Mineralia Slovaca, Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086
50 (2018), 159 – 178, © Authors 2018. CC BY 4.0

Moldavská jaskyňa – horizontálny labyrint vytvorený alochtónnymi vodami Bodvy v kontaktnom krase Medzevskej pahorkatiny

PAVEL BELLA[1, 2], ĽUDOVÍT GAÁL[1], JURAJ LITTVA[1], ZDENKO HOCHMUTH[3], DAGMAR HAVIAROVÁ[1] and JÁN SOTÁK[2, 4]

[1]Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; pavel.bella@ssj.sk, ludovit.gaal@ssj.sk, juraj.littva@ssj.sk, dagmar.haviarova@ssj.sk
[2]Katolícka univerzita v Ružomberku, Pedagogická fakulta, Katedra geografie, Hrabovská cesta 1, 034 01 Ružomberok; pavel.bella@ku.sk, jan.sotak@ku.sk
[3]Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Prírodovedecká fakulta, Ústav geografie, Jesenná 5, 040 01 Košice; hochmuth@upjs.sk
[4]Ústav vied o Zemi Slovenskej akadémie vied, Ďumbierska 1, 974 11 Banská Bystrica; sotak@savbb.sk

Moldavská jaskyňa Cave – a horizontal labyrinth originated by allochthonous waters of the Bodva River in the contact karst of Medzevská pahorkatina Hilly Land, Slovakia

Abstract: The Moldavská jaskyňa Cave is the largest and most typical two-dimensional underground labyrinth in Slovakia. It was formed in Wetterstein Limestones, mainly due to the diffuse penetration and repeated flood injections of allochthonous waters from the Bodva River, and persistent ponded floodwaters in underground conduits. In relation to the uneven fracturation pattern in limestones, the cave is composed from an angular network and anastomotic-like, locally spongework segments. The former is predisposed on distinctive fractures, while the latter are predisposed mainly on less distinctive, small-scale discontinuities. Same as passages and halls of the cave labyrinth, small-scale phreatic and epiphreatic solution morphologies on the ceiling and walls (ceiling pockets, spongework cavities, paragenetic ceiling channels, rock pendants and partitions, inward-inclined facets, flat ceiling surfaces, water-table notches and some other forms) were sculpted in slowly flowing to stagnant waters. The bedrock floor is not visible in the whole cave, because it is covered by thick fine-grained allochthonous sediments (slackwater facies), in many places up to the ceiling. The Moldavská jaskyňa originated in the Late Pleistocene and Holocene, during several phases of erosion and accumulation in relation to the downcutting and aggradation of the Bodva river bed, lateral planation of the floodplain, and associated oscillations and stagnations of groundwater table, as well as repeated floods of underground passages and halls

Key word: maze cave, fault zone, speleogenesis, contact carbonate karst, bank storage, ponded floodwater, phreatic morphology, paragenetic sculpturing

Graphical abstract

Highlights

- The largest two-dimensional cave labyrinth in Slovakia
- A cave labyrinth consists of angular network controlled by larger-scale tectonic discontinuities and anastomotic-like, locally spongework segments predetermined on dense joint and veinlet sets
- Cave labyrinth originated due to the diffuse penetration and repeated flood injections of allochthonous waters from the surface river bed
- Paragenesis resulted from filling of the cave with flood fine-grained sediments in consequence of the aggradation of the surface river bed
- Small-scale solution morphologies formed in conduits with persistent ponded floodwaters

Úvod

Moldavská jaskyňa predstavuje rozsiahly jednoúrovňový labyrint podzemných chodieb, ktorý je v oblasti Západných Karpát ojedinelý. S cieľom spresniť vznik a vývoj tejto pozoruhodnej jaskyne sme v roku 2017 vykonali jej doplňujúci geologický a geomorfologický výskum. Na základe tohto výskumu sme dotvorili ucelenejší pohľad na genézu Moldavskej jaskyne, ktorá je vhodným príkladom speleogenézy v kontaktnom karbonátovom krase pozdĺž povrchového agradovaného riečiska vplyvom rozptýleného vnikania a povodňových injektáží alochtónnych vôd.

Poloha a základné údaje

Kras na rozhraní Slovenského krasu a Košickej kotliny, na pravom brehu Bodvy v úseku od Jasova po Moldavu nad Bodvou, sa vyznačuje celým radom špecifických znakov viazaných na tektonický a geomorfologický vývoj doliny Bodvy. Z regionálneho geologického hľadiska sa táto oblasť zaraďuje do jednotky Slovenského krasu (Vass et al., 1988), no z geomorfologického hľadiska do západnej časti Medzevskej pahorkatiny predstavujúcej podcelok Košickej kotliny (Mazúr a Lukniš, 1978). Kras Medzevskej pahorkatiny budujú triasové vápence silicika, na ktorých sa od východného okraja Jasovskej planiny po dolinu Bodvy vytvorila mierne zvlnená pahorkatina. Pokrývajú ju prevažne kenozoické štrky poltárskeho, resp. sečovského súvrstvia, v juhozápadnej časti aj drienovské karbonatické zlepence, spod ktorých miestami na povrch vystupujú exhumované polohy vápencov (obr. 1). Pahorkatinu rozčleňuje dolina Bodvy, ktorej pravú stranu tvorí výrazný skalný stupeň vápencov. Z hľadiska typológie kras Medzevskej pahorkatiny prislúcha ku krasu úpätných plošín a terás (Bella, 2007a; Hochmuth, 2007b). Najvýznamnejšie a najznámejšie jaskyne krasu Medzevskej pahorkatiny sú Jasovská jaskyňa a Moldavská jaskyňa.

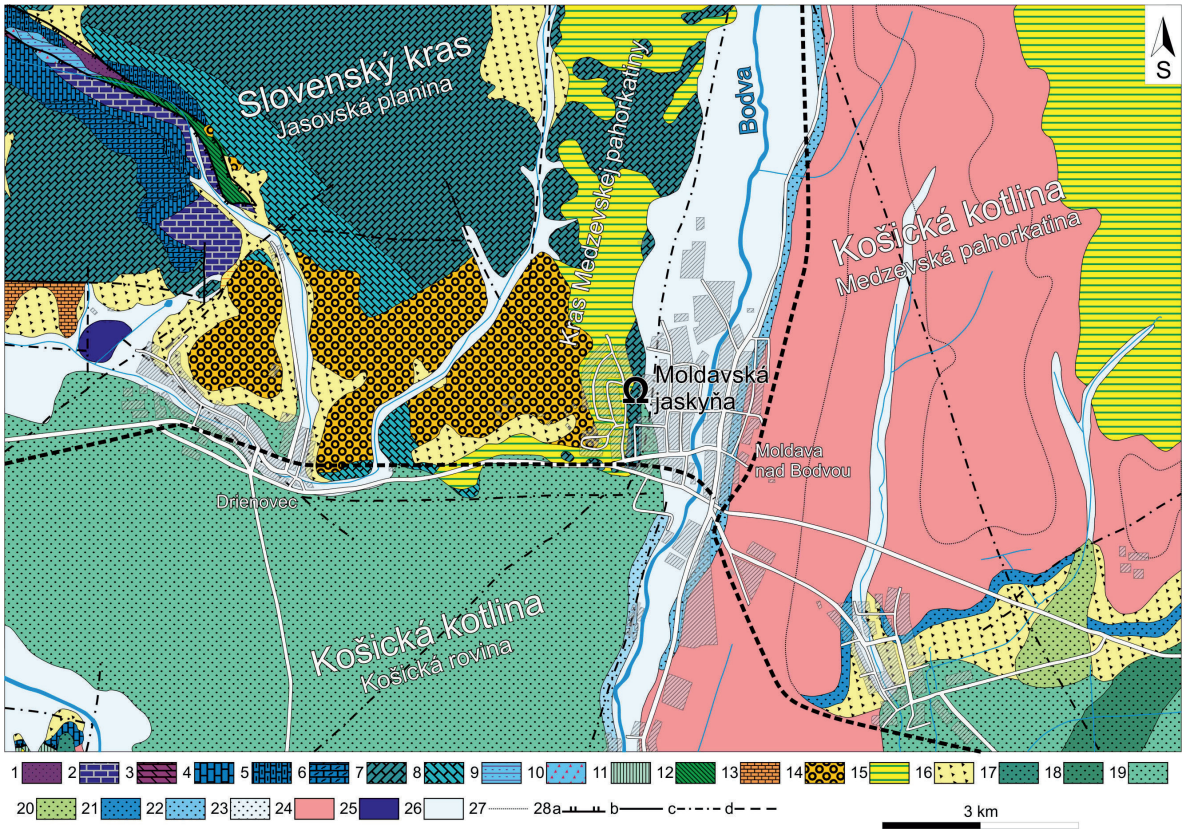
Skúmaná Moldavská jaskyňa sa nachádza na jv. okraji Medzevskej pahorkatiny, v západnej časti intravilánu Moldavy nad Bodvou (Hazalutov) pod zastavaným terasovitým stupňom na pravom brehu doliny Bodvy (západne od nemocnice a garáží). Vchod do jaskyne leží v nadmorskej výške 203 m v lievikovitej depresii pod skalnou stenou na západnom okraji širokej akumulačnej nivy Bodvy. Jaskyňa dosahuje dĺžku 3 070 m. Predstavuje komplikovaný labyrint podzemných chodieb rozličných smerov na pôdoryse zhruba 260 x 130 m pretiahnutom v s.-j. smere (obr. 2). Prevládajú však chodby v.-z. smeru (Kladiva et al., 1999; Hochmuth, 2000a, 2000c, 2004, 2007a). Najpriestrannejší Vstupný dóm je dlhý 30 m, široký 16 m a vysoký 3 až 3,5 m (obr. 3). Výška väčšiny chodieb je do 1 m, len zriedka presahuje 1,5 až 2 m (Müller, 1980).

Priestory jaskyne sú situované 5 až 11 m pod akumulačnou nivou Bodvy (povrch nivnej akumulácie pred jaskyňou je vo výške 206 až 207 m n. m.). Najnižším miestom je zatopená Slukova studňa (Bezodná studňa), v ktorej vodná hladina osciluje prevažne okolo 11 m pod úrovňou povrchu akumulačnej terasy Bodvy pred jaskyňou. Výsledky čerpacej skúšky v roku 1974 realizovanej J. Orvanom, ako aj speleopotápačský prieskum D. Hutňana v roku 1998 poukazujú na to, že studňa pokračuje ďalej nadol a siaha vyše 30 m pod súčasné dno doliny Bodvy (Kladiva et al., 1999; Hochmuth, 2000a, 2000c, 2004, 2007a). Z úrovňových priestorov jaskyne miestami vedú nahor vertikálne komíny. Povrch zastavanej terasovitej plošiny nad jaskyňou je vo výške okolo 245 až 250 m n. m. Táto výrazná terasa v relatívnej výške 35 až 40 m nad terajším tokom Bodvy sa zachovala od Hatín až do intravilánu Moldavy nad Bodvou (Hochmuth, 2000a, 2007a, b). Považuje sa za podstredohorskú roveň (Hochmuth a Barabas, 2001), novšie za poriečnu roveň (Hochmuth, 2007a, b; Gaál, 2008). Podľa Jakála (1975) sa poriečna roveň v priľahlých a úpätných okrajových častiach Slovenského krasu vytvorila na štrkovej výplni Rimavskej kotliny a Košickej kotliny, teda zarovnaný povrch karbonátov Medzevskej pahorkatiny musí byť starší, resp. ide o poklesnuté kryhy staršieho zarovnaného povrchu. Riečisko Bodvy sa od Hatín presunulo jjz. smerom k Moldave nad Bodvou v dôsledku poklesávania turnianskej priekopovej prepadliny (Lacika, 2004), resp. západnej časti Košickej roviny a priľahlej časti Turnianskej kotliny. Asi 20 m nad vchodom do Moldavskej jaskyne sa nachádza vchod do jaskyne Mníchova diera (Lešinský a Bukovský, 1999).

Moldavská jaskyňa má výraznú periférnu polohu. Nachádza sa na okraji mohutnej klenby Slovenského rudohoria na juhovýchodnom okraji triasovej vápencovej kryhy silicika (obr. 1). V jej bezprostrednom okolí by malo prebiehať niekoľko významných zlomových rozhraní – sv.-jz. zlomy predstavujúce pokračovanie výraznej treťohornej zlomovej zóny Darnó a sz.-jv. zlomy asociované so zlomovou zónou v doline Miglinc, ktorá by mala predstavovať súčasť rožňavského zlomu. Ďalšie významné zlomy predstavujú okrajové zlomy s generálne v.-z. a s.-j. orientáciou oddeľujúce Košickú kotlinu od Slovenského krasu. Táto poloha jaskyne môže mať vplyv na genézu jej podzemných priestorov.

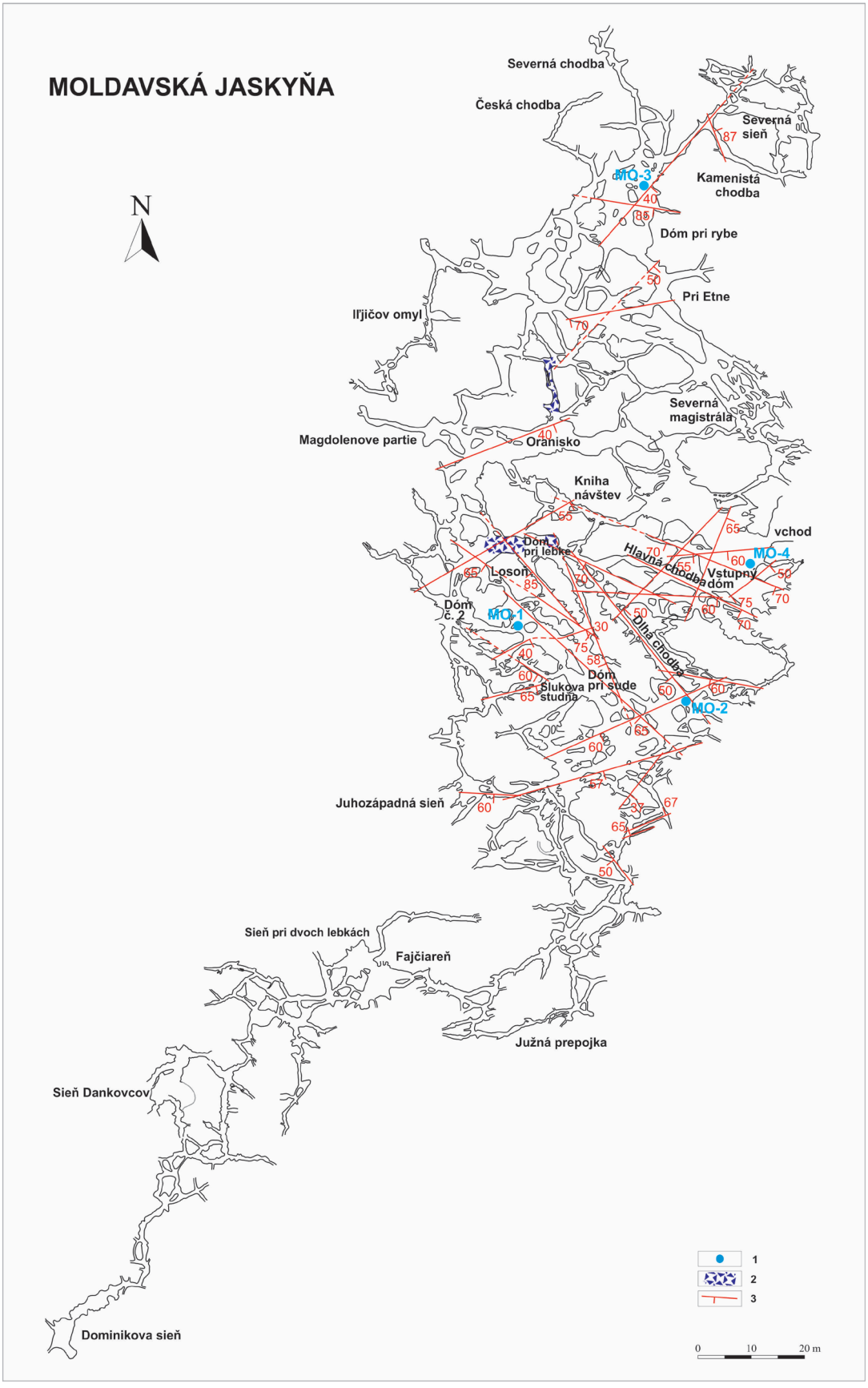
Problematika výskumu

Doterajšie názory na vznik a vývoj labyrintovej Moldavskej jaskyne nie sú jednotné. Homola (1951), usudzujúc, že ide o začiatok moldavsko-drienovského jaskynného systému končiaceho sa vyvieračkou pri Drienovci, predpokladal, že jaskyňa bola vytvorená vodami Bodvy počas niektorej fázy pleistocénu. Následne v nadväznosti na zvyšovanie riečiska nánosmi štrku sa upchávala sedimentmi splavovanými z povrchového riečiska a v čase povodní fungovala ako prepadanie. Podľa Cílka (2000) morfologické tvary jaskynných chodieb nezodpovedajú riečnej modelácii a vznikli vo freatickej zóne pod úrovňou eróznej bázy. Predpokladá, že pôvodne zatopené priestory boli neskôr rozšírené ponornými vodami Bodvy. Tvary riečnej modelácie spomína iba vo vyššie ležiacej jaskyni Mníchova diera, pripúšťajúc existenciu riečne vytvoreného jaskynného poschodia nad Moldavskou jaskyňou. Hochmuth (2000a, c, 2004, 2007b, c) usudzuje, že jaskyňa vznikla v podmienkach stagnujúcej či pomaly tečúcej vody a považuje ju za fosílnu riečnu jaskyňu s horizontálnym vývojom v úrovni predpokladaného skalného dna nivy Bodvy. Gaál (2008) predpokladá, že labyrint Moldavskej jaskyne vznikol v plytkej freatickej zóne miešaním



Obr. 1. Geologická mapa okolia Moldavskej jaskyne (na základe máp: Kaličiak et al., 1996a; Mello et al., 1996). Vysvetlivky: **mezozoikum:** 1 – bodvasilašské vrstvy (spodný trias) – pieskovce, kremité pieskovce, bridlice, evapority; 2 – gutensteinské súvrstvie (stredný trias, anis) – tmavosivé vápence; 3 – ramsauské dolomity (stredný trias, anis – ladin) – sivé dolomity; 4 – steinalmské vápence (stredný trias, anis) – svetlé organodetritické vápence; 5 – schreyeralmské vápence (stredný trias, anis – ladin), ružové hľuznaté vápence; 6 – reiflinské vápence (stredný až vrchný trias, vrchný anis – spodný karn) – sivé rohovcové vápence; 7 – wettersteinské vápence (stredný až vrchný trias, vrchný anis – spodný karn) – svetlosivé organodetritické a organogénne vápence; 8 – waxenecké vápence (vrchný trias, karn – norik?) – svetlosivé organodetritické a organogénne vápence; 9 – allgäuské súvrstvie – (spodná jura) – tmavosivé škvrnité sliene; 10 – adnetsko-hierlatzké vápence (spodná jura) – pestré bazálne brekcie a vápence; 11 – dvornícke vrstvy (spodný až vrchný trias až jura?) – bridlice, fylity s vrstvami pieskovcov, silicitov, zrnitých vápencov a bázických vulkanoklastík; 12 – miglinecké vápence (vrchná krieda, kampán) – biele masívne vápence; **paleogén:** 13 – šomodské súvrstvie (eocén – oligocén) – sladkovodné vápence, karbonátové zlepence, pestrofarebné ílovce; 14 – drienovské zlepence (vrchný oligocén – spodný miocén) – karbonátové brekcie a zlepence; **neogén:** 15 – sečovské/poltárske súvrstvie (miocén, panón/pont) – polymiktné štrky, piesky, pestré íly a lignity; **kvartér:** 16 – deluviálne sedimenty (pleistocén – holocén); proluviálne vejáre s predpokladaným vekom; 17 – mindel; 18 – riss; 19 – würm; 20 – holocén; riečne terasy s predpokladaným vekom; 21 – mindel; 22 – riss; 23 – würm; 24 – eolicko-deluviálne sedimenty (vrchný pleistocén), odvápnené sprašové hliny a zeminy podobné spraši; 25 – organické sedimenty (holocén) – rašeliny; 26 – sedimenty riečnych nív (holocén); 27 – zakryté hrany riečnych terás; 28 – zlomy – a) násuny, ostatné typy: b) zistené, c) zakryté, d) predpokladané.

Fig. 1. Geological map of the Moldavská jaskyňa surrounding (based on maps of Kaličiak et al., 1996a and Mello et al., 1996). Explanations: **Mesozoic:** 1 – Bodvaszilas Beds (Lower Triassic) – sandstones, quartz sandstones, shales, evaporites; 2 – Gutenstein Formation (Middle Triassic, Anisian) – dark grey limestone; 3 – Ramsau Dolomites (Middle Triassic, Anisian – Ladinian) – grey dolomites; 4 – Steinalm Limestones (Middle Triassic, Anisian) – pale organodetritic limestones; 5 – Schreyeralm Limestones (Middle Triassic, Anisian – Ladinian) pink nodular limestones; 6 – Reifling Limestones (Middle to Upper Triassic, Upper Anisian – Lower Carnian) – grey cherty limestones; 7 – Wetterstein Limestones (Middle to Upper Triassic, Upper Anisian – Lower Carnian) – light grey organodetritic and organogenic limestones; 8 – Waxenec Limestones (Upper Triassic, Carnian – Norian?) – light grey organodetritic and organogenic limestones; 9 – Allgäu Formation (Lower Jurassic) – dark grey spotted marls; 10 – Adnet/Hierlatz Limestones (Lower Jurassic) – variegated basal breccias and limestones; 11 – Dvorníky Beds (Lower to Upper Triassic to Jurassic?) – shales, phyllites with intercalations of sandstones, silicites, grainy limestones and basic volcanoclastics; 12 – Miglinec Limestones (Upper Cretaceous, Campanian) – white massive limestones; **Paleogene:** 13 – Šomod Formation (Eocene – Oligocene) – freshwater limestones, carbonate conglomerates, variegated claystones; 14 – Drienovec Conglomerates (Upper Oligocene – Lower Miocene) – carbonate breccias and conglomerates; **Neogene:** 15 – Sečovce/Poltár Formation (Miocene, Panonian/Pontian) – polymictic gravels, sandstones, variegated clays and lignites; **Quaternary:** 16 – deluvial sediments (Pleistocene – Holocene); proluvial fans with supposed age; 17 – Mindel; 18 – Riss; 19 – Würm; 20 – Holocene; fluvial terraces with supposed age; 21 – Mindel; 22 – Riss; 23 – Würm; 24 – eolian-deluvial sediments (Upper Pleistocene) – decalcified loess and loess-like soils; 25 – organic sediments (Holocen) – peats; 26 – sediments of river floodplain (Holocene); 27 – covered terrace edges; 28 – faults – a) overthrusts, other types: b) mapped, c) covered, d) expected.


MOLDAVSKÁ JASKYŇA
N
Severná chodba
Česká chodba
Severná sieň
Kamenistá chodba
MO-3
Dóm pri rybe
Pri Etne
Ilʹjičov omyl
Severná magistrála
Magdolenove partie
Oranisko
Kniha návštev
vchod
Dóm pri lebke
Hlavná chodba
MO-4
Vstupný dóm
Loson
Dóm č. 2
MO-1
Dlhá chodba
Dóm pri sude
Slukova studňa
MO-2
Juhozápadná sieň
Sieň pri dvoch lebkách
Fajčiareň
Južná prepojka
Sieň Dankovcov
Dominikova sieň
1
2
3
0
10
20 m

Obr. 2. Pôdorysná mapa Moldavskej jaskyne (Hochmuth, 2007c) s vyznačenými miestami odberu vzoriek (1), výskytu brekcií (2) a významnými tektonickými poruchami... (3).

Fig. 2. Plan of the Moldavská jaskyňa (Hochmuth, 2007c) with marked out limestone sampling sites (1), breccia occurrences (2) and significant tectonic discontinuities (3) / their assumed continuation is marked out by dashed lines.

Obr. 3. Vstupný dóm, Moldavská jaskyňa. Foto: P. Staník.

Fig. 3. Vstupný dóm Chamber, Moldavská jaskyňa. Photo: P. Staník.

vôd s odlišným chemickým zložením – mierne nasýtenej krasovej vody vápencového masívu (zrážkovej vody ľahko a vo veľkom množstve presakujúcej cez málo hrubé horninové nadložie) s nenasýtenou riečnou vodou Bodvy, ktorá presakovala cez štrkovú výplň dna doliny. Usudzuje, že podzemné kanály sa začali rozvetvovať po zastavení sústredeného výtoku vody z krasového masívu v dôsledku zanášania koryta Bodvy riečnymi sedimentmi pri poklesávaní územia. Tým sa v jaskyni hladina podzemnej vody zvýšila a voda skryte unikala do riečnych nánosov.

Podľa väčšiny publikovaných správ a štúdií (Homola, 1951; Hochmuth, 2000c, 2004; Gaál, 2008 a ďalší) sa na vytváraní Moldavskej jaskyne podieľali najmä alochtónne vody prenikajúce z Bodvy. V severovýchodnej časti jaskyne, vytvorenej pozdĺž okraja vápencovej steny na okraji nivy, sa vyskytujú prítokové chodby vedúce od ponorov zanesených hlinou (Hochmuth, 2000c). V neskoršej fáze vývoja sa jaskyňa do značnej miery upchala sedimentmi transportovanými z oblasti Bodvy (miestami až úplne pod skalný strop), na čo poukázal už Homola (1951). Názory na smer prúdenia vody v podzemí sa rôznia. Kladiva et al. (1999) uvažujú, že paleotok Bodvy v neogéne mohol prerážať vápencový masív západným smerom k doline potoka Drienovec. Naopak, Lešinský a Bukovský (1999) považujú doteraz známe časti jaskyne Mníchova diera, ležiacej nad Moldavskou jaskyňou v tej istej skalnej stene, za fragment vývervovej jaskyne vytvorený menšími vodnými tokmi, ktoré tiekli po sedimentoch predkvartérneho štrkového súvrstvia v smere od Debrade.

Začlenenie Moldavskej jaskyne do typológie labyrintových jaskýň je problematické. V porovnaní so sieťovitou štruktúrou angulárneho charakteru, predurčenou sústavou paralelných a križujúcich sa zlomov (pozri Palmer, 1975, 1991, resp. White, 1988), pôdorys Moldavskej jaskyne má prevažne geometricky nepravidelný labyrintový charakter (Bella, 1995). Cílek (2000) považuje Moldavskú jaskyňu za anastomózny labyrint, podobne Gaál (2008) píše o sieťovitých priestoroch anastomózneho typu. Chodby anastomóznych labyrintov sú predurčené predovšetkým medzivrstvovými plochami rozpustných hornín (Palmer, 1975, 1991, 2007; White, 1960, 1988). Detailnejší výskum Moldavskej jaskyne zameraný na štruktúrnogeologickú predispozíciu jej podzemných priestorov sa do doteraz neuskutočnil. Preto je predmetom nášho príspevku.

Z tohto prehľadu poznatkov a názorov vyplýva, že na základe doplňujúceho geologického a geomorfologického výskumu Moldavskej jaskyne treba spresniť a súbornejšie objasniť jej genézu vrátane litologických a štruktúrnogeologických podmienok skrasovatenia vápencov, ako aj bližšie určiť morfologický, resp. morfogenetický typ labyrintu podzemných chodieb.

Metodika

Na detailnejšie určenie litologickej náplne a stratigrafického zaradenia vápencov, v ktorých je Moldavská jaskyňa vytvorená, sme z odobraných vzoriek analyzovali výbrusy a zabezpečili chemickú analýzu. Výbrusy a che-

mickú analýzu vyhotovili v geoanalytickom laboratóriu Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Spišskej Novej Vsi. S cieľom určiť vplyv štruktúrnych geologických diskontinuít na vytváranie jaskyne, resp. na typ podzemného labyrintu sme vykonali mapovanie a meranie zlomov a puklín, posudzoval sa aj prípadný vplyv vrstvovitosti vápencov. Namerané dáta boli spracované v programe Stereo 32 (Röller a Trepmann, 2003) a vyhodnotené v podobe ružicového diagramu. Najvýznamnejšie namerané poruchy boli zaznačené na mapu jaskyne.

Využijúc meračskú dokumentáciu Moldavskej jaskyne (Kladiva et al., 1999; Hochmuth, 2000b, 2007a), sme pomocou grafovej analýzy aplikovanej na topológiu jaskýň (Howard, 1971) určili mieru konektivity chodieb podzemného labyrintu. Na detailnejšiu rekonštrukciu bývalých hydrografických podmienok vývoja jaskyne poslúžil doplňujúci geomorfologický výskum, zameraný najmä na morfologické indikátory vývoja podzemných priestorov. Na fázovosť vývoja jaskyne poukazujú niektoré morfostratigrafické vzťahy.

Okrem výsledkov geomorfologického výskumu Moldavskej jaskyne sme na súbornejšiu interpretáciu jej vývoja využili poznatky z geologicko-geomorfologického výskumu študovaného úseku doliny Bodvy vrátane jaskýň (Droppa, 1965, 1971; Janočko, 1990; Janočko a Baňacký, 1996; Pristaš, 1997; Hochmuth, 2000a, 2007a, b a ďalší), ako aj údaje z vrtov v oblasti Moldavy nad Bodvou (Petro a Polaščinová, 1992, 1996 a ďalší). Na posúdenie agresívnych účinkov vody na vápence v jaskyni sa zabezpečili chemické analýzy vody presakujúcej cez horninové nadložie a stagnujúcej, resp. pomaly oscilujúcej vody v Slukovej studni.

Litologická náplň a stratigrafické zaradenie jaskyne

Horniny v širšom okolí Moldavskej jaskyne sú súčasťou hačavsko-jasovskej kryhy silického príkrovu, ktorá je uložená v generálnom smere približne V – Z so sklonom na J, v jej východnej časti aj na JZ (Mello et al., 1996). V severnom ohraničení kryhy pri Jasove a južne od potoka Teplica preto vystupujú spodnejšie členy triasového karbonátového vrstvového sledu ako gutensteinské a steinalmské vápence a v južnom ohraničení v doline Miglinc najmladšie horniny: vrchnotriasové tisovské (waxenecké) a dachsteinské vápence a na malej ploche aj jurské adnetské a hierlatzké vápence. Podstatnú časť kryhy medzi spomínanými vápencovými typmi na Jasovskej planine a Medzevskej pahorkatine vypĺňajú wettersteinské útesové a lagunárne vápence, v ktorých je vytvorená aj Moldavská jaskyňa. Jaskyňa je situovaná v jv. cípe kryhy, v blízkosti hraníc s nadložnými tisovskými vápencami.

Vápence na terasovej plošine sú pokryté vrstvou štrkov a pieskov hrubou niekoľko metrov, ktoré Elečko a Vass (1997a) zaraďujú do poltárskeho súvrstvia vrchnomiocénneho (pontského) veku, ale Karoli et al. (1996) ich považujú za sečovské súvrstvie panónskeho veku. Panónsky vek týchto štrkov Gaál (2008) považuje za menej pravdepodobný vzhľadom na vyšší obsah kaolinitu, ako aj na rozdiely v opracovaní obliakov v porovnaní s panónskymi štrkmi zachovanými na planinách Slovenského krasu. Keďže nové metódy datovania sedimentov pomocou kozmogénnych nuklidov priniesli významné zmeny v chápaní vrchnomiocénnej, pliocénnej a kvartérnej stratigrafie sedimentárnej výplne Dunajskej panvy (pozri Kováč et al., 2017; Sztanó et al., 2016; Šujan et al., 2016, 2017), podobné zmeny možno očakávať aj v niektorých ďalších oblastiach Západných Karpát. Presné vekové zaradenie neogénnych sedimentov v tejto oblasti si vyžaduje podrobnejší výskum.

Západne od Moldavskej jaskyne v oblasti severne a sv. od Drienovca sú rozšírené aj drienovské zlepence. Predstavujú zle triedené zlepence a brekcie pochádzajúce z bezprostredného okolia. Sú stmelené červenými pelitmi krasového pôvodu. Ich vek podľa Elečka a Vassa (1997a) je vrchný oligocén až spodný miocén. Gaál (2008) akumuláciu týchto zlepencov dáva do súvisu s lokálnym výstupom územia následkom kompresie v línii Darnó a predpokladá ich spodnomiocénny vek.

Podľa voľného pozorovania sme v jaskyni nezistili výraznejšiu vrstvovitosť ani zmeny v litologickom zložení. Brekciám v Dóme pri lebke v severnej časti Dómu pri rybe a v Koščovom prekope môžeme pravdepodobne pripísať tektonický pôvod (obr. 4). Ostrohranné vápencové úlomky brekcií sú stmelené červeným pelitickým materiálom, čo signalizuje krasové zvetrávanie zrejme počas spomínaného lokálneho výstupu územia. Podobné brekcie sú známe aj z Drienovskej jaskyne, kde tvoria nemalé plochy najmä v hornej úrovni. Červený železitý tmel často vypĺňa aj pukliny v mnohých častiach Moldavskej jaskyne. Ich väčšiu odolnosť proti korózii a erózii si všimol aj Hochmuth (2007b). Vápence v ostatných častiach jaskyne sa javia ako masívne, prevažne svetlosivé, miestami s miernym hnedastým nádychom. Na ich navetranom povrchu sa len v ojedinelých miestach prejavujú kontúry drobných organizmov, najmä lastúrnikov a rias (napr. v Dóme pri rybe).

S cieľom zistiť litologické pomery Moldavskej jaskyne sme odobrali 4 vzorky na výbrus a jednu vzorku na chemickú analýzu. Vzorka Mo-1 z Dómu pri sude predstavuje intrasparit, miestami až mikrosparit s mierne zaoblenými intraklastami a sporadicky s peletami. Bioklasty sa vyskytujú len nepatrne, zastupujú ich ostrakódy, foraminifery a tubifytové riasy (obr. 5). Bohatšiu paletu bioklastov nájdeme vo vzorke Mo-2 z oblasti Dlhej chodby. Vzorka mikroskopicky predstavuje biointrasparit, miestami s prechodom do biopelmikritu až mikrosparitu s mierne zaoblenými intraklastami. Bioklasty reprezentujú stielky rias *Thaumatoporella parvovesiculifera* Reineri, skelety koralov, foraminifery, ostrakódy, gastropódy, tenkostenné lastúrniky a fragmenty echinodermát vrátane ostňa ježov-

Obr. 4. Brekcie v Koščovom prekope. Foto: Ľ. Gaál.
Fig. 4. Breccias in the Koščov prekop Passage. Photo: Ľ. Gaál.

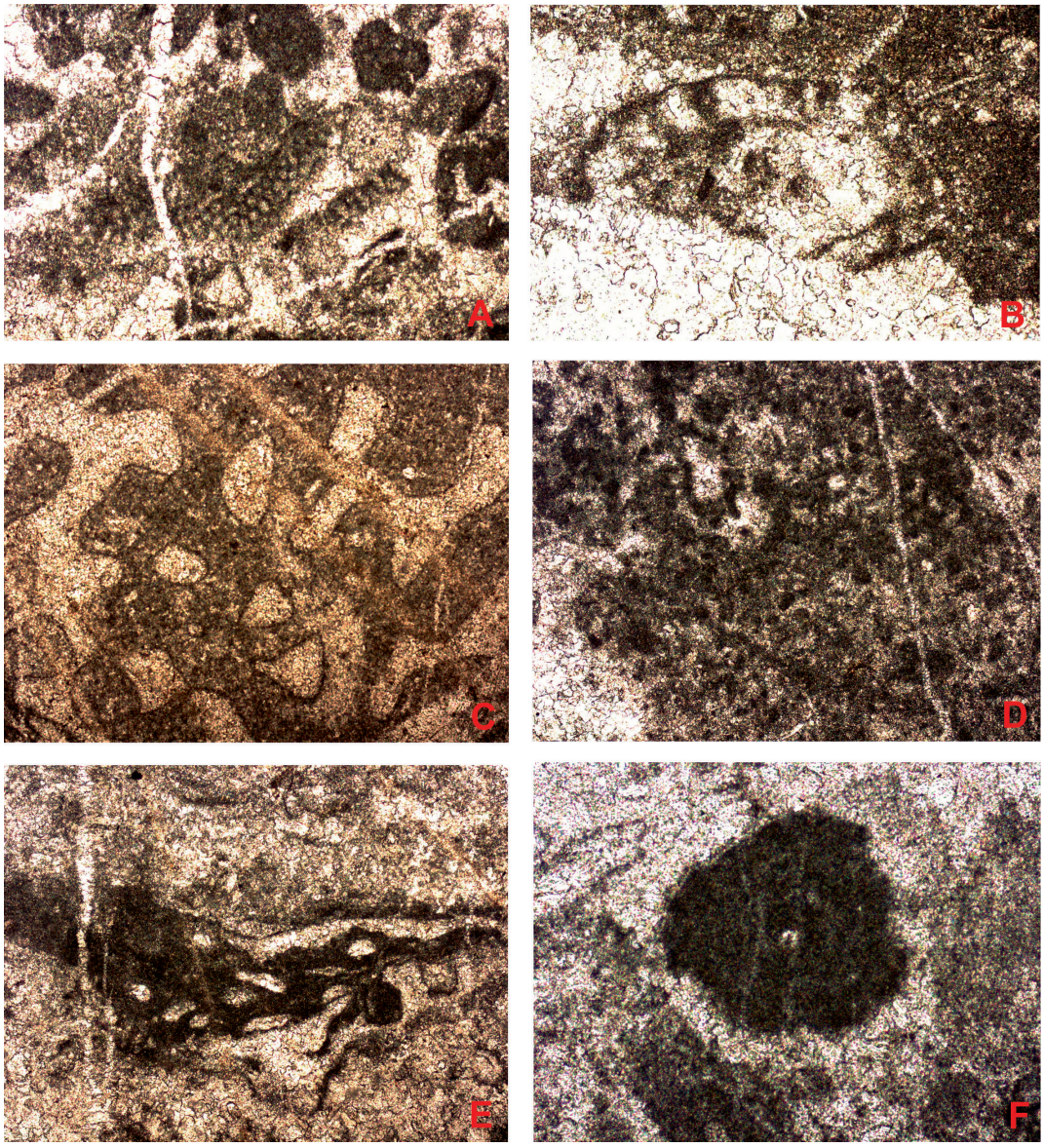
ky. Vyskytuje sa v nej aj riasa z čeľade *Dasycladaceae*, ktorá na základe určenie J. Sotáka podľa praslenov s jedným radom vetvičiek bez vnútornej anulácie a bez fertilných sporangiálnych pórov predstavuje *Macroporella* sp.

Ďalšia vzorka Mo-3 pochádza z Dómu pri rybe s väčšou akumuláciou peliet a inkrustujúcich rias. V pelsparite až mikropelsparite sú pozorovateľné agregáty siníc s drobným trúbkovitým tvarom alebo s prepletajúcimi sa vláknami. Obrastali stielky nefosilizovaných rias, ktoré sa po odumretí vyplnili kalcitom. Posledná vzorka Mo-4 pochádza zo Vstupnej siene. Predstavuje obdobnú mikrofáciu ako predchádzajúce: biointrasparit, miestami biopelmikrit až mikrosparit s bioklastami foraminifer, echinodermát, schránok lastúrnikov, vápnitej hubky, *Tubiphytes obscurus* Maslov a riasové mikroproblematikum *Lamellitubus cauticus* Ott. Miestami sa objavujú aj náznaky zvrstvenia v podobe riasových stromatolitov. Foraminifery z výbrusov určil J. Soták: *Diplotremmina subangulata* Kristan-Tollman, *Turriglommina* aff. *magna* (Urosevic), *Galeoanella panticae* Zaninetti et Broennimann, *Sigmoidina schaeferae* Zaninetti, Altiner, Dager et Ducker, *Palaeospiroplectammina hungarica* Oravecz-Schaffer a *Nodosaria ordinata* Trifonova (obr. 6).

Na základe vykonanej mikrofaciálnej analýzy možno konštatovať, že materská hornina Moldavskej jaskyne zodpovedá wettersteinským vápencom v lagunárnom vývoji. Sedimentačný priestor predstavoval širokú lagúnu, ktorá bola chránená pred otvoreným morom reťazcami útesov. Útesová fácia vápencov sa tiahne v smere V – Z v severnej časti karbonátovej kryhy od doliny Bodva takmer až k Hačave, teda severne od pásma lagunárnych vápencov (Mello et al., 1996). Pokojná sedimentácia v lagúne prebiehala vo fotickej zóne neritického pásma (do maximálnej hĺbky 200 m), ale ešte s dosahom morských vĺn (v búrkovom období hĺbka dosahu vĺn môže mať 50 m aj viac). Svedčia o tom mierne zaoblené intraklasty a bioklasty v sparitickom cemente (ortosparite). Išlo teda o občasne alebo čiastočne premývaný materiál, lebo mikritové polohy so sinicami a peletami svedčia o málo atakovaných morských preliačinách s bakteriálnym rozkladom vápnitého bahna. Vlny do lagúny prenášali aj úlomky z neďalekých útesov ako vápnité hubky, koraly alebo tubifyty. Takéto morské lagúny boli charakteristickým sedimentačným prostredím teplého triasového mora v širokej šelfovej zóne na celom území rozšírenia silicika.

Vek vápencov je možné datovať hlavne na základe výskytu druhu *Galeanella panticae*, ktorý má stratigrafické rozpätie karn, norik až spodný rét (Brönnimann et al., 1973; Salaj et al., 1983). Aj ostatné druhy foraminiferového spoločenstva poukazujú na vek karn a norik. Zároveň je druh *Galeanella panticae* faciálnou fosíliou karnských a norických rifových vápencov, ktoré v siliciku zodpovedajú tisovským (waxeneckým) a dachsteinským vápencom. Pretože vekové rozpätie wettersteinských vápencov siaha od ladinu až do spodného karnu (kordevolu), materskú horninu Moldavskej jaskyne môžeme zaradiť do spodného karnu (zhruba 228 – 230 mil. rokov).

Na sledovanie čistoty vápencov sme zo vzorky Mo-4 dali vyhotoviť chemickú analýzu (tab. 1). Chemická analýza potvrdzuje veľkú chemickú čistotu vápencového podkladu Moldavskej jaskyne s obsahom $CaCO_3$ až 99,1 % (55,2 % CaO). Prekvapuje len pomerne nízke zastúpenie Fe_2O_3 (0,07 %), čo môže byť spôsobené vylúhovaním železa v oxidačnej zóne alebo čistotou vzorky bez železitých puklín. Chemicky čistý wettersteinský vápenec je dobre rozpustný vo vode obohatenej o oxid uhličitý a tým aj ľahko podlieha krasovým procesom.



Obr. 5. A – riasa *Thaumatoporella parvovesiculifera* v biointrasparite wettersteinského vápenca (vzorka Mo-2, Dlhá chodba); B – *Macroporella* sp. vo vzorke Mo-2; C – prierez bioklastom vápnitej hubky (vzorka Mo-4, Vstupná sieň); D – pelmikritová mikrofácia vzorky Mo-3 (Dóm pri rybe); E – vlákna siníc inkrustujúce skelety mikroorganizmov (vzorka Mo-2); F – *Tubiphytes obscurus* (vzorka Mo-4).

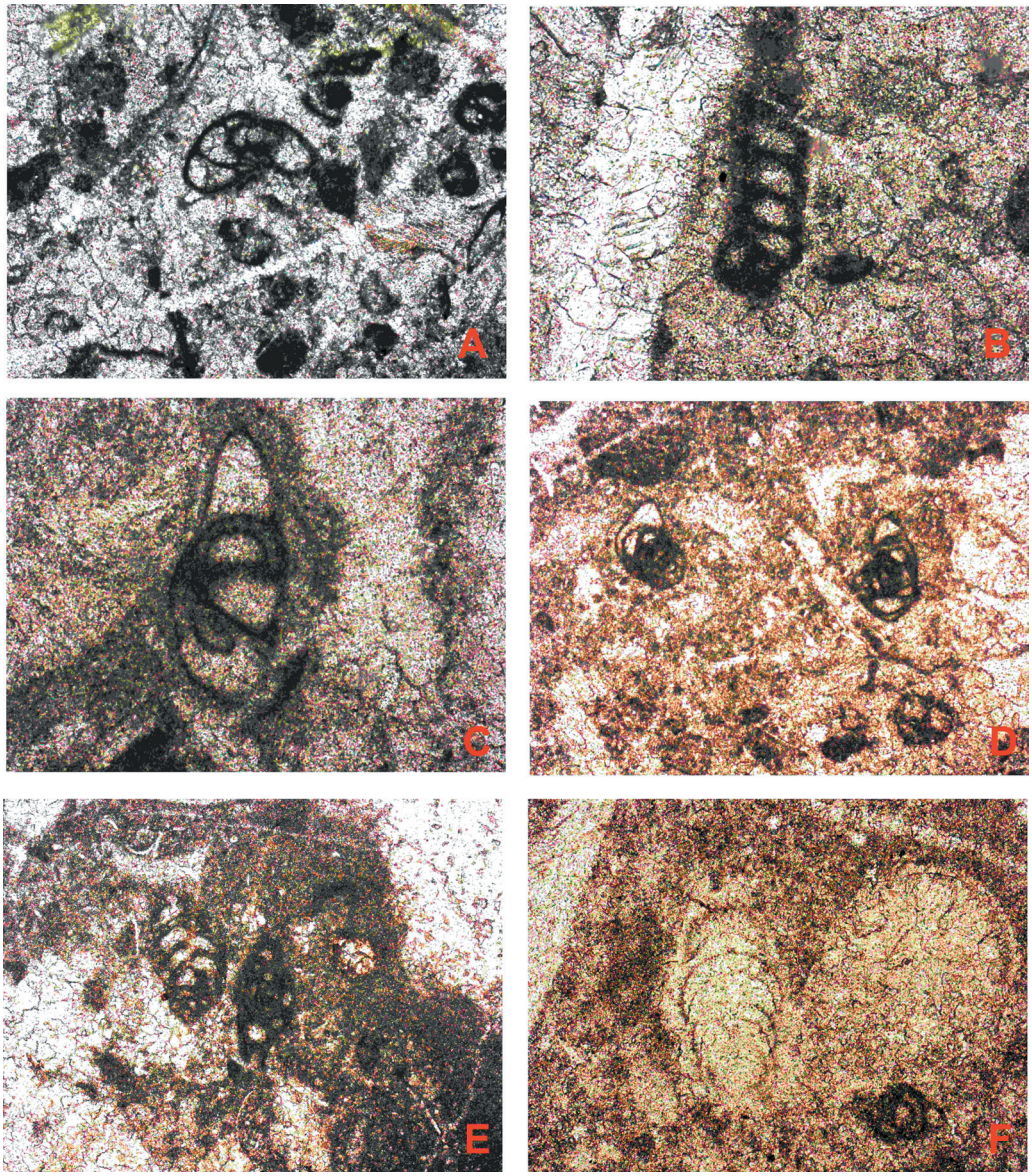
Fig. 5. A – alga *Thaumatoporella parvovesiculifera* in biointrasparite of Wetterstein Limestone (sample Mo-2, Dlhá chodba Passage); B – *Macroporella* sp. in sample Mo-2; C – section of bioclaste of calcareous sponge (sample Mo-4, Vstupná sieň Hall); D – pelmicrite of sample Mo-3 (Dóm pri rybe Chamber); E – fibres of Cyanophytes incrusted microorganism framework (sample Mo-2); F – *Tubiphytes obscurus* (sample Mo-4).

Tab. 1

Chemická analýza wettersteinského vápenca (vzorka Mo-4) zo Vstupného dómu Moldavskej jaskyne, vyhotovená v geoanalytickom laboratóriu Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Spišskej Novej Vsi.

Chemical analysis of Wetterstein Limestone (sample Mo-4) from the Entrance Chamber of Moldavská Cave, elaborated by the Geoanalytic Laboratory of the State Geological Institute of Dionýz Štúr in Spišská Nová Ves.

Ukazovateľ	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	MnO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	Strata žíhaním
Obsah [%]	0,26	0,17	0,07	55,2	0,33	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,2	< 0,1	43,9

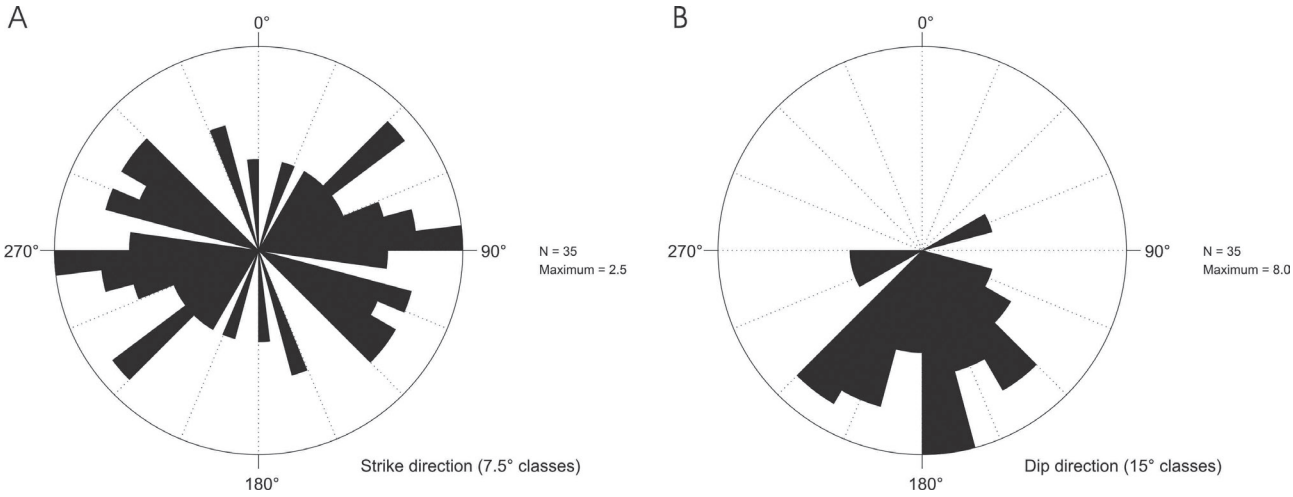


Obr. 6. Foraminifery z wettersteinských vápencov Moldavskej jaskyne (určil J. Soták): A – *Diplotremmina subangulata*; B – *Turriglommina* aff. *magna*; C, D – *Galeoanella panticae*; E – *Palaeospiroplectammina hungarica* (vľavo) a *Sigmoidina schaeferae* (vpravo); F – *Nodosaria ordinata*.

Fig. 6. Foraminifera of Wetterstein Limestones, Moldavská jaskyňa (determined by J. Soták): A – *Diplotremmina subangulata*; B – *Turriglommina* aff. *magna*; C, D – *Galeoanella panticae*; E – *Palaeospiroplectammina hungarica* (left) and *Sigmoidina schaeferae* (right); F – *Nodosaria ordinata*.

Tektonická predispozícia podzemného labyrintu

Labyrintový charakter jaskyne je do výraznej miery ovplyvnený výskytom tektonických diskontinuít. Orientácia jaskynných chodieb zodpovedá smeru nameraných tektonických diskontinuít v jaskyni. Vyskytovali sa hlavne tektonické poruchy s orientáciou na V – Z, s menším podielom sv.-jz. a sz.-jv. až zsz.-vjv. orientovaných porúch a podružným výskytom porúch orientovaných ssz.-jjv. smerom (obr. 7A). Výskyt tektonických porúch bol sprevádzaný zónami tektonických brekcií. Zhodné smery orientácie krehkých tektonických porúch boli identifikované v neďalekých jaskyniach: Jasovskej jaskyni a jej okolí (Zacharov, 1998, 2000, 2007), Drienovskej jaskyni (Zacharov, 2008a, b), ako aj v širšej oblasti Jasovskej planiny (Zacharov, 2009) a Slovenského krasu (Zacharov, 2012). Na rozdiel od citovaných prác však v jaskyni neboli identifikované tektonické zrkadlá, ktoré by umožnili kinematickú interpretáciu nameraných zlomov. Namerané štruktúry, okrem niekoľkých výnimiek, sa skláňajú na juh, s variáciami na JZ a JV (obr. 7B).



Obr. 7. Ružicové diagramy s ekvalizovanou plochou pri smere sklonu A a B nameraných tektonických porúch.
Fig. 7. Equal area rose diagrams for the A – strike direction and B – dip direction of the measured tectonic discontinuities.

Vplyv tektonických porúch na orientáciu jaskynných chodieb sa najvýraznejšie prejavuje v južnej časti jaskyne, kde sa vyskytujú chodby so sieťovitým charakterom. Sčasti sa touto problematikou zaoberá Hochmuth (2007b). Hlavná chodba má predispozíciu na poruchy zsz.-vjv. smeru, pričom tektonické poruchy s podobnou orientáciou (SZ – JV) podmieňujú priebeh množstva ďalších chodieb vrátane Dlhej chodby a chodieb vedúcich z Dómu pri sude a doň. Niektoré chodby sú na poruchách s v.-z. smerom, z ktorých najvýznamnejšie sa tiahnu Vstupným dómom a Dómom pri lebke. Dómom pri lebke prebieha aj niekoľko porúch sv.-jz. smeru s pomerne plochým sklonom (30 – 50°), ktoré v porovnaní so spomínanými poruchami predurčujú priebeh relatívne malého množstva jaskynných chodieb. Podružný význam majú poruchy s orientáciou na SSZ – JJV, na ktorých je len malé množstvo jaskynných chodieb. V severných častiach jaskyne sa výrazné tektonické poruchy postupne vytrácajú a chodby sú hlavne po tektonických puklinách, ktorých sledovanie a meranie je obťažné pre ich „prekrytie“ koróznymi procesmi.

Pestrý štruktúrny inventár mezoskopických krehkých porúch Moldavskej jaskyne je geneticky spätý s megaskopickými zlomovými poruchami prebiehajúcimi v okolí jaskyne. Zlomy s v.-z. priebehom sú geneticky späté s v.-z. okrajovým zlomom prebiehajúcim na južnom okraji Slovenského krasu (obr. 1). Ostatné typy zlomov môžu byť viazané na priečne zlomy, ktoré spomenutý zlom na rôznych miestach porušujú. V okolí jaskyne by však mali prebiehať aj tri ďalšie významné tektonické poruchy, na ktoré by sa tieto zlomy mohli viazať. Prvou z nich sú zlomy s generálnou orientáciou S – J až SZ – JV prebiehajúce dolinou Bodvy, ktoré sprostredkúvajú kontakt mezozoických karbonátov a sedimentov kvartérneho a kenozoického veku. S nimi možno spájať výskyt sz.-jv. až zsz.-vjv. krehkých štruktúr, ako aj zriedkavé výskyty ssz.-jjv. porúch v jaskyni. Časť sz.-jv. zlomov by mohla súvisieť s rovnako orientovanými zlomami v doline Miglinc, ktoré by mali predstavovať súčasť rožňavskej zlomovej zóny. Gaál (2008) dáva jaskynné chodby sv.-jz. smeru do súvisu s tektonickou líniou Darnó, pozdĺž ktorej boli horniny v spodnom miocéne silne deformované horizontálnymi smernými posunmi. V študovanej oblasti sa na povrchu s líniou Darnó stotožňujú sv.-jz. orientované tektonické štruktúry (Elečko a Vass, 1997b; Zacharov, 2012), ako aj morfolineamenty rovnakého smeru (Bandura a Gallay, 2015). Relatívne ploché sv.-jz. tektonické poruchy zodpovedajú charakteru zlomov v pokračovaní línie Darnó (turniansky zlom, zlom rieky Bodva, pederský zlom, budulovský zlom; Elečko a Vass, 1997b).

Morfológia jaskyne

Labyrint podzemných chodieb a siení

Moldavská jaskyňa spolu s Liskovskou jaskyňou predstavujú najtypickejšie labyrintové jaskyne v Západných Karpatoch, resp. na Slovensku. Najväčším priestorom v jaskyni je Vstupný dóm, ostatné časti jaskyne tvorí hustá spleť nízkych a úzkych chodieb a niekoľko siení, resp. menších dómov (Dóm pri sude, Dóm pri lebke, Dóm pri rybe a ďalšie). Z hľadiska vertikálnej členitosti možno Moldavskú jaskyňu zaradiť medzi tzv. dvojdimenzionálne (horizontálne) labyrintové jaskyne s dominantným epifreatickým vývojom pozdĺž oscilujúceho piezometrického povrchu podzemnej vody (pozri White, 1988; Ford a Williams, 2007 a ďalší). Väčšina chodieb sa vytvorila vo vertikálnom rozpätí 5 m (Hochmuth, 2007c).

Na základe grafovej analýzy (Berge, 1962; Howard et al., 1970), aplikovanej aj na topológiu horizontálnych

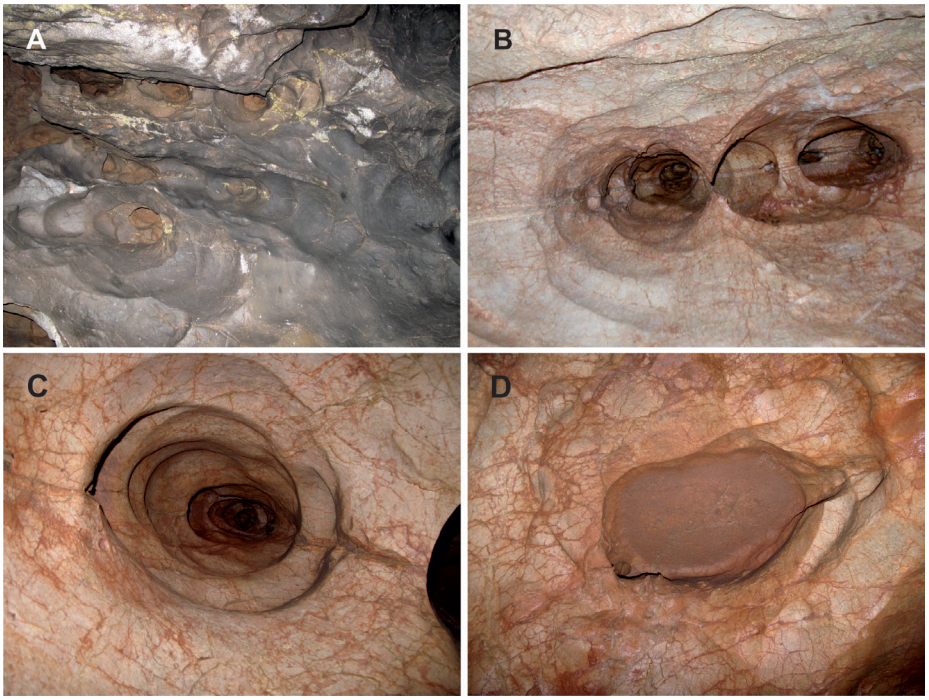
jaskýň (Howard, 1971), pôdorys Moldavskej jaskyne predstavuje hustú sieť chodieb a niekoľkých siení, resp. menších dómov s vysokým stupňom prepojenosti (parametre: α = 0,185, β = 1,493, γ = 0,5; alternatívne verzie parametrov: α = 0,136, β = 1,269, γ = 0,425). Pre jaskynné labyrinty s veľmi vysokým stupňom prepojenosti tieto parametre dosahujú hodnoty: α = 0,25, β = 1,5, γ = 0,5.

V nadväznosti na morfologické klasifikácie jaskýň (Palmer, 1975, 1991; White, 1988) Moldavská jaskyňa predstavuje kombinovanú angulárnu sieťovitú a anastomóznu labyrintovú jaskyňu. Angulárna sieťovitá štruktúra prislúcha k východným častiam jaskyne (najmä sektor Dlhej chodby a Hlavnej chodby), ktoré sú predurčené zlomami a pridruženými výraznejšími puklinami. Ostatné, rozsiahlejšie časti jaskyne, podmienené menej výraznými puklinami a inými diskontinuitami narušujúcimi kompaktnosť vápencov, sa vyznačujú anastomóznou, miestami až špongiovitou štruktúrou s početnými, pravidelne i nepravidelne poprepájanými chodbami a dutinami. Medzivrstvové plochy vápencov vytváranie labyrintu Moldavskej jaskyne neusmernili.

Korózne a rútivé skalné tvary jaskynného reliéfu

Morfológia Moldavskej jaskyne zodpovedá freatickým a epifreatickým podmienkam vývoja. Početné sú stropné hrnce, vytvorené koróznou činnosťou vody vo freatických podmienkach (obr. 8). Müller (1980) ich opisuje ako „inverzné marmity“ (v geomorfologickej terminológii sa ako „marmity“ zvyknú označovať podlahové, resp. riečiskové krútňavové hrnce). Stropné hrnce, ktoré sú predurčené zlomami alebo puklinami, vznikli zmiešanou koróziou vplyvom vôd s rozdielnym chemickým zložením (presakujúcej atmosférickej vody a pomaly prúdiacej až takmer stagnujúcej vody v zaplavených podzemných priestoroch). Osobitnú pozornosť si zasluhujú stropné oválne vyhĺbeniny s vrchnou rovnou plochou (tvarom pripomínajúce „inverzné kamenice“), ktorých vznik nie je doteraz dostatočne objasnený. Zo stropu nadol vystupujú početné skalné výčnelky (pendanty), v našej literatúre zvyčajne označované ako stropné kulisy (Müller, 1980; Hochmuth, 2007c; obr. 9). Zväčša sú usporiadané v smere v.-z. chodieb (Hochmuth, 2007c). V dôsledku vypĺňania jaskyne hlinitými sedimentmi až takmer k skalnému stropu sa v miestach koncentrovanejších vodných prúdov vytvorili parageneticke stropné kanály (pôsobením stropnej erózie odspodu nahor; obr. 10). Drobné anastomózne kanáliky sú pozostatkami iniciálneho krasovatenia puklín najmä v dôsledku injektáže povodňových vôd.

Paralelné chodby v centrálnej časti jaskyne predurčené v.-z. zlomami sú predelené skalnými priečkami s priechodnými skalnými dierami a oknami. V dómoch a sieňach sa miestami týčia skalné piliere vystupujúce z hlinitej podlahy až po skalný strop. Na vysoký stupeň skrasovatenia



Obr. 8. Stropné hrnce, Moldavská jaskyňa: A – stropné hrncovité vyhĺbeniny vytvorené turbulentným vodným prúdom; B, C – stropné hrnce vytvorené zmiešanou koróziou pozdĺž strmých tektonických porúch; D – stropná oválna vyhĺbenina s vrchnou rovnou plochou. Foto: P. Bella.

Fig. 8. Ceiling pockets, Moldavská jaskyňa: A – ceiling pocket-like hollows originated by turbulent water flow; B, C – ceiling pockets originated by mixing corrosion along steep tectonic discontinuities; D – ceiling oval depression with a top flat surface. Photo: P. Bella.

Obr. 9. Skalné pendanty (visiaky) a piliere, Moldavská jaskyňa. Foto: P. Bella.

Fig. 9. Rock pendants and pillars, Moldavská jaskyňa. Photo: P. Bella.

Obr. 10. Paragenetické stropné kanály, Moldavská jaskyňa. Foto: P. Bella.

Fig. 10. Paragenetic ceiling channels, Moldavská jaskyňa. Photo: P. Bella.

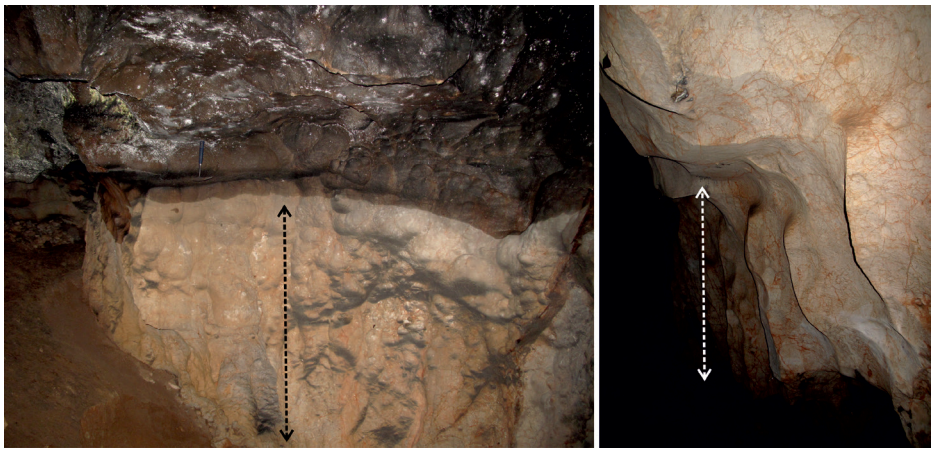
Obr. 11. Špongiovité vyhĺbeniny a skalné diery, Moldavská jaskyňa. Foto: P. Bella.

Fig. 11. Spongework cavities and rock holes, Moldavská jaskyňa. Photo: P. Bella.

vápencov poukazujú aj početné nepravidelné špongiovité vyhĺbeniny (obr. 11).

Hladinový stenový zárez na jz. okraji Vstupného dómu poukazuje na bývalú úroveň povrchu hlinitých sedimentov naplavených do jaskyne. Vytvoril sa po obvode plytkého jazera laterálnym koróznym vyhĺbením do vápencových stien (obr. 12). Z jeho spodného okraja strmo nadol vedú široké paralelné oválne žľaby, vyhĺbené do skalnej steny vodou prúdiacou na kontakte s hlinitými sedimentmi.

Z koróznych skalných tvarov sú pozoruhodné aj zarovnané stropy. Najväčší sa vytvoril v Dóme pri lebke (obr. 13). Vo väčších podzemných priestoroch zaberajú časť stropov, v nízkych (plazivkových) chodbách miestami tvoria celý strop (Hochmuth, 2000a, 2007c). Z Moldavskej jaskyne sú známe aj tzv. laterálne zarovnané plôšky, ktoré sa nevyskytujú v jednej výškovej úrovni (Hochmuth, 2004). Vyskytujú sa v stenových výklenkoch (nazvaných „obrátené poličky“) alebo ako inverzné terasovité stupien-



Obr. 12. Hladinové stenové zárezy a vertikálne paragenetické žľaby, Moldavská jaskyňa. Foto: P. Bella.

Fig. 12. Water-table wall notches and vertical paragenetic half tubes, Moldavská jaskyňa. Photo: P. Bella.

Obr. 13. Zarovnané stropy, Moldavská jaskyňa. Foto: P. Bella.

Fig. 13. Solution flat ceilings, Moldavská jaskyňa. Photo: P. Bella.

ky na okraji skalných stien. Hochmuth (2000a) sa prikláňa k názoru o skoršej modelácii skalných zarovnaných plôšok pred moderáciou oválnych profilov chodieb a sieni. Následne Hochmuth (2004) usudzuje, že vznikli vo vadóznej zóne, v dutinách po gravitačnom poklesnutí viac-menej nepriepustných sedimentov od skalného stropu (s výškou niekoľko milimetrov až centimetrov) v nerovnakých výškových polohách, do ktorých sa dostala voda presakujúca zo zrážok, a vytvorila „mikrojazierka".

Na spodných okrajoch skalných stien alebo výklenkov vyhĺbených do skalných stien vidieť šikmé ploché, hladko modelované plôšky sklonené dovnútra jaskyne alebo výklenkov pod uhlom okolo 45° (nie sú štruktúrne podmienené, nevytvorili sa pozdĺž vrstvových plôch alebo iných diskontinuít; obr. 14). V zmysle Langeho (1963) predstavujú *planes of repose*, v našej literatúre označované ako korózne šikmé facety (Bella, 2007b, 2013). Vznikli vo freatickej zóne v prostredí veľmi pomaly prúdiacej až takmer stagnujúcej vody na miestach, kde sa na šikmých skalných plochách usadzovali jemnozrnné sedimenty. Tie spomalili až zastavili rozpúšťanie pokrytých častí vápencov a usmernili rozpúšťanie vápencov nad horný okraj povlaku sedimentov (kým *planes of repose* sa smerom nahor postupne zväčšujú, ich nižšie časti sa pokrývajú sedimentmi).

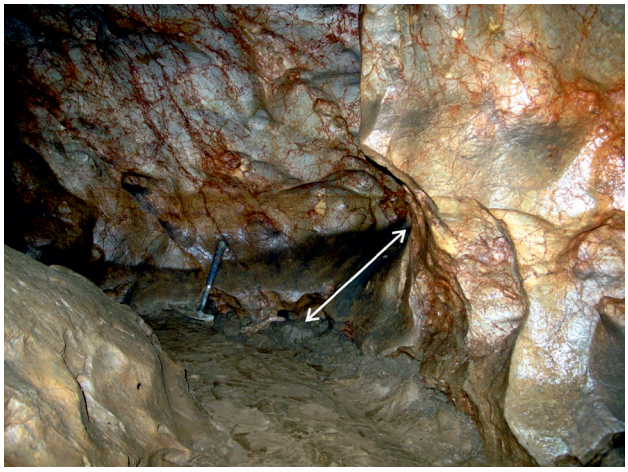
Lastúrovité jamky (angl. *scallops*), ktorých asymetrický tvar indikuje smer prúdenia vody, v Moldavskej jaskyni takmer absentujú. Väčšie lastúrovité vyhĺbeniny v skalných stenách (angl. *large scallops*) vytvorené pomalým prúdom vody sa sporadicky vyskytujú v miestach koncentrovanejšieho vtekania povrchovej vody do podzemia. Pozorujú sa najmä v severnej časti jaskyne, neďaleko od údajného druhého vchodu zasypaného v závrte, ktorý spomína Homola (1951) a ktorý pri veľkých povodniach pravdepodobne naďalej funguje ako ponor (Terray, 2007). Viaceré typické skalné formy (bočné korytá, početné menšie lastúrovité jamky a iné) zodpovedajúce modelácii podzemným vodným tokom, resp. prúdom tečúcej vody v Moldavskej jaskyni chýbajú.

Na viacerých miestach jaskyne sú na strope zreteľné odlučné plochy po skalnom rútení. Na podlahách odvalené veľké vápencové bloky (zvyšky zrútených stropov) vyčnievajú z hlinitých sedimentov (Müller, 1980).

Akumulačné a deštrukčné formy na hlinitých sedimentoch

Podlahu jaskyne pokrývajú hrubé hlinité usadeniny. Zväčša vytvárajú kopovité vyvýšeniny skláňajúce sa k okrajom siení a širších chodieb. Pozdĺž ich skalných stien vystupovala a zostupovala vodná hladina (v nižších miestach jaskyne občasne pretrváva do súčasnosti). Pri vysušovaní povrchu týchto sedimentov vznikali bahenné praskliny (napr. v časti jaskyne nazývanej Oranisko; Hochmuth, 2007c). Navyše, povrchové časti kopovitých vyvýšenín sú gravitačnými trhlinami rozdelené do bahenných blokov, ktoré sa odsúvajú a nakláňajú smerom nadol k okrajovým skalným stenám.

V centrálnej časti jaskyne, vo Vstupnom dóme a západnejších chodbách je hlinitá podlaha znížená o 2,5 až 3 m (Hochmuth, 2007b). Na jej pôvodnú vyššiu pozíciu poukazuje hladinový korózny zárez vo Vstupnom dóme



Obr. 14. Korózne šikmé facety (*planes of repose*), Moldavská jaskyňa. Foto: P. Bella.
Fig. 14. Solution inward-inclined facets (*planes of repose*), Moldavská jaskyňa. Photo: P. Bella.

Obr. 15. Studňovitá jama v mieste zosunutia hlinitých sedimentov do nižšie položených dutín, Moldavská jaskyňa. Foto: P. Bella.
Fig. 15. Well-like pit at the site of the slip of fine-grained sediments into lower lying cavities, Moldavská jaskyňa. Photo: P. Bella.

a nadol nadväzujúce parageneticke vertikálne žľaby. Na niektorých miestach je možné pozorovať lievikovité a studňovité depresie hlboké zväčša do 1 m, ktoré vznikli v miestach zosúvania, prípadne splavovania zvlhčených hlinitých sedimentov do nižšie položených dutín (obr. 15). Tie mohli vzniknúť v dôsledku skrasovatenia pod úrovňou horizontálneho labyrintu alebo vyplavením časti nižšie uložených sedimentov sufóziou. Takisto menšie depresie s kolmými stenami, hlboké zväčša do 25 cm, rozčleňujúce povrch hlinitých sedimentov (napr. v severnej časti jaskyne), pravdepodobne vznikli zosunutím vrchných vrstiev destabilizovaných nad miestami poklesnutia alebo vyplavenia nižšie uložených sedimentov.

V miestach intenzívneho presakovania zrážkovej vody do jaskyne podmieneného zlomami a výraznejšími puklinami v nadložných vápencoch kvapkajúca voda vyhĺbila do hlinitých sedimentov egutačné jamky. Priemerne sú široké až 10 cm a hlboké 20 cm (Müller, 1980).

Vznik a vývoj jaskyne

Súvislosti vývoja Moldavskej jaskyne a reliéfu v jej okolí

Moldavská jaskyňa sa vytvorila v chemicky čistých wettersteinských vápencoch, tektonicky porušených viacerými významnými zlomovými systémami prebiehajúcimi v jej okolí. Morfológia podzemných priestorov poukazuje na to, že hlavné časti Moldavskej jaskyne sa vytvárali v plytkej freatickej (epifreatickej) zóne v priľahlom svahu vedľa bývalého riečiska v hĺbke zväčša okolo 5 m pod jeho úrovňou. Skrasovatenie pod terajšou miestnou eróznou bázou v doline Bodvy súvisí s maximom hĺbkovej erózie (Homola, 1961).

V oblasti Moldavy nad Bodvou akumulačná niva Bodvy dosahuje šírku 200 až 500 m, miestami až 750 m (Müller, 1980; Hochmuth, 2007a, c), t. j. predstavuje aluviálnu rovinu (Petro a Polaščinová, 1996). Na rozsiahlej nive Bodva meandrovala a prekladala riečiská (Hochmuth, 2007c). Dno doliny Bodvy v úseku Jasov – Hatiny – Moldava nad Bodvou pokrývajú 10 až 12 m hrubé, dobre priepustné riečne štrkovo-piesčité náplavy. V ich podloží sú skrasovatené triasové vápence (Orvan, 1999). Severne od Moldavy nad Bodvou pri pravom brehu Bodvy vo výške 224 m n. m. (vrt 9) kvartérne nivné sedimenty siahajú do hĺbky 11,2 m, pod nimi je neogénny štrk hrubý 4,8 m. Vápence boli navŕtané v hĺbke 16 m (Tkáčik et al., 1964). Na severnom okraji Moldavy nad Bodvou, úsek nivy vo výške 212 m n. m. (vrt JVL-40), je hrúbka kvartérnych fluviálnych sedimentov 13,5 m, pod nimi je neogénny štrk (Petro a Polaščinová, 1992). Studňa pri mlyne, vykopaná v štrkoch neďaleko od jaskyne, siahala do hĺbky 9 m (Müller, 1980). Fluviálne kvartérne sedimenty sú tvorené prevažne pleistocénnymi hrubozrnnými polymiktnými štrkmi s prímesou piesku a ílu; priemer oválnych a suboválnych obliakov je 2 až 7 cm, maximálne 25 až 30 cm (Petro a Polaščinová, 1992, 1996). Prisudzuje sa im würmský vek (Janočko, 1990; Janočko a Baňacký, 1996). Podľa Pristaša (1997) sa niva Bodvy sformovala po nepatrnom poslednom prehĺbení doliny na rozhraní stredného a mladšieho würmu. Na hrubozrnných polymiktných štrkoch je pokryv holocénnych fluviálnych povodňových sedimentov hrubý 1 až 4 m (Müller, 1980; Petro a Polaščinová, 1992, 1996; Kaličiak et al., 1996; Mello et al., 1996).

Výskyt kvartérnych štrkov v nive Bodvy asi 2 až 3 m pod úrovňou Moldavskej jaskyne môže indikovať mladší tektonický pokles kryhy, na ktorej sa vytvorila niva Bodvy (oproti susednému vápencovému bloku, v ktorom je vyvinutý kras Medzevskej pahorkatiny). Na pokles územia rieka Bodva reagovala agradáciou fluviálnych sedimen-

tov v nive a terajšie riečisko Bodvy sa dostalo do vyššej pozície vzhľadom na nižšie položené jaskynné priestory aj hladinu podzemnej vody. V Moldavskej jaskyni vodná hladina v zaplavenej Slukovej studni je 11 m pod súčasnou nivou (studňa pokračuje ďalej do hĺbky viac ako 25 m pod nivu). Voda v tejto studni sa akumuluje presakovaním zo štrkov riečnej nivy (Hochmuth a Barabas, 2001; Hochmuth, 2000a, c, 2004, 2007c).

Na vytváraní jaskyne sa podieľali najmä agresívne alochtónne vody, ktoré prenikali do tektonicky narušených vápencov z riečiska Bodvy, pravdepodobne už pred agradáciou bývalého, nižšie zahĺbeného riečiska. Po vytvorení širokej akumulačnej nivy, opakovane zaplavovanej, sa povodňové vody z jej západného okraja ponárali do podzemia a zaplavovali nižšie položené jaskynné priestory. Injektované povodňové vody z povrchového riečiska sa rozptyľovali pozdĺž početných štruktúrnogeologických diskontinuít, čím sa podzemný labyrint zväčšoval (analogické prípady speleogenézy pozri v Palmer, 1975, 1991, 2007, 2011; Vysoká et al., 2012). Voda z Bodvy presakovala do jaskyne aj cez štrky agradovanej poriečnej nivy (analogické prípady pozri v Bruthans, 2001; Bella, 2005 a ďalší). Hladina podzemnej vody v štrkoch akumulačnej nivy v Moldave nad Bodvou je zväčša v hĺbke okolo 5 m (Homola, 1951; Petro a Polaščinová, 1996), na najhlbšom mieste v jaskyni (Slukova studňa) osciluje v hĺbke okolo 11 m (Hochmuth, 2007a); t. j. piezometrická výška hladiny podzemnej vody sa znižuje smerom k jaskyni. Najmohutnejšie, tektonickými poruchami podmienené chodby jaskyne smerujú do vápencového masívu kolmo od doliny Bodvy. V čase vytvárania jaskyne pravdepodobne najviac ponorných vôd prúdilo do jaskyne z východu na západ (Hochmuth, 2000c, 2007c).

Súčasné chemické zloženie vody Bodvy z hľadiska termodynamickej rovnováhy zaraďuje túto vodu medzi vody výrazne nedosýtené kalcitom aj dolomitom, z čoho vyplývajú jej agresívne vlastnosti vo vzťahu ku karbonátovým horninám. Veľmi nízka až nízka mineralizácia v spojení s koncentráciou základných chemických ukazovateľov a agresívnymi účinkami na vápenec, ktoré voda Bodvy má, bola pravdepodobne aj v čase vytvárania jaskyne. Povodňové vody sa navyše vyznačujú tým, že majú ešte vyšší stupeň zriedenia zrážkovou vodou, čo sa prejavuje znížením ich celkovej mineralizácie a zvýšením agresívnych vlastností. Na rozdiel od Bodvy, jaskynná voda je podstatne viac mineralizovaná. Voda zo Slukovej studne podľa súčasných pozorovaní je základného nevýrazného Ca–HCO_3 typu s mineralizáciou od zhruba 380 do 550 mg . l^{-1} (v závislosti od stavu vodnej hladiny). Vo vzťahu ku kalcitu je voda v studni v rovnováhe, čo súvisí pravdepodobne s jej dlhodobejšou stagnáciou v karbonátovom prostredí a postupným nasycovaním. Ešte vyššie nasýtenie kalcitom má presakujúca voda. Presakujúca voda s rozdielnou intenzitou presakovania analyzovaná z troch rozdielnych miest v jaskyni bola vo všetkých prípadoch vo vzťahu ku kalcitu presýtená. Jej mineralizácia (530 až 830 mg . l^{-1}) je vyššia ako pri vode zo Slukovej studne a z Bodvy, kde je nárast mineralizácie občasne aj viac ako trojnásobný. Z chemického hľadiska je táto voda základného výrazného alebo základného nevýrazného Ca–HCO_3 typu.

Moldavská jaskyňa sa do veľkej miery upchala sedimentmi transportovanými z oblasti Bodvy (Homola, 1951). Povodňové vody transportovali do jaskyne jemnozrnné povodňové sedimenty. V súčasnosti povrch akumulačnej nivy pred jaskyňou výškovou polohou siaha nad skalné stropy väčšiny jaskynných priestorov. Naplavované povodňové sedimenty usmerňovali rozpúšťanie vápencov na nepokrytých stenách a strope. Pôvodne rozsiahlejšie dómovité priestory boli vyplnené týmito sedimentmi až po strop, terajšie „chodby" viac-menej predstavujú stropné korytá medzi nadol vyčnievajúcimi skalnými kulisami (Hochmuth, 2007c; obr. 1 a 9).

Riečne štrky v jaskyni uložené na povrchu hlinitých sedimentov sa vyskytujú viac-menej iba pod komínom komunikujúcim s povrchom terasy, resp. plošiny so zvyškami kenozoických štrkov. Keďže sa petrograficky nezhodujú so zložením štrkov nivy Bodvy, asi nepochádzajú z obdobia vytvárania jaskyne (Hochmuth, 2000c, 2007c).

Moldavskú jaskyňu možno klasifikovať ako „brehovú" labyrintovú jaskyňu vytvorenú záplavovými vodami z povrchového vodného toku (v zmysle Palmera, 1975, 1991, 2007, 2011). Bella (2016) ju zaraďuje medzi úpätné pribrehové epifreatické disolučné jaskyne na okrajoch zaplavovaných riečnych nív.

Podobné hydrografické podmienky sú aj pozdĺž akumulačnej nivy Bodvy v úseku severne od Moldavy nad Bodvou po Jasov. Terajšie agradované riečisko je vo vyššej pozícii ako hladina podzemnej vody v niektorých pravostranných jaskyniach vrátane Jasovskej jaskyne (Seneš, 1946; Himmel, 1963; Droppa, 1965, 1971; Hochmuth a Barabas, 2001; Danko, 2004, 2006; Hochmuth, 2007a; Gaál, 2008). Voda vsakuje cez priepustné fluviálne sedimenty do vápencov alebo za vysokého stavu vteká z riečiska do ponorov na úpätí skalnej terasy a na povrch vystupuje v neďalekých prameňoch ležiacich nad riečnymi naplaveninami (Seneš, 1946). Stopovacia skúška rádioizotopom chrómu preukázala, že podzemná voda pretekajúca riečnymi náplavami má podstatný vplyv na dotáciu prameňa, resp. vyvieračky pri Drienovci (Orvan, 1994, 1999).

Vývojové fázy a vek jaskyne

Moldavská jaskyňa je výsledkom viacfázového krasovatenia súvisiaceho s eróznym zahlbovaním doliny Bodvy a následnou výraznou agradáciou jej riečiska, z ktorého agresívne povodňové vody zaplavovali a korózne rozširovali nižšie ležiace podzemné priestory. Na základe súčas-

ných poznatkov možno rozlíšiť tieto hlavné fázy vývoja Moldavskej jaskyne:

1. fáza epifreatickej modelácie jaskyne (vytváranie podzemných priestorov prevažne v horizontálnom smere) viažucej sa na bývalý zárez riečiska, s ním súvisiace laterálne zarovnanie nivy Bodvy vo výške okolo 195 m n. m. Voda z povrchového riečiska Bodvy prenikala do podzemia najmä pozdĺž zlomov v.-z. a sz.-jv. až zsz.-vjv. smeru (od vchodu a Vstupného dómu, pravdepodobne aj od severnejšieho zasypaného lievikovitého ponoru). V prvotnom štádiu vývoja mala jaskyňa skôr angulárny sieťový charakter. V dôsledku intenzívneho rozpúšťania vápencov sa skalné priečky medzi chodbami zúžili, miestami až prederavili. Skalné piliere v sieňach a širších chodbách sú väčšinou zvyškami pôvodne širších skalných predelov medzi chodbami. Podzemný labyrint sa postranne zväčšoval a začal nadobúdať prevažne anastomózny tvar. Miestami pozdĺž strmo sklonených zlomov a pridružených tektonických porúch prebiehalo hlbšie freatické krasovatenie (Slukova studňa, predpokladané dutiny pod Vstupným dómom vyplnené sedimentmi);
2. fáza vypĺňania jaskyne povodňovými sedimentmi a paragenetická modelácia skalných stropov (odspodu nahor) v dôsledku agradácie povrchového riečiska Bodvy (vytvárania rozsiahlej akumulačnej nivy, resp. aluviálnej roviny) na poklesávajúcej tektonickej kryhe na zlomovom rozhraní východného okraja Slovenského krasu a západnej časti Košickej kotliny, rozširovanie a vytváranie ďalších postranných častí jaskyne pokračujúcimi injektážami povodňových vôd;
3. fáza oscilácie a stagnácie hladiny podzemnej vody, vytvorenie hladinového korózneho zárezu na stene Vstupného dómu a priľahlých častí jaskyne pozdĺž bývalého povrchu hlinitých sedimentov a niektorých zarovnaných častí stropu, pravdepodobne v úrovni vrchného okraja würmskej štrkovej akumulácie nivy Bodvy pred jaskyňou. Súčasne prebiehala paragenetická modelácia vertikálnych žľabov vedúcich nadol z tohto hladinového korózneho zárezu;
4. fáza zaplavenia jaskyne spojeného s opätovnou paragenetickou modeláciou skalných stropov v dôsledku agradácie poriečnej nivy Bodvy ukladaním holocénnych naplavenín;
5. fáza poklesu vodnej hladiny po čiastočnom zahĺbení povrchového riečiska Bodvy a občasného zaplavovania jaskyne prevažne v dôsledku opakujúceho sa stúpania a poklesávania hladiny podzemnej vody, zvlhčovanie hlinitých sedimentov, ich splavovanie a gravitačné zosúvanie do nižších podzemných priestorov predurčených vertikálnymi zlomami (pokles akumulačnej podlahy, vytváranie lievikovitých a menších kolapsových depresií) (Hochmuth, 2004). V miestach gravitačného poklesnutia sedimentov od skalného stropu (v nerovnakých výškových polohách) sa podľa Hochmutha (2004) rozpúšťaním bočných stien „mikrojazierok“ plnených presakujúcou zrážkovou vodou vytvárali zarovnané plôšky. Pri vyšších povodňových stavoch vody z Bodvy priamo zaplavovali jaskyňu, čo pretrvávalo do nedávnej minulosti, naposledy v roku 1974 (Terray, 2007).

Moldavská jaskyňa je pravdepodobne stredno- až mladospleistocénneho veku (Homola, 1951, predpokladá jej vznik v niektorej fáze pleistocénu). Hlinité sedimenty v jaskyni majú normálnu magnetickú polaritu (skúmané profily – Koščov prekop, Cílkova jama a Schody), sú mladšie ako 780 000 rokov (Bella et al., 2007). Gaál (2008) uvažuje o vytváraní freatických labyrintových častí jaskyne v strednom pleistocéne, Hochmuth (2000c, 2007c) o dotváraní jaskyne v mladšom pleistocéne a holocéne (sivé jemné sedimenty sa do jaskyne splavili vodou Bodvy asi v poslednom glaciáli z priľahlej časti Slovenského rudohoria a nadložné červené hliny sa uložili až v subrecentnom období počas deštrukcie pôdnej pokrývky po odlesnení v neolite).

Záver

Vznik a vývoj horizontálnej, resp. dvojdimenzionálnej labyrintovej Moldavskej jaskyne súvisí s osobitosťami tektonického a geomorfologického vývoja doliny Bodvy, ktorá predeľuje Medzevskú pahorkatinu v západnej časti Košickej kotliny, v zóne jej zlomového rozhrania s Jasovskou planinou Slovenského krasu. Vznikla v kontaktnom karbonátovom krase Medzevskej pahorkatiny pozdĺž povrchového agradovaného riečiska Bodvy najmä vplyvom rozptýleného vnikania a opakovaných povodňových injektáží alochtónnych vôd, pričom podzemné priestory zostali zaplavené dlhší čas aj po ústupe záplav z inundačného územia pred jaskyňou.

Jaskyňa je vytvorená v chemicky čistých wettersteinských vápencoch kordevolského veku. Sú porušené zlomami, zónami brekcií a puklinami s rôznou orientáciou, ktoré predurčili charakter jaskynných chodieb. Na orientáciu jaskynných chodieb majú najvýznamnejší vplyv v.-z. a sz.-jv. až zsz.-vjv. štruktúry viazané na v.-z. okrajový zlom Slovenského krasu a sz.-jv. orientované zlomy v doline Miglinc, ktoré predstavujú súčasť rožňavskej zlomovej zóny. Menšou mierou sa na predispozícii jaskynných chodieb podieľajú sv.-jz. zlomy súvisiace s pokračovaním línie Darnó a podružný význam majú ssz.-jjv. zlomy, pravdepodobne viazané na s.-j. zlom oddeľujúci kras Medzevskej pahorkatiny od nivy Bodvy. Časť sz.-jv. až zsz.-vjv., sv.-jz. a ssz.-jjv. porúch môže byť spätá aj s výskytom priečnych porúch s rovnakou orientáciou, ktoré porušujú v.-z. zlom na južnom okraji Slovenského krasu. Rôzna intenzita tektonických procesov sa prejavila v charaktere jaskynných priestorov. V južnej časti jaskyne, kde je materská hornina porušená výraznejšími krehkými poruchami, má jaskyňa

angulárny sieťovitý pôdorys, zatiaľ čo v severnej časti jaskyne menej výrazné poruchy podmienili anastomózny charakter jaskyne a sú ťažšie pozorovateľné pre výraznú modeláciu stien a stropov koróznymi procesmi.

Moldavská jaskyňa predstavuje kombinovaný angulárny sieťovitý a anastomózny labyrint. Vytvárala sa v štyroch hlavných vývojových fázach: 1. epifreatická modelácia jaskyne viažuca sa na bývalý zárez riečiska a laterálne zarovnanie nivy Bodvy, miestami hlbšie freatické skrasovatenie predurčené vertikálnymi zlomami; 2. vypĺňanie jaskyne povodňovými sedimentmi a paragenetická modelácia skalných stropov v dôsledku agradácie povrchového riečiska Bodvy; 3. stagnácia vodnej hladiny pravdepodobne v úrovni vrchného okraja würmskej štrkovej akumulácie nivy Bodvy pred jaskyňou a vytvorenie hladinového korózneho zárezu; 4. občasné zaplavovanie jaskyne prevažne v dôsledku stúpania hladiny podzemnej vody, splavovanie a gravitačné zosúvanie zvlhčených hlinitých sedimentov do nižších podzemných priestorov predurčených vertikálnymi zlomami. Z hľadiska morfológie a genézy je Moldavská jaskyňa jedinečným príkladom horizontálneho podzemného labyrintu na Slovensku.

Poďakovanie

Tento geologický a geomorfologický výskum Moldavskej jaskyne sa realizoval v rámci Plánu hlavných úloh Štátnej ochrany prírody SR na rok 2017 a vedeckých grantových projektov VEGA 2/0034/16, VEGA 1/0430/15 a APVV-14-0118. Ing. Ľubomírovi Petrovi, CSc., z regionálneho centra ŠGÚDŠ v Košiciach sme vďační za poskytnutie údajov z vrtov v Moldave nad Bodvou a jej okolí a Pavlovi Staníkovi zo Správy slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši za fotografiu Moldavskej jaskyne. Za cenné rady a pripomienky ďakujeme editorovi a recenzentom.

Literatúra

Bandura, P. & Gallay, M., 2015: Morfoštruktúrna analýza povodia Bodvy so zreteľom na Slovenský kras. *Geogr. Čas., 67, 2, 149 – 168.*

Bella, P., 1995: Princípy a teoreticko-metodologické aspekty morfologickej klasifikácie jaskýň. *Slov. Kras, 33, 3 – 15.*

Bella, P., 2005: K morfológii a genéze Liskovskej jaskyne. *Slov. Kras, 43, 37 – 52.*

Bella, P., 2007a. Environmentálne problémy využívania a ochrany krasu v kotlinách a podoliach Západných Karpát. *Geogr. Cassoviensis, 1, 11 – 18.*

Bella, P., 2007b: *Scallops*, *transverse flutes*, *Laugfacetten* a *solution bevels* v slovenskej speleogeomorfologickej terminológii. *Aragonit, 12, 33 – 37.*

Bella, P., 2013: Korózne šikmé facety v jaskyniach a ich morfogenetické znaky – príklady z vybraných jaskýň na Slovensku. *Aragonit, 18, 2, 78 – 84.*

Bella, P., 2016: Jaskyne na Slovensku – genetické typy a morfológia. *Ružomberok, Verbum, 124 s.*

Bella, P., Bosák, P., Pruner, P., Hochmuth, Z. & Hercman, H., 2007: Magnetostratigrafia jaskynných sedimentov a speleogenéza Moldavskej a Jasovskej jaskyne. *Slov. Kras, 45, 15 – 42.*

Berge, C., 1962. Theory of Graphs and Its Applications. *New York, John Wiley, 247 s.*

Brönnimann, P., Cadet, J.-P., Ricou, L.-E. & Zaninetti, L., 1973: Révision morphologique et émendation du genre triasique *Galeanella* Kristan-Tollmann (foraminifere) et description de *Galeanella panticae*, n. sp. (Dinarides yougoslaves et Zagros, Iran). *Verh. Geol. Bundesanst., 3, 411 – 435.*

Bruthans, J., 2001: Nové poznatky o charakteru a genezi podzemních krasových forem v Českém krasu a dalších oblastech bez soustředěných ponorů v České republice. *Čes. Kras, 27, 21 – 29.*

Cílek, V., 2000: Mineralogické výzkumy v Moldavské jeskyni a Mniší díře ve Slovenském krasu. *Spravodaj Slov. speleol. spol., 31, 4, 8 – 10.*

Danko, S., 2004: Jaskyňa Helena. *Spravodaj Slov. speleol. spol., 35, 4, 34 – 38.*

Danko, S., 2006: Matejova jaskyňa. *Spravodaj Slov. speleol. spol., 37, 2, 28 – 29.*

Droppa, A., 1965: Geomorfologický a hydrologický výskum Jasovskej jaskyne. *Slov. Kras, 5, 3 – 9.*

Droppa, A., 1971: Vzťah horizontálnych chodieb Jasovskej jaskyne k terasám Bodvy. In: Kvitkovič, J. (ed.): Problémy geografického výskumu. Zborník referátov z X. jubilejného zjazdu československých geografov, Prešov 2. – 5. 9. 1965. *Bratislava, Veda, Vyd. Slov. Akad. Vied, 99 – 106.*

Elečko, M. & Vass, D., 1997a: Terciér. In: Mello, J. (ed.), Elečko, M., Pristaš, J., Reichwalder, P., Snopko, L., Vass, D., Vozárová, A., Gaál, Ľ., Hanzel, V., Hók, J., Kováč, P., Slavkay, M. & Steiner, A.: Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského krasu 1 : 50 000. *Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 106 – 127.*

Elečko, M. & Vass, D., 1997b: Tektonika v terciéri. In: Mello, J. (ed.), Elečko, M., Pristaš, J., Reichwalder, P., Snopko, L., Vass, D., Vozárová, A., Gaál, Ľ., Hanzel, V., Hók, J., Kováč, P., Slavkay, M., Steiner, A.: Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského krasu 1 : 50 000. *Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 147 – 152.*

Ford, D. C. & Williams, P. W., 2007: Karst Hydrogeology and Geomorphology. *Chichester, Wiley, 562 s.*

Gaál, Ľ., 2008: Geodynamika a vývoj jaskýň Slovenského krasu. *Liptovský Mikuláš, ŠOP SR, SSJ – Žilina, Knižné centrum, 168 s.*

Himmel, J., 1963: Jeskyně a vyvěračky východní části Jasovské planiny v Jihoslovenském krasu. *Kras v Československ., 1 – 2, 10 – 18.*

Hochmuth, Z., 2000a: Geomorfologický vývoj strednej časti doliny Bodvy a krasový fenomén okraja Slovenského krasu. In: Lacika, J. (ed.): Zborník referátov z 1. konferencie Asociácie slovenských geomorfológov pri SAV, Liptovský Ján 21. – 23. 9. 2000. *Bratislava, ASG pri Slov. Akad. Vied, 51 – 56.*

Hochmuth, Z., 2000b: Moldavská jaskyňa – mierny pokrok. *Spravodaj Slov. speleol. spol., 31, 2, 20 – 22.*

Hochmuth, Z., 2000c: Moldavská jaskyňa vo vzťahu ku geomorfologickému vývoju doliny Bodvy. In: Bella, P. (ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z 2. vedeckej konferencie, Demänovská Dolina 16. – 19. 11. 1999. *Liptovský Mikuláš, SSJ, 52 – 58.*

Hochmuth, Z., 2004: Príspevok ku genéze drobných foriem modelácie jaskynných chodieb v Medzevskej pahorkatine. In: Bella, P. (ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov zo 4. vedeckej konferencie, Tále 5. – 8. 10. 2003. *Liptovský Mikuláš, SSJ, 35 – 42.*

Hochmuth, Z., 2007a. Kras Medzevskej pahorkatiny ako príklad kotlinového krasu. *Geogr. Cassoviensis, 1, 49 – 54.*

Hochmuth, Z., 2007b: Geológia a geomorfológia okolia. In: Soják, M. & Terray, M. (eds.): Moldavská jaskyňa v zrkadle dejín. *Moldava nad Bodvou, MÚ, 12 – 14.*

Hochmuth, Z., 2007c: Opis jaskynných priestorov. In: Soják, M. & Terray, M. (eds.): Moldavská jaskyňa v zrkadle dejín. *Moldava nad Bodvou, MÚ, 15 – 24.*

Hochmuth, Z. & Barabas, D., 2001: Krasová hydrografia na kontakte Slovenského krasu a Košickej kotliny. *Slov. Kras, 39, 59 – 66.*

Homola, V., 1951: Hydrogeologická studie Drienovecké vyvěračky v Jihoslovenském krasu. *Československ. Kras, 4, 3 – 8.*

Homola, V., 1961: Geologické poměry Jasovské plošiny v Jihoslovenském krasu. *Sbor. věd. Prací Vys. Šk. báň. (Ostrava), 7, 4 – 5, 373 – 394.*

Howard, A. D., 1971: Quantitative Measures of Cave Patterns. *Caves and Karst, 13, 1, 1 – 7.*

Howard, A. D., Keetch, M. E. & Vincent, C. L., 1970: Topological and geometrical properties of braided streams. *Wat. Resour. Res., 6, 6, 1 674 – 1 688.*

Jakál, J., 1975: Kras Silickej planiny. *Martin, Osveta, 152 s.*

Janočko, J., 1990: Kvartér Košickej kotliny a priľahlej časti Slanských vrchov. Kandidátska dizertačná práca. *Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra,149 s.*

Janočko, J. & Baňacký, V., 1996: Kvartér. In: Kaličiak, M. (ed.), Baňacký, V., Bodnár, J., Dubéciová, A., Jacko, S., Janočko, J., Jetel, J., Karoli, S., Petro, Ľ., Spišák, Z., Syčev, V., Zlinská, B. & Žec, B.: Vysvetlivky ku geologickej mape Slanských vrchov a Košickej kotliny – južná časť 1 : 50 000. *Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 95 – 116.*

Kaličiak, M. (ed.), Baňacký, V., Janočko, J., Karoli, S., Petro, Ľ., Spišák, Z., Vozár, J. & Žec, B., 1996a: Geologická mapa Slanských vrchov a Košickej kotliny – južná časť 1 : 50 000. *Bratislava, GS SR.*

Kaličiak, M., Karoli, S. & Janočko, J., 1996b: Tektonika. In: Kaličiak, M. (ed.), Baňacký, V., Bodnár, J., Dubéciová, A., Jacko, S., Janočko, J., Jetel, J., Karoli, S., Petro, Ľ., Spišák, Z., Syčev, V., Zlinská, B. & Žec, B.: Vysvetlivky ku geologickej mape Slanských vrchov a Košickej kotliny – južná časť 1 : 50 000. *Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 117 – 122.*

Karoli, S., Kaličiak, M., Žec, B., Dubéciová, A. & Zlinská, A., 1996: Neogén. In: Kaličiak, M. (ed.), Baňacký, V., Bodnár, J., Dubéciová, A., Jacko, S., Janočko, J., Jetel, J., Karoli, S., Petro, Ľ., Spišák, Z., Syčev, V., Zlinská, B. & Žec, B.: Vysvetlivky ku geologickej mape Slanských vrchov a Košickej kotliny – južná časť 1 : 50 000. *Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 31 – 95.*

Kladiva, E., Hochmuth, Z. & Thuróczy, J., 1999: Moldavská jaskyňa. *Spravodaj Slov. speleol. spol., 30, 1, 30 – 35.*

Kováč, M., Márton, E., Oszczypko, N., Vojtko, R., Hók, J., Králiková, S., Plašienka, D., Klučiar, T., Hudáčková, N. & Oszczypko-Clowes, M., 2017: Neogene palaeogeography and basin evolution of the Western Carpathians, Northern Pannonian domain and adjoining areas. *Glob. Planet. Change, 155, 133 – 154.*

Lacika, J., 2004: Progressive evolution of the Bodva drainage basin (SE West Carpathians, Slovakia). *Acta Univ. Carol., Geogr., 39, 73 – 84.*

Lange, A., 1963: Planes of repose in caves. *Cave Notes, 5, 6, 41 – 48.*

Lešinský, G. & Bukovský, K., 1999: Jaskyňa Mníchova diera. *Spravodaj Slov. speleol. spol., 30,1, 23 – 26.*

Liška, M., 1994: Povrch. In: Rozložník, M. & Karasová, E. (eds.): Chránená krajinná oblasť – Biosférická rezervácia Slovenský kras. *Martin, Osveta, 22 – 36.*

Mazúr, E. & Lukniš, M., 1977: Regionálne geomorfologické členenie Slovenskej socialistickej republiky. *Geogr. Čas., 30, 2, 101 – 125.*

Mello, J. (ed.), Elečko, M., Pristaš, J., Reichwalder, P., Snopko, L., Vass, D. & Vozárová, A., 1996: Geologická mapa Slovenského krasu 1 : 50 000. *Bratislava, GS SR.*

Mello, J., 1997: Silicikum. In: Mello, J. (ed.), Elečko, M., Pristaš, J., Reichwalder, P., Snopko, L., Vass, D., Vozárová, A., Gaál, Ľ., Hanzel, V., Hók, J., Kováč, P., Slavkay, M. & Steiner, A.: Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského krasu 1 : 50 000. *Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 80 – 104.*

Müller, J., 1980: Moldavská jeskyně. *Československ. Kras, 31 (1979), 97 – 102.*

Orvan, J., 1994: Podzemné vody. In: Rozložník, M. & Karasová, E. (eds.): Chránená krajinná oblasť – Biosférická rezervácia Slovenský kras. *Martin, Osveta, 225 – 234.*

Orvan, J., 1999: Podzemné vody Slovenského krasu. In: Šmídt, J. (ed.): Výskum a ochrana prírody Slovenského krasu. Zborník referátov zo seminára pri príležitosti 25. výročia vyhlásenia Chránenej krajinnej oblasti Slovenský kras, Hrádok pri Jelšave 23. – 25. 9. 1998. *SAŽP, Správa CHKO Slovenský kras, Brzotín, 51 – 59.*

Palmer, A. N., 1975: The origin of maze caves. *Bull. Nation. Speleol. Soc., 37, 3, 57 – 76.*

Palmer, A. N., 1991: Origin and morphology of limestone caves. *Geol. Soc. Amer. Bull., 103, 1, 1 – 21.*

Palmer, A. N., 2007: Cave geology. *Dayton, Ohio, Cave Books, 454 s.*

Palmer, A. N., 2011: Distinction between epigenic and hypogenic maze caves. *Geomorphology, 134, 1, 9 – 22.*

Petro, Ľ. & Polaščinová, E., 1992: Základná inžinierskogeologická mapa 1 : 10 000, oblasť Moldava nad Bodvou. *Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 46 príl.*

Petro, Ľ. & Polaščinová, E., 1996: Inžinierskogeologické vlastnosti kvartérnych sedimentov v okolí Moldavy nad Bodvou. *Geol. Práce, Spr., 102, 27 – 36.*

Pristaš, J., 1997: Kvartér. In: Mello, J. (ed.), Elečko, M., Pristaš, J., Reichwalder, P., Snopko, L., Vass, D., Vozárová, A., Gaál, Ľ., Hanzel, V., Hók, J., Kováč, P., Slavkay, M. & Steiner, A.: Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského krasu 1 : 50 000. *Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 127 – 134.*

Röller, K. & Trepmann, C. A., 2003: Stereo32, software. *Bochum, Nemecko, Ruhr Universität.* [http://www.ruhr-uni-bochum.de/hardrock/downloads.html].

Salaj, J., Borza, K. & Samuel, O., 1983: Triassic Foraminifers of the West Carpathians. *Bratislava, Geol. Úst. D. Štúra, 9 – 201, Pl. I – CLVII.*

Seneš, J., 1946: Výskumné práce v Juhoslovenskom krase. *Krásy Slov., 23, 6, 128 – 132.*

Sztanó, O., Kováč, M., Magyar, I., Šujan, M., Fodor, L., Uhrin, A., Rybár, S., Csillag, G. & Tőkés, L., 2016: Late Miocene sedimentary record of the Danube/Kisalföld Basin: interregional correlation of depositional systems, stratigraphy and structural evolution. *Geol. Carpath., 67, 6, 525 – 542.*

Šujan, M., Braucher, R., Kováč, M., Bourlès, D., Rybár, S., Guillou, V. & Hudáčková, N., 2016: Application of the authigenic $^{10}Be/^{9}Be$ dating method to Late Miocene – Pliocene sequences in the northern Danube Basin (Pannonian Basin System): Confirmation of heterochronous evolution of sedimentary environments. *Global Planet. Change, 137, 35 – 53.*

Šujan, M., Kováč, M., Hók, J., Šujan, M., Braucher, R., Rybár, S. & de Leeuw, A., 2017: Late Miocene fluvial distributary system in the northern Danube Basin (Pannonian Basin System): depositional processes, stratigraphic architecture and controlling factors of the Piešťany Member (Volkovce Formation). *Geol. Quart., 61, 3, 521 – 548.*

Terray, M., 2007: Poloha Moldavskej jaskyne. In: Soják, M. & Terray, M. (eds.): Moldavská jaskyňa v zrkadle dejín. *Moldava nad Bodvou, MÚ, 8 – 9.*

Tkáčik, P., Pavúr, K. & Cibulka, L., 1964: Hydrogeologický prieskum Moldavskej nížiny, predbežný HGP. *Manuskript. Žilina, archív Geol. priesk., 51 s., 77 príl.*

Vass, D., Began, A., Gross, P., Kahan, Š., Krystek, I., Köhler, E., Lexa, J., Nemčok, J., Růžička, M. & Vaškovský, I., 1988: Regionálne geologické členenie Západných Karpát a severných výbežkov Panónskej panvy na území ČSSR 1 : 500 000. *Bratislava, Geol. Úst. D. Štúra.*

Vysoká, H., Bruthans, J., Žák, K. & Mls, J., 2012: Response of karstic phreatic zone to flood events in a major river (Bohemian Karst, Czech Republic) and its implication for cave genesis. *J. Cave Karst Stud., 74, 1, 65 – 81.*

White, W. B., 1960: Terminations of passages in Appalachian caves as evidence for a shallow phreatic origin. *Bull. National Speleol. Soc., 22, 1, 43 – 53.*

White, W. B., 1988: Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains. *New York, Oxford, 464 s.*

Zacharov, M., 1998: Jasovská jaskyňa – litostratigrafia a tektonika. *Acta Montan. Slov., 3, 2, 115 – 122.*

Zacharov, M., 2000: Geologická stavba východnej časti Slovenského krasu a jej vplyv na vznik endokrasu. *Slov. Kras, 38, 7 – 17.*

Zacharov, M., 2007: Vplyv tektoniky na vznik a vývoj endokrasu v SV časti Slovenského krasu v okolí Jasova. *Slov. Kras, 45, 43 – 54.*

Zacharov, M., 2008a: Geologické a tektonické pomery Drienovskej jaskyne v Slovenskom krase. *Slov. Kras, 46, 1, 41 – 52.*

Zacharov, M., 2008b: Výskum disjunktívnej tektoniky Drienovskej jaskyne v Slovenskom krase. *Slov. Kras, 46, 2, 287 – 300.*

Zacharov, M., 2009: Disjunktívne štruktúry južného okraja Jasovskej planiny a ich vplyv na vznik a vývoj endokrasu. *Slov. Kras, 47, 1, 41 – 56.*

Zacharov, M., 2012: Význam regionálnych tektonických štruktúr vo východnej časti Slovenského krasu pre vznik a vývoj jaskýň. *Slov. Kras, 50, 1, 11 – 30.*

Moldavská jaskyňa Cave – a horizontal labyrinth originated by allochthonous waters of the Bodva River in the contact karst of Medzevská pahorkatina Hilly Land, Slovakia

The origin and development of caves in the contact karst of Medzevská pahorkatina Hilly Land is related to the peculiarities of tectonic and geomorphological development of the Bodva river valley in the western part of the Košická kotlina Basin. The karst is located at the western margin of the Košická kotlina, separated from the adjacent the Jasovská planina Plateau by the N–S-trending fault zone.

The Moldavská jaskyňa, with a length of 3,070 m, lies on the right side of the surface aggraded river bed, in the Moldava nad Bodvou Town. Its underground is featured by maze pattern, small-scale solution morphologies sculpted in slowly flowing to stagnant waters, and slackwater facies of fine-grained allochthonous sediments. The cave represents a two-dimensional labyrinth consisting of angular network and anastomotic-like, locally spongework segments originated mainly due to the diffuse penetration and repeated flood injections of allochthonous waters from the Bodva River, and persistent ponded floodwaters in underground conduits.

It is formed in the Wetterstein Limestones fractured by faults, breccia zones, joints and veinlets of different orientations. The pattern of the cave was strongly influenced by the E–W and NW–SE to WNW–ESE-striking discontinuities, with NE–SW-oriented faults with relatively shallow dip (30° – 50°) exerting limited influence, and the NNW–SSE-trending discontinuities having only limited importance. These types of mesoscopic discontinuities could be linked to the megascopic faults running through the surrounding area of the cave: E–W-oriented fault located at the southern margin of the Jasovská planina, NW–SE-striking faults of the Miglinc Valley – a part of the Rožňava Fault zone, NE–SW-oriented faults representing the continuation of the Darnó line, and the faults with general trend to the N–S separating Jasovská planina from the karst of Medzevská pahorkatina. Angular network

segments are controlled by larger-scale tectonic discontinuities, anastomotic-like, locally spongework segments by dense joint and veinlet sets.

Several small-scale phreatic and epiphreatic solution morphologies (ceiling pockets, rock pendants, flat ceiling surfaces, lateral notches and some other forms) are observed on the cave ceiling and walls. Ceiling pocket were formed by turbulent water flow or mixing corrosion along steep tectonic discontinuities. Fault-controlled parallel passages in the central part of the cave are separated by rock partitions with holes and windows. In chambers and larger halls, rock pillars rise from the clayey floor to the rock ceiling. Also numerous irregular spongework cavities indicate the high degree of karstification. In the whole cave, the bedrock floor is covered by thick flood fine-grained allochthonous sediments, in many places up to the ceiling. Paragenetic ceiling channels originated by concentrated water flows in places where passages and halls were filled with these sediments almost to the rock ceiling. Small anastomous channels are a result of initial karstification along tectonic discontinuities, mainly due to the flood water injection. Ceiling oval depressions and wall niches with a top flat surface, mostly covered by a thin clayey coating from floods, are some of the most specific solution morphologies in the cave (they should be studied in more detail). Inward-inclined facets (planes of repose) on the lower part of rock walls were formed by limestone solution during slow water circulation, when the accumulation of insoluble residues created a barrier for widening the floor and sloping walls in flooded part of passages a halls.

Wall water-table notches correpond with the former surface of fine-grained sediments and shallow lake or underground water table. Vertical paragenetic half tubes developed at the contact of former fluvial sediments with a limestone wall. They are uncovered in the central part of the cave where the surface of fine-grained sediments was lowered by 2.5 to 3 m due to their flushing and gravity sliding into supposed lower-lying phreatic cavities.

Based on cave morphology and morphostratigraphy, cave sediments and their locally unlevel surface, as well as the vertical position of the underground spaces in relation to the aggraded bed of the Bodva River we conclude that the cave was formed during these main developmental phases: (1) epiphreatic origin and enlargement of the cave in relation to the former downcutting of the river bed and subsequent lateral planation of the Bodva floodplain (alluvial plain), deeper phreatic karstification controlled by vertical faults; (2) filling of the cave with flood fine-grained sediments and paragenetic sculpturing of rock ceilings in consequence of the aggradation of the Bodva surface river bed; (3) oscillation and stagnation of groundwater table, probably at the top edge of the Würm gravel accumulation of the Bodva floodplain in front of the cave, and the formation of a corrosion water-table wall notch and several segments of flat ceiling in the cave; (4) flooding of the cave and continuing paragenetic sculpturing of rock ceilings in consequence of the aggradation of the surface river bed by Holocene fluvial sediments; (5) decline of groundwater table in connection with a slightly downcutting of the surface river bed, repeated flooding of the cave, flushing and gravity sliding of wetted fine-grained sediments into lower-lying underground spaces originated along vertical tectonic discontinuities.

From the viewpoint of morphology and genesis, Moldavská jaskyňa is a unique example of a two-dimensional underground labyrinth in Slovakia.

Doručené / Received: 25. 10. 2018
Prijaté na publikovanie / Accepted: 3. 12. 2018