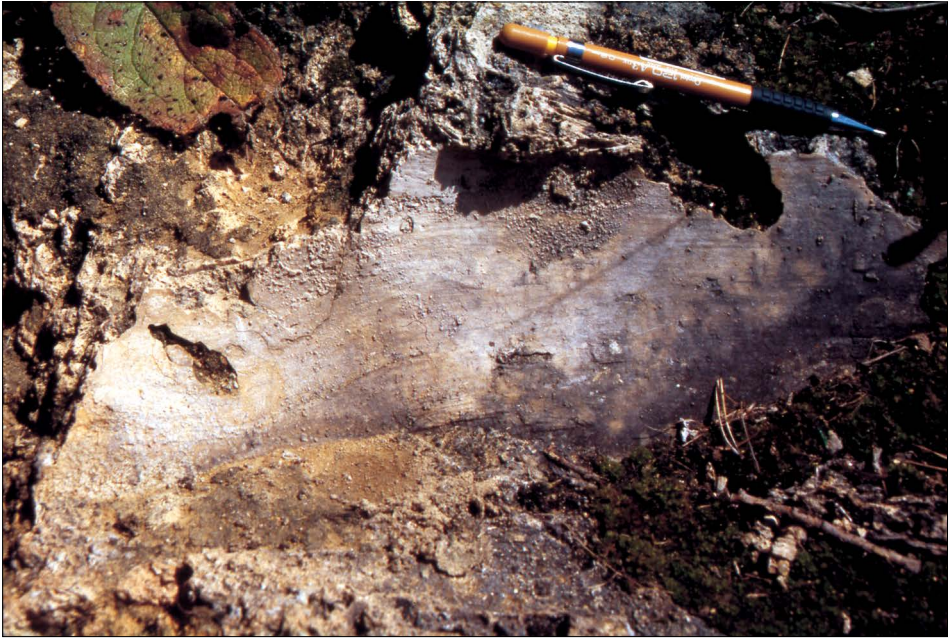


Fig. 3. Smooth imprint of tree bark near entrance of Lower tree-mould cave in the Lúčky quarry; pencil is 13 cm long



Fig. 4. Entrance of Upper tree-mould cave in the Lúčky quarry

orientation. The trunks were probably stabilized obliquely to the stream direction. Smaller tree fragments occurring in the same part of the quarry are more dispersed (Fig. 5).



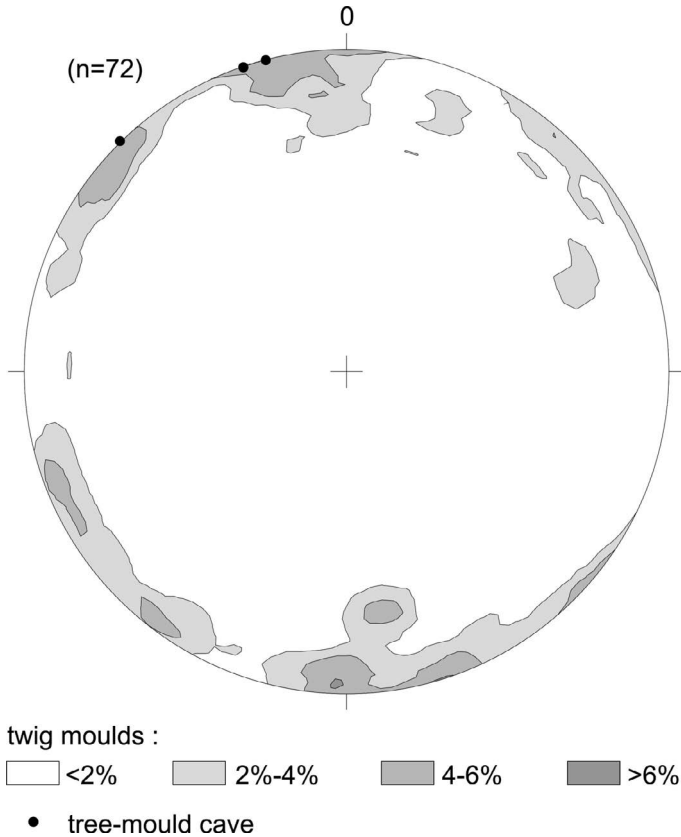


Fig. 5. Orientation of caves in contour diagram of twig moulds in the same travertine beds; equal area projection, lower hemisphere

After being stabilized the trunks were subsequently covered with the travertine. The internal structure of the first layer of travertine, up to 0.6 mm thick, deposited immediately on the tree bark shows compact crystalline fabrics of sparry isopachous fringe cement. The crystals constituting this layer show competitive growth patterns. It provides evidence that submerged tree bark acted as a nucleation surface for growing crystals. However, some microbial structures are also visible. It is probable that the trunks acted as natural dams pillled up the stream water which spilt over them.

M. Gradziński (2005) reported, on the basis of a field measurement, that at present rate of travertine growth in the stream flowing through the village of Lúčky exceeds 2.5 cm per year. One can suppose that travertines grew with a similar rate during the last interglacial times (Eemian, Riss/Würm), when travertines hosting tree-mould caves were formed (cf. Vaškovský and Ložek, 1972). Hence, the tree trunks, having been immediately – which means within a few weeks – encrusted with calcite, were incorporated into the mass of growing travertine. If they formed natural dams, as it was supposed above, the travertine growth on them might be especially vigorous and efficient (cf. Liu et al., 1995).

It is impossible to assess when the caves, that is the voids in travertine, were formed. The problem lies in the rate of decomposition of wood incorporated within travertine. Submerged wood has a residence time considerably greater than wood in a forest. The study conducted in Medicine Stream (Missouri) showed that a large tree trunk can persist in a stream up

to 10 thousand years (Guyette et al., 2002). Moreover, wood which is buried in sediments, decay even slower due to slower diffusion of oxygen to it. The breakdown rate of leaf litter in a hardwater stream with travertine deposition testified that travertine crust slows down and delays organic matter decomposition more effectively than fine grained clastic deposits (Cassas and Gessner, 1999). Thus, the discussed tree trunks were most probably rotten out completely a few or a dozen thousands of years after deposition of travertine. If so, assuming J. Vaškovský and V. Ložek's (1972) view about the travertine age, one can accept that the caves exists as voids for almost 100 thousand years. Obviously, they were opened due to the exploitation of travertine which was especially active before the 2nd World War, but still persisted in the last decades of the last century (Peter Holúbek – personal information, 2007).

Another question which can be posed is that of scarcity of speleothems within both caves. Their walls are almost bare excluding thin flowstone and some coralloids in the lower and small caves. It suggests that the caves are not prone to being filled with speleothems. It is contrary to many caves developed in travertines or tufas. For instance, Annabarlang and Höllgrotte are richly decorated show caves. Also Slovak caves described by P. Bella (2005) contain different extensively developed speleothems. One can presume that caves developed below prograding and overhanging tufa or travertine curtain experience constant supply of water, which seeps down through porous structure of the curtain. The water is oversaturated with calcium carbonate, which causes effective growth of different types of speleothems. Conversely, a tree-mould cave is covered by continuous travertine crust displaying very low permeability. It protects an underlying void from water seeping down and hence prevents it from being filled with secondary carbonate deposits.

The moulds after rotten out plant fragments are known from different travertine and tufa sites all over the world. They are particularly common in phytoclast and phytoherm tufa facies and are found in tufa barrages (terminology after Ford and Pedley, 1996). However, the majority of them has smaller dimensions and does not deserve to be referred to as caves (see Bella and Gaál, 2007, fig. 4). Many of them are a few or dozen centimetres across. To the best of the present author's knowledge, the only one void, which is comparable in dimensions to caves being described from Lúčky site, was announced from the French Alps by A. A. Ali et al. (2003, fig. 4B).

It seems that the situation in Lúčky, where highly mineralized water of deep circulation mixes with water related to shallow circulation derived by mountain stream, was particularly favourable for encrustation the tree trunks and subsequent creation of tree-mould caves. The channel dimension allowed introducing of tree trunks into the flowing water while the amount of water was huge enough to cover the trunks completely. Moreover, the supersaturation of water was high enough for the trunks to be almost immediately covered with solid layer of non porous travertine displaying crystalline fabrics which later, after rotting out of wood tissue, protected the voids from being filled with secondary carbonate deposits.

## CONCLUSIONS

1. Three small but unique tree-mould caves have been recognized in the inactive travertine quarry in the village of Lúčky.

2. They are formed due to encrustation of tree, probably ash, trunks by travertine. The trunks were introduced and wedged in travertine depositing stream during last interglacial. They are encrusted with growing travertine. Subsequently, the wood tissue decayed and voids, which presently constitute the caves, were formed.

3. The caves were not filled with speleothems due to compact and non porous travertine crust which prevent them from seeping of water saturated with calcium carbonate.

Acknowledgements. The study is financed by the Polish Ministry of Science and Higher Education grant 2P04D 032 30. The authorities of Krajský úrad Životného prostredia (Žilina),

and village of Lúčky are gratefully acknowledged for providing permissions for the field work. The author wishes to thank Ryszard Gradziński and Wojtek Wróblewski for their assistance during the field-work in the Lúčky quarry, Peter Holúbek for providing information about the exploitation of travertine in the Lúčky area, Janusz Baryła for the discussion on plant imprints as well as Renata Jach and Łukasz Gągała for preparing the figures. Ludovít Gaál is thanked for his thorough review.

#### REFERENCES

- ALI, A. A. – CARCAILLET, C. – GUENDON, J.-L. – QUINIF, Y. – ROIRON, P. – TERRAL, J.-F. 2003. The Early Holocene treeline in southern French Alps: new evidence from travertine formations. In *Global Ecology & Biogeography*, 12, 411–419.
- BELLA, P. 2005. Syngenetické travertínové jaskyne na Slovensku. In *Geomorphologia Slovaca*, 5, 23–29.
- BELLA, P. – GAÁL, L. 2007. Tree mould caves within the framework of cave genetic classification. In *Nature Conservation*, 63, 7–11.
- BELLA, P. – HLAVÁČOVA, I. – HOLÚBEK, P. 2007. Zoznam jaskýň Slovenskej republiky, Liptovský Mikuláš, Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, 362 p.
- BÖGLI, A. 1980. Karst hydrology and physical speleology. Berlin, Springer-Verlag, 284 p.
- CASAS, J. J. – GESSNER, M. O. 1999. Leaf litter breakdown in a Mediterranean stream characterised by travertine precipitation. In *Freshwater Biology*, 41, 781–793.
- DAS, S. – MOHANTI, M. 2005. Sedimentology of Holocene tufa carbonates in Orissa State, India. *Carbonates and Evaporites*, 20, 8–33.
- DIPOVA, N. – DOYURAN, V. 2006. Characterization of the Antalya (Turkey) tufa deposits. In *Carbonates and Evaporites*, 21, 144–160.
- FORD, T. D. – PEDLEY, H. M. 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. In *Earth-Science Reviews*, 41, 117–175.
- GAÁL, L. 2002. Príspevok k vzniku jaskýň následkom vyvetrávania stromov. In Bella, P. (Ed.): *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň*, Zborník referátov. Liptovský Mikuláš, Správa slovenských jaskýň, 58–63.
- GAÁL, L. – TACHIHARA, H. – URATA, K. 2004. Hot and cold way of origin of the tree mold caves. In *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Pseudokarst*. Liptovský Mikuláš, Slovak Caves Administration, 14–21.
- GRADZIŃSKI, M. 2005. Biological influence on growth of the modern travertines: results of field experiments carried out in Slovakia and Poland. In *24<sup>th</sup> Meeting of Sedimentology*. Muscat, 68.
- GRADZIŃSKI, M. – DULIŃSKI, M. – HERCMAN, H. – STWORZEWICZ, E. – HOLÚBEK, P. – RAJNOGA, P. – WRÓBLEWSKI, P. – KOVÁČOVÁ, M. 2008. Facies and age of travertines from Spiš and Liptov regions (Slovakia) – preliminary results. In *Slovenský kras*, 31–40.
- GUYETTE, R. P. – COLE, W. G. – DEY, D. C. – MUZIKA, R.-M. 2002. Perspectives on the age and distribution of large wood in riparian carbon pools. In *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 59, 578–585.
- LIU, Z. – SVENSSON, U. – DREYBRÖDT, W. – DAOXIAN, Y. – BUHMANN, D. 1995. Hydrodynamic control of inorganic calcite precipitation in Huanglong Ravine, China, Field measurements and theoretical prediction of deposition rates. In *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 3087–3097.
- MITTER, P. 1979. Zverečná správa. Reliéf na travertínoch Slovenska. (unpublished report). Múzeum slovenského krasu, Liptovský Mikuláš, 176 pp.
- NĚMEC, F. 1928. Palaeobotanical investigation in the travertine-complex around the village of Lúčky near Růžomberok in Slovakia. In *Bulletin international de l'Academie des Sciences de Bohême*, 37, 35, 1–19.
- PEDLEY, M. 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. In *Sedimentary Geology*, 68, 143–154.
- PENTECOST, A. 2005. *Travertine*. Berlin, Springer-Verlag, 445 p.
- VAŠKOVSKÝ, J. – LOŽEK, V. 1972. To the Quaternary stratigraphy in the western part of the basin Liptovská kotlina. In *Geologické Párce, Správy*, 59, 101–140.



SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	333 – 339	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## MONITORING MIKROPOHYBOV V JASKYNIACH ZÁPADNÉHO SLOVENSKA

MILOŠ BRIESTENSKÝ, JOSEF STEMBERK

Ústav struktúry a mechaniky hornín AV ČR, Vědecko výzkumní instituce, V Holešovičkách 41, Praha 8, 182 09, Česká republika; milos.b@post.sk

### M. Briestenský, J. Stemberk: Micromovements Monitoring in the Western Slovakia Caves

**Abstract:** During last two years department of Engineering geology of the Rock Structure and Mechanics AS CR, v.v.i. began to monitor a microdisplacements in six selected caves of the Western Slovakia region. The caves were chosen due to their close location to significant earthquake-prone fault structures affecting in their direction passages development and fresh sinter breaks as well. On purpose to observe the recent displacements, we used TM71 extensometric gauges developed by colleague B. Košťák at our department. Existing results, obtained from nine gauges, discovered sensitivity of the cave systems to recent stress changes. Moreover, displacement trends around 0.1 mm per year were registered as well. Such movements are significant for instance in Driny Cave (Smolenice karst), the most known show cave in the area, where fresh sinter breaks extensively occur. There were observed vertical and horizontal displacements gained by all three gauges installed here. Maximal vertical displacement of 0.3 mm was registered in a northwestern part across NNE – SSW trending fault, meanwhile the minimal vertical movements were observed in an eastern cave part. In addition, all NNE – SSW and NW – SE trending faults show strike-slip displacement trends of 0.1 mm per year max. Other five studied localities included in the extensometric net are: Cave Sedmíčka (Borinka karst), Čachtice Cave (Čachtice karst), Plavecká Cave (Plavecký karst), Cave Slopý and Zbojníčka Cave (Dobrá Voda karst). They also exhibit recent displacements across faults crossing the cave systems and reflect recent stress changes.

**Key words:** microdisplacements, caves, extensometric gauge TM71, active faults, Western Slovakia

### ÚVOD

Sledovanie recentných tektonických pohybov v jaskynných priestoroch patrí v súčasnosti medzi pomerne zriedkavé druhy štúdií. Porovnávaním vplyvu zlomových, prípadne svahových deformácií na formovanie krasových priestorov sa v oblasti Západných Karpát zaoberalo viacero autorov (pozri Briestenský a Stemberk, 2007) a priame dlhodobé sledovanie mikropohybov v jaskyniach sa začalo už v rokoch 1969 – 1972 (Lalkovič a Hatala, 1983). Na tieto merania nadviazali v roku 2001 inštaláciou jedného extenzometrického meradla TM71 v Demänovskej jaskyni slobody Petro a kol. (2005). Rovnaké meradlo sme použili i pre potreby monitoringu mikropohybov v jaskyniach Západného Slovenska. Ide o prístroj, ktorý dokáže merať mikropohyby s presnosťou 0,01 mm/rok v troch osiach a zároveň meria i rotácie v dvoch navzájom kolmých rovinách s presnosťou 0,00032 rádu (Košťák, 1991). Meradlo pracuje na opticko-mechanickom princípe, využívajúc tzv. moiré efekt. Výber vhodných lokalít spočíva predovšetkým na polohe jaskyne vo vzťahu k aktívnym zlomovým poruchám, prítomnosti zlomov v danom objekte a ich recentných prejavoch, hlavne porušením sintrovej výzdoby. Prvý prístroj v danej oblasti sa inštaloval v jaskyni Slopý roku 2005. Nasledovali inštalácie troch prístrojov v jaskyni Driny, jedného meradla v Zbojníckej jaskyni, dvoch v Plaveckej jaskyni a po jednom meradle v Čachtickej jaskyni a jaskyni Sedmíčka. V rámci siete extenzometrických meradiel boli inštalované i dve meradlá na povrchu na lokalitách

Dobrá Voda a Prekážka. Tým sa vytvorila sieť meradiel na sledovanie mikropohybov spojených so súčasťou tektonickou aktivitou oblasti Malých Karpát.

## SÚČASNÉ VÝSLEDKY

**Jaskyňa Driny** (Smolenický kras). Objekt je vyvinutý vo vápencoch Hlbočskej formácie na zlomových poruchách SZ – JV a SSV – JJZ smeru (Michalík et al., 1992). Menej sú tu zastúpené zlomy VSV – ZJZ orientácie. Lokalita bola vybraná pre čerstvé porušenia sintrovej výzdoby.

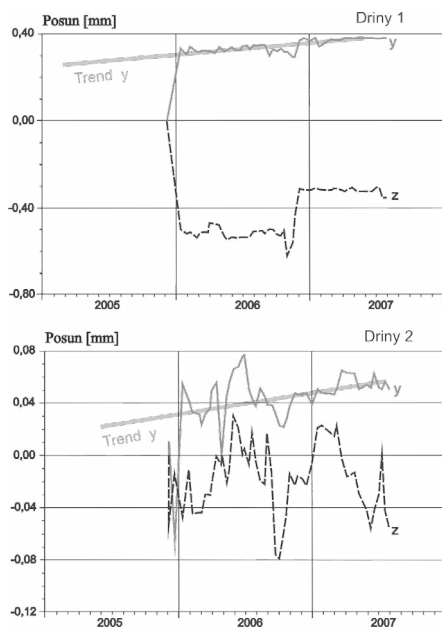
V roku 2005 sme v jaskyni inštalovali dve meradlá na poruchy SSV – JJZ smeru, korelujúce s tzv. Jahodníckym zlomom, a jedno meradlo na poruchu SZ – JV smeru, na ktorej je vyvinutá hlavná chodba a ktorej pravostranný horizontálny mechanizmus pohybu potvrdila i práca Michalíka a kol. (1992). Merania prebiehajú v 10- a 14-denných intervaloch.

Z doterajších meraní na prístroji Driny 1, osadenom naprieč poruchou  $290^{\circ}/70^{\circ}$  (smer sklonu / sklon), vyplýva trend v ľavostranných pohyboch s hodnotou trendu 0,05 mm/rok (graf 1).

V novembri 2006 sme na tomto zlome zachytili vertikálny pokles s hodnotou 0,3 mm, sprevádzaný malým ľavostranným bočným posunom s veľkosťou 0,07 mm. Pohyb teda nebol čisto vertikálny ale šikmý s vergenciou k západu.

Tento mechanizmus pohybu je možné vysledovať i z mikroštruktúrnych meraní na tektonických zrkadlách nachádzajúcich sa v sprístupnenej chodbe pod meradlom.

Meradlo Driny 2, osadené naprieč poruchou  $110^{\circ}/70^{\circ}$ , ukazuje rovnako pohybový trend v ľavostranných smerných posunoch s hodnotou 0,015 mm/rok (graf 1).



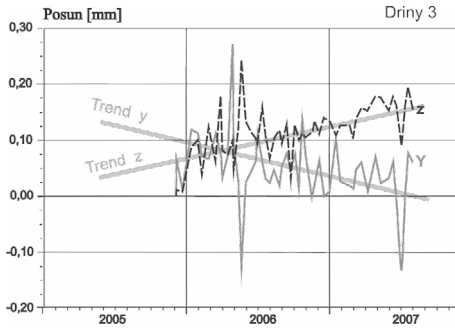
Graf 1. Mikroposuny zaznamenané na meradlách Driny 1 a Driny 2. +Y – ľavostranný horizontálny posun, +Z – poklesávanie západného bloku  
Graph 1. Microdisplacements registered by the gauges Driny 1 and Driny 2. +Y – sinistral strike-slip movement, +Z – subsidence of a western block

Najvýraznejšie mikropohyby sme však zaznamenali na prístroji Driny 3, osadenom naprieč poruchou  $40^{\circ}/75^{\circ}$ . Zo súčasných výsledkov je zreteľný trend vertikálnych pohybov (0,05 mm/rok) a rovnako trend v pravostranných smerných pohyboch (0,08 mm/rok) paralelných s danou štruktúrou (graf 2). Na základe uvedených výsledkov sme vypracovali model mikropohybov v danom objekte a pôsobenia smeru lokálneho kompresného napätia (obr. 2). Jeho orientácia je na tejto lokalite SSZ – JJV.

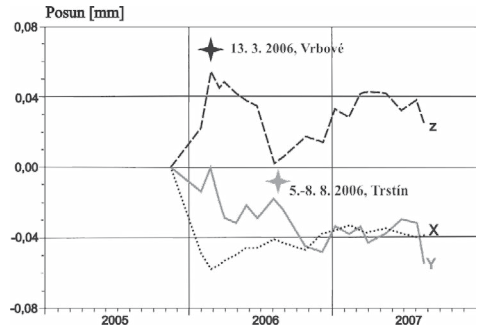
**Zbojnická jaskyňa** (Dobrovodský kras). Jaskyňa rovnako vybraná pre čerstvé porušenia sintrovej výzdoby je vyvinutá v steinalmských vápencoch Dechtickej elevácie a prechádza ňou významný zlom SZ – JV smeru. Jeho aktivita sa reflektuje vo vizuálne pozorovateľnom pravostrannom horizontálnom posune blokov (Briestenský a Stemberk, 2007). Tento pohyb je zreteľný i z doterajších meraní (graf 3). Počas posledných dvoch významných blízkych seizmických udalostí, z 13. 3. 2006 ( $M = 3,2$ ) s epicentrom pri obci Vrbové a seizmickým rojom z 5. – 8. 8. 2006 z oblasti obce Trstín (graf 3), sa nám podarilo získať údaje i o zmenách pohybov pred zemetrasením a po ňom (Briestenský et al., 2007).

**Jaskyňa Slopy** (Dobrovodský kras). Jedno meradlo TM71 sme tu inštalovali na zlomovú

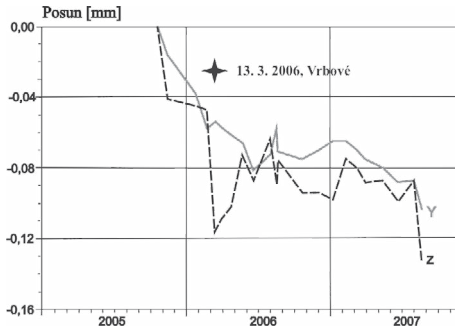




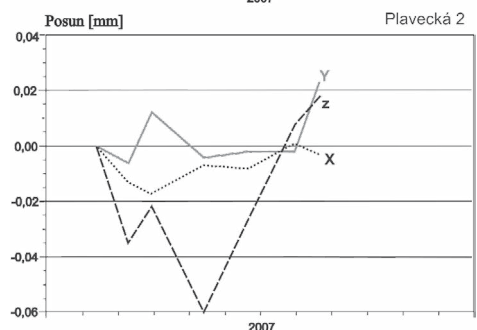
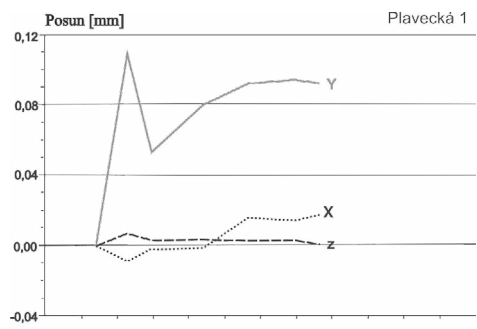
Graf 2. Mikroposuny zaznamenané na meradle Driny 3. -Y – pravostranný horizontálny posun, +Z – poklesávanie severovýchodného bloku  
Graph 2. Microdisplacements registered by the gauge Driny 3. -Y – dextral strike-slip movement, +Z – subsidence of a northeastern block



Graf 3. Mikroposuny zaznamenané na meradle v Zbojníckej jaskyni. -Y – pravostranný horizontálny posun, +Z – poklesávanie juhozápadného bloku, pokles X – horizontálne otváranie poruchy  
Graph 3. Microdisplacements registered by the gauge in Zbojnícka Cave. -Y – dextral strike-slip movement, +Z – subsidence of a southwestern block, decrease X – horizontal fault opening

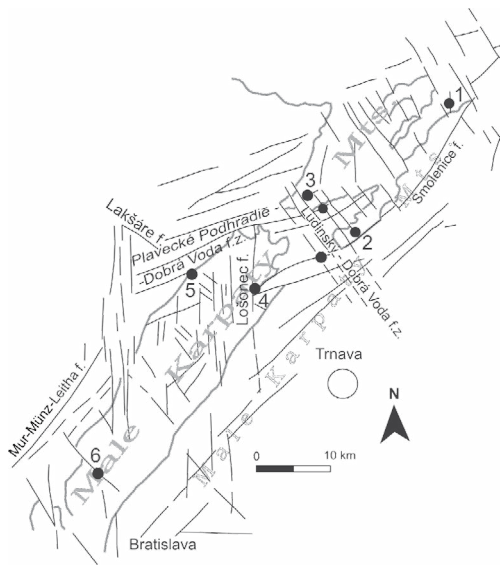


Graf 4. Mikroposuny zaznamenané na meradle v jaskyni Slopy. -Y – pravostranný horizontálny posun, -Z – poklesávanie severozápadného bloku  
Graph 4. Microdisplacements registered by the gauge in Slopy Cave. -Y – dextral strike-slip movement, -Z – subsidence of a northwestern block



Graf 5. Mikroposuny zaznamenané na meradlách v Plaveckej jaskyni. Y – smerný horizontálny posun, Z – vertikálny pohyb, X – otváranie poruchy  
Graph 5. Microdisplacements registered by the gauges in Plavecká Cave. Y – strike-slip movement, Z – vertical displacement, X – crack opening

poruchu s azimutom SV – JZ, so sklonom 70° k SZ. Jaskyňa je vyvinutá vo wettersteinských vápencoch chočského príkrovu a sleduje tektonickú brekciu daného zlomu. Počas uplynulého obdobia sa nám rovnako ako v prípade Zbojníckej jaskyne podarilo zachytiť ozvy na posledné zametrasné udalosti z danej oblasti (Briestenský et al., 2007). Tie sa prejavili zrýchlením vertikálnych pohybov. Z dlhodobého pohľadu je významný predovšetkým trend vo vertikálnych a horizontálnych pohyboch, ktorý reflektuje poklesávanie SZ časti jaskyne so zreteľnou pravostrannou zložkou horizontálneho pohybu. Blok teda poklesáva pozdĺž zlomu mierne šikmo s vergenciou na sever.



Obr. 1. Situácia sledovaných lokalít osadených prístrojmi TM71 v oblasti Malých Karpát a schéma zlomov (upravené podľa: Kováč et al., 1989; Marko et al., 1991): 1. Čachtická jaskyňa, 2. Zbojnická jaskyňa, 3. jaskyňa Slopy, 4. jaskyňa Driny, 5. Plavecká jaskyňa, 6. jaskyňa Sedmička, 7. Dobrá Voda, 8. Prekážka

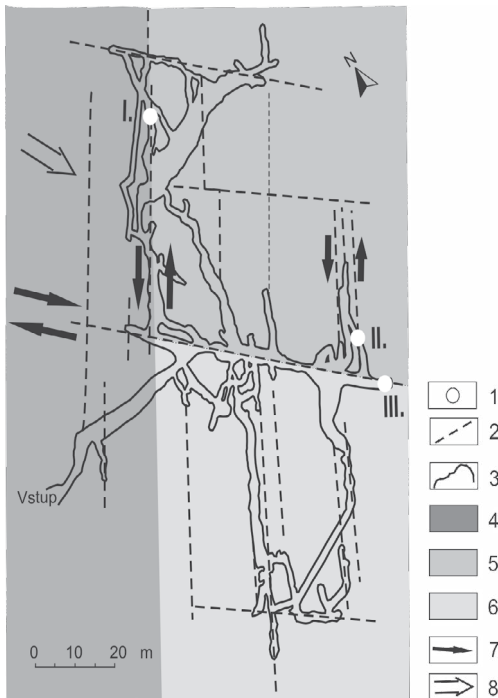
Fig. 1. Situation of monitored localities equipped with extensometric gauges TM71 in the Malé Karpaty Mts. area and fault sketch (modified after Kováč et al., 1989; Marko et al., 1991): 1. Čachtice Cave, 2. Zbojnica Cave, 3. Cave Slopy, 4. Cave Driny, 5. Plavecká Cave, 6. Cave Sedmička, 7. Dobrá Voda, 8. Prekážka

### Plavecká jaskyňa (Plavecký kras).

Jaskyňa je vyvinutá vo svetlosivých triasových vápencoch roštúnskeho pásma (Droppa, 1955 – 1956) na západnom úpätí Malých Karpát, hraničiacimi v tejto časti s grábenom Zohor – Plavecký Mikuláš, ktorého pliocénna aktivita je geologicky preukázaná (Gaža, 1984). Významný je rozsiahly výskyt penovcov so šírkou 550 m lokalizovaný pod jaskyňu, ako aj zvýšená celoročná teplota vzduchu v jaskynných priestoroch, dosahujúca hodnotu 11 °C. Obidva faktory svedčia o prítomnosti aktívnych zlomových porúch. Vyššia teplota sa dá vysvetliť rastom geotermálneho gradientu západnej časti viendenskej panvy, ktorý preukázali práce Krála a kol. (1985). Významné je rovnako porušenie sintrovej výzdoby vo východnej časti jaskyne. Východná časť od Kvapľovej siene spolu s hornou kvapľovou časťou je vyvinutá na zlomovej poruche, ktorej recentnú aktivitu potvrdzuje porušenie sintrových nátekov a strihové poruchy stalagmitov (obr. 3).

Podľa našich meraní v jaskyni výrazne vystupuje systém zlomov SSV, SSZ, menej sa uplatňujú poruchy S – J a VSV smeru.

Na začiatku roku 2007 sme tu inštalovali dve meradlá (obr. 4). Jedno je osadené v tzv. spodnom podlaží naprieč poruchou SSV – JJZ smeru, ktorá je súčasťou výraznej zlomovej zóny Mur – Mürz – Leitha – Plavecké Podhradie – Dobrá Voda, a druhé v tzv. Kvapľovej sieni (obr. 4) naprieč poruchou SSZ – JJV smeru (240°/65°), ktorá koreluje s tzv. Lakšárskym zlomom.



Obr. 2. Schéma mikroposunov v jaskyni Driny. 1. meradlá TM71, 2. zlomy, 3. obrys jaskynných priestorov, 4. veľký pokles, 5. stredný pokles, 6. malý pokles, 7. zmysel horizontálneho pohybu, 8. smer hlavného napätia  
Fig. 2. Sketch of microdisplacements in Driny Cave. 1. gauges TM 71, 2. faults, 3. cave spaces outline, 4. high subsidence, 5. middle subsidence, 6. low subsidence, 7. sense of strike-slip movement, 8. compression direction



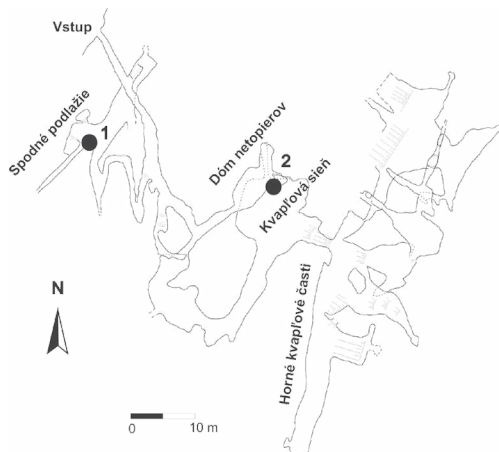
Obr. 3. Strihové porušenie stalagnátov v hornom podlaží Plaveckej jaskyne  
 Fig. 3. Shear cracks of stalagnates in the Uppermost stalagnate part

Z veľmi krátkeho merania zatiaľ vyplýva oscilácia horizontálnych strihových pohybov rovnobežných so zlomovou štruktúrou na prvom meradle a vertikálnych pohybov na druhom spomenutom prístroji (graf 5). Z pomerne krátkeho sledovania však nie je možné vyvodzovať akékoľvek pohybové trendy.

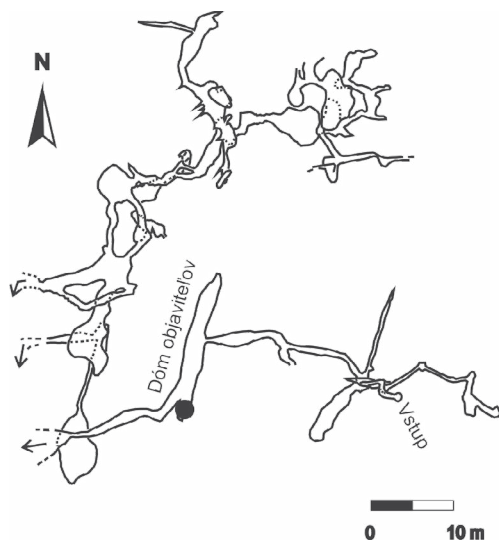
Nasledujúce dve jaskyne boli vybavené extenzometrickými meradlami v auguste 2007. Vzhľadom na krátky čas merania nie je možné zatiaľ vyvodzovať akékoľvek závery.

**Jaskyňa Sedmička** (Borinský kras). Jaskyňa je vyvinutá v borinských vápencoch v údolí Stupavského potoka v úpätí masívu Okopanca (Nosko a Lanc, 1985). Jedno meradlo TM71 bolo osadené na poruche S – J smeru s prešmykovým charakterom. Rovnako ako v predchádzajúcich prípadoch i tu sme zaznamenali recentné porušenia sintrovej výzdoby.

**Čachtická jaskyňa** (Čachtický kras). Jaskyňa patriaca medzi desať najrozsiahlejších jaskýň na Slovensku (Bella a Hlaváč, 1992) tvorí zároveň i najsevernejšiu lokalitu v rámci siete extenzometrických meradiel. Jaskyňa je vyvinutá vo wettersteinských vápencoch. Pre monitoring mikropohybov sa vybrala časť nazývaná „Autobus” (Dóm objaviteľov, obr. 5),



Obr. 4. Situácia meradiel TM71 v Plaveckej jaskyni (upravené podľa mapových podkladov: Droppa 1955 – 1956, nepublikovaná mapa OS Bratislava a OS Plavecké Podhradie 1987 – 1990)  
 Fig. 4. Situation of TM71 crack gauges in Plavecká Cave (modified after maps: Droppa 1955 – 1956, unpublished map of OS Bratislava a OS Plavecké Podhradie 1987 – 1990)



Obr. 5. Čierny bod znázorňuje situáciu meradla TM71 vo východnej časti Čachtickej jaskyne (upravené podľa mapového podkladu: Sluka a kol., 1978 – 1999)  
 Fig. 5. Black dot shows situation of TM71 crack gauge in the eastern part of Čachtická Cave (modified after map: Sluka et al., 1978 – 1999)

ktorá je vyvinutá na výraznej poruche  $270^{\circ}/80^{\circ}$  so zachovanými tektonickými zrkadlami (striácie  $5^{\circ}/15^{\circ}$ ) a s čerstvým porušením sintrovej výzdoby. Založenie tejto časti na zlomovej poruche zaregistroval už Mitter (1974).

Mechanizmus pôvodných pohybov na danom zlome je sinistrálny subhorizontálny strih reflektujúci sa výrazne v rotácii blokov stropnej časti. Meradlo bolo inštalované naprieč danou poruchou v hĺbke 30 m pod povrchom.

## ZÁVER

Súčasný výsledky, získané pomocou deviatich extenzometrických prístrojov TM71 preukázali citlivosť jaskynných systémov na zmeny napätostných pomerov sledovanej oblasti. Merania rovnako odhalili trendy v mikropohyboch s hodnotou do 0,1 mm/rok. Takéto hodnoty sme namerali v jaskyni Driny, ktorá bola vzhľadom na čerstvé porušenie sintrovej výzdoby vybraná na tento výskum. V jaskyni Driny boli inštalované tri meradlá TM71 a počas uplynulého obdobia sa tu zaregistrovali vertikálne i horizontálne pohyby. Maximálny vertikálny posun s hodnotou 0,3 mm sa zaznamenal v severozápadnej časti jaskyne pozdĺž zlomu SSV – JJZ smeru, zatiaľ čo minimálny vertikálny posun sa zistil vo východnej časti tohto objektu. Okrem toho všetky meradlá osadené na poruchách SV – JZ i SZ – JV smeru zaznamenali horizontálne strihové posuny s hodnotami trendov do 0,1 mm/rok max. Nemenej významné sú i pohybové trendy v pravostranných smerných posunoch zaznamenané na poruchách v jaskyniach Slopý a Zbojnicka jaskyňa, ako aj trend vo vertikálnych posunoch na zlomovej poruche v jaskyni Slopý.

Poďakovanie. Chceme poďakovať za nezištnú pomoc pri výbere vhodných lokalít a monitoringu kolegom jaskyniarom: L. Slivovi, L. Vincemu, I. Demovičovi, J. Kovárikovi a P. Zvonárovi. Grantovým agentúram ďakujeme za finančnú podporu. Práce sa hradili z projektov Grantovej agentúry Českej republiky č. 205/05/2770 a č. 205/06/1828.

## MICROMOVEMENTS MONITORING IN THE WESTERN SLOVAKIA CAVES

### S u m m a r y

Existing results, obtained from nine gauges, discovered sensitivity of the cave systems to recent stress changes. Moreover, displacement trends around 0.1 mm per year were registered as well. Such movements are significant for instance in Driny Cave (Smolenice karst), the most known show cave in the area, where fresh sinter breaks extensively occur. There were observed vertical and horizontal displacements gained by all three gauges installed here. Maximal vertical displacement of 0.3 mm was registered in a northwestern part across NNE – SSW trending fault, meanwhile the minimal vertical movements were observed in an eastern cave part. In addition, all NE – SW and NW – SE trending faults shows strike-slip displacement trends of 0.1 mm per year max. Moreover, significant dextral strike-slip microdisplacements were registered in Slopý and Zbojnicka Caves as well as vertical microdisplacement trend across fault in Slopý Cave.

### LITERATÚRA

- BELLA, P. – HLAVÁČ, J. 1992. Tabuľky najdlhších a najhlbších jaskýň na Slovensku (stav k 31. 12. 1991), Slovenský kras, 30, 197–201.
- BRIESTENSKÝ, M. – STEMBERK, J. 2007. Súčasný pohyby registrované vo vybraných jaskyniach dobrovodskeho krasu, Slovenský kras, 45, 55–63.
- BRIESTENSKÝ, M. – STEMBERK, J. – PETRO, L. 2007. Displacements registered around the March 13, 2006 Vrbové earthquake  $M = 3,2$  (Western Carpathians), Geologica Carpathica 56/5 (in print).
- DROPPA, A. 1955 – 1956. Plavecká jaskyňa, Československý kras 8 – 9, Brno, 120–123.
- GAŽA, B. 1984. In: J. Bednářiková – A. Thona (Eds.): Hydrocarbons exploration in Czechoslovakia. Knižnička zemního plynu a nafty, 5, Hodonín, 290–298.
- KOŠŤÁK, B. 1991. Combined indicator using Moiré technique, Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Symp. on Field Measurements in Geomechanics, 9 – 11 Sept. 1991 Oslo, 1, Balkema Rotterdam, Brookfield, 53–60.
- KRÁL, M. – LIZOŇ, I. – JANČÍ, J. 1985. Geothermal research of the Slovak Republic, Manuscript, GÚDŠ, Bratislava.

- LALKOVIČ, M – HATALA, J. 1983. Príspevok k bližšiemu poznaniu stabilných pomerov sprístupnených jaskýň na Slovensku, Slovenský kras, 21, 93–117.
- MICHALÍK, J. – REHÁKOVÁ, D. – MARKO, F. 1992. Stratigrafia a tektonika spodnokriedovej vápencovej sekvencie v profile jaskyne Driny (vysocká jednotka, Malé Karpaty), Mineralia slovaca, 24, 235–243.
- MITTER, P. 1974. Čachtický kras, Slovenský kras, 12, 115–134.
- NOSKO, V. – LANC, J. 1985. Použitie geofyzikálnych metód pri riešení speleologických problémov v Borinskom krase, Slovenský kras, 23, 209–232.
- PETRO, L. – POLAŠČINOVÁ, E. – STERCZ, M. – KOŠŤÁK, B. 2005. Current results from 3-D monitoring of active faults in the Western Carpathians. Acta Geodyn. Geomater. 2, 1 (137), 37–43.





SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	341 – 346	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## RECENT MOVEMENTS ALONG TECTONIC FAILURES IN THE ZÁPADNÍ CAVE (JEŠTĚD RIDGE, NORTHERN BOHEMIA)

NIKOLA JURKOVÁ<sup>1,2</sup>, MILOŠ BRIESTENSKÝ<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Rock Structure and Mechanics, v. v. i., Academy of Sciences of the Czech Republic, V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8; jurkova@irms.cas.cz, milos.b@post.sk

<sup>2</sup> Charles University in Prague, Faculty of Science, Department of Physical Geography and Geoecology, Albertov 6, 128 43 Praha 2

<sup>3</sup> Charles University in Prague, Faculty of Science, Institute of Hydrogeology, Engineering Geology and Applied Geophysics, Albertov 6, 128 43 Praha 2

### N. Jurková, M. Briestenský: Recent Movements along Tectonic Failures in the Západní Cave (Ještěd Ridge, Northern Bohemia)

**Abstract:** Západní jeskyně, nacházející se 10 km západně od Liberce, je vytvořena ve slabě metamorfovaných vápencích a částečně také v krystalických břidlicích (svrchní devon) ještědského krystalinika. V blízkosti této jeskyně probíhá lužický zlom s předpokládanou recentní aktivitou. Ta měla zásadní vliv na vývoj této jeskyně. Její chodby jsou predisponovány systémem tektonických poruch směrů ZJZ – VSV a SSZ – JJV a vrstevními plochami. V rámci našeho výzkumu zaměřeného na strukturní poměry jeskyně jsme studovali čerstvá porušení a posuny postihující sintrovou výzdobu v chodbách obou významných směrů. V jeskynní chodbě orientované ZJZ – VSV směrem jsme zaznamenali pravostranný horizontální posun o hodnotě přibližně 0,3 cm a v chodbě směru SSZ – JJV levostranný horizontální posun v rozmezí 0,4 – 0,6 cm. Maximální napětí, vypočítané z daných posunů, je tedy orientováno ZSZ směrem. Na základě těchto výsledků byla na obou poruchových strukturách jeskyně instalována dvě extensometrická měřidla typu TM71, jimiž jsou nadále monitorovány mikropohyby a změny lokálního pole napjatosti.

**Key words:** recent tectonics, faults, displacements, speleothemes, Západní Cave, Ještěd Ridge, Lusatian Thrust

### INTRODUCTION

The Západní Cave is the largest cave of the Ještěd Ridge. Because of its significant location near the Lusatian Thrust, the cave was selected for the fault's recent activity investigation. The paper resumes existing geological research works and extends it by data concerning assumed recent stress field computed on the basis of our measurements.

### GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL SETTINGS OF THE REGION

The selected cave is located in the Jítrava village in Northern Bohemia. According to geomorphological regionalization (Demek et al., 1987), the studied region belongs to Ještěd-Kozákov Unit, within it Subunit of Ještěd Ridge was delimited. Concerning geology, the field constitutes particularly the Ještěd Crystalline Complex, i. e. the western part of the Karkonosze – Jizera Crystalline Unit of the West Sudetes (Lugicum) (eg. Chaloupský, et al. 1989). From the morphostructural point of view, the Ještěd Ridge represents NW – SE-trending wedge shaped horst, composed of strongly folded (mainly during the Variscan Orogeny (Chlupáč, 1964)) but slightly to epizonally metamorphosed late Proterozoic and Paleozoic rocks, which were uplifted during Saxonian movements (Kachlík and Kozdrój in Kozdrój et al., 2001). On its northeastern part, the horst is separated from the Železný Brod Crystalline Complex,

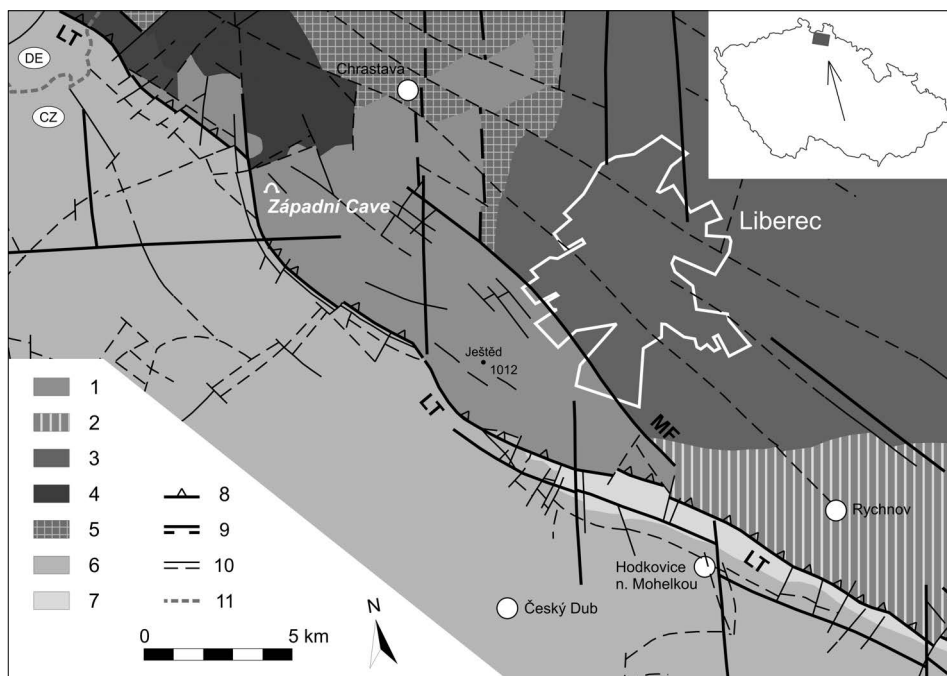


Fig. 1. Geological units and fault systems of the Západní Cave close surroundings (modified after Kozdrój et al. (Eds.) 2001 and Chaloupský et al., 1989). *Karkonosze-Jizera Crystalline Unit*: 1 – Ještěd Crystalline Unit, 2 – Železný Brod Crystalline Unit, 3 – Karkonosze Granites, 4 – Lusatian Granodiorite Massif, 5 – Jizera Metamorphic Complex; 6 – *Bohemian Cretaceous Basin*; *South Karkonosze Piedmont Basin*: 7 – Mnichovo Hradiště Basin; 8 – thrust, 9 – main faults: certain or based on geophysical or remote sensing indications / assumed, 10 – secondary faults: certain / assumed or under sedimentary cover, 11 – state boundary, LT – Lusatian Thrust, MF – Machnín Fault

Variscan granitoids of the Karkonosze Pluton and Cambro-Ordovician Jizera orthogneiss by the NW – SE trending Machnín Fault. On its southwestern part, the Ještěd Ridge borders with platform sediments of the Bohemian Cretaceous Basin and Mnichovo Hradiště Basin (part of South Karkonosze Piedmont Basin). This contact creates a wider fault zone, called The Lusatian Thrust.

The Lusatian Thrust is the most significant fault in the northern part of the Bohemian Massif and belongs to important faults of the Middle Europe as well (Malkovský, 1979). It takes its course from Dresden in Germany to Turnov in the Czech Republic with a length more than 110 km (Malkovský, 1977). Its thrust plane dips to NNE by 15 – 75° (Pošmourný, 1967; Kurka and Bělohradský, 1979; Coubal et al., 1999). Present position of the crystalline block and platform sediments block divided by the Lusatian Thrust (Fig. 1) is according to Coubal (1989) resulting from several generations of movements.

Recent morphostructure of the Ještěd Ridge has developed from Pliocene to Quaternary (especially in Pleistocene), and this evolution continues to date (Kopecký, 1970). The amplitude of vertical movements according to Vyskočil and Kopecký (1974) ranges between 500 and 700 m. Malkovský (1979) supposed it greater than 1000 m. The whole fault's course is covered by Quaternary sediments and is not morphologically evident enough (Coubal, et al. 1999). Moreover, there are more faults parallel with the Lusatian Thrust dividing Ještěd Crystalline Unit into partial blocks (Fig. 1).

The Ještěd Ridge karst is developed in WSW – ENE-trending stripes of metamorphosed Devonian limestones (Chlupáč, 1998), mostly with tectonized limits (Kachlík, 2002).

## CHARACTERISTIC OF THE ZÁPADNÍ CAVE

The cave entrance is situated in an old limestone quarry located on western slope of the Vápenný hill (789,7 m) in the Jítrava village. The quarry comes under the most important stratigraphic and paleontologic localities in the Czech part of the West Sudetes due to paleontologically documented Devonian fauna (Koliha, 1929). Rock beds form here an asymmetrical, almost isoclinal brachyanticline, which is reversed to SE. The core of the structure consists of black pyrite-bearing phyllitic shales of Lower Fammenian age, and above them lays approximately 20 m thick bed of crystalline limestones (? Upper Fammenian). The limestones were slightly metamorphosed during the Variscan Orogeny. Superincumbent bed represents thick complex of green and gray shists, graywacke and conglomerate (Lower Carboniferous) (cp. Chlupáč, 1964; Budil, et al. 1999). Detailed geological situation of the cave surroundings shows Fig. 2.

The cave developed by karstification along fissures  $150^{\circ}/80^{\circ}$  (dip direction / dip) and  $62^{\circ}/70^{\circ}$  (Bosák and Horušícký, 1978). Total length of the cave passages is about 280 m with denivelation of 25 m [Horáček in Hromas (Ed., in prep.)]. It is divided into two parts

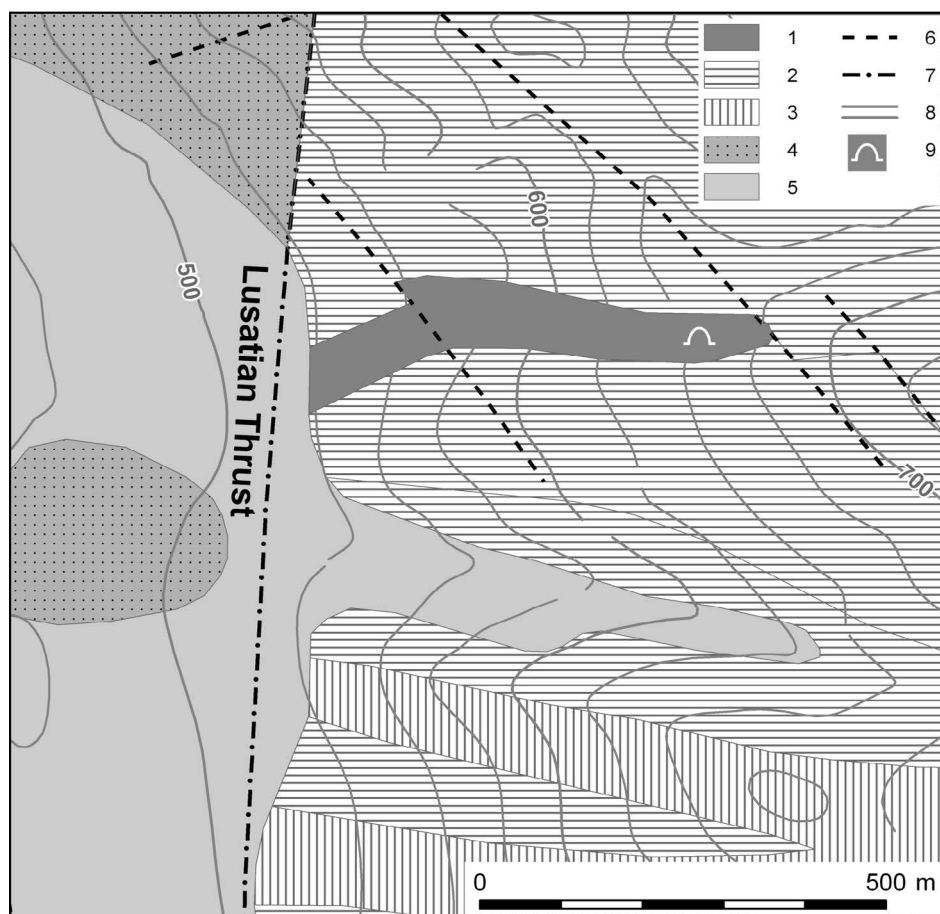


Fig. 2. Geological settings of cave's surroundings (modified after Pospíšil and Domečka, 1996). 1 – crystalline limestones, 2 – crystalline schists, 3 – metaconglomerate, 4 – sandstones, 5 – Quaternary sediments, 6 – assumed fault, 7 – fault under sedimentary cover, 8 – contour lines (interval 25 m), 9 – the Západní Cave entrance

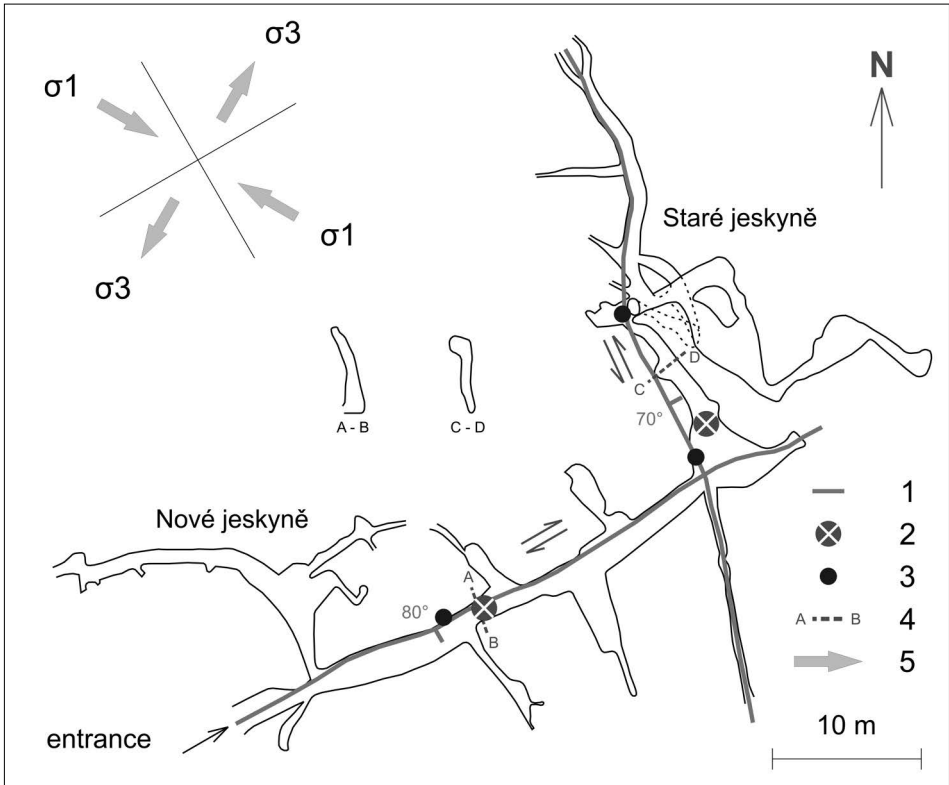


Fig. 3.w Sketch of the Západní Cave with the situation of speleothemes breaks measurements and TM71 gauges location (modified after Skřivánek and Hromas, 1961). 1 – significant failure with recorded recent displacements directions, 2 – TM71 gauge, 3 – fault displacement measurements place, 4 – computed stress direction

– Staré jeskyně (i. e. Old Caves; discovered in 1958) and Nové jeskyně (i. e. New Caves; discovered in 1962). The Old Caves part consists of high, mostly narrow passages developed along fractures. The main corridor is 40 m long and 0.5 – 1 m wide. The Nové jeskyně part composes of a larger hall that continues as a slightly declining squeeze, which is occasionally flooded. A cave decoration is really unique. The most noticeable forms are transparent appearing stalactites including excentriques. Besides, cave's walls are mostly overlain by flowstone. Clastic sedimentary fills consist of loams with gravels and blocks (Bosák and Horušický, 1978).

## RECENT DISPLACEMENTS SURVEY

Within our research aimed at mapping of structural and morphological features of the cave, fresh breaks affecting speleothemes precipitated along fractures were revealed. These cracks occur along the both above mentioned significant failures. Except speleothemes breakings, there were found also noticeable displacements showing sense of recent strike-slip movements. On accessible places we have measured the distance of displacements using the slide gauge (Fig. 4).

In the main passage (WSW – ENE trending) we detected dextral strike-slip displacements ranging between 0.124 and 0.34 cm (Fig. 4). Another passage, where the displacements were observed, is the Staré jeskyně corridor (NNW – SSE trending). There were measured sinistral strike-slip displacements ranging between 0.41 and 0.56 cm.



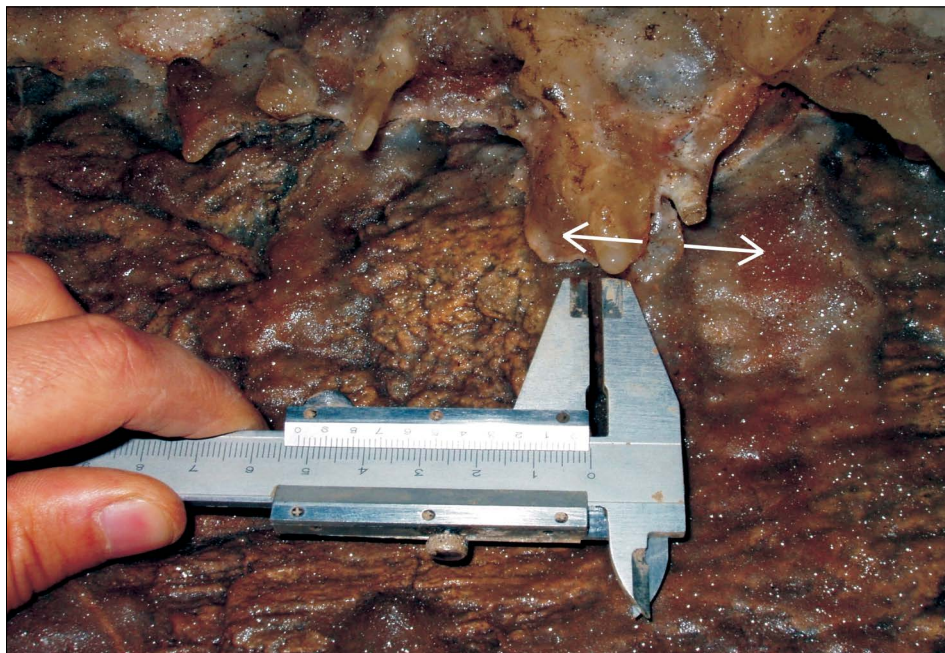


Fig. 4. Detail of displacements affecting speleothemes in the main corridor. Arrows show the displacement direction. Photo: M. Briestenský

On the basis of results of the survey, we determined recent local stress field orientation. According to the sense of displacements, assumed compressive stress  $\sigma_1$  has WNW direction, and tensile stress  $\sigma_3$  is oriented perpendicular to  $\sigma_1$ , i. e. SSW striking (Fig. 3).

Due to the displacements findings, we selected two suitable places, where next stress changes are observed. It is provided by crack-gauges of TM71 type, developed at our Institute by Blahoslav Košťák (1991) (Fig. 5). Measurements are taken from May 2007 once a month.

### CONCLUSION

Observations and measurements taken in the Západní Cave showed recent active fault movements documented by visible fresh displacements of speleothemes. We tried to specify recent local stress field orientation. Moreover, we installed two TM71 crack-gauges to observe next stress field changes.

Acknowledgement. The research was financially supported by Grant Agency of Academy of Sciences, Project No. 205/06/1828. Authors also thank the reviewer for many useful notes and ideas.



Fig. 5. TM71 gauge (extensometer) installed across the WSW – ENE trending passage. Photo: P. Blaženín

Acknowledgement. The research was financially supported by Grant Agency of Academy of Sciences, Project No. 205/06/1828, and by IRSM AS CR as a part of the Institute Research Plan No. A VOZ30460519. Authors also thank the reviewer for many useful notes and ideas.

#### REFERENCES

- BOSÁK, P. – HORUŠICKÝ, R. 1978. Současný stav výzkumů krasových jevů Ještědského hřbetu. Československý kras, 29, 47–52.
- BUDIL, P. ET AL. 1999. Examples of important geological localities in the Sudetes (Czech Republic). Polish Geological Institute Special Papers 2, 27–32.
- CHALOUPSKÝ, J. ET AL. 1989. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Ústřední ústav geologický, Praha, 288 p.
- CHLUPÁČ, I. 1964. Nový nález fauny ve slabě metamorfovaném paleozoiku Ještědského pohoří. Čas. mineral. geol. 9, 1, 27–35.
- CHLUPÁČ, I. 1998. Poznámky k rozšíření devonu a stavbě metamorfovaného paleozoika v jižní a střední části Ještědského pohoří. Zprávy o geologických výzkumech v roce 1997, 19–22. Praha.
- COUBAL, M. 1989. Projevy saxonské tektogeneze v centrální části České křídové pánve. MS ČGÚ, Praha.
- COUBAL, M. – ČECH, S. – MÁLEK, J. – PROUZA, V. 1999. Lužický zlom. Závěrečná zpráva grantového projektu GAČR č. 205/96/1754. MS ČGÚ Praha.
- DEMEK, J. ET AL. 1987. Zeměpisný lexikon ČSR, Hory a nížiny. Academia. Praha. 584 p.
- HROMAS, J. (ED.) IN PREP. Jeskyně České republiky. Chráněná území ČR. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- KACHLÍK, V. 2002. Geologická mapa 1 : 10 000, list 03-13-20 Kryštofovo údolí. Unpubl. manuscript. Praha.
- KOLIHA, J. 1929. Svrchní devon v pohoří Ještědském. Věst. St. geol. úst., 5, 268–292.
- KOPECKÝ, A. 1970. Neotektonický vývoj severních a severovýchodních Čech. Věst. Ústř. úst. geol., 45, 339–346.
- KOŠŤÁK, B. 1991. Combined indicator using Moiré technique. Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Symp. On Field Measurements in Geomechanics, 9 – 11 Sept. 1991 Oslo, 1, 53–60. Balkema Rotterdam, Brookfield.
- KOZDRÓJ, W. – KRENTZ, O. – OPLETAL, M. (EDS.) 2001. Geological Map Lausitz-Jizera-Karkonosze (without Cenozoic sediments) 1 : 100 000. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie/Bereich Boden und Geologie, Freiberg – Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa – Český geologický ústav, Praha, 64 p.
- KURKA, J. – BĚLOHRADSKÝ, V. 1979. Průběh a charakter lužického zlomu mezi obcemi Světlá pod Ještědem a Zdislava. Sbor. Severočes. muz. Ser. natur., 11, 185–196.
- MALKOVSKÝ, M. 1977. Důležité zlomy platformního pokryvu severní části Českého masívu. Výzk. práce ÚÚG, sv. 14, Praha, 30 p.
- MALKOVSKÝ, M. 1979. Tektogeneze platformního pokryvu Českého masívu. Ústřední ústav geologický, Praha, 176 p.
- POSPÍŠIL, J. – DOMEČKA, K. 1996. Geologická mapa ČR 1 : 50 000, list 03 – 13 Hrádek nad Nisou. ČGÚ, Praha.
- POŠMOURNÝ, K. 1967. Geologicko-petrografické poměry krystalinika západní části Ještědského hřbetu. Sbor. Severočes. muz. Ser. natur., 3, 15–25.
- SKŘIVÁNEK, F. – HROMAS, J. 1961. Plán Západní jeskyně. Unpubl. MS. Archiv ZO ČSS 4-01 Liberec.
- VYSKOČIL, P. – KOPECKÝ, A. 1974. Neotectonics and recent crustal movements in the Bohemian Massif. VÚGTK, Praha, 179 s.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	347 – 352	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## KARST PHENOMENA IN THE RYCHLEBSKÉ MTS. AND THEIR TECTONIC SETTING (CZECH REPUBLIC)

VIOLA ALTOVÁ<sup>1,2</sup>, PETRA ŠTĚPANČÍKOVÁ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Science, Charles University, Albertov 6, 128 43 Praha 2, Czech Republic; viola.altova@centrum.cz

<sup>2</sup> Institute of Rock Structure and Mechanics, v.v.i., Academy of Sciences of the Czech Republic, V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8, Czech Republic; stepancikova@irms.cas.cz

### V. Altová, P. Štěpančíková: Karst Phenomena in the Rychlebské Mts. and their Tectonic Setting (Czech Republic)

**Abstract:** The karst phenomena in the Rychlebské Mountains have been developed in the isolated stripes of marbles of the Branná group. Surficial karst phenomena are rather poor in this area, there are only some dolines, whereas the underground karst phenomena are more evolved. A factor of great significance for evolution of karst is a tectonic setting. There are two important tectonic failures. The first is the Ramzová thrust fault striking NE – SW and the Sudetic Marginal Fault (SMF) of the NW – SE direction. The latter represents one of the morphologically most prominent neotectonic structures in central Europe, separating the Sudeten Mountains from the Sudetic Foreland. Stripes of carbonates (elongated in NE – SW direction) are displaced by many transversal fractures of Sudetic direction (NW – SE) and divided into some substructures. Due to this fact and lithological characteristics of limestones, all karst phenomena are significantly tectonically predisposed in accordance with the nearest tectonic structure. In this area the directions NW – SE and NE – SW are the most distinct (in the Vápenná karst area N – S, W – E). In order to measure present-day tectonic movements, the deformometers TM71 were installed directly across faults in two karst caves situated within the SMF zone. Monitoring by these deformometers has revealed slow micro-displacements (10 – 3 – 10 – 2 mm per year) with prevailing vertical components.

**Key words:** joint analysis, karst, Na Pomezí cave, tectonic, the Rychlebské Mts.

### INTRODUCTION

The karst phenomena in the Rychlebské Mountains (northeastern part of the Czech Republic) have been developed in the isolated stripes of crystalline limestones of the Branná group. Surficial karst phenomena are rather poor, there are some dolines in this area, nevertheless, underground karst phenomena are more evolved. Some tens of caves are known from this area. Majority of them are not longer than tens or first hundred meters. The largest is the cave Na Pomezí, which is open to public and the length of its corridors is about 1000 meters. Other very important large cave is Rasovna (270 m long). Karst phenomena are concentrated in three most important karst areas: Pomezí, Vápenná – Lesní čtvrť, and Vápenná (Fig. 1), which are discussed in this work.

A factor of great significance for the landscape evolution as well as for the karst phenomena development is a tectonic setting. There are two very important tectonic failures – the Ramzová Tectonic Zone and the Sudetic Marginal Fault – as well as many other transversal fractures (mostly of the NW – SE direction) and thrust faults (NE – SW direction). Therefore, all karst phenomena are significantly tectonically predisposed and are very suitable for joint analysis. The analysis performed in caves can contribute to better understanding of landscape evolution and neotectonic development as well as to assess a possible recent tectonic activity of this area.

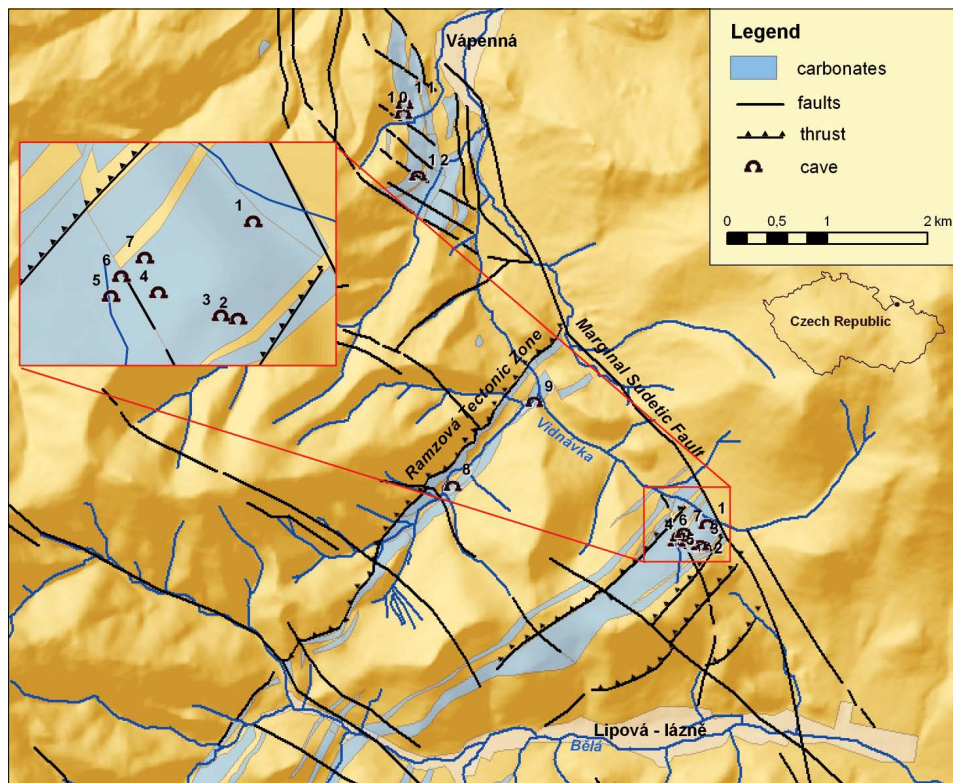


Fig. 1. A sketch of the study area with tectonic setting and localization of caves

## GEOLOGICAL AND TECTONIC SETTING

The study area is composed of various rocks (phyllites, marbles, quartzites, crystalline shists) belonging to the Branná Group. The rocks underwent regional low-grade metamorphoses during Variscan orogenesis. Individual lithologic units are formed in stripes and lenses elongated in NNW – SSE direction. Also outcrops of crystalline limestone are created by elongated stripes, which are, however, interrupted by transversal faults (Vocílka, 1981). Limestone of study area is very pure, a content of  $\text{CaCO}_3$  reaches up to 99 %.

The study area is strogly affected by presence of two significant tectonic lines – the Ramzová Tectonic Zone (RTZ) and Marginal Sudetic Fault (SMF), and other transversal faults in NW – SE direction. The RTZ represents an important border of two different geological units of the Bohemian Massif – Lugiicum and Silesicum – and it is probably a continuation of the equivalent Moldanubian “overthrust” (Opletal and Pecina, 2004). According to Opletal and Pecina (2004), the RTZ is a horizontal fault very probably of left-lateral character. The SMF of the NW – SE direction is morphologically the most prominent neotectonic structures in central Europe, separating the Sudeten Mountains from the Sudetic Foreland. In this area it is related to a distinct mountain front of the Rychlebské Mts. According to Pouba (1962), the SMF presents a fault zone or a system of at least three faults. Skácel (1989) recognised a coulise representation of partial faults in this zone arranged en echelon, which is characteristic in surroundings of Vápenná village. Recent activity of these two tectonic zones has been supported by studies of many authors (Cacoň and Dyjor, 1995; Schenk et. al. 2002, 2003; Cacoň et. al. 2003, 2005; Kontny, 2004; Stemberk and Štěpančíková 2005; Štěpančíková, 2007).

There are many other transversal faults mostly of the NW – SE direction. They are very important from hydrogeological point of view. They drain broad surroundings of the crystalline rocks (Řezníček in Kukačka et. al. 2007) and conduct non-saturated groundwater into stripes of crystalline limestones and it can accelerate karst process.

## JOINT ANALYSIS

### The Pomezí area

Pomezí is the largest karst area with the best developed karst phenomena of this region (Altová, 2003). There are eight caves, where the Na Pomezí cave (1000 m) and the Rasovna cave (270 m) are the largest and most important. For joint analysis seven caves have been used - Rasovna, Na Pomezí, Netopýrka, Liščí díra, Bezejmenná, Nová, Smrčnické propadání. Due to lack of suitable fissures for measurements, low number of readings in some small caves the joint analysis for whole karst area.

The joint analysis showing the Sudetic direction (NW – SE) predominates in the Pomezí karst Area (Fig. 2A), which is in accordance with the position of the caves within the SMF. In spite of this the fissures striking SW – NE are very important too. On the other hand, this SW – NE direction, prevailing in the Rasovna cave, corresponds to the direction of the RTZ (Fig. 2B), which is situated close to the caves. On fissures of this direction, neotectonic activity comes up (Fig. 5).

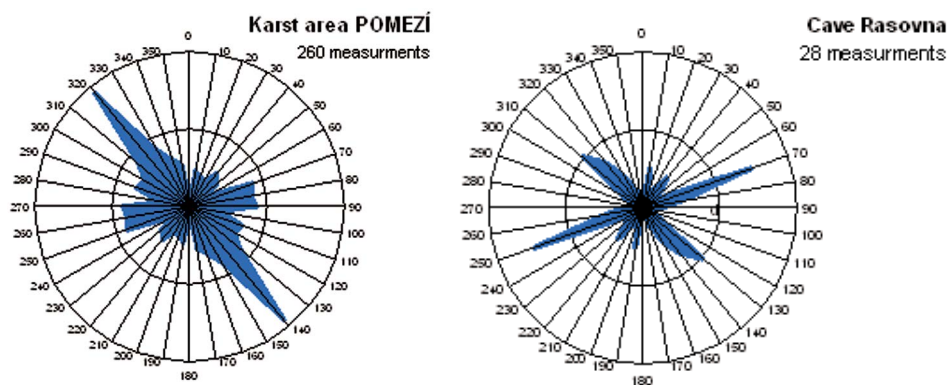


Fig. 2. A – Frequency of joint orientation in the karst area Pomezí. B – Frequency of joint orientation in the Rasovna cave

### The Lesní čtvrť karst area

In this area, there are only two caves (U Borovice cave and Za Hájnou cave) (Fig. 1) suitable for joint analysis and only a few measurable fissures, so joint analysis for whole area is questionable. The karst phenomena have been evolved in stripe of crystalline limestone, which is closed to the RTZ and its direction (SW – NE) is clearly showed in tectonic setting of this caves (Fig. 3). The other significant direction is NW – SE, especially in the Za Hájnou cave, which is located closely to the SMF.

### The Vápenná karst area

The outcrops of crystalline limestones near Vápenná village is the second largest karst area of the Rychlebské Mts. Unfortunately it has been affected by long-term exploitation and many karst phenomena were destroyed. There are three quite large caves (Fig. 1) where the measurements were carried out. The main direction of fissures changes distinctly. The N – S and W – E directions predominate there (Fig. 4). Possibly due to a short switch of direction of the SMF, which has an en echelon character here (Skácel, 1989).



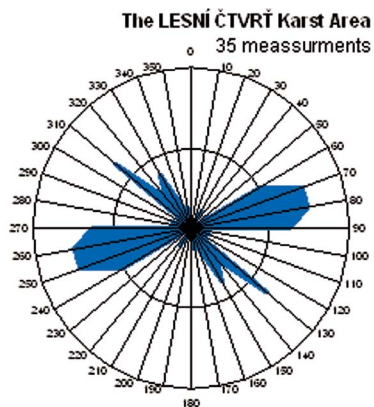


Fig. 3. Frequency of joint orientation in the karst area Lesní čtvrť

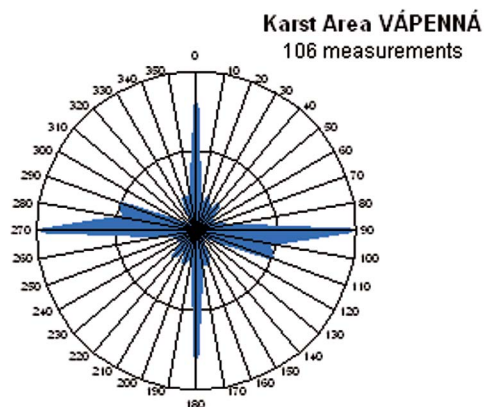


Fig. 4. Frequency of joint orientation in the karst area Vápenná



Fig. 5. Disrupted speleothem in the Rasovna cave with the direction of movement

## RECENT TECTONIC ACTIVITY

In the Rasovna Cave (Pomezí), a fissure filled by disrupted speleothems have been found (Fig. 5). Its direction is  $50^\circ$  (ortogonal to Sudetic direction), dip varies between  $42^\circ$  and  $48^\circ$ . A detailed measurements on this crack has shown sinistral displacement of cca 1 cm as well as a vertical movement, where the northwestern block subsided in respect to the southeastern part. The movement reaches from 0,8 to 1 cm. The speleothems have not been dated yet but they are supposed to be Quaternary, so these movements must be very young.

In order to assess present-day tectonic movements also instrumentally, three deformaters TM71 were installed directly across faults in the Na Pomezí cave (in 2001) and Rasovna cave (in 2006) situated within the SMF zone. For details on the monitoring methodology used in the caves see e.g. Košťák (1991), Stemberk, Štěpančíková (2003), Štěpančíková et al. (2008). The selected monitored fissures in these two caves are filled out by crushed rock (Na Pomezí) or they cut the flowstones (Rasovna). The monitoring, in particular from the cave Na Pomezí, revealed slow micro-displacements ( $10^{-2}$  –  $10^{-3}$  mm per year) of an aseismic character and with prevailing vertical components over horizontal ones. The inferred compressive stress comes generally from the southern sector, which would imply dextral transpression in the studied SE portion of the SMF. As a result, the south-western part of the Rychlebské Mts, belonging to the Sudeten Mts, is pushed under the north-eastern one beyond the SMF.

## CONCLUSION

All the studied caves are significantly predisposed by tectonic structures. It is proved by orientation of their general ground plan, in detail of their corridors, as well as by activity such as rock falling within the fissures. The most important direction is NW – SE, which is related to the near situated Sudetic Marginal Fault, and the NE – SW direction, associated with the Ramzová Fault Zone here. Different directions in Vápenné village (N – S, W – E) are probably due to local deflection of the SMF, being of an en echelon character in this segment.

Recent tectonic activity is confirmed by displaced speleothems as well as by slow movements measured in the cave Na Pomezí by means of the TM71 deformer. Further detailed karst-speleologic research as well as dating of the disrupted speleothems would contribute to clarification and specification of history of neotectonic, particularly recent, activity within the studied area.

Acknowledgment. This work was supported by the Grant Agency of Charles University in Prague, project No. 140207 „Karst of Eastern Sudetes and its importance for reconstruction of relief evolution of the Rychleby Mts“ and by the Academy of Sciences of the Czech Republic (Project No. VOZ 30460519).

## REFERENCES

- ALTOVÁ, V. 2003. Geomorfologie krasu v Rychlebských horách. Master thesis. Faculty of Science, University of Ostrava, Ostrava, 74 pgs.
- CACOŇ, S. – DYJOR, S. – KAPLON, J. – BOSY, J. – KONTNY, B. 2003. “Dobromierz” geodynamic network – results of 2001 and 2002 campaigns. *Acta Montana (A)*, 24, (131), 117–122.
- CACOŇ, S. – DYJOR, S. 1995. Neotectonic and recent crustal movements as potential hazard to water dams in Lower Silesia, SW Poland. *Folia Quaternaria* 66, 59–72.
- CACOŇ, S. – VYSKOČIL, P. – TALICH, M. – KONTNY, B. – BOSY, J. 2005. Deformation analysis of the Polish Sudetes and Fore-Sudetic block. *Reports on Geodesy 2 (73)*, 211–219.
- IVAN, A. 1972. Genesis of the Javorník foothill step on the northern slopes of the Rychlebské hory Mts. (in Czech with English summ.). *Čas. slez. muz. Opava (A)*, 21, 107–116.
- KONTNY, B. 2004. Is the Sudetic Marginal Fault still active? Results of the GPS monitoring 1996–2002. *Acta Geodynamica et Geomaterialia* 1, 3 (135), 35–39.
- KOŠŤÁK, B. 1991. Combined indicator using Moiré technique. *Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Symp. on Field Measurements in Geomechanics*, 9. – 11. Sept. 1991 Oslo, 1, Balkema, Rotterdam, Brookfield, 53–60.
- KUKAČKA, J. – ALTOVÁ, V. – BRUTHANS, J. – ZEMAN, O. 2007. Flow and vulnerability of groundwater in the discontinuous carbonates of the crystalline complex, Jeseníky region (Czech Republic). 15<sup>th</sup> International Karstological School „Classical Karst“. *Transboundary aquifers, Postojna*. (CD-ROM).
- OPLETAL, M. – PECINA, V. 2004. The Ramzová Tectonic Zone, the contact between Lucivum and Silesicum. *Acta Geodyn. Geomater.* 1, 3 (135), 41–47.
- POUBA, Z. RED. 1962. *Vysvětlivky k přehlené geologické mapě ČSSR 1 : 200 000 M-33-XVIII Jeseník*, 178 s., Praha.

- SCHENK, V. – CACOŇ, S. – BOSY, J. – KONTNY, B. – KOTTNAUER, P. – SCHENKOVÁ, Z. 2002. The GPS geodynamic network EAST SUDETEN. Five annual Campaigns (1997 – 2001), Data Processing and Results. *Acta Montana (A)*, 20, (124), 13–23, Prague.
- SCHENK, V. – SCHENKOVÁ, Z. – CACOŇ, S. – KONTNY, B. – BOSY, J. – KOTTNAUER, P. 2003. To geodynamic interpretations of GPS data monitorred on the EAST SUDETEN network. *Acta Montana, Ser. A*, 24 (131), 87–97.
- SKÁCEL, J. 1989. Křížení okrajového zlomu lugika a nýznerovského dislokačního pásma mezi Vápennou a Javorníkem ve Slezsku. – *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Facultas Rerum Naturalium, Geographica – Geologica*, XXVIII, 95, Olomouc, 31–45.
- STEMBERK, J. – ŠTĚPANČÍKOVÁ, P. 2003. Tectonic setting and newly organised monitoring of recent tectonic deformation in the Rychlebské hory Mts. *Acta Montana, A*, 24, (131), 153–161.
- STEMBERK, J. – ŠTĚPANČÍKOVÁ, P. 2005. Monitoring of tectonic micro-displacements in the cave systems along the Czech part of the Sudetic Marginal Fault. VI. Ogólnopolska Konferencja “Neotektonika Polski” Aktywne uskoki Europy Środkowej. Państwowy Instytut Geologiczny, Wrocław, 64–68.
- ŠTĚPANČÍKOVÁ, P. 2007. Morfostrukturní vývoj severovýchodní části Rychlebských hor. Doktor.disertač. práce, MS KFGG, PŕF UK, 192 s, Praha.
- ŠTĚPANČÍKOVÁ, P. – STEMBERK, J. – VILÍMEK, V. – KOŠŤÁK B. (2008). Neotectonic development of drainage networks in the East Sudeten Mountains and monitoring of recent fault displacements (Czech Republic). Special Issue on Impact of Active Tectonics and Uplift on Fluvial Landscapes and River Valley Development, *Geomorphology* 102, 68–80.
- VOCÍLKA, M. Příspěvek ke geologii střední a jižní části série Branné. *Acta Musei Reginahradecensis, S. A. Scientiae Naturales*, XVI, Hradec Králové, 53–60.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	353 – 360	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## FOSFÁTOVÉ MINERÁLY V SLOVENSKÝCH JASKYNIACH

DANIEL MORAVANSKÝ<sup>1</sup>, MONIKA ORVOŠOVÁ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakulta prírodných vied UKF, Katedra zoológie a antropológie, Nábřežie mládeže 91, 949 74 Nitra; dmoravan@azet.sk

<sup>2</sup> Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Školská 4, 031 01 Liptovský Mikuláš; orvosova@smopaj.sk

### D. Moravanský, M. Orvošová: Phosphate minerals in Slovak caves

**Abstract:** Brushite,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; hydroxylapatite,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ; carbonate-hydroxylapatite,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2(\text{CO}_3)_3\text{OH}$ ; taranakite  $(\text{K}, \text{NH}_4)\text{Al}_3(\text{PO}_4)_3(\text{OH}) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  and leukophosphate,  $\text{KFe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  are phosphate minerals which have been identified in various limestone caves of Slovakia. Their origin is connected with guano accumulations in these caves. The major parameters controlling the environments under which these minerals were deposited are: pH, relative humidity, alkali content, and Ca/P molar ratio. We suppose that first is deposited brushit ( $\text{pH} < 6$ ) and later is converted (through precursor's octacalcium phosphate OCP) to hydroxylapatite ( $\text{pH} > 7$ ) or carbonate-hydroxylapatite. Taranakite is deposited during phosphatization of clay sediments. It represents a acid phosphate similar as a brushite. Origin of leukophosphate is also connected with clay sediments, but a source of P is unknown.

**Key words:** phosphate minerals identified in limestones caves of Slovakia, theory of origin

### ÚVOD

Minerály jaskýň sú častou súčasťou jaskynnej výplne alebo materskej horniny, v ktorej je jaskyňa vytvorená, a vyskytujú sa tak vo vstupnej, ako aj vo vnútrojaskynnej fácií. Rozhranie medzi vstupnou fáciou a vnútrojaskynnou fáciou je prechodná zóna, v ktorej sa ešte uplatňuje vplyv denného svetla, striedanie ročných období a postupné vyhasínanie biologickej aktivity (White, 1963; Čilek, 1993b).

Doteraz bolo z rôznych jaskýň sveta opísaných 254 minerálov (Hill a Forti, 1997), z ktorých iba tri (kalцит, aragonit a sadrovec) sa považujú za bežné. Keďže v období od roku 1997 do roku 2007 sa podarilo identifikovať viacero nových minerálov, najmä v súvislosti s guánom (Diaconu a Lascu, 1999; Onac et al., 2002; Marincea et al., 2002; Onac a Vereş, 2003; Onac a White, 2003 a iní), možno údaj uvedený v publikácii Cave Minerals of the World (Hill a Forti, 1997) poopraviť na číslo 275 ( $\pm 5$  minerálov) a vyššie spomínané minerálne skupiny (karbonáty a sulfáty) rozšíriť o skupinu fosfátov.

Na základe doterajších výskumov v jaskyniach Slovenska [jaskyňa Domica, Jasovská jaskyňa, Vápencová jaskyňa, Hrušovská jaskyňa (Slovenský kras, SK); jaskyňa Tmavá skala, jaskyňa Haviareň, Plavecká jaskyňa (Malé Karpaty, MK); jaskyňa Podbanište, Jaskyňa nad Kadlubom, Ochtinská aragonitová jaskyňa (Revúcka vrchovina, RV); Modrovská jaskyňa (Považský Inovec, PI); Medvedia jaskyňa (Slovenský raj, SR); Veľká ružínka jaskyňa, Malá kvapľová jaskyňa (Slovenské rudohorie, SLR), Pružinská Dúpná jaskyňa (Strážovské vrchy, SV), Jaskyňa v Záskočí (Nízke Tatry, NT); jaskyňa Havranová (Veľká Fatra, VF) a jaskyňa Javorinka (Vysoké Tatry, VT)] možno konštatovať, že fosfáty sú bežnou súčasťou jaskynnej výplne a doteraz sa im nevenovala náležitá pozornosť. Hoci v jaskynnom prostredí bolo opísaných až 56 druhov fosfátov (Onac a Vereş, 2003), v našich jaskyniach sa doteraz identifikovali iba nasledujúce fosfáty: *brushit*,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; *hydroxylapatit*,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ; *karbonát-hydroxylapatit*,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2(\text{CO}_3)_3\text{OH}$ ; *taranakit*,  $(\text{K}, \text{NH}_4)\text{Al}_3(\text{PO}_4)_3(\text{OH}) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ; *leukofosfit*,  $\text{KFe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

## FORMA VÝSKYTU A ZÁKLADNÁ CHARAKTERISTIKA

*Brushit*,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  [Kašpar, 1934, 1940; Kettner, 1948 – jaskyňa Domica, Jasovská jaskyňa (SK); Ženiš, 1984 – jaskyňa Tmavá skala (MK); Ženiš, 1985 – jaskyňa Podbanište (RV); Ďurčík et al., 1992 – Jaskyňa nad Kadlubom (RV); Moravanský a Ženiš, 1997 – Pružinská Dúrna jaskyňa (SV); Pavlarčík, 1999 – jaskyňa Javorinka (VT)] sa vyskytuje vo forme tzv. „brushitových pásov“ na odtokových dráhach roztokov presakujúcich guánom, kde býva lemovaný kalcitom, alebo vo forme povlakov až kôr s hrúbkou 5 mm až 10 mm, pozostávajúcich z jemnozrnných agregátov a na povrchu aj z drobných, pekne vyvinutých kryštálov zoskupených do ježkovitých útvarov; habitus kryštálov je ihličkovitý, prípadne tabuľkovitý a ich dĺžka nepresahuje 0,1 mm, sú číre, jemne zakalené, biele až žltohnedé, jemnozrnné agregáty sú väčšinou snehobiele; vystupuje v asociácii s ardealitom, hydroxylapatitom, karbonát-hydroxylapatitom, kalcitom a sadrovcom. Okrem guána sa brushit identifikoval i na kostre a zvyškoch kože dospelého jedinca kuny (jaskyňa Javorinka), a to ako biele až prievitné, jemné a krehké ihličkovité kryštály skleneného lesku s dĺžkou do 5 mm.

Práškové difrakčné záznamy vzoriek z jednotlivých jaskýň korešpondujú s údajmi z kartotéky JCPDS (11 – 293, Berry, ed., 1974). Päť difrakčných maxím s najväčšou intenzitou pre brushit mierne varujú v nasledujúcich intervaloch: 7,570 – 7,650 (100), 4,240 – 4,250 (50 – 80), 3,040 – 3,050 (55 – 75), 2,921 – 2,927 (25 – 65) a 2,600 – 2,603 (20 – 60, hodnoty  $d$  sú v  $10^{-10}$  m, v zátvorkách sa uvádza intenzita).

Vypočítané mriežkové parametre pre brushit sú blízke mriežkovým parametrom uvedeným v kartotéke JCPDS (11 – 293, Berry, ed., 1974). Hodnota  $a$  variuje v intervale: 5,362 – 5,812, hodnota  $b$  v intervale: 15,261 – 15,338, hodnota  $c$  v intervale: 6,230 – 6,334 (v  $10^{-10}$  m) a hodnota  $\beta$  v intervale: 109,27° až 113,37°. Odchýlky mriežkových parametrov od parametrov uvedených v kartotéke JCPDS (11 – 293, Berry, ed., 1974) súvisia pravdepodobne s izomorfnými a mechanickými prímiesami.

*Hydroxylapatit*,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$  – vyskytuje sa ako povlaky a kôry s hrúbkou 2 až 4 mm na sintrovej výzdobe bez asociujúcich minerálov, či ako sivohnedá hmota v miestach guánových korózií v asociácii s ardealitom, brushitom, karbonát-hydroxylapatitom, kalcitom a sadrovcom [(Čílek, 2003 – Hrušovská jaskyňa (SK); Čílek, 1999b – Veľká ružinská jaskyňa, Malá kvapľová jaskyňa (SLR)], bol zaregistrovaný aj ako súčasť refosfatizovaného kostného materiálu svetlohnej farby [(Moravanský a Ženiš, 1997 – jaskyňa Tmavá skala (MK)].

*Karbonát-hydroxylapatit*,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CO}_3$  [Kašpar, 1934, 1940; Čílek, 1999a; Čílek et al., 2001 – jaskyňa Domica; Čílek, 1993a – Múriková jaskyňa (SK); Čílek a Komaško, 1984 – Jaskyňa v Zásokočí; Moravanský a Ženiš, 1997 – jaskyňa Tmavá skala, jaskyňa Haviareň, Plavecká jaskyňa (MK), Modrovská jaskyňa (PI), Pružinská Dúrna jaskyňa (SV), jaskyňa Havranová (VF)], sa vyskytuje vo forme krustifikačného tmelu vápencových obliakov, kôr a nátekov na sintroch, kôr pokrývajúcich steny jaskýň, kôr na veľkých zrútených skalných blokoch a ako súčasť súvislej fosfátovej vrstvy pod rozsiahlymi nánosmi guána korodujúceho skalné podložie, hrúbka kôr a fosfátových vrstiev sa pohybuje od 1 mm do 20 cm, ich farba je svetlohnedá, žltohnedá až tmavohnedá, vystupuje v asociácii s ardealitom, brushitom, hydroxylapatitom, kalcitom a sadrovcom.

Apatity sa vyznačujú svetlohnedou, žltohnedou, hnedou až tmavohnedou farbou. Majú rozmanitú textúru zodpovedajúcu najmä obličkovitým útvarom s výraznou vrstvomitozonálnou stavbou a nerovnako veľkým vrstvomitozonálnym oolitom.

Práškové difrakčné záznamy vzoriek z jednotlivých jaskýň korešpondujú s údajmi z kartotéky JCPDS (9 – 432, 19 – 272 a 21 – 145, Berry, ed. 1974). Päť difrakčných maxím s najväčšou intenzitou pre hydroxylapatit mierne varujú v nasledujúcich intervaloch: 2,811 – 2,820 (100), 2,728 – 2,736 (58 – 66), 3,437 – 3,450 (45 – 60), 1,840 – 1,847 (27 – 57) a 1,936 – 1,951 (29 – 47, hodnoty  $d$  sú v  $10^{-10}$  m, v zátvorkách sa uvádza intenzita) a päť difrakčných maxím s najväčšou intenzitou pre karbonát-hydroxylapatit mierne varujú v intervaloch:

2,796 – 2,797 (99 – 100), 2,732 – 2,733 (65 – 66), 3,413 – 3,414 (59 – 60), 1,939 – 1,940 (22 – 23) a 1,833 – 1,834 (28 – 29, hodnoty  $d$  sú v  $10^{-10}$  m, v zátvorkách sa uvádza intenzita). Kvalitatívna difrakčná analýza (široké, málo intenzívne difrakčné maximá) potvrdila rozličný stupeň kryštalinity.

Vypočítané mriežkové parametre apatitov s vysokým stupňom kryštalinity sú blízke mriežkovým parametrom uvedeným v kartotéke JCPDS (9 – 432, 19 – 272 a 21 – 145, Berry, ed. 1974). Hodnota  $a$  pre hydroxylapatity a karbonát-hydroxylapatity varíuje v intervale: 9,347 – 9,453 a hodnota  $c$  varíuje v intervale: 6,870 – 6,885 (v  $10^{-10}$  m). Odchýľky mriežkových parametrov od parametrov uvedených v kartotéke JCPDS (9 – 432, 19 – 272 a 21 – 145, Berry, ed. 1974) súvisia pravdepodobne s prekurzormi apatitov, izomorfnými a mechanickými prímiesmi.

*Leukofosfit*,  $\text{KFe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  [Tulis a Novotný, 2004 – Medvedia jaskyňa (SR)], sa vyskytuje ako drobné hrudky v sivom ílovci tvoriacom sedimenty v spodnej ploche jedného z bočných korýt, vystupuje v asociácii so sľudou, chloritom, kalcitom a kremeňom. Okrem chemickej analýzy, bol minerál identifikovaný aj práškovou difrakčnou analýzou. Bohužiaľ autori neuvádzajú jednotlivé difrakčné maximá, a tak nebolo možné vypočítať mriežkové parametre.

*Taranakit*,  $(\text{K},\text{NH}_4)\text{Al}_3(\text{PO}_4)_3(\text{OH})\cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (Sejkora et al., 2004 – jaskyňa Domic), sa vyskytuje vo forme kôr s mocnosťou až 20 mm, žltej až sivobielej farby, tvorených kriedovitými, monominerálnymi nodulami nepravidelného guľovitého tvaru (1 až 3 mm), nodule majú bielu až sivú farbu, sú veľmi mäkké, majú zemitý vzhľad a obyčajne sú zreteľne pórovité.

Práškové difrakčné záznamy vzoriek z jednotlivých jaskýň korešpondujú s údajmi z kartotéky JCPDS (8 – 180, Berry, ed., 1974). Päť difrakčných maxim s najväčšou intenzitou pre taranakit zodpovedá (hodnoty  $d$  sú v  $10^{-10}$  m, v zátvorkách sa uvádza intenzita): 15,827 (100), 7,451 (38), 3,816 (68), 3,138 (59) a 2,820 (46, hodnoty  $d$  sú v  $10^{-10}$  m, v zátvorkách sa uvádza intenzita).

Vypočítané mriežkové parametre pre taranakit sú blízke mriežkovým parametrom uvedeným napr. v prácach Sakae a Sudo (1975); Fiore a Laviano (1991); Marincea a Dumitraš (2003). Hodnota  $a$  zodpovedá: 8,712, hodnota  $c$  zodpovedá: 95,023 (v  $10^{-10}$  m). Odchýľky mriežkových parametrov od parametrov uvedených v prácach spomínaných vyššie súvisia pravdepodobne s izomorfnými a mechanickými prímiesami.

## VZŤAH K JASKYNNÉMU PROSTREDIU A SPÔSOB VZNIKU

Guáno patrí medzi bežné sedimenty jaskýň (Kašpar, 1934, 1940; Bridge, 1973, 1974, 1977; Balenzano et al., 1976; Ženiš, 1984, 1985; Moravanský a Ženiš, 1997; Diaconu a Lascu, 1999; Onac et al., 2002; Marincea et al., 2002; Onac a Vereş, 2003; Onac a White, 2003; Sejkora et al., 2004 a iní) a prítomnosť jeho rozsiahlych akumulácií umožňuje vznik viacerých minerálov patriacich medzi sulfáty (napr. sadrovec, ardealit, syngenit a pod.) a predovšetkým medzi fosfáty (napr. archerit, brushit, karbonát-hydroxylapatit, newberyit, taranakit a pod.). Vznik akýchkoľvek minerálov derivovaných z guána závisí nielen od prítomnosti guána, ale aj od cirkulácie roztokov a teplotných podmienok jaskyne. Roztoky presakujúce guanom jeho vyluhovaním získavajú niektoré zo základných zložiek ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^{2-}$  a pod.), ktoré reagujú rozličnými kationmi ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  a pod.) obsiahnutými v podložných horninách a naplavených sedimentoch.

Hoci sedimentárne apatity sú reprezentované predovšetkým karbonát-fluorapatitom (francolit, McConnell, 1938a, b, 1952, 1959, 1965; Smith a Lehr, 1966; Gulbrandsen, 1966; LeGeros et al., 1967; McClellan a Lehr, 1969; McClellan, 1980; McArthur, 1985; Huges et al., 1989; McClellan a Van Kauwenbergh, 1990; Shemesh, 1990; Van Cappellen a Brenner, 1991; Regnier et al., 1994 a iní), v jaskynnem prostredí dominujú hydroxylapatit a karbonát-hydroxylapatit (v staršej nomenklatúre označovaný ako dahllit (Kašpar, 1934, 1940;



Balenzano et al., 1976; Cílek a Komaško, 1984; Ďurčík et al., 1992; Moravanský a Ženiš, 1997; Hill a Forti, 1997; Cílek, 1999a, b, 1993a, 2003; Cílek et al., 2001; Onac et al., 2002; Marinca et al., 2002; Miko et al., 2002; Onac a Vereš, 2003 a iní).

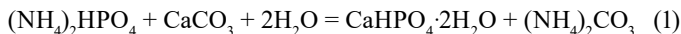
Na základe makroskopických poznatkov vyššie uvedených autorov a najmä rtg. práškovej difrakčnej analýzy možno za dominujúce fosfáty v jaskyniach Slovenska označiť hydroxylapatit [ $d = 2,814$  (100 – kartotéka JCPDS 9 – 432)] a karbonáthydroxylapatit [ $d = 2,717$  (100 – kartotéka JCPDS 21 – 145), prípadne  $d = 2,780$  (100 – kartotéka JCPDS 19 – 272)]. Analýza jednotlivých rtg. práškových záznamov ukázala, že ide o pomerne čisté vzorky s variabilným stupňom kryštalinity.

Prítomnosť fosfátov zo skupiny apatitu bola overená tak v podloží mohutných guánových akumulácií, ako aj v hnedých až tmavohnedých kôrach pokrývajúcej časť stien jednotlivých jaskýň. Podobné výskyty v jaskyniach nie sú vzácnosťou, ako sme predpokladali v roku 1997, opisujú ich viacerí autori, (napr. Fiore a Laviano, (1991) z jaskýň Apúlie (severná Taliansko), Onac a Vereš (2003) z jaskyne Măgurici (Rumunsko) a pod., ale sú pomerne bežné.

Mechanizmus vzniku hydroxylapatitu a karbonát-hydroxylapatitu v jaskynnem prostredí sa doteraz nepodarilo uspokojivo vysvetliť. Predpokladáme, že hydroxylapatit bude vznikať podobným spôsobom ako pri tvorbe obličkových kameňov, t. j. postupnou transformáciou prekurzorov (brushitu  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (molárny pomer Ca/P = 1,00) a OCP (oktalcium fosfátu)  $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (molárny pomer Ca/P = 1,33), prípadne i ACP (imorfného fosforečnanu vápenatého)  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  (molárny pomer Ca/P = 1,50), ako prekurzoru OCP (Eanes a Meyer, 1977; Christoffersen et al., 1989) alebo priamo hydroxylapatitu (Boskey a Posner, 1973; Pleshko et al., 1991 a iní) na apatit (molárny pomer Ca/P = 1,67 pre hydroxylapatit, Brown et al., 1962; Pak et al., 1971; Mathew et al., 1988; LeGeros et al., 1989; Tomazic et al., 1989; Johnsson a Nancollas, 1992; Suzuki et al., 1995 a iní).

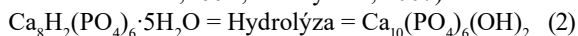
Prítomnosť kyslých fáz v počiatočnom štádiu tvorby apatitov favorizujú i hodnoty pH zistené v guánových sedimentoch, napr. Miko et al. (2002) uvádza v hĺbke 0 až 5 cm pod povrchom hodnotu pH 3,19 a v hĺbke 20 až 30 cm hodnotu pH 6,77.

Tvorbu brushitu derivovaného z guána možno vysvetliť reakciou uvedenou v práci Kašpar (1934):



Reakcia prebieha pri hodnote pH < 6 (Abbona et al., 1986, 1988; Johnsson a Nancollas, 1992; Miko et al., 2002; Onac a Vereš, 2003).

Brushit je neskôr transformovaný na OCP (LeGeros et al., 1984; Ebrahimpour et al., 1991), pričom pri pH 7 dochádza najprv k rozpusteniu samotného brushitu a potom k následnému vyzrážaniu OCP. Pri posune pH k alkalickým hodnotám nastáva postupná tvorba hydroxylapatitu pomocou hydrolyzy octocalcium fosfátu v zmysle reakcie (LeGeros et al., 1984, 1989; Johnsson a Nancollas, 1992; Soulayman, 2007):

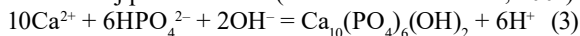


Priebeh tejto reakcie môže byť významne ovplyvnený typom iónov prítomných v roztoku, pričom  $\text{Mg}^{2+}$ , citran a difosforečnan reakciu spomaľujú a naopak ióny ako  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  a  $\text{Ca}^{2+}$  reakciu zrýchľujú.

Okrem hydrolyzy OCP môže hydroxylapatit vznikať i priamou transformáciou ACP, takáto transformácia prebieha pri hodnotách pH > 9. V intervale pH 7 – 9 je ACP najprv konvertovaný na OCP a až potom na samotný hydroxylapatit (Soulayman, 2007).

Hoci vyššie uvedený spôsob vzniku hydroxylapatitu v jaskynnem prostredí sa niektorým autorom (napr. Fiore a Laviano, 1991) zdá nepravdepodobný, dobrými argumentmi v prospech teórie prekurzorov sú podobnosť štruktúr prekurzorov a hydroxylapatitu, prítomnosť uzavretín brusitu v hydroxylapatite (napr. Moravanský a Ženiš, 1997 – Pružinská jaskyňa), ako aj prítomnosť niektorých difrakčných maxím OCP v práškových difrakčných záznamoch hydroxylapatitu / karbonáthydroxylapatitu. Obťažnosť identifikácie prekurzorov súvisí s ich termodynamickou nestabilitou v dôsledku meniacich sa pH podmienok a postupne

zvyšujúcim sa molárnym pomerom Ca/P, ako aj s prekrývaním viacerých difrakčných maxím študovaného materiálu. Nevyklúčujeme, že neskôr a mimo samotných guánových akumulácií môže hydroxylapatit vznikáť aj podľa reakcie (Gómez-Morales et al., 2001) typu:



Prítomnosť karbonát-hydroxylapatitu v jaskynnom prostredí, ako aj získanie viacerých práškových difrakčných záznamov predstavujúcich zmes hydroxylapatitu a karbonát-hydroxylapatitu možno vysvetliť pomocou substitúcie  $\text{CO}_3^{2-}$  za  $\text{PO}_4^{3-}$  v zmysle substitučných mechanizmov uvedených v prácach Ames (1959), Simpson (1964), McClellan (1980), LeGeros et al. (1996) a pod., ako aj aspoň čiastočnou konverziou hydroxylapatitu na karbonát-hydroxylapatit.

Prítomnosť taranakitu medzi fosfátmi derivovanými z guána jednoznačne preukazuje lokálny výskyt ílovitých sedimentov v blízkosti guána. Hoci reakcia pre mechanizmus vzniku dosiaľ nebola navrhnutá, všeobecne sa predpokladá, že taranakit vzniká reakciou roztokov obsahujúcich P s ílovými minerálmi poskytujúcimi komponenty ako  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  a pod. pri hodnotách  $\text{pH} < 7$  (Fiore a Laviano, 1991; Marincea a Dumitraş, 2003; Onac a Vereş, 2003 a iní).

Okrem vyššie uvedeného spôsobu vzniku fosfátov v jaskyniach Slovenska sa zaznamenalo aj niekoľko výskytov (Cílek a Komaško, 1984 – Jaskyňa v Záskočí; Moravanský a Ženiš, 1997 – Modrovská jaskyňa; Tulis a Novotný, 2004 – Medvedia jaskyňa; Bosák et al., 2002 – Ochtinská aragonitová jaskyňa) karbonát-hydroxylapatitu tvoriaceho tmavohnedé povlaky a kôry na stenách a dne jaskýň, prípadne tvoriaceho inklúzie v ílovitých sedimentoch a bez priamej naviazanosti na guáno. V týchto prípadoch bude pravdepodobne zdrojom fosforu pôdny pokryv nad jaskyňami, hoci ich naviazanosť na už „spotrebované“ guáno nemožno vylúčiť. Vznik leukofosfitu nájdeného v Medvedej jaskyni (SR, Tulis a Novotný, 2004), podobne ako pri taranakite, súvisí s prítomnosťou ílovitých sedimentov poskytujúcich  $\text{K}^+$  a  $\text{Fe}^{2+}$ .

## ZÁVER

Hoci v súčasnosti bolo v jaskynnom prostredí opísaných až 56 druhov fosfátov (Onac a Vereş, 2003), v jaskyniach Slovenska sa podarilo zatiaľ identifikovať iba tieto fosfáty: *brushit*,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; *hydroxylapatit*,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ; *karbonát-hydroxylapatit*,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{CO}_3$ ; *taranakit*,  $(\text{K}, \text{NH}_4)\text{Al}_3(\text{PO}_4)_3(\text{OH}) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  a *leukofosfit*,  $\text{KFe}^{2+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ktorých vznik súvisí najmä s guánom.

Poďakovanie: Tento článok vznikol vďaka finančnej podpore grantu VEGA MŠ SR 1/3057/06.

## LITERATÚRA

- ABBONA, F. – LÚNDAGER MADSEN, H. E. – BOISTELLE, R. 1986. The initial phases of calcium and magnesium phosphates precipitated from solutions of high to medium concentration. *J. Cryst. Growth*, 74, 581–590.
- ABBONA, F. – LÚNDAGER MADSEN, H. E. – BOISTELLE, R. 1988. The final phases of calcium and magnesium phosphates precipitated from solutions of high to medium concentration. *J. Cryst. Growth*, 89, 592–602.
- AMES, L. L., JR. 1959. The genesis of carbonate apatite. *Econ. Geol.*, 54, 829–841.
- BALENZANO, F. – DELL'ANNA, L. – DI PIERRO, M. 1976. Francoanellite,  $\text{H}_6\text{K}_3\text{Al}_3(\text{PO}_4)_8 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral from the caves of Castelagna, Puglia, southern Italy. *N. Jb. Miner. Mh.*, 1976, 49–57.
- BERRY, L. G. (ED.). 1974. Selected powder diffraction data for minerals. Swathmore, Philadelphia (USA), 833.
- BOSÁK, P. – BELLA, P. – CÍLEK, V. – FORD, D. C. – HERCMAN, H. – KADLEC, J. – OSBORNE, A. – PRUNER, P. 2002. Ochtiná aragonite cave (Western Carpatians, Slovakia): morphology, mineralogy of the fill and genesis. *Geol. Carpath.*, 53, 6, 399–410.
- BOSKEY, A. L. – POSNER, A. S. 1973. Conversion of amorphous calcium phosphate to microcrystalline hydroxyapatite. A pH dependent, solution-mediated, solid-solid conversion. *J. Phys. Chem.* 77, 2313–2317.
- BRIDGE, P. J. 1973. Urea, a new mineral, and neotype phosphammite from Western Australia. *Mineral. Mag.*, 39, 346–348.
- BRIDGE, P. J. 1974. Guanine and uricite, two new organic minerals from Peru and Western Australia. *Mineral. Mag.*, 39, 889–890.

- BRIDGE, P. J. 1977. Archerit,  $(K, NH_4)H_2PO_4$ , a new mineral from Madura, Western Australia. *Mineral. Mag.*, 41, 33–35.
- BROWN, W. E. – SMITH, J. P. – LEHR, J. P. – FRAZIER, A. W. 1962. Crystallographic and chemical relations between octacalcium phosphate and hydroxyapatite. *Nature*, 196, 1050–1055.
- CÍLEK, V. – KOMAŠKO, A. 1984. Apatit z jeskyně v Záskočí. *Československý kras*, 34, 83–87.
- CÍLEK, V. 1993A. Apatitové povlaky z Múrikové jeskyně na Silické planině a z Javoříčských jeskyní. *Speleo*, 12, 8–10.
- CÍLEK, V. 1993B. Klasifikace jeskynních sedimentů. In *Speleo – Krasové sedimenty: Fosilní záznam klimatických oscilací a změn prostředí.*, 85–87.
- CÍLEK, V. 1999A. Mineralogické výzkumy v jeskyni Domica. *Aragonit*, 4, 9–11.
- CÍLEK, V. 1999B. Mineralogické výzkumy v Ružinském krasu. *Speleo*, 29, 34–36.
- CÍLEK, V. 2003. Mineralogické výzkumy v Hrušovské jeskyni ve Slovenském krasu. *Slovenský kras*, 41, 225–227.
- CÍLEK, V. – KOMAŠKO, A. 1984. Apatit z jeskyně v Záskočí. *Československý kras*, 34, 83–87.
- CÍLEK, V. – BOSÁK, P. – MELKA, K. – ŽÁK, K. – LANGROVÁ, A. – OSBORNE, A. 1998. Mineralogické výzkumy v Ochtinské aragonitové jeskyni. *Aragonit*, 3, 7–12.
- CÍLEK, V. – MELKA, K. – LANGROVÁ, A. 2001. Kontaktní viséit a konkrecionální apatit z jeskyně Domica. *Slovenský kras*, 39, 25–35.
- DIACONU, G. – LASCU, C. 1999. Preliminary data about nitrates in „Peștera Mare de la Șălitrari“, Cerna Mountains, Romania. *Theoretical and Applied Karstology*, 11–12, 47–52.
- ĐURČÍK, K. – GAÁL, J. – GAÁL, E. – ŽENIŠ, P. 1992. Objav jaskyne nad Kadlubom. *Slovenský kras*, 30, 17–28.
- EANES, E. D. – MEYER, J. L. 1977. The Maturation of Crystalline Calcium Phosphates in Aqueous Suspensions at Physiological pH. *Calcif. Tissue Res.*, 23, 259–269.
- Ebrahimpour, A. – Zhang, J. – Nancollas, G. H. 1991. Dual constant composition method and its application to studies of phase transformation and crystallization of mixed phases. *J. Cryst. Growth*, 113, 83–91.
- Fiore, S. – Laviano, R. 1991. Brushite, hydroxylapatite, and taranakite from Apulian Caves (southern Italy): New mineralogical data. *Amer. Mineralogist*, 76, 1722–1727.
- GÓMEZ-MORALES, J. – TORRENT-BURGUÉS, J. – BOIX, T. – FRAILE, J. – RODRÍGUEZ-CLEMENTE, R. 2001. Precipitation of Stoichiometric Hydroxylapatite by a Continuous Method. *Cryst. Res. Technol.*, 36, 1, 15–26.
- GULDBRANDSEN, R. A. 1966. Chemical composition of phosphorites of the Phosphoria Formation. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 30, 769–778.
- HILL, C. A. – FORTI, P. 1997. *Cave minerals of the World*. National Speleological Society, Huntsville, 464 p.
- HUGES, J. M. – CAMERON, M. – CROWLEY, K. D. 1989. Structural variations in natural F, OH, and Cl apatites. *Amer. Mineralogist*, 74, 870–876.
- CHRISTOFFERSEN, J. – CHRISTOFFERSEN, M. R. – KIBALCZYK, W. – ANDERSEN, F. A. 1989. A Contribution to the Understanding of the Formation of Calcium Phosphates. *J. Cryst. Growth*, 94, 767–777.
- JOHNSSON, M. S.-A. – NANCOLLAS, G. H. 1992. The Role of Brushite and Octacalcium Phosphate in Apatite formation. *Critical Reviews in Oral Biology and Medicine*, 3 (1/2), 61–82.
- KAŠPAR, J. 1934. Genese guanových minerálů z jeskyně Domice. *Vestník SGÚ RČS*, 10, Praha, 104–111.
- KAŠPAR, J. 1940. O chemickém složení brushitu z Jihokarpatského krasu. *Vestník geol. Úst. Pro Čechy a Moravu*, 16, Praha, 55–63.
- KETTNER, R. 1948. O netopýřím guanu a guanových korosích v jeskyni Domici. *Sb. Stat. geol. úst. Praha*, 15, 41–64.
- LEGEROS, R. Z. – TRAUTZ, O. R. – LEGEROS, J. P. – KLEIN, E. – SHIRRA, W. P. 1967. Apatite crystallinities: effects of carbonate on morphology. *Science*, 155, 1409–1411.
- LEGEROS, R. Z. – KLIKOWSKA, R. – LEGEROS, J. P. 1984. Formation and Transformation of Octacalcium Phosphate, OCP: A Preliminary Report. *Scanning Electr. Microsc.*, 4, 1771–1777.
- LEGEROS, R. Z. – DACULSI, G. – ORLY, I. – ABERGAS, T. – TORRES, W. 1989. Solution mediated transformation of octacalcium phosphate (OCP) to apatite. *Scanning Electr. Microsc.*, 3, 129–138.
- LEGEROS, R. Z. – SAKAE, T. – BAUTISTA, C. – RETINO, M. – LEGEROS, J. P. 1996. Magnesium and carbonate in enamel and synthetic apatites. *Adv. Dent. Res.* 10, 225–31.
- MARINCEA, Ș. – DUMITRAȘ, D. – GIBERT, R. 2002. Tinsleyite in the „dry“ Cioclovina Cave (Sureanu Mountains, Romania). *European Journal of Mineralogy*, 14, 157–164.
- MARINCEA, Ș. – DUMITRAȘ, D. 2003. The occurrence of taranakite in the “dry“ Cioclovina Cave (Sureanu Mountains, Romania). *Neu. Jb. Mineral. Abh.*, Mh. 3, 127–144.
- MATHEW, M. – BROWN W. E. – SCHROEDER, L. W. 1988. Crystal structure of octacalcium bis(hydrogenphosphate)tetrakis (phosphate)-pentahydrate,  $Ca_8(HPO_4)_2(PO_4)_4 \cdot 5H_2O$ . *J. Crystallograph. Spectroscopic. Res.*, 18, 235–250.
- MCCARTHUR, J. M. 1985. Francelite geochemistry-compositional controls during formation, diagenesis, metamorphism and weathering. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 49, 23–35.
- MCCLELLAN, G. H. 1980. Mineralogy of carbonate fluorapatites. *Jour. of the Geol. Soc.*, London, 137, 675–681.
- MCCLELLAN, G. H. – LEHR, J. R. 1969. Crystal chemical investigation of natural apatites. *Amer. Mineralogist*, 54, 1374–1391.

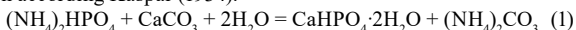
- MCCLELLAN, G. H. – VAN KAUWENBERGH, S. J. 1990. Mineralogy of sedimentary apatites. In Notholt, A. J. G. – Jarvis, I. (eds), *Phosphorite Research and Development*. Jour. of the Geol. Soc., London, Special publication, 52, 23–31.
- MCCONNELL, D. 1938A. The problem of the carbonate apatites, a carbonate oxyapatite (dahllite). *Am. Jour. Sci.* 236, 296–303.
- MCCONNELL, D. 1938B. A structural investigation of the isomorphism of the apatite group. *Amer. Mineralogist*, 23, 1–19.
- MCCONNELL, D. 1952. The problem of carbonate apatites. IV. Structural substitutions involving CO<sub>3</sub> and OH. *Bull. Soc. Franc. Mineral. Cristallogr.*, 75, 428–445.
- MCCONNELL, D. 1959. The problem of carbonate apatites. *Econ. Geol.*, 54, 749–751.
- MCCONNELL, D. 1965. Crystal chemistry of hydroxyapatite, its relation to bone mineral. *Arch. Oral Biol.*, 10, 421–431.
- MIKO, S. – KUHTA, M. – KAPELJ, S. 2002. Environmental baseline geochemistry of sediments and percolating waters in the Modrovič cave, Croatia. *Acta Crasologica*, 31/1, 11, 15–149.
- MORAVANSKÝ, D. – ŽENIŠ, P. 1997. Guánové minerály v niektorých jaskyniach západného a stredného Slovenska. *Mineralia Slovaca*, 29, 61–72.
- ONAC, B. P. – BREBAN, R. – KEARNS, J. – TĂMAȘ, T. 2002. Unusual minerals related to phosphate deposits in Cioclovina Cave, Șureanu Mts. (Romania). *Theoretical and Applied Karstology*, 15, 27–34.
- ONAC, B. P. – VEREȘ, D. Ș. 2003. Sequence of secondary phosphates deposition in a karst environment: evidence from Măgurici Cave (Romania). *Eur. J. Mineral.*, 15, 741–745.
- ONAC, B. P. – WHITE, W. B. 2003. First reported sedimentary occurrence of berlinite (AlPO<sub>4</sub>) in phosphate bearing sediments from Cioclovina Cave, Romania. *American Mineralogist*, 88, 1395–1397.
- PAK, CH. Y. C. – EANES, E. D. – RUSKIN, B. 1971. Spontaneous precipitation of Brushite in Urine: Evidence that Brushite Is the Nidus of renal Stones Originating as Calcium Phosphate. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 68, 7, 1456–1460.
- PAVLARČÍK, S. 1999. Brushit v jaskyni Javorinka vo Vysokých Tatrách. *Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti*, 30, 2, 43–45.
- PLESHKO, N. – BOSKEY, A. – MEDELSON, R. 1991. Novel infrared spectroscopic method for the determination of crystallinity of hydroxyapatite minerals. *Biophys. J.*, 60, 786–793.
- REGNIER, P. – LASAGA, A. C. – BERNER, R. A. – HAN, O. H. – ZILM, K. W. 1994. Mechanism of CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> substitution in carbonate fluorapatite: Evidence from FT IR spectroscopy, <sup>13</sup>C NMR, and quantum mechanical calculations. *Amer. Mineralogist*, 79, 809–818.
- SAKAE, T. – SUDO, T. 1975. Taranakite from the Onimo-Iwaya Limestone Cave at Hiroshima Prefecture, Japan: A new occurrence. *Amer. Mineralogist*, 60, 331–334.
- SEJKORA, J. – ĎUDA, R. – ČEJKA, J. – EDEROVÁ, J. – NOVOTNÁ, M. 2004. Taranakit (K,NH<sub>4</sub>)Al<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH)·9H<sub>2</sub>O vzniknutý rozkladom guána netopýrů v jaskyni Domica (Slovenská republika). *Mineralia Slovaca*, 36, 343–348.
- HEMESH, A. 1990. Crystallinity and diagenesis of sedimentary apatites. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 54, 2433–2438.
- SIMPSON, D. R. 1964. The nature of alkali carbonate apatites. *Amer. Mineralogist*, 49, 363–376.
- SMITH, J. P. – LEHR, J. R. 1966. An X-ray investigation of carbonate apatite. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 14, 342–349.
- SOULAYMAN, S. SH. 2007. Mass Crystallization of Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH). *Inter. Jour. Mat. Sci.*, 2, 1, 95–107.
- SUZUKI, O. – YAGISHITA, H. AMANO, T. – AOBA, T. 1995. Reversible Structural Changes of Octacalcium Phosphate and Labile Acid Phosphate. *J. Dent. Res.*, 74, 11, 1764–1769.
- TOMAZIC, B. B. – TUNG, M. S. – GREGORY, T. M. – BROWN, W. E. 1989. Mechanism of hydrolysis of octacalcium phosphate. *Scanning Electron. Microsc.*, 3, 119–127.
- TULIS, J. – NOVOTNÝ, L. 2004. Medvedia jaskyňa. Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. *Zborník referátov, Liptovský Mikuláš*, 48–56.
- VAN CAPPELLEN, P. – BERNER, R. A. 1991. Fluorapatite crystal growth from modified seawater solutions. *Geochim. et Cosmoch. Acta* 55, 1219–1234.
- WHITE, W. B. 1963. Sedimentation in caves: a review. *Nat. Speleol. Soc. News*, 21, 152–153.
- ŽENIŠ, P. 1984. Nález brushitu v jaskyni Tmavá skala. *Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti*, 15, 2–3 41–42.
- ŽENIŠ, P. 1985. Brushit z jaskyne Podbanište v Drienčanskom krase. *Časopis pro mineralogii a geologii*, 30, 4, 436.

## PHOSPHATE MINERALS IN SLOVAK CAVES

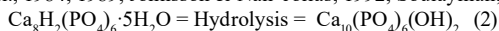
### S u m m a r y

Cave minerals are common part of sedimentary filling in many caves and they occur in all part of cave systems. On the base of the previous research in Slovak caves (Domica cave, Jasovská cave, Vápencová cave Hrušovská cave (Slovenský kras Mts., SK); Tmavá skala cave, Haviareň cave, Plavecká cave (Malé Karpaty Mts., MK); Podbanište cave, cave over Kadlub, Ochtinská aragonite cave (Revúcka vrchovina highlands.,

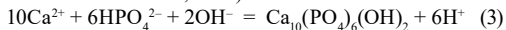
RV); Modrovská cave (Považský Inovec Mts., PI); Medvedia cave (Slovenský raj Mts., SR); Veľká ružínska cave, Malá kvapľová cave (Slovenské Rudohorie Mts., SLR), Pružínska cave (Strážovské vrchy Mts., SV), cave in Záskočí (Nízke Tatry Mts., NT); Havranová cave (Veľká Fatra Mts., VF) and Javorinka cave (Vysoké Tatry Mts., VT) phosphate minerals are very important group and they are only partly explored. Although in the cave environment have been identified 56 phosphate minerals (Onac & Vereš, 2003), in our caves we know only following minerals: brushite,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; hydroxylapatite,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ; karbonát-hydroxylapatite,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{CO}_3\text{OH}$ ; taranakite,  $(\text{K}, \text{NH}_4)\text{Al}_3(\text{PO}_4)_3(\text{OH}) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  leukophosphite,  $\text{KFe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . The dominant phosphate in our caves is hydroxylapatite and data from diffraction analysis all mentioned minerals are corresponding with data from JCPDS (Berry, ed. 1974). They occur as a cement of limestone pebbles; crusts and coating on the sinter speleothems, the walls of cave or fallen big rock blocks; and also as a continuously layer of microcrystalline masses under guano deposits and gypsum layer. Although mechanism of hydroxylapatite or carbonate hydroxylapatite formation in cave environment is unclear and has not been explained in sufficient manner up to present time, we suppose that hydroxylapatite will be formed with similar way as a formation of renal stones, e.g. gradually transformation of metastable precursors (brushite  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (molar ratio  $\text{Ca}/\text{P} = 1,00$ ) and octacalcium phosphate  $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (molar ratio  $\text{Ca}/\text{P} = 1,33$ ), as well as transformation of amorphous calcium phosphate  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  (molar ratio  $\text{Ca}/\text{P} = 1,50$ ) as a precursor of octacalcium phosphate (Eanes & Meyer, 1977; Christoffersen et al., 1989) or as a directly precursors of hydroxylapatite (Boskey & Posner, 1973; Pleshko et al., 1991 and others) into apatite (molar ratio of hydroxylapatite  $\text{Ca}/\text{P} = 1,67$ , Brown et al., 1962; Pak et al., 1971; Mathew et al., 1988; LeGeros et al., 1989; Tomazic et al., 1989; Johnsson & Nancollas, 1992; Suzuki et al., 1995 and others). The presence of acidic phases during initial precipitation of apatites is also supported by pH values recorded in guano sediments, for example Miko et al. (2002) that measured in a depth of 0 to 5 cm under guano surface  $\text{pH} = 3,19$  and in a depth of 20 to 30 cm value  $\text{pH} = 6,77$ . The formation of brushite derived from guano can be explained by reaction according Kašpar (1934):



This reaction will be running under value  $\text{pH} < 7$  (Abbona et al., 1986, 1988; Johnsson & Nancollas, 1992; Miko et al., 2002; Onac & Vereš, 2003). Latter at  $\text{pH} = 7$ , the brushite can be dissolved and transformed into octocalcium phosphate (LeGeros et al., 1983; Ebrahimpour et al., 1991). When the pH value moves at alkaline values, hydroxylapatite will be gradually formed by hydrolysis of the octocalcium phosphate according reaction (LeGeros et al., 1984, 1989; Johnsson & Nancollas, 1992; Soulayman, 2007):



The formation of hydroxylapatite by hydrolysis of octocalcium phosphate can be strongly influenced by the presence of some ions in solution, smaller ions, such as citrate and pyrophosphate or simple ions, such as  $\text{Mg}^{2+}$  can delay and contrariwise ions, such as  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  and  $\text{Ca}^{2+}$  can accelerate this type of reaction. Except hydrolysis of octocalcium phosphate, hydroxylapatite can originate also by direct transformation of amorphous calcium phosphate that is running at  $\text{pH} > 9$ . In the range of  $\text{pH} 7 - 9$ , amorphous calcium phosphate is at first converted into octocalcium phosphate and then later into hydroxylapatite (Soulayman, 2007). Although above mentioned way of formation for hydroxylapatite in cave environment is according some authors (for example Fiore & Laviano, 1991) improbable, very strong arguments for theory of precursors are similarity between structures of precursors and structure of hydroxylapatite, the presence of brushite impurities in hydroxylapatite (for example Moravský & Ženiš, 1997) and also the presence some diffraction peaks of OCP in powder diffraction patterns of hydroxylapatite / carbonate hydroxylapatite from studied localities. The problematic identification of single precursors is connected with their thermodynamic stability under changing pH conditions, gradually increasing molar ratio  $\text{Ca}/\text{P}$ , and also with a overlapping some diffraction peaks of studied material. We cannot rule out that later and outside guano deposits, hydroxylapatite also can forms according reaction (Gómez-Morales et al., 2001):



The presence of carbonate hydroxylapatite in cave environment and its identification in some powder diffraction patterns with mixture of hydroxylapatite and carbonate hydroxylapatite can be explained with substitution of  $\text{CO}_3^{2-}$  for  $\text{PO}_4^{3-}$  according substitution mechanisms described in works as Ames (1959), Simpson (1964), McClellan (1980), LeGeros et al. (1996), etc. and also with partial conversion of hydroxylapatite into carbonate hydroxylapatite under suitable thermodynamic conditions. The presence of taranakite among phosphates connected with guano unequivocally refers to occurrence clay sediments next to guano. Clay sediments are source of main components as  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , etc. and this mineral will be formed under value  $\text{pH} < 7$  (Fiore & Laviano, 1991; Marincea & Dumitraş, 2003; Onac & Vereš, 2003 and others). Apart from phosphates connected with guano, we know some occurrences where the source of P is not exactly specified (Čílek & Komaško, 1984 – cave in Záskočí; Moravský & Ženiš, 1997 – Modrovská cave, Tulis & Novotný, 2004 – Medvedia cave a Bosák et al., 2002 – Ochtínska aragonite cave). The probably source of P will be covering soil above single cave systems. The origin of leucophosphate from Medvedia cave (SR, Tulis & Novotný, 2004) is connected with presence of clay sediments that are source of  $\text{K}^+$  and  $\text{Fe}^{2+}$ , similar as origin of taranakite.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	361 – 368	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## AIR EXCHANGE IN THE KATEŘINSKÁ CAVE – FIRST CONTRIBUTION

JIŘÍ HEBELKA<sup>1</sup>, JACEK PIASECKI<sup>2</sup>, TOMASZ SAWIŃSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Caves Administration of Moravian Karst, Svitavská 11-13, 678 01 Blansko, Czech Republic

<sup>2</sup> University of Wrocław, Institute of Geography and Regional Development, Department of Meteorology and Climatology, ul Kosiby 6/8, 51-670 Wrocław, Poland; hebelka@caves.cz, piasecki@biskupin.wroc.pl, t\_sawinski@meteo.uni.wroc.pl

**J. Hebelka, J. Piasecki, T. Sawiński: Air exchange in the Kateřinská Cave – first contribution**

**Abstract:** In February 2006, investigation began in the Kateřinská Cave, aiming at the explanation of mechanisms which form cave climate. A basis for the research has been the constant, long-term registration of air temperature and air movement in the cave. In this paper, results of measurements conducted in the cave in the period from 17<sup>th</sup> February 2006 to 18<sup>th</sup> January 2007 are presented. They were used to establish the character of air exchange between the cave and the exterior and to point at some features of thermal conditions and airflow course in the cave.

**Key words:** Kateřinská Cave, cave climate, air movement

### INTRODUCTION

In caves open to air exchange with the exterior, air movement plays main role in energy and water vapour circulation and distribution. Consequently, it is one of two main factors (next to energy exchange between an orogen and cave air) deciding of climatic conditions in caves (Cigna, 1967; Lismonde, 2002a,b and others). In case of caves accessible to the public, the natural air circulation is disturbed as a result of building and then using of entrance locks, mixing air and delivering additional energy during passage of tourist groups (Piasecki, 1996; Pulido-Bosch et al, 1997; Klaučo, 1998; Pflitsch et al, 1999; Martin et al, 2006). These factors influence natural course of climatic phenomena in caves.

In the Kateřinská Cave, research on the course and mechanisms of air exchange and on thermo-circulation system of the cave climate had not been conducted before. The measurements started in February 2006 should deliver documentation, essential to characterize the cave climate and its susceptibility to changes due to natural and anthropogenic factors. They should also be used for effective protection of the cave environment.

### KATEŘINSKÁ CAVE – DESCRIPTION OF THE RESEARCH AREA

The cave is located in the southern part of the Moravian Karst in the Punkva River Resurgence Reserve. It belongs to the underground system of this river, being its paleo-resurgence part. Its large entrance hole (Photo 1) is located approximately 10 m above the bottom of Dry Valley karst canyon, which depth is more than 100 m. The cave is built on two morphological levels with denivelation of 60 m. Its explored part consists of corridors and two great chambers, of the height of 20 and 30 m (Main Dome, Chaos Dome), extending horizontally along the SW to NE axis (Fig. 1). From the ceiling in the main cave chambers, corridors and vertical clefts come away, connecting the actual cave level with the higher second level. Probably, some of the clefts reach the ridge surface. The entire known length of the





Photo 1. The Kateřinská Cave – entrance. Photo: J. Hebelka



Photo 2. Bamboo Grove – unique dripstons forms in the New Kateřinská Cave. Photo: J. Piasecki

cave corridors is 950 m. The introductory part of the cave (so-called Old Kateřinská Cave), from the entrance, through the introductory corridor (Entrance Corridor; 50 m length) to the Main Dome chamber ( $96 \times 45 \times 20$  m dimensions) was already known for ages. In 1909, during exploration conducted by professor Karel Absolon's team, a siphon was excavated in the NE part of the Main Dome chamber. In this way, a passage to the deeper parts of the cave was opened (to the Chaos Dome and consecutive chambers and corridors – so-called New Kateřinská Cave), with rich and unique dripstone forms (Bamboo Grove area; Photo 2). As a result of further exploration, a passage to corridors and chambers of the cave upper level was found in the NE part of the Chaos Dome. In 1910 the cave was opened to the public.

#### RANGE OF MEASUREMENTS

Until 2006, no constant, long-term speleo-climatological research was conducted in the cave. The only measurements that were taken date back

from 1997 and 1998. In those years, one-day registrations of air temperature and humidity, as well as radon and CO<sub>2</sub> content in the cave air were conducted, in different seasons of year (Table 1).

Table 1. Daily means of air temperature (T), real humidity (RH), vapour pressure (e) and saturation deficit (d) in the Kateřinská Cave during periodical measurements carried out in the years 1997, 1998

		Spring 1997-04-27	Summer 1997-08-09	Autumn 1997-11-06	Winter 1998-02-03
Entrance	T [°C]	5.73	19.45	5.56	-6.01
	RH [%]	61.21	67.70	73.70	78.42
	E [hPa]	5.62	15.32	6.68	3.05
	D [hPa]	3.56	7.31	2.38	0.84
Main Dome	T [°C]	7.07	7.57	7.12	6.33
	RH [%]	98,71	100,00	99,97	98,41
	E [hPa]	9.94	10.42	10.10	9.41
	D [hPa]	0.13	0.00	0.00	0.15
Bamboo Grove	T [°C]	6.84	7.92	7.81	6.45
	RH [%]	99,97	-	97,84	99,92
	E [hPa]	9.91	-	10.36	9.64
	d [hPa]	0.01	-	0.23	0.01
Chaos Dome	T [°C]	7.51	8.04	8.05	7.11
	RH [%]	99,76	97,80	-	98,49
	E [hPa]	9.94	10.52	-	9.94
	d [hPa]	0.15	0.24	-	0.15

Since 2006, for air movements registration the authors have been using acoustic anemometers type USA-1 by METEK GmbH (METEK, 2001; Piasecki and Sawiński, 2007). A measurement point was located in a deep part of the cave, in the distance of approximately 210 m from the entrance orifice and 35 m behind the Siphon, at the end of the first chamber of the New Kateřinská Cave (Fig. 1). The choice of location for the measurement was driven by the need of recognizing the course of air exchange in the cave transitional zone, which connects two parts of the cave, initially separated and differing significantly in terms of microclimatic conditions. An anemometer was installed among the dripstones in the Bamboo Grove, 2.0 m above the floor and 1.0 – 1.5 m under the chamber ceiling (Photo 3.), approximately 3 m from a tourist route. The measurements were taken with 1 minute frequency. Data on metrological situation in the cave exterior comes from automatic measurement station type Campbell CR510, located 2 km from the cave, in similar field and topoclimatic conditions (in the Dry Valley near the Punkva Caves entrance).

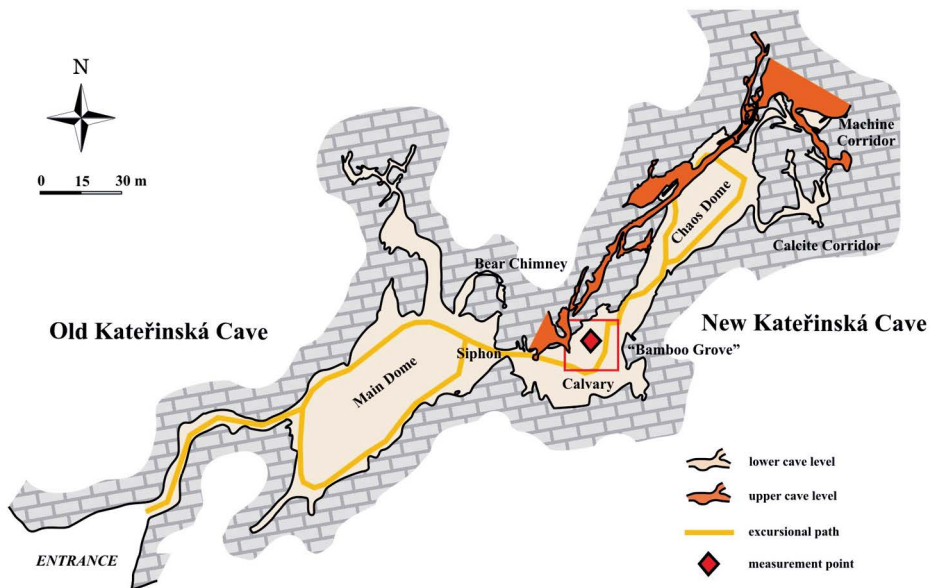


Fig. 1. Map of the Kateřinská Cave with location of anemometric measurement position



Photo 3. Acoustic anemometer at measurement point in the Bamboo Grove area. Photo: J. Piasecki

## RESULTS OF INVESTIGATION

Seasonal variation in volume and direction of air temperature gradient in longitudinal cave section was registered during the measurements in 1997 and 1998 (Table 1). This pointed at the possible occurrence of air exchange reaching the whole area of this morphological horizon of the cave. Such phenomenon was proved by the results of current research.

In the cave, two types of air exchange were observed. The type characteristic for winter (winter type; episodically occurring also in autumn and spring) takes place in the periods when air temperature in the exterior ( $T_{EXT}$ ) is lower than air temperature in the cave ( $T_{INT}$ ). In such conditions, at the measurement station Bamboo Grove, airflow from SW sector (along the chamber main axis) was registered, of stable direction (WD) and ascent/descent angle (ZD), and relatively high (in the order of  $0.04 - 0.09 \text{ ms}^{-1}$ ) horizontal velocity ( $V$ ; Fig. 2, 3, 4). The changes in air temperature inside the cave



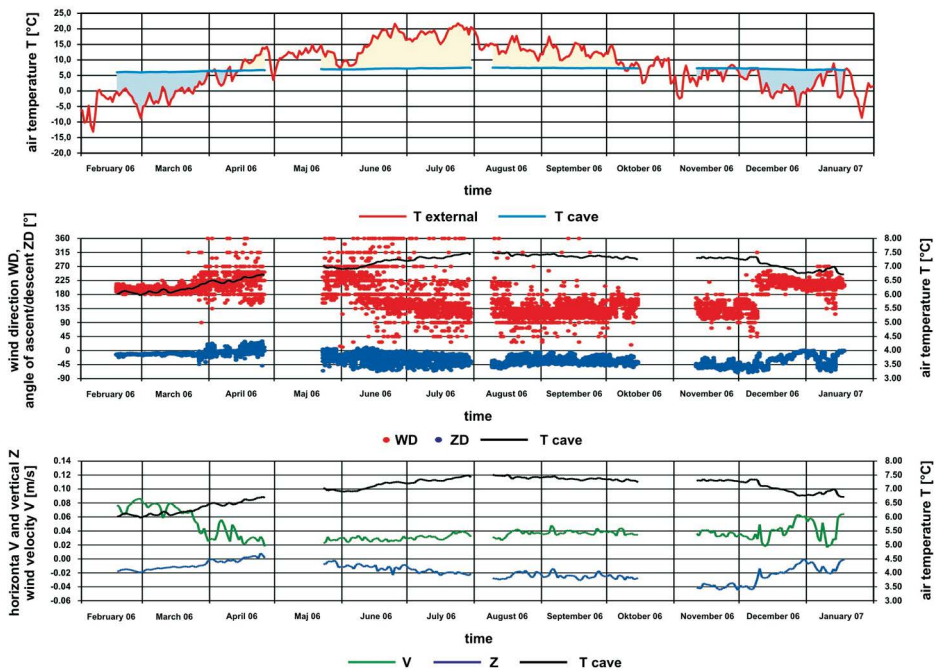


Fig. 2. The course of air exchange at the measurement point in the Bamboo Grove area relating to air temperature differences between the cave and its exterior in the period from February 2006 to January 2007

corresponded with the changes in the exterior (Fig. 5a). Airflow velocity depended on temperature gradient between the cave and the exterior (Fig. 5b).

The second air exchange type occurs in summer (summer type) and it alternates with winter type in autumn and spring, in the periods when  $T_{EXT}$  is higher than  $T_{INT}$ . Airflow in the cave transitional zone was progressing from the SE sector (Fig. 2, 3). Its direction was unstable and average velocity remained in the range  $0.02 - 0.04 \text{ ms}^{-1}$  (Fig. 6). Significant changes in velocity of air movement and air temperature (Fig. 6a), as well as disturbance in the airflow direction and ascent/descent angle (Fig. 6b), occurring during 24 hours cycle, were caused by presence of tourists.

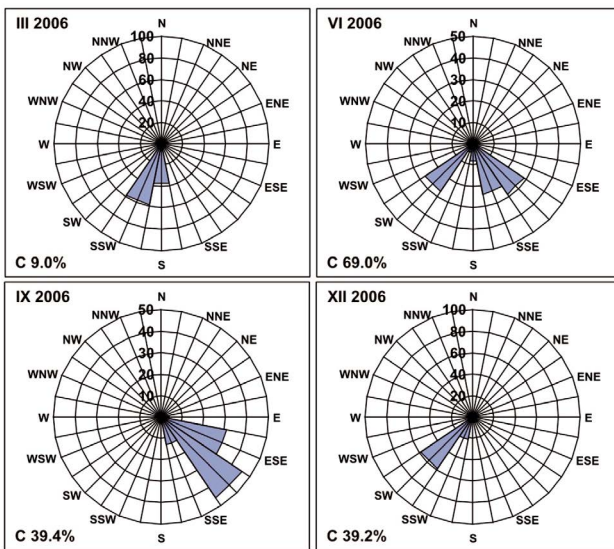


Fig. 3. Air movement direction at the measurement point in the Bamboo Grove area in selected months

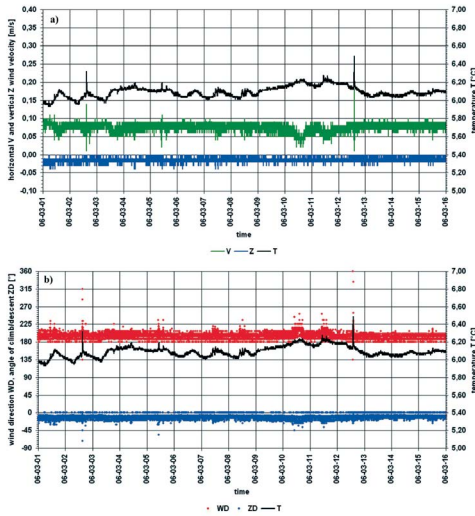


Fig. 4. The course of air exchange at the measurement point in the Bamboo Grove area in winter season

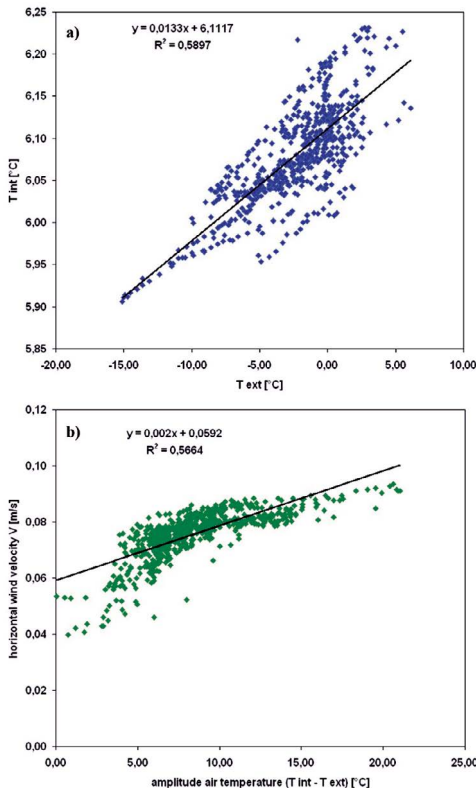


Fig. 5. The dependence between air temperature in the cave and its exterior (a); air flow velocity dependence on air temperature range between the cave and its exterior (b) in March 2006

## RESULTS AND DISCUSSION

Collected measurement material shows occurrence of circulation air movements (CAM; Piasecki a Sawiński, 2007) in the cave. In summer and winter it is relatively stable. In autumn and spring, direction and intensity of movement is subject to periodical change. This seasonal and periodical variation of the airflow character points at the occurrence of chimney effect in the cave, in its typical, two-phase form. This effect drives of the air exchange between the cave and its exterior. In winter, spring and autumn, during occurrence of air exchange of winter type, external air constantly flows into the cave. This is shown by: 1) stable airflow direction inside the cave (Fig. 2, 4) and 2) significant relation between changes in air temperature in the exterior on one side, and changes in air temperature and airflow velocity inside the cave on the other (Fig. 5). The inflow is probably balanced by convective outflow of relatively warm cave air through chimneys located in the NE part of the Chaos Dome and in the ceiling of the Main Dome (Fig. 7a). In the periods when summer type of air exchange type is active, the flow progresses probably in the opposite direction, to the exterior. According to the authors, cool and heavy cave air subsides in chimneys and rock clefts connecting the cave with the surface, and then – through corridors and cave chambers – it flows down towards the entrance (Fig. 7 b). Measurements taken so far do not prove this phenomenon clearly. Such interpretation of summer airflow is supported by a distinct change in the main direction of airflow when compared to the winter situation, as well as by the cave morphology. One of the causes of ambiguous character of airflow in the warm season are probably the disorders of natural airflow patterns caused by tourists' presence in the cave.

Presented results and analyses show that air exchange embraces the whole main sequence of corridors and chambers of the cave, from the entrance, through

the chambers of the Main Dome, Bamboo Grove to Chaos Dome. However, the range of this exchange probably does not include the whole profile of chambers, but limits only to the above-floor layer of cave atmosphere and to the surrounding of the chimneys.

The intensity and course of air exchange between the cave and its exterior has significant influence on variation of microclimatic conditions in the cave, especially in the cold season. In this period, cool external air flowing into the cave undergoes intensive transformation in a corridor connecting the Main Dome with the cave entrance. The increase in temperature of inflowing air causes change in its humidity parameters. This takes place in the process of evaporation of the water moistening sediments and rock walls of the cave. The range of this transformation reaches the transition zone (Bamboo Grove area). This phenomenon is well illustrated by the course of air transformation on 3<sup>rd</sup> February 1998 (Table 1). In the periods of intensification of the summer phase of chimney effect, the air flowing from the deeper parts of the cave (from the Chaos Dome) to the colder chambers (Bamboo Grove and Main Dome; Table 1) loses small amount of water as a result of cooling and water vapour condensation. In the entrance corridor, the outflowing cave air gradually warms up and absorbs humidity from the surrounding.

The presented schemes of air exchange (Fig. 7a, 7b) illustrate conditions formed after removal of sediments which had blocked the passage between the Old and the New Kateřinska Caves. Probably, until that time, air exchange only embraced the Old Kateřinska Cave (Fig. 7c). The activation of airflow along the lower horizon of the cave, which arose after 1909, has brought dynamic to the originally static microclimate of this part of the cave. Consequently, as a result of winter inflow of valley air, the corridors next to entrance – and to a lesser extent – the

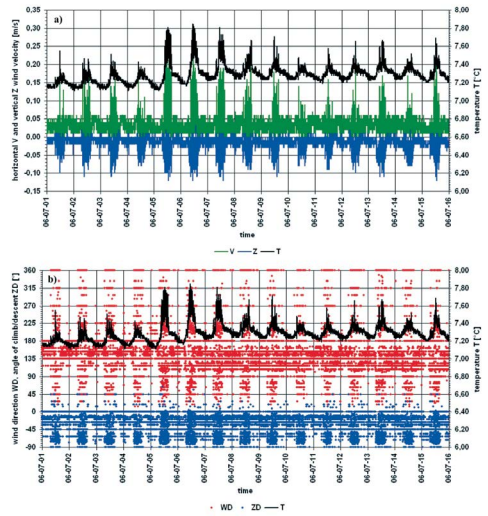


Fig. 6. The course of air exchange at the measurement point in the Bamboo Grove chamber in summer season

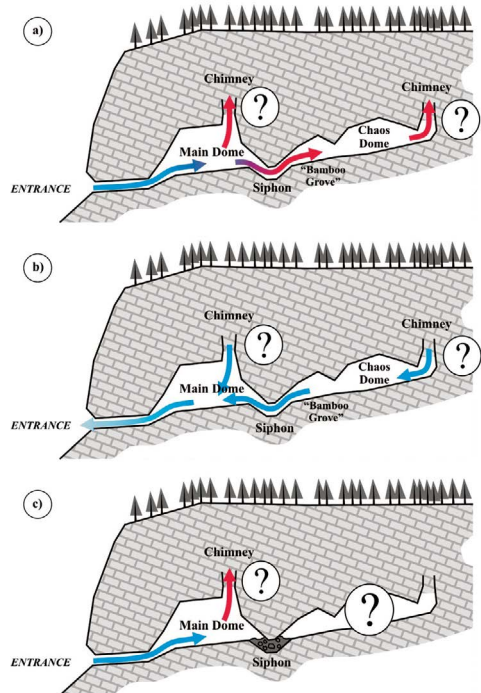


Fig. 7. Schemes of air exchange inside the Kateřinska Cave. Winter type of air exchange (a), summer type of air exchange (b), probable winter course of air exchange in the cave before speleological exploration (c)



introductory, dripstone part of the New Kateřínska Cave (Bamboo Grove area) are drying up. In such conditions, the entire exchange of air in the Bamboo Grove area takes on average 10 – 15 minutes. This exchange causes constant drop in humidity in this part of the cave. Probably, this is not compensated in the changed conditions during summer, when humid air from the inside of the cave flows through the chamber. This lack of compensation for winter losses, due to the evaporation, has significant meaning for the general humidity balance in this part of the cave.

## AIR EXCHANGE IN THE KATEŘÍNSKÁ CAVE – FIRST CONTRIBUTION

### S u m m a r y

In the Kateřínska Cave, air exchange is mainly formed as a result of chimney effect in its typical, two-phase form. The winter phase is related to the inflow of cool external air into the cave and its gradual transformation, mainly in the area of the Old Kateřínska Cave (Main Dome) and in the introductory parts of the New Kateřínska Cave (the Bamboo Grove area). During the summer phase, the direction and intensity of flow changes. Air flows from the depth of the cave towards the entrance zone. All year round, the intensity of air movement is subject to periodical variation, depending on the size of thermal gradient between the cave and the valley. Originally, the chimney effect phenomenon was probably only occurring in the area of the Old Kateřínska Cave. Removal of the sediments which blocked air exchange between main chambers and corridors of the cave (excavation of a siphon between Old and New Kateřínska Caves in 1909) activated a directed air flow and dynamised the microclimatic conditions along the axis of the whole cave. As a result of these processes, the area of the cave where the volume of evaporation is larger than vapour condensation has grown. This phenomenon is confirmed by the results of measurements and observations collected so far. Problem of impact of the abovementioned flow on the air movement forms and course of other microclimatic phenomena outside the range of its occurrence remains open.

### REFERENCES

- CIGNA, A. A. 1967. An analytical study of air circulation in caves, in: *International Journal of Speleology*, 3, 41–54.
- KLAUČO, S. – FILOVÁ, J – ZELINKA, J. 1998. Vplyv návštevnosti na speleoklimu Ochtinskej aragonitovej jaskyne, Výskum, využívanie a ochrana jaskýň – proceedings, 75–86.
- LISMONDE, B. 2002A. Vent des ténèbres. *Climatologie du monde souterrain* T. 1, CDS Isère, 168 pp.
- LISMONDE, B. 2002B. Aérologie des systèmes karstiques. *Climatologie du monde souterrain* T. 2, CDS Isère, 361 pp.
- MARTIN, K. W – LESLIE, D. K. JR. – PAYTON, M. E – PUCKETTE, W. L – HENSLEY, S. L. 2006. Impacts of Passage Manipulation on Cave Climate: Conservation Implications for Cave-Dwelling Bats, *Wildlife Society Bulletin*, 34 (1), 137–143.
- METEK, 2001. USA-1 User Manual, METEK GmbH, 43 pp.
- PFLITSCH, A – PIASECKI, J – KLEEBERGER, M. 1999. Impact of Tourists on Air and Rock Temperature in Static Cave Systems., *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Congress of Biometeorology and International Conference on Urban Climatology*, Macquarie University Sydney, (ICBPO8.02), 1–7.
- PIASECKI, J. 1996. Przyczyny zmian klimatu Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie., *Acta Univ. Wratisl. 1794, Prace Inst. Geogr.*, C3, 33–56;
- PIASECKI, J. – SAWIŃSKI, T. 2007. Acoustic measurements of airflow in speleo-climatological studies, in: *Karst and Cryokarst, Studies of the Faculty of Earth Sciences, University of Silesia*, 45, 237–256.
- PULIDO-BOSCH, A – MARTIN-ROSALES, W – LÓPEZ-CHICANO, M – RODRÍGUEZ-NAVARRO, C. M – VALLEJOS, A. 1997. Human impact in a tourist carstic cave (Aracena, Spain), *Environmental Geology*, 31 (3/4), 142–149.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	369 – 386	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## THE DEMÄNOVSKÁ ICE CAVE – THE VOLUME BALANCE OF THE ICE MONOLITH IN 2003 – 2007 (SLOVAKIA)

KRZYSZTOF STRUG<sup>1</sup>, JÁN ZELINKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Meteorology & Climatology, Institute of Geography & Regional Development, University of Wrocław, pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław, Poland; k\_strug@meteo.uni.wroc.pl,

<sup>2</sup> Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovakia; zelinka@ssj.sk

**K. Strug, J. Zelinka: The Demänovská Ice Cave – The Volume balance of the ice monolith in 2003 – 2007 (Slovakia)**

**Abstract:** The detailed research into the balance of the ice monolith in the Demänovská Ice Cave started in October 2003. Since then, in the two- or three-month intervals there where the regular measurements of increase and decrease in the volume of the ice monolith conducted and its surface was mapped, too. In May 2005, by drilling the ice monolith there were the measurements of its thickness taken up. The results of the measurements and the drilling were used to describe the course of changes in the volume and area of the ice monolith and to its balance in the period between October 2003 and October 2007. Accomplished characteristic of the ice volume ablation and accumulation processes in the cave, proved how meaningful was the influence of thermal conditions on the course of both processes in the period of the research.

**Key words:** Demänovská Ice Cave, thermal conditions, ice monolith, volume balance

### INTRODUCTION

In the literature of the subject, the issue of ice monolith volume balance in ice caves was covered very briefly (Rajman et al., 1987; Halaš, 1989; Lalkovič, 1995; Perşoiu, 2005; Racoviță and Onac, 2000). The only exceptions are the explorations of Monlézi Ice Cave in Switzerland (Luetscher et al., 2003, Luetscher and Jeannin, 2004; Luetscher, 2005; Luetscher et al., 2005), Ice Cave in Ciemiak in Poland (Rachlewicz and Szczuciński, 2004) and Ice Caves in Baikal region in Russia (Trofimova, 2007), which were described in details.

In 2003 the detailed research into description of the interrelation between the course of natural ice processes and the speleoclimatic conditions in the Demänovská Ice Cave, taking its antropogenic interaction into consideration, started. Within the confines of the research, there were detailed measurements of increase and decrease of ice monolith volume carried out in October 2003. On the basis of the measurements, not only the analysis of seasonal changes of its volume and the surface of ice monolith was done but also the balance of its volume in the period from October 2003 to October 2007. The analysis, concerning the general balance of ice volume in the Demänovská Ice Cave, which is included in the work, was possible to carried out thanks to the measurements of the pulp of the ice monolith conducted in 2005 (Strug et al., 2006).

To be able to understand what the present condition of ice in the Demänovská Ice Cave is and what actions were taken there, one should go back to the early 50<sup>s</sup> of the 20<sup>th</sup> century when the sudden decrease of ice filling was observed (Boček, 1954; Benicky, 1957; Droppa, 1957; Otruba, 1957, 1971; Halaš 1984). The most probable causes of the process were:

- the changes in the morphology of the cave connected with its exploration and being open to public,

- the decrease of infiltrating water supplies caused by the changes in flora covering the outer surface of the cave,
- the natural climate changes outside the cave.

To counteract the progressing deterioration of the ice monolith, the damage connected with cave exploration was neutralized at first (Droppa, 1957; Otruba, 1957, 1971; Halaš, 1984). Then, some extra water has been supplied into the cave in order to restrain the state of ice before 1950.

At present the extra water is supplied from a dozen spots (Fig. 8) by using sprayers in the period of the highest cooling in the cave. In this way, except for the natural ice accumulation in the cave, the additional “artificial” ice volume increase on a large scale takes place.

## CAVE AND CAVE ICE

### Cave

The Demänovská Ice Cave is one of two biggest ice caves in Slovakia. It is situated in the Demänovská Valley (The Low Tatra Mts) and is a part of the Demänovská Caves System (Fig. 1). The cave is on the right slope of the Demänovská Valley, 90 meter over its bottom, 840 meters above the sea level. The length of cave corridors is 1750 meters, with denivelation ranging 57 meters. It is built of a number of chambers and corridors that were developed on three different levels of the main axis ranging from NW to SE (Fig. 2). The conditions determining occurrence of the ice monolith in the Demänovská Ice Cave are connected with its morphology, opening location and cave air circulation (Droppa, 1957; Otruba, 1957, 1971; Halaš, 1984; Strug et al., 2006; Piasecki et al., 2007; Fig. 3).

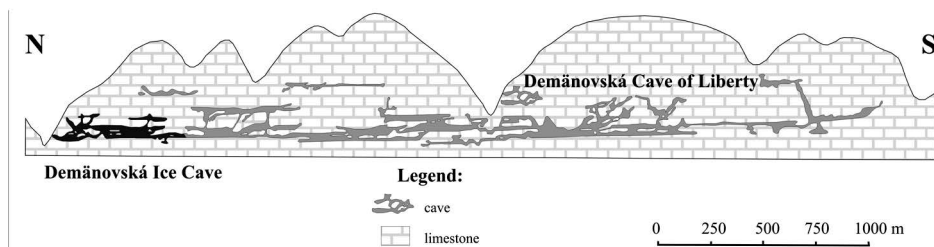


Fig. 1. The Demänovská Ice Cave in the system of the Demänovská Caves – cross section (source: Bella, 1988)

### Probable pattern of air circulation in winter time

In winter the inflow of cooling air into the cave, only by its opening hole (Exit) and the Štrkový dóm chamber in the direction of both Veľký dóm and Kmeťov dóm chambers, causes its severe freezing next, the transformed air flowing out of Kmeťov dóm chamber penetrates Bélov dóm chamber and Čierna galéria corridor. Meanwhile, the outflow of warmer air flowing through Medvedia chodba corridor and the Old Entrance, which is situated a bit higher than the Exit, takes place (Otruba, 1957, 1971; Halaš, 1984; Piasecki et al., 2007; Fig. 3).

The morphology of Veľký dóm and Kmeťov dóm chambers (Fig. 6) is conducive to stagnation of relatively heavy cool air in the summer half of the year. The air gathered there makes “conservation” of the ice mass appearing in the area of these chambers possible (Droppa, 1957; Otruba, 1957, 1971; Halaš, 1984; Piasecki et al., 2007).

### Cave ice

Lasting ice filling (ice monolith, bottom ice) appears mostly in Kmeťov dóm (Fig. 2, 4, 6) and Veľký dóm (Fig. 2, 5, 6) chambers. It extends for about 150 meters. In May 2005, the surface of the ice monolith was equal to 1410 m<sup>2</sup>, its volume was 1040 m<sup>3</sup>, and the average thickness 0,75 meter (Strug et al., 2006). The most iced part of the cave is Kmeťov dóm

chamber. In its middle part, on its relatively small area, there is over the half of the whole volume. Over the half of the surface of the ice monolith in the cave occupies as thin as 0,5 meter layer (Strug et al., 2006). The bottom ice is estimated to be about 400 – 500 years old (Droppa, A. 1957).

## RESEARCH METHODS

### The measurements of increase and decrease of the ice

To estimate the changes in the volume of the ice monolith in the period between October 2003 and October 2007 there were regular – in the two- or three-month intervals – measurements of increase and decrease of the ice on the surface of the bottom ice conducted. The measurements consist in measuring the distances between the cave ceiling and the surface of the ice in 13 different points (Fig. 7, 8). Measuring error did not exceed 0,5 cm. Supposing, the average surface of the bottom ice was equal to 1190 m<sup>2</sup> (Table 5), the error in the volume was ± 6 m<sup>3</sup>.

Another problem was the estimation of the total volume of the bottom ice. In May 2005, there was the measurements of the thickness of the bottom ice conducted by drilling it into 82 points (Strug et al., 2006). The results of drilling were drawn up by the method of spatial interpolation, which is called “kiring”. Taking advantage of the possibilities of the method and the tool, which the program “SURFER 8” includes, the total volume of the ice monolith in the Demänovská Ice Cave was calculated for May 2005 (Strug et al., 2006).

After the estimation of the total volume of the bottom ice the measurements of the distances between the cave ceiling and

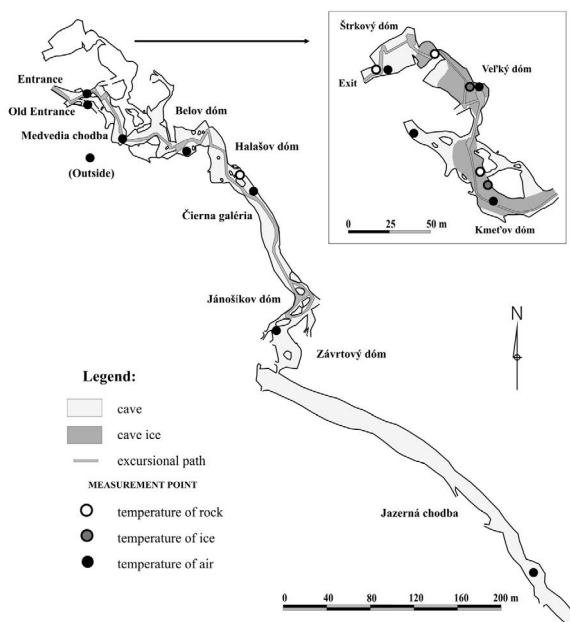


Fig. 2. The location of measurement points of air, rock and ice temperature in the Demänovská Ice Cave

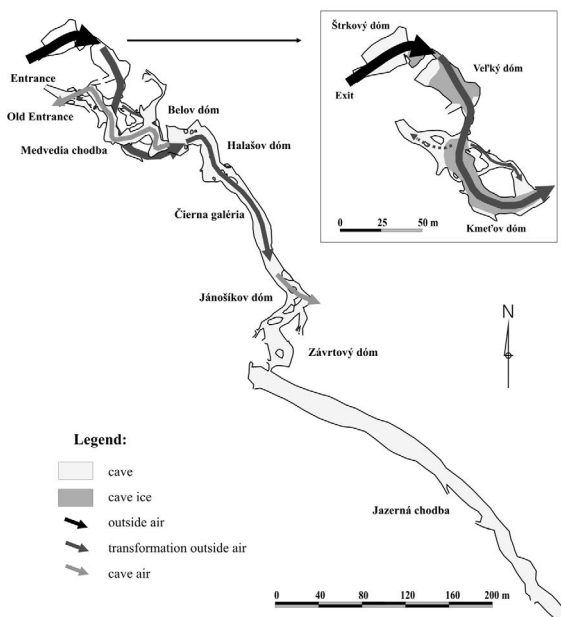


Fig. 3. The probable pattern of air circulation in winter time in the Demänovská Ice Cave



Fig. 4. The Demänovská Ice Cave – the central part of Kmet'ov dóm chamber. Photo: R. Szmytkie

the surface of the bottom ice were detailed and continued in the period from May 2005 to September 2007 in 47 points (13 previous and 43 new ones; Fig. 8). It is worth mentioning that in May 2005 the pulp of the bottom ice in each of 47 points was known.

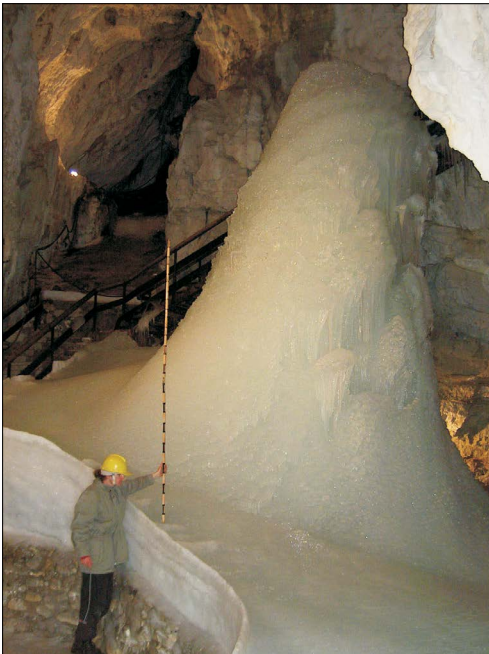


Fig. 5. The Demänovská Ice Cave – the Veľký dóm chamber. Photo: T. Sawiński

#### **Estimation of the ice monolith volume and area**

The estimation of the volume of ice monolith for each of ten following research in the terrain after the period after the drilling (May 2005) was also drawn up in “SURFER 8” program. The basis for each estimation of the ice volume was calculating the thickness of the bottom ice in 47 points by using the formula:

$$Z = X - Y,$$

Z – the ice monolith thickness,

X – constant distance between the ice ceiling and the ice monolith thill (May 2005),

Y – the distance calculated between the ice ceiling and the surface of the ice monolith.

Using the same method and the formula, there was the ice monolith volume estimated in a somewhat different way for each of nine terrain research (May 2005) carried out before the drilling, namely:

1. On the basis of the calculated distances between the ice ceiling and the

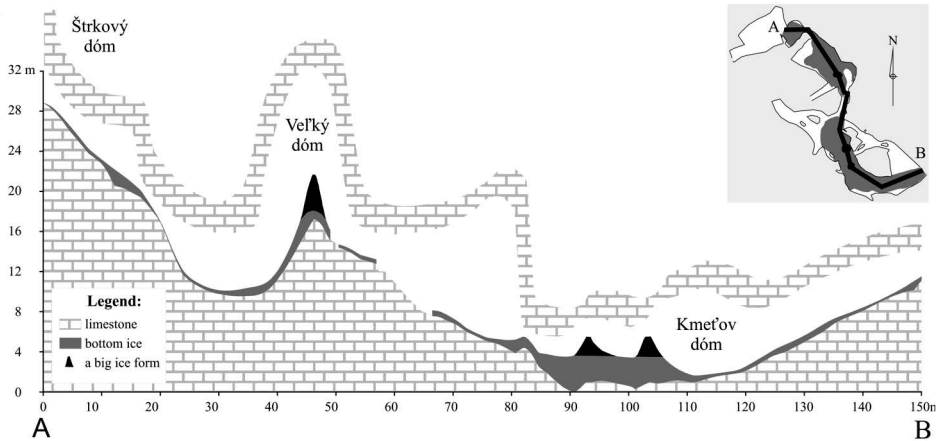


Fig. 6. The longitudinal section over the bottom ice in the Demänovská Ice Cave

surface of the bottom ice there was its thickness calculated in 13 “old” points. To calculate the thickness of the ice monolith in 34 “new” points there were the distances between the ice ceiling and the bottom ice estimated at first.

2. The estimation of the distances in 34 “new” points was calculated on the basis of equations describing the regression curves. To obtain the regression curves there were the data measurements of seven terrain research, which conducted between May 2005 and August 2006, collected. The regression curves were obtained by:

a. All the distanced between the ice ceiling and the surface of the bottom ice from “old” and “new” points were correlated with one another. To each of 34 “new” points there was only one of 13 “old” points assigned.

b. To each of 34 new created pairs there was the regression curve with its formula describing it obtained. The values of the Pearson’s correlation coefficient ( $R^2$ ) for 29 pairs were higher than 0,92. For the five remaining pairs of points the correlation coefficient ( $R^2$ ) was included in the interval between 0,78 and 0,92.

3. The estimated distances between the ice ceiling and the surface of the bottom ice in 13 “old” points were provided to each of 34 obtained equation. In this way the distances in 34 new points were measured.

4. Finally, using the formula  $Z = X - Y$  there was the thickness of the ice monolith for each of 34 “new” points in each of nine terrain research before drilling calculated.

In the considered period of time the mapping of the monolith surface in the

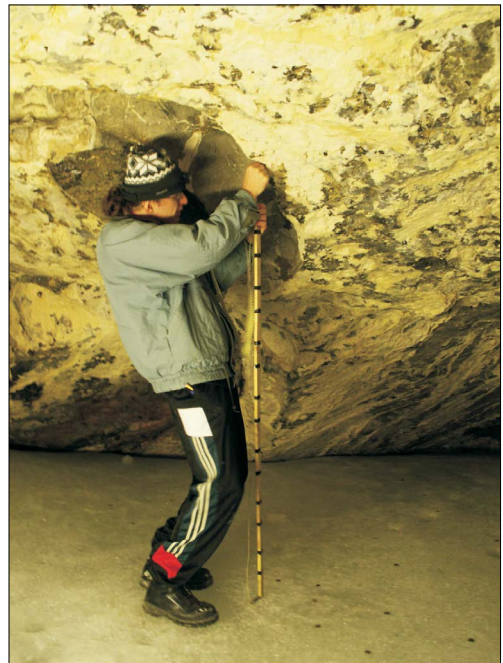


Fig. 7. The measurement of the distance between the ceiling and the ice monolith in the Demänovská Ice Cave in Kmeťov dóm chamber. Photo: R. Szymtykie



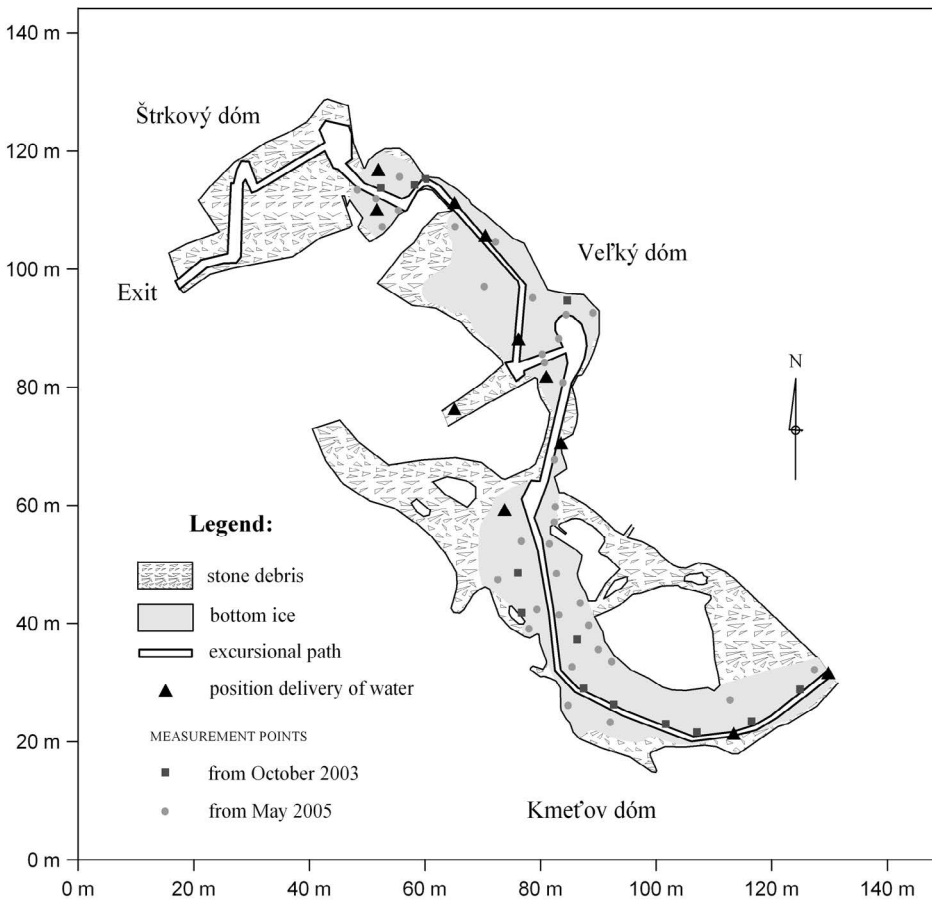


Fig. 8. The location of measurement points of the distance between the cave ceiling and the ice monolith surface and the spots of delivery of extra water supplies in the Demänovská Ice Cave

Demänovská Ice Cave was also carried out. On the basis of the results of each mapping there was the total surface of ice filling in the cave calculated with the aid of the “SURFER 8” program.

### Curves of the ice monolith ablation and decrease its area

On the basis of the calculated bottom ice volume and area there were curves of its volume ablation and area decrease calculated (Fig. 15, 16). The regression equations describing the curves help to estimate the ice monolith volume and area for the first day of each month in the research period. The estimated quantities were the basis to make the charts not only of the ice monolith accumulation and ablation, but also the charts of increase and decrease of its area in the cave.

### Temperature measurements

To analyze the thermal conditions and their influence on the course of ice processes the authors used the results of air temperature monitoring in the Demänovská Ice Cave (Fig. 2). The monitoring has been conducted since 2001 with the help of automatic recorder „Black box” type by COMET SYSTEM LTD (Zelinka, 2002). The 24 hours and half a year average air temperature measured from November 2001 to April 2007 were the basis of the study. For the sake of thermal and ice phenomena in the cave one hydrological year (from November to October) was assumed to be the unite of measure in the analysis.

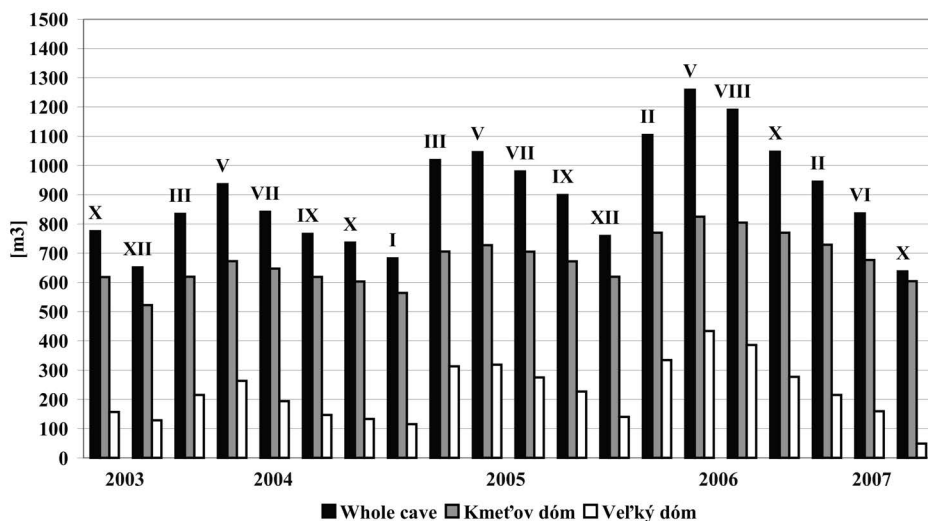


Fig. 9. The changes in the volume of the ice monolith in the Demänovská Ice Cave and in Kmeřov dóm and Veľký dóm chambers in the period between October 2003 and October 2007

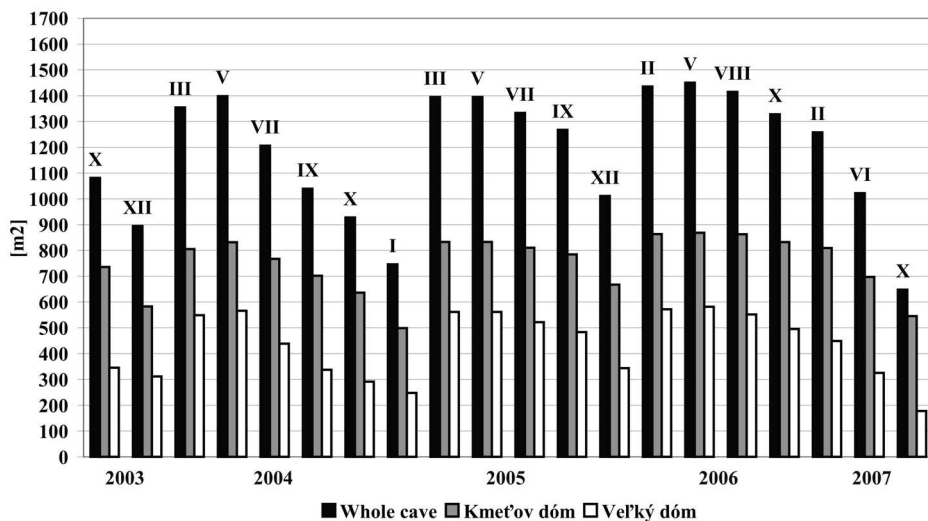


Fig. 10. The changes in the area of the ice monolith in the Demänovská Ice Cave and in Kmeřov dóm and Veľký dóm chambers in the period between October 2003 and October 2007

In the diploma there were also the results of regular (every 1 – 2 week) temperature measurements of the cave orogen and ice monolith from the period of December 2005 till September 2007 (Fig. 2). The information about the amount of water supplied artificially in winter seasons in 2003 – 2007 was very important completion of the analysis (Table 4).

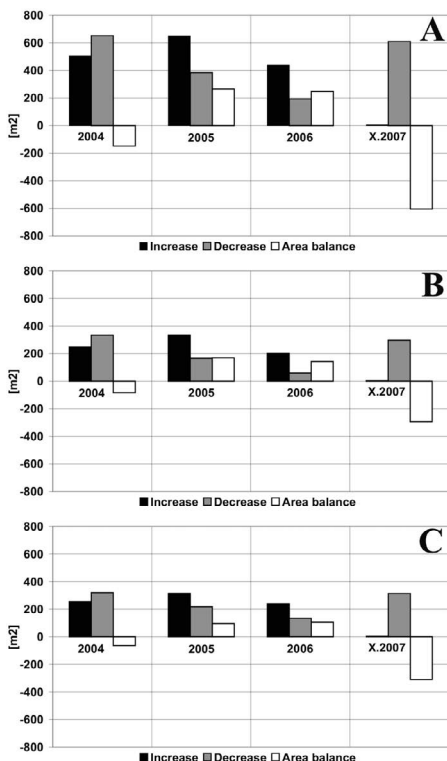
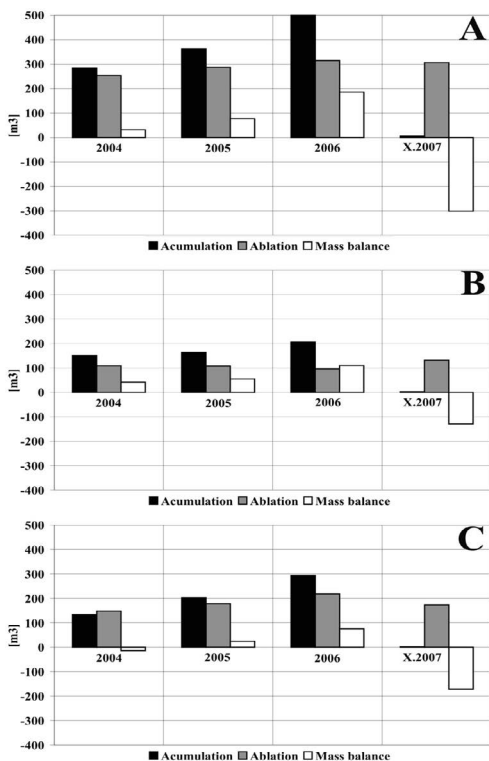


Fig. 11. The annual accumulation, ablation and balance of the ice monolith volume in the Demänovská Ice Cave (A) and in Kmeťov dóm (B) and Veľký dóm chambers (C) in years 2004 – 2007

Fig. 12. The annual increase, decrease and balance of the ice monolith area in the Demänovská Ice Cave (A) and in Kmeťov dóm (B) and Veľký dóm chambers (C) in years 2004 – 2007

## RESULTS

### The changes of the ice monolith volume and area

The course of the ice monolith accumulation and ablation changes in the period from October 2003 to October 2007 was marked by two phases: successive increase (from October 2003 to May 2006) and significant decrease (from May 2006 to October 2007; Fig. 9).

Within the first three years – from October 2003 to October 2006 – the bottom ice volume increased by 320 m<sup>3</sup>. Such good conditions for the ice accumulation in the Demänovská Ice Cave were connected with two freezing winters appearing in turn in years 2004/2005 and 2005/2006. As a result of the successive freezing the cave interior, which was caused by the inflow of cool air (Fig. 3), the air temperature in Kmeťov dóm and Veľký dóm ice chambers was getting lower and lower every season. In winter season 2005/2006 the temperature of air, cave orogen and ice monolith reached its minimum (Table 1, 2, 3).

In these favourable thermal conditions in Kmeťov dóm and Veľký dóm chambers, there was a huge amount of extra water supplied to the cave (Table 4). The actions were undertaken during the coolest temperature in the chambers, i.e. from January to the beginning of March (Fig. 17). It had a significant influence on the size of the ice accumulation in the cave between 2003 and 2007 (Table 4). It also turned out that the efficiency of freezing the extra water supplies in season 2005/2006 reached the level of 25 %.

The course of the ablation and accumulation processes on the area of the cave turned out to be diverse. In Kmeťov dóm chamber the balance of ice volume in years 2004 – 2006 was

Table 1. The number of days with temperature  $\leq 0,0$  °C and winter half-year mean air temperature in the longitudinal profile of the Demänovská Ice Cave (Outside – Štrkový dóm – Kmeťov dóm) in hydrological years 2003/2004 – 2006/2007

Parameter	Hydrological year (XI – X)	Chamber		
		Outside	Štrkový dóm	Kmeťov dóm
Number of days with temperature $\leq 0,0$ °C	2003/2004	84	102	144
	2004/2005	95	115	175
	2005/2006	109	129	233
	2006/2007	35	43	49
	2003/2004 – 2006/2007	81	97	150
Winter half-year (XI – IV) mean air temperature [°C]	2003/2004	0,7	-1,3	-0,5
	2004/2005	-0,3	-1,8	-0,5
	2005/2006	-0,8	-2,4	-0,7
	2006/2007	2,9	1,0	0,0
	2003/2004 – 2006/2007	0,7	-1,1	-0,4

Table 2. The lowest measured temperature of the ice in selected chambers in the Demänovská Ice Cave in winter half-years 2005/2006 and 2006/2007

Winter half-year (XI – IV)	The lowest measured temperature of the ice [°C]			
	Veľký dóm		Kmeťov dóm	
	25 cm	80 cm	25 cm	130 cm
2005/2006	-1,6	-0,6	-1,2	-0,9
2006/2007	-0,1	-0,2	0,0	-0,1

Table 3. The lowest measured temperature of the rock and number of months with rock temperature  $\leq 0.0$ °C in selected chambers in the Demänovská Ice Cave in winter half-years 2005/2006 and 2006/2007

Parameter	Winter half-year (XI – IV)	Chamber			
		Štrkový dóm		Kmeťov dóm	
		5 cm	135 cm	5 cm	135 cm
The lowest measured temperature of the rock [°C]	2005/2006	-7,9	-4,9	-2,6	-1,4
	2006/2007	-2,2	-0,2	0,0	0,1
Number of months with rock temperature $\leq 0.0$ °C	2005/2006	5	5	5,5	6
	2006/2007	1	½	¼	0

measured by increasing character, but the quantity of ablation remained on the same level (Fig. 11B).

In the comparison to Kmeťov dóm chamber the ablation and accumulation processes of the ice volume in Veľký dóm chamber were characterized by higher diversity (Fig. 11C). The more intense course of discussed processes in Veľký dóm chamber, which is located closer to the cave Exit, was connected with its thermal conditions. Cool air flowing in from the side of Exit during winter causes longer and more intense cooling of this chamber (Table 1, Fig. 17). These conditions favoured increase of extra water supplies and the ice monolith accumulation at the same time. However, in summer time there were records of significantly higher air temperature kept in comparison to Kmeťov dóm chamber what resulted in its more intensive process of ablation.

In both chambers the biggest quantities of the ice monolith volume and area were stated in May 2006, the lowest – in January 2005 (Table 5; Fig. 9, 10).

Within a dozen months or so, which was the period of successive increase of the ice monolith, previously gathered iced was completely demoted (Fig. 9). The cause of such an ice

Table 4. The amounts of extra water supplies to the Demänovská Ice Cave and the accumulation of ice in winter half-years 2003/2004 – 2006/2007. <sup>1</sup>Estimated data

Winter half-year (XI – IV)	Amounts of extra water supplies [m <sup>3</sup> ]	Accumulation of ice [m <sup>3</sup> ]
2003/2004	~ 1000 <sup>1</sup>	240
2004/2005	~ 1500 <sup>1</sup>	360
2005/2006	2110	465
2006/2007	0	~ 5

Table 5. The extreme and average volume, area and thickness of the ice monolith in the Demänovská Ice Cave in the period between October 2003 and September 2007

Parameter	Whole cave			Kmeťov dóm			Veľký dóm		
	Volume [m <sup>3</sup> ]	Area [m <sup>2</sup> ]	Thickness [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Area [m <sup>2</sup> ]	Thickness [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Area [m <sup>2</sup> ]	Thickness [m]
Maximum	1260	1450	0,90	825	870	1,10	435	580	0,75
Minimum	640	650	0,60	520	515	0,75	40	135	0,40
Average	905	1190	0,75	680	750	0,90	225	440	0,50

decrease was unusually warm winter in 2006/2007, when there was extremely poor cooling of the bottom ice, cave oxygen and air temperature in the cave stated (Table 1, 2, 3). During that winter because of unfavourable thermal conditions for the ice monolith accumulation there was not even 1 m<sup>3</sup> of extra water supplied to the cave (Table 4). It resulted in a significant negative balance of the ice volume (Fig. 11A – C). From October 2006 to October 2007, 470 m<sup>3</sup> of ice declined, which made up over 40 % of the ice monolith volume measured in October 2006.

The decrease of the ice ablation in the whole cave is not going to change till the first frost in winter season 2007/2008. It is estimated, counting from October 2003, that the icing of the Demänovská Ice Cave in the beginning of 2008 will be the lowest of all measured before. The conjecture is made on the basis of the curves of the ice monolith ablation (Fig. 15) and decrease (Fig. 16) of the ice monolith area from May 2006 to October 2007.

Within first three years of research the course of changes in the bottom ice area was dissimilar. In the first year the balance of the ice surface was negative (Fig. 12A – C). In two following years the balance was positive. However, there was no decrease of the ice monolith area taken down (Fig. 12A – C). The reason of it was the morphology of Kmeťov dóm and Veľký dóm chambers and also how their limiting surfaces cave walls were placed. But it is a fact that within three years the bottom ice area was increased of 310 m<sup>2</sup> in the cave.

After warm winter in 2006/2007 there was a negative balance of the bottom ice area noted. In the period between October 2006 and October 2007, as much as 745 m<sup>2</sup> of the ice monolith area declined. It made almost 55 % of the ice monolith area measured in October 2006. The thin layer of 0,5 m bottom ice was deteriorated.

In the period between October 2003 and October 2007 the average thickness of the bottom ice amounted to 0,75 m, volume 905 m<sup>3</sup>, and area 1190 m<sup>2</sup> (Table 5). The period of

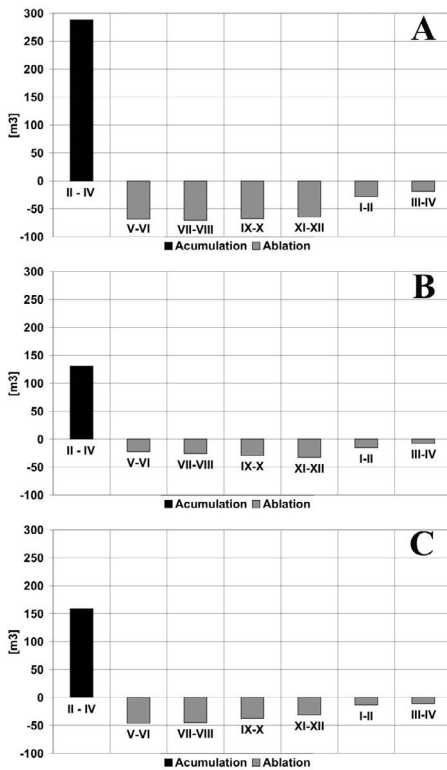


Fig. 13. The average annual accumulation and ablation of the ice monolith volume in the Demänovská Ice Cave (A) and in Kmeťov dóm (B) and Veľký dóm chambers (C) in years 2003 – 2007

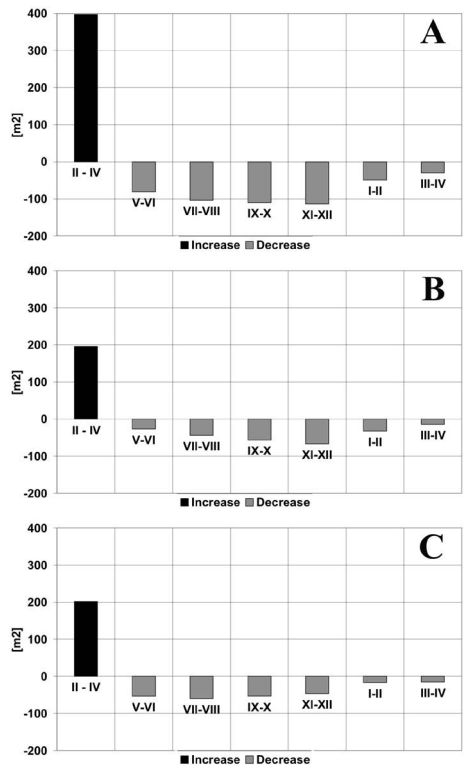


Fig. 14. The average annual increase and decrease of the ice monolith area in the Demänovská Ice Cave (A) and in Kmeťov dóm (B) and Veľký dóm chambers (C) in years 2003 – 2007

the ice monolith ablation in the Demänovská Ice Cave usually started in May and finished in December. Effective increase of the “artificial” ice volume took place in the period of the highest cooling of the cave, i.e. from January to the beginning of March. However, the biggest natural increase of the bottom ice was noted during early spring thaw of snow layer.

Presented characteristics of each of fourth following seasons in the period of research proves unambiguously that thermal conditions have a great influence on the state of the ice monolith balance in the cave. Despite such short series of data, it was observed that after two completely different winters (freezing winter in 2005/2006 and warm winter in 2006/2007) the cave icing was different. On these experiments and on the assumptions that in each following winter season there will be extra water supplied to the cave and that the air circulation conditions in the Demänovská Ice Cave will not change, we can expect that:

- after the winter half of a year with the average air temperature in the cave surroundings  $> 0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  but  $\leq 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (as it was in winter season 2003/2004) the annual ice volume balance will be close to zero,
- after the winter half of a year with the average air temperature in the cave surroundings  $> 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (as it was in winter 2006/2007) the annual ice volume balance will be significantly negative,
- after the winter half of a year with the average air temperature in the cave surroundings  $< 0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (as it was in winter 2004/2005 and 2005/2006) the annual ice volume balance will be significantly positive.



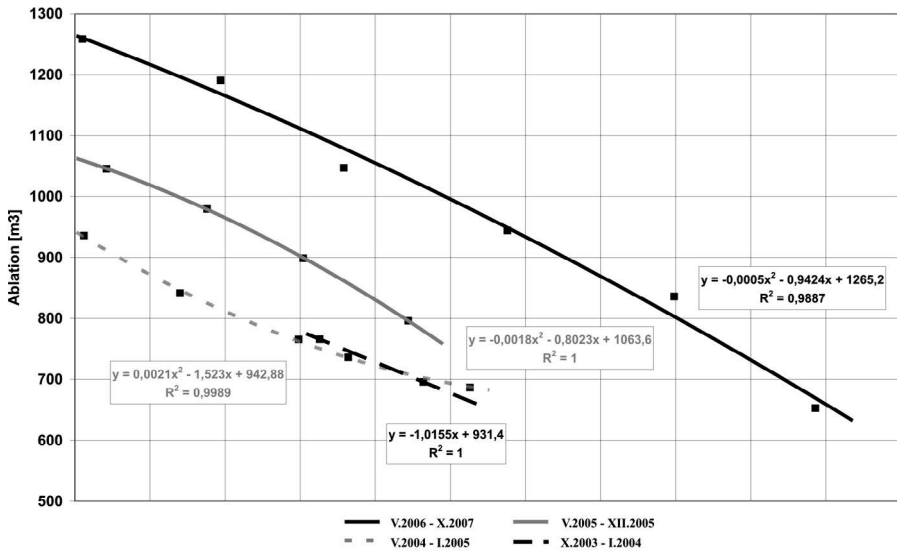


Fig. 15. The ablation curve of the ice monolith volume in the Demänovská Ice Cave in years 2003 – 2007

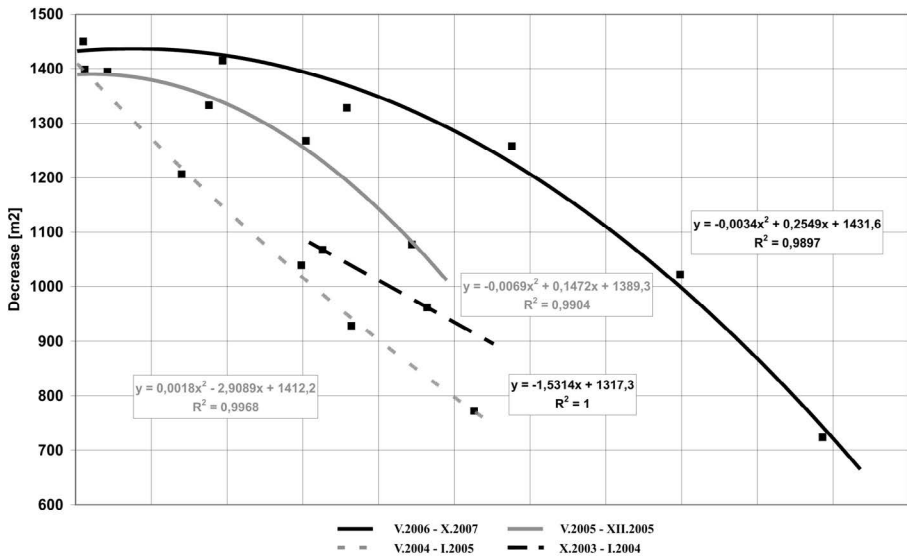


Fig. 16. The decrease curves of the ice monolith area in the Demänovská Ice Cave in years 2003 – 2007

All these presumptions correspond with statements included in the publication of J. Piasecki et al., (2007) which were formed on the basis of observation carried out by J. Halaš (1984).

### Curves of the ice monolith ablation and decrease its area

The ablation curves of the ice monolith volume (Fig. 15), similarly to its pattern of accumulation and ablation (Fig. 13A), illustrate relatively constant level of ice decrease in the cave in each season during the research. The patterns of the ice volume accumulation and ablation in Kmeťov dóm and Veľký dóm chambers show spatial diversity of the melting process (Fig. 13B, 13C). In the typical ablation months (from May to December) the ice volume decrease in Kmeťov dóm chamber had rising character, while in Veľký dóm chamber

there was reverse character noted. The reasons of diversity of ablation processes in the discussed chambers are thermal conditions (Fig. 17) and the spatial layout of ice monoliths of different thickness (Strug et al., 2006; Piasecki et al., 2007; Fig. 6).

Successfully growing up ablation in Kmeťov dóm chamber was connected with gradually rising air temperature in it. In the beginning of the ablation process, when the average air temperature in Kmeťov dóm chamber was about 0.0 °C, there was an average ice volume decrease of 22 m<sup>3</sup> noted. The end of a typical ablation season (November – December) was characterized by the ice volume decrease of about 32 m<sup>3</sup> and the average air temperature of 0,2 °C (Fig. 13B, 17).

In the first ablation months the increased ice volume decrease was equal to 47 m<sup>3</sup> in Veľký dóm chamber and in all likelihood it was connected with relatively fast decrease of the thin ice layer of thickness smaller than 0,5 m. The layer mad up about a half of the bottom ice area in this chamber and about 30 % of its volume. Such a thin ice layer was subject to more severe deterioration from the beginning of the ablation process owing to the quantity of the occupied surface. The other favourable factor of the rapid ice volume decrease in Veľký dóm chamber in the beginning of the ablation period was the average air temperature which increased to 1,5 °C (Fig. 17) in very fast pace. In the last months of a typical ablation season (November – December) the ice volume decrease was smaller and amounted to 32 m<sup>3</sup> (Fig. 13B).

In the period between May and December the monthly average quantity of ice ablation in the Demänovská Ice Cave amounted about 34 m<sup>3</sup>, in the Kmeťov dóm chamber it was on the level of 14 m<sup>3</sup> and in the Veľký dóm chamber – 20 m<sup>3</sup>.

The decrease curves of the ice monolith area in the Demänovská Ice Cave (Fig. 16), similarly to its pattern of increase and decrease (Fig. 14A), illustrate the increase of area of deterioration in the second half of ablation period. The patterns of the area decrease of the bottom ice in Kmeťov dóm and Veľký dóm chambers show spatial diversity of melting process. As in the case of the ice area decrease, the deterioration of the ice monolith area had rising character in Kmeťov dóm chamber during ablation months and in Veľký dóm chamber – falling.

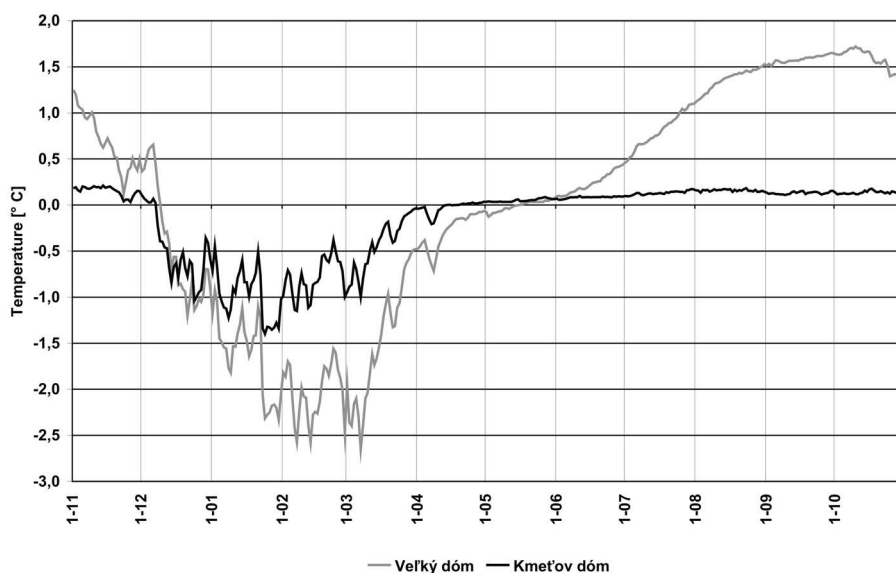


Fig. 17. The annual course of air temperature in Kmeťov dóm and Veľký dóm chambers in the Demänovská Ice Cave, according to average of 24-hours mean air temperature in hydrological years 2001/2002 – 2006/2007

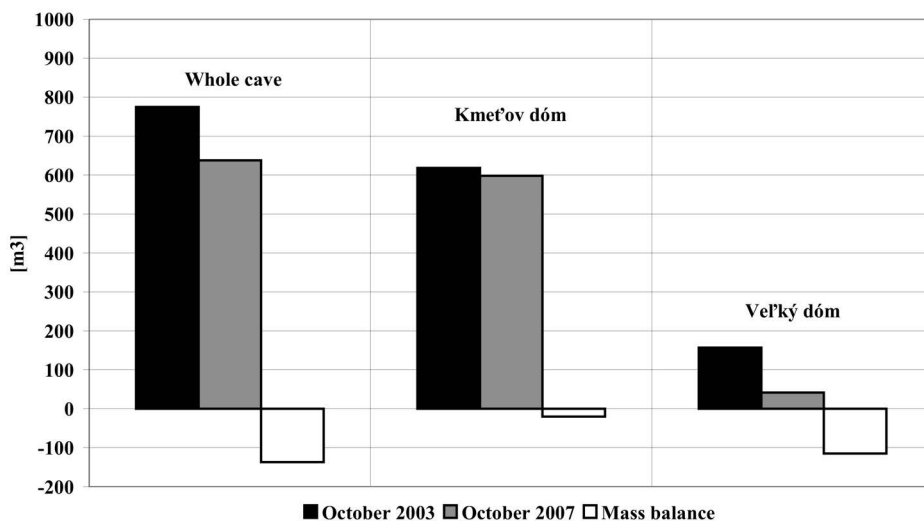


Fig. 18. The ice monolith volume in the Demänovská Ice Cave and in Kmeťov dóm and Veľký dóm chambers in October 2003 and October 2007 and complete balance of the ice monolith volume in the period between October 2003 and October 2007

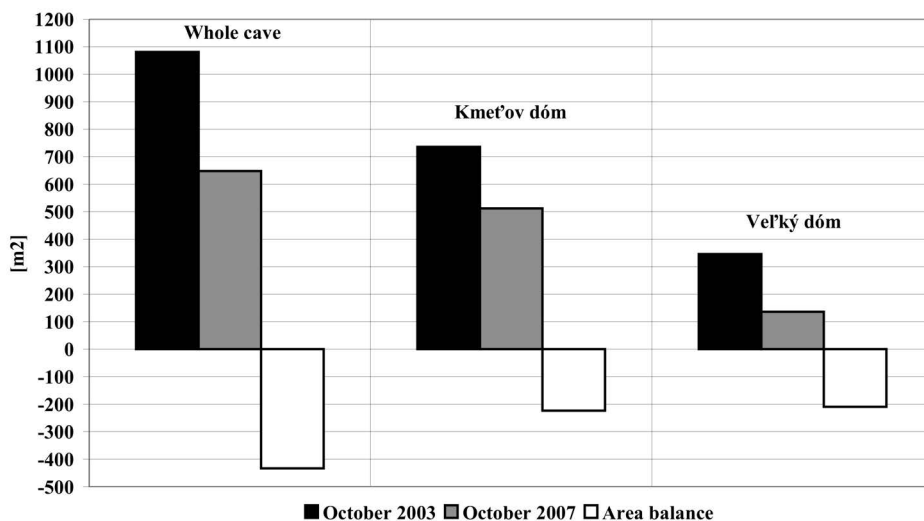


Fig. 19. The ice monolith area in the Demänovská Ice Cave and in Kmeťov dóm and Veľký dóm chambers in October 2003 and October 2007 and complete balance of the ice monolith area in the period between October 2003 and October 2007

On the basis of gained patterns there was calculated that from May to December the average decrease of the bottom ice area in the Demänovská Ice Cave amounted to 51 m<sup>2</sup>, in Kmeťov dóm chamber it reached 24 m<sup>2</sup>, but in Veľký dóm chamber it was on the level of 27 m<sup>2</sup>.

#### Complete balance of the ice monolith volume and area

In the period from October 2003 to October 2007 the complete balance of the ice volume in the Demänovská Ice Cave was negative and amounted to 135 m<sup>3</sup>. The decrease made up about 18 % of the ice monolith volume estimated in October 2003. In October 2007 the

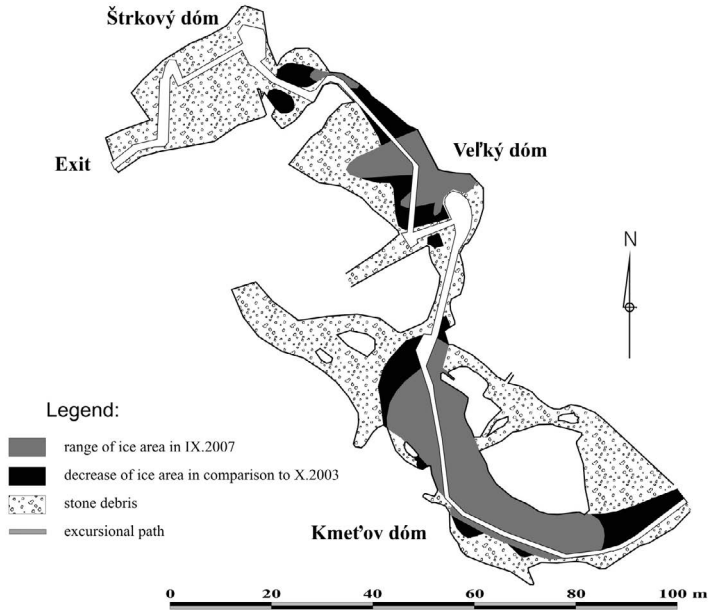


Fig. 20. The range of the ice monolith area in the Demänovská Ice Cave in September 2007 in comparison with the state from October 2003

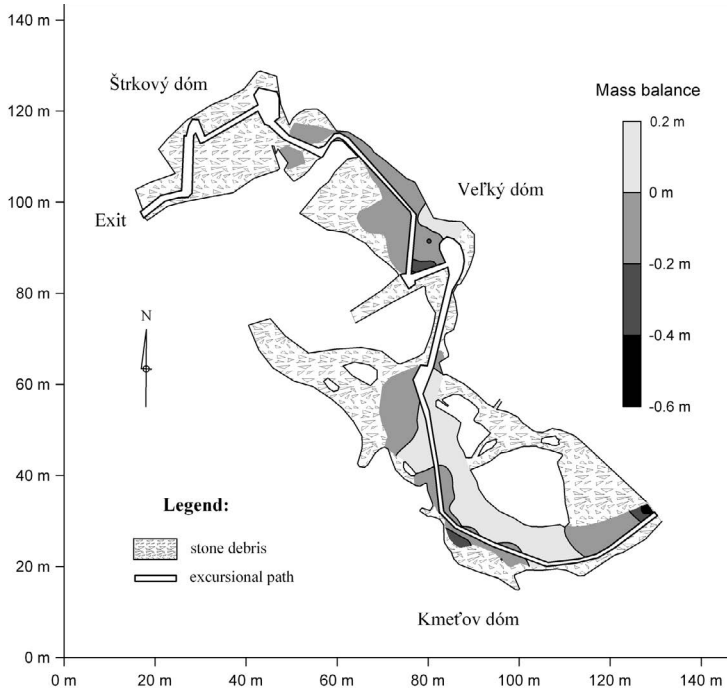


Fig. 21. The distribution of the complete balance of the ice monolith in the Demänovská Ice Cave in the period between October 2003 and September 2007

Table 6. The annual average accumulation, ablation and volume balance of the ice monolith in the Demänovská Ice Cave in years 2003 – 2007

Chamber	Acumulation [m <sup>3</sup> ]	Ablation [m <sup>3</sup> ]	Volume balance [m <sup>3</sup> ]
Whole cave	290	320	-30
Kmeťov dóm	130	135	-5
Veľký dóm	160	185	-25

Table 7. The annual average increase, decrease and area balance of the ice monolith in the Demänovská Ice Cave in years 2003 – 2007

Chamber	Increase [m <sup>2</sup> ]	Decrease [m <sup>2</sup> ]	Area balance [m <sup>2</sup> ]
Whole cave	400	485	-85
Kmeťov dóm	195	245	-45
Veľký dóm	205	240	-40

bottom ice volume in Kmeťov dóm chamber decreased of 20 m<sup>3</sup> in comparison to the volume estimated in October 2003, in Veľký dóm chamber the decrease was amounted to about 115 m<sup>3</sup> (Fig. 18).

Despite the significant ice volume decrease in the Demänovská Ice Cave, on its relatively not large area (mainly in Kmeťov dóm chamber) the complete balance distribution of the ice monolith was marginally positive (Fig. 21). It is also worth mentioning that the most significant changes about the ice volume ablation and accumulation were noted close to the spots where extra water supplies were delivered.

The ice monolith area in the Demänovská Ice Cave decreased of about 435 m<sup>2</sup> (Fig. 19) in the period from October 2003 to October 2007. Fig. 20 presenting the breakdown of the ranges of the bottom ice area in September 2007 and October 2003 proves the statement above. In October 2007 the decrease of the ice monolith area, in the relation to the state from October 2003, was estimated to 40 % (Kmeťov dom chamber – 30 %, Veľky dom chamber – 60 %). During that time in Kmeťov dom chamber there was the bottom ice decrease of 210 m<sup>2</sup> noted, and in Veľky dom chamber it amount to 225 m<sup>2</sup> (Fig. 19).

The annual average of the ice monolith accumulation and ablation in Veľký dóm chamber was significantly bigger contrary to Kmeťov dóm chamber (Table 6). In both chambers the annual average of the bottom ice increase and decrease kept on very similar level (Table 7).

The annual average amplitude of changes in the ice monolith volume in the Demänovská Ice Cave was equal about to 305 m<sup>3</sup>, but its surface are kept the level of 440 m<sup>2</sup>. The annual average amplitudes of changes in the bottom ice volume area in Kmeťov dóm chamber were equal to 130 m<sup>3</sup> and 220 m<sup>2</sup>, but in Veľký dóm chamber they were 170 m<sup>3</sup> and 220 m<sup>2</sup>.

Acknowledgements. The scientific work was founded by the finances designed for the science in 2007 – 2008 as research project number N306 011 32/0771 granted by the Polish Minister of Science and Higher Education. In this place, we would like to express our deepest gratitude to Dr J. Piasecki, MSc T. Sawiński, J. Knap, R. Hlavna and MSc R. Szymytkie and all those involved into helping us in taking measurements during our research.

#### THE DEMÄNOVSKÁ ICE CAVE – THE VOLUME BALANCE OF THE ICE MONOLITH IN 2003 – 2007 (SLOVAKIA)

##### S u m m a r y

The characteristics of the ice monolith accumulation and ablation processes in the period from October 2003 to October 2007 presented above indicates unambiguously that thermal conditions in the Demänovská

Ice Cave have a crucial influence on its course. After two completely different winters it was observed that the ice sheet in the cave differed.

On the basis of the events, the measurement data and presented assumptions we can assume that:

- after the winter half of a year with the average air temperature in the cave surroundings  $> 0,0$  °C but  $\leq 1,0$  °C the annual ice volume balance will be close to zero,
- after the winter half of a year with the average air temperature in the cave surroundings  $> 1,0$  °C the annual ice volume balance will be significantly negative,
- after the winter half of a year with the average air temperature in the cave surroundings  $< 0,0$  °C the annual ice volume balance will be significantly positive.

To sum up, on the basis of the measurement data on the course of the increase and decrease changes in the ice monolith volume and the measurements of its thickness (Strug et al., 2006) it is possible to state that:

- The period of the ice monolith ablation in the cave usually starts in May and finishes in December. The effective increase of “artificial” ice volume was noted in the period of the highest cooling in the cave, i.e. from January to the beginning of March.
- The course of the ice volume accumulation and ablation characterized by two phases:
  - Successive decrease and positive balance of the ice volume (from October 2003 to May 2006). The reason of such favourable conditions for accumulation in the cave were two freezing winters in turn. At the same time there was a huge amount of extra water supplied to the cave.
  - The significant decrease and negative balance of the ice volume (from May 2006 to October 2007). The cause of such state was warm winter 2006/2007. There was no extra water supplied to the cave at that time.
- In Veľký dóm chamber, which is situated closer to the Exit of the cave, the processes of ablation and accumulation in comparison to Kmeťov dóm chamber were more diverse.
- In typical ablation months, i.e. from May to December, the decrease of the ice volume in Kmeťov dóm chamber had rising character. However, in Veľký dóm chamber the character was opposite.
- The monthly average of the ice monolith ablation in the cave amounted to  $34 \text{ m}^3$  but its monthly decrease of the ice monolith area reaches  $51 \text{ m}^2$ .
- The annual average amplitude of changes in the bottom ice volume in the cave amounted to  $305 \text{ m}^3$  and its surface – over  $440 \text{ m}^2$ .
- In the period from October 2003 to October 2007 the average thickness of the ice monolith amounted to  $0,75 \text{ m}$ , its volume –  $905 \text{ m}^3$  and surface –  $1190 \text{ m}^2$ .
- In the period of research the complete balance of the ice volume in the cave was negative and amounted  $135 \text{ m}^3$ . The bottom ice area decrease of  $430 \text{ m}^2$ .
- On the relatively not large area (mainly in Kmeťov dóm chamber) the complete balance distribution of the ice monolith volume was insignificantly positive.
- The biggest changes of the ice volume ablation and accumulation were noted in the spots where extra water supplies were delivered from.

## REFERENCES

- BELLA, P. 1998. Demänovské jaskyne: Demänovská ľadová jaskyňa – Demänovská jaskyňa Slobody. Liptovský Mikuláš.
- BENICKY, V. 1957. Príspevok k dejinám Demänovskej ľadovej jaskyne a k objaveniu Jaskyne Mieru. Slovenský kras, 1, 29–35.
- BOČEK, A. 1954. Pre záchranu krás Demänovskej ľadovej jaskyne. Československý kras, 7, 69–70.
- DROPPA, A. 1957. Demänovské jaskyne. Krasové zjavy Demänovskej doliny. SAV, Bratislava.
- HALAŠ, J. 1984. Demänovská ľadová jaskyňa – niektoré poznatky a výsledky z merania teploty vzduchu za obdobie 1970 – 1982. Slovenský kras 22, 111–129.
- HALAŠ, J. 1989. Tepelná bilancia Dobšinskej ľadovej jaskyne. Slovenský kras, 23, 57–71.
- LALKOVIČ, M. 1995. On the problems of the ice filling in the Dobšiná Ice Cave. Acta Carsologica, 24, 313–322.
- LUETSCHER, M. – JEANNIN, P.-Y. – HAEBERLI, W. 2003. Energy fluxes in an ice cave of sporadic permafrost in the Swiss Jura Mountains – concept and first observational results. In M. Phillips, S. Springman and L. Arenson (Editors), 8<sup>th</sup> International Conference on Permafrost, Proceedings. Swets & Zeitlinger, Lisse, Zürich, 691–696.
- LUETSCHER, M. – JEANNIN, P. Y. 2004. The role of winter air circulations for the presence of subsurface ice accumulations: an example from Monlési ice cave (Switzerland). Theoretical and Applied Karstology, 17, 93–97.
- LUETSCHER, M. 2005. Processes in Ice Caves and their Significance for Palaeoenvironmental Reconstructions. SISK, Zurich.



- LUETSCHER, M. – JEANNIN, P. Y. – HAEBERLI, W. 2005. Ice caves as an indicator of winter climate evolution: a case from the Jura Mountains. *The Holocene*, 15 (7), 982–993.
- OTRUBA, J. 1957. Problém mikroklimy a znovuzaľadnenia Demänovskej ľadovej jaskyne. *Slovenský kras*, 1, 36–58.
- OTRUBA, J. 1971. Meteorologické podmienky a zaľadnenie v Demänovskej ľadovej jaskyni. *Slovenský kras* 9, 193–202.
- Perşoiu, A. 2005. Evidence of basal melting of the ice block from Scărişoara Ice Cave. In Mavlyudov, B.R. (Ed.) *Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and Polar Regions*, Moscow, 109–112.
- PIASECKI, J. – SAWIŃSKI, T. – STRUG, K. – ZELINKA, J. 2007. Selected characteristics of the microclimate of the Demänovská Ice Cave (Slovakia), In Zelinka, J. (Ed.). *2nd International Workshop on Ice Caves – Demänovská Dolina – Slovak Republic – May 8 – 12, 2006, Liptovský Mikuláš*, 50–61.
- RACOVITĂ, G. – ONAC, B.P. 2000. Scărişoara Glacier Cave. Monographic study, Editura Carpatica, Cluj – Napoca.
- RACHLEWICZ, G. – SZCZUCIŃSKI, W. 2004. Seasonal, annual and decadal ice mass balance changes in the ice cave Jaskinia Lodowa w Ciemniaku, the Tatra Mountains, Poland. *Theoretical and Applied Karstology*, 17, 11–18.
- RAJMAN, L. – RODA, Š. – RODA, Š. ML. – ŠČUKA, J. 1987. Termodynamický režim Silickej ľadnice. *Slovenský kras* 25, 29–63.
- STRUG, K. – PIASECKI, J. – SZYMANOWSKI, M. – SAWIŃSKI, T. – ZELINKA, J. 2006. Quantitative characteristics of the bottom ice in the Demänovská Ice Cave (Slovakia). In Bella, P. (Ed.): *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň, zborník referátov zo 5. vedeckej konferencie, Demänovská Dolina*, 167–174.
- TROFIMOVA, E. V. 2007. Genesis and morphological peculiarities of cave ice deposits of lake Baikal. In Zelinka, J. (Ed.) *2nd International Workshop on Ice Caves – Demänovská Dolina – Slovak Republic – May 8 – 12, 2006, Liptovský Mikuláš*, 77–81.
- ZELINKA, J. 2002. Microclimatic Research in the Slovakian Show Caves. *Acta Carsologica*, 31, 1, 151–163.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	387 – 392	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## THE CURRENT STATUS OF THE GENUS CF. *HAUFFENIA* (MOLLUSCA: GASTROPODA: HYDROBIIDAE) DISTRIBUTION RESEARCH IN SLOVAKIA

JOZEF ŠTEFFEK<sup>1</sup>, JOZEF GREGO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Applied Ecology, Faculty of Ecology and Environmental Science, Technical Univerzity in Zvolen, T. G. Masaryka 24, SK 960 53 Zvolen, Institute of Forest Ecology, Slovak Academy of Sciences, Štúrova 2, SK 960 53 Zvolen, Slovakia; steffekjozef@yahoo.com

<sup>2</sup> SK-97409 Banská Bystrica, Limbová 23, jozef.grego@degussa.com

**J. Šteffek, J. Grego: The current status of the genus cf. *Hauffenia* (Mollusca: Gastropoda: Hydrobiidae) distribution research in Slovakia**

**Abstract:** The valvatiform Hydrobiidae species detected in karstic springs of Slovakia are probably closest related to East-Alpine genus *Hauffenia*, but due to vast geographical and hydrological separation and lack of anatomical data the justification of the use of the genus name *Hauffenia* for those populations is still not confirmed. The field research of all springs and caves in the area is in progress with the purpose to monitor their distribution range, as well as anatomical and molecular-biological studies to find their position within the Hydrobiidae. 39 springs out of the 110 possible localities have been sampled so far and the genus cf. *Hauffenia* has been detected in 25 Slovakian localities, belonging to 10 hydrologically isolated groundwater systems. However, the potential of the area is much bigger, and at the end of our research we would like to bring a comprehensive overview about their taxonomy and distribution.

**Key words:** gastropod species, cf. *Hauffenia*, Hydrobiidae, karstic springs, Slovenský kras

### INTRODUCTION

The freshwater mollusc assemblages of Slovakia gathering high species diversity over lowland streams, rivers, ponds and stagnant water reservoirs. Less freshwater species have been detected in highlands and alpine mountains, and only few species are known to inhabit the spring biotopes. The special groups of the latest are the underground valvatiform Hydrobiidae species, living in caves and interstitial crevices of the spring zones. Those species are usually very small (1,2 – 1,9 mm). Since this group of valvatiform Hydrobiidae is more strongly represented in the Southern parts of Europe (Spain, France, Italy, the Balkans, Turkey), in the eastern Alpine region 10 *Hauffenia* species are known and over Slovakia they are sporadically distributed over southernmost limestone and karstic areas.

The first record about the spring genus *Alzoniella* from Slovakia were published by Babor (1936) from localities around Bojnice and placed to the genus *Vitrella*. Later Ložek found a specimen deposited in the collection of Petrbock and collected around Piešťany. He described this species together with Brtek as *Belgrandiella slovenica* with its four subspecies (Ložek and Brtek, 1964). Later field research extended the genus distribution over more springs of northwest Slovakia and the Moravian part of Biele Karpaty Mts. (the Czech Republic). After anatomical revision the species was transferred to genus *Alzoniella*, and it was published with its known distribution range by Beran and Horsák (2001). Two years later Brtek (2003) made public many other localities, where he had detected this genus. The unique find of tiny hydrobioid species *Paladilhopsis* sp. in flotsam deposit of Danube (Šteffek, 1978) was later

confirmed by another specimen, and it most probably represents the same species as has been known from the Hungarian side of Danube (Pintér and Suara, 2004; Šteffek and Lučivjanská, 2002). As a great surprise came the detection of another eutroglobiont hydrobioid gastropod in the quaternary deposits of Mičiná travertines of Zvolenská kotlina Basin (Ložek and Galvánek, 1987).

The 10 known *Hauffenia* species are only known from southeast and northeast Alpine springs and have been revised in detail by Bodon, Manganelli and Giusti (2001) with a detailed diagnostic key. Five species known from the Balkan under the name cf. *Hauffenia* most probably belong to some other valvatiform genus yet not described due to lack of anatomical data. Surprising finds of similar species in Slovakia are very remote from all other known localities, and from this reason we have decided to use of the name cf. *Hauffenia* preliminarily. The anatomical study and DNA analysis is expected to confirm its real taxonomical status.

The first written note about the discovery of this strange prosobranch gastropod cf. *Hauffenia* sp. from territory of Slovak Karst can be found in the newspaper article of B. M. (1986), which includes interviews with I. Háberová, J. Benko, B. Zapletal, V. Ložek, P. Mitter and V. Tereková about ecological problems of the Slovak Karst Biosphere Reserve. One year later the find of this genus in quaternary travertine deposits of Dolná Mičiná near Banská Bystrica was announced (Ložek and Galvánek, 1987) together with the record of late Holocene specimen of this genus from travertine of Čierna vyvierka spring draining the Gombasek Cave, and the record was published one year later (Ložek and Horáček, 1988).

During the 1991 meeting of environmentalists a few karstic springs were searched, but only the Biela vyvierka spring in Gombaserk (erroneously published as Čierna vyvierka) yielded fresh dead specimens of this genus (Šteffek, 1992). In his monograph of Slovak Karst Ložek (1993) mentioned two finds of shells in springs under the western slopes of Silica Plateau and in the Kečovská vyvierka spring. This species, not described yet, was introduced into the Red List of Slovak Mollusca (Šteffek, 1994), and also mentioned in the monograph of National ECONET of Slovakia (Koreň and Šteffek, 1996) and in evaluating reports to the Slovak Biosphere Reserves (Šteffek, 1995).

Since 2000 J. Grego and J. Šteffek have been investigating the karst springs in the whole territory of Slovak Karst. More springs with occurrence of this species were detected, and finally in years 2004 – 2005 the first live animals were captured. The samples are recently under anatomical and molecular biology investigations. Few short notes about troglobiont gastropods from Slovakia were published in the last few years (Šteffek, 1992, 2000, 2002; Šteffek and Grego, 2002a, 2002b) and the genus was introduced into the Checklist of Slovakian Mollusca (Šteffek and Grego, 2002c).

## MATERIALS AND METHODS

Different methods were used to collect study material from native open springs and from springs captured by concrete basin of small waterworks.

The acquisition of washed-out cf. *Hauffenia* shells resembles a lottery in most of the springs, as due to the strong streams the fine sediment depone is very limited. Several visits to the researched springs were necessary, as the extracted sediments not always yielded shells. The best results were achieved by the use of sieve slightly under 2 mm, which held up the oversized sand grains and the adult shells of *Bythinella pannonica* occurring in many springs in enormous quantities. This method, when used in springs built up by waterworks objects, was rarely successful, and for those we had to use a different sampling method. Namely we use a special sucking device working on principle of connected vessels, its sucking part equipped with 2 mm sieve and the sediment filtered through a nylon stocking. Part of each extracted samples was freshly sorted under a binocular loop, and the rest was conserved by 80 % alcohol. After sorting the whole material under a binocular loop in the laboratory, the material was dried and sorted under a loop again.

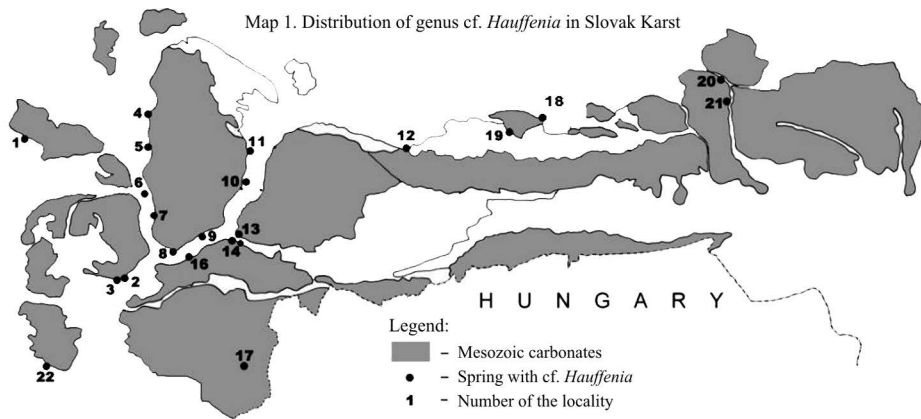


Table 1. Localities of the *Hauffenia* sp. in Slovak Republic Legend: H – cf. *Hauffenia* sp. , A – *Bythinella austriaca*, B – *B. pannonica*, P – *Pisidium* sp. , d/a – dray/alkohol specimens, f – fossil/subfossil, a – present, v – more than 100 specimens, Grg – J. Grego, Lzk – V. Ložek, Sff – J. Šteffek

No.	Geomorphological unit	Spring/Karstic spring	Date of first record	Leg.	H	A	B	P
KONIART PLATEAU								
1		Gemerská Teplica – Hlavište	3. 8. 2004	Grg	1/0	10	v	a
2		Gemerská Hôrka – Páfročenka	1. 8. 2004	Grg	55/17	4	v	a
3		Gemerská Hôrka – in village	26. 3. 2005	Grg	5/3		a	
PLEŠÍVEC PLATEAU								
4		Kunova Teplica – Hučiaca	26. 3. 2005	Grg	13/10	v		
5		Kunova Teplica – Závodná	15. 4. 2005	Sff+Grg	4/0	a		
6		Pašková – Veľká studňa	2. 4. 2005	Grg	5/0			
7		Plešivec – Studená studňa	28. 3. 2005	Grg	7/0	v		a
8		Plešivec – Čepkov	25. 3. 2005	Grg	12/0	a	a	a
9		Vidová	28. 3. 2005	Grg	3/0		v	a
10		Slavec	28. 3. 2005	Grg	2/0			
11		Brzotín – Gyepu	2. 8. 2004	Grg	17/0	a		a
SILICA PLATEAU								
12		Krásnohor. Dlhá Lúka – under quarry	16. 4. 2005	Sff+Grg	1/0	3	v	
13		Gombasek – Biela vyvieračka	2. 8. 1990	Sff	1/0	6	v	a
14		Gombasek – cave	16. 7. 2003	Grg	3/1	3		a
15		Gombasek – Čierna vyvieračka	1986	Lzk	2/0	9	v	a
16		Plešivec – Malá studňa	1. 8. 2004	Grg	34/0	1		a
17		Kečovo	1986	Lzk	8/3	a	v	a
DRIEŇOVEC								
18		Kováčová	4. 5. 2004	Sff	2/2	1	v	a
19		Drnava – Bleskový prameň	25. 3. 2005	Grg	1/0	a	a	a
ZÁDIEL PLATEAU								
20		Hačava – above village	2. 8. 1990	Sff	1/0			
21		Hačava – Travertínová vyvieračka	16. 4. 2005	Sff+Grg	1/0	a	f	
RIMAVSKÁ KOTLINA BASIN								
22		Bretka – farm	17. 4. 2005	Sff+Grg	3/0	f		
ZVOLENSKÁ KOTLINA BASIN								
23		Driekyňa	5. 7. 1998	Sff+Grg	1/0	a		
24		Mičiná – travertine	1987	Lzk	1/0	f		
HOREHRONSKÉ PODOLIE								
25		Mačková	5. 9. 1993	Sff	1/0			



Fig. 1. Distribution of cf. *Hauffenia* sp. in the Slovenský Kras Karst: 1 – Brzotínska vyvieraciačka “Gyepű”, Plešivecká planina; 2 – 3 Vyvieraciačka Pät’ročienka, Koniart; 4 – Gemerskoteplická vyvieraciačka “Hlavište”, Koniart; 5 – 7 Kečovská vyvieraciačka, Silická planina

## RESULTS

So far 39 springs and wells in broader range of the Slovak Karst National Park were investigated. Table 1 lists all investigated localities with evaluation of spring Mollusca – *Bythinella austriaca*, *B. pannonica*, *Pisidium* ssp. and *Hauffenia* sp., but in many springs additionally also the *Galba truncatula*, *Radix labiata*, *Ancylus fluviatilis*, were found. Shells of the genus cf. *Hauffenia* were detected in 25 Slovakian localities (22 in the Slovak Karst, two in Zvolenská kotlina Basin and one in Horehronské podolie Hills) belonging to 10 hydrologically isolated systems. The above mentioned methods yielded live captured animals from seven springs (Fig. 1), and these are currently undergoing an anatomical and DNA investigation at Jagellonian University Krakow. All the presented results are only preliminary, as the research program will continue over the next few years.

## DISCUSSION

The main distribution range of cf. *Hauffenia* in Slovakia is the area of Slovak Karst and adjacent parts of Rimavská kotlina Basin with potentials in Drienčanský kras Karst (Revúcka vrchovina Highland) or in limestone of Bodvianská vrchovina Highlands, as well as in the mountains of Volovské vrchy Highlands. Singular finds in Driekyňa Valley, Mičiná travertine suggest its distribution also in Ponický kras Karst and the find in Mariková suggests the potential of Horehronské podolie Hills.

Samples taken from the spring on the southern slopes of Muránska planina Plateau, Slovenský raj and Tisovecký kras Karst were negative so far. Our intention is to sample all 110 springs of Slovenský kras Karst as well as the adjacent limestone areas and about 5 springs of Ponický kras Karst during our research mainly with the purpose to monitor their distribution and biodiversity. By sampling spring cave entrances we would like to find the proper biotopes of the genera.

## CONCLUSIONS

Recently we suppose that cf. *Hauffenia* sp. inhabits only the spring parts of cave waters and flooded spring debris, and is not present in deeper parts of cave systems. Great hydrological isolation of many Slovakian distribution points would suggest higher diversity of species within this territory. Presence of this genus was proved also in one locality of the Agtelek National Park in Hungary (Majoros, 2002, pers. comm.) and in the Börzsöny Mountains (Eröss and Petró, 2008) but the potential of the Hungarian side is comparable with that in Slovakia.

Acknowledgements. We would like to express our great thanks to the Slovak Karst National Park headquarters; to the Slovak Cave Administration and also to the headmaster of Domica cave for their broad support. The contribution was partially supported by VEGA Grant: 1/3283/06 and 2/6007/06. This article is dedicated to Vojen Ložek's 80-th birthday.

## REFERENCES

- B. M. 1986. Čo ohrozuje Slovenský kras? Vesmír (Praha), 65, 6, 317–323.  
BABOR, J. F. 1936. O paleolithu v Bojnícich. Bratislava, 10, 259–265.  
BERAN, L. – HORSÁK, M. 2001. Taxonomic revision of the genus *Alzoniella* (Mollusca, Gastropoda) in the Czech Republic and Slovakia. Biológia (Bratislava), 56, 141–148.  
BODON, M. – MANGANELLI, G. – GIUSTI, F. 2001. A survey of the European valvatiform hydrobiid genera, with special reference to *Hauffenia* Pollonera, 1898 (Gastropoda: Hydrobiidae). Malacologia, 43, 1/2, 103–215.  
BRTEK, J. 2003. Contribution to acknowledge of the distribution of *Alzoniella slovenica* (Ložek and Brtek, 1964). Acta Rer. Natur. Mus. Nat. Slov. (Bratislava), 49, 95–98.



- ERŐSS, Z. P. – PETRÓ, E. 2008. A new species of the valvatiform hydrobiid genus *Hauffenia* from Hungary (Mollusca: Caenogastropoda: Hhydrobiidae). *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 54, 2, 73–81.
- KOREŇ, M. – ŠTEFFEK, J. (Eds.). 1996. Návrh národnej ekologickej siete Slovenska – NECONET. Vyd. nadácia IUCN, Bratislava, 323 ss.
- LOŽEK, V. 1993. Mäkkýše. In Rozložník, M. and Karasová, E. (Eds.): Slovenský kras, Osveta, Martin, 479 ss.
- LOŽEK, V. – BRTEK, J. 1964. Neue *Belgrandiella* aus den Westkarpaten. *Arch. Moll.*, 93, 5/6, 201–207.
- LOŽEK, V. – GALVÁNEK, J. 1987. Geologická poloha a biostratigrafický rozbor Chráneného prírodného výtvaru Mičinské travertíny. *Ochrana prírody*, 8, 221–240.
- LOŽEK, V. – HORÁČEK, I. 1988. Vývoj prírody Plešivecké planiny v poledové době. *Ochrana prírody. Výskumné práce z ochrany prírody*, 6A, 153–175.
- PINTÉR, L. – SUARA, R. 2004. Magyarországi puhatestűek katalógusa. Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest, 547 pp.
- ŠTEFFEK, J. 1978. Malakozoologický výskum Podunajskej roviny so zreteľom na oblasť dunajského vodného diela. *Acta ecologica (Bratislava)*, 7, 17, 85–118.
- ŠTEFFEK, J. 1992. Faunistické údaje o malakofaune niektorých lokalít v Slovenskom krase. Prehľad odborných výsledkov XV. Vsl. TOP (Štós-Porča, 1991), Moldava nad Bodvou, 45–48.
- ŠTEFFEK, J. 1994. Current status of molluscs of Slovakia in relation to their exposure to danger. *Biológia (Bratislava)*, 49, 5, 651–655.
- ŠTEFFEK, J. 1995. Ecosozological evaluation of the mollusc's biodiversity in Slovakian Biosphere Reserves. *Ecology (Bratislava)*, 14, Suppl. 2, 3–10.
- ŠTEFFEK, J. 2000. Mäkkýše Oravskej vrchoviny. *Zborník Oravského múzea*, 17, 244–256.
- ŠTEFFEK, J. 2002. Recent knowledge about the Mollusca troglobionts from Slovakia Carpathia, 9, 6, 16.
- ŠTEFFEK, J. – GREGO, J. 2002A. Pravý jaskynný ulitník v Slovenskom krase In Midriak, R. (Ed. ). *Biosférické rezervácie na Slovenskú IV. Zborník referátov zo 4. národnej konferencie o BR SR, konanej v Rožňave* 28. – 29. 10. 2002, Zvolen, 163–165.
- ŠTEFFEK, J. – GREGO, J. 2002B. True mollusc troglobite in Slovak Karst. *Slovenský kras*, 40, 175–176.
- ŠTEFFEK, J. – GREGO, J. 2002C. The checklist of molluscs (Mollusca) occurring in Slovak Republic. *Acta Univ. Matth. Belii (Banská Bystrica)*, 2, 1, 60–69.
- ŠTEFFEK, J. – LUČIVJANSKÁ, V. 2002. The Mollusk fauna of the Slovakian part of the River Danube. *Soosiana*, 23, 30, 49–73.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	393 – 408	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## NETOPIERE (CHIROPTERA) BELIANSKEJ JASKYNE

ZUZANA VIŠŇOVSKÁ

Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovenská republika; visnovska@ssj.sk

### Z. Višňovská: The bats (Chiroptera) of the Belianska Cave (The Belianske Tatry Mts.)

**Abstract:** The Belianska Cave (49°13' N, 20°18' E, altitude 890 m, total length of 3,641 m) is one of the most important bat hibernaculum in the Belianske Tatry Mts. (northern Slovakia). New results of eight-year monitoring (2001 – 2008) together with all available published data on a bat community of the cave are summarised in the paper. Up to now, nine bat species have been recorded by a visual method in the Belianska cave: *Rhinolophus hipposideros*, *Myotis myotis*, *Myotis blythii* (only one record dated to 1964), *Myotis mystacinus*, *Myotis brandtii*, *Myotis nattereri*, *Eptesicus nilssonii*, *Plecotus auritus* and *Myotis emarginatus* (only one questionable record from 1995). In winter seasons of 2001 – 2008, we have recorded six (seven) species. *Myotis myotis* (100 % constancy of occurrence, total dominance 51.5 % of all the bat records, total maximum of abundance is 81 individuals) and *M. mystacinus/brandtii* (C = 100 %, D = 42.8 %, max. 81 ind.) were the most frequent and the most abundant species in the cave. *Plecotus auritus* (C = 75 %, D = 3.3 %, max. 8 ind.) and *Eptesicus nilssonii* (C = 75 %, D = 1.3 %, max. 4 ind.) hibernated regularly but not abundant here. Other species such *Myotis nattereri* (C = 25 %, D = 0.4 %, max. 2 ind.) and *Rhinolophus hipposideros* (C = 12.5 %, D = 0.2 %, max. 1 ind.) had been observed occasionally. Total maximum of 167 hibernating bat individuals in the cave was recorded in February 2008, but in April 1995 we observed the colony of cca 300 individuals of *M. myotis* located in frontal part of the cave near the entrance. We assumed it was a grouping of individuals, which hibernated here, before they leave the cave together. Each of the bat species prefers the different cave parts to their hibernation with specific microclimatic and other conditions. Four Bat Zones can be distinguished in the cave. More than 60 % of a bat community occupy a frontal part of the cave near its openings, mainly the spaces from Vstupná chodba (The Entrance passage) to Dóm objaviteľov (The Dome of discoverers). Populations of *M. mystacinus/brandtii*, *E. nilssonii*, *P. auritus* and *M. nattereri* occurred in the colder sites in down half-part of the cave (air temperature –2.0 up to 5.5 °C). Population of *M. myotis* and a presence of *R. hipposideros* were typical for warm upper parts of the cave (air temperature between 5.0 – 7.0 °C). After wind calamity, which hit a forest zone of the Tatry Mts. in November 2004, we had observed neither differences in species composition nor remarkable quantitative changes in a bat community of the Belianska Cave in comparison with the same period of previous seasons.

**Key words:** Belianska Cave, bats, hibernation, species composition, abundance, spatial distribution, the Belianske Tatry Mts., Slovakia

### 1. ÚVOD

Belianska jaskyňa (890 m n. m.) predstavuje jedno z najpočetnejších zimovísk netopierov na území Belianskych Tatier. Najstaršie zmienky o netopieroch tejto lokality pochádzajú z druhej polovice 19. storočia. Fruwirth (1884) sa zmieňuje o ich veľmi častom výskyte v jaskyni, bližšie údaje o druhovom zložení však neuvádza. Cielnému výskumu chiropterofauny sa venuje pozornosť až po roku 1950. Prvé faunistické údaje zo zimného obdobia v 50. a 60. rokoch 20. storočia publikujú Vachold (1956, 2003), Gaisler a Hanák (1972, 1973). Fudaly (2002) poskytuje stručný údaj bez bližšej špecifikácie o sledovaní režimu života netopierov poľskými speleológmi pod vedením Kowalského v zimnom období 1955. Horáček (1976) sa zamerával na rozbor osteologického materiálu v jaskynnej

tanatocenóze. Ďalšie údaje z tejto lokality sú známe až z 90. rokov (Pjenčák a Danko, 2002), kedy boli prvýkrát vykonané vizuálne kontroly vo všetkých dostupných častiach jaskyne počas viacerých zimných sezón. Komplexné poznatky o výskyte netopierov na území Tatier vrátane údajov z Belianskej jaskyne publikovali Pjenčák et al. (2003).

Cieľom tohto príspevku je prezentovať pôvodné výsledky chiropterologického monitoringu v Belianskej jaskyni realizovaného Správou slovenských jaskýň v období rokov 1995 – 2008 a konfrontovať ich s dostupnými publikovanými údajmi so zámerom podať syntézu poznatkov o druhovom zložení, kvantitatívnom zastúpení a priestorovej distribúcii netopierov, osídľujúcich túto významnú podzemnú lokalitu.

## 2. CHARAKTERISTIKA SKÚMANEJ LOKALITY

Národná prírodná pamiatka Belianska jaskyňa (kvadrát Databanky Fauny Slovenska 6787) sa nachádza v severnom svahu Kobylieho vrchu (1109 m n. m.) nad obcou Tatranská Kotlina vo východnej časti Belianskych Tatier (kód orografického celku 183 – podľa Kroupová, 1980). Celkovou dĺžkou 3641 m je zatiaľ najdlhšou a vertikálnym rozdielom 160 m druhou najhlbšou jaskyňou v Belianskych Tatrách (Bella et al., 2007). Vo vstupných častiach jaskyne sú známe 3 otvory komunikujúce s povrchovým prostredím. Umelo prerazený hlavný vchod v nadmorskej výške 890 m je pre netopiere nepriechodný. Na prenikanie do podzemia môžu netopiere využívať menší otvor, ktorý je asi 10 m nad hlavným vchodom, alebo pôvodný horný (Objavný) otvor, situovaný 82 m nad hlavným vchodom; oba sú opatrené uzáverom s vletovým otvorom obdĺžnikového tvaru (obr. 9).

Morfológiou podzemných priestorov predstavuje vertikálno-horizontálnu viacnásobnú rozvetvenú jaskyňu (Bella a Pavlarčík, 2002). Jej predné časti tvorí horizontálna Vstupná chodba, nad ktorou sa nachádzajú komínovité priestory smerom k Objavnému vchodu a priestory Šikmého domu, Sutinovej siene a Mrazového domu (obr. 6B). Z Rázcestia tvoria hlavnú líniu výstupné úseky pozdĺž prehliadkovej trasy cez Dóm objaviteľov – Vysoký dóm – Dlhú chodbu – Palmovú sieň po Zbojnícku komoru (Britzova sieň) a odtiaľ zostupné úseky vedúce cez Dóm SNP (Verbovszkého sieň) – Vodopádový dóm (Dóm veľkých vodopádov) – Hudobnú sieň – Rúrovitý dóm – Biely dóm – Hlboký dóm a Dóm trosiek späť na Rázcestie. Na tento hlavný úsek sa napájajú ďalšie priestory (napr. Zrútený dóm, Priepasťová chodba a iné), ktoré dotvárajú celkovú členitosť jaskyne. Podľa nálezov veľkého počtu naplavených kostí netopierov bol jeden z priestorov v hornej časti jaskyne medzi Dómom SNP a Vodopádovým dómom pomenovaný ako Sieň netopierov (Fudaly, 2002).

Teplota vzduchu vo vstupných častiach jaskyne počas roka kolíše od  $-2,2$  do  $5,1$  °C v závislosti od vonkajších teplotných podmienok, v zime klesá pod bod mrazu za sprievodnej tvorby ľadovej výplne (Bella, 2006). V ostatných častiach jaskyne sa priemerná teplota pohybuje v rozmedzí  $5,0$  –  $6,3$  °C a relatívna vlhkosť vzduchu  $90$  –  $97$  % (Zelinka, 1998; Bella, 2003).

Prvotné sprístupnenie Belianskej jaskyne sa spája s rokom 1882. V súčasnosti je pre verejnosť sprístupnených  $1370$  m s prevýšením  $125$  m (Bella, 2003). Patrí k najviac navštevovaným sprístupneným jaskyniam na Slovensku. Ročná návštevnosť v rokoch 2000 – 2005 dosahovala  $115$ - až  $130$ -tisíc osôb (Gall a Nudzíková, 2006). Okrem mesiac trvajúcej zimnej uzávery je jaskyňa otvorená celoročne.

## 3. METODIKA

V príspevku sú zhrnuté dosiaľ nepublikované údaje z občasných pozorovaní a pravidelného zimného sčítania netopierov v Belianskej jaskyni, vykonávaných pracovníkmi Správy slovenských jaskýň pod vedením F. Bernadoviča (1995 – 2003) a Z. Višňovskej (2004 – 2008) za obdobie od februára 1995 do apríla 2008. Okrem autorky príspevku (účasť na 19 sčítaniach) a F. Bernadoviča (8) sa na monitoringu spolupodieľali R. Hlavna (12), S. Mihucová (5) a jeden raz A. Lucinkiewicz, J. Obuch, J. Bachleda, M. Hatinová, J. Knap a M. Ondruška.

Metódou vizuálneho sledovania sme zaznamenávali druhové zloženie, početnosť a rozmiestnenie prítomných netopierov na štandardnej trase sčítania, ktorá zahŕňala všetky priestory pozdĺž prehladkovej trasy (obr. 6A) a niektoré nespístupnené časti nad Vstupnou chodbou (Sutinová sieň, Šikmý dóm, priestory smerom k Objavnému vchodu) a v Hlbokom dome (bočná výstupná chodba so starým schodiskom) (obr. 6B). Vo februári 2008 sme prezreli aj Zrútený dóm v hornej zadnej časti jaskyne. Údaje z rokov 1995 – 1996 sa týkajú čiastkových, prípadne náhodných pozorovaní výskytu netopierov počas banskobebezpečnostných previerok v jaskyni. V rokoch 2001 – 2005 sme na lokalite realizovali ciele kontroly zvyčajne v novembri a februári a v zimných sezónach 2006/2007 a 2007/2008 sme zisťovali aktuálny stav výskytu netopierov približne v mesačných intervaloch (október – apríl) s cieľom zachytiť ich populačnú dynamiku a priestorovú distribúciu počas sezóny. V roku 2008 sme orientačne preskúmali kostrové zvyšky netopierov, ktoré sa nachádzajú v hornej časti Sutinovej siene neďaleko hlavného vchodu. Teplotu vzduchu sme merali digitálnym teplomerom značky Checktemp. Na orientačné zhodnotenie teplotných pomerov v jednotlivých častiach jaskyne (tab. 2) sme použili hodnoty namerané v 16 termínoch sčítania netopierov počas troch zimných sezón (2005/06, 2006/07, 2007/08).

Vo výsledkovej časti príspevku uvádzame pre každý druh netopiera chronologický prehľad všetkých publikovaných údajov i dosiaľ nepublikovaných nálezov (do roku 2000) uvedených v Záznamovej knihe o netopieroch Belianskej jaskyne, ktorá je interným dokumentom Správy slovenských jaskýň. Výsledky monitoringu z rokov 2001 – 2008 sú zhrnuté v tabuľke 1. V texte sú použité tieto skratky: det. – určil; ind., ex. – jedinec. V grafoch a tabuľkách používame skratky názvov jednotlivých druhov: Rhip – *Rhinolophus hipposideros* (podkovár malý), Mmyo/bly – *Myotis myotis/blythii* (netopier veľký/ostrouchý), Mmys/bra – *Myotis mystacinus/brandtii* (netopier fúzatý/Brandtov), Mnat – *Myotis nattereri* (netopier riasnatý), Enil – *Eptesicus nilssonii* (večernica severská), Paur – *Plecotus auritus* (ucháč svetlý), Msp. – druhovo neurčený jedinec rodu *Myotis*, indet. – neurčený jedinec. Názvy jaskynných priestorov uvádzame podľa Bella a Pavlarčík (2002), Pavlarčík a Plučinský (2002) a Bella (2003).

## 4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

### 4.1. PREHĽAD FAUNISTICKÝCH ÚDAJOV

#### **Netopier veľký (*Myotis myotis*) – netopier ostrouchý (*Myotis blythii*)**

Prehľad starších nálezov: ***M. myotis***: 11. 11. 1955 – 6 ex., 28. 11. 1957 – 11 ex., 12. 2. 1958 – 2 ex. (Vachold, 1956, 2003); 1. 3. 1963 – 31 ex., 1. 3. 1964 – 11 ex. (Gaisler a Hanák, 1972); 13. 12. 1973 – 7 ex. (Pjenčák et al., 2003); 16. 2. 1990 – 25 ex., 15. 2. 1994 – 31 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 29. 10. 1994 – 17 ex. – det. Š. Danko, P. Pjenčák, M. Danko (SSJ, 1994); 25. 2. 1995 – 81 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 28. 2. 1995 – 8 ex. – det. F. Bernadovič, A. Lucinkiewicz (SSJ, 1994); 19. 4. 1995 – cca 300 ex. – det. F. Bernadovič, J. Bachleda (SSJ, 1994; Bernadovič, 2000); 30. 1. 1996 – 11 ex. – det. F. Bernadovič (SSJ, 1994); 20. 2. 1996 – 77 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 17. 10. 1996 – 2 ex. – det. P. Pjenčák (SSJ, 1994); 30. 12. 1999 – 57 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 31. 12. 2002 – 52 ex. (Pjenčák et al., 2003). ***M. blythii***: 1. 3. 1964 – 1 ex. (Gaisler a Hanák, 1972, 1973).

V Belianskej jaskyni zimuje pravidelne netopier veľký, ktorý je bežný aj v ďalších jaskyniach na slovenskej a poľskej strane Tatier (Piksa, 1998; Pjenčák et al., 2003). Jediný doložený nález netopiera ostrouchého v Belianskej jaskyni pochádza z roku 1964 (Gaisler a Hanák, 1972, 1973). Vzhľadom na doterajšie poznatky sa tu jeho výskyt v súčasnosti nepredpokladá. Okrem tejto lokality nebol *M. blythii* na slovenskom území Tatier dosiaľ potvrdený vizuálne (Pjenčák et al., 2003) ani v osteologickom materiáli (Horáček, 1976; Obuch, 1994).

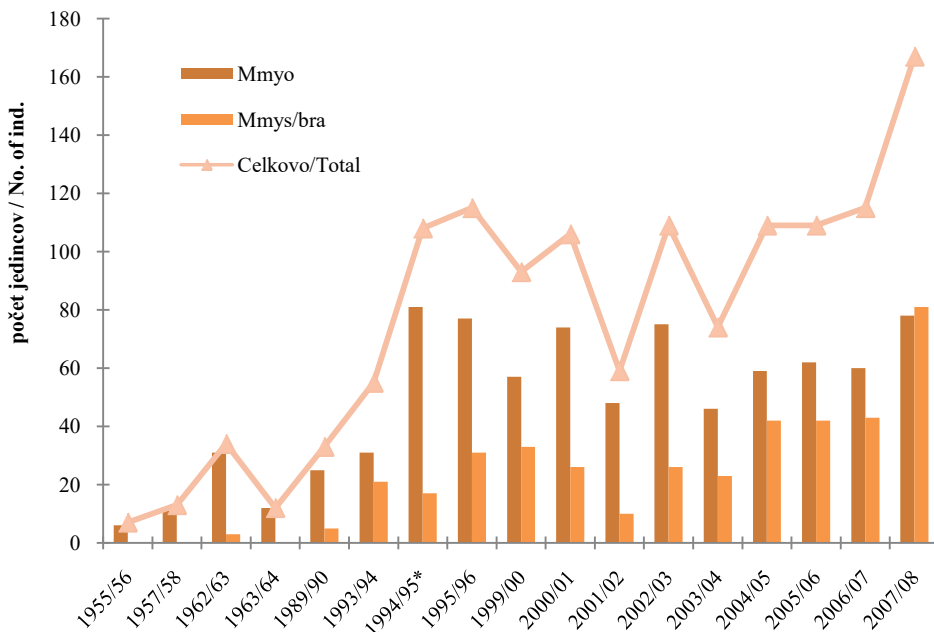
Netopier veľký predstavuje hlavnú zložku chiropterofauny Belianskej jaskyne (tab. 1). Z dlhodobého hľadiska možno pozorovať rozdiely v celkovej početnosti zimujúcich jedincov

Tabuľka 1. Výsledky zimného sčítania netopierov v Belianskej jaskyni v rokoch 2001 – 2008. Poznámka: \*jedince zistené v Zrútenom dome (mimo štandardnej trasy sčítania)

Table 1. Results of the winter bat census in the Belianska Cave in 2001 – 2008. Note: \*the individuals found in Zrútený Dome (apart from the standard line of monitoring)

Dátum / Druh Date / Species	Mmyo	Mmys/ bra	Enil	Paur	Mnat	Rhip	Msp.	indet.	Spolu Total
<b>sezóna 2000/2001</b>									
7. 3. 2001	74	26	4	2					106
<b>sezóna 2001/2002</b>									
14. 3. 2002	48	10	1						59
<b>sezóna 2002/2003</b>									
27. 11. 2002	26	22		2					50
20. 2. 2003	75	23	1	4			3		106
<b>sezóna 2003/2004</b>									
3. 12. 2003	23	23	2	3					51
20. 2. 2004	46	18		3			1		68
<b>sezóna 2004/2005</b>									
19. 11. 2004	16	18	2	3				2	41
25. 2. 2005	59	42	3	4			1		109
<b>sezóna 2005/2006</b>									
25. 11. 2005	25	29	1		1			1	57
20. 1. 2006	37	28	1	2					68
3. 3. 2006	62	42		3					107
<b>sezóna 2006/2007</b>									
31. 10. 2006	9	32	1						42
24. 11. 2006	18	28	1	3					50
22. 12. 2006	27	43	1	5	2				78
19. 1. 2007	41	30	1	8	1				81
23. 2. 2007	51	29	1	6					87
24. 3. 2007	60	23	2	3					88
27. 4. 2007	22	16							38
<b>sezóna 2007/2008</b>									
26. 10. 2007	10	34				1			45
30. 11. 2007	36	50	1	2	1	1			91
17. 12. 2007	41	71	1	5		1		1	120
25. 1. 2008	64	75	1	3	1		1		145
22. 2. 2008	75 + 3*	77 + 4*	1	5	1		1		160 + 7*
25. 4. 2008	74	58					1		133
<b>Spolu /Total</b>	<b>1019</b>	<b>847</b>	<b>26</b>	<b>66</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>1980</b>
<b>Dominancia (%)</b>	<b>51,5</b>	<b>42,8</b>	<b>1,3</b>	<b>3,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>			<b>100 %</b>
<b>Konštancia (%)</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>25</b>	<b>12,5</b>			<b>100 %</b>

(obr. 1). Podľa údajov z 50. a 60. rokov 20. storočia ich abundancia v jaskyni nepresahovala 31 jedincov (Vachold, 1956, 2003; Gaisler a Hanák, 1972). Podobný stav výskytu sa zistil ešte začiatkom 90. rokov (Pjenčák a Danko, 2002). Od roku 1995 sú pozorované vyššie stavy populácie so sezónnymi maximami 46 až 81 jedincov, ktoré dosahuje zvyčajne vo februári – marci (obr. 3). Dosať najvyššia početnosť zimujúcej populácie *M. myotis* (81 ex.) na tejto lokalite bola zaznamenaná vo februári 1995 (Pjenčák a Danko, 2002) a následne v apríli 1995 sa F. Bernadovičovi a správcovi jaskyne J. Bachledovi počas banskobebezpečnostnej prehliadky podarilo v jaskyni náhodne spozorovať väčšiu agregáciu a niekoľko menších skupiniek netopiera veľkého v celkovom počte cca 300 jedincov, sústredených vo vstupnej časti jaskyne neďaleko vchodu (SSJ, 1994; Bernadovič, 2000), čo v porovnaní so stavom populácie zisteným pri spomínanej februárovej kontrole predstavuje takmer štvornásobne vyšší počet. Pri najnovšom náleze 25. apríla 2008 sme na rovnakých miestach zachytili podobné zoskupenia



Obr. 1. Medzisezónne rozdiely v abundancii *M. myotis*, *M. mystacinus/brandtii* a celkovom počte netopierov v Belianskej jaskyni v období 1955 – 2008. Poznámka: \* nezarátaná 300-členná kolónia *M. myotis*)

Fig. 1. Interseasonal changes in number of *M. myotis*, *M. mystacinus/brandtii* and total number of bats in the Belianska Cave in 1955 – 2008 (Note: \* a colony of 300 ind. of *M. myotis* is not included)

*M. myotis* v celkovom počte 52 jedincov (obr. 4). Netopiere boli poloaktívne a na vyrušenie reagovali hlasným piskotom. Tentoraz ich početnosť v celej jaskyni vrátane tejto agregácie (74 ex.) zodpovedala februárovému stavu zimujúcej populácie (78 ex.). Pri obhliadke o týždeň neskôr (4. 5. 2008) sa netopiere vo vstupných priestoroch už nenachádzali. Oba prípady naznačujú, že prevažná časť zimujúcej populácie sa pred jarným výletom zhromažďuje na začiatku jaskyne a potom spoločne opúšťa zimovisko, čo je fenomén známy aj z iných jaskýň (Tulis, 2001; Bobáková, 2002; Vachold, 2003). Formovanie agregácií mohlo po dlhé roky uniknúť pozornosti z dôvodu absencie kontrol v jarnom období, prípadne nezachytenia fázy tvorby kolónie medzi dvoma pravidelnými mesačnými kontrolami (napr. marec – apríl 2007). Ak sú horeuvedené predpoklady správne, znamenalo by to, že Belianska jaskyňa je z hľadiska výskytu *M. myotis* oveľa významnejšou lokalitou, ako sa dosiaľ predpokladalo.

Okrem vizuálnej metódy sme potvrdili výskyt netopiera veľkého aj v kostrových zvyškoch netopierov, nachádzajúcich sa v Sutinovej sieni vo vstupnej časti jaskyne. Všetkých jedenásť náhodne vybraných lebiek patrilo druhu *M. myotis* (revidoval J. Obuch). Prezenciu tohto druhu v subrecentnom kostrovom materiáli z lokality uvádza aj Horáček (1976).

### Netopier fúzatý (*Myotis mystacinus*) – netopier Brandtov (*Myotis brandtii*)

**Prehľad starších nálezov: *M. mystacinus*:** 1. 3. 1963 – 3 ex. (Gaisler a Hanák, 1972); 12. 12. 1973 – 2 ex. (Pjenčák et al., 2003); 16. 2. 1990 – 5 ex., 15. 2. 1994 – 1 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 29. 10. 1994 – 13 ex. – det. Š. Danko, P. Pjenčák, M. Danko (SSJ, 1994; spresnenie Š. Danko); 25. 2. 1995 – 2 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 30. 1. 1996 – 1 ex. – det. F. Bernadovič (SSJ, 1994); 20. 2. 1996 – 11 ex., 30. 12. 1999 – 7 ex. (Pjenčák a Danko, 2002). ***M. brandtii*:** 25. 2. 1995 – 2 ex., 30. 12. 1999 – 5 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 31. 12. 2002 – 1 ex. (Pjenčák et al., 2003). ***M. mystacinus/brandtii*:** 15. 2. 1994 – 20 ex., 25. 2. 1995 – 13 ex., 20. 2. 1996 – 20 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 17. 10. 1996 – 1 ex. – det. P. Pjenčák (SSJ, 1994); 30. 12. 1999 – 21 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 31. 12. 2002 – 25 ex. (Pjenčák et al., 2003).



Na základe publikovaných údajov sa výskyt obidvoch druhov na tejto lokalite potvrdil vizuálnou metódou i v subrecentných kostrových zvyškoch (Horáček, 1976; Pjenčák a Danko, 2002). V minulosti patrili k vzácnym hibernantom Belianskej jaskyne (Gaisler a Hanák, 1972). Ich pravidelný výskyt sa pozoruje od roku 1990 (Pjenčák a Danko, 2002). Počnúc týmto obdobím sa prejavuje stúpajúci trend početnosti zimujúcich jedincov (obr. 1). V rokoch 2004 – 2007 dosiahol *M. mystacinus/brandtii* sezónne maximá 42 – 43 jedincov, v zimnej sezóne 2007/08 sa celkovou abundanciou (maximum 81 ex.) dokonca vyrovnal dovtedy dominantnému *M. myotis*. V súčasnosti spolu s týmto druhom predstavujú hlavné zložky spoločenstva netopierov Belianskej jaskyne. Netopier fúzatý a netopier Brandtov patria na území Tatier medzi bežné a početné druhy netopierov (Pjenčák et al., 2003).

#### **Ucháč svetlý (*Plecotus auritus*)**

Prehľad starších nálezov: 16. 2. 1990 – 1 ex., 15. 2. 1994 – 2 ex., 25. 2. 1995 – 6 ex., 20. 2. 1996 – 4 ex., 30. 12. 1999 – 3 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 31. 12. 2002 – 4 ex. (Pjenčák et al., 2003).

Ucháč svetlý (obr. 5) zimuje na lokalite pravidelne, najčastejšie v počte 3 až 5 jedincov. Dosiaľ najvyššiu abundanciu 8 jedincov sme zaznamenali v januári 2007 (obr. 2). Na zimovisku sa zdržiava od novembra do marca s maximom výskytu v decembri až februári (tab. 1). Výskyt ucháča svetlého v Belianskej jaskyni bol doložený aj v kostrovom materiáli (Horáček, 1976). Na území Východných Tatier sa tento druh zistil takisto v Alabastrovej jaskyni, Muránskej jaskyni a Čiernohorskom jaskynnóm systéme (Pjenčák et al., 2003).

#### **Večernica severská (*Eptesicus nilssonii*)**

Prehľad starších nálezov: 16. 2. 1990 – 2 ex., 15. 2. 1994 – 1 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 29. 10. 1994 – 1 ex. (Pjenčák et al., 2003); 25. 2. 1995 – 1 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 28. 2. 1995 – 2 ex. – det. F. Bernadovič, A. Lucinkiewicz (SSJ, 1994); 30. 1. 1996 – 3 ex. – det. F. Bernadovič (SSJ, 1994); 20. 2. 1996 – 1 ex. (Pjenčák a Danko, 2002); 31. 12. 2002 – 2 ex. (Pjenčák et al., 2003).

V Belianskej jaskyni sa tento druh vyskytuje každoročne, no v minimálnej početnosti. Najvyšším zisteným počtom sú 4 jedince z marca 2001 (tab. 1). V tatranskej oblasti patrí večernica severská k najhojnejším druhom netopierov, jej početnosť na zimoviskách je však celkovo nízka (Pjenčák et al., 2003).

#### **Podkovár malý (*Rhinolophus hipposideros*)**

Prehľad starších nálezov: 11. 11. 1955 – 1 ex., 28. 11. 1957 – 1 ex., 12. 2. 1958 – 2 ex. (Vachold, 1956, 2003); 25. 2. 1995 – 1 ex. (Pjenčák a Danko, 2002).

Výskyt podkovára malého na lokalite je ojedinelý. Podľa literárnych záznamov sa v jaskyni naposledy zistil v roku 1995 (Pjenčák a Danko, 2002). Opätovný výskyt sme pozorovali koncom roka 2007. Podkovár malý je veľmi zriedkavým druhom na celom území Tatier (Pjenčák et al., 2003).

#### **Netopier riasnatý (*Myotis nattereri*)**

Prehľad starších nálezov: 31. 12. 2002 – 3 ex. (Pjenčák et al., 2003).

Spočiatku bol výskyt netopiera riasnatého v Belianskej jaskyni doložený iba nálezmi v subrecentnom kostrovom materiáli (Horáček, 1976). Vizuálnou metódou sa prvýkrát zistil v roku 2002 (Pjenčák et al., 2003). Počas nášho výskumu sme ho zaznamenali v novembri 2005 a následne i v zimných sezónach 2006/2007 a 2007/2008 (tab. 1). V Belianskych Tatrách je tento druh známy aj z Alabastrovej jaskyne a z jaskyne Ľadová pivnica (Horáček, 1976; Pjenčák et al., 2003).

#### **Netopier brvitý (*Myotis emarginatus*)**

V záznamovej knihe o chiropterofaune Belianskej jaskyne (SSJ, 1994) sa uvádzajú dva nálezy tohto druhu. V prvom prípade (29. 10. 1994 – 13 ex. – det. Š. Danko, P. Pjenčák, M. Danko) išlo o chybný zápis, keď sa omylom zamenili názvy druhov, pričom správne

má byť 13 exemplárov netopiera fúzatého (*M. mystacinus*) (dodatočne upresnil Š. Danko). Pôvodný chybný údaj medzitým použil vo svojej práci Bernadovič (2000). Druhým je záznam F. Bernadoviča a A. Lucinkiewiczza z 28. 2. 1995 o náleze 1 exemplára netopiera brvitého, ktorý možno považovať skôr za výnimočný a pomerne otázný, keďže pri komplexnom sčítaní netopierov iba 3 dni predtým (25. 2. 1995) sa tento druh v jaskyni nezistil (Pjenčák Danko, 2002). Zo slovenskej časti Tatier nie je doteraz známy žiadny údaj o jeho výskyte (Pjenčák et al., 2003), z poľských Tatier jedno nálezisko uvádza Nowak (2001).

#### 4.2. ŠTRUKTÚRA JASKYNNÉHO SPOLOČENSTVA

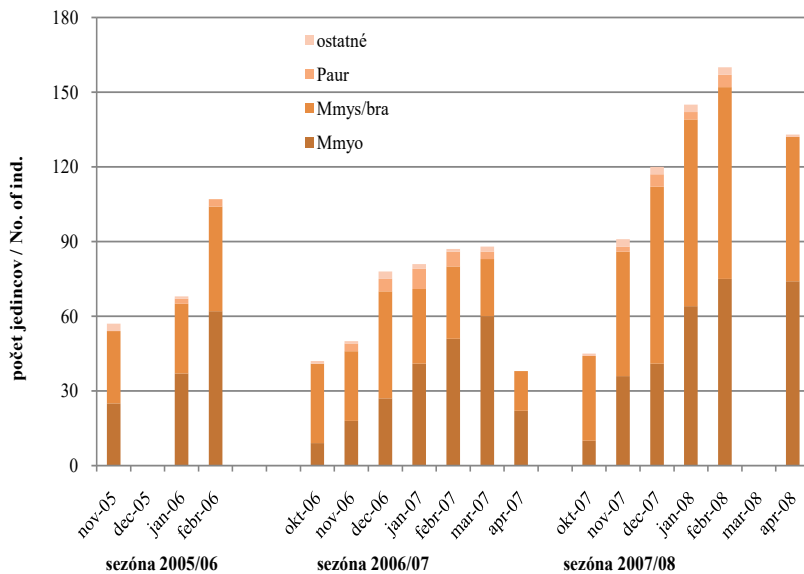
Pri 24 vizuálnych kontrolách, vykonaných počas 8 zimných sezón v rokoch 2001 – 2008, sme zaznamenali celkovo 1980 netopierov 6 (7) druhov (tab. 1). Z hľadiska dominancie tvorili 51,5 % tohto počtu jedince *M. myotis*, 42,8 % zástupcovia *M. mystacinus/brandtii* a minimálne zastúpenie mali *P. auritus* (3,3 %) *E. nilssonii* (1,3 %), *M. nattereri* (0,4 %) a *R. hipposideros* (0,2 %). Čo sa týka konštantnosti výskytu jednotlivých druhov, pri každej z 24 vykonaných kontrol sme v jaskyni zaznamenali prítomnosť *M. myotis* a *M. mystacinus/brandtii* (K = 100 %) a v 75 % prípadov *E. nilssonii* a *P. auritus*. Ostatné druhy boli menej časté (tab. 1). Netopiere v jaskyni zimujú prevažne solitérne alebo vo dvojici, zriedkavejšie v tesných zoskupeniach po 3 až 6 exemplárov (*M. mystacinus/brandtii*), v dvoch prípadoch boli vo vstupnej časti jaskyne zaregistrované agregácie *M. myotis* v celkovom počte cca 300 jedincov (apríl 1995), resp. 52 jedincov (apríl 2008).

Celková početnosť hibernujúcich netopierov v Belianskej jaskyni má z dlhodobého hľadiska stúpajúcu tendenciu (obr. 1). Kým do roku 1990 tu bolo zaznamenaných najviac 34 netopierov, v období 1995 – 2007 ich maximálna sezónna početnosť predstavovala 59 až 115 netopierov a v sezóne 2007/08 dosiahla rekordné maximum 167 netopierov. Ani tento počet pravdepodobne nevyjadruje skutočný rozsah výskytu zimujúceho spoločenstva na lokalite, čo dokazuje mimoriadny nález cca 300-člennej kolónie netopiera veľkého (*M. myotis*) v apríli 1995. Domnievame sa, že išlo o sústredenie tunajšej populácie tesne pred opustením zimoviska. Reálne tak môže podzemné priestory Belianskej jaskyne počas zimnej sezóny osídľovať celkovo viac ako 350 netopierov. V tejto súvislosti je vhodné uviesť, že štandardná trasa sčítania netopierov pozdĺž prehliadkovej trasy a v niektorých neprístupných častiach pokrýva necelé 2 km dĺžky jaskynných priestorov, čo pri aktuálnej dĺžke jaskyne vyše 3,6 km poskytuje netopierom dostatok iných, odľahlejších miest, kde sa môžu v jaskyni ukrývať. Doterajšie maximá počtu jedincov pre jednotlivé druhy za obdobie 1955 – 2008 predstavujú 81, resp. cca 300 exemplárov *M. myotis* (v sezóne 1994/95), 81 ex. *M. mystacinus/brandtii* (2007/08), 8 ex. *P. auritus* (2006/07), 4 ex. *E. nilssonii* (2000/01), 3 ex. *M. nattereri* (2002/03), 2 ex. *R. hipposideros* (1957/58) a 1 ex. *M. emarginatus* (1994/95).

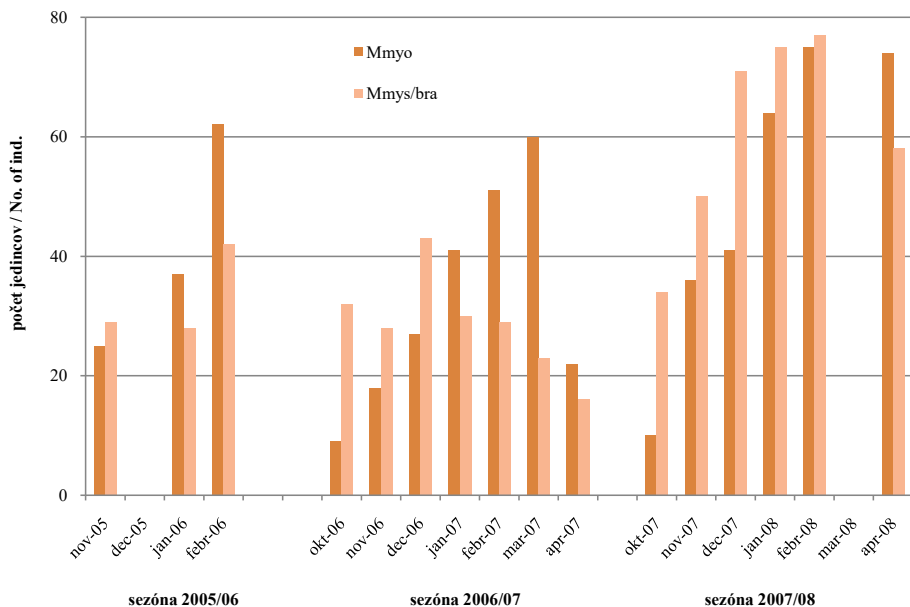
V súvislosti s veternou smršťou, ktorá sa v Tatrách prehnala 19. novembra 2004, zhodou okolností práve v deň sčítania netopierov v jaskyni, sa riešil jeden akútny prípad s 37 jedincami večernice tmavej (*Vespertilio murinus*) odchytenými v priestoroch vojenskej zotavovne v Tatranských Zruboch, ktoré v dôsledku kalamity pravdepodobne stratili pôvodný úkryt (Hoholíková, 2005). Vzhľadom na mimoriadnosť vzniknutej situácie dňa 3. 12. 2004 pracovníci Štátnych lesov TANAP-u RNDr. S. Pavlarčík a Ing. B. Chovancová provizórne umiestnili tieto jedince do priestorov Belianskej jaskyne (Hlboký dóm). Pri následnej kontrole 30. 12. 2004 sa zistilo, že netopiere toto miesto opustili a presunuli sa do prednej, chladnejšej časti jaskyne. Počas pravidelnej februárovej návštevy v roku 2005 sme prítomnosť večernice tmavej v jaskyni už nezaznamenali. Nespozorovali sme ani žiadne zmeny v druhovej skladbe alebo mimoriadne prírastky hibernujúcich netopierov v porovnaní s rovnakým obdobím predchádzajúcich rokov.

#### 4.3. POPULAČNÁ DYNAMIKA

Sezónne zmeny abundancie netopierov počas troch zimných sezón (2005/06, 2006/07, 2007/08) sú znázornené na obr. 2. Populačnú dynamiku početnejších druhov *M. myotis*



Obr. 2. Sezónna dynamika netopierov v Belianskej jaskyni v rokoch 2005 – 2008  
 Fig. 2. Seasonal changes in abundance of bats in the Belianska cave in 2005 – 2008



Obr. 3. Porovnanie sezónnych zmien početnosti *M. myotis* a *M. mystacinus/brandtii* v Belianskej jaskyni v rokoch 2005 – 2008  
 Fig. 3. Comparison of seasonal changes in abundance of *M. myotis* and *M. mystacinus/brandtii* in the Belianska cave in 2005 – 2008

a *M. mystacinus/brandtii* vyjadruje obr. 3. Ostatné druhy vzhľadom na celkovo nízku početnosť jedincov nie je možné z tohto hľadiska hodnotiť.

Sezónnu dynamiku *M. myotis* charakterizuje pozvoľný nárast početnosti od októbra s kulmináciou populácie vo februári až marci, v ďalšej fáze nastáva výraznejší pokles počtu prítomných jedincov v jaskyni, a to buď v priebehu apríla (rok 2007) alebo začiatkom mája (rok 2008), čo zrejme súvisí s ich zoskupovaním v prednej časti jaskyne a hromadným odletom zo zimoviska. Podobný priebeh sezónnych zmien a formovanie agregácií netopierov v jarnom období opisujú napr. Bobáková (2002) v Harmaneckej jaskyni a Tulis (2001) v Stratenskej jaskyni.

Netopier fúzatý/Brandtov sa objavuje na zimovisku vo väčších počtoch už v priebehu októbra a zotráva na ňom minimálne do apríla. Najvyššiu abundanciu počas zimného obdobia dosahuje populácia v období od decembra do februára (obr. 3).

V porovnaní s minulým obdobím, kedy zimujúce netopiere *Myotis myotis* výraznejšie prevládali nad populáciami *Myotis mystacinus/brandtii*, sa v posledných rokoch ich vzájomný kvantitatívny pomer postupne vyrovnáva a v sezóne 2007/08 je už mierne vyšší v prospech *M. mystacinus/brandtii* (obr. 1). Podobný stúpajúci trend abundancie a pomerného zastúpenia netopiera fúzatého/Brandtovho sa zistil napr. v Demänovskej ľadovej jaskyni a Suchej jaskyni v Nízkych Tatrách (Višňovská, 2007).

#### 4.4. PRIESTOROVÁ DISTRIBÚCIA NETOPIEROV

V osídlení jaskyne netopiermi počas hibernácie sa prejavuje výrazná stanovištná preferencia. Na základe rozdielov v priestorovej distribúcii, priemernej početnosti a pomernom zastúpení prítomných druhov je možné v jaskyni rozlíšiť 4 zóny výskytu netopierov (obr. 6), ktoré relatívne dobre korešpondujú s teplotnou zonáciou sledovaných častí jaskyne (tab. 2). Hranice medzi zónami tvoria priestory s prechodným charakterom porovnávaných charakteristík, za aké možno označiť Rázcestie (oddeľuje zóny 1 a 2), Vysoký dóm (zóny 2 a 3), Dóm SNP (zóny 3 a 4) a Hlboký dóm (zóny 2 a 4). Vo všetkých štyroch zónach dominujú populácie druhov *M. myotis* a *M. mystacinus/brandtii*, no rozdielna je ich priemerná početnosť (obr. 7) a pomerné zastúpenie v každej zóne (obr. 8); u ostatných druhov sa posudzovala frekvencia výskytu, resp. absencia v daných priestoroch.

**Zóna 1.** Takmer polovica všetkých netopierov prítomných v jaskyni obsadzuje počas zimnej sezóny priestory v prednej časti jaskyne, a to na sprístupnenom úseku Vstupnej chodby po Rázcestie a najmä v úrovniach nad Vstupnou chodbou mimo prehliadkovej trasy, zahŕňajúcich úsek Sutinová sieň – Šikmý dóm a bočné priestory vedúce k hornému Objavnému vchodu (obr. 6). Zóna 1 je charakteristická najpočetnejším výskytom druhov *M. mystacinus/brandtii* (52 % jaskynnej populácie) a *M. myotis* (42 % populácie) v rámci celej jaskyne (obr. 7). Z tejto jaskynnej časti pochádza 85 % všetkých nálezov *Myotis nattereri*, 45 % nálezov *Plecotus auritus* a 43 % nálezov *Eptesicus nilssonii*. Najväčšiu koncentráciu netopierov sme pravidelne pozorovali v bočnej sieni smerom k Objavnému vchodu (priemerná teplota 3,4 °C). Netopier veľký bol okrem toho početnejšie zastúpený v poschodí zo Sutinovej siene po Šikmý dóm, kde sa počas zimnej sezóny udržiava vyššia a relatívne stála teplota vzduchu (priemer 4,7 – 5,1 °C) a nevýrazné prúdenie vzduchu (Zelinka, 1997; tab. 2). Práve v tejto časti sa v jarnom období našli spomínané agregácie *M. myotis*. Najvýraznejšiemu vplyvu vonkajšieho prostredia v prednej časti jaskyne sú vystavené spodné úseky Sutinovej siene a Vstupná chodba, čo sa prejavuje vyššou intenzitou prúdenia vzduchu, najnižšou teplotou vzduchu (klesajúcou aj pod 0 °C) a najväčšími osciláciami teploty v rámci celej jaskyne (tab. 2). Týmto miestam sa nevyhýbajú iba odolnejšie druhy *M. mystacinus/brandtii*, *E. nilssonii* a *P. auritus*.

**Zóna 2.** Zahŕňa dva výstupné úseky jaskyne, jeden od Rázcestia cez Dóm objaviteľov po Vysoký dóm a druhý od Rázcestia cez Dóm trosiek po Hlboký dóm (obr. 6). Z hľadiska speleoklímy tvorí prechodnú zónu medzi mikroklimaticky nestabilnou a chladnejšou

Tabuľka 2. Teplotné charakteristiky v jednotlivých častiach Belianskej jaskyne. Poznámka: \*Priemer zo 16 meraní v 3 zimných sezónach 2005 – 2008

Table 2. Temperature characteristics in selected parts of the Belianska Cave. Note: \*Mean values of 16 measurements in three winter seasons of 2005 – 2008

Jaskynný priestor Cave Space	Teplota vzduchu / Air Temperature [°C]			
	T priemer* T mean*	T min. T min.	T max. T max.	Rozdiel Amplitude
Sutinová sieň (dole)	1,9	-2,0	4,0	6,0
Vstupná chodba	2,8	-0,5	4,8	5,3
sieň k Objavnému vchodu	3,4	0,3	4,8	4,5
Sutinová sieň (hore)	4,7	3,5	5,2	1,7
Šikmý dóm	5,1	4,3	5,5	1,2
Rázcestie	3,6	1,2	5,0	3,8
Dóm objaviteľov	4,6	2,8	5,5	2,7
Vysoký dóm	5,7	4,7	6,3	1,6
Dlhá chodba	5,9	5,2	6,4	1,2
Palmová sieň	6,0	5,5	6,5	1,0
Zbojnická komora	6,1	5,7	6,6	0,9
Dóm SNP	6,4	5,8	6,5	0,7
Vodopádový dóm	6,4	6,0	6,8	0,8
Hudobná sieň	6,1	5,5	6,4	0,9
Rúrovitý dóm	5,6	5,0	6,0	1,0
Biely dóm	5,4	4,8	5,7	0,9
Hlboký dóm	5,0	4,0	5,5	1,5
Dóm trosiek	4,6	2,5	5,3	2,8

prednou časťou jaskyne a teplejšími zadnými úsekmi s relatívne konštantnou mikroklimou. Priemerná teplota vzduchu tu dosahuje 3,6 až 5,7 °C (tab. 2). Uvedené priestory osídľujú rovnaké druhy ako v zóne 1, no celková abundancia netopierov je takmer o tretinu nižšia (obr. 7). V priemere tu hibernuje 30 % spoločenstva netopierov s prevažným zastúpením *M. mystacinus/brandtii* (37 % jaskynnej populácie; 52 % podiel v zóne 2) pred početnosťou *M. myotis* (23 % populácie; 38 % podiel v zóne 2), bežná je tu aj prítomnosť druhov *E. nilssonii* (54 % všetkých nálezov druhu) a *P. auritus* (50 % nálezov).

**Zóna 3.** Minimálny počet netopierov, celkovo iba 4 % jaskynného spoločenstva, sa zdržiava na výstupnom úseku prehliadkovej trasy od Vysokého domu cez Dlhú chodbu a Palmovú sieň po Zbojnickú komoru (Britzova sieň). Takmer výlučne tu nachádzame jedince *M. myotis* (5 % jaskynnej populácie; 66 % podiel v zóne 3) a *M. mystacinus/brandtii* (3 % jaskynnej populácie; 32 % podiel v zóne 3), no ich priemerná početnosť je veľmi nízka (obr. 7). Jedinec podkovára malého, ktorého sme v jaskyni pozorovali koncom roku 2007, zimoval v Dlhej chodbe. Charakteristický je sporadický výskyt až absencia večernice severskej, uchádza svetlého a netopiera riasnatého. Uvedené podzemné priestory sa vyznačujú konštantnou speleoklimou s teplotou vzduchu okolo 6,0 °C, sezónnymi výkyvmi teploty < 1 °C a minimálnym prúdením vzduchu (Zelinka, 1998; tab. 2). Potenciálne vhodnejší priestor pre výskyt netopierov v tejto časti jaskyne môže predstavovať neprístupná sekcia od Zrúteného domu cez Balvanitú chodbu po Stĺpový dóm (obr. 6), ktorá sa nachádzala mimo štandardnej trasy sčítania.



Obr. 4. Jarná agregácia netopiera veľkého (*Myotis myotis*) v Belianskej jaskyni. Foto: Z. Višňovská  
 Fig. 4. A spring aggregation of Greater mouse-eared bat (*Myotis myotis*) in the Belianska Cave. Photo: Z. Višňovská

Pri jedinej kontrole vo februári 2008 sme v Zrútenom dóme zaznamenali 3 ex. *M. myotis* a 4 ex. *M. mystacinus/brandtii*.

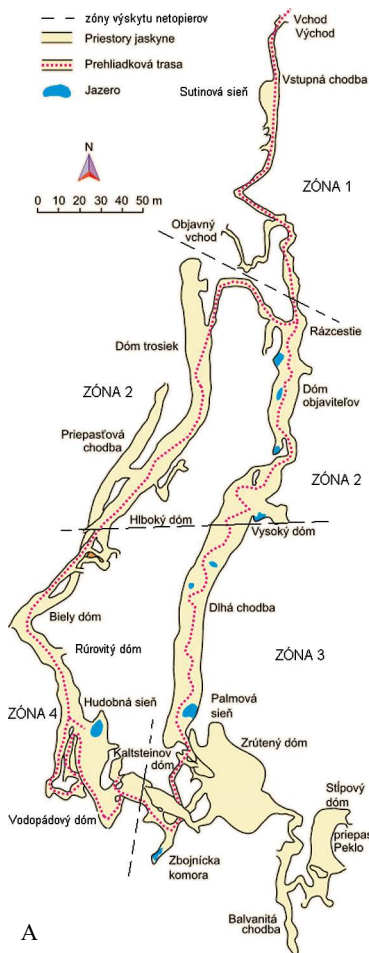
**Zóna 4.** Zostupný úsek, ktorý zahŕňa Dóm Slovenského národného povstania (Verbovského sieň) – Vodopádový dóm (Dóm veľkých vodopádov) – Hudobnú sieň – Rúrovitý dóm – Biely dóm – hornú časť Hlbokého dómu (bočný priestor so starým schodiskom), vyhladáva okolo 20 % všetkých netopierov, pričom eudominantným druhom je *M. myotis* (30 % jaskynnej populácie; 81 % podiel v zóne 4). Zriedkavo je zastúpený *M. mystacinus/brandtii* (8 % jaskynnej populácie; 18 % podiel v zóne 4) a podobne ako v zóne 3 sa týmito miestami vyhýbajú druhy *E. nilssonii*, *P. auritus* a *M. nattereri*. Priemerná teplota v smere od nižšie položených po najvyššie položené priestory dosahuje 5,0 – 6,4 °C (tab. 2). Relatívne ustálenou mikroklimou je tento úsek podobný podmienkam v zóne 3, no vzhľadom na prevahu sieňovitých a dómovitých priestorov poskytujú netopierom širšie možnosti výberu miesta vhodného na hibernáciu.

**Celková distribúcia.** Pravdepodobne najvýznamnejšími faktormi, ktoré vymedzujú početnosť a rozmiestnenie netopierov v jaskyni, sú mikroklimatické pomery zimoviska a morfológický charakter podzemných priestorov vo vzťahu k pre-



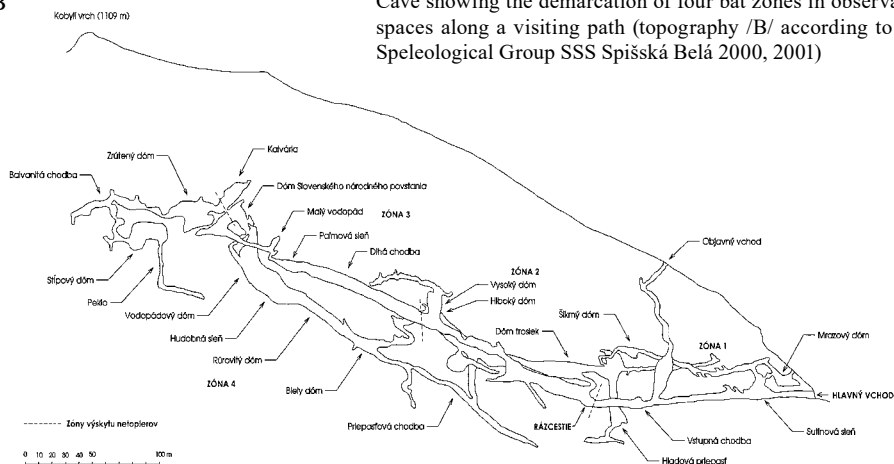
Obr. 5. Ucháč svetlý (*Plecotus auritus*). Foto: Z. Višňovská  
 Fig. 5. Common long-eared bat (*Plecotus auritus*). Photo: Z. Višňovská





A

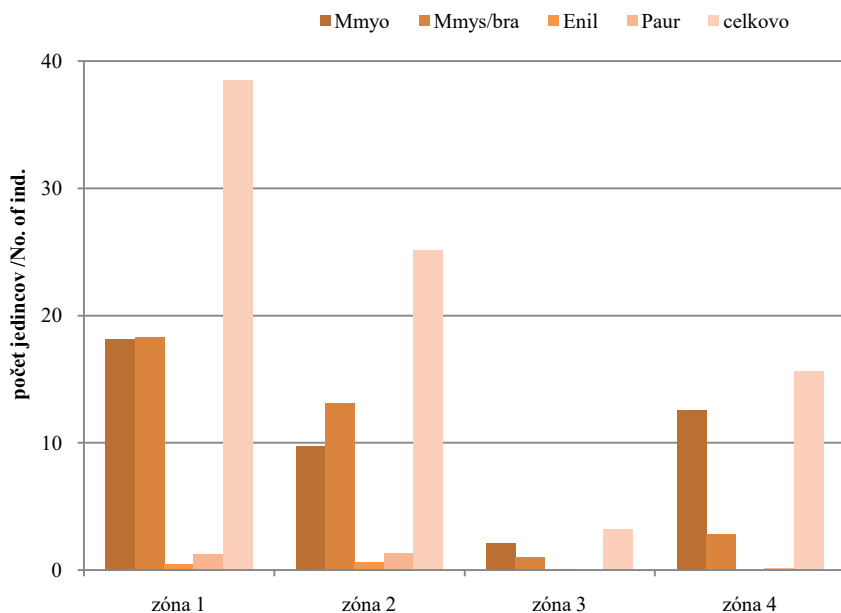
B



hliadkovej trase. Konkrétnymi miestami v jaskyni s najvyššou koncentráciou zimujúcich netopierov sú bočné neprístupné priestory smerom k Objavnému východu a Šikmému dómu (v priemere 38 % spoločenstva netopierov), zo sprístupnených častí je to úsek Vstupná chodba – Rázcestie – Dóm objaviteľov (25 % spoločenstva). Na ostatných úsekoch sú netopiere viac či menej rozptýlené. Čo sa týka priestorovej distribúcie jednotlivých druhov, približne 90 % populácie *M. mystacinus/brandtii* a takmer všetky nálezy druhov *E. nilssonii*, *M. nattereri* a *P. auritus* sa viažu ku chladnejším predným častiam jaskyne (Vstupná chodba, bočná sieň k Objavnému východu) a nižšie položeným výstupným úsekom (Dóm objaviteľov, Dóm trosiek, Hilboký dóm) s priemernou teplotou vzduchu v rozmedzí 2 až 5 °C; do horných zadných partií jaskyne vnikajú len sporadicky. Preferencia, resp. tolerancia nižšej teploty vzduchu počas hibernácie u týchto druhov je pomerne známa (Harmata, 1969; Masing a Lutsar, 2007; Klys a Woloszyn, 2008; Siivonen a Wermundsen, 2008). Ako teplomilnejší sa javí druh *M. myotis*. Hoci sa považuje za druh s pomerne širokou teplotnou preferenciou (Güttinger et al., 2001; Paksuz et al., 2007), na hibernáciu vyhľadáva najmä podzemné priestory s vyššou a stabilnejšou teplotou prostredia (Harmata, 1969; Vachold, 2003; Višňovská et al., 2007). V Belianskej jaskyni nachádza najvhodnejšie podmienky v relatívne teplejších priestoroch nad Vstupnou chodbou (36 % populácie), Dóme ob-

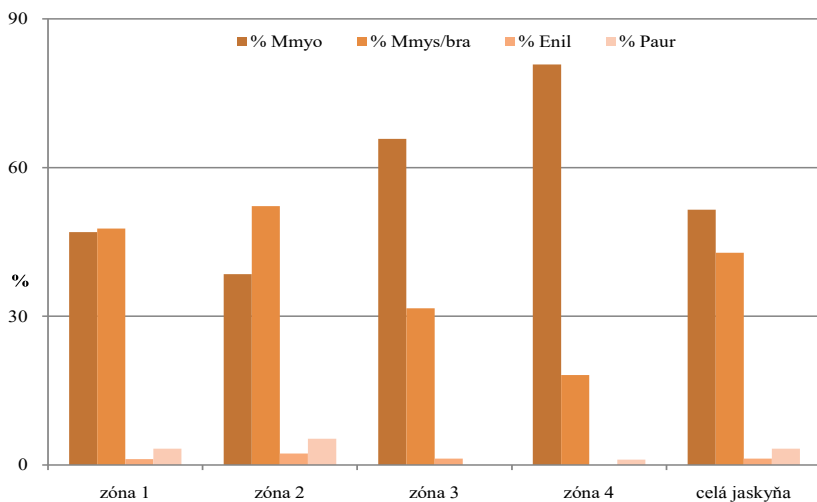
Obr. 6. Mapa (A) a pozdĺžny rez (B) Belianskej jaskyne s ohraničením štyroch zón výskytu netopierov na sledovaných úsekoch pozdĺž prehliadkovej trasy (topografický podklad (B): jaskyniarska skupina SSS Spišská Belá 2000, 2001)

Fig. 6. The map (A) and longitudinal section (B) of the Belianska Cave showing the demarcation of four bat zones in observed spaces along a visiting path (topography /B/ according to the Speleological Group SSS Spišská Belá 2000, 2001)



Obr. 7. Priemerná abundancia vybraných druhov a celého spoločenstva netopierov v jednotlivých zónach jaskyne, pripadajúca na 1 kontrolu. Poznámka: Priemer z 24 kontrol za obdobie 2001 – 2008)

Fig. 7. Average abundance of selected species and a bat community per one visual control in different zones of the cave. Note: Mean values of 24 controls in 2001 – 2008



Obr. 8. Dominancia (%) vybraných druhov netopierov v jednotlivých zónach jaskyne a v celej jaskyni. Poznámka: Priemer z 24 kontrol za obdobie 2001 – 2008

Fig. 8. Dominance (%) of selected bat species in the different zones of the cave and in the whole cave. Note: Mean values of 24 controls in 2001 – 2008

javitelov (15 % populácie) a na úseku od Vodopádového domu cez Rúrovitý dóm po Hlboký dóm (30 % populácie), v ktorých teplota vzduchu dosahuje v priemere 3,5 až 6,5 °C. Pravdepodobne z antropogénnych príčin sa všetky druhy netopierov vyhýbajú hornému úseku od Dlhej chodby po Zbojnícku komoru (zóna 3). Vzhľadom na charakter priestorov s prevahou úzkych chodieb a nízkych siení s minimálnym prúdením vzduchu vplyv návštevnosti (riziko

priameho kontaktu, bezprostrednosť rušivých vplyvov, vyššia koncentrácia CO<sub>2</sub> ?) je tu zo všetkých sledovaných úsekov jaskyne potenciálne najvyšší. Vo všeobecnosti možno konštatovať, že lokálne podmienky v zónach 1 a 2 vyhovujú širšiemu spektru druhov ako v zónach 3 a 4.

#### 4.5. VPLYV ANTROPOGÉNNYCH FAKTOROV NA VÝSKYT NETOPIEROV

Od roku 1882, kedy došlo k prvotnému sprístupneniu cez pôvodný Objavný vchod, bola jaskyňa vystavená mnohým antropogénnym zásahom do vnútorného prostredia. Koncom roku 1882 bol umelo prerazený dolný vchod (terajší hlavný vchod) a niekoľkými ďalšími prerážkami vnútri jaskyne sa v roku 1885 prehladková trasa v smere od Rázcestia zokruhovala. Z uvedeného obdobia udáva Fruwirth (1884) vnútornú teplotu jaskyne v rozpätí 6,2 – 9,0 °C; vzápätí podotýka, že prerazením dolného otvoru sa pôvodné vyrovnané teplotné pomery v jaskyni narušili. Ešte do konca 19. storočia jaskyňu vybavili elektrickým osvetlením (Lalkovič, 2002). V rokoch 1934 – 1935 sa uskutočnili pokusy o trvalé zafadnenie vstupných priestorov jaskyne, od ktorých sa neskôr upustilo z dôvodu poškodenia kvapľovej výzdoby (Zelinka, 1997, 2001). Rozsiahle rekonštrukčné práce v 50. rokoch 20. storočia mohli ovplyvniť, a tým skresliť reálny stav výskytu chiropterofauny v jaskyni počas výskumu Vacholda (1956, 2003). Z tohto obdobia sa teplota vzduchu v jaskyni udáva v rozmedzí 4,2 – 5,8 °C (Droppa, 1959). Zmenený charakter a mikroklima vnútorného prostredia i samotné sprístupnenie jaskyne mohli vyvolať zásadnejšie zmeny vo výskyte chiropterofauny. Existujú indície, že v minulosti netopiere využívali jaskyňu nielen v zimnom období, ale aj ako letný úkryt. Dôkazmi môžu byť zmienky Fruwirtha (1884) o veľmi častom výskyte netopierov v Belianskej jaskyni, pričom sa vyjadruje o letnom období (august 1883), a stopy po guáne netopierov v chodbe medzi Sutinovou sieňou a Šikmým dómom vo vstupnej časti jaskyne (Pavlarčík a Plučinský, 2002). V Sutinovej sieni sme našli aj väčšie množstvo kostrových zvyškov patriacich druhu *Myotis myotis*. Zloženie chiropterofauny v jaskynnej tanatocenóze skúmal Horáček (1976). Študovaný materiál tvorili recentné a subrecentné kostrové pozostatky 376 netopierov, medzi ktorými boli identifikované jednak druhy, ktoré sa vyskytujú v jaskyni aj v súčasnosti (*P. auritus* 147, *M. myotis* 99, *M. nattereri* 36, *M. brandtii* 10, *M. mystacinus* 9), ale aj druhy, ktoré vizuálnou metódou dosiaľ neboli zaznamenané (*M. bechsteini* 68, *M. dasycneme* 5, *M. daubentonii* 2). Kvalitatívne a kvantitatívne zastúpenie netopierov v tanatocenóze celkom nezodpovedá výsledkom zimných sčítaní ani poznatkom o letnom výskyte netopierov z oblasti Tatier (Pjenčák et al., 2003), čo môže dokumentovať rozdielny charakter ekologických faktorov (napr. klima, prostredie, potrava, vplyv antropogénnej činnosti), podmieňujúcich výskyt jednotlivých druhov v tejto oblasti i samotnej jaskyni v dávnejšej minulosti v porovnaní s terajším stavom.



Obr. 9. Zamaskovaný uzáver Objavného vchodu s vletovým otvorom pre netopiere. Foto: Z. Višňovská  
Fig. 9. Masked closing in the upper opening with outlet for bats. Photo: Z. Višňovská

V súčasnosti patrí Belianska jaskyňa medzi najviac navštevované sprístupnené jaskyne na Slovensku (Gall a Nudzíková, 2006). Napriek tomu, že je hojne navštevovaná aj počas zimnej sezóny, výrazný negatívny vplyv návštevnosti na výskyt netopierov zatiaľ nebol preukázaný. Naopak, ich celková početnosť je z dlhodobého hľadiska relatívne stabilná, v sezóne 2007/08 dokonca výrazne stúpila. Je preto dôležité aj naďalej dbať na zachovanie prijateľných podmienok v zimnom období, ktoré nebudú mať nadmerný rušivý vplyv na hibernujúce netopiere, ako napr. obmedzenie

rozsiahlejších rekonštrukčných prác, používania prchavých chemických látok a organizovania hudobných podujatí v období hibernácie, a v neposlednom rade zabezpečiť pravidelnú kontrolu priechodnosti vletových otvorov do jaskyne. Osadenie nových uzáverov v otvore tesne nad hlavným vchodom v roku 2000 (Zelinka, 2001) a v hornom Objavnom vchode v roku 2003 (Iždinský a Staník, 2004) sa neprejavilo negatívne na druhovej skladbe ani početnosti miestnej chiropterocenózy, čo znamená, že nové vletové otvory im vyhovujú (obr. 9).

## 5. ZÁVER

Belianska jaskyňa popri Alabastrovej jaskyni (Pjenčák et al., 2003) predstavuje najpočetnejšie známe zimovisko netopierov v Belianskych Tatrách. Od roku 1955 sa v Belianskej jaskyni vizuálnou metódou potvrdilo celkovo 9 druhov netopierov, v rokoch 2001 – 2008 to bolo 6 (7) druhov (tab. 1). Eudominantnými zložkami spoločenstva sú *Myotis myotis* (sezónne maximá 46 – 81 ex.) a *Myotis mystacinus/brandtii* (10 – 81 ex.). Pravidelne, no v malom počte tu zimujú *Plecotus auritus* (2 – 8 ex.) a *Eptesicus nilssonii* (1 – 4 ex.). K zriedkavým hibernantom patria *Myotis nattereri* (1 – 3 ex.) a *Rhinolophus hipposideros* (1 – 2 ex.). Výskyt druhu *Myotis blythii* na tejto lokalite bol potvrdený iba v roku 1964 (Gaisler a Hanák, 1972, 1973) a v súčasnosti sa nepredpokladá. Jediný údaj o výskyte *Myotis emarginatus* z roku 1995 treba nateraz považovať za otáznny. Analýzou kostrových zvyškov z jaskynnej tanatocenózy boli doložené druhy *Myotis bechsteinii*, *Myotis dasycneme* a *Myotis daubentonii* (Horáček, 1976).

Z ekologického hľadiska možno konštatovať, že druhovú skladbu spoločenstva netopierov v Belianskej jaskyni tvoria prevažne chladnomilné lesné formy *Myotis mystacinus*, *M. brandtii*, *M. nattereri*, *Eptesicus nilssonii* a *Plecotus auritus*. Zastúpenie populácií týchto druhov je charakteristické pre chladnejšiu dolnú polovicu jaskyne, t. j. priestory od Vstupnej chodby cez Rázcestie po úroveň Vysokého, resp. Hlbokého dómu, v ktorých priemerná teplota vzduchu spravidla nepresahuje 5,5 °C. Do vyššie položených partií v zadnej časti jaskyne s vyššou a stabilnejšou teplotou prenikajú takmer výlučne druhy, ktoré sa radia medzi teplomilnejšie formy (*Myotis myotis*, *Rhinolophus hipposideros*).

Zintenzívnenie chiropterologického výskumu na sledovanej lokalite v posledných rokoch sa ukázalo ako opodstatnené. Najmä zistenia zo sezón 1994/95 a 2007/08 poukazujú na to, že potenciál jaskyne ako zimoviska netopierov je zrejme oveľa vyšší, ako sa dosiaľ predpokladalo. Ďalšie pozorovania v blízkej budúcnosti preukážu, či v oboch prípadoch išlo o výnimočný nárast počtu netopierov alebo či tieto zmeny majú dlhodobější charakter.

Poďakovanie: Autorka ďakuje F. Bernadovičovi, R. Hlavnovi, ostatným kolegom a dobrovoľníkom, ktorí sa spolupodieľali na monitoringu netopierov, a takisto správcovi J. Bachledovi a pracovníkom Belianskej jaskyne za všestrannú pomoc. Za poskytnutie literárnych údajov z 19. storočia patrí vďaka Ing. Marcelovi Lalkovičovi a za revíziu kostrového materiálu Ing. Jánovi Obuchovi.

## LITERATÚRA

- BELLA, P. 2003. Slovensko – Sprístupnené jaskyne. DTP Grafon, Liptovský Mikuláš, 64 s.
- BELLA, P. 2006. Národná prírodná pamiatka Belianska jaskyňa. Krásy Slovenska, 83, 1–2, 40–41.
- BELLA, P. – PAVLARČÍK, S. 2002. Morfológia a problematika genézy Belianskej jaskyne. In Bella, P. (Ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň, zborník referátov z 3. vedeckej konferencie, Stará Lesná 2001, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 22–35.
- BELLA, P. – HLAVÁČOVÁ, I. – HOLÚBEK, J. 2007. Zoznam jaskýň Slovenskej republiky (stav k 30. 6. 2007). Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Liptovský Mikuláš, 364 s.
- BERNADOVIČ, F. 2000. Netopiere – tajomní obyvatelia jaskýň. Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 120 s.
- BOBÁKOVÁ, L. 2002. Doterajšie poznatky o chiropterofaune Harmaneckej jaskyne. In Bella, P. (Ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň, zborník referátov z 3. vedeckej konferencie, Stará Lesná 2001, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 165–174.
- DROPPA, A. 1959. Belanská jaskyňa a jej kras. Šport, Bratislava, 131 s.

- FRUWIRTH, C. 1884. Eine neue erschlossene Höhle in der Tatra. Mittheilungen der Section für Höhlenkunde des Oesterreichischen Touristen Club, Jahrgang III., Wien, 1, 8–13.
- FUDALY, V. 2002. Speleologický prieskum a dokumentácia Belianskej jaskyne jaskyniarskou skupinou Spišská Belá. In Bella, P. (Ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň, zborník referátov z 3. vedeckej konferencie, Stará Lesná 2001, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 196–199.
- GAISLER, J. – HANÁK, V. 1972. Netopýři podzemních prostorů v Československu. Sborník Západočeského muzea, Plzeň, Přír., 7, 1–46.
- GAISLER, J. – HANÁK, V. 1973. Aperçu de chauves-souris des grottes Slovaques. Slovenský kras, 11, 73–84.
- GALL, T. – NUDZÍKOVÁ, E. 2006. Návštevnosť sprístupnených jaskýň v rokoch 1995 – 2005. Aragonit, 11, 53–57.
- GÜTTINGER, R. – ZAHN, A. – KRAPP, F. – SCHOBER, W. 2001. *Myotis myotis* – Grosses Mausohr. In Krapp, F. – Niethammer J. (Eds.): Handbuch der Säugetiere Europas, Band 4. Fledertiere. Teil I: Chiroptera I., Aula Verlag Wiebelsheim, 123–207.
- HARMATA, W. 1969. The thermopreferendum of some species of bats (Chiroptera). Acta Theriologica, 14, 5, 49–62.
- HOHOLÍKOVÁ, T. 2005. Vichrica prebudila netopiere. Tatry, 44, 2, 12–14.
- HORÁČEK, I. 1976. Přehled kvartérních netopýřů (Chiroptera) Československa. Lynx, Praha, 18, 35–58.
- IŽDINSKÝ, L. – STANÍK, P. 2004. Praktická starostlivosť o jaskyne v roku 2003. Aragonit, 9, 44–46.
- KLYS, G. – WOŁOSZYN, B. W. 2005. The influence of weather and interior microclimate on the hibernation of common long-eared bats (*Plecotus auritus*). Nature Journal, Opole Scientific Society, 38, 57–68.
- KROUPOVÁ, V. 1980. Topografické podklady Databanky fauny Slovenska. Správy Slovenskej zoologickej spoločnosti pri SAV, Bratislava, 7, 23–27.
- LALKOVIČ, M. 2002. Z histórie Belianskej jaskyne. In Bella, P. (Ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň, zborník referátov z 3. vedeckej konferencie, Stará Lesná 2001, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 188–195.
- MASING, M. – LUTSAR, L. 2007. Hibernation temperatures in seven species of sedentary bats (Chiroptera) in Northeastern Europe. Acta Zoologica Lituanica, 17, 1, 47–55.
- NOWAK, J. 2001. Nocek orzesiony *Myotis emarginatus* (Geoffroy, 1806), nowy gatunek dla fauny Tatr. Studia Chiropterologica, 2, 97–99.
- OBUCH, J. 1994. Types of the bat assemblages (Chiroptera) recorded in Slovakia. Folia Zoologica, 43, 4, 393–410.
- PAKSUZ, S. – ÖZKAN, B. – POSTAWA, T. 2007. Seasonal changes of cave-dwelling bat fauna and their relationship with microclimate in Dupnisa Cave System (Turkish Thrace). Acta Zoologica Cracoviensia, 50, 1–2, 57–66.
- PAVLARČÍK, S. – PLUČINSKÝ, E. 2002. Dokumentácia jaskynných priestorov nad Vstupnou chodbou v Belianskej jaskyni. Aragonit, 7, 15–19.
- PIKSA, K., 1998. The chiropterofauna of the Polish Tatra Mts. Vespertilio, 3, 93–100.
- PJENČÁK, P. – DANKO, Š. 2002. Zimný výskyt netopierov v Belianskej jaskyni. Vespertilio, 6, 8.
- PJENČÁK, P. – DANKO, Š. – MATIS, Š. 2003. Netopiere Tatranského národného parku a širšieho okolia. Vespertilio, 7, 139–160.
- SHIVONEN, Y. – WERMUNDSEN, T. 2008. Characteristics of winter roosts of bat species in southern Finland. Mammalia, 72, 1, 50–56.
- SSJ, 1994. Záznamová kniha o chiropterofaune Belianskej jaskyne – zavedená v roku 1994. Manuscript, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš.
- TULIS, J. 2001. Netopiere v Stratenskej jaskyni. Spravodaj SSS, 32, 1, 44.
- VACHOLD, J. 1956. Kotázke výskytu a rozšírenia netopierov (Chiroptera) na Slovensku. Biologické práce, 2, 1–68.
- VACHOLD, J. 2003. Výskyt a rozšírenie netopierov na Slovensku s ekologickými dodatkami. Vespertilio, 7, 185–233.
- VIŠŇOVSKÁ, Z. 2007. Jaskyne Demänovskej doliny – významné zimoviská netopierov. Aragonit, 12, 54–61.
- VIŠŇOVSKÁ, Z. – ZELINKA, J. – STRUG, K. 2007. Spatial distribution of hibernating bats (Chiroptera) in relation to climatic conditions in the Demänovská Ice Cave (Slovakia). In Zelinka, J. (Ed.): Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Ice Caves (IWIC-II), Demänovská dolina – Slovak Republic 2006, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 87–97.
- ZELINKA, J. 1997. Dôsledky mrazového zvetrávania Belianskej jaskyne. Slovenský kras, 35, 141–146.
- ZELINKA, J. 1998. Charakteristika speleo-aerosólu Belianskej a Bystrianskej jaskyne. Aragonit, 3, 14–15.
- ZELINKA, J. 2001. Nový uzáver horného vchodu do Belianskej jaskyne. Aragonit, 6, 32–33.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	409 – 418	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## MIKROSKOPICKÉ HOUBY V JESKYNÍCH ČESKÉ REPUBLIKY A SLOVENSKA

ALENA NOVÁKOVÁ

Ústav půdní biologie, Biologické centrum AV ČR, v.v.i., Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice, Česká republika; alena@upb.cas.cz

### A. Nováková: Microscopic fungi in caves of Czech and Slovak Republics

**Abstract:** Saprotrophic micromycetes were studied in indoor and outdoor air and from cadavers and invertebrate and vertebrate excrements in several caves of NP Slovak Karst and from the Czech Republic. Airborne micromycetes in show caves did not differ from non public caves. Higher numbers of fungal spore but very low number of isolated microfungi were recorded in outdoor air in comparison with cave air. Microfungi from bat guano heap in Palmový háj dome (Domica Cave) were isolated from five samples of various age using two isolation methods – dilution method and washing technique (i.e., for isolation of micromycetes from active mycelium). *Penicillium vulpinum*, *Penicillium* cf. *glandicola* and *Mucor* spp. were recorded as mainly occurring fungi on marten excrements in (Domica, Gombasecká and Jasovská caves, Šingliarova Abyss, Silická Ice Cave) and *Mortierella* spp. was found on vertebrate cadavers (Domica and Gombasecká caves).

**Key words:** saprotrophic microscopic fungi, bat guano, indoor and outdoor air, invertebrate and vertebrate excrements

### ÚVOD

Mikroskopické houby se vyskytují v jeskyních v celé řadě substrátů – v jeskynním sedimentu, v jílovitých obrazcích na stěnách jeskyní (vermikulace), v ovzduší, ale i na veškeré organické hmotě, která se v jeskyních vyskytuje – tj. na zbytcích rostlinného materiálu, který se dostal do jeskyní splachem z povrchu, a na exkrementech a mrtvolách jeskynních živočichů. Výsledky studia saprotrofních mikromycetů v jeskyních České republiky uvádějí např. Marvanová et al. (1992), Bosák a Vašátko (2001) a Nováková (2006b); studiem mikromycetů ve slovenských jeskyních se zabývali Elhottová et al. (2003), Nováková (2004, 2005, 2006a, 2007), Nováková et al. (2005).

### CHARAKTERISTIKA STUDOVANÝCH JESKYNÍ

Charakteristika většiny sledovaných jeskyní NP Slovenský kras a Dobšinské ledové jeskyně je uvedena v předchozí práci (Nováková, 2006a). Jasovská jeskyně, Šingliarova propast a Hrušovská jeskyně se nacházejí také na území NP Slovenský kras. Jasovská jeskyně v Medzevské pahorkatině nedaleko východního okraje Jasovské planiny je tvořena ve středně triasových dolomitech a ve světlých gutensteinských vápencích a dolomitech. Celková délka jeskyně je 2811 m s vertikálním rozpětím 55 m (Jakál, 2005). Šingliarova propast v severní části Plešivecké planiny v severovýchodním svahu Gerlašské skály má bohatou výzdobu a je hluboká 72 m (Anonymus, 2002 – 2007; Stankovič a Horváth, 2004). Hrušovská jeskyně se nachází na východním území Silické planiny nedaleko obce Hrušov (Jakál, 2005). Vývěrovou jeskyni vytvořil podzemní tok ve wettersteinských vápencích ve třech úrovních, její délka je 780 m.



Na území České republiky byly uskutečněny odběry v Koněpruských jeskyních (Český kras), Javoříčských jeskyních (Javoříčský kras), v Punkevní, Amatérské jeskyni, jeskyni Býčí skála (Moravský kras), v Králově jeskyni a Jeskyni pod Křížem (Tišnovský kras), v Jeskyni na Špičáku (kras v oblasti Supíkovic) a v Jeskyni na Turoldu (Jihomoravský kras) (Hromas a Bílková, 1998; Bílková, 2007). Přehled a charakteristiku studovaných jeskyní uvádí tab. 1.

Tab. 1. Charakteristika studovaných jeskyní České republiky  
Table 1. Characteristic of studied caves of the Czech Republic

Jeskyně		Turisticky zpřístupněné	Přítomnost netopýrů	Guánové depozity
Punkevní jeskyně	výtokové jeskyně podzemní říčky Punkvy	ano	?	ne
Sloupsko-šošůvské jeskyně	systém horizontálních chodeb, síní a domů vyvinutých ve dvou hlavních úrovních, navzájem spojených až 100 m hlubokými podzemními propastmi	ano	ano	ne
Jeskyně na Špičáku	výrazné chodby srdcového profilu v devonských mramorech	ano	zimoviště	ne
Jeskyně na Turoldu	v ernstbrunnských vápencích jurského stáří, v přírodní rezervaci vrchu Turolď	ano	zimoviště vzácných chráněných netopýrů	ne
Javoříčské jeskyně	v devonských vápencích, na jejich vývoji se podílel potok Špraněk	ano	letní kolonie	ano
Amatérská jeskyně	nejrozsáhlejší jeskynní systém ČR, podzemní tok Punkvy, Sloupského potoka a Bílé vody	ne	ne	ne
Býčí skála	geologicky starší výtoková jeskyně Jedovnického potoka	ne	ano	ne
Koněpruské jeskyně	v centrální části Barrandienu na návrší Zlatého Koně	ano	?	ne
Chýnovské jeskyně	v Pacovské hoře, vytvářena rozšiřováním puklin koroze a výmolnou činností vod, mramory střídány amfibolity	ano	zimoviště	ne
Králova jeskyně Jeskyně pod Křížem	na severovýchodním svahu Květnice, svrchnědevonské vápence	ne	ano	ne

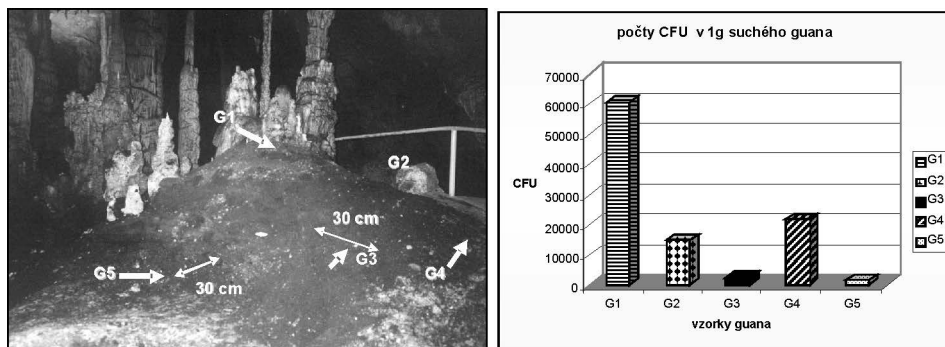
## MATERIÁL A METODY

Mikroskopické houby byly izolovány z odebraných vzorků jeskynního sedimentu, netopýřích dropinek a guána, exkrementů bezobratlých živočichů (stejnonožci, mnohonožky, žížaly) a obratlovců (kuna, plch), z vermikulací na stěnách jeskyní a z nalezených mrtvých těl nebo koster netopýrů, žab a plchů. Vzorky byly odebírány do sterilních mikrotenových sáčků, lahvíček nebo mikrozkmavek. Pro izolaci mikroskopických hub byly používány přímá izolace přenesením malého množství odebraného substrátu na izolační médium a zředovací metoda. Sabouraudův agar, sladivový agar a Martinův agar s půdním extraktem – všechny

s přidavkem bengálské červeně, streptomycinu a chloramfenikolu pro potlačení růstu bakterií – byly používány jako izolační média (Fassatiová, 1979; Garrett, 1981). Kultivace probíhala ve tmě při teplotě 25 °C. Pro izolaci mikromycetů z venkovního a jeskynního ovzduší byla použita sedimentační metoda izolace (Buttner a Stetzenbach, 1991).

Z kupy netopýřího guána v Palmovém háji (jeskyně Domica) bylo v květnu 2007 odebráno pět vzorků z různých míst z povrchu a z vnitřku guánové kupy (viz obr. 1). Odebrané vzorky byly použity pro izolaci mikroskopických hub pomocí zředovací metody a promývací techniky (Kreisel a Schauer, 1987).

Přímou metodou izolace (přenesením malé části narostlé kolonie nebo odebíraného vzorku na izolační médium na Petriho misce) a pomocí zředovací metody (Kreisel a Schauer, 1987) byly izolovány mikroskopické houby z exkrementů bezobratlých (živočichů stejnonožci, žížaly, mnohonožky) a obratlovců (plch, kuna) a z nalezených mrtvých těl netopýřů, žab a plchů.



Obr. 1. Vlevo: odběrová místa – guánová kupa v Palmovém háji (Domica), vpravo: počty CFU v 1 g suchého guána (zředovací metoda izolace)

Fig. 1. Sampling sites in bat guano heap – Palmový háj dome, Domica Cave (left), CFU numbers per 1 g of dry guano (right, dilution isolation method)

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Získané hodnoty kvantitativního zastoupení mikromycetů v ovzduší sledovaných jeskyní (včetně údajů o zastoupení mikromycetů ve vnějším ovzduší u slovenských jeskyní) uvádějí tabulky č. 2, 3, 4 a 5. Nejdéle byly studovány mikromycety v ovzduší v jeskyni Domica (včetně Dlouhé chodby a Čertovy diery) a v Ardovské jeskyni, ale ani pravidelné sledování od roku 2003 neukázalo žádné výrazné ovlivnění početnosti mikromycetů v ovzduší jeskyní způsobené vyšší návštěvností v některých prostorách jeskyní ve srovnání s ostatními, méně frekventovanými prostorami nebo s turisticky nepřístupnými jeskyněmi. Naopak v některých prostorách, které jsou vzdáleny relativně daleko od vchodu do jeskyně a nejsou součástí pravidelných turistických tras (např. Zrkadlová a Velká sieň v Krásnohorské jeskyni, Biela sieň v Dobšinské ledové jeskyni), byly zaznamenány poměrně vysoké hodnoty počtu spor v ovzduší. Zjištěné hodnoty počtu spor v některých prostorách jeskyní překračují přípustnou hranici výskytu spor v ovzduší budov (podle platné normy je povolená hodnota do 500 spor v m<sup>3</sup> v vzduchu – E. Piecková, ústní sdělení). Ve venkovním ovzduší byly podle předpokladu zjištěny vyšší počty spor v m<sup>3</sup> vzduchu a současně nižší diverzita hub než v ovzduší jeskyní – např. v jeskyni Domica bylo od roku 2003 zaznamenáno v ovzduší 76 taxonů, zatímco z venkovního ovzduší jen 10 taxonů.

Tab. 2. Počet spor v ovzduší – jeskyně Domica a Ardovská jeskyně  
 Table 2. Spore numbers in air – Domica and Ardovská caves

Počet spor v m <sup>3</sup> vzduchu		I. 03	II. 03	I. 04	II. 04	I. 05	II. 05	I. 06	II. 06	I. 07
<b>Domica</b>	venkovní ovzduší	–	–	–	1484,1	7,3	202,4	21,4	880,2	213,7
	vchod	189,5	227,3	16,8	70,2	4,5	41,6	7	14,8	35,1
	Dóm indických pagod	161,4	29,1	17,3	84,2	7,76	10,9	3,6	4,6	28,1
	Palmový háj	26,0	21,9	13,6	504,5	6,26	144,6	3,9	3,8	38,5
	Rímske kúpele	–	–	19,2	122,7	5,3	17,1	25,1	46,1	50,9
	Panenská chodba	–	–	3,2	123,4	3,1	31,9	2,4	28,9	25,7
<b>Domica Čertova díera</b>	venkovní ovzduší	–	–	–	2683,3	1020,2	770,3	203,9	1449,6	1090,8
	Vstupná sieň	–	–	–	1064,9	1583,4	757,9	1536,2	1255,0	716,8
	Veľká sieň netopierov nahore	–	–	296,0	638,3	144,5	275,58	614,5	296,7	380,1
	Veľká sieň netopierov dole	326,2	710,5	748,4	3100,3	232,3	120,8	592,6	566,1	462,9
<b>Domica Dlhá chodba</b>	venkovní ovzduší	–	–	–	–	46,3	908,4	949,1	888,3	1555,3
	za stavidlem	–	120,6	–	58,2	25,5	22,6	62,5	53,5	35,8
	u mříže	–	–	–	691,5	301,4	17,2	210,2	71,5	200,8
<b>Ardovská jaskyňa</b>	venkovní ovzduší	–	–	–	1550,2	97,6	198,5	654,6	329,8	846,6
	Vstupná chodba	328,3	63,2	342,8	560,8	36,9	60,3	117,8	46,9	202,5
	Hlavná chodba	526,1	105,3	139,0	611,5	31,1	104,2	157,8	52	172,4
	Zrútený dóm	1310,4	–	1474,4	358,6	72,8	546,3	196,6	670,8	1115,6
	Erdősov dóm	–	–	–	–	–	–	–	–	126,3
	Spojovacia chodba	–	–	–	–	–	–	–	–	2477,4

Při izolaci z guánové kupy v Palmovém háji (jeskyně Domica) byly vzorky odebrány ze 3 povrchových míst a dále z centra kupy a z její báze. Vzhledem k tomu, že v předchozích odběrech byly vzorky guána odebrány pouze z povrchových partií – čerstvé dropinky, porostlé houbami a starší amorfni hmota, tentokrát bylo studium zaměřeno na výskyt (životaschopných) mikromycetů i z hloubky guánové kupy a porovnání, které druhy mikromycetů se vyskytují převážně jako spory a které jsou v aktivní fázi růstu. Proto byly

Tab. 3. Počet spor v ovzduší – Dobšinská ledová, Krásnohorská a Jasovská jeskyně  
 Table 3. Spore numbers in air – Dobšinská Ice Cave, Krásnohorská Cave and Jasovská Cave

Počet spor v m <sup>3</sup> vzduchu		I. 04	II. 04	I. 05	II. 05	06	II. 06	07
<b>Dobšinská ľadová jaskyňa</b>	venkovní ovzduší	–	197,4	80,1	–	–	–	–
	Veľká sieň	408,5	32,1	24,8	–	–	–	–
	Zrútený dóm	47,4	19,2	6,4	–	–	–	–
	Ruffinyho koridor	–	110,6	58,1	–	–	–	–
	Prízemie	–	473,7	96,7	–	–	–	–
	Kvapľová sieň	–	63,2	21,7	–	–	–	–
	Biela sieň	–	–	650,5	–	–	–	–
<b>Krásnohorská jaskyňa</b>	venkovní ovzduší	–	–	231,0	–	784,4	479,5	–
	Vstupná chodba	–	–	–	–	19,1	7,3	–
	Puklinová chodba	–	–	67,3	–	87,7	67,5	–
	Veľký kaňon – vrch	–	–	791,3	–	48,2	25,1	–
	Veľký kaňon vzadu	–	–	–	–	25,6	61,7	–
	Abonyiho dóm	–	–	–	–	86,1	32,7	–
	Sieň obrov	–	–	288,1	–	719,4	304,3	–
	Veľká sieň	–	–	1828,3	–	194,9	90,2	–
	Zrkadľová sieň	–	–	–	–	877,5	504,9	–
<b>Jasovská jaskyňa</b>	venkovní ovzduší	–	–	–	–	10,1	498,4	–
	Vstupná chodba	–	–	–	–	13,9	21,1	–
	sál pro speleoterapii	–	–	–	–	11,2	12,8	–
	Starý dóm	–	–	–	–	5,0	58,6	–
	boční chodba	–	–	–	–	69,8	99,3	–
	Veľký dóm	–	–	–	–	11,2	21,9	–
	Jedáleň	–	–	–	–	60,1	34,9	–
	Husitská sieň	–	–	–	–	61,1	531,4	–
	Guánová sieň	–	–	–	–	352,0	1757,1	–

používány dvě izolační metody – zředovací, pomocí které jsou mikromycety izolovány převážně ze spor, a promývací metoda, při které jsou spory hub ze vzorku odstraněny a izolace probíhá z přítomného mycelia. Výsledky uvádí obr. 1 a 2 – a je možné konstatovat, že např. ze vzorku G5 (na bázi kupy v centru, nejstarší guáno) bylo pomocí promývací metody izolace (tzn. z přítomného mycelia) izolováno mnohem více mikromycetů než pomocí klasické zředovací metody.

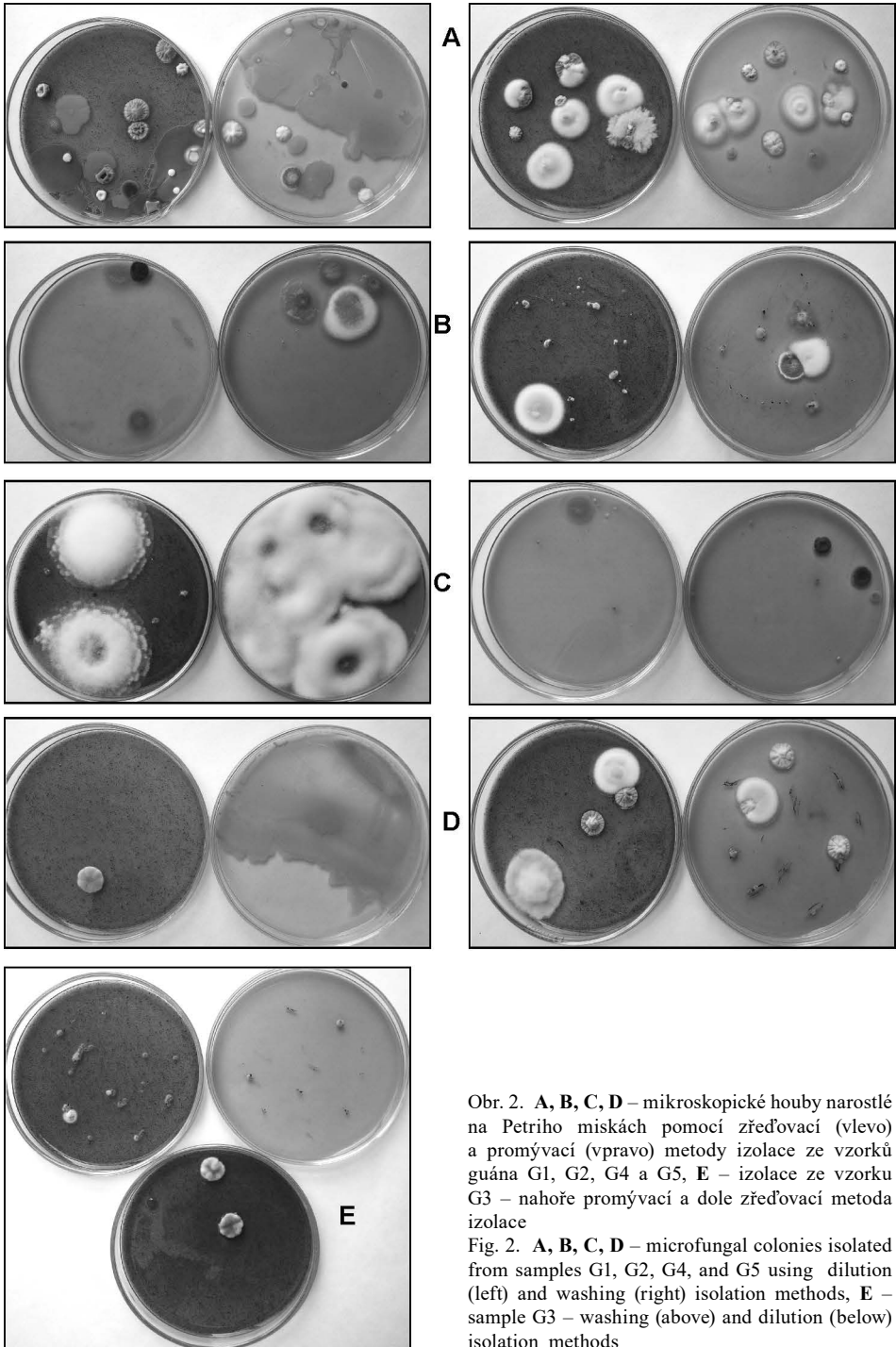
Tab. 4. Počet spor v ovzduší – Gombasecká jeskyně, Silická lednice, Šingliarova propast, a Hrušovská jeskyně

Table 4. Spore numbers in air – Gombasecká Cave, Silická Ice Cave, Šingliarova Abyss and Hrušovská Cave

Počet spor v m <sup>3</sup> vzduchu		I. 05	II. 05	I. 06	II. 06	I. 07
<b>Gombasecká jaskyňa</b>	venkovní ovzduší	2004,5	–	1208,3	659,5	134,5
	vstupní chodba	0	–	55,1	64,7	53,3
	Herényiho sieň	18,7	–	115,7	37,4	141,4
	Rozložníková sieň	10,3	–	31,6	83,1	75,4
	Mramorová sieň	173,7	–	64,2	236,8	88,8
	Sieň víl			69,2	132,3	198,6
	Blatistá chodba – Občasný sifón	–	–	108,4	208,6	195,2
	Blatistá chodba – Sieň brčiek	–	–	–	231,2	115,6
<b>Silická ľadnica</b>	venkovní ovzduší	–	–	1840,6	1452,4	657,8
	mústek	–	–	961,4	947,3	411,1
	pod skalním portálem	–	–	118,6	919,5	138
	pod skalním portálem – u veľkého krápníku	–	–	1474,1	694,7	163,3
<b>Šingliarova priepať</b>	venkovní ovzduší	–	–	–	–	509,0
	1. dóm	–	–	–		3789,3
	2. dóm	–	–	–	–	970,5
	3. dóm	–	–	–	–	3133,5
<b>Hrušovská jaskyňa</b>	venkovní ovzduší	–	–	–	–	707,2
	Sieň objavenia	–	–	–	–	269,3
	chodba – 2. stacionář	–	–	–	–	462,6
	Dóm SSS	–	–	–	–	322,4

Tab. 5. Počet spor v ovzduší jeskyní České republiky  
Table 5. Spore numbers in cave air-caves of the Czech republic

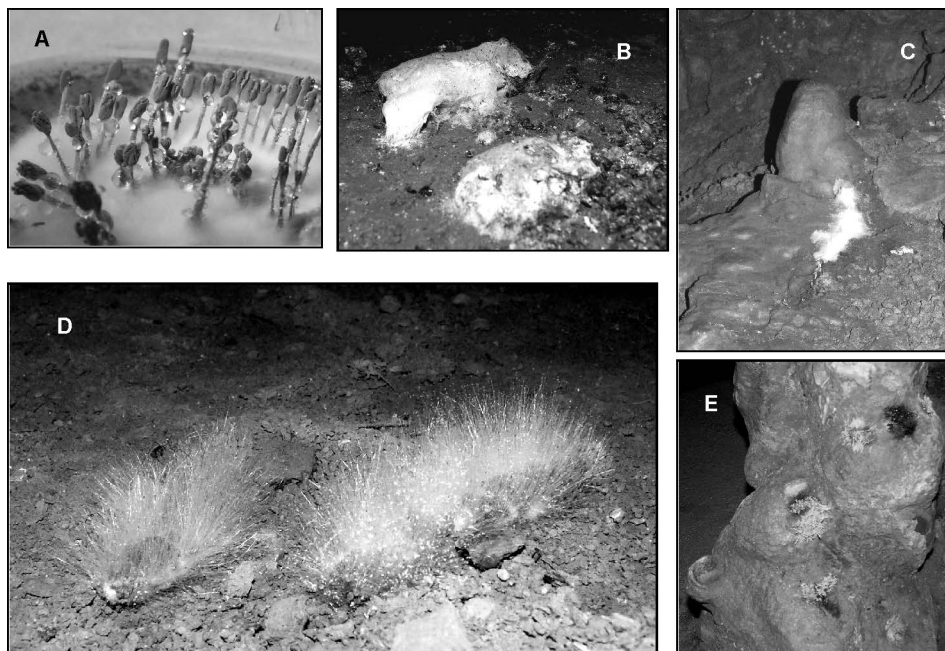
Počet spor v m <sup>3</sup> vzduchu		2005	2007
<b>Jeskyně na Špičáku</b>	Síň nadějí	876,3	–
<b>Jeskyně na Turoldu</b>	Balvanitý dóm	350,9	–
	Pohádková síň	327,6	–
	Chodba k Jezernímu dómu	3394,6	–
<b>Javoříčské jeskyně</b>	Chodba před východem	207,6	–
	Dóm gigantů	156,3	–
<b>Amatérská jeskyně</b>	Javorová chodba	7,3	10,1
	Absolonův dóm	12,7	3,0
	Honzíkovo království	–	4,3
	Dóm Pestré Jily	–	0,7
	Dóm Roztoka	7,8	0,8
	Dóm u Bílé Kašny	214,9	8,4
	Písečný dóm	–	4,2
	Rozlehlá chodba	–	4,1
	Chodba Samoty	–	6,3
<b>Punkevní jeskyně</b>	Přední dóm	–	36,4
	Zadní dóm	–	9,7
	U Anděla	–	660,3
	Macocha	–	369,9
	Macocha dno	–	484,9
<b>Sloupsko-šošůvské jeskyně</b>	Vchod	5,4	–
	Sál speleoterapie	182,2	–
	chodba před východem k jeskyni Kůlna	20,8	–
<b>Koněpruské jeskyně</b>	Spallanzaniho jeskyně	498,3	–
	Marešova síň	798,5	–
	Proškův dóm	89,2	–
<b>Králova jeskyně</b>	Dóm u Varhan	–	213,6
	Tišnovský dóm	–	2062,4



Obr. 2. **A, B, C, D** – mikroskopické houby narostlé na Petriho miskách pomocí zředovací (vlevo) a promývací (vpravo) metody izolace ze vzorků guána G1, G2, G4 a G5, **E** – izolace ze vzorku G3 – nahoře promývací a dole zředovací metoda izolace

Fig. 2. **A, B, C, D** – microfungal colonies isolated from samples G1, G2, G4, and G5 using dilution (left) and washing (right) isolation methods, **E** – sample G3 – washing (above) and dilution (below) isolation methods





Obr. 3. **A** – *Penicillium vulpinum*, kolonie na sladivém agaru, **B, C** – kolonie *P. vulpinum* na exkrementech kuny v Šingliarově propasti a v Jasovské jeskyni, **D** – kolonie *Mucor* spp. na kuním exkrementu (Silická lednice), **E** – kolonie *Penicillium* cf. *glandicola* na kuních exkrementech (jeskyně Domica)

Fig. 3. **A** – *Penicillium vulpinum*, colony on BWA, **B, C** – colonies of *P. vulpinum* on marten excrements in Šingliarova Abbyss and Jasovská Cave, **D** – colonies of *Mucor* spp. On marten excrements (Silická Ice Cave), **E** – colony of *Penicillium* cf. *glandicola* on marten excrements (Domica Cave)

Exkrementy a mrtvá těla živočichů představují v jeskyních bohatý zdroj energie pro všechny mikroorganismy včetně mikromycetů. Mikroskopické houby vytvářejí mnohdy na jejich povrchu nápadné kolonie – viz obr. 3. Z exkrementů kuny bylo opakovaně izolováno *Penicillium* cf. *glandicola*, které na exkrementech vytváří modré kolonie s prstovitými synnematy, ale z bílých vatičkovitých porostů bylo několikrát izolováno i *Penicillium vulpinum* (Jasovská jeskyně, Šingliarova propast, Gombasecká jeskyně) a na některých exkrementech byly pozorovány i výrazné kolonie mukorovitých hub. *Mortierella* spp. byla izolována z mrtvých těl netopýrů a plchů (Domica, Gombasecká jeskyně). Exkrementy bezobratlých živočichů (žížaly, stejnonožci) vykazují mnohem bohatší zastoupení mikromycetů ve srovnání s jeskynním sedimentem a mnohdy jsou z tohoto substrátu izolovány velice zajímavé druhy mikromycetů.

Poděkování. Práce byla finančně podpořena Výzkumným záměrem ÚPB BC AV ČR, v.v.i., (No. AV0Z60660521). Autoři děkují pracovníkům Laboratoře elektronové mikroskopie PaÚ BC AV ČR, v.v.i. za přípravu preparátů a pomoc při mikroskopování. Poděkování patří také Měšťanskému pivovaru České Budějovice za poskytnutí sladiny pro přípravu sladivého agaru, Správě slovenských jaskýň, Správě jeskyní České republiky, Romanu Mlejnkovi a správcům jmenovaných jeskyní za umožnění odběrů v jeskyních, slovenským kolegům Lubomíru Kováčovi, Andreji Mockovi a Peterovi Luptáčikovi za veškerou pomoc při odběru vzorků a Kláře Pumprové za technickou pomoc.

## LITERATURA

- ANONYMUS 2002 – 2007. <http://www.retep.sk/jaskyne/singliar/singliar.php>
- AUDY, M. – BALÁK, I. – BENEŠ, L. – HANZL, P. – HLADIL, J. – KOVAŘÍK, M. – MLEJNEK, R. – MOTYČKA, Z. – OTAVA, J. – PIŠKULA, M. – POLÁK, P. – SIROTEK, J. – SLOBODNÍK, M. – ŠTEFKA, L. – VAŠÁTKO, J. – VÍT, J. 2000. Amatérská jeskyně. Třicet let od objevu největšího jeskynního systému České republiky. Česká speleologická společnost, Praha.
- BÍLKOVÁ, D. (ED.) 2007 – <http://www.caves.cz>.
- ELHOTTOVÁ, D. – KRIŠTŮFEK, V. – NOVÁKOVÁ, A. – KOVÁČ, L. – MOCK, A. – LUPTÁČIK, P. 2003. Domicaa Ardovská jaskyňa – štúdium interakcií medzi faunou a mikroflórou. Aragonit 8, 38–40.
- HROMAS, J. – BÍLKOVÁ, D. (Eds.) 1998. Jeskyně a krasová území České republiky. Přehledná mapa 1 : 500 000 s výřezy 1 : 100 000 a doprovodným textem. Kartografie Praha, a. s., Praha.
- JAKÁL, J. (ED.) 2005. Jaskyne svetového dedičstva na Slovensku. Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 159 p.
- KREISEL, H. – SCHAUER, F. 1987. Methoden des mykologischen Laboratoriums. Jena, 181 p.
- NOVÁKOVÁ, A. 2005. Interesting and rare saprotrophic microfungi isolated from excrements and other substrates in the Domic and Ardovská Caves. In: Tajovský, K. – Schlaghamerský, J. – Pižl, V. (Eds.), Contributions to Soil Zoology in Central Europe I., 103–106.
- NOVÁKOVÁ, A. 2006a. Mikroskopické houby v Dobšinské ledové jeskyni a ve vybraných jeskyních národního parku Slovenský kras. In: Bella, P. (Ed.), Výskum, využívanie a ochrana jaskýň 5. Zborník referátov, 5. vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou pri príležitosti životného jubilea RNDr. Antona Droppu, CSc., 26. – 29. 9. 2005, Demänovská dolina, Liptovský Mikuláš, 203–210.
- NOVÁKOVÁ, A. 2006b. Mikroskopické houby Chýnovské jeskyně a Jeskyně na Turoldu (Česká republika). In Bella, P. (Ed.), Výskum, využívanie a ochrana jaskýň 5. Zborník referátov, 5. vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou pri príležitosti životného jubilea RNDr. Antona Droppu, CSc., 26. – 29. 9. 2005, Demänovská dolina, Liptovský Mikuláš, 211–213.
- NOVÁKOVÁ, A. – ELHOTTOVÁ, D. – KRIŠTŮFEK, V. – LUKEŠOVÁ, A. – HILL, P. – KOVÁČ, L. – MOCK, A. – LUPTÁČIK, P. 2005. Feeding sources of invertebrates in Ardovská Cave and Domic Cave system. In Tajovský, K. – Schlaghamerský, J. – Pižl, V. (Eds.), Contributions to Soil Zoology in Central Europe I., 107–112.
- STANKOVIČ, J. – HORVÁTH, P. 2004. Jaskyne Slovenského krasu v živote Viliama Rozložníka. Speleoklub MINOTAURUS, Rožňava, 194 p.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	419 – 438	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## JASKYNESLOVENSKÉHO KRASU A OKOLIA V OSVETLENÝCH ARCHEOLOGICKÝCH OBJAVOV

MARIÁN SOJÁK

Archeologický ústav SAV Nitra, Mlynská 6, 052 01 Spišská Nová Ves; sojak@ta3.sk

### **M. Soják: Caves of Slovenský kras (Slovak Karst) region in the light of new archaeological finds**

**Abstract:** History of spelearchaeological research on eastern area of Slovakia Karst and on Košická Basin – Medzevská Downs. Settlement of selected caves in the region under study that are situated within the district of six villages: 1. Jasov – Jasovská Cave and Tomášova Cave; 2. Debrad' – Jazvečí hrad Cave; 3. Moldava nad Bodvou – Mníchova diera Cave; 4. Háj – Kostrová Cave; 5. Hrhov – Tatárska Cave, Oltárna Cave and Veterná diera nad Hrhovom Cave; 6. Bôrka – Jačmenná Cave. Oldest settlement was documented in Jasovská Cave. It is dated to the Early Palaeolithic (the Aurignacian culture). The profile with Palaeolithic carbon layer and animal bones was found during the excavations in the years 2004 – 2006. Neolithic settlement of the Bükk culture is predominating. Cultural layers were revealed in Jasovská and Kostrová caves. Apart from pottery fragments and reconstructed vessels (Jasovská Cave), animal bone, stone chipped and polished industry and bone industry were found there. Newer finds of the Bükk-culture pottery are from Tomášova and Jazvečí hrad caves. Aeneolithic finds of the Baden culture are known only from older explorations (Jasovská Cave). From the Bronze Age, Piliny-culture settlement (Jasovská, and Tomášova caves), but mainly the settlement of the Kyjatice culture from the end of Bronze Age (Jasovská, Tomášova, Kostrová caves and Veterná diera nad Hrhovom Cave) were documented. Rooms of Kostrová Cave were used for cult practises (numerous finds of human and animal bones, gold jewellery, bronze pin with a considerable share of iron, glass bead). A lot of pottery fragments together with a Kyjatice-culture cup and some bronze artefacts – two bracelets, an earring and a necklace's spiral tube were found at Jasovská Cave in 2005. At this cave a glass bead fragment of the Hallstatt/La Tène period (end of the 7th up to 3<sup>rd</sup> cent. BC). From the cave at Veterná diera nad Hrhovom a rare find of the emperor Commodus's (176 – 192) denarius is known. Settlements dated to the 13<sup>th</sup> cent. were traced at several currently excavated caves (Jasovská, Tomášova and Jačmenná caves, Jazvečí hrad Cave). Worth to mention are: an ornamented silver ring from Jasovská Cave; a copper brass personal ornament (13<sup>th</sup> cent.?) and a half-denarius of Ondrej II. (1205 – 1235) from Tomášova Cave; pottery fragments, an iron knife, a horse-shoe and numerous palaeobotanical finds found during older explorations from Jačmenná Cave. Pottery fragments and iron artefacts are known also from a cultural layer in front of the entrance to Jazvečí hrad Cave. Substantial part of a fossilized human skull of Mongol origin probably (G. Stibrányi sen.'s exploration) with several documented slash wounds was found at Tatárska Cave. Majority of finds from local caves dated to the 13<sup>th</sup> cent. is connected with the Mongol-Tatar intervention in 1241. Settlements of the Final Middle Ages and Modern era were revealed at Mníchova diera Cave, where a profile with small carbon layers and finds dated to the 16<sup>th</sup> – 18<sup>th</sup> cent. was discovered in its NW tunnel. The hearth layer with an isolated pottery fragment from the 13<sup>th</sup> cent. at Oltárna Cave was dated to the same time period. Modern-era pottery fragments were found in Jačmenná Cave, too. In front of the Tatárska Cave a flat decorated button from the 19<sup>th</sup> cent. with traces of gold- and silver-plating was detected. Some caves (Jasovská, Oltárna, Tatárska caves and Mníchova diera Cave) were damaged during the 2<sup>nd</sup> World War and some of them are permanently suffering amateur digging and unconscious activities of speleologists. These are the reasons why systematic archaeological research and effective protection of caves are necessary.

**Key words:** Slovakia, eastern Slovak Karst area, Košická Basin – Medzevská Downs, speleoarchaeological research, rescue exploration, archaeological finds, Palaeolithic – Aurignacian and Gravettian cultures, Neolithic – Tiszadob group, Bükk culture, Aeneolithic – Baden culture, Bronze Age – Piliny and Kyjatice cultures, Iron Age – Hallstatt and La Tène periods, Roman period, Middle Ages (13<sup>th</sup> cent.), Modern era, 2<sup>nd</sup> World War, analysis of material culture monuments, pottery, human and animal bones, minute artefacts, palaeobotanical material, cultural layers, sphere of cults, cultural and historical interpretation of finds, need of systematic research, cave protection

## ÚVOD

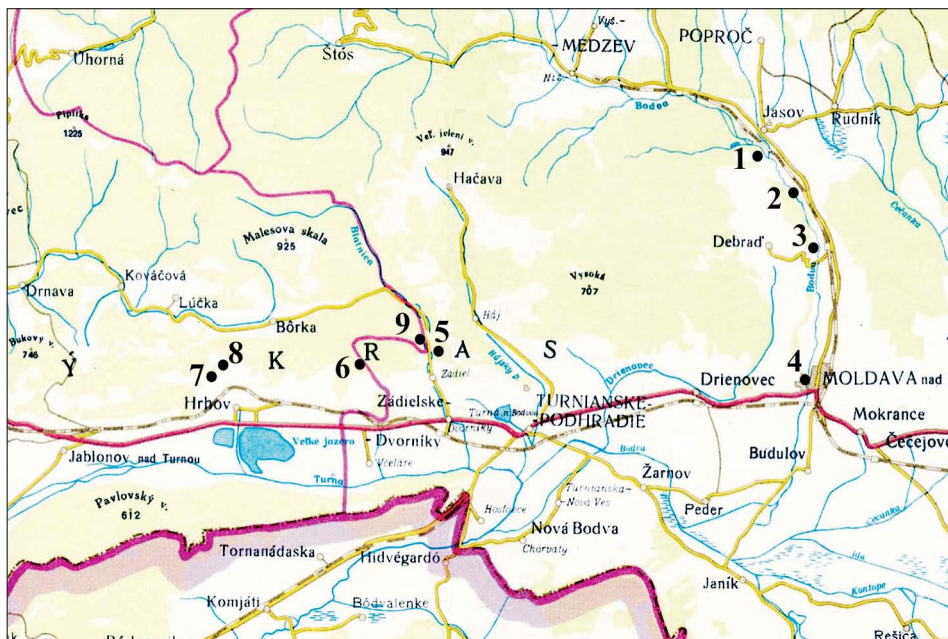
Územie Slovenského krasu a blízkeho okolia (Košická kotlina – Medzevská pahorkatina) je mimoriadne bohaté na výskyt archeologických lokalít a polôh s ojedinelými nálezmi. Okrem otvorených sídlisk vo voľnom teréne človek zapojil do svojho sídliskového priestoru aj podzemné priestory jaskýň, z ktorých zachránené pamiatky hmotnej kultúry neraz prekvapujú (nielen odborníkov) a povyšujú tú-ktorú oblasť na úroveň európskych nálezísk. V tejto oblasti hodno spomenúť jaskyňu Domica (Kečovo), Ardovskú jaskyňu a mnohé ďalšie, ktoré poskytli bohatý a rôznorodý pramenný fond prevažne z pravekého obdobia, mladšej doby kamennej – neolitu (gemerská lineárna keramika, bukovohorská kultúra) a z mladšej až neskorej doby bronzovej (kyjatická kultúra). V jaskynných sídliskách nechýbajú ani doklady osídlenia z mladších úsekov praveku až po stredovek a novovek (Soják, 2005; Soják a Terray, 2006). Príkladom sú najnovšie nálezy z Moldavskej jaskyne (Soják a Terray, 2007) alebo z jaskyne Leontína (Soják, 2007a), ktoré okrem pravekých kultúrnych horizontov poskytli prekvapujúce svedectvá z čias mongolsko-tatárskeho vpádu na južné Slovensko v roku 1241.

Aj keď podľa zákona č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny jaskyne predstavujú prírodné pamiatky s osobitnou ochranou a rovnako sa na ne vzťahuje zákon o ochrane pamiatkového fondu č. 49/2002 Z. z., stávajú sa stále terčom vykrádania alebo úmyselného či neúmyselného<sup>1</sup> poškodzovania jednotlivcami. Preto je dôležitá spolupráca speleológov a strážcov ochrany prírody s archeológmi, aby sa preskúmali najviac ohrozené časti osídlených jaskýň a zamedzila či aspoň obmedzila ich devastácia. Aj s tým cieľom sa nadviazala spolupráca s viacerými jaskyniarskymi oblastnými skupinami a speleoklubmi vrátane Speleoklubu Cassovia (Soják a Mihál, 2007). V spolupráci s M. Terrayom zo spomenutého speleoklubu sa skúmali viaceré jaskyne na východnom okraji Slovenského krasu a v západnej časti Košickej kotliny – v Medzevskej pahorkatine. Prierez najvýznamnejšími výsledkami z pohľadu speleoarcheológie je súčasťou predloženého príspevku. Ten sa zameriava predovšetkým na výber archeologických nálezov z vybraných jaskýň skúmaného územia (mapa 1).

## HISTÓRIA VÝSKUMOV

Rekonštrukcia osídlenia Slovenského krasu sa opiera o výsledky práce nielen profesionálnych archeológov, ale aj speleológov či záujemcov o najstaršie dejiny. Odhliadnuc od bádateľov 19. storočia (J. Nyáry, A. Thallóczy, L. Kossuth, A. Scholtz; Prikryl, 1985, 89 nn.), záujem o toto územie z pohľadu archeológie zaznamenávame medzi dvoma svetovými vojnami (T. Kormos, J. Eisner, J. Böhm, M. Mottlová). V povojnových rokoch tunajšie jaskyne skúmali rožňavskí jaskyniari a iní záujemcovia (L. Erdős, J. Fabián, R. Gajda a iní), ale najmä profesionálni archeológovia, ako J. Bárta, L. Bánesz, J. Lichardus, najnovšie Ľ. Kaminská, E. Miroššayová a M. Soják (Soják, 2005; Lalkovič, 2007). Spomedzi všetkých bádateľov venoval sústavnejšiu pozornosť skúmanému územiu G. Stibrányi st. (1909 – 2001). Popri hlavnom zamestnaní (lekárnik) venoval svoj voľný čas propagácii krás slovenskej prírody

<sup>1</sup> Častokrát jaskyne neúmyselne (z nevedomosti) poškodzujú aj samotní jaskyniari počas speleologických akcií.



Mapa 1. Situovanie skúmaných jaskýň. 1 – Jasovská jaskyňa; 2 – Tomášova jaskyňa; 3 – Jazvečí hrad; 4 – Mníchova diera; 5 – Kostrová jaskyňa; 6 – Tatárska jaskyňa; 7 – Oltárna jaskyňa; 8 – Veterná diera nad Hrhovom; 9 – Jačmenná jaskyňa

Map 1. Situating of the caves under research. 1 – Jasovská Cave; 2 – Tomášova Cave; 3 – Jazvečí hrad Cave; 4 – Mníchova diera Cave; 5 – Kostrová Cave; 6 – Tatárska Cave; 7 – Oltárna Cave; 8 – Veterná diera nad Hrhovom Cave; 9 – Jačmenná Cave

(osobitne Zádielskej doliny a okolia) a dávnej regionálnej histórie (obr. 1). Blízka mu bola aj speleoarcheológia, a to najmä vďaka úzkym kontaktom a spolupráci s viacerými archeológmi z AU SAV Nitra, predovšetkým s J. Bárto. Aj jeho pričinením sa osídlenie tunajších jaskýň a celého územia dostalo do celkom iného svetla (Erdős, 1989, 48 – 50). Archeologická rekonštrukcia dejín toho-ktorého územia sa opiera v prvom rade o systematické archeologické výskumy, ktoré však v sledovanom regióne zaostávajú. Preto sa musíme opierať o výsledky nesystematických prieskumov, záchranných exploatacií a rozsahom nevelkých výskumov.

## ARCHEOLOGICKÉ NÁLEZY Z VYBRANÝCH JASKÝŇ

### Jasov

**a) Jasovská jaskyňa** (tiež Veľká Jasovská jaskyňa, Takacsova jaskyňa, jaskyňa Menyhérta Takacsa)

Jasovská jaskyňa leží v skalnom masíve najvýchodnejšieho výbežku planiny nazývanej Jasovská skala. Na severovýchodnom okraji tejto skaly dal Karol Róbert vystavať hrad (Slivka a Vallašek, 1991, 127 – 129). Jaskyňu údajne objavil jeden z mníchov premonštrátskeho kláštora počas



Obr. 1. G. Stibrányi st. (1909 – 2001), ktorý skúmal mnohé jaskyne východnej časti Slovenského krasu a v Medzevskej pahorkatíne Fig. 1. G. Stibrányi sen. (1909 – 2001), who explored many caves in eastern area of the Slovak Karst and in Medzevska Downs

zbierania bylín. Podľa miestnych povestí sa tu okolití obyvatelia ukrývali pred Tatármi a neskôr Turkami, resp. počas stavovských povstaní Š. Bocskaya či F. Rákocziho II. (Lalkovič, 1988, 47 – 72).

Doklady viacfázového pravekého a stredovekého osídlenia v Jasovskej jaskyni zistili J. Nyáry a L. Thallóczy v roku 1878, neskôr T. Kormos za spoluúčasti K. Lambrechta a K. Szombathyho a ďalších premonštrátskych profesorov. Ojedinelé nálezy štiepaných kamenných nástrojov z výskumu T. Kormosa z roku 1916 ukazujú (Eisner, 1933, 4; Skutil, 1938, 77 – 83), že jaskyňu osídlili lovci najneskôr v mladom paleolite. Podľa J. Bárta (1969, 216) revízný výskum v roku 1955 ukázal (Ložek et al., 1957), že Kormosove paleolitické nálezy pochádzajú z druhého chladnejšieho nárazu posledného zaľadnenia a možno ich zaradiť do strednej fázy aurignacienskej kultúry. Do tejto kultúry nálezy zaradili už T. Kormos, J. Babor a O. Kadić (Skutil, 1938, 82, 83). V Jasovskej jaskyni sa počas revízneho výskumu v roku 1955 podarilo zachytiť vo vrstve z poslednej doby medziľadovej aj uhlíky, ktoré by mohli súvisieť s osídlením mousterienskej kultúry (Bárta, 1969, 216). Intenzívnejšie jaskyňu osídlili až nositelia bukovohorskej kultúry v strednom neolite. Nasledujúce osídlenie sa spája s eneolitickou badenskou kultúrou (Eisner, 1928). Nechýbajú nálezy zo záveru doby bronzovej a z doby halštatskej, ďalej z doby rímskej, 13. – 15. storočia a z novoveku. Z výskumov v roku 1923 (J. Zikmund, R. Gajda) sa uvádzajú najmä pleistocénne kosti a objav najznámejšieho spomedzi nástenných nápisov – z roku 1452. Prvý odborný archeologický výskum v Jasovskej jaskyni uskutočnil v rokoch 1924 – 1925 J. Eisner (zároveň skúmal Oblúkovú jaskyňu a Fajku). Výskumom doložil kultúrnu vrstvu s dominantnou keramikou bukovohorskej kultúry, pre ktorú navrhol označenie „jasovský typ“. Objavil aj nálezy pilinskej, kyjatickej kultúry z mladšej až neskorej doby bronzovej a z doby halštatskej. Nálezy vytaveného železa (lupy) sú nepriamym dôkazom najstarších pokusov taviť železnú rudu a ďalej ju spracúvať kováčskymi technikami na sklonku doby bronzovej. Z vyobrazenia a opisu vybraných artefaktov je zrejme, že objavil aj črepy kultúry s východnou lineárnou keramikou – skupiny Tiszadob. Okrem toho našiel v tomto regióne vzácnu eneolitickú keramikou badenskej kultúry a početný nálezový inventár zo stredoveku a novoveku (Eisner, 1928, 137 – 144; 1933, 33, 89 nn.; Bárta, 1978, 536 – 540; Soják a Terray, 2007, 50 – 56). Z vykopávok roku 1955 pochádza potinová minca s portretom rímskeho cisára Marca Aurelia (161 – 180). V zbierkach AU SAV Nitra sú (z prieskumom J. Bárta) deponované viaceré novoveké mince z Jasovskej jaskyne (Nálezy 2, 229). V roku 1958 našiel Š. Furín v komíne Jasovskej jaskyne (nad Jedáľňou) cizelovaným ornamentom zdobenú orientálnu dýku zo 17. storočia (Bárta, 1978, 539; Soják, 2005, 111). Záchranný výskum v roku 1978 (počas budovania nového vstupu do Jasovskej jaskyne z Oblúkovej jaskyne) potvrdil, že pôvodné vrstvy boli v oboch priestoroch predchádzajúcimi výkopmi porušené a sčasti zničené. Zachránil sa súbor artefaktov z neolitu, neskorej doby bronzovej, doby halštatskej a z 13. storočia (Olexa, 1980). Z vestibulu starého vchodu Jasovskej jaskyne (obr. 2; 3) je známy súbor nestratifikovaných nálezov od neolitu až po stredovek. Nechýbajú fragmenty keramiky z mladšej doby bronzovej, doby halštatskej (Miroššayová, 2004, 355, 364, obr. 7), laténskej a rímskej.

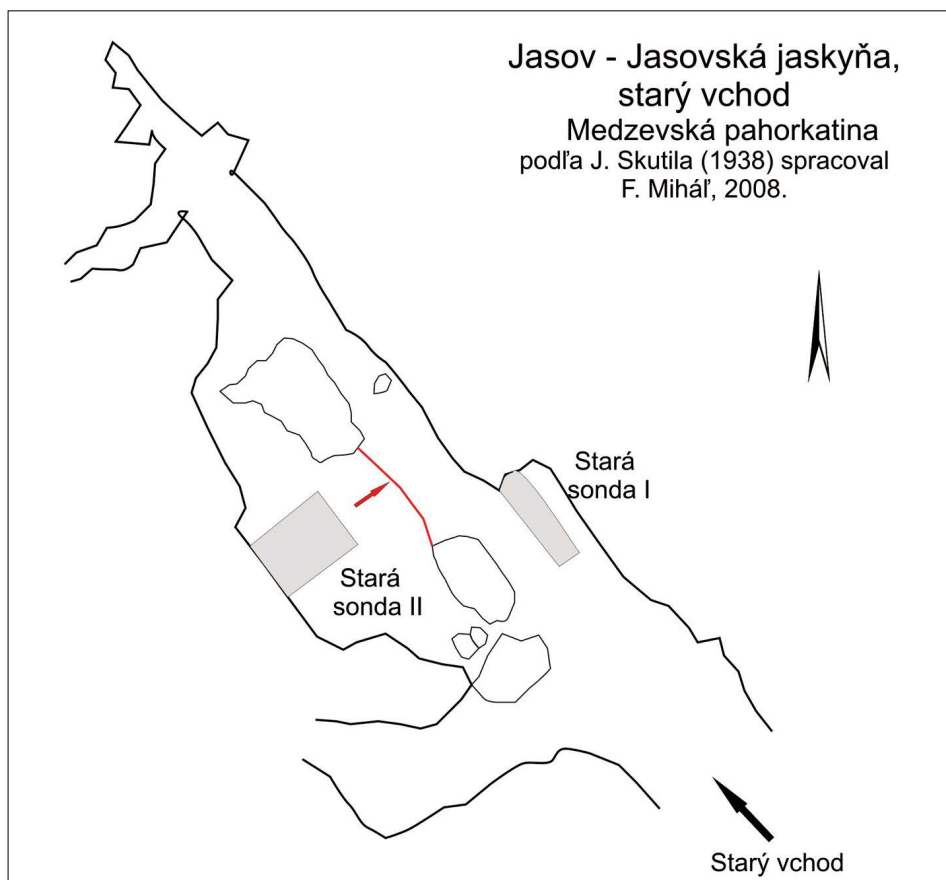
V starom vchode Jasovskej jaskyne zaregistroval M. Terray zosuv časti profilu a jeho poškodzovanie amatérskymi výkopmi. Preto sa v priebehu rokov 2004 až 2006 uskutočnil krátkodobý záchranný výskum, ktorý sa zameril na preskúmanie plochy obnaženého profilu a zozbieranie voľne na povrchu sa vyskytujúcich črepov (obr. 4). Výskumom sa zdokumentovali bohaté nálezy polykultúrneho charakteru, pochádzajúce zo stratigraficky rozlíšených vrstiev (Soják a Terray, 2007, 52 – 55). V hĺbke cca 120 cm od úrovne povrchu súčasného jaskynného dna sa v žltej pleistocénnej vrstve prišlo na zvyšok tenkej uhlíkovej vrstvy s fragmentmi neurčitelných kostí (obr. 5). Možno predpokladať, že súvisí s doloženým aurignacienským osídlením. Nad touto vrstvou spočívala hrubá kultúrna vrstva čierneho sfarbenia, s nálezmi z neolitu a z neskorej doby bronzovej. V jej spodnej časti sa vyskytovala výhradne



Obr. 2. Jasov. Starý vchod Jasovskej jaskyne zvonka.  
Foto: M. Soják  
Fig. 2. Jasov. Old mouth of Jasovská Cave from the outside. Photo: M. Soják

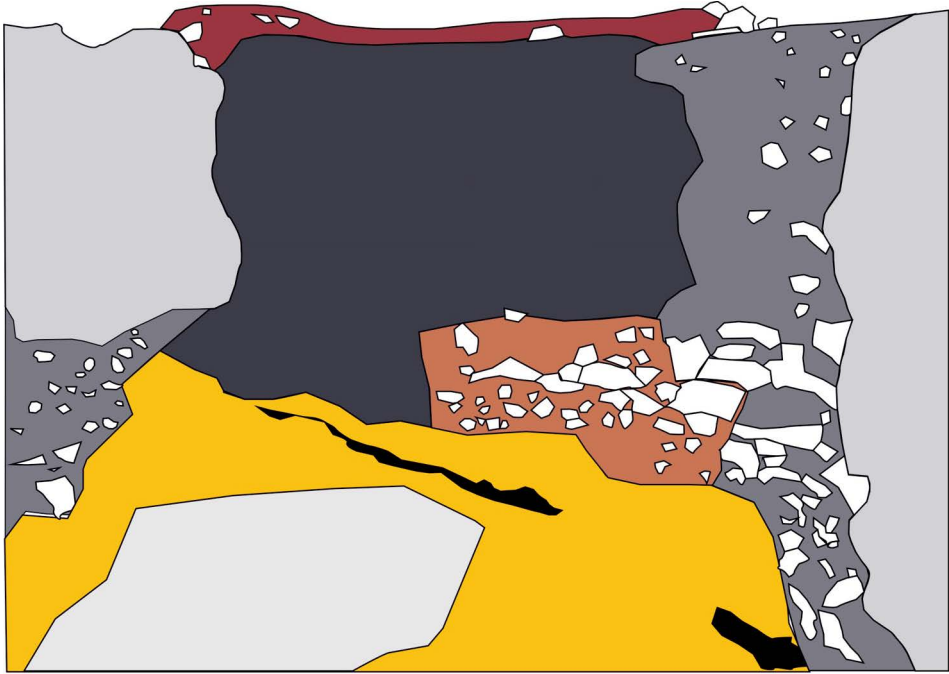


Obr. 3. Jasov. Starý vchod Jasovskej jaskyne zvnútra.  
Foto: M. Soják  
Fig. 3. Jasov. Old mouth of Jasovská Cave from the inside. Photo: M. Soják



Obr. 4. Jasov. Nesprístupnená časť Jasovskej jaskyne s polohou starých sond (T. Kormosa z roku 1916) a profilu skúmaného v roku 2005. Podľa J. Skutila (1938, obr. 17) upravil F. Mihál, 2008  
Fig. 4. Jasov. Not accessible section of Jasovská Cave with old test pits (dug by T. Kormos in 1916) and the profile explored in 2005. Arranged by F. Mihál (2008) after J. Skutil (1938, fig. 17)





- kamenné bloky
- zvetrané kamene
- uhľiková pleistocénna vrstva
- žltohnedá vrstva so zvetranými kameňmi
- kultúrna vrstva (neolit, doba bronzová)
- kultúrna vrstva (stredovek, novovek)

0                      60 cm

Obr. 5. Jasov – Jasovská jaskyňa, starý vchod. Profil s doloženými vrstvami z pleistocénu a holocénu (z výskumu v roku 2005). Kresba: M. Soják

Fig. 5. Jasov – Jasovská Cave, old cave mouth. Profile with documented Pleistocene and Holocene layers (from the exploration in 2005). Picture: M. Soják

keramika bukovohorskej kultúry, vo vrchnej časti premiešaná s črepmi kyjatickej kultúry. Z obidvoch kultúrnych horizontov pochádza najmä keramika (vzhľadom na početnosť dosiaľ komplexne nespracovaná), z ktorej sa zrekonštruovali štyri celé nádoby bukovohorskej kultúry (obr. 6: 1 – 4) a jedna tenkostenná kyjatická šálka (obr. 7). S kyjatickou kultúrou súvisia dva rozdielne veľké krúžky z bronzového drôtu – náramok a náušnica (obr. 8), fragment ďalšieho náramku a špirálová trubička z náhrdelníka. Z neolitickej vrstvy je známa aj ojedinelá štiepaná kamenná industria. Reprezentujú ju štyri neúplné čepele, dve z limnosilicitu a ďalšie dve z obsidiánu. Z kostenej industrie sa našla predpokladaná špachtľa a ihla. Nad obidvoma farebne nerozlišiteľnými pravekými kultúrnymi vrstvami sa vyskytol horizont s nálezovým materiálom zo stredoveku a novoveku. Do 13. storočia možno zaradiť zdobený strieborný prsteň (obr. 9) a ojedinelú keramiku. Novoveké sú exempláre numizmatického charakteru – denár Rudolfa II. (1576 – 1608) z roku 1601 a Ferdinanda II. (1619 – 1637)



1



2



3



4

Obr. 6. Jasov – Jasovská jaskyňa, starý vchod. Rekonštruovaná keramika bukovohorskej kultúry z preskúmaného profilu, rôzne mierky. Foto: M. Soják

Fig. 6. Jasov – Jasovská Cave, old cave mouth. Reconstructed pottery of the Bükk culture from the explored profile, different scales. Photo: M. Soják



Obr. 7. Jasov – Jasovská jaskyňa, starý vchod. Rekonštruovaná šálka z preskúmaného profilu (kyjatická kultúra). Foto: M. Soják

Fig. 7. Jasov – Jasovská Cave, old cave mouth. Reconstructed cup of the Kyjatic culture from the explored profile. Photo: M. Soják

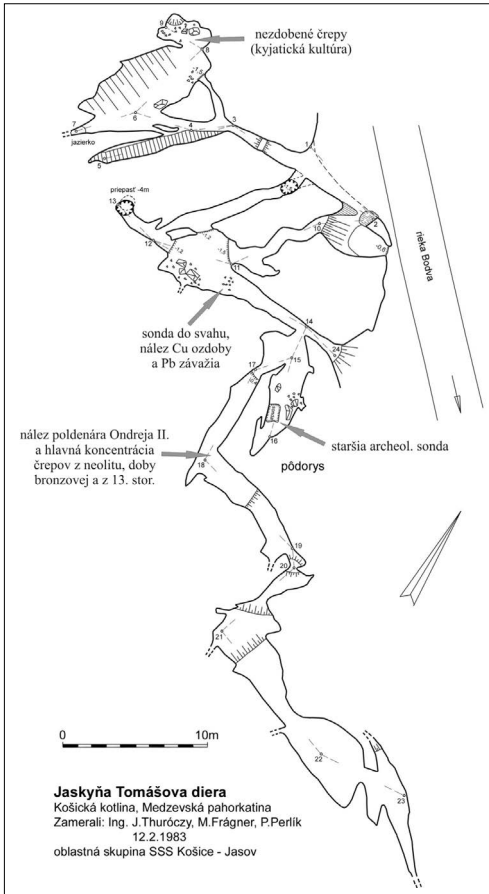
Obr. 8. Jasov – Jasovská jaskyňa, starý vchod. Bronzový náramok a náušnica z preskúmaného profilu (kyjatická kultúra). Foto: M. Soják

Fig. 8. Jasov – Jasovská Cave, old cave mouth. Bronze bracelet and earring of the Kyjatic culture from the explored profile. Photo: M. Soják



Obr. 9. Jasov – Jasovská jaskyňa, starý vchod. Strieborný šitkový prsteň (13. storočie). Foto: M. Soják

Fig. 9. Jasov – Jasovská Cave, old cave mouth. Bezelled silver finger-ring (the 13<sup>th</sup> century). Photo: M. Soják



Obr. 10. Jasov – Tomášova jaskyňa. Poloha objavených archeologických nálezov na pôdoryse jaskyne Fig. 10. Jasov – Tomášova Cave. Situation of discovered archaeological finds on the cave ground plan

bronzovej (z okraja hrncovitej nádoby a z tela slamovanej nádoby), ako aj nálezový materiál z 13. storočia a novoveku – medená ozdoba (obr. 11), črepy (obr. 12), olovené projektily a nábojnica (Soják a Terray, 2007, 57). Datovanie plechovej zdobenej ozdoby so zachovaným nitom zostáva neosvetlené (13. storočie?). Do stredovekého horizontu patrí aj publikovaný nálež ojedinelej striebornej mince – poldenára Ondreja II. (1205 – 1235) (Soják, 2003, 37). Prekvapuje nálež okrúhleho oloveného predmetu. Typologicky i surovinovo analogické exempláre sa našli v Moldavskej jaskyni a interpretujú sa ako závažia; tie sú v stredovekom náleзовom prostredí na Slovensku vzácné (Hunka, 2007, 48, obr. 52).

### Debrad' – jaskyňa Jazvečí hrad

Jaskyňa leží východne od obce nad pravým brehom Bodvy. Vytvorená je vo wettersteinských lagunárnych vápencoch. Vchod do jaskyne objavil roku 2004 jaskyniar S. Danko (SSS – pracovná skupina Východ). Spolu s ďalšími speleológmi (D. Haršaník s manželkou) následne pred jaskyňou vykopalí obdĺžnikovú sondu, ktorou prenikli do vnútorných priestorov (dĺžka 25,67 m). Vnútri našli takmer celú nádobu bukovohorskej kultúry s klasickým výzdobným štýlom. Podľa objaviteľa (ústna informácia) sa stredoveký nálezový inventár z 13. storočia (črepy, železné predmety a fragment spodnej kamennej podložky na drvenie obilia) a pravdepodobne aj ďalších 5 neolitických zlomkov objavil pred

z roku 1632. Spomedzi pamiatok hmotnej kultúry vo vrchnej vrstve sa vyníma polovica skleneného korálika modrozelennej farby s bielo-modrými očkami. Podľa klasifikácie N. Venclovej (1990, 74 – 85) patrí do skupiny variet od čísla 527 až 536. Tento typ korálika sa objavuje od konca doby halštatskej a preživa až do strednej doby laténskej (od konca 7. do 3. storočia pred Kristom).

Osídlenie dvoch priľahlých jaskýň – Fajky a Oblúkovej – korešponduje s nálezmi z Jasovskej jaskyne (Eisner, 1928, 138 – 141; Bárta, 1978, 539, 540; Olexa, 1980, 193 – 194; Soják a Terray, 2007, 52 nn.).

### b) Tomášova jaskyňa (tiež Tomášova diera)

Leží asi 9 km severne od Moldavy nad Bodvou, 1 km južne od Jasova. Jaskyňa (dĺžka 136 m) má tri vchody tesne nad riekou Bodva, čo za vysokého stavu vody zapríčiňuje jej zaplavovanie. Azda aj preto nemohla byť v doložených obdobiach dlhodobejšie osídlená (obr. 10). V doterajšej literatúre je evidované ako prechodné sídlisko z neolitu (bukovohorská kultúra), mladšej a neskorej doby bronzovej až doby halštatskej (Bárta, 1955; Erdős, 1975, 28). Z neskorších prieskumov jasovských jaskyniarov (E. Hirko, Š. Furín), ďalej M. Terraya a M. Sojáka sú z jaskyne známe rovnako datované nálezy pravekých črepov (bukovohorská a kyjatická kultúra) a navyše dva úžitkové fragmenty z predpokladanej staršej až strednej doby



Obr. 11. Jasov – Tomášova jaskyňa. Medená ozdoba (13. storočie?). Foto: M. Soják  
 Fig. 11. Jasov – Tomášova Cave. Copper personal ornament (the 13<sup>th</sup> century?). Photo: M. Soják

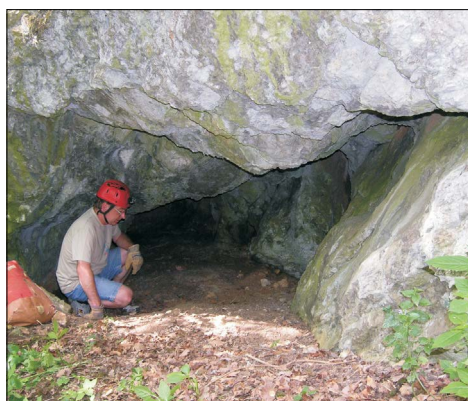


Obr. 12. Jasov – Tomášova jaskyňa. Výber črepov z 13. storočia. Foto: M. Soják  
 Fig. 12. Jasov – Tomášova Cave. Selection of pottery fragments dated to the 13<sup>th</sup> century. Photo: M. Soják

vchodom na úzkej predjaskynnej plošine, nie v jej pomerne úzkych a vlhkých priestoroch (Soják, v tlači). Roku 2007 sa uskutočnila obhliadka jaskyne (M. Soják, M. Terray a O. Kolačkovský) s cieľom overiť hodnovernosť nálezovej situácie opísanej objaviteľom (Soják a Terray, 2007, 58). Obhliadkou sa zistilo, že stredoveký inventár pochádza z tenkej kultúrnej vrstvy na predjaskynnej plošinke pod 140 cm hrubou naplavenou vrstvou hlíny. Tá mohla byť na úzku plochu pred jaskyňu naplavená z plošiny nad jaskyňou, kde sa našli neurčité železné zlomky a zliatky. V čiernej kultúrnej vrstve pred vchodom do jaskyne sa v profile jaskyniarimi vykopanej sondy okrem črepov z 13. storočia našli zvieracie kosti a uhľíky z niekdajších ohnísk. Keďže je jaskyňa vyčistená od hlinitých sedimentov, prípadný archeologický výskum sa môže sústrediť na zvyšnú plochu predjaskynného kužeľa, prípadne na nižšie ležiacu jaskynku (obr. 13), v ktorej sa voľne na povrchu našiel analogicky datovaný ojedinelý črep (13. storočie).

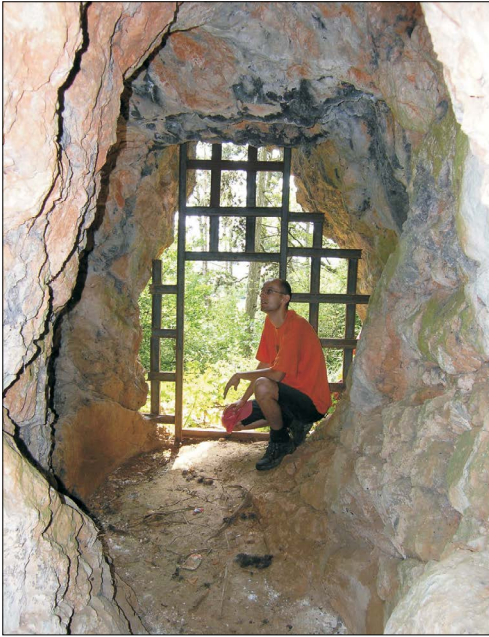
#### **Moldava nad Bodvou – Mníchova diera** (tiež „Pap verem“)

Jaskyňa leží v bezprostrednej blízkosti Moldavskej jaskyne vo svahu vápencovej stráne Hazalutov, v nadmorskej výške 226 m (obr. 14). Pomenovali ju podľa premonštrátskeho mnícha, ktorý v nej údajne prebýval. Mníchovu dieru viackrát skúmal G. Stibrányi st. Výsledky svojich výskumov však nepublikoval. Od roku 1987 v nej prehlbovali dno z jaskynných sedimentov speleológovia z OS Košice-Jasov. Objavili viaceré paleontologické a archeologické nálezy, ktoré zaradili do bukovoohorskej kultúry (Lešínský a Bukovský, 1999, 23 – 26). J. Bárta ju navštívil v rokoch 1962 a 1973. Archeologický výskum tu nerealizoval, jaskyňu pokladal za nádejnú a prikladal jej kultúrno-historický význam (Bárta, 1973, 86; 1984, 250). Keďže jaskyňa je dnes z väčšej časti umelo spriechnodená odstránením sedimentov, prípadný archeologický výskum by mal značne obmedzený



Obr. 13. Jasov – Jaskyňa pod Jazvečím hradom. Dosaiaľ neskúmaná jaskyňa s ojedinelým nálezom črepu z 13. storočia. Foto: M. Soják  
 Fig. 13. Jasov – Pod Jazvečím hradom Cave. So far unexplored cave with isolated find of pottery fragment from the 13<sup>th</sup> century. Photo: M. Soják





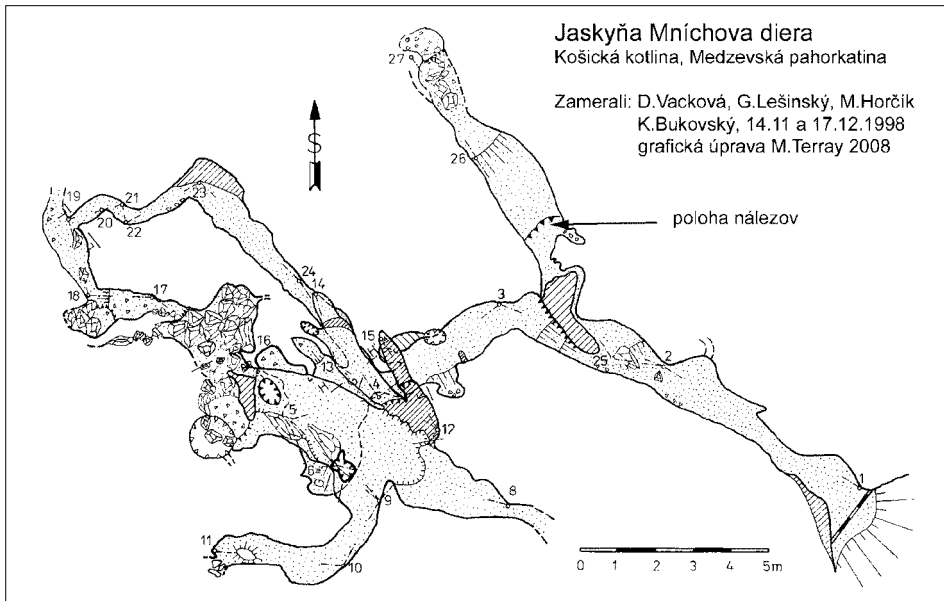
Obr. 14. Moldava nad Bodvou – Mníchova diera. Vchod zvnútra. Foto: M. Soják

Fig. 14. Moldava nad Bodvou – Mníchova diera Cave. The cave mouth from the inside. Photo: M. Soják

rozsah a vzťahoval by sa na krátky zával v slepej severozápadnej chodbe, ktorá sa začína 12 m za vchodom. Názorne na to poukazujú výsledky prieskumu v roku 2007 (M. Soják, M. Terray a O. Kolačkovský). Okrem ojedinelých črepov z 15. – 16. storočia z povrchu jaskynného dna sa práve v spomínanom závale začistil profil s prepálenými vrstvičkami a so sprievodnými nálezmi zo 16. – 18. storočia (obr. 15, 16). Z profilu sa zachránili dva železné výrobky (pánt z dverí a oko) s glazúrovanou keramikou zo 16. – 18. storočia (Soják a Terray, 2007, 58, 59). Z archeologického hľadiska si Mníchova diera zasluhuje pozornosť aj pre zachované legendy o pobyte pustovníka a už uvedené správy jaskyniarov o údajných nálezoch z praveku.

### Háj – Kostrová jaskyňa

Nachádza sa v juhovýchodnej časti Zádielskej tiesňavy v ťažko dostupnom krašovom teréne (423 m n. m., dĺžka 60 m). Pomenovaná je podľa rozhádzaných ľudských kostí, ktoré sa počas výskumu v roku 1955 (J. Bárta, G. Stibrányi st.) nachádzali voľne na povrchu jaskynného dna. Nálezy



Obr. 15. Moldava nad Bodvou – Mníchova diera. Upravený pôdorys jaskyne (podľa M. Terraya, 2008), zameranej G. Lešínským a kol. v roku 1998. Šípka ukazuje miesto nálezu prepálených vrstiev z novoveku  
Fig. 15. Moldava nad Bodvou – Mníchova diera Cave. The cave ground plan surveyed by G. Lešínský in 1998 and fixed by M. Terray in 2008. The arrow points to explored Modern-era burnt layers

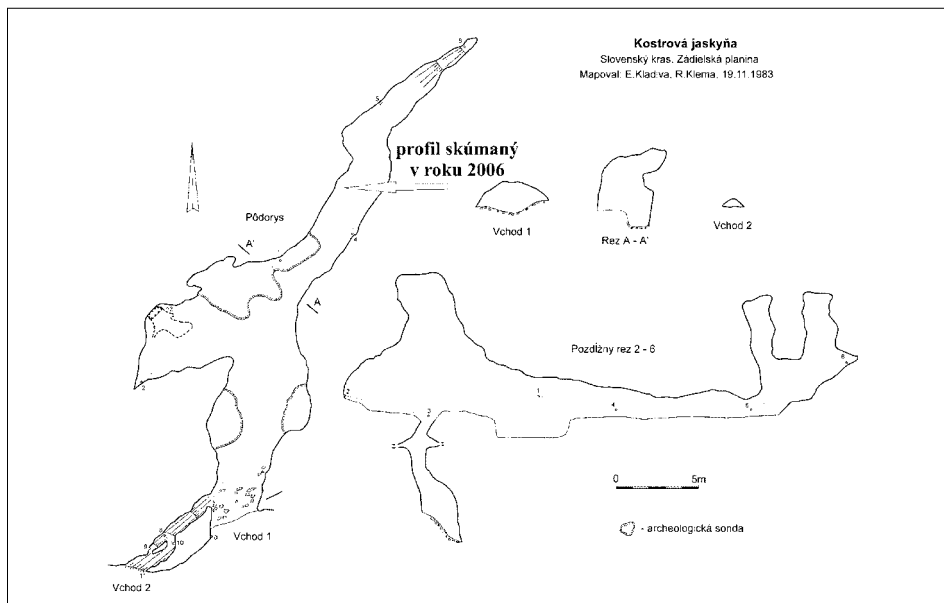
kostí a pravekých črepov v uvedenom roku podnikli archeologický výskum, ktorý v rokoch 1973 – 1974 uskutočnila Katedra antropológie Prírodovedeckej fakulty UK v Bratislave a KU v Prahe pod vedením J. Bárta (AÚ SAV Nitra) a M. Hanulíka (Katedra antropológie PF UK Bratislava) (Bárta, 1975, 17 – 19). V štyroch sondách sa okrem získania poznatkov o využití jaskyne počas 2. svetovej vojny doložil výskyt paleontologického materiálu, nálezov z neolitu (bukovohorská kultúra) a z mladšej až neskej doby bronzovej (kyjatická kultúra). V obidvoch pravekých horizontoch prevládali črepy. Nechýbali ani ďalšie drobné nálezy (Soják a Terray, 2007, 62, 63). Ľudské pozostatky boli roztrúsené vo vrstve s nálezmi kyjatickej kultúry, a to bez anatomického uloženia. Dlhé kosti boli údajne zámerne rozštiepené a lebky polámané. Analyzoval sa aj archeobotanický materiál z bukovohorskej i kyjatickej vrstvy (Hajnalová a Sýkorová, 1977, 113, 114).



Obr. 16. Moldava nad Bodvou – Mníchova diera. Profil v SZ chodbe s prepálenými vrstvami z novoveku. Foto: M. Soják

Fig. 16. Moldava nad Bodvou – Mníchova diera Cave. The profile in the NW tunnel with Modern-era burnt layers. Photo: M. Soják

V rokoch 2000 – 2001 zaregistroval



Obr. 17. Háj – Kostrová jaskyňa. Šípka ukazuje miesto profilu, skúmaného v roku 2006 (mapa podľa E. Kladivu a R. Klemu, 1983)

Fig. 17. Háj – Kostrová Cave. The arrow points to the profile explored in 2006 (the map after E. Kladiva and R. Klema, 1983)

M. Terray v Kostrovej jaskyni nelegálne výkopy a výskyt archeologického materiálu voľne na povrchu jaskynného dna a na haldách jaskynných sedimentov. Vtedy boli objavené aj jednoduché krúžky zo zlatého drôtu (dnes stratené), ktoré nepochybne súvisia s kyjatickou kultúrou. Preto sa v roku 2006 uskutočnila záchranná exploatacia (obr. 17). Počas nej sa zozbierali všetky archeologické nálezy z povrchu dna jaskyne a v severovýchodnej chodbe, v mieste amatérskej sondy, sa začistil profil naprieč jaskyňou. V profile (dĺžka 2,5 m, hĺbka 0,7 m) sa doložili zvyšky poškodených uhlíkových vrstvičiek s pomiešaným nálezovým inventárom z pravekého obdobia. Prevládajú v ňom črepy jemnej zdobenej a úžitkovej keramiky bukovohorskej kultúry, menej fragmenty kyjatickej kultúry z neskorej doby bronzovej, sprevádzané ľudskými a zvieracími kosťami. S výnimkou evidentnej tenkej prepálenej vrstvy sa kultúrna vrstva z neolitu a doby bronzovej nedala farebne rozlíšiť. Napriek tomu bolo zreteľné, že v spodnej časti profilu sa vyskytoval výhradne neolitický nálezový inventár, vo vyšších polohách vrstvy premiešaný s nálezmi kyjatickej kultúry. Spomedzi črepov z doby bronzovej možno rozlíšiť 3 fragmenty pilinskej kultúry zo strednej až mladšej doby bronzovej. Okrem črepov patrí do neolitu masívny čepeľový nôž z limnosilicitu. S kyjatickou kultúrou má súvis zlomok bronzovej ihlice s vývalkovite členenou hlavicoú a miniatúrny sklený korálik. Korózia ihlice prezrádza, že bronzová surovina obsahuje značnú prímes železa, resp. ihlica mala pôvodne železnú ihlu. Typologicky analogický exemplár ihlice pochádza z neďalekej Jasovskej jaskyne (Eisner, 1933, tab. XXXVIII: 3). Korálik tyrkysovej farby je zhotovený technikou navíjania, pravdepodobne rotácie. Z hľadiska typológie, materiálu, techniky výroby a farby sa koráliky tohto typu vyskytujú od mladšej, možno už strednej doby bronzovej hlavne v lužickej kultúre. V Čechách dominujú v neskorej dobe bronzovej (Venclová, 1990, 40 – 42, tab. 5: 2).

Kostrová jaskyňa si zasluhuje pozornosť zo strany archeológov z viacerých hľadísk. Realizácia systematického výskumu je tu potrebná nielen na záchranu nálezov z poškodovaných sedimentov, ale aj z hľadiska štúdia málo známych stránok kultovej funkcie tejto i viacerých jaskýň Slovenského krasu na sklonku doby bronzovej. Keďže antropologické nálezy z predchádzajúcich výskumov sú nezvestné a dosiaľ neboli komplexne spracované a zverejnené, analýza celého súboru osteologických nálezov z prezentovanej záchrannej exploatacie je žiaduca. Podľa predbežného rozboru (analýza J. Jakab, AÚ SAV Nitra) sa v súbore (z výskumu v roku 2006) identifikovali ľudské kosti minimálne z 30 jedincov. Niektoré úlomky kostí mali podľa vyššie uvedeného antropológa vzhľad prevarených kostí. Viaceré fragmenty z dlhých kostí končatín boli ohraničené lomnými plochami po špirálových zlomeninách alebo stopami po ohryzení a so stopami po hrotoch korúnok zubov (!).<sup>2</sup> V analyzovanom súbore sa doložila prítomnosť ľudského plodu, kostí detí, žien i mužov rozličného veku (tab. 1).

## Hrhov

### a) **Tatárska jaskyňa** (tiež Jaskyňa v Kapcovej skale, „Bocskorköi-barlang“)

Tatárska jaskyňa leží v južných stráňach planiny Horný vrch medzi obcami Zádiel a Hrhov, nad samotou Petrov laz. V jaskyni sa nikdy neuskutočnil systematický archeologický výskum. Známa je vďaka nálezom, ktoré v nej pred 2. svetovou vojnou získal G. Stibrányi st. Neskôr ich mal odovzdať na analýzu J. Bártovi. Dnes sú však stratené, a preto o osídlení Tatárskej jaskyne nevieme takmer nič. Výnimkou je antropologický nález, ktorý pochádza z domnelého hrobu tatárskeho veľmoža, podľa ktorého dostala jaskyňa pomenovanie. Z pôvodnej kostry sa dochovala podstatná časť dokonalo fosilizovanej lebky, uloženej v zbierkach SMOPaJ v Liptovskom Mikuláši (Holúbek a Lešinský, 2006, 49 – 50). Podľa analýzy J. Jakaba lebka patrila mužovi, ktorý zomrel vo veku medzi 50. a 60. rokom. Na vonkajšej platni mozgovne sú zreteľné stopy po vyliečených poraneniach (následky poranení sečnou zbraňou – šablou?). Podľa uvedeného antropológa svedčí väčšina morfoskopických znakov o príslušnosti tohto jedinca k europidom, avšak predovšetkým spodný okraj nosového

<sup>2</sup> Za predbežnú analýzu ďakujem RNDr. J. Jakabovi, CSc., ktorý pripravuje do tlače komplexnú analýzu antropologického materiálu z Kostrovej jaskyne.



Tab. 1. Háj – Kostrová jaskyňa. Analýza ľudských kostí z výskumu v roku 2006 (podľa J. Jakaba, 2008)

Por. č.	Vek	Pohlavie	Minimálny počet jedincov
Škatuľa 1			
1	ľudský plod – novorodenec (6. až 9. mesiac vnútro maternicového vývinu)	?	1
2	dieťa, 4- až 6-mesačné	?	1
3	dieťa, 2- až 3-ročné	?	1
4	dieťa, 6- až 10-ročné	?	1
5	dieťa, 6- až 12-ročné	?	1
6	dieťa, 13- až 16-ročné	?	1
7	17 až 20 rokov	neurčené	1
8	20 až 30 rokov	neurčené	1
9	40 až 50 rokov	neurčené	1
10	40 až 50 rokov	neurčené	1
11	30 až 60 rokov	mužské	1
12	vyše 50 rokov	neurčené	1
Škatuľa 2			
13	dieťa, 2- až 4-ročné	?	1
14	dieťa, 3- až 7-ročné	?	1
15	dieťa, 6- až 10-ročné	?	1
16	dieťa, 6- až 10-ročné	?	1
17	dieťa, 10- až 12-ročné	?	1
18	dieťa, 10- až 15-ročné	?	1
19	dieťa, 10- až 15-ročné	?	1
20	15 až 20 rokov	neurčené	1
21	15 až 20 rokov	neurčené	1
22	16 až 20 rokov	neurčené	1
23	15 až 40 rokov	neurčené	1
24	20 až 30 rokov	neurčené	1
25	30 až 40 rokov	mužské	1
26	30 až 40 rokov	neurčené	1
27	40 až 50 rokov	mužské	1
28	40 až 50 rokov	ženské	1
29	40 až 50 rokov	neurčené	1
30	vyše 50 rokov	ženské	1
<b>SPOLU</b>			<b>30</b>

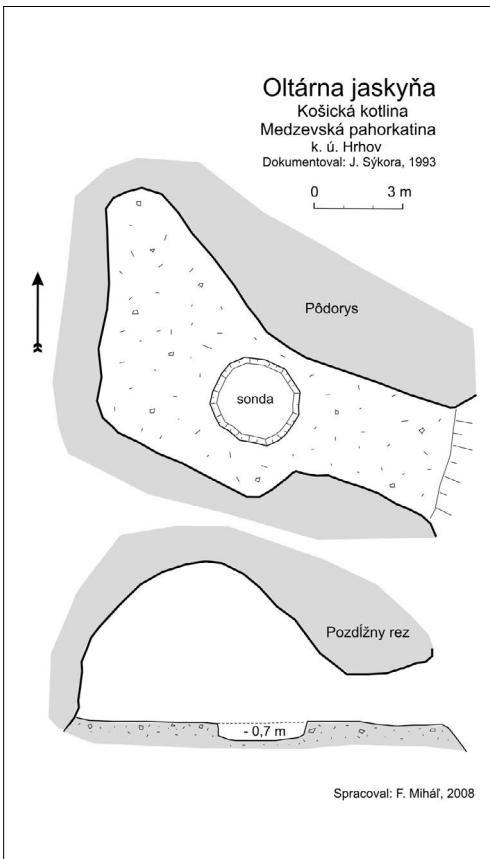
otvoru (*sulcus praeasales*) má podobu typickú pre žltú rasu, t. j. pre mongolidov. Jedinec je teda miešancom medzi europidom a mongolidom (Soják a Terray, 2007, 65, 66; Soják, v tlači). Prieskumom jaskyne v roku 2006 (M. Soják, M. Terray, S. Gužák) sa našli fragmenty munície z 2. svetovej vojny a pred jej vchodom plochý zdobený gombík (s viditeľným postriebrením a pozlátením) z 19. storočia (obr. 18). Aj keď jaskyňa bola poškodená počas 2. svetovej vojny výkopmi speleológov a ďalšími terénnymi úpravami, revíznym archeologickým výskum je v nej potrebný. Overili by sa ním doklady predpokladaného polykultúrneho osídlenia a možná spojitosť s pobytom obyvateľov počas mongolsko-tatárskeho vpádu v roku 1241.



Obr. 18. Hrhov – pred vchodom do Tatárskej jaskyne. Zdobení gombík z 19. storočia. Foto: M. Soják  
 Fig. 18. Hrhov – in front of the Tatárska Cave mouth. Decorated button from the 19<sup>th</sup> century. Photo: M. Soják

**b) Oltárna jaskyňa (tiež Oltár, HV-31, Oltár-lyuk, Krankillova)**

Neveľká jaskyňa s pomerne priestranou sálou (dĺžka 14 m) je evidovaná ako archeologická lokalita (Bella et al., 2007, 114, č. 2315). Oltárna jaskyňa patrí do zoznamu jaskynných lokalít, v ktorých našiel údajne útočisko kráľ Belo IV. so svojou družinou, prenasledovaný mongolsko-tatárskymi vojskami v roku 1241 (Prikryl, 1985, 94; Dubravay, 2007). Možno poznamenať, že tradíciou je nad obcou Hrhov – na stráni zvanej Palota – doložené jestvovanie hradu Bela IV. (Prikryl, 1985, 91). V roku 1978 jaskyňu (spolu s G. Stibrányim st.) navštívil J. Bárta, ktorý v nej síce neuskutočnil archeologický výskum, ale pokladal ju za archeologicky nádejnú (Bárta, 1984, 258 – obr. 5, 260). V roku 1993 ju zamerail J. Sýkora, ktorý vyhotovil orientačný plán (uložený v SMOPaJ v Liptovskom Mikuláši). Zhruba v strede jaskyne zaznačil kruhovú sondu, vykopanú neznámymi amatérmi (obr. 19). Jaskyňu viackrát navštívil a fotograficky zdokumentoval M. Terray. V navrstvených haldách jaskynných sedimentov, pochádzajúcich z amatérskej sondy, našiel ojedinelé novoveké črepy a mince zo 17. – 19. storočia. Obhliadkou jaskyne v roku 2005 sa zistilo, že sonda bola ešte viac prehĺbená a rozšírená. V začistenom profile sa preskúmali uhlíkové vrstvičky s novovekými črepmi (obr. 20) a železnými predmetmi (klince, neurčité zlomky). V zásypových vrstvách sa vyskytovali pleistocénne a holocénne kosti, fragmenty munície z 2. svetovej vojny (projektily, nábojnice) a ojedinelý črep z 13. storočia (Soják a Terray, 2007, 65). Vzhľadom na doložené osídlenie, zachované historické správy a obnaženú kultúrnu vrstvu je v Oltárnej jaskyni archeologický výskum nevyhnutný.



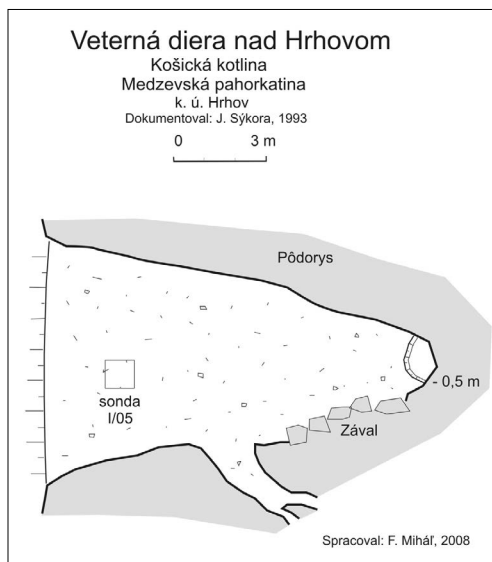
Obr. 19. Hrhov – Oltárna jaskyňa. Zameranie jaskyne s polohou amatérskej sondy. Podľa J. Sýkoru (1993) spracoval F. Mihál (2008)  
 Fig. 19. Hrhov – Oltárna Cave. Survey of the cave with situation of the amateur test pit. Fixed by F. Mihál (2008) after J. Sýkora (1993)



Obr. 20. Hrhov – Oltárna jaskyňa. Výber črepov z výskumu z roku 2005 (16. – 18. storočie). Foto: M. Soják  
 Fig. 20. Hrhov – Oltárna Cave. Selection of pottery fragments from the exploration in 2005 (the 16<sup>th</sup> – 18<sup>th</sup> century). Photo: M. Soják

c) **Veterná diera nad Hrhovom** (tiež HV-32, Gorgóí szél-lyuk)

Podobne ako predchádzajúca jaskyňa, aj táto leží v Hornom vrchu v chotári rovnakej obce. Roku 1976 ju na základe správ G. Stibrányiho st. o bližšie neopísaných nálezoch navštívil spolu s ním J. Bárta (1984, 258). V citovanej literatúre sa jaskyňa z pohľadu archeológie pokladá za zaujímavú, osídlenú v bližšie neurčenom období praveku a využitú na prechodný pobyt na konci 2. svetovej vojny. V roku 1993 ju pôdorysne zamerlal J. Sýkora (pracovný náčrt uložený v SMOPaJ v Liptovskom Mikuláši). V roku 2003 našiel M. Terray voľne na povrchu jaskynného dna dve mince: a) Rím, Commodus (176 – 192), Rím, denár z roku 179 (razba spolu s Marcom Aureliom), striebro, 17 – 17,5 mm; b) Uhorsko, František II. Rákóczi (1703 – 1711), Kremnica, poľtúra z roku 1707, meď, 21,5 – 23 mm (Soják, 2006). V roku 2005 sa pod portálom vyhlbila zisťovacia sonda (1 × 1 m), hlboká do max. 60 cm od úrovne povrchu (obr. 21). V hĺbke 20 cm



Obr. 21. Hrhov – Veterná diera nad Hrhovom. Poloha zisťovacej sondy 1/05 na pôdoryse jaskyne. Podľa J. Sýkora (1993) spracoval F. Mihál (2008)  
 Fig. 21. Hrhov – Veterná diera nad Hrhovom Cave. Situation of the test pit 1/05 on the cave ground plan. Fixed by F. Mihál (2008) after J. Sýkora (1993)

sa prišlo na uhľíkovú vrstvičku, pod ktorou sa našli ojedinelé úžitkové nezdobené črepy z doby bronzovej (kyjatická kultúra), z nich jeden s lešteným tuhovaným povrchom. Nad uhľíkovou vrstvičkou sa v sykej hnedej hline našiel ojedinelý črep z pleca hrncovitej nádoby z 13. storočia a najmä novoveké črepy, ktoré sa vyskytovali aj voľne na povrchu jaskynného dna. Výskumom sa tak bližšie zadatovalo praveké osídlenie známe už zo skorších terénnych aktivít a navyše sa získali nové doklady osídlenia zo stredoveku a novoveku.

**Bôrka – Jačmenná jaskyňa** (tiež Zrnový previs, Ovosná diera)

Jaskyňa (dĺžka 7 m) leží v Hornom vrchu. Názov dostala podľa bohatého výskytu archeobotanických nálezov, zachránených v roku 1975 a 1983. Antrakotomickým rozborom neúplného súboru sa doložila prítomnosť javora, brezy, liesky, ako aj zrná jačmeňa, raže siatej, pšenice, ovsu a semeno stoklasu obilného. Podľa charakteru nálezov a morfológických znakov zŕn sa predpokladá ich súvis s využitím lokality v stredoveku (Hajnalová a Sýkorová, 1977, 114; Hajnalová, 1993, 128; Miroššayová, 1984, 153). Prvé archeologické nálezy zachránil v jaskyni G. Stibrányi st. pred rokom 1973. Podľa určenia J. Bártu (1984, 251) patria do neolitu (bukovohorskej kultúry), mladšej a neskorej doby bronzovej, doby rímskej, stredoveku a novoveku. Zo záchranej exploátácie M. Terraya koncom 90-tych rokov 20. storočia pochádza kolekcia medených gombíkov z novoveku (Soják a Terray, 2007, 67, obr. 97). Záchranným výskumom v roku 2006 (M. Soják, M. Terray, S. Gužák) sa v čiastočnom kamennom závale doložila kultúrna vrstva z 13. storočia. Vo vrstve sa našli keramické fragmenty z hrncovitých nádob, zlomky železných predmetov (podkova, neurčiteľné fragmenty) a nožik s volútovým ukončením hrotu čepele (obr. 22). V závere jaskyne pod výrazným portálom sa na povrchu jaskynného dna našli tenkostenné črepy z novovekého obdobia.



Obr. 22. Bôrka – Jačmenná jaskyňa. Železný nôž z výskumu v roku 2006 (13. storočie). Foto: M. Soják  
Fig. 22. Bôrka – Jačmenná Cave. Iron knife from the exploration in 2006 (the 13<sup>th</sup> century). Photo: M. Soják

## ZÁVER

Ak neuvažujeme o možnom stredopaleolitickom osídlení Jasovskej jaskyne, prvé rukolapné nálezy štiepanej kamennej industrie z menovanej jaskyne pochádzajú z mladšieho paleolitu a dávajú sa do súvisu s osídlením aurignacienskou kultúrou. Azda rovnako stará je uhľíková vrstvička zo Starého vchodu Jasovskej jaskyne, v ktorej sa okrem uhľíkov získali ojedinelé, niektoré prepálené zvieracie kosti. Ich rozdrobenosť však znemožňuje určiť druhové určenie fauny. Táto paleolitická vrstva svedčí o perspektíve ďalšieho výskumu, ktorým sa môžu získať dôležité poznatky o osídlení tohto územia na počiatku mladého paleolitu. Na základe doterajších výsledkov archeologických výskumov stopy prítomnosti mladopaleolitického človeka sledujeme aj v neďalekej Slaninovej jaskyni (k. ú. obce Háaj), kde je o niečo mladšie osídlenie – zo staršej fázy gravettinskej kultúry (Kaminská, 1993; Ložek, 1993). Zo vzdialenejších jaskýň v rámci Slovenského krasu možno spomenúť ojedinelý nález szeltienskeho listovitého hrotu z kečovskej jaskyne Domica (Soják, 2005), ako aj antropologický nález z mladého paleolitu – zub (molár, azda ženský) z priepasti Malá ľadnica pri Silickej Brezovej (Šefčáková, 2007, 41, 42). Popri vyššie spomenutých jaskynných nálezočoch z Jasovskej (a Slaninovej) jaskyne možno stopy prítomnosti mladopaleolitického človeka očakávať v jaskyniach Zádielskej doliny. Poukazuje na to nález patinovaného čepeľového škrabadla vo vstupnej časti Zádielskeho kaňonu (Bárta, 1975, 18).

Prvé intenzívne osídlenie tu zaznamenávame až v neolite. Vo východnej časti Slovenského krasu a v jeho okolí sa objavujú nálezy z mladšej fázy kultúry s východnou lineárnou keramikou – skupiny Tiszadob, resp. jej lokálnej odnože – gemerskej lineárnej keramiky. Na tomto území sa nevyskytuje často. Okrem Domice pochádzajú menej početné nálezy z Jasovskej jaskyne (z horeuvedeného výskumu J. Eisnera) a nemožno vylúčiť, že aj z Kostrovej jaskyne. Jednoznačne to musia overiť revízne archeologické výskumy. Väčšina neolitických pamiatok sa spája s bukovohorskou kultúrou, ktorá vystriedala kultúru s východnou lineárnou keramikou a sčasti prevzala aj jej dedičstvo. Početné nálezy, vrátane rekonštruovaných nádob, sú najmä z Jasovskej jaskyne, kde nechýbajú ani ojedinelé artefakty štiepanej kamennej, brúsenej a kostenej industrie. O intenzite osídlenia vypovedá nielen bohatstvo pamiatok hmotnej kultúry, ale aj hrubá kultúrna vrstva zo Starého vchodu Jasovskej jaskyne. Okrem nálezov z tejto jaskyne sa bukovohorské osídlenie doložilo predovšetkým v Kostrovej jaskyni, dokumentované keramikou, limnosilicitou čepeľou, osteologickými i skôr získanými nálezmi (1973 – 1974). V prípade jaskyne Jazvečí hrad nemožno s istotou rozhodnúť, či sa osídlenie viazalo na predjaskynný kužeľ, hrebeň nad jaskyňou, alebo aj na vnútorné jaskynné priestory. V jaskyni sa totiž realizoval len speleologický výskum, ktorým sa jaskyňa úplne vyčistila od sedimentov.

Na celom území Slovenského krasu sú pamiatky z eneolitu skôr výnimkou. V strednom a mladom až neskorom eneolite sa v strednej Európe rozšírila badenská kultúra. Vzhľadom na zosilnenie osídlenia v rámci územia Slovenska prekvapuje, že jaskynných i otvorených lokalít badenskej kultúry v Slovenskom krase a blízkom okolí je málo a aj tie pochádzajú zo starších terénnych aktivít (Slavec – Maštalná jaskyňa, Jasov – jaskyňa Fajka a Jasovská jaskyňa). So zreteľom na doložené osídlenie z jej najstaršej fázy (tzv. boľerázskej skupiny) na otvorenom sídlisku v Zádielských Dvorníkoch – časti Dvorníky (v polohe Ritkáš, tiež Hradište) možno v miestnych jaskyniach očakávať intenzívnejšie eneolitické osídlenie (Miroššayová, 1985, 158 – 160). Príkladom je región Spiša, kde spomedzi doložených pravekých osídlení zaznamenávame v tunajších jaskyniach práve najintenzívnejšie badenské osídlenie (Soják, 2007b, 71, graf 1).

V dobe bronzovej sa so starším ako kyjatickým osídlením stretávame v miestnych jaskyniach ojedinele. Okrem hájskej jaskyne Dora 1 (Soják a Terray, 2007, 60), ale aj Jasovskej jaskyne a jaskyne Fajka sú príkladom Kostrová a Tomášova jaskyňa, kde sa našli ojedinelé črepy pilinskej kultúry. Práve tvorcovia tejto kultúry sa prvýkrát v dobe bronzovej cieľavedomejšie sústredili aj na jaskyne Slovenského krasu a okolia. Z otvorených nálezísk možno najbližšie



nálezy pilinskej kultúry spomenúť zo Zádielskej doliny, odkiaľ pochádza hromadný nález desiatich reťazovite spojených tyčinkovitých náramkov z mladšej doby bronzovej (Bárta a Veliačik, 1977, 36 – 41). Na podloží pilinskej kultúry sa sformovala kyjatická kultúra (1100 – 750 pred Kristom), ktorej intenzitu osídlenia v tunajších jaskyniach možno prirovnať k osídleniu bukovohorskou kultúrou. Pri existencii doložených viacerých otvorených sídlisk (vrátane hradísk), pohrebísk a nálezov bronzových predmetov z blízkeho okolia to neprekvapuje (Budinský-Krička, 1963, 23 – 30; Lamiová-Schmiedlová, 1966, 120 – 121; Šiška, 1981, 290; Lamiová-Schmiedlová a Miroššayová, 1991, 179, 180, 182; Miroššayová a Terray, 2006, 147 – 148). Tvorcovia kyjatickej kultúry osídlili takmer všetky horizontálne jaskyne Slovenského krasu a využili aj priepasti na kultové účely. Azda najvýraznejšie doklady kultových obradov možno sledovať v Kostrovej jaskyni, kde sa hromada ľudských a zvieracích kostí vyskytuje v kultúrnej vrstve spolu s nálezovým materiálom. Vzácný je aj nález neúplnej bronzovej ihlice s výrazným podielom železa. Výskyt železa v kultúrach neskoršej doby bronzovej dnes už nie je žiadnym prekvapením, aj keď to nie je celkom bežný jav (Furmánek, 2004, 105 – 108). Škodou je, že sa stratili zlaté šperky z Kostrovej jaskyne, ktorých nálezové okolnosti (v šachte v rámci jaskyni) spolu so sprievodnými pamiatkami (hlavne antropologickými) zvýrazňujú jej kultové využitie.

O osídlení z doby halštatskej (7. – 6./5. storočie pred Kristom) sme informovaní z iných jaskýň – Slaninovej jaskyne, Kamennej tváre, Fajky, Oblúkovej jaskyne a na základe starších nálezov z Jasovskej jaskyne (Miroššayová, 2004, 357; v tlači). Poukázal som vyššie, že novozískaný nález fragmentu skleneného korálka (modrozelenej farby s bielo-modrými očkami) z Jasovskej jaskyne možno datovať len rámcovo do doby halštatskej až strednej doby laténskej (koniec 7. až 3. storočie pred Kristom).

Ojedinelý nález rímskeho denára z Veternej diery nad Hrhovom umožňuje predpokladať prítomnosť osídlenia z tohto obdobia v tejto i okolitých jaskyniach. Minca zatiaľ nenachádza v nálezoch z jaskyne oporu v sprievodnom, prevažne keramickom materiáli. To isté platí aj o staršom náleze rímskej mince z Jasovskej jaskyne, ktorá spolu s exemplárom z Veternej diery nad Hrhovom dokresľuje význam jaskýň Slovenského krasu a jeho blízkeho okolia pre človeka v dobe rímskej (Nálezy 1, 96, č. 261; Soják, 2005, 110, 112; Soják a Terray, 2003). Najbližšie otvorené sídlisko z doby rímskej ležalo južne od Jasovskej jaskyne v polohe Hámorka.

Vďaka nálezom z Moldavskej jaskyne (Soják a Terray, 2007) sa dnes už inak pozeráme na nálezy z 13. storočia z mnohých slovenských jaskýň. Do súvisu s historickými udalosťami v roku 1241 – nájazdmi mongolsko-tatárskych vojsk (Uličný, 2004) – preto možno s najväčšou pravdepodobnosťou klásť aj nálezy z vchodovej časti Jazvečieho hradu, z Oltárnej jaskyne i Veternej diery nad Hrhovom. V Jačmennej jaskyni si obyvatelia doniesli so sebou aj zásoby potravín, v tomto prípade obilia. Antropologická charakteristika časti lebky z Tatárskej jaskyne ukázala, že tu môžeme v budúcnosti azda rátať aj s antropologickými nálezmi cudzích dobyvateľov. Jednoznačný súvis uvedenej lebky s horizontom 13. storočia je však potrebné overiť rádiokarbónovou analýzou.

Vyššie prezentované nálezy z vybraných jaskýň indikujú nielen bohaté a poväčšine polykultúrne osídlenie, ale aj potrebu dôslednejšej ochrany všetkých známych i potenciálnych speleoarcheologických nálezísk (častejšie kontroly strážcami prírody, uzatváranie vchodov a pod.).

## LITERATÚRA

- BÁRTA, J. 1955. Praveké osídlenie Juhoslovenského krasu. *Krásy Slovenska*, 32, 10, 382–390.  
BÁRTA, J. 1969. Osídlenie slovenských jaskýň v staršej dobe kamennej. *Nové Obzory* 11, 201–224.  
BÁRTA, J. 1973. Druhé desaťročie intenzívnej speleoarcheologickej činnosti Archeologického ústavu SAV v Nitre (1962 – 1971). *Slovenský kras* 11, 85–98.  
BÁRTA, J. 1975. Speleoarcheologický výskum Kostrovej jaskyne pri Zádielskych Dvorníkoch. *Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 1974*. Nitra, 17–19.

- BÁRTA, J. 1978. Sto rokov od prvého speleoarcheologického výskumu Jasovskej jaskyne. *Krásy Slovenska* 55, 12, 536–540.
- BÁRTA, J. 1984. Tretie desaťročie speleoarcheologickej činnosti Archeologického ústavu SAV v Nitre (1972 – 1982). *Slovenský kras* 22, 245–265.
- BÁRTA, J. – VELIAČIK, L. 1977. Nálezy bronzových predmetov zo Zádielskych Dvorníkov-Zádielu. Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 1976. Nitra, 36–41.
- BELLA, P. – HLAVÁČOVÁ, I. – HOLÚBEK, P. 2007. Zoznam jaskýň Slovenskej republiky (stav k 30. 6. 2007). Liptovský Mikuláš, 364 s.
- BUDINSKÝ-KRÍČKA, V. 1963. Žiarové pohrebisko z mladšej doby bronzovej v Dvorníkoch, okr. Košice. Študijné zvesti AÚ SAV, 11. Nitra, 23–30.
- DUBRAVAY, J. 2007. Belo IV., uhorský kráľ (1206 – 1270). Legendy a mýty o jeho pobyte v hornouhorských jaskyniach. *Spravodaj SSS* 1, 76–77.
- EISNER, J. 1928. Archeologické výskumy v Jasovských jaskyniach. *Krásy Slovenska* 7, 137–144.
- EISNER, J. 1933. Slovensko v pravéku. Bratislava, 490 s.
- ERDÖS, M. 1975. Jasovská planina. Dokumentácia a registrácia povrchových a podzemných krasových foriem Slovenského krasu. Košice. Manuskript uložený v SMOPAJ v Liptovskom Mikuláši.
- ERDÖS, M. 1989. Gustáv Stibrányi – osemdesiatročný. *Spravodaj SSS* 2, 48–50.
- FURMÁNEK, V. 2004. Zlatý vek v Karpatoch. Keramika a kov doby bronzovej na Slovensku (2300 – 800 pred n. l.). Nitra, 182 s.
- HAJNALOVÁ, E. 1993. Obilie v archeobotanických nálezoch na Slovensku. Nitra, 148 s.
- HAJNALOVÁ, E. – SÝKOROVÁ, L. 1977. Prehľad botanických nálezov z archeologických výskumov. Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 1976. Nitra, 109–114.
- HOLÚBEK, P. – LEŠINSKÝ, G. 2006. Jaskyňa v Kapcovej skale. *Sinter* 14, 49–50.
- HUNKA, J. 2007. Mince a sekané striebro z Moldavskej jaskyne. In M. Soják a M. Terray, Ed. *Moldavská jaskyňa v zrkadle dejín. A Szepsi-barlang a történelem tükrében. Moldava nad Bodvou*, 42–78.
- KAMINSKÁ, L. 1993. Príspevok k osídleniu jaskýň v Slovenskom krase. *Východoslovenský pravek*, 4. Košice, 13–25.
- LALKOVIČ, M. 1988. Príspevok k histórii Jasovskej jaskyne. *Slovenský kras* 26, 47–72.
- LALKOVIČ, M. 2007. Rudolf Gajda a jaskyne na Slovensku. *Spravodaj SSS* 1, 71–75.
- LAMIOVÁ-SCHMIEDLOVÁ, M. 1966. Popolnicové pohrebisko v Zádielskych Dvorníkoch. *Svet vedy* 13, 120–121.
- LAMIOVÁ-SCHMIEDLOVÁ, M. – MIROŠŠAYOVÁ, E. 1991. Archeologická topografia Košice. Košice, 242 s.
- LEŠINSKÝ, G. – BUKOVSKÝ, K. 1999. Jaskyňa Mníchova diera. *Spravodaj SSS* 1, 23–26.
- LOŽEK, V. 1993. Malakofauna z jaskyne Slaninová v Hájskej doline. *Východoslovenský pravek*, 4. Košice, 27–30.
- LOŽEK, V. – SEKYRA, J. – KUKLA, J. – FEJFAR, O. 1957. Výskum Velké Jasovské jeskyně. *Anthropozoikum* 6, 193–282.
- MIROŠŠAYOVÁ, E. 1984. Výskum a prieskum mikroregiónu Zádielska dolina. Archeologické výskumy a nálezy v roku 1983. Nitra, 153–154.
- MIROŠŠAYOVÁ, E. 1985. Výskum a prieskum v Zádielskych Dvorníkoch. Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 1984. Nitra, 158–160.
- MIROŠŠAYOVÁ, E. 2004. Nálezy z doby halštatskej vo východnej časti Slovenského krasu. Archeologické výskumy v jižních Čechách – Supplementum 1, 351–364.
- MIROŠŠAYOVÁ, E., v TLAČI. Príspevok k nálezom z doby halštatskej v jaskyniach Slovenského krasu. *Východoslovenský pravek*, 8. Nitra – Košice.
- MIROŠŠAYOVÁ, E. – TERRAY, M. 2006. Nové nálezy z východnej časti Slovenského krasu. Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 2004. Nitra, 147–148.
- NÁLEZY 1 = ONDRUCH, V. 1964. Nálezy keltských, antických a byzantských mincí na Slovensku. Bratislava, 189 s.
- NÁLEZY 2 = HLINKA, J. – KRASKOVSKÁ, L. – NOVÁK, J. 1968. Nálezy stredovekých a novovekých mincí na Slovensku. Nálezy mincí na Slovensku II. Bratislava, 200 s.
- OLEXA, L. 1980. Záchraný speleoarcheologický výskum v Jasove. Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 1978. Nitra, 193–194.
- PRIKRYL, L. V. 1985. Dejiny speleológie na Slovensku. Bratislava, 204 s.
- SKUTIL, J. 1938. Paleolitikum Slovenska a Podkarpatskej Rusi. *Turčiansky Svätý Martin*, 295 s.
- SLIVKA, M. – VALLAŠEK, A. 1991. Hrady a hrádky na východnom Slovensku. Košice, 272 s.
- SOJÁK, M. 2003. Arpádovská minca z Tomášovej jaskyne. *Spravodaj SSS* 4, 37.
- SOJÁK, M. 2005. Osídlenie jaskýň. In J. JAKÁL, Ed. *Jaskyne svetového dedičstva na Slovensku*. Liptovský Mikuláš, 101–112.
- SOJÁK, M. 2006. Nálezy mincí z prostredia jaskýň. *Slovenská numizmatika*, 18. Nitra, 281–283.
- SOJÁK, M. 2007a. Jaskyňa Leontína (Ludmila) v archeologických prameňoch. *Aragonit*, 12. Liptovský Mikuláš, 62–67.



- SOJÁK, M. 2007b. Osídlenie spišských jaskýň od praveku po novovek. Nitra, 184 s.
- SOJÁK, M. v tlači. Archeologické objavy z vybraných jaskýň (Lžipovce, Debraď, Stratená). Slovenský kras, XLV. Liptovský Mikuláš.
- SOJÁK, M. – MIHÁLE, F. 2007. Interdisciplinárna spolupráca pri výskume speleoarcheologických lokalít na Slovensku (so zameraním na východné Slovensko). Ve službách archeologie, 1. Brno, 231–251.
- SOJÁK, M. – TERRAY, M. 2003. Osídlenie Žihľavovej jaskyne. Spravodaj SSS 4, 41–42.
- SOJÁK, M. – TERRAY, M. 2006. Nálezy z jaskýň na východnom okraji Slovenského krasu. Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 2004. Nitra, 190–193.
- SOJÁK, M. – TERRAY, M. 2007. Ed. Moldavská jaskyňa v zrkadle dejín. A Szepsi-barlang a történelem tükrében. Moldava nad Bodvou, 138 s.
- ŠEFČÁKOVÁ, A. 2007. Pleistocénne antropologické nálezy z územia Slovenska. Acta Rer. Natur. Mus. Nat. Slov., LIII. Bratislava, 26–45.
- ŠIŠKA, S. 1981. Nové nálezy z povodia Bodvy. Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 1980. Nitra, 289–291.
- ULIČNÝ, F. 2004. Vpády Mongolov na Slovensko v roku 1241. Vojenská história 3, 3–20.
- VENCLOVÁ, N. 1990. Prehistoric glass in Bohemia. Praha, 414 s.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	439 – 442	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## S P R Á V Y – R E P O R T S

### ADVANCES IN CAVE AEROSOL RESEARCH

JINDŘICH ŠTELCL, JIŘÍ FAIMON<sup>1</sup>, MIROSLAV KOMBĚREC, PETRA VESELÁ

<sup>1</sup> Department of Geological Sciences, Faculty of Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic; faimon@sci.muni.cz

**J. Štelcl, J. Faimon, M. Kombařec, P. Veselá: Advances in cave aerosol research**

**Abstract:** Aerosols were monitored in the Císařská Cave/Sloup–Šošůvka Caves (Moravian Karst, Czech Republic) and in the sites before the caves during 2004 – 2007 period. The aerosols were polydisperse: they consisted of (1) relatively large sharp-edged fragments up to 30 µm in diameter, (2) ultrafine particles of 30 – 100 nm in diameter, and (3) aggregates of these particles. Calcium and silicon dominated in the large particles of cave aerosol (Ca-contents were higher in the Císařská Cave aerosol) whereas silicon dominated in outdoor aerosol. Carbon dominated in ultra-fine particles. Trace metals (Zn > Cu > Pb) and minor Cl, S were found in the both cave and outdoor aerosol (higher S-content in outdoor aerosol). The stoichiometries of major/minor elements indicate (1) calcite/silicates in cave aerosol, (2) silicates/gypsum in outdoor aerosol, and (3) organic matter in both aerosols. The morphology and composition suggest that (1) large particles originate by mineral/rock disintegration whereas (2) ultra-fine particles originate by an organic matter dispergation (dead microorganism remainders, microorganisms, spores?). A condensation (sulfur oxide vs. calcite/plagioclase reaction as an example) probably contributes to both processes. The total weight concentrations of cave aerosols exceeded outdoor aerosol concentrations in winter. A dispergation of cave dust probably participates in this effect. In summer, the cave aerosol concentrations were low while outdoor aerosols were near maximum. In contrast, the ultra-fine particle concentrations were roughly identical in both environments: they were minimum in summer and maximum in winter. Based on the results, cave aerosol was identified as a complex mix of (1) outdoor dragged-in aerosol and (2) a cave native aerosol. Just a little difference between cave and outdoor aerosols somewhat questions the role of cave aerosols as an essential factor at speleotherapy.

**Key words:** aerosol; atmosphere; cave; composition; distribution; morphology; outdoor; particle; season

### INTRODUCTION

Aerosol is a multiphase system that is composed of solid/liquid particles of 1 nm – 10 µm in diameter dispersed in gas. Aerosol may be relatively time-stable due to repulsion forces between particles resulting from their electric charge. Condensation/dispergation and aggregation/sedimentation are the main processes leading to aerosol formation and extinction, respectively. In continental environment, aerosol particles are primarily generated by a dispergation of weathered rocks. The sites without vegetation are especially convenient (Zhang et al., 2001). In addition to natural processes, aerosols can be produced by some human activities.

*Cave aerosol* represents an important part of cave atmosphere: (1) it participates on speleothem formation (Klimchouk et al., 1995) and (2) it is believed to be a factor effective at speleotherapy (Jirka et al., 2001). *Aim of the work* was (1) to obtain new informations on particle morphology and composition, (2) to compare cave and outdoor aerosols, and (3) to identify season impact. Aerosols were monitored in the North Part of the Moravian Karst (Czech Republic) during the period from December 2004 to April 2007. The Císařská Cave, Sloup–Šošůvka Caves, and the sites before the both caves were chosen as monitoring sites.

## METHODS

Atmosphere was ultra-filtered under using a special apparatus assembled of (1) a probe with membrane filter (Pragopor 11, pores  $50 \pm 10$  nm in diameter), (2) membrane vacuum pump (KNF, N 035.1.2 AN.18, 55 L/min), and (3) gas-meter (G5 RF1, Qmax = 10 m<sup>3</sup>/hod, 15 – 30 m<sup>3</sup> per filter).

Parts of the filters were carbon-coated and imaged/analyzed by electron microprobe (CAMECA SX 100, WDX) (large particles by point-analyses, fine particles by large-spot-analyses). Based on the SEM images, size analyzes were conducted and particle weight concentrations were calculated. Other parts of the filter were gold-coated. They were imaged and analyzed by high-resolution SEM (JSM 6700F JEOL) and EDX (INCA, Oxford Instruments), respectively.

## RESULTS AND DISCUSSION

### *Particle Morphology and Distribution*

Both cave aerosol (CA in the next text) and outdoor aerosol (OA in the next text) were polydisperse. They consisted of (1) large sharp-edged fragments (up to 30µm in diameter) and (2) a super-fine matter (composed of near-spherical nanoparticles of 30 – 100 nm in diameter and aggregates of the particles). Remarkable spherical ultra-fine particles with warty surfaces composed of organic matter were observed in OA especially (in CA only sporadically). Based on our working hypothesis, the particles could be spores of microorganisms (*Penicillium*, *Aspergillus*?). In general, the number of particles in aerosols increased with decreasing particle diameter. In contrast, the share of particles on total weight concentrations increased with particle diameters. The morphologies of particles in both CA and OA were similar.

### *Comparison of Cave and Outdoor Aerosols*

In winter, the total weight concentrations of CA were high and exceeded the OA-concentrations. Reasons are probably (1) a dust dispergation in cave due to intensive ventilation and (2) no dispergation of outdoor dust due to wet/snow-covered terrain. In summer, the concentrations were reversed: CA-concentrations were low and OA-concentrations were high. Reasons are possibly (1) a dust dispergation in dry outdoor terrain and (2) low cave ventilation with (a) no aerosol drawing into cave and (b) no cave dust dispergation. In contrast, the concentrations of ultra-fine particles in the both CA and OA were at maximum in winter. An explanation could be enhanced formation of the particles in this period and an intensive exchange of cave and outdoor atmospheres.

### *Aerosol composition*

Aerosol composition was variable depending on site and season. In the large particles, calcium dominates in CA whereas silicon dominates in OA. In fact, more calcium was found in the Čisářská Cave aerosol in comparison to Sloup-Šošůvka Cave aerosol. The reasons could be drier Sloup-Šošůvka Caves, based on a hypothesis that part of calcium is generated by dripwater dispergation. The stoichiometry of large particles suggests that calcite/silicates and silicates/gypsum participate in CA and OA, respectively. Carbon with oxygen dominates in the fine particles, which indicates an organic matter origin. Metals (Zn > Cu > Pb), sulfur, and chlorine were found in trace/minor concentrations in the both CA and OA. In fact, CA comprised less sulfur than OA, which indicates that CA (its part at least) is formed in cave independently. Based on the former results, we tend to opinion that aerosol monitored in cave is a complex mix of a dragged outdoor aerosol and a cave native aerosol.

## CONCLUSIONS

- Both morphology and composition indicate that large particles originate by disintegration of minerals/rocks whereas ultra-fine particles originate by an organic matter dispergation

(dead microorganism remainders / microorganism spores). A particle condensation based on reaction of atmospheric gases with terrestrial dust probably contributes to the both former processes.

- Cave dust dispergation probably contributes to the formation of larger particles in cave aerosol in winter
- Dripwater dispergation possibly contributes to the enhanced calcium contents in cave aerosol
- Ultra-fine particles are identical in the both cave and outdoor environments. They are probably freely exchanged and their cave content is controlled by outdoor concentrations
- Resulting monitored cave aerosol seem to be a complex mixture of dragged outdoor aerosol and native cave aerosol
- Just little difference in CA and OA on the both monitoring sites questions the role of cave aerosols at speleotherapy as an essential therapeutic factor

## SOUHRN

V období mezi prosincem 04 a dubnem 07 byly v Císařské jeskyni, Sloupsko-Šošůvských jeskyních (Moravský kras, Česká republika) a v místech před oběma jeskyněmi systematicky vzorkovány atmosférické aerosoly. Jak jeskynní tak venkovní aerosoly byly polydisperzní: skládaly se z relativně velkých ostrohranných částic (do 30  $\mu\text{m}$  v průměru), nanočástic (30 – 100 nm v průměru) a agregátů nanočástic. Ve velkých částicích jeskynního aerosolu dominoval Ca a Si (vyšší obsahy Ca byly zaznamenány v aerosolu Císařské jeskyně) zatímco ve stejných částicích venkovního aerosolu převládal Si. Stechiometrie velkých částic odpovídaly kalcitu a silikátům v jeskynním aerosolu, resp. silikátům a sádrovcí ve venkovním aerosolu. V nanočásticích byl jako majoritní prokázán uhlík a kyslík, což signalizuje přítomnost organické hmoty. Kromě agregátů nanočástic byly ve venkovním aerosolu (v jeskynním aerosolu jen sporadicky) pozorovány nápadné sférické částice s bradavčítým povrchem o průměru 300 – 500 nm složené z organické hmoty. Podle pracovní hypotézy by to mohly být spory některých mikroorganismů. Jak v jeskynním tak venkovním aerosolu byly v minoritních/stopových koncentracích prokázány kovy (Zn > Cu > Pb), chlór a síra, přičemž obsahy síry ve vnějším aerosolu převyšovaly obsahy v jeskynním aerosolu. Jak morfologie částic tak jejich složení naznačují, že velké částice vznikaly dezintegrací minerálních fází zatímco nanočástice vznikaly dispergací organické hmoty (ať už pozůstatků odumřelých organismů nebo ve formě sporů). K oběma procesům zřejmě přispívá různou měrou kondenzace částic např. reakcemi oxidů síry s prachovými částicemi (kalcit, živec). V zimě převýšila *celková* hmotová koncentrace speleo-aerosolu koncentraci venkovního aerosolu (zřejmě jako důsledek dispergace jeskynního prachu při zvýšené ventilaci jeskyně). V létě byla koncentrace jeskynních aerosolů naopak minimální, zatímco koncentrace venkovního aerosolu byla blízko maxima. Koncentrace jemných částic (0,5 – 1  $\mu\text{m}$ ) byla ve všech prostředích zhruba stejná s maximem v zimě. Předpokládáme, že se tyto a menší částice volně vyměňují mezi jeskynním a venkovním prostředím a že jejich koncentrace v jeskyni je řízena aktuálními venkovními koncentracemi. Na základě těchto poznatků byl výsledný jeskynní aerosol definován jako komplikovaná směs zavléčeného vnějšího aerosolu a původního jeskynního aerosolu. Malé rozdíly mezi jeskynním a venkovním aerosolem zpochybňují roli jeskynního aerosolu jako jednoho z potenciálních léčebných faktorů při speleoterapii.

## REFERENCES

JIRKA, S. – BOHÁČ, S. – BUČEK, A. – ČÍZEK, O. – FAIMON, J. – HEŘMANOVÁ, Z. – HOLZER, M. – HUSÁRKOVÁ, I. – MALINČÍKOVÁ, J. – NAVRÁTIL, O. – PANOŠ, V. – PUČÁLKA, R. – RÍPLOVÁ, D. – SAS, D. – SLÁDEK, P. – SVOZIL, V. – SZOTKOWSKÁ, J. – ŠTELCL, J. – VAŠÁTKO, J. – WEIGL, E. – ZAPLETALOVÁ, J. – ZIMÁK, J. 2001. Speleotherapy, principles, and experiences. Palackého Univerzity, Olomouc (in Czech), 9–20 pp.

- KOMBEREC, M. 2006. Aerosols in outdoor atmosphere and atmosphere of the selected cave of Moravian Karst. MSc thesis (J. Faimon supervisor), MU, Brno (in Czech).
- KLIMCHOUCK, A. B. – NASEDKIN, V. M. – CUNNINGHAM, K. I. 1995. Speleothems of aerosol origin. National Speleological Society Bulletin, 57, 31–42.
- Veselá, P. 2007. Detail characterization of cave aerosol of the Sloup-Šošůvská Caves. BSc thesis (J. Štelcl supervisor), MU, Brno (in Czech).
- ZHANG, J. – WU, Y. – LIU, C. L. – SHEN, Z. B. – YU, Z. G. – ZHANG, Y. 2001. Aerosol characters from the desert region of Northwest China and the Yellow Sea in spring and summer: observations at Minqin, Qingdao, and Qianliyan in 1995 – 1996. Atmospheric Environment, 35, 5007–5018.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	443 – 445	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## CAVE MICROCLIMATE IMPACT ON KARST PROCESSES: ROLE OF CAVE VENTILATION

JIRÍ FAIMON<sup>1</sup>, DANA TROPPOVÁ

<sup>1</sup> Department of Geological Sciences, Faculty of Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic; faimon@sci.muni.cz

### **J. Faimon, D. Troppová: Cave Microclimate Impact on Karst Processes: Role of Cave Ventilation**

**Abstract:** Cave ventilation and its impact on microclimatic parameters were studied in the Císařská Cave (the northern part of the Moravian Karst, Czech Republic) during 2006 – 2007 period. Air fluxes through cave oscillated with a period of few seconds and amplitude about  $0.1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Mean volume fluxes through the lower and higher entrances, respectively, varied from  $+0.10$  to  $-0.05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  and from  $-0.19$  to  $+0.07 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  as outdoor temperature varied between  $-3.2$  and  $31.9 \text{ }^\circ\text{C}$ . The unbalanced fluxes indicate minor additional fluxes in/out of cave. A nonlinear dependence of air flux on outdoor temperature was found. The fluxes were lowest at  $13 \text{ }^\circ\text{C}$ . They oscillated with  $0.03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  amplitude and changed their directions. The cave ventilation,  $v = 0.059 \text{ hour}^{-1}$ , and residence time,  $\tau = 17$  hours, were calculated from the maximum flux of  $0.188 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . The residence time value indicates that cave atmosphere should be completely exchanged during 17 hours under these conditions and at an ideally piston flux. The cave ventilation influenced distribution of temperature/humidity across the cave. The cave temperature varied from  $8$  to  $14 \text{ }^\circ\text{C}$  near the entrances and from  $8$  to  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  deeper in cave. Relative humidity of cave atmosphere varied in the  $75 - 95 \%$  range near the entrances and in the  $90 - 95 \%$  range deeper in the cave. A pattern of water condensation in cave changed with air flux direction. An extended condensation was observed near the higher entrance in summer.

**Key words:** atmosphere; cave; condensation; flow direction; flux; oscillation; ventilation

### INTRODUCTION

Gas levels, temperature, humidity, and some others factors (e.g., aerosol concentrations) are important cave microclimatic parameters.  $\text{CO}_2$  – concentration controls/participates in (1) speleothem growth/dissolution, (2) a speleotherapeutic effect, and (3) a visitor health risk at higher value. Correspondingly,  $\text{Rn}$ -concentration represents (1) a speleotherapeutic factor and (2) an exposure risk for visitors. Temperature/humidity (1) controls a water condensation (potential for speleothem corrosion) and (2) represents a speleotherapeutic factor. A master process that controls all microclimatologic parameters is cave ventilation. In addition cave geometry imposing a basic microclimatic behavior (dynamic/static caves), temperature gradients between outdoor and cave atmospheres are driving forces.

#### *Monitoring Site*

A case study was performed in the Císařská Cave (the north part of the Moravian Karst, Czech Republic) in the period from 2006 to 2007. The cave is formed in Devonian Limestones of the Macocha Formation. It has two entrances that differ by  $10 \text{ m}$  in elevation (Absolon, 1970; Faimon et al., 2006). Both entrances are equipped by steal doors, in which are open windows of  $0.04 \text{ m}^2$  area.

## METHODS

Air flow velocity was measured by standard anemometer (La Crosse EA 3000) at the door windows. Temperature/humidity of both outdoor and cave atmospheres was measured by digital thermometer/hygrometer (Greisinger GFTH 200). Water condensation was checked on etalons ( $100 \times 50 \times 2$  mm metal sheets) that were arranged across the cave. Extent of condensation was estimated on a relative scale from zero to 4.

## RESULTS AND DISCUSSION

### *Air Flow / Cave Ventilation*

The monitored air fluxes ordinarily oscillated with time-period of tens seconds and amplitude up to  $0.10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . The mean volume fluxes through the lower entrance varied from  $+0.10$  to  $-0.05 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (the “+ sign” stand for the flux direction into cave) as outdoor temperature varied from  $-3.2$  to  $31.9 \text{ }^\circ\text{C}$ . In the same temperature range, the fluxes through the higher entrance varied from  $-0.19$  to  $+0.07 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . The air fluxes through the entrances were unbalanced, which indicates some minor additional fluxes through some additional cave openings. A nonlinear dependence of air flux on outdoor temperature was found. The fluxes were suppressed at  $13^\circ\text{C}$ , but were not zero. They oscillated with the amplitude up to  $0.03 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  and changed their direction in/out of cave. Cave ventilation  $v = 0.059 \text{ hour}^{-1}$  and residence time  $\tau = 17$  hours were calculated, based on maximum monitored air flux of  $0.188 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , total cave volume of  $11\,500 \text{ m}^3$  and a simple one-reservoir dynamic model. The residence time value indicates that cave atmosphere will be fully exchanged during 17 hours if an ideally piston flux is considered.

### *Cave temperature/humidity and water condensation*

The ventilation influenced temperature/humidity distribution across the cave. Temperature varied in the  $8 - 14 \text{ }^\circ\text{C}$  range near the cave entrances and in the narrower  $8 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$  range deeper in cave. The cave atmosphere relative humidity varied in the  $75 - 95\%$  range near the entrances and in the  $90 - 95\%$  range deeper in the cave.

Intensive water condensation occurred across the cave in all seasons. A condensation pattern changed with air flux direction. Despite the fact that water condensed rather deeper in cave, an extended condensation was observed near the higher entrance in summer.

## CONCLUSIONS

- cave ventilation is controlled by outdoor conditions (temperature)
- the dependence of air flux on outdoor temperature is nonlinear
- air flux through cave oscillates
- cave ventilation influences a distribution of cave microclimatic parameters
- air flow direction control a pattern of water condensation in cave
- outdoor atmosphere of extreme temperature/humidity may be responsible for condensation near cave entrances

## SOUHRN

V období 2006 až 2007 byla v Císařské jeskyni (severní část Moravského krasu, Česká republika) studována ventilace a její vlivy na mikroklimatické parametry. Proudění vzduchu bylo monitorováno v úrovni okének (s průřezem  $0,04 \text{ m}^2$ ) ve dveřích dolního a horního vchodu jeskyně (s výškovým rozdílem  $10 \text{ m}$ ). Objemové toky jeskyní běžně oscilují s periodou několik sekund a amplitudou kolem  $0.1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Průměrné toky vzduchu dolním vchodem se pohybovaly v rozmezí  $0.10$  až  $-0.05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  a toky horním vchodem v rozmezí  $-0.19$  až  $0.07 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (záporné znaménko udává směr proudění ven z jeskyně) v závislosti na změnách venkovní teploty v rozmezí  $-3.2$  až  $31.9 \text{ }^\circ\text{C}$ . Toky jednotlivými vchody nebyly zcela vyrovnané, což signalizuje přísávání/únik vzduchu v některých pasážích jeskyně.



Mezi průměrnými objemovými toky a venkovní teplotou byla nalezena nelineární závislost. Nejnižší, avšak nenulové toky byly zaznamenány při vnější teplotě kolem 13 °C, kdy oscilovaly s amplitudou až 0.03 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> a občas měnily směr do/z jeskyně. Maximální naměřený tok 0.188 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> byl přepočítán na ventilaci jeskyně  $v = 0.059 \text{ hod}^{-1}$  a čas zadržení  $\tau = 17 \text{ hod}$ . Za daných podmínek a za předpokladu ideálního pístového toku by se tedy jeskynní atmosféra kompletně vyměnila během 17 hod. Ventilace výrazně ovlivňovala distribuci teploty/vlhkosti napříč jeskyní: Teplota kolísala od 8 do 14 °C v blízkosti vchodů a od 8 do 10 °C hlouběji v jeskyni. Relativní vlhkost kolísala mezi 75 – 95 % blízko vchodů a mezi 90 – 95 % dále v jeskyni. Rozložení/intenzita kondenzace napříč jeskyní se měnila se směrem proudění – k intenzivnější kondenzaci docházelo hlouběji v jeskyni. Poblíž horního vchodu byla prokázána rozsáhlá kondenzace pouze v létě za extrémních podmínek ( $t \sim 32 \text{ °C}$ ).

Acknowledgement. The authors thank Pavel Slavík, the director of the Children Sanatorium with Speleotherapy in the Ostrov u Macochy (Czech Republic), for broad support. The work was supported by the MSM0021622412 grants of Ministry of Education, Youth and Sports of Czech Republic.

#### REFERENCES

- ABSOLON, K. 1970. Moravský kras (in Czech). Academia, Prague, 416 pp, (in Czech).
- FAIMON J. – ŠTELCL, J. – SAS, D. 2006. Anthropogenic CO<sub>2</sub> – flux into cave atmosphere and its environmental impact: A case study in the Císařská Cave (Moravian Karst, Czech Republic). Science of the Total Environment 369, 231–245.



SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	447 – 450	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## CAVE MICROCLIMATE IMPACT ON KARST PROCESSES: ROLE OF CAVE VENTILATION

MONIKA SCHWARZOVÁ<sup>1</sup>, JIŘÍ FAIMON<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of geological science, Faculty of Science MU Brno, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic; schwarzova.m@seznam.cz; faimon@sci.muni.cz

### **M. Schwarzová, J. Faimon: Concentration of CO<sub>2</sub> in soils and caves of the Moravian karst (Czech Republic)**

**Abstract:** Carbon dioxide produced in soils is the main factor controlling the karst processes as limestone dissolution or speleothems growth. On selected sites of the north part of Moravian Karst, carbon dioxide was systematically monitored in (1) atmosphere of both tourist and closed caves and in (2) soil profiles above the caves during one-year-period. The CO<sub>2</sub> – concentrations in soil profiles and caves were seasonally dependent: they were high in Summer and low in Winter (near outdoor values). Soil CO<sub>2</sub> – concentrations were positively correlated with outdoors temperatures ( $R^2 \sim 0.60 \pm 0.12$  on average) and negatively correlated with humidity ( $R^2 \sim 0.34 \pm 0.27$ ). Only a little impact of vegetation type on soil CO<sub>2</sub> production was recognized: (1) similar concentrations were found in all types of forests (deciduous, mixed, coniferous), however, (2) somewhat higher values were found in grass field and meadow. Cave CO<sub>2</sub> – concentrations were positively correlated with soil concentrations. A medium correlation was found in the case of the tourist cave ( $R^2 \sim$  from 0.41 to 0.57) where CO<sub>2</sub> was affected by anthropogenic CO<sub>2</sub>. Higher correlation was found for the closed cave ( $R^2 \sim 0.87$  and 0.89). The achievement of a better correlation is probably spoiled by cave ventilation and by limited rate of the CO<sub>2</sub> transport from soils to caves.

**Key words:** Carbon dioxide; Cave; Karst Process; Moravian Karst; Soil

## INTRODUCTION

It is still little known, whether and to what extent a vegetation type can influence carbon dioxide levels in soil profiles. The question seems to be very rational as soil CO<sub>2</sub> is produced by degradation of the native organic matter (plant and animal residues). Because both limestone dissolution and speleothems growth are controlled by CO<sub>2</sub> – concentrations, the potential answer would be of interest for cavers, geochemists, and environmentalists. In fact, the problem is somewhat complicated by some additional impacts of rainfalls (acidity), temperatures, timber harvesting, agriculture, etc. In addition to soil CO<sub>2</sub> – production itself, no less important question is how soil CO<sub>2</sub> controls cave CO<sub>2</sub>. Therefore, the goals of the work were (1) to evaluate an impact of different types of vegetation on soil CO<sub>2</sub> – production and (2) to verify how soil and cave CO<sub>2</sub> correlate with each other.

## SITES AND METHODS

CO<sub>2</sub> – concentrations, temperature, and humidity were monitored in the Balcarka/ Amatérská Cave (North part of Moravian Karst) and in drill soil holes above the caves during 2006 – 2007 periods. The Balcarka Cave represents a tourist open cave with 30 – 40 000 visitors per year and with lesser depth bellow surface (about 10 – 50 m). The monitoring sites were Objevitelský Chimney and Velký Dóm Chamber. The Amatérská Cave is an example of a closed cave for public. It represents about 30 km of monumental corridors and chambers. The depth bellow the surface is mostly more than 100 m. Number of visitors is less than 100 people per year. The monitoring site was in the Za štolou Corridor.

The probes were drilled out in the Ahorizon of soil profile (about 25 cm in length and 5 cm in diameter) above the cave monitoring sites. Each soil probe was reinforced with a polyethylene net and closed by a plastic cover. The monitoring sites, character of vegetation and relation to cave are shown in Table 1.

The concentrations of CO<sub>2</sub> were measured by infrared spectrometer (IR – detektor FT A600-CO<sub>2</sub>H linked with ALMEMO 2290-4 V5, Ahlborn, Germany). The relative humidity and temperature of soil- and cave atmosphere were monitored by digital hydro/thermometer (GFTH 200, Greisinger Electronic GmbH, Germany).

Table 1 Monitoring sites, vegetation type and relation to a cave

Site	Vegetation	Cave
Balcarka Pasture	grass field	Balcarka Cave – Objevitelský Chimney
Ostrov u Macochy Meadow	meadow	Balcarka Cave – Velký Dóm Chamber
Ostrov u Macochy Forest	mixed forest	Balcarka Cave – Velký Dóm Chamber
Pustý Žleb Valley	deciduous forest	Amatérská Cave – Za Štolou Corridor
Košský Spád Forest	coniferous forest	Amatérská Cave – Za Štolou Corridor

## RESULTS AND DISCUSSION

### *Soil CO<sub>2</sub>, Temperature, and Humidity*

Maximum CO<sub>2</sub> – concentration, 0.45 vol. %, and highest mean value, 0.30 ± 0.09 (standard deviation) vol. %, were measured in the soil of the Balcarka Pasture Grass Field. The enhanced values could be a consequence of an animal breeding (sheep, goats). In fact, just slightly lower concentrations were found in the soil of the Ostrov u Macochy Meadow (0.44 vol. % maximum, 0.23 ± 0.08 vol. % on average). In other sites, the mean soil CO<sub>2</sub> – concentrations varied from 0.18 to 0.22 vol. %, 0.20 ± 0.06 vol. % on average. Just small differences were found between the CO<sub>2</sub> – concentrations in soils of coniferous and deciduous forests. The mean values differed in 0.02 – 0.04 vol. %. The former results suggest that the vegetation impact on soil CO<sub>2</sub> – levels are probably lesser than it is generally assumed.

Temperatures in the shallow soil probes (–4.5 to 31.2 °C, 14.5 ± 8.8 °C on average) copied outdoor temperatures (–5 to 30 °C) and decreased under freezing point in Winter. Relative humidity in soil probes varied from 43 to 82 % (67.0 ± 9.6 % on average). The lowest values were measured in Summer, when the soil profiles, especially A – horizon, were sun-baked. The highest humidity was found in Fall and Spring.

### *Cave CO<sub>2</sub>*

The mean caves CO<sub>2</sub> – concentrations were 0.14 ± 0.04, 0.16 ± 0.07, and 0.24 ± 0.09 vol. % in the Objevitelský Chimney, Velký Dóm Chamber and Za Štolou Corridor, respectively. They varied in a wider interval (0.08 to 0.42 vol. %) in comparison with soil CO<sub>2</sub>. The soil CO<sub>2</sub> levels generally exceed the cave levels. However, the CO<sub>2</sub> – levels in the Amatérská Cave (0.12 to 0.42 vol. %) were paradoxically higher than the soil CO<sub>2</sub> – levels in corresponding monitoring sites (from 0.12 to 0.32 vol. %, 0.20 ± 0.05 vol. % on average). An additional CO<sub>2</sub> – source in epikarst seems to be most probable explanation.

## CORRELATIONS

Both soil and cave CO<sub>2</sub> – concentrations were seasonally dependent: they decreased in Fall/Winter and increased in Spring/Summer. In soil profiles, the highest CO<sub>2</sub> – concentrations were reached during vegetation period at an enhanced activity of the organisms participating

in organic matter degradation. The lowest CO<sub>2</sub> – concentrations were measured in Winter when temperature had decreased under freezing point. The reason was probably a reduction of biological activity. Soil CO<sub>2</sub> is positively correlated with temperature; the coefficient of determination, R<sup>2</sup>, varied from low 0.36 (Balcarka Pasture) to medium 0.78 (Amatérská Coniferous Forest) with the mean value of R<sup>2</sup> ~ 0.60 ± 0.12. In contrast, soil CO<sub>2</sub> is negatively correlated with humidity even though the correlation is lower, as the mean value of R<sup>2</sup> ~ 0.34 ± 0.27 indicates. The negative dependence is surprising; one would estimate rather positive effect of humidity on biogenic processes.

The cave CO<sub>2</sub> – concentrations sharply decreased in Fall when outdoor temperature decreased below cave temperature. Enhanced cave ventilation could be the reason of such behavior. The increase of cave CO<sub>2</sub> – levels in Spring is delayed behind the soil CO<sub>2</sub> – level increase. This is probably a consequence of a limited transport rate of CO<sub>2</sub> from soil to cave. To evaluate some positive variations in CO<sub>2</sub> – concentrations in tourist cave, fluxes of anthropogenic CO<sub>2</sub> must be taken into consideration (Faimon et al. 2006). In agreement with general presumptions, cave CO<sub>2</sub> was positively correlated with soil CO<sub>2</sub>. However, the determination coefficient was reduced by the influences listed above. On the Balcarka Site, the determination coefficient were medium, R<sup>2</sup> ~ 0.57 (Pasture – Chimney Chamber), R<sup>2</sup> ~ 0.41 (Meadow – Velký Dóm Chamber), and R<sup>2</sup> ~ 0.52 (Mixed Forest – Velký Dóm Chamber). Despite the expected additional CO<sub>2</sub> source, high correlations were found in the Amatérská Cave Sites: R<sup>2</sup> = 0.89 for Deciduous Forest/Za Štolou Corridor and R<sup>2</sup> = 0.87 for Coniferous Forest/Za Štolou Corridor.

## CONCLUSIONS

- Both soil and cave CO<sub>2</sub> – concentrations were seasonally dependent: they were higher in Summer and close to outdoor values in Winter.
- Annual evolution of cave CO<sub>2</sub> – concentration was represented by a smooth line
- Annual evolution of soil CO<sub>2</sub> – concentrations was affected by stronger fluctuations
- CO<sub>2</sub> – concentrations in soils exceeded the Balcarka Cave concentrations.
- CO<sub>2</sub> – concentrations in the closed Amatérská Cave exceeded the soil concentrations. Some external CO<sub>2</sub> – source in epikarst seems to be a best explanation.
- Soil CO<sub>2</sub> was positively correlated with temperature.
- Soil CO<sub>2</sub> was negatively correlated with humidity.
- Cave CO<sub>2</sub> was positively correlated with soil CO<sub>2</sub>. The correlation was spoiled by the impacts of (1) cave ventilation, (2) limited rate of CO<sub>2</sub> transport from soils to caves, and (3) anthropogenic CO<sub>2</sub> – fluxes.
- A high correlation was found between soil CO<sub>2</sub> and Amatérská Cave CO<sub>2</sub>.

## SOUHRN

Ve vybraných jeskyních severní části Moravského krasu (Amatérská jeskyně a jeskyně Balcarka) a v půdních sondách nad jeskyněmi byl po dobu 1 roku ve 14-ti denních intervalech systematicky monitorován CO<sub>2</sub>. Cílem práce bylo (1) vyhodnotit vliv odlišných typů vegetačního pokryvu na produkci CO<sub>2</sub> a (2) korelovat půdní CO<sub>2</sub> s jeskynním CO<sub>2</sub>.

Koncentrace CO<sub>2</sub> v půdních profilech i v jeskynní atmosféře byly výrazně sezónně závislé – vysoké v létě a nízké v zimě. Vysoké koncentrace v půdách během letních měsíců zřejmě souvisí s vrcholícím vegetačním obdobím a se zvýšenou aktivitou mikroorganismů podílejících se na degradaci organické hmoty. Nízké koncentrace půdního CO<sub>2</sub> v zimním období jsou naopak důsledkem zpomalení biogenních procesů při nízkých teplotách. Na rozdíl od lokality Balcarka, kde koncentrace půdního CO<sub>2</sub> převyšovaly koncentrace v jeskyni, v Amatérské jeskyni byly koncentrace překvapivě vyšší, než v monitorovaných půdách. Přijatelným vysvětlením může být existence paralelního (a monitoringem nezastíženého) zdroje CO<sub>2</sub> v epikrasu. Vývoj koncentrací CO<sub>2</sub> v jeskynní atmosféře byl reprezentován

poměrně hladkými křivkami bez velkých lokálních výkyvů, zatímco v půdním profilu docházelo během roku k větším fluktuacím.

Koncentrace  $\text{CO}_2$  v půdních profilech byly pozitivně korelovány s venkovní teplotou a negativně korelovány s půdní vlhkostí. Vliv vegetace na produkci půdního  $\text{CO}_2$  byl jen malý: v lesních půdách byly koncentrace obdobné bez ohledu na fakt, zda se jedná o les listnatý, smíšený nebo jehličnatý. Tyto koncentrace však byly vesměs lehce převyšovány koncentracemi  $\text{CO}_2$  v půdách na louce/pastvině.

Vysoký stupeň korelace vykazovaly koncentrace  $\text{CO}_2$  v Amatérské jeskyni (lokality Za štolou) a v půdách listnatého/jehličnatého lesa nad jeskyní. Nižší korelace byla nalezena mezi koncentracemi  $\text{CO}_2$  v jeskyni Balcarka a v příslušných půdách. Dosažení těsnější korelace zřejmě brání (1) ventilace jeskyně, (2) limitovaná rychlost transportu  $\text{CO}_2$  z půd do jeskyně a (3) antropogenní toky  $\text{CO}_2$ .

Acknowledgements. We thank Dr. A. Tůma from The Agency for Nature Conservation and Landscape Protection of the Czech Republic and employees of The Cave Administration in Blansko for wide support. The presented work was supported by the MSM0021622412 grants of Ministry of Education, Youth and Sports of Czech Republic.

#### REFERENCES

- FAIMON, J. – ŠTELCL, J. – SAS, D. 2006. Anthropogenic  $\text{CO}_2$  – flux into cave atmosphere and its environmental impact: A case study in the Císařská Cave (Moravian Karst, Czech Republic). *Science of the Total Environment* 369, 231–245 (Elsevier).

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	46/2	451 – 455	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2008
--	------	-----------	------------------------

## RECENZIE – REVIEWS

### SZÉKELY, K. : KESSLER HUBERT A BARLANGKUTATÓ

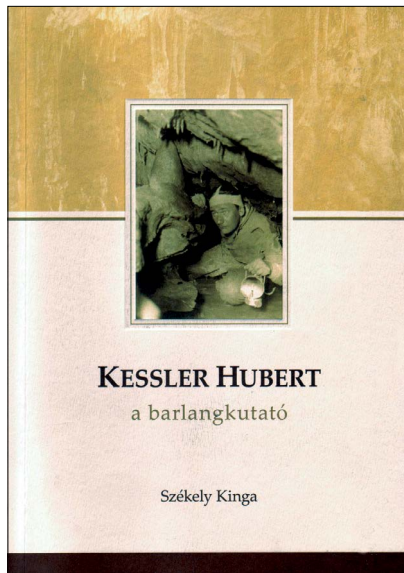
Jósvafő, 2008, 158 s. ISBN 978-963-87082-6-7

Vplyvom priaznivých okolností sa v priebehu 20. storočia v maďarskom jaskyniarstve výrazne presadili dve osobnosti. Prvou je Ottokar Kadić, všeobecne považovaný za otca maďarského jaskyniarstva. Ďalšiu osobnosť predstavuje Hubert Kessler, speleológ a v dejinách jaskyne Baradla jej najúspešnejší riaditeľ. Z takéhoto aspektu sa publikácia maďarskej bádateľky, ktorá sa dlhodobo zaoberá históriou maďarského jaskyniarstva, orientuje na osobnosť H. Kesslera, aby v intenciách svojho zámeru priblížila charakter speleologickej činnosti ako dominantnej zložky jeho plodného života.

Tomuto zámeru zodpovedá aj celková skladba publikácie. Jej úvodnú časť tvorí predslov G. Salomona, riaditeľa Národného parku Aggtelek, keďže táto inštitúcia zabezpečila jej vydanie. Za tým nasleduje vlastný úvod, ktorý objasňuje zmysel a podstatu publikácie. Ťažiskovou časťou sú kapitoly, v ktorých sa autorka prostredníctvom zachovaného dokumentačného materiálu, osobných spomienok a početných fotografií usiluje priblížiť významné úseky Kesslerovho jaskyniarskeho života. Záverečná časť publikácie má bibliografický charakter. Popri bibliografii prác H. Kesslera, obsahuje aj súpis prác, ktoré sa zaoberajú jeho činnosťou.

V takto vymedzených intenciách autorka sa najprv venuje rodinným vzťahom. H. Kessler pochádzal zo sedmohradskej saskej rodiny a detstvo prežil v rôznych častiach Uhorska. Už prvá manželka, amatérska výtvarníčka, stala sa aktívnou účastníčkou jeho vtedajších jaskyniarskych vychádzok či iných podujatí. Aj druhá manželka, turistka, zapadla do jaskyniarskeho diania a bola mu oporou až do posledných chvíľ jeho života. Z časti, ktorá sa týka univerzitných štúdií a pracovného pôsobenia H. Kesslera, vyplýva, že štúdiom na Technickej univerzite v Budapešti absolvoval roku 1932 a štúdium na Univerzite vied roku 1936. Tu o dva roky neskôr obhájil dizertačnú prácu so zameraním na hydrografiю Aggtelekského jaskynného systému. V rokoch 1935 – 1944 zastával post riaditeľa jaskyne Baradla. V povojnovom období pôsobil v Hydrologickom ústave, kde riadil oddelenie krasovej hydrologie. Potom až do odchodu na dôchodok v roku 1972 pracoval ako hydroológ podniku Alutrösz. V dôchodkovom veku pôsobil ako odborný poradca Úradu ochrany prírody a roku 1975 na krátky čas prijal funkciu prvého riaditeľa Speleologického ústavu.

Obsahom najrozsiahlejšia časť *V službe Baradly* si všíma jeho tunajšie účinkovanie. Kessler sa už začiatkom tridsiatych rokov začal venovať prieskumným prácam a pod jeho vedením sa tu vykonával prieskum na viacerých miestach jaskyne. V auguste 1932 táto činnosť vyústila do prekonania sifónu medzi Domicou a Baradlou a potvrdenia spojenia oboch jaskýň. Ako riaditeľ jaskyne sa zaslúžil o jej povznesenie, zavedenie elektrického osvetlenia do aggtelekského a jósvaföského úseku, vybudovanie návštevnéj trasy v úseku medzi Vörös-tó a Jósvafő. S jeho účinkovaním súvisí aj úprava vonkajšieho areálu pri vchode do jaskyne pri Aggteleku a Jósvafő. Ďalšiu, rozsahom kratšiu časť venuje autorka menej známej Kesslerovej horolezeckej činnosti.





V časti *Jaskyniar* zase rozoberá jeho záujem o jaskyne od prvého významného úspechu – zostupu do dovtedy nezdaných priepastí Dolného vrchu v roku 1927, cez objav jaskyne Szemlő-hegyi roku 1930 a jaskyne Ferenc-hegyi roku 1933 v Budapešti či činnosť v iných jaskyniach. Konkrétne ide o pôsobenie v sedmohradských jaskyniach v rokoch 1941 – 1942, prieskum Zvonivej jamy na Plešivskej planine v Slovenskom krase roku 1943 a činnosť v povojnovom období. Popri prácach v Kossuthovej jaskyni sa týka prieskumu zavodených chodieb spojených so snahou o prekonanie sifónov vo viacerých jaskyniach.

Šírka jaskyniarskeho záberu priviedla Kesslera k tomu, že sa začal zaoberať problematikou vzniku priepastí, hydrografiou aggtelekskej jaskyne a inou odbornou činnosťou, o čom sa píše v časti *Odborník na jaskyne*. Patrí sem aj speleologická expertízna činnosť, ktorej sa venoval najmä v posledných desaťročiach svojho života. S týmito aktivitami súvisí aj návrh na zriadenie Speleologického inštitútu, ktorý vznikol v Budapešti roku 1957 či návrh na zriadenie speleoterapiu pri UIS. Komisia vznikla na 5. medzinárodnom speleologickom kongrese v Stuttgarte roku 1969 a Kessler až do roku 1988 zastával post jej tajomníka. Aktivity, ktoré sa týkajú využívania jaskýň sú obsiahnuté v ďalšej časti publikácie. Okrem skúmania možnosti ťažby fosfátových jaskynných sedimentov v sedmohradských jaskyniach, Kessler sa zaslúžil o vybudovanie okružnej plavby v jazernej jaskyni Tapocai-tavasbarlang. K ďalším aktivitám patrí úsilie o sprístupnenie jaskyne Szemlő-hegyi, kde sám odborne usmerňoval prístupňovacie práce, ktoré sa vplyvom rôznych okolností začali až v roku 1970. S jeho osobou súvisí aj otvorenie kúpeľnej jaskyne pri Miskolctapolca v roku 1959 a nerealizovaný návrh na liečebné využívanie jaskyne Gellért-hegyi-aragonitbarlang.

Do kontextu Kesslerových aktivít spadá aj hydrologická činnosť, ktorá súvisela s hospodárskym využitím krasových vôd. Išlo o problematiku zásobovania rozvíjajúcich sa miest vodou (Hévíz, Tatabánya, Miskolc), terénneho výskumu prameňov a ich celoštátnej evidencie, vertikálneho presakovania zrážok nad jaskyňami Pál-völgyi-barlang a Baradla. Zaslúžil sa aj o založenie pozorovacej stanice v jaskyni Gellérthegyi roku 1962 s cieľom poznania budínskych termálnych prameňov, čo v konečnom dôsledku viedlo k využitiu dovtedy unikajúcich vôd na kúpeľné účely. V roku 1958 sa s ďalšími odborníkmi zaoberal aj riešením zásobovania albánskej Tirany pitnou vodou.

Ďalšou časťou publikácie sú Kesslerove spoločenské aktivity a uznanie. V roku 1926 patril k zakladajúcim členom Maďarskej speleologickej spoločnosti a aktívnu úlohu zohral aj pri zakladaní Maďarskej spoločnosti pre výskum krasu a jaskýň v roku 1958, kde neskôr pôsobil ako jej čestný predseda. V Maďarskej hydrologickej spoločnosti v záujme podpory výskumu jaskýň v povojnovom období založil a viedol Výbor pre krasovú hydrologiu. Jeho činnosť ocenili početnými štátnymi a spoločenskými vyznamenaniami. Obec Jószafo mu v roku 1999 udelila čestné občianstvo. Pri príležitosti jeho nedožitých stých narodenín tu riaditeľstvo Aggtelekského národného parku z jeho pozostalosti zriadilo pamätnú izbu.

Škálu Kesslerových aktivít dokumentujú jeho odborné a populárno-vedecké práce. V začiatkoch rozhlasového vysielania to boli relácie z Baradly a iných jaskýň, neskôr sa venoval prednáškovej činnosti. Účinkoval na školeniach Maďarskej spoločnosti pre výskum krasu a jaskýň a zúčastňoval sa aj mnohých medzinárodných konferencií. Svoje poznatky publikoval v odborných publikáciách, populárnych časopisoch a dennej tlači, pričom sa prejavoval aj ako zdatný fotograf. Aj keď sa značná časť jeho originálnych snímok na konci druhej svetovej vojny nenávratne stratila, práve na základe jeho fotografií z Baradly vydali vyše 30 druhov pohľadníc.

Záver publikácie tvorí popis pamätného domu, ktorý na jeho pamiatku v roku 2007 zriadilo riaditeľstvo Aggtelekského národného parku. V prízemnej časti sú v ňom sústredené dokumenty, ktoré sa viažu na jaskyňu Baradla. Poschodie je venované činnosti H. Kesslera, pričom táto časť je usporiadaná na spôsob pamätnej izby a zariadená jeho vlastným nábytkom. Bibliografia prác a literatúra, ktorá sa zaoberá jeho činnosťou uzatvárajú obsahovú stránku publikácie. Bibliografiu tvorí vyše 400 prác z obdobia rokov 1927 – 1992, ktoré napísal sám alebo sa o ich vznik pričínil ako spoluautor. Ďalšou časťou je takmer 400 prác iných autorov so zameraním na rôzne úseky jeho plodného života.

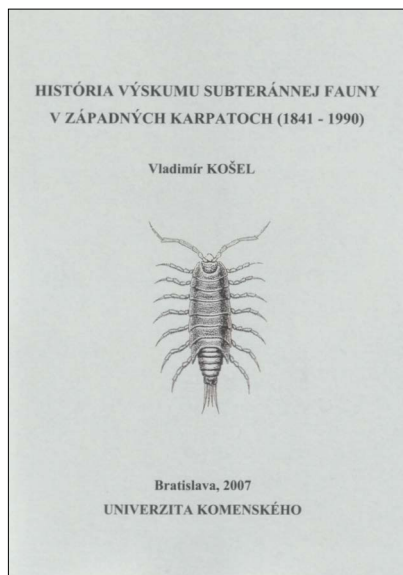
O komplexnosti spracovania o. i. svedčí to, že v takto zameranej publikácii nachádzame aj prvky, ktoré súvisia s činnosťou H. Kesslera na Slovensku. Popri už spomínanom prekonaní sifónu

medzi Baradlou a Domicou v roku 1932 jej autorka neobišla ani tie aspekty jeho činnosti, ktoré vyplynuli z kontextu doby a súviseli s obdobím po Viedenskej arbitráži. V prvom rade sa to týka Domice, ktorá vtedy tvorila s Baradlou jednu hospodársku jednotku; o. i. sa zmieňuje aj o tunajšej Kesslerovej prieskumnej činnosti, archeologizovaní v roku 1940, či ďalších činnostiach. Do uvedeného obdobia spadá aj Kesslerova činnosť na Plešivskej planine, kde v roku 1943 zostúpil do vyše 100 m hlbkej Zvonivej jamy. Autorka mnohé tu opisované udalosti doložila aj príslušnými fotografiami, popri záberoch zo samotnej Domice vtedajšiu Kesslerovu činnosť približujú aj niektoré iné zábery. Patrí k nim napríklad fotografia jeho mena na dne Zvonivej jamy z roku 1943 či fotografie dokumentujúce Kesslerovu účasť na sympóziu o speleoterapii vo Vysokých Tatrách v roku 1968, resp. v Rožňave v roku 1976.

Treba povedať, že z obsahovej stránky je publikácia spracovaná veľmi prehľadne. Jej autorka tu citlivo narábala s textom, kde v nejednom prípade na jeho úkor radšej uprednostnila dobové fotografie, aby tak vizuálne umocnila všetko, čo zahŕňa alebo inak spoluvytvára mozaiku Kesslerovho jaskyniarskeho života. Hodnotu knihy v značnej miere zvyšuje aj to, že súčasť každej kapitoly tvorí anglické a slovenské resumé, čím sa stáva prístupnou oveľa širšiemu okruhu potenciálnych záujemcov.

*Marcel Lalkovič*

**VLADIMÍR KOŠEL: HISTÓRIA VÝSKUMU SUBTERÁNNEJ FAUNY V ZÁPADNÝCH KARPATOCH (1841 – 1990) (History of the research of subterranean fauna in the Western Carpathians). Univerzita Komenského, Bratislava 2007, 84 strán ISBN 978-80-223-2424-3.**



Podľa ústnej informácie autora ide o prvú časť rozsiahlejšieho spisu zaoberajúceho sa suchozemskou i vodnou podzemnou faunou v západokarpatskej biogeografickej oblasti, ktorá má byť publikovaná in extenso samostatne.

Predloženú prácu možno považovať za dôležitý pokus o syntetické hodnotenie doterajších výsledkov výskumu v uvedenej problematike. Autor sa opiera o desiatky analytických prác, ktoré kriticky zhodnocuje a predkladá ucelený pohľad na vývoj vedeckého poznania podzemnej fauny Západných Karpát. Jediným porovnateľným precedantom je Guličkova práca „Fauna slovenských jaskýň“ z roku 1975. Už z názvu však vyplýva, že Košelova monografia rozširuje tematický záber o poľskú a maďarskú časť Západných Karpát a časový diapazón dopĺňa o ďalších 15 rokov. Tieto skutočnosti, ako aj to, že autor sám je už súčasťou histórie karpatskej biospeleológie, umožnili spracovať v predloženej práci viaceré aspekty či už z hľadiska taxonomického, ekologického alebo čo sa týka rozsahu systematických jednotiek v porovnaní s Guličkovou monografiou podrobnejšie.

Autor stál pred problémom ako množstvo faktografie zostaviť tak, aby výsledok bol prehľadný, reprezentatívny a podľa možnosti aj čítavý. Rozhodol sa pre rozdelenie posudzovaného časového intervalu na tri etapy, ktoré korešponujú s istými politicko-administratívnymi rámcami v stredoeurópskom regióne. Ide o etapu rokov 1841 – 1918, ktorej začiatok je totožný s prvými údajmi o subteránnej faune a koniec so zánikom rakúsko-uhorskej monarchie, etapu medzi ukončením prvej a druhej svetovej vojny (1918 – 1945) a najnovšiu (s ohľadom na obvyklý posun medzi získavaním dát a ich publikovaním takmer súčasnú) etapu do roku 1990. V rámci posledných dvoch etáp zoskupil výsledky podľa troch (resp. štyroch) štátov, ktoré na západokarpatskej časti rakúsko-uhorského územia vznikli po prvej svetovej vojne: Československo, resp. Česká a Slovenská republika, Poľsko a Maďarsko. Dôvody pre takéto členenie iste nie sú biogeografického ani ekologického charakteru ale skutočnosť, že medzi rakúskou a uhorskou časťou monarchie boli v organizovaní školstva i začínajúcej vedy rozdiely, ktoré mohli aj v nasledujúcich desaťročiach spôsobiť isté odlišnosti v prístupe a v organizovaní zoológického výskumu, by mohla autorovo rozhodnutie podprieť, ba byť aj témou samostatnej analýzy. Autor by však mal rešpektovať skutočnosť, že zmena Rakúskej monarchie na Rakúsko-Uhorsko nastala až v roku 1867, teda nazvať časový úsek od roku 1841 obdobím Rakúsko-Uhorska je vecne nesprávne a diskutabilné je aj označenie "samostatný štát" pre štáty, ktoré boli v období 1939 – 1945 obsadené Nemeckom, príp. Sovietskym zväzom. Do tejto skupiny pripomienok patrí aj nie šťastne používané autorove termíny „historické Maďarsko“ pre Uhorsko a „samostatné Maďarsko“ použité na odlišenie od Uhorska!

Významnejším koncepčným problémom pre mňa je, že vložením taxonomického hľadiska do vytvorenej historickej štruktúry sa text stáva trochu neprehľadným, resp. náročným na pochopenie súvislostí. Dalo by sa tomu pomôcť vytvorením tabuľky, ktorá by priniesla prehľad jednotlivých systematických skupín vo vzťahu k existencii alebo absencii ich skúmania, napríklad podľa dekád alebo aspoň podľa uvedených troch etáp. Pripomienkou rovnakého charakteru je aj môj dojem zníženej prehľadnosti spôsobenej tým, že v súvislosti s textom sa riešia aj otázky synonymiky jednotlivých druhov. Keďže viem, že prehľad zistených kavernikolných druhov bude predmetom samostatnej kapitoly vyššie spomenutého spisu, navrhujem aby v predloženej kapitole bol zoznam

zistených druhov (s. 56 – 60 monografie) nahradený zoznamom, alebo tabuľkou zaberajúcou sa len ich synonymikou, to znamená, že by v nej boli zoradené abecedne všetky v texte neplatné (z dôvodu nomenklatrickej synonymizácie alebo zámény s iným druhom) taxóny s ich v súčasnosti platnými ekvivalentami). Tým by monografia ponúkla vzácnu možnosť overovania si nejasných údajov z minulosti. Zároveň by platný zoznam druhov zoradený podľa zoologického systému mohol byť súčasťou autorom plánovanej kapitoly habilitačného spisu (či rozšírenej monografie) s pracovným názvom: „Prehľad fauny zistenej v podzemnom prostredí so zreteľom na kavernikolné formy“. V predloženom, históriou sa zaoberajúcom texte, by sa prehľadnosť tejto problematiky zlepšila používaním systému špecificky zadefinovaných zátvoriek (napr. [xy], {ab} a pod.).

Autor píše, že sa zaoberá všetkými štátmi, kam zasahujú Západné Karpaty (s. 53) a vymenúva Československo, Maďarsko a Poľsko. Treba však vziať do úvahy, že Z. Karpaty majú na dvoch miestach presah (i keď územne malý) cez hranice aj do Rakúska!

Mená autorov sú opodstatnene písané kapitálkami len ak sa v tej forme vyskytujú v zozname literatúry alebo sú v prvom páde. Rozhodne nevhodné je písať ich takto aj pri skloňovaní alebo dokonca prechýľovaní (napr. KULCZYNSKÉHO, POPOM, BERCZKÁ). Mám zopár pripomienok, resp. námietok na zamyslenie v terminologickej oblasti:

– Autor používa pre spoločenstvo druhov žijúcich v jaskyniach termín speleal a pre tie čo žijú vo freatických vodách freatal. V hydrobiológii sa ale po rôznych diskusiách termíny s príponou -al odporúčajú používať pre prostredie, kým samotná ekologická skupina sa od koreňa odvodzuje príponou –on (viď rozdiely eupotamal – eupotamon, parapotamal – parapotamon). Preto by som ja, pokiaľ v speleológii neplatí iný konsenzus patričné spoločenstvá nazval speleon a freaton. *Pozn. autora: koncovkou –al som mal na mysli typ biotopu, nie spoločenstvo, preto tieto termíny ostali bezo zmeny.*

– Označenie „isopodný“ je pre zoológa síce zrozumiteľné, ale bolo by lepšie upraviť ho podľa slovenského mena skupiny príp. použiť zložené adjektívum.

– Odporúčam rozlišovať „habitat“ a „biotop“.

Text je miestami ťažšie čitateľný z dôvodu stylistickej nevybrúsenosti. Tieto časti, spolu s preklepmi som vyznačil priamo v rukopise i s návrhmi úprav a nezaobieram sa nimi v posudku.

Záverom konštatujem, že posudzovaný text Dr. Košela predstavuje hodnotný príspevok k histórii vedy a po vyššie naznačených malých úpravách môže byť prijatý na publikovanie formou monografie.

*Mikuláš J. Lisický*

*Poznámka V. Košela: Dr. Lisický mal k dispozícii na posúdenie rukopis monografie pred vytlačením, preto som bibliografické údaje a stránkovanie upravil podľa tlačenej formy. Keďže prevažná časť jeho pripomienok a opráv bola vo finálnom rukopise zohľadnená, z recenzie som ich vypustil. Táto recenzia bola poslednou ucelenou odbornou prácou môjho priateľa a kolegu pred jeho predčasnou smrťou v auguste 2008. Česť jeho pamiatke!*

**Slovenský kras, ročník 46, číslo 2**  
**Acta Carsologica Slovaca**

<b>Rok vydania:</b>	2008
<b>Vydavateľ:</b>	Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva a Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky – Správa slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši
<b>Adresa redakcie:</b>	Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Školská 4 031 01 Liptovský Mikuláš
<b>Jazyková úprava:</b>	Mgr. Bohuslav Kortman (slovenský a český jazyk)
<b>Anglické preklady:</b>	Autori príspevkov
<b>Grafika:</b>	Ing. Jiří Goralski
<b>Tlač:</b>	RVprint Vaša tlačiareň, Uhorská Ves 57, 032 03 Liptovský Ján
<b>Náklad:</b>	600 ks
<b>Na obálke:</b>	Občasný výver z jaskýň O – 1 a O – 2 v Prosieckej doline, Chočské vrchy. Foto: Ing. Juraj Szunyog

**ISSN 0560-3137**