

VZNIK A MORFOLÓGIA HYDROTERMÁLNYCH JASKÝŇ V ZÁPADNÝCH KARPATOCH A ICH PREDPOLÍ

PAVEL BELLA*, LUDOVÍT GAÁL**

Pavel Bella, Ludovít Gaál: The origin and morphology of hydrothermal caves in the Western Carpathians and their foreland. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 14, 2014, 2, 8 figs., 1 tab., 95 refs.

During a complicated geological evolution of the Western Carpathians and its foreland hydrothermal caves have originated in different settings and epochs. The origin of the Zbrašovské aragonitové jaskyne Caves and the Hranická propast Abyss (Hranice Karst, Czech Republic) was predisposed by deep marginal fault between the Western Carpathians and the Bohemian Massif. Hydrothermal karst in the Buda Hills (Budapest, Hungary) is formed in Triassic-Eocene carbonate blocks that were uplifted in Miocene and exhumated from Oligocene clays. Meteoric waters infiltrated into the depths are heating and ascending on the surface at the contact of carbonates and impermeable rocks of sedimentary basin. Similar hydrogeological conditions for a hydrothermal speleogenesis are in the foothill and foreland of the Bükk Mts. (north-eastern Hungary) where subsided blocks of Triassic carbonates are covered by Paleogene and Neogene clays and siltstones. Cavities with thermal water in mesozoic carbonates covered by Neogene sedimentary rocks were determined by boreholes in the Rimavská kotlina Basin and the Liptovská kotlina Basin (southern and northern Slovakia). Geoda-like cavities and small hydrothermal caves occur also in faulted nappe structures of Triassic carbonates that were uplifted within the Tatra-Fatra belt of core mountains, Inner Western Carpathians (e.g. the Dziura Cave in the Tatra Mts., Zakopane, southern Poland). Hydrothermal cavities integrated into larger caves in fractured and uplifted mesozoic carbonates are known on the northern slopes of the Nízke Tatry Mts. (northern Slovakia). The origin of hydrothermal caves in the Štiavnické vrchy Mts. (central Slovakia) is associated with an evolution and metallogenesis of Miocene stratovolcano. The First Karst Cave in Middle Triassic carbonates was originated by hydrothermal processes linked to the post-caldera epithermal system (magmatic fluids of subvolcanic intrusions penetrated into carbonates and mixed with meteoric waters). The Šobovské jaskyne Caves in metasomatic silicites were formed by acid leaching and silicification of andesite porphyries by magmatic fluids of subvolcanic diorite intrusion. The thermal-sulphuric genesis of Sátorkő-pusztai Cave in carbonates of the Pilis Mts. (northern Hungary) was also induced by Miocene volcanism (a typical example of upwardly dendritic caves with cupolas originated by condensation corrosion above thermal water). Caves in metasomatic magnesite, with mineralogical evidences of their hydrothermal origin, were investigated in the Revúcka vrchovina Mts. (the south-eastern part of central Slovakia).

Key words: karst, hypogenic cave, hydrothermal speleogenesis, post-magmatic dissolution, thermal-sulphuric speleogenesis, cave morphology, magnesite karstification, cavernous secondary silicites, diversity, alpine orogenesis

ÚVOD

Hydrotermálne jaskyne patria medzi pozoruhodné prírodné javy, ktoré vznikajú za osobitných podmienok vplyvom endogénnej dynamiky Zeme a zmien fyzikálnych a chemických vlastností podzemných vôd počas ich hlbkej cirkulácie v zemskej kôry. Na Slovensku sa hydrotermálne jaskyne systematickejšie skúmajú až v posledných rokoch, hoci v okrajových častiach Západných Karpát a ich predpolí na maďarskom, českom a poľskom území sú zväčša dávnejšie preskúmané. Hydrotermálna speleogenéza v rôznorodých podmienkach

a časových obdobiach je spätá so zložitou geologickou stavbou a vývojom Západných Karpát, najmä počas alpínskej orogenézy (BELLA et al. 2009, BELLA 2012, BELLA a GAÁL 2012 a 2013).

Cieľom tohto príspevku je podať súborný prehľad doterajších poznatkov o rôznorodých geologických a hydrogeologických podmienkach vývoja a morfogenetických odlišnostiach hydrotermálnych jaskýň v Západných Karpatoch a ich predpolí. Západné Karpaty patria medzi pohoria s výraznou priestorovou i časovou variabilitou vývoja hydrotermálnych jaskýň, čo doteraz nebolo predmetom súbornejšej

* Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovensko, e-mail: pavel.bella@ssj.sk

* Katolícka univerzita v Ružomberku, Pedagogická fakulta, Katedra geografie, Hrabovská cesta 1, 034 01 Ružomberok, Slovensko, e-mail: pavel.bella@ku.sk

** Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň, pracovisko Rimavská Sobota, Železničná 31, 979 01 Rimavská Sobota, Slovensko, e-mail: ludovit.gaal@ssj.sk

štúdie. Poznanie hydrotermálnej speleogenézy je neoddeliteľnou súčasťou karpatskej krasovej geomorfológie a speleológie. Hydrotermálne jaskyne dotvárajú široké spektrum genetických typov jaskýň na Slovensku.

HYDROTERMÁLNA ČINNOSŤ A JASKYNE

Hydrotermálne jaskyne vznikajú rozpúšťaním hornín pôsobením termálnych vôd hlbinného pôvodu, ktoré sú zvyčajne ohohatené o CO₂, v niektorými prípadoch aj o H₂S (DUBLJANSKIJ a DUBLJANSKIJ 1984, FORD a WILLIAMS 1989, DUBLJANSKIJ 1990, DUBLYANSKY 2000a, DUBLYANSKY 2005, FORD a WILLIAMS 2009, ANDREY-CHOUK et al. 2009 a iní). Nad výstupmi termálnych vôd s vysokou koncentráciou H₂S vznikajú termálno-sulfurické jaskyne – účinkom vôd obsahujúcich kyselinu sírovú (H₂SO₄), ktorá sa tvorí oxidáciou H₂S tesne pod hladinou alebo na hladine podzemnej vody (EGEMEIER 1981, HILL 1986, FORD a WILLIAMS 1989, PALMER 1991, HILL 2000, PALMER a HILL 2005, FORD a WILLIAMS 2007, PALMER 2007 a iní). V sulfurických jaskyniach sa karbonáty účinkom kondenzačnej korózie intenzívne rozpúšťajú aj nad vodnou hladinou (EGEMEIER 1981, AUDRA et al. 2007 a AUDRA et al. 2009). Keďže na vytváranie sulfurických jaskýň zvýšená teplota vody nie je potrebná, všetky sulfurické jaskyne nemožno zaradiť k hydrotermálnym jaskyniam (iba termálno-sulfurické jaskyne). Hydrotermálne jaskyne patria medzi hypogénne jaskyne (KLIMCHOUK 2007 a iní). Chemická agresivnosť vôd, ktoré vytvárajú hypogénne jaskyne, nezávisí od prírodných podmienok a procesov na zemskom povrchu (PALMER 2007 a PALMER 2011).

Vo všeobecnosti sa za geotermálnu považuje akákoľvek voda ohriata prírodnými geologickými procesmi nad teplotu okolitého zemského povrchu (WHITE 1957 a BODNAR 1999). Ďalšie definície geotermálnej vody však uvádzajú rozdielnú spodnú teplotnú hranicu. Zvyčajne sa za spodný limit termálneho prostredia považuje teplota 20 °C (HÖLTING a COLDEWEY 2005). DUBLYANSKY (2000a, 2005) za termálnu považuje vodu, ktorá dosahuje teplotu 20 °C a viac a pritom je najmenej o 5 °C teplejšia ako je teplota okolitého prostredia. Na základe metódy klimatickej gradácie sa v európskej hydrogeologickej škole voda považuje za termálnu, ak jej teplota prevyšuje priemernú ročnú teplotu vzduchu v danom území o 4 °C (SCHOELLER 1962). U nás sa podľa FRANKA et al. (1975) za termálnu považuje prírodná voda s teplotou nad 15 °C (prijatá

relatívna hranica), t. j. s teplotou vyššou o 5 °C ako je priemerná ročná teplota vzduchu v najteplejších oblastiach na Slovensku. Vody s teplotou 15 až 20 °C, ktoré v zime nezamrzajú, sa označujú ako teplice. SPÖTL et al. (2009) zaraďujú jaskyne, ktoré vytvorila voda ohriata na menej ako 50 °C, medzi nízkoteplotný hydrotermálny kras. Geotermálne zdroje sa podľa teploty delia na nízkoteplotné (do 100 °C), strednoteplotné (100 až 200 °C) a vysokoteplotné (nad 200 °C) (PEARL 1976). Voda sa vo vrchnej časti zemskej kôry ohrieva podľa geotermického stupňa alebo vplyvom magmatickej, resp. vulkanickej činnosti.

Zdrojom geotermálnej vody môže byť voda meteorického pôvodu infiltrujúca do hlbokých akviférov, morská voda vnikajúca do hlbších častí zemskej kôry, intersticiálna voda v priepustných horninách pokrytých, resp. obmedzených nepriepustnými horninami (fosílna voda), juvenilná voda uvoľňujúca sa z magmy počas jej chladnutia a kryštalizácie (vodná para z vylúčených a pod tlakom zlúčených molekúl vodíka a kyslíka, ktorá sa vystupovaním do vyšších vrstiev zemskej kôry ochladzuje a kondenzuje na kvapalinu), ako aj voda uvoľňujúca sa dehydratáciou počas metamorfózy sedimentárnych hornín alebo hornín tvorených minerálmi obsahujúcimi vodu. Viaceré z týchto typov vôd sa môžu navzájom miešať (WHITE 1957 a BODNAR 1999).

V závislosti od štruktúrno-geologickej predispozície, dimenzie a členitosti podzemných priestorov majú hydrotermálne jaskyne jednoduchú až zložitú morfológiu. CHOPPY (1994) rozlišuje sférické, sieťové a špongiovité hydrotermálne jaskyne. FORTI (1996) vyčleňuje monogénne hydrotermálne jaskyne so *stúpajúcimi* zvonovitými tvarmi na skalných stenách a stropoch (vytvorené výlučne termálnou vodou) a labyrintové dvojdimenzionálne a trojdimenzionálne hydrotermálne jaskyne (vytvorené termálnou vodou miešajúcou sa s presakujúcimi atmosférickými vodami). DUBLYANSKY (2000a, 2005) triedi hydrotermálne jaskyne na izometrické dutiny až siene (s priemerom 0,5 až 8 m), individuálne dómy (dlhé 100 až 200 m, široké 30 až 60 m, vysoké do 80 m), jednoduché rúrovité jaskyne (dlhé do 600 m, termálno-sulfurické jaskyne), kríkovité jaskyne s kupolami (z hlavnej siene nahor vystupujú rozvetvené komínovité chodby) a freatické labyrintové jaskyne (dlhé aj viac ako 100 km). AUDRA et al. (2009) delia hydrotermálne jaskyne na disolučné izolované geódovité dutiny, trojdimenzionálne viacposchodové jaskyne, dvojdimenzionálne labyrintové jaskyne a hlboké freatické šachty, termálno-sulfurické jaskyne na horizontálne úrovňové, zväčša labyrintové jaskyne (vytvorené pozdĺž hladiny vody), dendritické a dómovité jaskyne (vytvorené

kondenzačnou koróziou nad hladinou termálnej vody).

GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ PODMIENKY HYDROTERMÁLNEJ SPELEOGENÉZY V ZÁPADOKARPATSKEJ OBLASTI

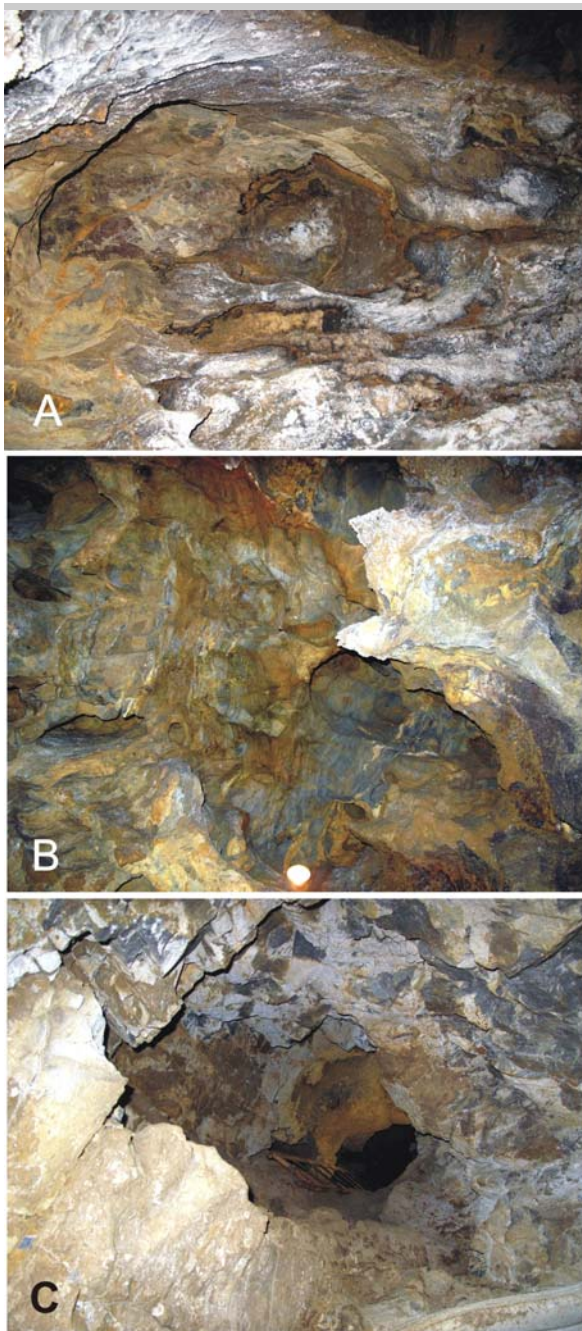
Západné Karpaty, ktorých rozloha je približne 70 000 km², predstavujú rozsiahlu horskú provinciu v západnej časti Karpát, ktoré sú súčasťou alpsko-himalájskej sústavy. Ich oblúk zasahuje na územie severovýchodného Rakúska, východnej a severovýchodnej Moravy (Česká republika), Slovenska, severnej časti Poľska, severného Maďarska. Na západe Západné Karpaty hraničia s Viedenskou panvou a Českou vysočinou, na severe s Malopoľskou vrchovinou, na severovýchode s Východnými Karpatmi, na juhovýchode, juhu a juhozápade s Panónskou panvou.

Západné Karpaty majú komplikovanú geologickú stavbu, vznikajúcu od prvohôr. Na ich vývoj najvýraznejšie pôsobila alpínska orogénéza, najviac počas viacerých fáz od strednej jury po neogén. Stavebné jednotky Západných Karpát sú výrazne pásmovito usporiadané. Na severe sú Vonkajšie Západné Karpaty tvorené čelnou predhĺbinou, na ktorú je nasunuté flyšové pásmo. Južnejšie Centrálné Západné Karpaty zahrňujú považsko-pieninské pásmo (bradľové pásmo), tatransko-fatranské pásmo jadrových pohorí, veporské a gemerské pásmo. Súčasťou Vnútorných Západných Karpát je meliatske, bükkské, bakonské a zemplínske pásmo (PLAŠIENKA 1999). Na túto alpínsku stavbu sú naložené neskoršie potektonické útvary – paleogénne a neogénne panvy a neovulkanity. Tektonické členenia Západných Karpát však nie sú jednotné (pozri MIŠÍK et al. 1985, HÓK et al. 2014 a ďalší).

V nadväznosti na členenie PLAŠIENKU (1999) sa geomorfologicky do Západných Karpát zaraďujú aj maďarské pohoria Bakony, Börzsöny, Cserhát, Pilis, Mátra, Bükk, Szendrő a Zempléni-hegység (MINÁR et al. 2011). Podľa HÓKA et al. (2014) južné rozhranie Západných Karpát vedie nadväzujúcimi zlomami Rába – Hurbanovo – Diósjenő – Darnó, čím sa geologické vymedzenie Západných Karpát nezhoduje s ich uvedeným geomorfologickým ohraničením.

Vzhľadom na zložitý geologický vývoj Západných Karpát a ich predpolia (vrásovo-príkrovové štruktúry, zlomové hrast'ové, klenbohrast'ové a grabenové štruktúry, vulkanizmus) sa hydrotermálne jaskyne vytvárali vo viacerých, navzájom odlišných geologických, resp. hydrogeologických podmienkach a počas niekoľkých geologických dôb až po súčasnosť.

1. Hlboké zlomy na okraji Západných Karpát. Hranický kras na rozhraní Českého masívu a Západných Karpát prešiel zložitým polyfázovým vývojom. Kvartérnu vývojovú fázu predstavuje hydrotermálne krasovatenie. Zbrašovské aragonitové jaskyne predstavujú sústavu chodieb, siení a komínov, ktorá dosahuje dĺžku 1435 m a hĺbku 55 m (**Obr. 1**). Ich najrozsiahlejšiu časť tvorí subhorizontálny labyrint chodieb a siení vo výške 5 – 10 m nad terajším dnom doliny Bečvy. Nadol klesajú



Obr. 1 Zbrašovské aragonitové jaskyne, Hranický kras: A a B – stropné sférické vyhlbeniny, C – prívodný kanál vytvorený vystupujúcimi hydrotermálnymi vodami. Foto: P. Bella

kratšie chodby, ktorých spodné časti sú zaplavené (vodná hladina jazier výškou zodpovedá riečisku Bečvy). Hlavné časti jaskyne sa vytvárali pod stagnujúcou, resp. oscilujúcou hladinou podzemnej vody v závislosti od fázovitého zahĺbovania doliny Bečvy (v plytkej freatickej zóne, kde sa termálne vody miešali s atmosférickými vodami). Ďalej je tu známa Hranická priepať, ktorú speleopotápači preskúmali do hĺbky 225 m (spustenou sondou zameraná až do hĺbky 373 m). Horná nezaplavená časť priepasti siaha do hĺbky 69,5 m (po hladinu jazera v úrovni neďalekého riečiska Bečvy). Hranický kras budujú devónske a karbónske vápence, ktoré sú narušené alpínskou tektonikou umožňujúcou výstup vôd hlbšej cirkulácie a CO₂ juvenilného pôvodu (KUNSKÝ 1957, MEYBERG a RINNE 1995, OTAVA 2006, GERŠL 2009, GERŠL a ŠIMEČKOVÁ 2009, OTAVA et al. 2009 a iní). AUDRA et al. (2009) radia Hranickú priepať medzi hlboké freatické šachty hydrotermálneho pôvodu. V súčasnosti sa v tamajších kúpeľoch (Teplíce nad Bečvou) využíva termálna alkalická voda s vysokým obsahom oxidu uhličitého a teplotou 22,5 °C.

2. Okraje a úpätia hrast'ových a klenbohrast'ových pohorí ohraňovaných neotektonickými zlomami. Svetoznámy hydrotermálny kras v Budínskych vrchoch, ktoré v Maďarsku zaberajú severovýchodnú časť transdunajského pásma pohorí (Budapešť a jej okolie), je výsledkom viacerých fáz krasovatenia. Vytvorený je v triasových vápencoch a dolomitoch (zrezaných paleokrasovým povrchom vrchnokriedového až strednoeocénneho veku) a najmä

v nadložných plytkomorských vápencoch stredno- až vrchnoecénneho veku. Tieto karbonáty boli v oligocéne pokryté hlbokomorskými ílmi, súvrstvím hrubým do 600 m. V spodnom miocéne boli karbonáty rozlámané do blokov, ktoré sa v centrálnej časti Budínskych vrchov tektonicky vyzdvihli, najmä v pliocéne. Pritom sa oligocénne íly čiastočne alebo úplne oderodovali. Pozdĺž úpätia vyzdvihnutých blokov susedné bloky karbonátov na strmých zlomoch poklesli do hĺbky 1000 až 3000 m a vytvorili bázu mladším sedimentárnym bazénom. Staršie kaverny, malých rozmerov, sú výsledkom rozpúšťania karbonátov v hlbokopoloženej nízkogradientovej zóne s teplotami viac ako 90 °C. Mladšie, zväčša dvojdimenzionálne labyrintové jaskyne vznikli počas pliocénu a kvartéru v plytkých nízkoteplotných hydrotermálnych podmienkach (okolo 50 – 30 °C a menej). Infiltrované atmosférické vody prenikali do značných hĺbok a ohriate vystupovali na povrch na kontakte skrasovatených karbonátov a nepriepustných hornín priľahlých sedimentárnym bazénom (KOVÁCS a MÜLLER 1984, MÜLLER 1989, TAKÁCS-BOLNER a KRAUS 1989, LEÉL-ÖSSY a SURÁNYI 2003 a iní). Teplota hydrotermálneho systému sa v spojitosti s jeho vývojom postupne znižovala (DUBLYANSKÝ 1995, DUBLYANSKY 2000b). Hydrotermálne krasovatenie prebieha aj v súčasnosti (na úrovni a pod úrovňou hladiny Dunaja). Najnižšie položenou je jaskyňa Molnár János, ktorá je vytvorená v ecénnych slieňoch. Dosahuje dĺžku 6 km a vertikálne rozpätie 128 m. Termálna voda v tejto jaskyni je teplá 20 – 23 °C. Pôvodne bol



Obr. 2 Hydrotermálne modelovaný skalný strop v jaskyni Pálvölgyi, Budínske vrchy.
Foto: Cs. Egri



Obr. 3 Jaskyňa Fecske, Bukové hory. Foto: Cs. Egri

z jaskyne známy len jeden veľký podzemný priestor s termálnym jazerom, z ktorého vodu zachytávali pre mestské kúpele (KALINOVITS 2003).

Z hľadiska smeru cirkulácie vôd, ktorých účinkom sa vytvárajú jaskyne, FORD (1995) zaraďuje hydrotermálne jaskyne v Budínskych vrchoch do skupiny *per ascensum caves*. Typickým príkladom hydrotermálnej spelogenézy vystupujúcimi vodami po zlomoch je jaskyňa József-hegyi dlhá 5677 m s vertikálnym rozpätím 105 m (LEÉL-ÓSSY a ADAMKÓ 2003). Niektoré jaskyne sa vytvorili koróziou spôsobenou vystupujúcimi termálnymi vodami, ktoré sa miešali so studenými presakujúcimi vodami zo zrážok, napr. jaskynný systém Pálvölgyi-Mátyáshegyi dlhý 19 km s vertikálnym rozpätím 121 m (SÁSDI 2003, TAKÁCSNÉ BOLNER 2003b, **Obr. 2**).

Podobné hydrogeologické podmienky sú v Bukových horách (Bükk), ktoré sú druhou najväčšou oblasťou hydrotermálneho krasu v Maďarsku. Je tam však oveľa menej hydrotermálnych jaskýň ako v Budínskych vrchoch, čo vyplýva z celkovej štruktúrno-geologickej pozície pohoria. Bukové hory budujú prevažne triasové vápence a dolomity, ktoré sú v juhozápadnej a strednej časti rozčlenené jurskými bridlicami, pieskovecami, rádiolaritmi a karbonátmi (PELIKÁN 2002). Karbonáty v pohorí vystupujú v podobe hraste do nadmorskej výšky takmer 1000 m na ploche 207 km², kým ostatné po-

klesnuté bloky karbonátov zakrývajú paleogénne i neogénne íly a prachovce. Zrážkové vody presakujúce cez karbonáty sa dostanú do hlbších zón len v ich zakrytých častiach. Prirodzeným spôsobom cez zlomy vychádzajú na povrch len vlažné a mierne teplé vody vo východnom úpätí pohoria, kde sú známe aj hydrotermálne jaskyne. Vo vzdialenejších častiach od pohoria, v hlbšie ležiacich karbonátových kryhách, boli navŕtané teplejšie vody – v Egri teplé okolo 30 °C a v Egerszalóku 65 – 68 °C. Hĺbka izotermy termálnej vody 30 °C prebieha v hĺbke okolo 900 – 1400 m (SZLABÓCZKY 1974, LÉNÁRT 2010, LÉNÁRT 2011, LÉNÁRT a DARABOS 2012, LÉNÁRT a DARABOS 2013). Najznámejšou hydrotermálnou jaskyňou pohoria je Miskolctapolcai-tavasbarlang s výronom termálnej vody teplej 27 – 30 °C priamo do podzemných priestorov (hlavný dôvod jej sprístupnenia pre verejnosť v roku 1959). Mierne teplé vody vytvorili aj dnes už inaktívnu, 210 m dlhú jaskyňu Fecske s charakteristickými oválnymi skalnými tvarmi (TAKÁCSNÉ BOLNER 2003a, **Obr. 3**). Ďalšou jaskyňou, sčasti vytvorenou teplými vodami, je Diósgyőr-tapolcai, dlhá 70 m (REGÖS a RINGER 2003).

Analogické podmienky na hydrotermálnu speleogenézu v dôsledku tektonického výzdvihu krýh karbonátov, ich odkrytia spod nepriepustných hornín a následného vytvárania hlbokých (geotermálnych) obehov infiltrovaných



Obr. 4 Jazero vyplňujúce kolapsovú priepasť Morské oko, Rimavská kotlina.
Foto: P. Bella

atmosférických vôd boli aj v iných častiach západokarpatskej oblasti, napr. na rozhraní vyzdvihnutých klenbohrastí a poklesnutých okrajov nížin alebo vnútrohorských kotlín.

3. Zlomové a intrastratálne štruktúry mezozoických karbonátov vo vnútrohorských kotlinách a medzihorských panvách. V týchto polohách sa výskyt termálnych vôd viaže na hlbšie zlomové štruktúry skrasovatených mezozoických karbonátov pokrytých paleogénnymi alebo neogénnymi sedimentárnymi horninami. V Rimavskej kotline sa v steinalm-ských vápencoch silicika vrtmi zistili v hĺbke 1930 až 2515 m voľné kaverny, veľké niekoľko metrov, s výronmi vôd teplými 38 – 49°C (ORVAN 1973, STRAKA 1986, GAÁL 1987). Vznikli koróziou hydrotermálnych vôd cirkulujúcich po hlbokých tektonických poruchách v podmienkach intrastratálneho krasu (BELLA et al. 2009).

Pri Tornali v Rimavskej kotline sa nachádza zatopená priepasť Morské oko, ktorá je hlboká 38 m (**Obr. 4**). Vytvorená je v oligocénno-miocénnom súvrství vápnitých prachovcov. Predstavuje výver mierne ohriatych artézskych vôd (teplých 16,2 °C) z podložných mezozoických karbonátov, ktoré sú pozdĺž štítnického zlomu dotované atmosférickými vodami z juhozápadného okraja Silickej planiny (GAÁL et

al. 2007, GAÁL 2008). Morské oko predstavuje zaplavenú rúťivú až kolapsovú šachtu vytvorenú v dôsledku intenzívneho krasovatenia podložných karbonátov. Morfológiou pripomína hlboké kolapsové depresie tzv. *obruks*, ktoré vznikli v súčinnosti s hypogénnym krasovatením (BAYARI et al. 2009).

Okrem Rimavskej kotliny indicie vývoja intrastratálneho hydrotermálneho krasu sú aj v niektorých ďalších kotlinách Západných Karpát. V Chočskom podhorí na severozápadnom okraji Liptovskej kotliny, vrtom BJ-101 v strede výverovej oblasti na Lúčkach v hĺbke 77,6 – 87,0 m bola zistená krasová dutina, z ktorej do vrtu pritekalo asi 100 l.s⁻¹ vody teplej 32 °C (KLAGO 1969 a KLAGO 1984).

4. Výrazné zlomy v tektonicky rozlámaných štruktúrach mezozoických karbonátov v rámci zdvíhajúcich, resp. vyzdvihnutých pohoriach. Výstupné termálne alebo mierne ohriate vody prúdili najmä pozdĺž výraznejších zlomov narušujúcich príkrovové štruktúry karbonátov. V takýchto podmienkach vznikli menšie hydrotermálne jaskyne, početnejšie sú hydrotermálne kaverny integrované do jaskýň multiprocesovej genézy. V neskoršej fáze vývoja jaskýň sa hydrotermálne kaverny stali súčasťou chodieb alebo iných podzemných priestorov, vytvorených účinkom normálnych vôd

atmosférického pôvodu. Zväčša ich vidieť v podobe výklenkov po okrajoch mladších častí jaskýň.

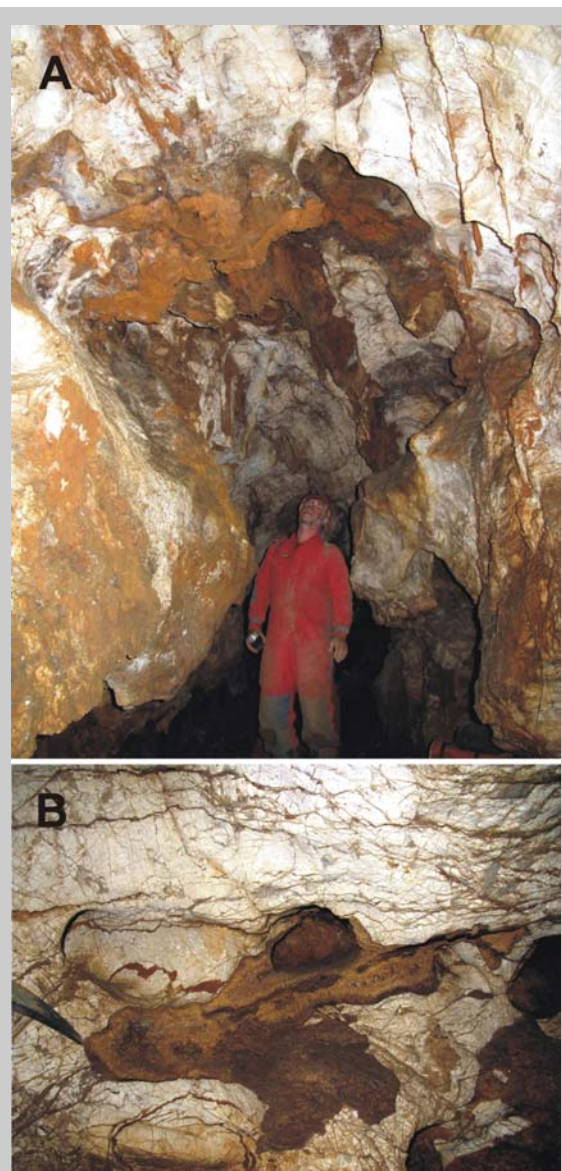
V poľskej, severnej časti Tatier, južne od Zakopaného sa nachádza jaskyňa Dziura (dlhá asi 180 m). Jej hydrotermálny pôvod dokladujú nielen korózne stropné hrncovité, kupolovité a kominovité vyhlbeniny (BAC-MOSZASZ-WILI a RUDNICKI 1978), ale aj zachované kryštály kalcitu, ktoré vznikli z vôd teplých 150 – 200 °C, maximálne až do 300 °C (GRADZIŃSKI et al. 2007).

Vo viacerých jaskyniach na severnej strane Nízkych Tatier (napr. Silvošova diera, Nová stanišovská jaskyňa, Starý hrad) sa kryštály kalcitu hydrotermálneho pôvodu našli v koróznych geódovitých dutinách prerezaných mladšími chodbami riečneho pôvodu. Kalcitové jaskyne vo vrcholovej časti Poludnice (1548 m), ktoré predstavujú samostatné dutiny veľké 7 a 12 m, sú pomenované podľa výskytu takýchto kryštálov kalcitu. Tieto nízkotatranské hydrotermálne kavery sú pravdepodobne predpliocénne, vznikli v miocéne alebo dokonca počas orogénnej fázy v paleogéne (ORVOŠOVÁ et al. 2004, ORVOŠOVÁ 2005, ORVOŠOVÁ a HURAI 2008).

Výskytom množstva kryštálov kalcitu je známa najmä Kryštálová jaskyňa v Malom Rozsutci (1343,5 m) v severnej časti Malej Fatry, ktorá je dlhá 57 m. Na základe merania kvánt rádioizotopov v kalcitoch RENČKO et al. (2013) konštatujú jej hydrotermálny pôvod.

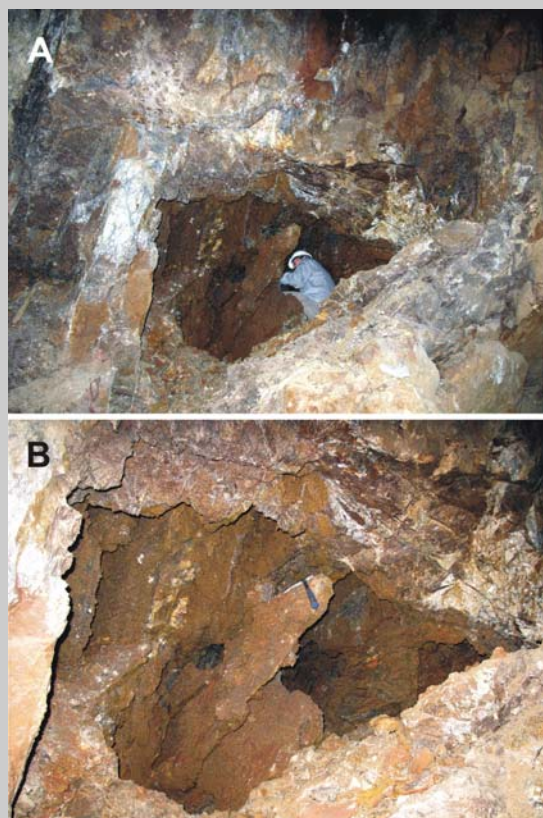
5. Mezozoické karbonáty v podloží alebo blízkom okolí miocénnych stratovulkánov. Vznik hydrotermálnych jaskýň v Štiavnických vrchoch súvisí so zložitým vývojom a metalogénozou tamojšieho stratovulkánu, ktorý sa vo viacerých fázach vytváral od bádenu po sarmat (pozri LEXA et al. 1999, KONEČNÝ a LEXA 2001, CHERNYSHEV et al. 2013). Krasová jaskyňa prvá, ktorá sa nachádza južne od Skleňných Teplíc, vznikla viacnásobným rozpúšťaním stredotriasových karbonátov roztokmi s teplotou 200 – 300 °C a 100 – 150 °C, pravdepodobne v pokalderovom štádiu vývoja štiavnického stratovulkánu pri vzniku žilných typov mineralizácií (**Obr. 5**). Magmatické fluidá subvulkanických intrúzií vnikali do karbonátov alebo ich tesnej blízkosti, kde sa miešali s presakujúcimi vodami atmosférického pôvodu (BELLA et al. 2011a, BELLA et al. 2011b, BELLA a GAÁL 2012).

Jaskyňa Sátorkő-pusztai v pohorí Pilis v severnom Maďarsku, vytvorená v dachsteinských vápencoch, sa radí medzi termálno-sulfurické jaskyne, ktoré vznikajú najmä nad výstupmi vôd s vyššou koncentráciou H₂S. Tvoria ju početne rozvetvené sférické, nahor stúpajúce ko-



Obr. 5 Krasová jaskyňa prvá, Štiavnické vrchy: A – morfológia chodby v hornej časti jaskyne, B – minerálne výplne prvotných dutín zrezané v hlavnej fáze vývoja jaskyne. Foto: P. Bella

mínovité výbežky končiacie sa slepými kupolami, ktoré vznikli geotermálne podmienenou kondenzačnou koróziou nad hladinou termálnej vody. Na skalných stenách sa korodovaný vápenc konvertoval na sadrovec. Spodné, zväčša sieňovité časti jaskyne sa vytvorili pozdĺž hladiny termálnej vody. Sférické kupoly sa vyhlbovali odspodu nahor a pretvorili sa do podoby stúpajúcej dendritickej jaskyne (MÜLLER a SÁRVÁRY 1977, SZUNYOGH 1984, SZUNYOGH 1989, DUBLYANSKY 2000b, FORD a WILLIAMS 2007, AUDRA et al. 2009 a iní). Táto jaskyňa dosahuje dĺžku 324 m a výšku 45 m (TAKÁCSNÉ BOLNER 2003c). Podľa SÁSDIHO (2006) sa v prvom štádiu jej



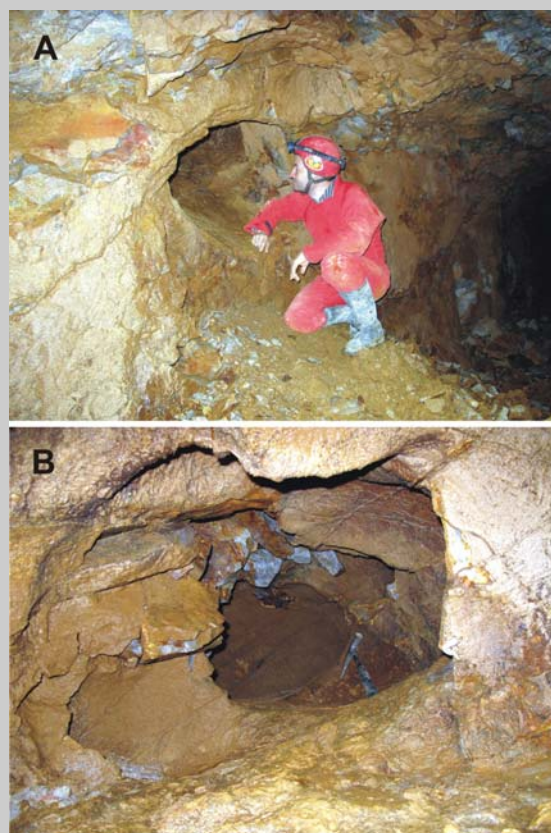
Obr. 6 Ostrohovitá jaskyňa, Dúbravský masív, Jelšava, Revúcka vrchovina: A – vchod odkrytý ťažbou magnezitu, B – ostrohranná morfológia kaverny. Foto: P. Bella

vývoja následkom oligocénneho až strednomiocénneho dacitového a andezitového vulkanizmu v tektonicky postihnutých zónach vápencov vytvorili minerálne štruktúry typu *box-work* a neskôr nepravidelne rozvetvené podzemné priestory (sférické kupoly vznikli kondenzačnou koróziou údajne až v pleistocéne). Skalné okná nad jaskyňou (nazývané Anjelské brána) sú zvyškami pôvodných kupol (OSBORNE 2013). Podľa FORDA a WILLIAMSA (2007) genéza jaskyne Sátorkő-pusztai, ako aj jaskyne Bátori (na západnom okraji Budapešti) pravdepodobne súvisí s magmatickým rezervoárom v podloží vápencov.

Na základe výskytu kryštálov kalcitu GAÁL (2008) predpokladá hydrotermálny vývoj jaskyne Drienka na Silickej planine, ktorý dáva do súvislosti s postvulkanickou činnosťou v sarmate alebo panóne v okolí Slovenského krasu.

6. Ložiská nerastov hydrotermálneho, resp. metasomatického pôvodu (magnezity, sekundárne kvarcity). Pri dobývaní magnezitu v Revúckej vrchovine sa odkryli geódovité a štrbinovité jaskyne (GAÁL a ŽENIŠ 1984,

ŽENIŠ a GAÁL 1986a, ŽENIŠ a GAÁL 1986b, MITTER a PAVLARČÍK 1996). Podľa HURAIA et al. (2011) karpatské magnezity pravdepodobne vznikli vplyvom hydrotermálnych roztokov, ktoré spôsobili metasomatické zatláčanie karbonátov magnezitových a sideritových ložísk počas alpínskej metamorfózy pozdĺž strižných zlomov vytvorených v strednej až vrchnej kriede (v oblasti gemerika pri teplote 180 až 310 °C). V tzv. ochtinskej tektonickej zóne (v blízkosti margeciansko-lubeníckej línie, násunu gemerika na veporikum) extenzný režim umožnil vznik otvorených trhlín a v podmienkach alpínskej termickej metamorfózy aj prúdenie termálnych flúid, ktoré pritom v magnezitoch obsahujúcich FeO rozširovali zlomy a vytvárali prvotné kaverny oxidáciou minerálov železa so vznikom hydroxidov železa (limonitu, geothitu). Vytváranie jaskýň procesom oxidácie magnezitov obsahujúcich FeO, avšak vplyvom presakujúcich atmosférických vôd vysvetlili ŽENIŠ a GAÁL (1986a, b). Na rozširovanie niektorých jaskynných priestorov agresívnymi hydrotermálnymi roztokmi v magnezitoch morfológicky poukazujú nepravidelne rozvetvené priestory, početné korózne výčnelky a kupolovité výbežky, ako aj štruktúry typu



Obr. 7 Šobovská jaskyňa, Štiavnické vrchy: A – vchod odkrytý prieskumnou štôľňou, B – sférická (geódovitá) kaverna. Foto: P. Bella

boxwork (**Obr. 6**). Počas chladnutia termálnych fluíd sa tvorili dolomitové a kalcitové kryštály. Tie zväčša narastajú na hnedočiernej hmote tvorenej oxidmi mangánu (hollandit) a železa (goethit, magnetit, hematit), ktoré sú pravdepodobne rezíduom po rozpustení magnezitu v čase tvorby dutín. Primárne plynokvapalné fluidné inklúzie v dolomite z Kryštálovej jaskyne poukazujú na homogenizačnú teplotu okolo 200 – 300 °C (BELLA et al. 2013).

Jaskyne v lome Šobov pri Banskej Štiavnici predstavujú kavernózne dutiny vylúhované pri metamorfnej petrogenéze sekundárnych kvarcov (BELLA et al. 2010, BELLA et al. 2011a, BELLA et al. 2011b, **Obr. 7**), ktorých vznik súvisí so subvulkanickou intrúziou kremitého dioritu v predkalderovom štádiu vývoja stratovulkánu. Mikrotermometrická dáta z fluidných inklúzií kryštalických kremeňov, ktoré sú vytvorené v podzemných dutinách, poukazujú na vysokú teplotu a nízku salinitu počas vzniku sekundárnych silicítov. Homogenizačné teploty dosahovali 200 až 300 °C (s maximom teplôt medzi 250 až 270 °C). Kremene kryštalizovali zo slabo koncentrovaných roztokov s prevahou NaCl a KCl (> 2,7 hmot. % NaCl ekv.) v hĺbke minimálne 660 m pod povrchom terénu (ORUŽINSKÝ a HURAI 1985). Kremence a argility sú alteračné prejavy vysokosulfidačného hydrotermálneho systému v súvislosti s umiestnením telesa dioritu (LEXA et al. 1999).

7. Tektonicky predisponované presunové plochy pripovrchových príkrovov alpínskej orogenézy. V počiatočných fázach alpínskeho vrásnenia, ktoré sa začalo v spodnej kriede, sa hydrotermálny kras pripovrchových príkrovov v centrálnych Západných Karpatoch vytváral najmä pozdĺž tektonicky predisponovaných presunových plôch so vznikom rauvakov a rauvakových brekcií (ČINČURA a MILOVSKÝ 2000). Jaskyňa, ktorá by zodpovedala týmto podmienkam vývoja, doteraz nie je známa.

MORFOLÓGIA HYDROTERMÁLNYCH JASKÝŇ V ZÁPADOKARPATSKEJ OBLASTI

V závislosti od rôznorodých litologických, štruktúrno-geologických a hydrogeologických pomerov sa v Západných Karpatoch a ich predpolí vytvárali hydrotermálne jaskyne s odlišnou morfológiou a rozdielnou veľkosťou (**Tab. 1** a **Obr. 8**). Hydrotermálne jaskyne vytvorené v karbonátových horninách morfológicky predstavujú: (1) trojdimenzionálne viacposchodové jaskyne (v kryhách triasových a eocénnych karbonátov narušených zlomami, s hlbokou

cirkuláciou podzemných vôd obmedzenou susednými nepriepustnými horninami), (2) hlboké freatické šachty (vytvorené pozdĺž hlbokých zlomov, miestami vývoj podporený rútením nadložných menej priepustných súvrství nad intenzívne skrasovatenými karbonátmi), (3) strmé chodby so stropnými sférickými vyhlbeninami (v zlomami narušených mezozoických karbonátoch v podloží miocénnych stratovulkánov, môžu predstavovať fragmenty rozsiahlejších trojdimenzionálnych jaskýň), (4) dvojdimenzionálne jaskyne vytvorené v plytkých nízkoteplotných hydrotermálnych podmienkach (v zóne miešania sa termálnych vôd s atmosférickými vodami), (5) dendritické jaskyne s kupolami (v zlomami narušených mezozoických karbonátoch v blízkosti miocénnych stratovulkánov, produkt termálno-sulfurickej speleogenézy spôsobenej kondenzačnou koróziou nad hladinou termálnej vody ohriatej vplyvom vulkanizmu), (6) kaverny (v zlomových a intratratálnych štruktúrach mezozoických karbonátov; zistené hlbokými vrtmi bez presnejšieho určenia ich morfológie). Niektoré časti trojdimenzionálnych jaskýň sa môžu lokálne vytvoriť ako subhorizontálne (dvojdimenzionálne) labyrinty – v miestach, kde v nadloží je menej priepustné súvrstvie hornín (litologická, resp. štruktúrno-geo-logická podmienenosť; AUDRA et al. 2009) alebo tesne pod stagnujúcou, resp. oscilujúcou hladinou podzemnej vody (v plytkých nízkoteplotných hydrotermálnych podmienkach) v závislosti od etapovitého zahľbovania príľahlej doliny (hydrografická, resp. hydrodynamická podmienenosť). Hydrotermálne jaskyne v magnezitoch a sekundárnych silicítov majú charakter sférických (geódovitých) kavern alebo pozdĺžnych štrbín predurčených zlomami, pozdĺž ktorých prúdili termálne fluída.

Z hľadiska rozsahu podzemných priestorov výrazne dominujú trojdimenzionálne viacposchodové jaskyne v oblasti Budapešti (dlhé do 19 km, s vertikálnym rozpätím do 128 m). Z freatických šacht sa vertikálny rozsah Hranickej priepasti zistil do hĺbky 373 m, kým známe dno freaticko-rútevej šachty Morské oko pri Tornali je v hĺbke 38 m. Nahor rozvetvené komínovité a kupolovité priestory dendritickej jaskyne Sátorokő-pusztai siahajú do výšky 45 m. Menšie, doteraz preskúmané a zamerané jaskyne typu kavern sú dlhé iba niekoľko metrov (zväčša do 5 m).

ZÁVER

V Západných Karpatoch a ich predpolí sa hydrotermálne jaskyne vytvárali vo vápencoch vo vplyvom magmatických intrúzií do podložia miocénnych stratovulkánov a hlbokoj cirkulá-

Podmienky hydrotermálnej speleogenézy	Morfológia jaskýň
Hlboké okrajové zlomy na okraji Západných Karpát	– hlboká freatická šachta (Hranická priepasť) – dvojdimenzionálna jaskyňa vytvorená v plytkých nízko-teplotných hydrotermálnych podmienkach v nadväznosti na fázu stagnácie, resp. oscilácie hladiny podzemnej vody, subhorizontálny labyrint chodieb a siení (Zbrašovské aragonitové jaskyne)
Okraje a úpätia hrast'ových a klenbohrast'ových pohorí ohraničených neotektonickými zlomami	– dvojdimenzionálne jaskyne vytvorené v plytkých nízko-teplotných hydrotermálnych podmienkach (jaskyňa Bátor) – trojdimenzionálne viacposchodové jaskyne, v niektorých prípadoch sú ich súčasťou dvojdimenzionálne (subhorizontálne) labyrinty vytvorené v plytkých nízko-teplotných hydrotermálnych podmienkach alebo sú podmienené menej priepustným až nepriepustným nadložím, prípadne štruktúrno-geologickými diskontinuitami (jaskynný systém Pálvölgyi-Mátyáshegyi, jaskyňa József-hegyi)
Zlomové a intrastratálne štruktúry mezozoických karbonátov vo vnútrohorských kotlinách a medzihorských panvách	– kaverny (zaplavené dutiny zistené vrtmi v Rimavskej kotline a Chočskom podhorí) – freatico-rútivá šachta (Morské oko)
Výrazné zlomy v tektonicky rozlámaných štruktúrach mezozoických karbonátov v rámci zdvíhajúcich sa pohorí	– sférické kaverny (jaskyňa Dziura, Kalcitové jaskyne; korózne geodovité dutiny integrované do mladších jaskynných chodieb, napr. v Novej Stanišovskej jaskyni)
Mezozoické karbonáty v podloží alebo blízkom okolí miocénnych stratovulkánov	– strmé chodby so stropnými sférickými vyhlbeninami (Krasová jaskyňa prvá, pravdepodobne predstavujúca fragment trojdimenzionálnej jaskyne) – dendritické jaskyne s kupolami (jaskyňa Sátorkő-pusztai)
Ložiská nerastov hydrotermálneho, resp. metasomatického pôvodu (magnezity, sekundárne kvarcify)	– rozšírené štrbiny alebo puklinové chodby (Kryštalová puklina, Šobovský komín) – sférické kaverny (jaskyňa DM-7, Kryštalová v Dúbravskom masíve, jaskyňa LK-1 v ložisku Lubeník, Šobovská jaskyňa)
Tektonicky predisponované presunové plochy prípoверхových príkrovov	jaskyne nie sú známe

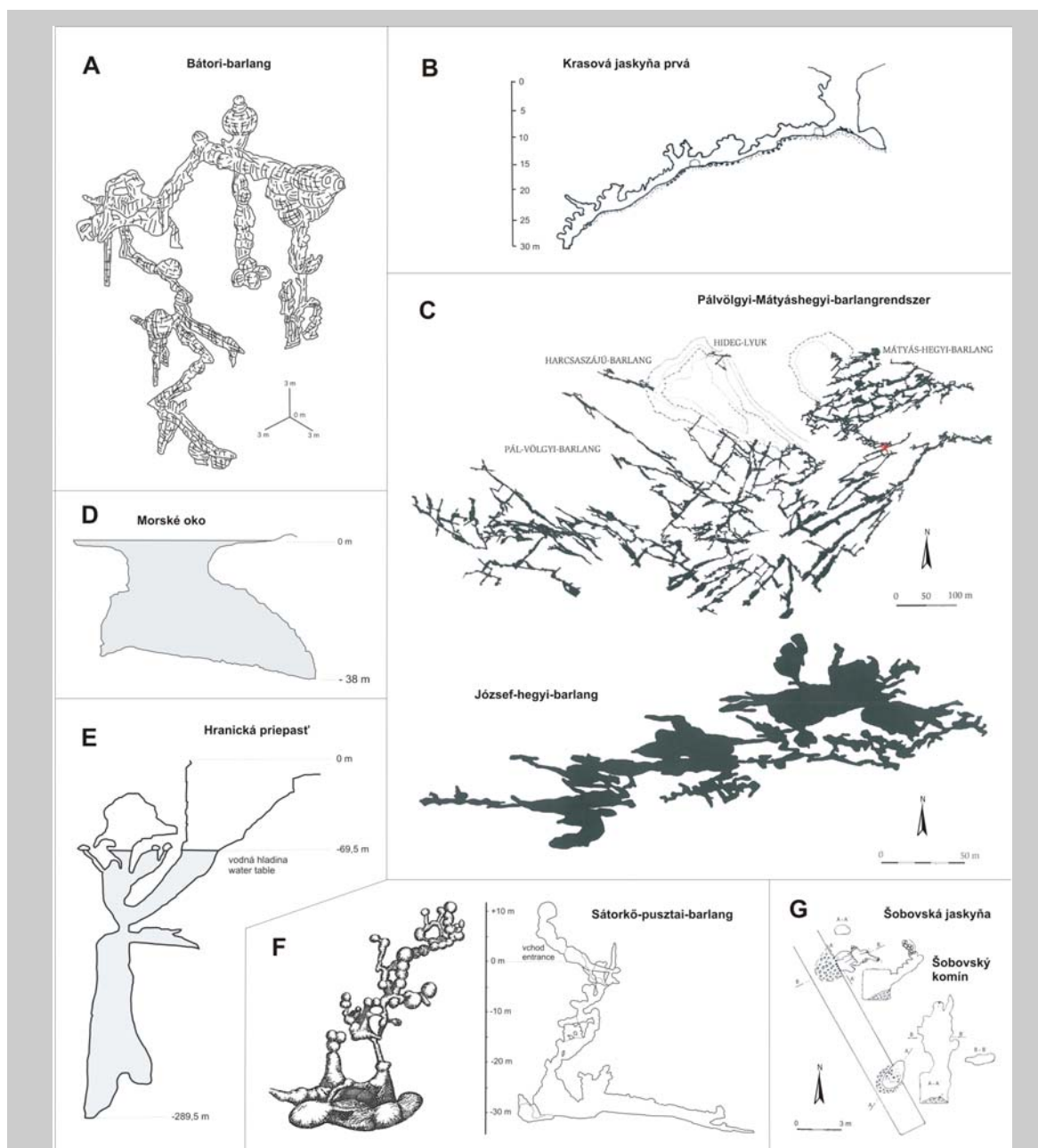
Tab. 1 Základné súvislosti medzi geologickými a hydrogeologickými podmienkami hydrotermálnej speleogenézy a morfológiou preskúmaných hydrotermálnych jaskýň v oblasti Západných Karpát

cie podzemných vôd pozdĺž zlomov narušujúcich krasové hydrogeologické štruktúry (vrátane štruktúr pokrytých súvrstviami paleogénnych alebo neogénnych sedimentárnych hornín) a s výronmi CO₂ hlbinného pôvodu, v sekundárnych silicitoch počas alterácie vysoko-sulfidačného hydrotermálneho systému v súvislosti s umiestnením telesa dioritu a v magnezitoch obsahujúcich FeO účinkom hydrotermálnych roztokov, ktoré spôsobili oxidáciu minerálov železa so vznikom hydroxidov železa (limonitu, geothitu).

Hydrotermálne jaskyne sa vytvárali v súvislosti s rôznorodými a zložitými geologickými a hydrogeologickými podmienkami a procesmi počas postupného vývoja Západných Karpát, odrazom čoho je aj značná genetická rôznorodosť jaskýň. Najrozsiahlešie hydrotermálne jaskyne v tejto oblasti sú v Budínskych vrchoch a na ich úpätí (Budapešť). Jaskyňa Sátorkő-pusztai (pohorie Pilis) je najviac uvádzaným príkladom dendritickej termálno-sulfurickej jaskyne v medzinárodne významných karsologických monografiách a štúdiách (napr. FORD a WILLIAMS 1989, LAURITZEN

a LUNDBERG 2000, FORD a WILLIAMS 2007, KLIMCHOUK 2007, AUDRA et al. 2009). Hranická priepasť na rozhraní Západných Karpát a Českého masívu predstavuje jeden z typických príkladov freatickej studňovitej priepasti hydrotermálneho pôvodu. Z litologického i genetického hľadiska hydrotermálne jaskyne vytvorené v šobovských sekundárnych silicitoch (Štiavnické vrchy) i magnezitoch Dúbravského masívu (Revúcka vrchovina) patria medzi ojedinelé až výnimočné jaskyne tohto druhu nielen v strednej Európe, ale aj vo svetovom meradle.

Najmä na území Slovenska treba vo výskume hydrotermálnych jaskýň pokračovať, pretože aj niektoré ďalšie jaskyne môžu mať takýto pôvod (napr. jaskyňa Dúpnica na západnom okraji Západných Tatier a ďalšie jaskyne na zlomových okrajov hrast'ových pohorí). Morfológia viacerých jaskýň (napr. časti Belianskej jaskyne s kupolami, Plavecká jaskyňa, Plavecká priepasť) poukazuje na bývalé výstupné prúdenie vody počas ich vytvárania (morfológický indikátor hypogénnej speleogenézy), avšak v ich priestoroch sa nenašli mine-



Obr. 8 Morfológické typy hydrotermálnych jaskýň v Západných Karpatoch a ich predpoklady: A – trojdimenzionálna viacposchodová jaskyňa, B – jaskyňa tvorená strmými chodbami so stropnými sférickými vyhlbeninami (fragment trojdimenzionálnej jaskyne), C – dvojdimenzionálne labyrintové jaskyne, D – freaticko-rútivá šachta, E – freatická šachta, F – dendritická jaskyňa s kupolami, G – štrbinové a sférické (geódovité) kaverny

rálne výplne hydrotermálneho pôvodu, resp. doteraz neboli detailnejšie skúmané. Na potvrdenie hydrotermálnej speleogenézy treba objasniť pôvod kryštálov kalcitu (analýza fluidných inklúzií a stabilných izotopov), ktoré sa vyskytujú v niektorých jaskyniach (napr. v jaskyni Dúpnica, Kryštálovej jaskyni či v hornej časti Drienovskej jaskyne; pozri ZACHAROV 2013). Možno predpokladať, že rôznorodá geologická stavba územia Slovenska predurčila hydrotermálnu speleogenézu vo väč-

šom rozsahu, v akom ju dokladujú doteraz preskúmané jaskyne tohto pôvodu.

POĎAKOVANIE

Úloha sa riešila v rámci vedeckého grantového projektu VEGA č. 1/0030/12 „Hypogénne jaskyne na Slovensku: speleogenéza a morfogenetické typy“.

LITERATÚRA

- ANDREYCHOUK, V., DUBLYANSKY, Y., EZHOV, Y., LYSENIN, G. (2009). *Karst in the Earth's Crust: its distribution and principal types*. University of Silesia, Sosnowiec – Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Simferopol, 72 s.
- AUDRA, P., HOBLEA, F., BIGOT, J. Y., NOBÉCOURT, J. C. (2007). The role of condensation corrosion in thermal speleogenesis. Study of a hypogenic sulfidic cave in Aixles-Bains, France. *Acta Carsologica*, 36, 2, 185 – 194.
- AUDRA, P., MOCOCHAIN, L., BIGOT, J. Y., NOBÉCOURT, J. C. (2009). Hypogene cave patterns. In Klimchouk, A. B., Ford, D. C., eds. *Hypogene Speleogenesis and Karst Hydrogeology of Artesian Basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper, 1, Simferopol, 17 – 22.
- BAC-MOSZASZWILI, M., RUDNICKI, J. (1978). O možnosti hydrotermalnej genezy jaskini Dziura w Tatrach. *Kras i Speleologia*, 2, 11, 84 – 91.
- BAYARI, C. S., OZYURT, N. N., PEKKAN, E. (2009). Giant collapse structures formed by hypogenic karstification: the obruks of the central Anatolia, Turkey. In Klimchouk, A. B., Ford, D. C., eds. *Hypogene Speleogenesis and Karst Hydrogeology of Artesian Basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper, 1, Simferopol, 83 – 90.
- BELLA, P. (2012). Vznik hypogénnych jaskýň na Slovensku vo vzťahu ku geologickej stavbe Západných Karpát. In Bella, P., Papčo, P., eds. *Geomorfológia a integrovaný výskum krajiny (Zborník abstraktov, Exkurzný sprievodca)*. 7. vedecká konferencia Asociácie slovenských geomorfológov pri SAV (Ružomberok, 10. – 12. september 2012). VERBUM – vydavateľstvo Katolíckej univerzity v Ružomberku, Ružomberok – Asociácia slovenských geomorfológov pri SAV, Bratislava, 9 – 12.
- BELLA, P., GAÁL, L. (2012). Hypogénne jaskyne na Slovensku: súčasné poznatky a zameranie výskumu. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 12, 1, 38 – 50.
- BELLA, P., GAÁL, L. (2013). Hydrotermálna speleogenéza v Západných Karpatoch – v rozdielnych podmienkach a epochách geologického vývoja. *Aragonit*, 18, 1, 41 – 42.
- BELLA, P., GAÁL, L., BOSÁK, P. (2009). Predpoklady a indicie vývoja hypogénnych jaskýň na Slovensku. *Aragonit*, 14, 2, 159 – 161.
- BELLA, P., GAÁL, L., GREGO, J. (2010). Hydrotermálne kvarcitové jaskyne v lome Šobov pri Banskej Štiavnici. *Slovenský kras*, 48, 1, 19 – 30.
- BELLA, P., GAÁL, L., ŠUCHA, V., KODĚRA, P., GREGO, J. (2011a). Hydrotermálne jaskyne v Štiavnických vrchoch. *Aragonit*, 16, 1 – 2, 59 – 60.
- BELLA, P., ŠUCHA, V., GAÁL, L., KODĚRA, P. (2011b). Krasová jaskyňa prvá v Štiavnických vrchoch – hydrotermálna speleogenéza v karbonátovom podloží miočenného stratovulkánu. *Slovenský kras*, 49, 1, 5 – 21.
- BELLA, P., GAÁL, L., MILOVSKÁ, S., MILOVSKÝ, R., KODĚRA, P. (2013). Jaskyne v magnezitoch – ďalší príklad hydrotermálnej speleogenézy na Slovensku. *Aragonit*, 18, 1, 42 – 44.
- BODNAR, R. J. (1999). Hydrothermal Solutions. In Marshall, C. P., Fairbridge, R. W., eds. *Encyclopedia of Geochemistry*. Kluwer Academic Publishers, Lancaster, 333 – 337.
- ČINČURA, J., MILOVSKÝ, R. (2000). Hydrotermálny kras pripovrchových príkrovov centrálnych Západných Karpát. *Slovenský kras*, 38, 33 – 38.
- DUBLJANSKIJ, J. V. (1990). *Zakonomernosti formirovanija I modelirovanija gidrotermokarsta*. Nauka, Novosibirsk, 151 s.
- DUBLYANSKY, Y. V. (1995). Speleogenetic History of the Hungarian Hydrothermal Karst. *Environmental Geology*, 25, 1, 24 – 35.
- DUBLYANSKY, Y. V. (2000a). 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, USA, 292 – 297.
- DUBLYANSKY, Y. V. (2000b). Hydrothermal Speleogenesis in the Hungarian Karst. In Klimchouk, A. B., Ford, D. C., Palmer, A. N., Dreybrodt, W., eds. *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville, Alabama, USA, 298 – 303.
- DUBLYANSKY, Y. (2005). Hydrothermal Caves. In Culver, D. C., White, W. B., eds. *Encyclopedia of Caves*. Elsevier Academic Press, Burlington – San Diego – London, 300 – 304.

- DUBLJANSKI, J. V., DUBLJANSKI, V. N. (1984). Obrazovanie gidrotermokarstovych polostej. *Peščery*, 19, 37 – 42.
- EGEMEIER, S. J. (1981). Cavern development by thermal waters. *Bulletin of the National Speleological Society*, 43, 2, 31–51.
- FORD, D. C. (1995). Paleokarst as a target for modern karstification. *Carbonates and Evaporites*, 10, 2, 138–147.
- FORD, D. C., WILLIAMS, P. W. (1989). *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman, London – Boston – Sydney – Wellington, 601 s.
- FORD, D. C., WILLIAMS, P. W. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester, 562 s.
- FORTI, P. (1996). Thermal karst systems. *Acta Carsologica*, 25, 99 – 117.
- FRANKO, O., GAZDA, S., MICHALÍČEK, M. (1975). *Tvorba a klasifikácia minerálnych vôd Západných Karpát*. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 230 s.
- GAÁL, E. (1987). Kras Rimavskej kotliny. *Slovenský kras*, 25, 5 – 27.
- GAÁL, E. (2008). *Geodynamika a vývoj jaskýň Slovenského krasu*. Speleologia Slovaca, 1, Štátna ochrany prírody SR, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš – Knižné centrum, Žilina, 168 s.
- GAÁL, E., ŽENIŠ, P. (1984). Jaskyne v magnezitoch Dúbravského masívu. *Spravodaj SSS*, 15, 4, 3 – 11.
- GAÁL, E., BALCIAR, I., BELANOVÁ, E., MEGELA, M., PAPAČ, V., VANĚKOVÁ, H. (2007). Zatopená priepasť Morské oko v Rimavskej kotline. *Aragonit*, 12, 4 – 9.
- GERŠL, M. (2009). Hranická propasť. In Hromas, J., ed. *Jeskyně. Chráněná území ČR*, sv. XIV, AOPaK ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 365 – 367.
- GERŠL, M., ŠIMEČKOVÁ, B. (2009). Zbrašovské aragonitové jeskyně. In Hromas, J., ed. *Jeskyně. Chráněná území ČR*, sv. XIV, AOPaK ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 363 – 365.
- GRADZIŃSKI, M., DULIŃSKI, M., HERCMAN, H., ŻYWIĘCKI, M., BARYŁA, J. (2007). Cave development influenced by hydrocarbon oxidation: An example from the Polish Tatra Mts. *Aragonit*, 12, 129.
- HILL, C. A. (1986). Carlsbad Cavern and other caves in the Guadalupe Mountains, New Mexico: A sulfuric acid genesis related to the oil and gas fields of the Delaware basin. *Communications, 9th International Congress of Speleology (Barcelona, Spain, August 1986)*, vol. 1. Barcelona, 267 – 269.
- HILL, C. A. (2000). Sulfuric Acid Hypogene Karst in the Guadalupe Mountains of New Mexico and Western Texas, USA. In Klimchouk, A. B., Ford, D. C., Palmer, A. N., Dreybrodt, W., eds. *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, USA, 309 – 316.
- HÓK, J., ŠUJAN, M., ŠIPKA, F. (2014). Tektonické členenie Západných Karpát – prehľad názorov a nový prístup. *Acta Geologica Slovaca*, 6, 2, 135 – 143.
- HÖLTING, B., COLDEWEY, W. G. (2005). *Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie* 6th edn. Spektrum, Munich, 326 s.
- HURAI, V., HURAIOVÁ, M., KODĚRA, P., PROCHASKA, W., VOZÁROVÁ, A., DIANIŠKA, I. (2011). Fluid inclusion and stable C-O isotope constraints on the origin of metasomatic magnesite deposits of the Western Carpathians, Slovakia. *Russian Geology and Geophysics*, 52, 11, 1474 – 1490.
- CHERNYSHEV, I. V., KONEČNÝ, V., LEXA, J., KOVALENKER, V. A., JELEŇ, S., LEBEDEV, V. A., GOLTSMAN, Y. V. (2013). K-Ar and Rb-Sr geochronology and evolution of the Štiavica Stratovolcano (Central Slovakia). *Geologica Carpathica*, 64, 4, 327 – 351.
- CHOPPY, J. (1994). *La première karstification. Synthèse spéléologique et karstique, Les facteurs géographiques*, 3, Spéléo-Club de Paris, Club Alpin Français, Paris, 69 s.
- KALINOVITS, S. (2003). Molnár János-barlang. In Székely, K., ed. *Magyarország fokozottan védett barlangjai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 260 – 263.
- KLAGO, M. (1969). *Správa „Hydrogeologický prieskum Lúčky kúpele – štruktúrny vrt BJ-101“*. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- KLAGO, M. (1984). Lúčky – zdroje termominerálnych vôd. In Dovina, V., ed. *Po obyčajných a minerálnych podzemných vodách Liptovskej kotliny a priláhlých pohorí. Hydrogeologický sprievodca VIII. celoštátnej hydrogeologickej konferencie (Račkova dolina –*

- Západné Tatry, 6. – 8. 6. 1984). Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 67 – 70.
- KLIMCHOUK, A. (2007). *Hypogene Speleogenesis: Hydrological and Morphogenetic Perspective*. National Cave and Karst Research Institute, Special Paper, 1, Carlsbad, NM, 106 s.
- KONEČNÝ, V., LEXA, J. (2001). Stavba a vývoj štiavnického stratovulkánu. *Mineralia Slovaca*, 33, 3, 179 – 196.
- KOVÁCS, L., MÜLLER, P. (1984). Origin of the hydrothermal karstic phenomena in the Buda Hills, Hungary. *Kras i Speleologia*, 5, 14, 77 – 84.
- KUNSKÝ, J. (1957). Zbrašovský teplicový kras a jaskyne na severní Morave. *Sborník Československé společnosti zeměpisné*, 62, 4, 306 – 351.
- 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*. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, USA, 408 – 426.
- LEÉL-ÖSSY, S., ADAMKÓ, P. (2003). József-hegyi-barlang. In Székely, K., ed. *Magyarország fokozottan védett barlangjai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 255 – 259.
- LEÉL-ÖSSY, S., SURÁNYI, G. (2003). Peculiar hydrothermal caves in Budapest, Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, 46, 4, 407 – 436.
- LEXA, J., ŠTOHL, J., KONEČNÝ, V. (1999). The Banská Štiavnica ore district: relationship between metallogenetic processes and the geological evolution of a stratovolcano. *Mineralium Deposita*, 34, 5 – 6, 639 – 654.
- LÉNÁRT, L. (2010). The interaction of cold and warm karst system in the Bükk Region. In Madarász, T., Tóth, R., eds. *Proceedings of the 1st Knowbridge Conference on Renewables (Miskolc, Hungary, 27–28 September 2010)*. University of Miskolc, Miskolc, 111 – 118.
- LÉNÁRT, L. (2011). A bükki termálkarst Egerszalók-Demjén-i része feltártsága. In Kovács, F., et al. eds., *VIII. Kárpát-medence ásvány- és gyógyvizei konferencia*. Geotudományok, 81, Miskolc, 17 – 25.
- LÉNÁRT, L., DARABOS, S. E. (2012). The hydrogeological relations of the thermal karst of Bükk Mountains (Northern Hungary). *Stalactite*, suppl. 18 (Akten des 13. Nationalen Kongresses für Höhlenforschung (Muotathal, Switzerland, 29 September – 1 October 2012)), 209 – 214.
- LÉNÁRT, L., DARABOS, S. E. (2013). The hydrogeological relations of the thermal karst of the Bükk Mountains based on monitoring data. *Geosciences and Engineering*, 2, 3, 91 – 99.
- MEYBERG, M., RINNE, B. (1995). Messung des $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Isotopenverhältnisses im Hranicka Propast (Tschechische Republik). *Die Höhle*, 45, 1, 5 – 8.
- MÍŠÍK, M., CHLUPÁČ, I., CÍCHA I. (1985). *Stratigrafická a historická geológia*. SPN, Bratislava, 541 s.
- MINÁR, J., BIELIK, M., KOVÁČ, M., PLAŠIENKA, D., BARKA, I., STANKOVIANSKY, M., ZEYEN, H. (2011). New morphostructural subdivision of the Western Carpathians: An approach integrating geodynamics into targeted morphometric analysis. *Tectonophysics*, 502, 1 – 2, 158 – 174.
- MITTER, P., PAVLARČÍK, S. (1996). Niektoré poznatky o krasovatení magnezitov v okolí Jelšavy. In Lalkovič, M., ed. *Kras a jaskyne, výskum, využívanie a ochrana (Zborník referátov z vedeckej konferencie (Liptovský Mikuláš, 10. – 11. október 1995))*. Liptovský Mikuláš, 39 – 44.
- MÜLLER, P. (1989). Hydrothermal paleokarst of Hungary. In Bosák, P., Głazek, J., Ford, D., Horáček, I., eds. *Paleokarst: A systematic and regional review*. Elsevier – Academia, Amsterdam – Praha, 155 – 163.
- 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.
- ORUŽINSKÝ, V., HURAI, V. (1985). Fluidné uzavreniny sekundárnych kvarcitov štiavnického stratovulkánu. *Mineralia slovaca*, 17, 5, 415 – 424.
- ORVAN, J. (1973). Hydrogeologické pomery Rimavskej kotliny. *Mineralia Slovaca*, 5, 3, 271 – 278.
- ORVOŠOVÁ, M. (2005). Kalcitové kryštály v reliktoch fosílného hydrotermálneho krasu v Nízkych Tatrách. *Slovenský kras*, 43, 53 – 66.
- ORVOŠOVÁ, M., HURAI, V. (2008). Kryštály kalcitu v Kalcitovej jaskyni 1 a 2 na Poludnici, Nízke Tatry. *Slovenský kras*, 46, 1, 87 – 97.

- ORVOŠOVÁ, M., HURAI, V., SIMON, K., WIEGEROVÁ, V. (2004). Fluid inclusion and stable isotopic evidence for early hydrothermal karstification in vadose caves of the Nízke Tatry Mountains (Western Carpathians). *Geologica Carpathica*, 55, 5, 421 – 429.
- OSBORNE, R. A. L. (2013). Preservation and Burial of Ancient Karst. In Shroeder, J. F., ed. *Treatise on Geomorphology*, vol. 6. Academic Press, San Diego, 95 – 105.
- OTAVA, J. (2006). Současný stav znalostí polyfázového krasovnění hranického paleozoika. *Speleofórum*, 25, 84 – 86.
- OTAVA, J., GERŠL, M., HAVÍŘ, J., BÁBEK, O., KOSINA, M. (2009). Hranická propast očima geologů. *Ochrana přírody*, 64, 1, 18 – 21.
- 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.
- PALMER, A. N. (2011). Distinction between epigenic and hypogenic maze caves. *Geomorphology*, 134, 1 – 2, 9 – 22.
- PALMER, A. N., HILL, C. A. (2005). Sulfuric Acid Caves. In Culver, D. C., White, W. B., eds. *Encyclopedia of Caves*. Elsevier Academic Press, Burlington – San Diego – London, 573 – 581.
- PEARL, R. H. (1976). Hydrological Problems Associated with Developing Geothermal Energy Systems. *Ground Water*, 14, 3, 128 – 137.
- PELIKÁN, P. (2002). Földtani felépítés, rétegtani áttekintés. In Baráz, Cs., ed. *A Bükk Nemzeti Park*. Bükk Nemzeti Park Igazgatóság, Eger, 21 – 49.
- PLAŠIENKA, D. (1999). *Tektonológia a paleotektonický model jursko-kriedového vývoja centrálnych Západných Karpát*. Veda, Bratislava, 125 s.
- REGŐS, J., RINGER, Á. (2003). Diósgyőrtapolcai-barlang. In Székely, K., ed. *Magyarország fokozottan védett barlangjai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 304 – 306.
- RENČKO, A., ČIPÁKOVÁ, A., TOPORILA, M. (2013). Slovenské Mexiko alebo Kryštálová jaskyňa. *Spravodaj SSS*, 44, 4, 16 – 24.
- SÁSDI, L. (2003). Mátyás-hegyi-barlang. In Székely, K., ed. *Magyarország fokozottan védett barlangjai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 272 – 276.
- SÁSDI, L. (2006). Az esztergomi Sztrázsa-hegyek és a Sátorkő-pusztai-barlang fejlődéstörténete. *Karsztfejlődés*, 11, 253 – 274.
- SCHOELLER, H. (1962). *Les eaux souterraines*. Masson et Cie, Paris, 642 s.
- SPÖTL, C., DUBLYANSKY, Y., ME-YER, M., MANGINI, A. (2009). Identifying low-temperature hydrothermal karst and palaeowaters using stable isotopes: a case study from an alpine cave, Entrische Kirche, Austria. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 98, 3, 665 – 676.
- STRAKA, P. (1986). Hlboký štruktúrny vrt MEL-1 Meliata. *Regionálna geológia Západných Karpát*, 21, Bratislava, 89 – 92.
- SZLABÓCZKY, P. (1974). Karsztvíz tározó rendszer termohidraulikai vizsgálata Miskolc környéki adatok alapján. *Hidrológiai Közlöny*, 54, 11, 516 – 523.
- SZUNYOGH, G. (1984). A gömbfülkék kondenzvíz-korróziós kialakulásának elméleti fizikai leírása. *Karszt és Barlang*, 1, 19 – 24.
- SZUNYOGH, G. (1989). Theoretical investigation of the development of spheroidal niches of thermal water origin – Second approximation. *Proceedings of the 10th International Congress of Speleology (Budapest, Hungary, 13–20 August)*. MTA Sokszorosító, Budapest, 766 – 768.
- TAKÁCSNÉ BOLNER, K. (2003a). Miskolc-tapolcai-tavasbarlang. In Székely, K., ed. *Magyarország fokozottan védett barlangjai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 189 – 191.
- TAKÁCSNÉ BOLNER, K. (2003b). Pálvölgyi-barlang. In Székely, K., ed. *Magyarország fokozottan védett barlangjai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 264 – 272.
- TAKÁCSNÉ BOLNER, K. (2003c). Sátorkőpusztai-barlang. In Székely, K., ed. *Magyarország fokozottan védett barlangjai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 304 – 306.
- TAKÁCS-BOLNER, K., KRAUS, S. (1989). The results of research into caves of thermal water origin. *Karszt és Barlang*, special issue, 31 – 38.
- WHITE, D. E. (1957). Thermal waters of volcanic origin. *Geological Society of America Bulletin*, 68, 12, 1637 – 1658.

ZACHAROV, M. (2013). Nové poznatky z výskumu Drienovskej jaskyne. *Slovenský kras*, 51, 2, 111 – 120.

ŽENIŠ, P., GAÁL, L. (1986a). Nové jaskyne v magnezitoch Dúbravského masívu. *Spravo-
daj SSS*, 15, 4, 3 – 11.

ŽENIŠ, P., GAÁL, L. (1986b). Magnesite karst in the Slovenské rudohorie Mts. (Czechoslovakia). *Communications, 9th International Congress of Speleology (Barcelona, Spain, August 1986)*, vol. 2. Barcelona, 36 – 39.