Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
LXXXIV(1999):97–119, 1999

HYDROTERMÁLNÍ PŮVOD JESKYNÍ V ČESKÉM KRASU: NOVÉ PARADIGMA

HYDROTHERMAL ORIGIN FOR THE CAVES
OF THE BOHEMIAN KARST, CZECH REPUBLIC: A NEW PARADIGM

VÁCLAV SUCHÝ & ANTONÍN ZEMAN

Abstract

Suchý, V., Zeman, A., 1999: Hydrotermální původ jeskyní v Českém krasu: nové paradigma. Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 84:97–119.

Hydrothermal origin for the caves of the Bohemian Karst, Czech Republic: a new paradigm.

The caves developed in Lower Paleozoic carbonate rocks of the Bohemian Karst are interpreted as a result of a hydrothermal dissolution. The main evidence includes 1) a close spatial link of the caves to hydrothermal calcite veins, 2) a variety of distinctive dissolution forms indicative of non-gravitational hydrodynamics, and 3) presence of specific, exotic precipitates within the caves. Moreover, most of the features typical of the caves of the Bohemian Karst can be readily compared to those of the Zbrašov Caves of Moravia that have been known for long as a typical example of hydrothermal caves.

The origin of at least some hydrothermal caves in the Bohemian Karst and elsewhere in the Czech Republic could have been tied to the circulation of warm fluids along active tectonic lineaments. A line of indirect evidence indicates that in the Bohemian Massif, transient pulses of fluid activity that were responsible for the origin of hydrothermal caves may have occurred since Tertiary period.

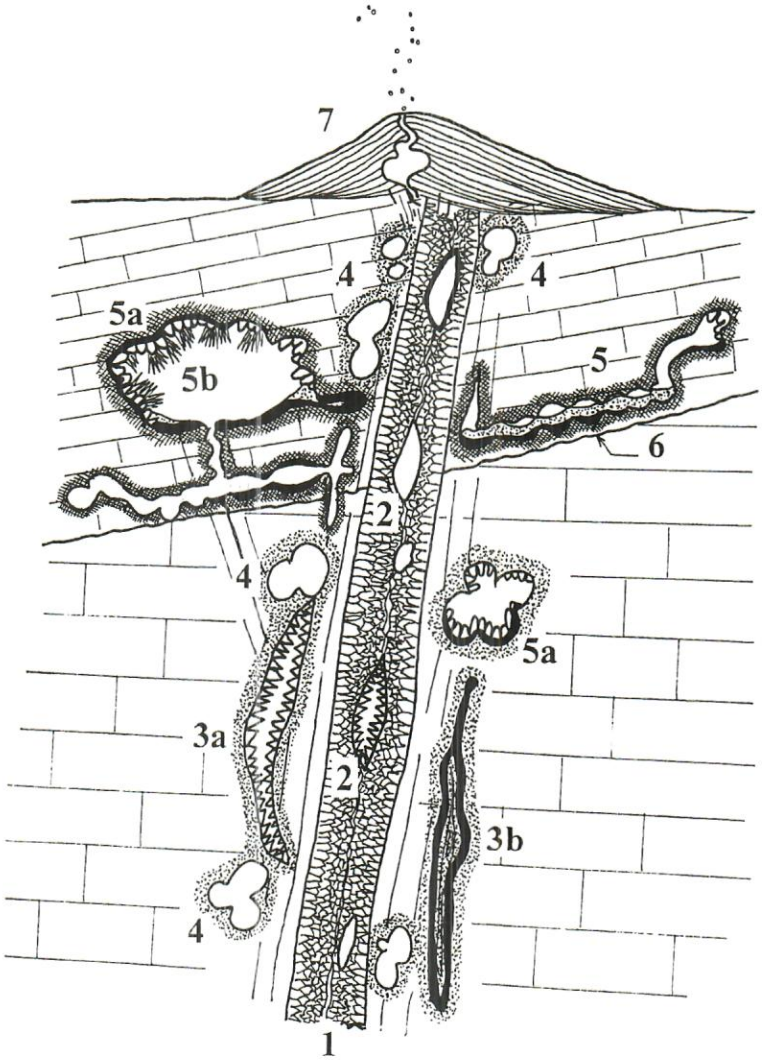
Key words: Hydrothermal karst, calcite veins, cave sinters, pisolites, aragonite, tectonic lineaments, fluid movements, Bohemian karst, Zbrašov aragonite caves, Moravian karst.

Václav Suchý, Geologický ústav AV ČR, Rozvojová 135, 165 00 Praha 6.

Antonín Zeman, Obětí 6. května 6, 140 00 Praha 4.

1. Úvod

V posledních třech letech jsme v sérii článků a konferenčních příspěvků dokumentovali, že při vzniku kalcitových žil a s nimi prostorově spojených jeskyní v Českém krasu hrály významnou úlohu hydrotermální procesy (ZEMAN a SUCHÝ 1996, ZEMAN et al. 1997a, 1997b, 1997c, SUCHÝ et al.1997a, 1997b, SUCHÝ a ZEMAN 1998). Naše práce se nejprve opíraly především na podrobná terénní studia v oblasti Velkolomu Čertovy schody u Koněprus, v západní části Českého krasu, kde jsou hydrotermální fenomény velmi nápadné (SUCHÝ et al. 1996b, ZEMAN a SUCHÝ 1996, SUCHÝ et al. 1997b). V pozdější fázi prací postupně vyšlo najevo, že i četné další jeskyně v širší oblasti celého Českého krasu i v dalších krasových oblastech, ležících na jih od tohoto území, vykazují řadu znaků svědčících o jejich hydrotermalním původu (SUCHÝ et al. 1997a, ZEMAN a SUCHÝ 1998, SUCHÝ a ZEMAN 1998a, 1998b, 1998c, SUCHÝ et al. 1998). Následně jsme předložili koncepci, podle níž byly některé krasové fenomény v Českém masivu geneticky spojeny s cirkulací teplých fluid podél aktivních regionálních lineamentů (ZEMAN a SUCHÝ 1998, SUCHÝ a ZEMAN 1998b, SUCHÝ et al. 1998). Uvedené práce znamenají radikální změnu stávajících představ o mechanismu krasovění a mají pravděpodobně dalekosáhlé implikace i pro jiné krasové oblasti.



Obr. 1. Idealizované schéma ilustrující genetické vztahy mezi hydrotermálními kalcitovými žilami, okolními kavernami a jeskyněmi a jejich speleotémami (podle SUCHÉHO a ZEMANA 1998c). Vysvětlivky: 1 – hydrotermální kalcitová žíla, 2 – dutiny uvnitř kalcitové žíly, 3 – subvertikální kaverny v okolních vápencích částečně vyplněné sparitickým kalcitem (3a), nebo Mn-Fe oxidy a/nebo karbonátovým reziduálním pískem (3b), 4 – kulovité dutiny a jeskyně ve vápenci, 5 – jeskyně dílem zaplněné Mn-Fe uloženinami (černě) a/nebo karbonátovými písky (tečkovaně), 5a – karbonáto-křemité pisolity na jeskynních stěnách (mj. „koněpruské růžice"), 5b – subrecentní výkvěty aragonitu, 6 – litologická hranice mezi karbonátovými sekvencemi, 7 – povrchové akumulace pramenných vápenců (travertinů), místy s vnitřními jeskyněmi.

Fig. 1. Sketch to illustrate genetic relationship between hydrothermal calcite veins, adjacent caverns and caves and its internal speleothems (adopted from SUCHÝ and ZEMAN 1998c). Explanations: 1 – Hydrothermal calcite vein; 2 – Cavities inside the calcite vein; 3 – Subvertical caverns in adjacent limestone host rock filled with calcite spar crystals (3a) or Mn-Fe oxyhydroxide encrustations and carbonate residual sand (3b); 4 – Spherical cavities and caves in host limestone; 5 – Caves partly filled with Mn-Fe deposits (shown in black) and/or carbonate sand (shown in dots); 5a – Carbonate-siliceous pisolites ("Koněprusy rosettes"); 5b – Subrecent aragonite; 6 – Lithological boundary between carbonate sequences; 7 – Subaerial accumulations of spring limestones.

Nejnovější fáze našich výzkumů vyústila v předběžné genetické schéma hydrotermálního vzniku jeskyní Českého krasu (SUCHÝ a ZEMAN 1998c). Toto schéma nebylo dosud publikováno v domácích periodikách a nemohlo být tudíž předmětem širšího posouzení domácí geologickou veřejností, navíc, s ohledem na rychle se kumulující další analytická data, některé údaje uváděné v našich starších příspěvcích již částečně zastaraly. V předkládaném příspěvku proto stručně shrnujeme jednotlivé argumenty a současný stav rozpracování hydrotermálního modelu. Naše poznatky vedou k přehodnocení role exogenních faktorů při vzniku Českého krasu a začínají významně ovlivňovat i náhledy jiných pracovníků (viz např. CÍLEK 1998, BOSÁK 1998a, 1998b).

2. Hydrotermální kalcitové žíly

V sérii prací z posledních let bylo doloženo, že vápencová souvrství barrandienského siluru a devonu jsou prostoupena množstvím subvertikálních extenzních kalcitových žil, převážně SJ, SSV a SSZ směru (SUCHÝ et al. 1997a, 1997b; ZEMAN et al. 1997a, 1997b). Několik dílčích studií rovněž prokázalo, že minimálně některé z těchto žil krystalovaly z horkých nebo teplých roztoků o zvýšené salinitě, které měly svůj zdroj patrně v hlubších částech sedimentárního sledu (CÍLEK et al. 1995, ZEMAN et al. 1997b). Nejnovější systematické geochemické a organicko-petrologické studium více než čtyřiceti kalcitových žil z různých lokalit barrandienského siluru a devonu (HEIJLEN 1998, SÝKOROVÁ a SUCHÝ 1998, SUCHÝ et al. 1999, HEIJLEN et al. 1999) umožnilo existující poznatky výrazně rozšířit a upřesnit. Z těchto prací vyplývá, že většina žil je mladší než hlavní vrásové deformace a je tedy obecně pozdně variská nebo spíše postvariská. Uvnitř žilné výplně byly s pomocí CL-mikroskopie a elektronové mikrosondy vyčleněny jednotlivé krystalizační fáze karbonátových tmelů. Nejstarší, a objemově patrně dominující fáze žilných tmelů odpovídají Fe-bohatému kalcitu (1000–6500 ppm Fe) s příznaky silných tektonických deformací. Starší fáze kalcitových tmelů byly rovněž charakterizovány pomocí studia plynokapalných uzavřenin a stabilních izotopů uhlíku a kyslíku. Ve většině zkoumaných vzorků byly rozlišeny dvoufázové i jednofázové vodní inkluze. Salinita těchto uzavřenin byla proměnlivá a pohybovala se v rozmezí 0,3 až 22 hmot. % NaCl ekv. Teploty homogenizace, které odpovídají minimálním teplotám zachycení inkluzí, se pohybovaly generelně kolem 70–80 °C nebo méně (SUCHÝ et al. 1999). Koexistence vodných inkluzí a inkluzí termálně zralé ropy, která je běžná v řadě zkoumaných vzorků, napovídá, že ke krystalizaci starších fází kalcitových tmelů pravděpodobně došlo během hlubšího pohřbení, v podmínkách tzv. ropného okna. Tato interpretace je zřejmě potvrzována i nálezy tmelů sedlového dolomitu-ankeritu, vzácného fluoritu a pevných nebo polotuhých bitumenů v některých kalcitových žilách. Vypočtené izotopické hodnoty kyslíku primárních fluid z nichž žilný kalcit krystaloval (–4,0 až +3,0 ‰ SMOW) lze chápat tak, že žilné tmely se zřejmě vysrážely z hlubších formačních vod které se částečně mísily s vodami meteorického původu (HEIJLEN 1998, HLADÍKOVÁ a DOBEŠ, in SUCHÝ et al. 1999, HEIJLEN et al. 1999).

Nejmladší fáze některých žilných výplní jsou místy tvořeny nedeformovaným sparitickým kalcitem který volně krystaluje do dutin. Tyto tmely vykazují poněkud odlišnou izotopickou charakteristiku která je blízká spíše barrandienským jeskynním sintrům (sensu ŽÁK et al. 1987). Fluidní uzavřeniny z pozdních generací kalcitových žil nebyly zatím studovány, nicméně z výše uvedeného kontextu lze vyvozovat, že tyto relativně nejmladší generace kalcitových tmelů zřejmě krystalovaly z fluid s vyšším podílem meteorické vody a pravděpodobně i za nižších teplot nežli starší fáze. K podobnému geochemickému vývoji žilných roztoků mohlo logicky dojít například během postorogenního vzestupu (upliftu) oblasti, kdy se barrandienské sekvence postupně erodovaly

a hlubší ohřátá pánevní fluida s živicemi se mísila s chladnějšími vodami mělčího meteorického oběhu.

Výše uvedená data, která budou přehledně shrnuta v připravované syntetické publikaci (SUCHÝ et al. 1999) však zatím neumožňují spolehlivě rozhodnout, zda nastíněný geochemický vývoj žilných fluid byl pozvolný, anebo se jednalo o několik diskrétních vývojových etap oddělených v čase. Několikeré fáze brekciace, tmelení, rozpouštění a krystalizace, které jsou dobře pozorovatelné zejména v mocnějších žilách (ZEMAN et al. 1997a), by mohly nasvědčovat existenci oddělených vývojových etap některých žil.

Absolutní stáří kalcitových žil však zatím zůstává stále otevřené a pro jejich vznik připadá teoreticky v úvahu obrovský časový interval od středního devonu až po kvartér. Jak bude rozvedeno dále (viz hlava 7), má tento fakt zásadní význam i pro veškeré úvahy o stáří hydrotermálního krasu.

3. Prostorová a genetická souvislost mezi hydrotermálními žilami a jeskyněmi

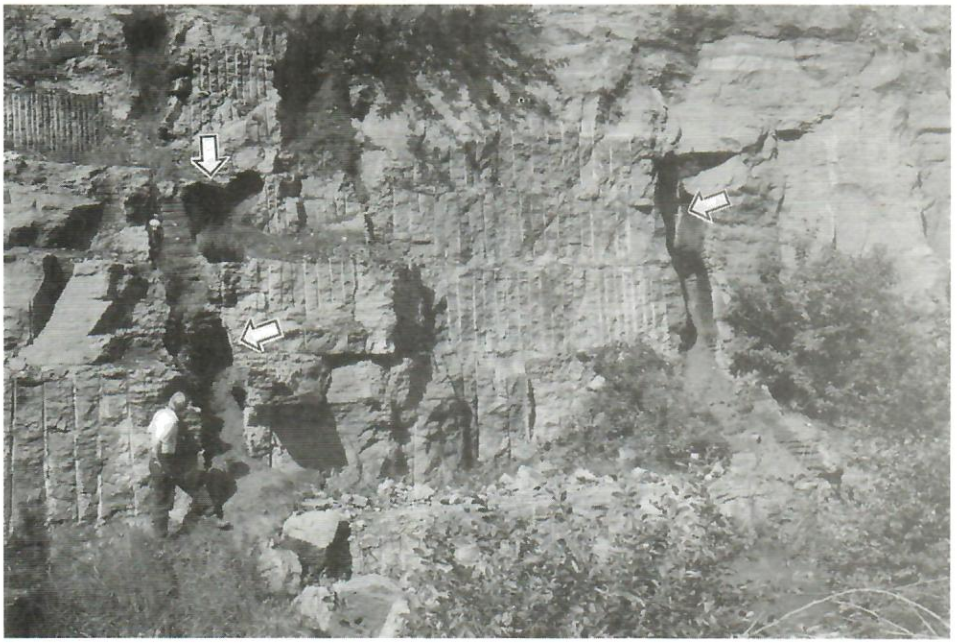
Dutiny různého tvaru a rozměrů jsou běžně vyvinuty jak ve vlastní výplní kalcitových žil, tak i v okolních karbonátových sekvencích. Hydrotermální původ dutin v samotné žilné výplni je dostatečně evidentní (obr. 2). Tento typ prostor je svými rozměry a charakterem bližší spíše kavernám než jeskyním a byl již dříve popsán a správně interpretován na několika lokalitách kalcitových žil Českého krasu (CÍLEK et al. 1995, ZEMAN et al. 1997a, BOSÁK 1998a).

Prostorově mnohem významnější hydrotermální jeskyně jsou však přítomny i *v okolních karbonátových sekvencích*, kde doprovázejí mocnější kalcitové žíly (obr. 1, obr. 3). Jde o nepravidelné subvertikální komínovité nebo šachtovité dutiny jež jsou obvykle

Obr. 2. Mohutná kalcitová hydrotermální žíla odkrytá v podzemní štole lomu Alkazar u Srbska. Kulovitá dutina uvnitř žilné výplně je malá hydrotermální jeskyně. (Foto J. Brožek)

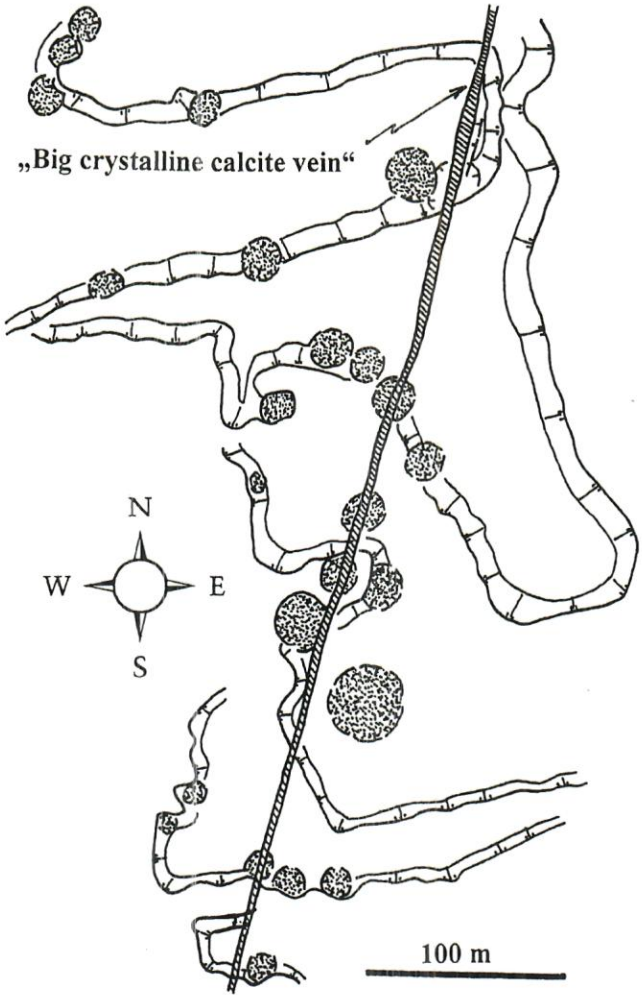
Fig. 2. Thick hydrothermal calcite vein exposed in an underground gallery of the Alkazar quarry near Srbsko. Note a circular cavity inside the vein fill that is interpreted as a small hydrothermal cave. (Photo by J. Brožek)

vzdáleny od „matečných" kalcitových žil několik desítek centimetrů až několik metrů. Některé dutiny přecházejí v horních částech do kulovitých nebo hruškovitých prostor (od několika desítek cm do prvních metrů v průměru), jež spolu interferují do složitých hroznovitých tvarů. Rozměr těchto jeskyní se zdá být často zhruba úměrný mocnosti nejbližší kalcitové žíly. Například, mimořádně mocná (2–3 m) kalcitová žíla ve východním sektoru Velkolomu Čertovy schody je doprovázena systémem monstrózních komínovitých dutin, které byly postupně odkryty v průběhu těžby (obr. 4). Tyto dutiny jsou typické kruhovitým průřezem o průměru nejméně několika metrů a strmě pronikají do vápencového podloží do hloubky nejméně 30–40 metrů (ZEMAN a SUCHÝ 1996). V horní odkryté části některých komínů byly pozorovány náznaky přechodu do rozšiřujících se kulovitých prostor. Mnohé jiné, ne-li většina krasových dutin a jeskyní na Koněprusku i jinde v Českém krasu je však vázána i na podstatně slabší kalcitové žíly (od několika centimentrů do 0,5–1 m mocné). Tento vztah je dobře patrný i v případě řady propasťovitých jeskyní Českého krasu. Nová propast na Zlatém koni, známé propasti v býv. Petzoldově lomu a býv. Tomáškových lomech u Srbska, propast Arnoldka v lomu na Čeřince u Bubovic a mnoho dalších je vyvinuto buďto přímo na hydrotermálních kalcitových žilách, nebo alespoň v jejich blízkém sousedství. Koněpruské jeskyně, které patří k největším známým podzemním prostorám v Českém krasu, se nacházejí v masivu Zlatého koně, jež je rovněž prostoupen mimořádně hustým systémem kalcitových žil. Naopak v lomu Na Homoláku, který je vzdálen od Zlatého koně jen asi 1500 metrů, avšak leží již mimo dosah pásma kalcitových žil, je vyvinut pouze běžný povrchový epikras. Genetická interpretace spojitosti jeskyní a kalcitových žil se zdá být relativně prostá. Tektonické pukliny, které predisponovaly vznik kalcitových žil, představovaly v jisté vývojové etapě přívodní dráhy



Obr. 3. Systém kulovitých a komínovitých hydrotermálních dutin (označených šipkami) lemujících vertikální kalcitové žíly. Červený lom u Koněprus. (Foto J. Brožek)
Fig. 3. System of circular and chimney-like hydrothermal cavities (arrows) developed along the vertical calcite veins. Červený lom Quarry near Koněprusy. (Photo by J. Brožek)

teplých a agresivních roztoků, jež putovaly patrně z hlubších částí pánve vzhůru k povrchu. Jeskyně lemující dnešní kalcitové žíly vznikly, když agresivní fluida částečně rozpouštěla karbonátovou horninu v bezprostředním okolí těchto migračních drah. Otevřenou otázkou samozřejmě zůstává, do jaké míry fluida, jejichž složky byly zachyceny v žilných tmelech ve formě plynokapalných uzavřenin, odpovídají fluidům, která vyloužila okolní jeskyně. Některá naše terénní pozorování, hlavně ve Velkolomu Čertovy schody, naznačují, že dutiny v okolí žil jsou mladší, než vlastní žilná kalcitová výplň, nebo přinejmenším některé její generace. Relativně pozdní fáze kalcitových a křemitých tmelů v tzv. „Velké kalcitové žíle VČS" byly tentativně korelovány s nejstaršími fázemi jeskynních sintrů v nedalekých Koněpruských jeskyních (srovnej ZEMAN et al. 1997b). Na jiných lokalitách se ale zdá, že konkrétní prostoročasové vztahy mezi kalcitovou výplní hydrotermálních



Obr. 4. Schematická mapka zachycující posici „Velké kalcitové žíly" na jednotlivých etážích Velkolomu Čertovy schody-východ a s ní prostorově spojené komínovité krasové dutiny se sedimenty (tečkovaně).
Fig. 4. Schematic map showing the position of the "Big crystalline calcite vein" at Čertovy schody Quarry, Koněprusy area. Note the presence of a number of dissolution cavities (dotted areas) that are apparently linked to the vein.

žil, okolními dutinami a sintry v těchto dutinách mohly být složitější a že etapy rozpouštění a krystalizace (snad spojené s fluktuacemi chemizmu fluid) se mohly vzájemně střídat (SUCHÝ et al. 1999; viz též níže, hlava 7).

Z výše uvedené interpretace zřetelně vyplývá, proč v Českém krasu obecně převládá vertikální krasovění, vázané na průběh sz–jv a s–j poruch (např. LYSENKO 1980, in VČÍSLOVÁ 1977). Tyto směry jsou totiž charakteristické pro většinu subvertikálních extenzních kalcitových žil (HEIJLEN 1998, SUCHÝ et al. 1999, HEIJLEN et al. 1999). Hydrotermální koncept rovněž umožňuje logicky vysvětlit, proč mnohé jeskyně v Českém krasu postrádají vazbu na topografii a hydrologii oblasti a proč místy zasahují pod současnou erozní bázi (viz např. KOZÁK 1976, VČÍSLOVÁ 1977). V hydrotermálním modelu krasovění je hnacím mechanismem vzniku krasových dutin nejčastěji vzestupná migrace ohřátých, proplyněných a reaktivních fluid, jejichž zdroje se předpokládají v hlubších částech pánevní výplně nebo v jejím podloží (FORD 1995, DUBLYANSKY 1995). Krasovění vázané na vertikální kalcitové žíly, jež sloužily jako přívodní dráhy těchto fluid, tedy může probíhat prakticky od povrchu vápencových komplexů až do značných, i několikakilometrových hloubek (DUBLJANSKIJ a DUBLJANSKIJ 1988, DUBLJANSKIJ 1974). Z experimentálních studií (MALININ 1979) i z pozorování v hlubokých vrtech (SURDAM et al. 1993, PALMER 1995) vyplývá, že v mocných karbonátových komplexech je intenzita rozpouštění karbonátů v termálních agresivních vodách nasycených CO_2 nebo s příměsí organických kyselin, minimálně až do hloubek 2–3 km pod povrchem, stále značná.

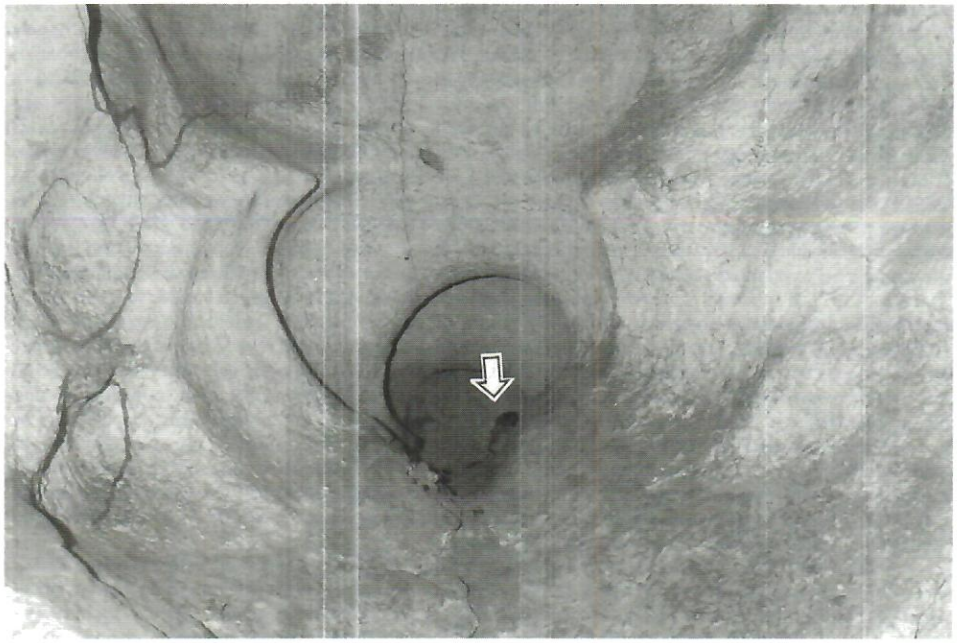
Podstata agresivního chemismu hydrotermálních roztoků, jež atakovaly karbonát, není v současné době jednoznačně vyřešena. PALMER (1995) uvádí, že ke vzniku značné druhotné pórozity v karbonátech jsou, mimo zvýšené teploty fluid, potřebné i zvýšené koncentrace CO_2, H_2S (případně H_2SO4 vzniklé oxidaci H_2S), nebo organických kyselin. Nasycení fluid CO_2 se v daném případě nejeví jako příliš pravděpodobné; přítomnost CO_2 v plynokapalných uzavřeninách v barrandienských žilných kalcitech zatím nebyla potvrzena (HEIJLEN, 1998). Nepřímé petrografické indicie (např. tzv. „gotický kalcit" sensu FOLK et al., 1985 zjištěný v „koněpruských růžicích") by však mohly ukazovat na potenciální příměs H_2S v barrandienských hydrotermálních roztocích (SUCHÝ a ZEMAN 1998c). Vznik sirovodíku, respektive jeho okysličením vzniklé slabé koncentrace H_2SO_4, mohly být spojeny s procesy termálního zrání a diageneze organickou hmotou bohatých okolních paleozoických sedimentů. Diagenetické studie potvrzují, že barrandienské sedimentární sekvence byly během paleozoika pohřbeny nejméně 1,5–3 km hluboko a že teploty v hlubších částech silurského a devonského sledu dosáhly během pohřbení 100–140 °C (SUCHÝ et al. 1996a, FRANCŮ et al. 1998). V těchto podmínkách jsou procesy termálního rozkladu organické hmoty a generace sirovodíku v pohřbených sedimentech běžnou záležitostí (BAOPING 1997). V současné fázi výzkumu nelze ovšem vyloučit ani další z možných variant, totiž, že roztoky rozpouštějící barrandienské vápence obsahovaly příměs organických kyselin. Ze studie SPIRAKISE a HEYLA (1988) vyplývá, že horké roztoky proudící hydrotermálními žilami mohou alterovat ropné uhlovodíky v okolních sedimentech za vzniku bitumenů a organických kyselin. SURDAM et al. (1993) dále dokumentovali, že příměs organických kyselin ve vodách cirkulujících sedimentárními sekvencemi silně umocňuje procesy rozpouštění karbonátů. V této souvislosti je důležité, že v mnoha vzorcích barrandienských žilných kalcitů byly zaznamenány hojné koexistující inkluze kapalných ropných uhlovodíků a pevných, dílem již termálně přeměněných bitumenů (SUCHÝ et al. 1999, SÝKOROVÁ a SUCHÝ 1999). Tato asociace organických hmot by mohla naznačovat, že v barrandienských žilách se v určité fázi vývoje skutečně uplatňoval mechanismus generace organických kyselin a že rozpouštění okolních karbonátů probíhalo pod jejich vlivem. Přímý doklad někdejší přítomnosti organických kyselin zatím ovšem nebyl nalezen.

Jakkoliv je v této fázi výzkumu přesné složení agresivních hydrotermálních fluid ještě otevřenou otázkou, je téměř jisté, že tyto roztoky musely být skutečně kyselinami. Dokladem pro toto tvrzení *prima facie* se zdá být nedávný nález velkých objemů *halloysitu* v krasových dutinách v bezprostředním okolí „Velké kalcitové žíly" ve VČS-východ (VI. etáž). Kaolinický listovitý silikát halloysit zde tmelí brekciovité partie na periferii žíly, zatlačuje ostrohranné vápencové klasty a částečně také vyplňuje ohromné subvertikální krasové dutiny lemující kalcitovou žílu. Jak uvádějí HILL a FORTI (1986) a nověji potvrzují GOEMAERE a HANSON (1997) a MATTIAS et al. (1997), jsou prakticky všechny známé výskyty halloysitu vždy vázány svým vznikem na silně kyselé prostředí. FORTI a ROSSI (1990, str. 75) pokládají dokonce halloysit za přímý doklad o existenci někdejšího *„kyselinového stádia"* vývoje krasu. Dehydratovaná varieta halloysitu – endellit, se běžně vyskytuje spolu s jemně krystalickým křemenem v jeskynních výplních ve známých hypogenních jeskyních Carlsbad Caverns v Novém Mexiku (HILL 1987). HILL (1987, 1995) tento minerál interpretuje jako produkt rozkladu původního montmorillonitu

účinkem H_2SO_4. Z uvedeného výkladu tedy dosti zřetelně vyplývá, že minimálně ke vzniku velkých krasových dutin kolem „Velké kalcitové žíly" v Koněprusích přispěly jakési kyselé roztoky. Z celkového širšího geologického kontextu taktéž plyne, že tyto roztoky mohly být organickými kyselinami vzniklými v důsledku interakce mezi žilným hydrotermálním fluidem a organickou hmotou v okolních sedimentech.

4. Charakteristická morfologie hydrotermálních jeskyní

Tvar i vnitřní morfologie mnohých jeskyní vázaných na barrandienské kalcitové žíly jsou příznačné pro hydrotermální krasovění. Mimo subvertikálních komínovitých a šachtovitých dutin, jsou zvláště pozoruhodné jeskynní prostory tvořené vykrouženými kopulovitými dutinami nebo jejich vzájemnou interferencí (obr. 3, obr. 5). Interferencí kulovitých dutin vznikají chodby nebo vzestupné komíny o charakteristickém střívkovitém průřezu. Stropy nejvyšších kulovitých prostor bývají zpravidla nápadně čistě vykrouženy a postrádají jakoukoliv sintrovou výzdobu. Rovněž některé vertikální komíny do podobných dómovitých dutin slepě dovrchně přecházejí. Kulovité dutiny tohoto typu, jejichž průměr se pohybuje od několika desítek centimetrů do několika metrů, jsou dobře známy z mnoha jeskyní z jiných částí světa, jejichž hydrotermální původ je nesporný (např. MÜLLER 1989, MARTINI a MARAIS 1996, DUBLYANSKY a PASHENKO 1997). Přesný mechanismus vzniku kopulovitých dutin není dosud jednoznačně vyřešen (RUDNICKI 1978, 1990, SZUNYOGH 1990, DUBLJANSKIJ 1987 a mnoho dalších), nicméně přítomnost kulovitých a hruškovitých tvarů je typická a je obecně pokládána za důležité diagnostické kritérium hydrotermálních jeskyní (DUBLYANSKY 1990, HOBLÉA 1997). Z běžně přístupných jeskyní



Obr. 5. Systém částečně interferujících kopulovitých dutin v horní části Nové propasti u Koněprus. Povšimněte si čistých vykroužených tvarů a absence jakékoliv sintrové výzdoby na povrchu dutin, jež jsou charakteristické pro hydrotermální erozi. Hlava výzkumníkova v nejzazší kopuli je označena šipkou pro znázornění rozměrů dutin. (Foto J. Brožek)

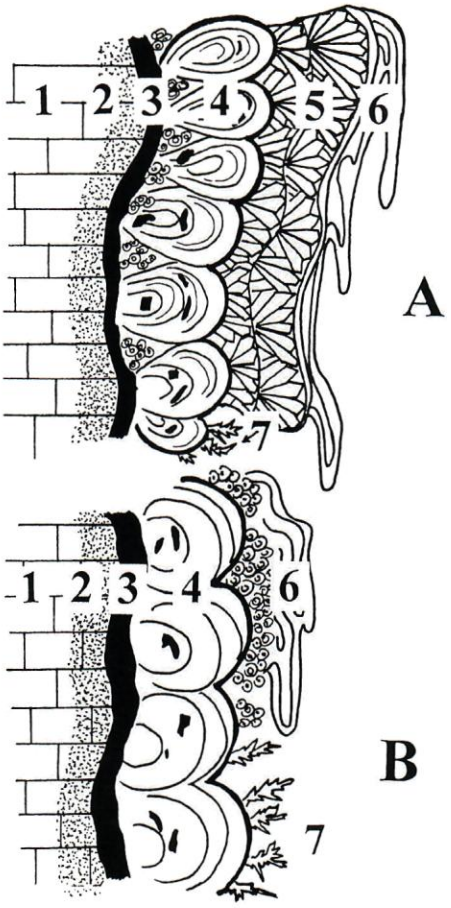
Fig. 5. System of coalescing cupola-form cavities developed in the upper part of the Nová propast cave, Koněprusy area. Note the presence of sharply eroded walls and the general lack of any spelean sinters that are characteristic of hydrothermal dissolution. The head of a researcher inside the last chamber is shown by an arrow to demonstrate the size of the cavities. (Photo by J. Brožek)

Českého krasu, kde lze tyto tvary nalézt, uvádíme např. malou jeskyni Žába, těsně pod vchodem do Koněpruských jeskyní, která je tvořena řadou interferujících kopulí různého rozměru. Další pěkné příklady lze najít ve vyšší části Nové propasti (obr. 5), nebo v horním patře Koněpruských jeskyní (tzv. Mincovna a prostory nad ní).

Mimo charakteristických kopulovitých tvarů, jsou v některých hydrotermálních jeskyních Českého krasu vyvinuty i další typické morfologie stěn a stropů. Mezi ně patří i rozmanitá a obtížně popsatelná skupina útvarů typu stropních koryt, přepážek, oken, vzestupných kanálů apod. Podobně jako v případě kulovitých dutin, jsou i tyto formy jenom svízelně vysvětlitelné činností proudící nebo stékající vody a svědčí naopak o erozním vlivu vzestupného negravitačního proudění (DUBLYANSKY 1990). Názorné příklady lze pozorovat např. v přístupných jeskyních v býv. lomu Kobyla (jeskyně Vestibul-Chlupáčova sluj), v některých menších jeskyních v Tetínské rokli, v býv. lomu Pod hradem a na mnoha dalších lokalitách. Poměrně výstižné popisy jiných, dnes již většinou odtěžených hydrotermálních dutin a jeskyní na Damilu uvádějí SKŘIVÁNEK a KUČERA (1961).

5. Neobvyklá sintrová výzdoba a mineralizace

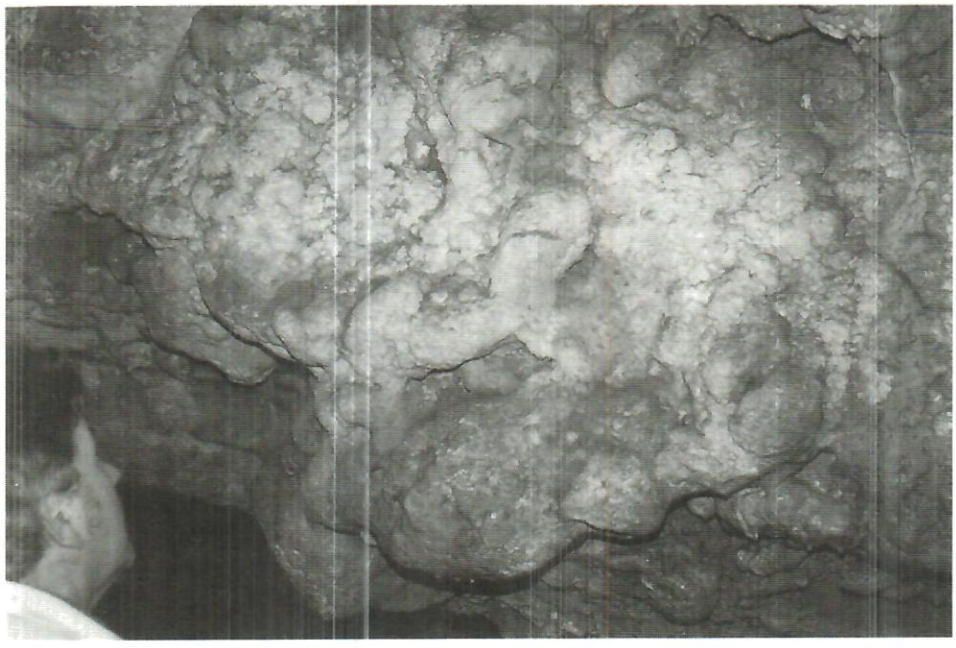
V jeskyních na Koněprusku i v jiných částech Českého krasu je vyvinuta charakteristická sukcese sintrové výzdoby (obr. 6). Speleotémy narůstají na intensivně zkorodo-



Obr. 6. Srovnání typické speleotemické sukcese jeskyní Českého krasu (A) a Zbrašovských aragonitových jeskyní (B). Bližší vysvětlení v textu.
Vysvětlivky: 1 – vápencový podklad, 2 – silně korodovaný podložní vápenec, 3 – Mn-Fe nabohacená krusta, 4 – pisolitické sintry, 5 – „medový kalcit", 6 – pozdní sintry, 7 – subrecentní výkvěty aragonitu.
Fig. 6. Schematic comparison of characteristic sequences of spelean sinters of the caves of the Bohemian Karst (A) and of the Zbrašovké jeskyně Cave, Moravia (B). See text for more details.
Explanations: 1 – limestone host; 2 – intensely corroded limestone host; 3 – Mn-Fe-rich encrustation; 4 – pisolitic ("popcorn") sinters; 5 – "honey calcite"; 6 – late-stage sinters; 7 – subrecent aragonite precipitates.

vaný vápencový podklad, který je místy rozrušen až do sypkého vápencového písku (KRÁLÍK 1961, BRANDEJS a POŠMOURNÝ 1961). Tento substrát je částečně potažen až několik centimetrů silnou vrstvou černé až černohnědé hmoty, tvořené uhličitanem vápenatým a hydroxidy manganu a železa, se zvýšenými obsahy Ba, Sr, Cu, Co, Ni, Zn a dalších prvků (ZEMAN et al. 1997c).

Mangan-železitá krusta je překryta nejstarší generací jeskynních sintrů s charakteristickou pisolitickou nebo květákovitou morfologií a slupičkovitou vnitřní strukturou (obr. 7, obr. 8). Tento typ sintrů byl v minulosti různě nazýván („koněpruské růžice", „slupičkové pisolity", „nepravé pisolity", „korality" apod.) a těšil se značnému zájmu jeskyňářů (viz například LYSENKO 1976, LYSENKO a SLAČÍK 1977b, 1984; SLAČÍK 1982, KOMAŠKO 1987 a mnoho dalších). Mimo převládajícího kalcitu, zjistili LYSENKO a SLAČÍK (1977b, 1984) v těchto nejstarších sintrech i oxidy manganu (wad a psilomelan), limonit, chalcedon a opál. V některých vzorcích byl identifikován sádrovec a/anebo anhydrit (LYSENKO a SLAČÍK 1977a, 1978, 1984). BOSÁK (1971) a LYSENKO a SLAČÍK (1977b, 1984) navíc uvádějí i podřadný aragonit. V nerozpustných zbytcích pisolitických sintrů byly zjištěny drobné krystalky pyritu a „krychlové krystalky galenitu nepatrných rozměrů" (SLAČÍK 1982, s. 64). LYSENKO a SLAČÍK (1987) uvádějí z pisolitických sintrů nejstarších generací zvýšené koncentrace uranu. FILIP et al. (1999) z analogických vzorků z Koněpruských jeskyní detekovali gamma-spektrometricky radionuklidy přeměnových řad uranu a thoria (^{226}Ra, ^{228}Ra, ^{228}Th). DOBEŠ (1996) zkoumal několik vzorků „koněpruských růžic" z Proškova dómu Koněpruských jeskyní z hlediska plynokapalných uzavřenin. Jak v kalcitu tak i v mikrokrystalickém křemeni „růžic" zjistil přítomnost převážně kapalných a vzácněji i plynokapalných inkluzí s nepravidelným zaplněním. Salinita těchto fluid byla relativně nízká (1,2–2,7 hmot. % NaCl ekv.). Některé protáhlé uzavřeniny z křemitých

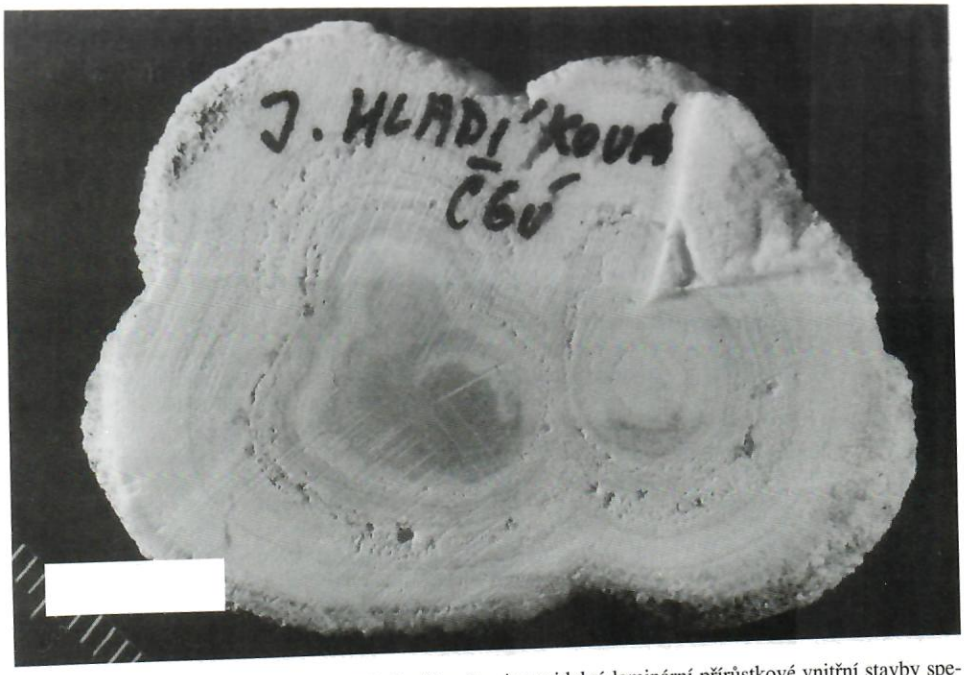


Obr. 7. Masivní narůsty pisolitických sintrů – tzv. „koněpruských růžic" na stěně Proškova dómu, Koněpruské jeskyně. (Foto J. Brožek)

Fig. 7. Massive coatings of pisolitic sinters („Koněprusy rosettes") on the walls of the Proškův dóm Hall, Koněpruské jeskyně Cave. (Photo by J. Brožek)

partií sintru pravděpodobně obsahovaly malou příměs vyšších uhlovodíků. Přítomnost velmi drobných a nehojných inkluzí tvořených pravděpodobně kapalnými ropnými uhlovodíky byla později zjištěna i pomocí epifluorescenční mikroskopie v jiném vzorku „korodované koněpruské růžice" z Proškova dómu (SUCHÝ, nepublikovaná data). S ohledem na velmi nízké koncentrace a nepatrné rozměry těchto exotických uzavřenin (< 0,02 mm), nepodařilo se zatím jejich složení ověřit pomocí GC-MS analýzy. Z detailní petrografie dále vyplývá, že opálové a chalcedonové partie „růžic" patrně nepředstavují, jak se dříve všeobecně soudilo, produkt metasomatického zatlačení kalcitu SiO_2 (viz např. KUKLA 1952, LOŽEK 1973, LYSENKO a SLAČÍK 1977a a mnoho dalších). Tence laminární forma křemitých poloh, jež se v mnoha vzorcích rytmicky střídají s kalcitovými polohami, spíše ukazuje, že jde o primární precipitát. „Koněpruské růžice" tedy krystalovaly z fluid, jejichž chemismus se patrně cyklicky měnil v čase (ZEMAN et al. 1997a). Dalším novým petrografickým zjištěním je, že mnohé „růžice" obsahují mikroskopické polohy připomínající kalcitové pseudomorfózy pro aragonitu a rovněž drobné kalcitové krystaly podivného vypouklého rombického habitu, jež silně připomínají tzv. „gotický kalcit" uváděný FOLKEM et al. (1985) jako precipitát z horkých mineralizovaných vod s příměsí H_2S.

Nejstarší pisolitické a krystalické sintry jsou na řadě lokalit přerůstány nápadnou generací medově žluto-hnědých stébelnatě-krystalických kalcitových sintrů (tzv. „medové kalcity"). Konečně nejmladší fáze sintrové výzdoby jsou v mnohých jeskyních Českého krasu vyvinuty jako běžné laminární a masivní kalcitové sintry tvořící polevy a krápníky a tmelící nezřídka nezpevněné jeskynní sedimenty (obr. 6).



Obr. 8. Řez drobnou „koněpruskou růžicí". Povšimněte si pravidelné laminární přírůstkové vnitřní stavby speleotému. Laminace je částečně zvýrazněna přítomností křemitých partií, které převládají v centrální části „růžice". Proškův dóm, Koněpruské jeskyně. Bílá měřítková úsečka má délku 1 cm. Vzorek zapůjčen laskavostí Mgr. V. Lysenka. (Foto J. Brožek)

Fig. 8. Internal fabrics of a small „Koněprusy rosette". Note the development of regular laminations. The darker inner core is dominated by siliceous material. Proškův dóm Hall, Koněpruské jeskyně Cave. White scale bar is 1 cm long. Sample courtesy of Dr. V. Lysenko. (Photo by J. Brožek)

popisují FORTI a UTILI (1984, viz též HILL a FORTI 1986, tab. 3, str. 113) květákovité sintry typu „cave clouds", jež jsou, opět přinejmenším vzhledově, velmi analogické masivním květákovitým kalcitovým sintrům lemujícím například horní část Nové propasti u Koněprus. Jak drobnější „popcorn", tak i větší květákovité „koblihy" jsou známy i ze Zbrašovských aragonitových jeskyní (viz níže).

Tzv. „medové kalcity"

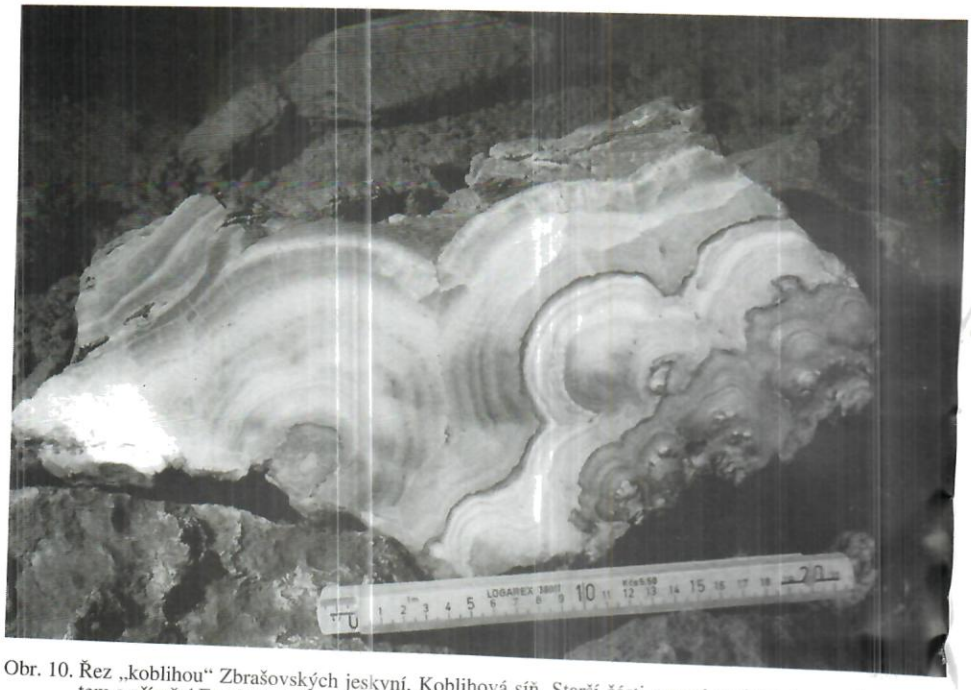
Petrografie a geochemie „medových kalcitů" z jeskyní koněpruské oblasti je v současné době předmětem našeho probíhajícího studia. Existující data zatím nedovolují přesnější genetické závěry. Podle analogie s některými jinými formami podobných speleotém z jiných jeskyní (RAMSEYER et al. 1997, BAKER et al. 1998) lze spekulovat, že jde o specifický typ sintru, jež krystaloval z meteorických roztoků s příměsí půdních fulvických kyselin. Nástup generace „medových kalcitů" by tedy mohl signalizovat zánik hydrotermálního systému (charakteristického precipitací speleotém z endogenních nebo smíšených endogenních – meteorických fluid) a nástup pozdního stádia „normálního" krasu, charakterizovaného prosakováním meteorických vod z povrchu s obsahem organických půdních komponent. Jelikož přenos organických látek z půdního pokryvu do spodních vod a tím i do „normálních" speleotém je obvykle klimaticky kontrolován (BAKER et al. 1998), mohla by poloha (polohy) „medových kalcitů" v jeskyních Českého krasu mít potencionální paleoklimatický význam.

Pozdní kalcitové sintry a krápníková výzdoba

Interpretace: Velmi pozdní, „normální krasový" precipitát z chladných meteorických vod (ŽÁK et al. 1987). Probíhající absolutní datování radiokarbonovou metodou naznačuje, že některé z pozdních sintrů Koněpruských jeskyní mají stáří < ~ 20 000 tis. let (MELKOVÁ 1998, ústní sdělení).

6. Srovnání s hydrotermálním krasem ve Zbrašově

Popsaný sled chemogenních jeskynních sintrů na Koněprusku i v jiných jeskyních Českého krasu je nápadně podobný a podle našeho názoru zcela dobře porovnatelný s analogickou sukcesí jeskynních sintrů vyvinutou ve Zbrašovských aragonitových jes-

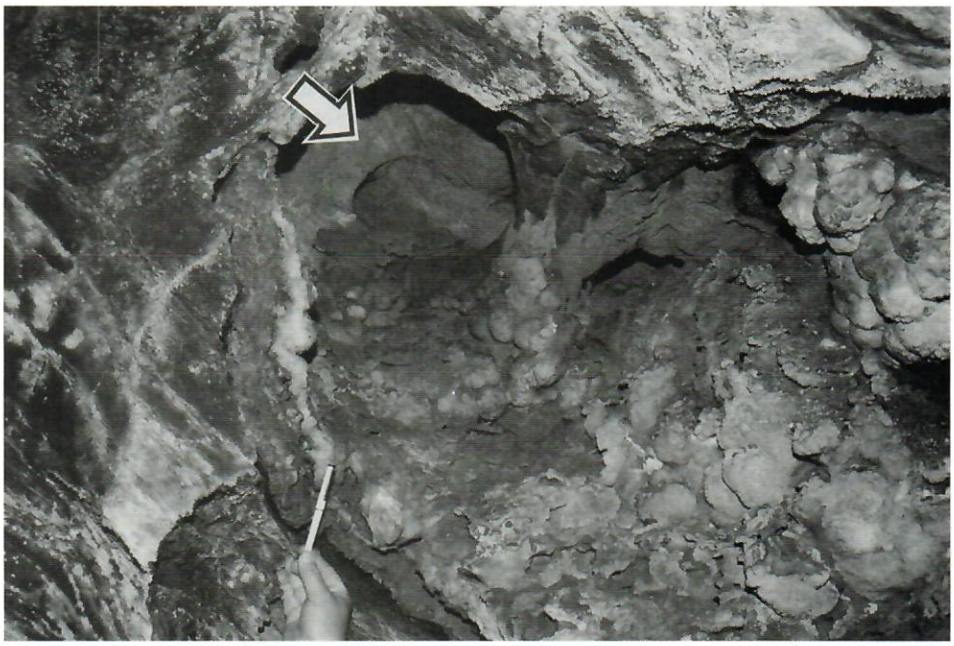


Obr. 10. Řez „koblihou" Zbrašovských jeskyní, Koblihová síň. Starší části agregátu (dole) jsou tvořeny kalcitem s příměsí Fe-okrů a Mn-oxidů. Pozdější generace sintru jsou tvořeny čistějším kalcitem a aragonitem. Povšimněte si nápadné podobnosti se stavbou sintrů typu „koněpruských růžic" zachycenou na obr. 8. (Foto J. Brožek)

Fig. 10. Internal fabrics of a typical "dumpling" from the Zbrašov Cave. The darker older part of the speleothem is dominated by Fe-Mn-minerals whereas the younger parts are composed of calcite and aragonite. Note the overall similarity with the "Koněprusy rosette" shown in Fig. 8. (Photo by J. Brožek)

kyních na Moravě, jejichž hydrotermální původ je nesporný (obr. 6; srovnej též KUNSKÝ 1957, ROUSEK a VRBA 1960, HYNIE 1963 a mnoho dalších.). Z kyselek, které se účastnily procesů podzemního krasovění, se ve Zbrašově uložil sled chemogenních sedimentů, jež začíná ze sypkých hnědých okrů a černých hydrooxidů manganu (wad). Na tomto substrátu se postupně ukládaly polohy vápence a aragonitu, místy oddělené laminami wadu. Sukcese je zakončena čistým vápencem. Celek tvoří tzv. „zbrašovský onyx" (KUNSKÝ 1957). Typickou formou zbrašovských speleotém tvořených tímto „onyxem" jsou tzv. „koblihy" – květákovité a polokulovité formy s jemnou vnitřní laminací (obr. 9, obr. 10). Podle KUNSKÉHO (1957) odráží uvedená sukcese postupné snižování teploty a ochabování exhalací CO_2 spojené s plynulým odezníváním hydrotermálního procesu. Význačnými pozdějšími členy zbrašovského jeskynního sledu jsou krystaly aragonitu, které se srážejí i subrecentně v některých částech jeskyně v podmínkách zvýšených teplot a v atmosféře bohaté CO_2. Aragonit je místy doprovázen výkvěty huntitu a magnezitu (tzv. ondřejit starších autorů, viz GREGEROVÁ 1994) a sádrovce (ŠTEFFAN 1995). Interpretace vzniku sádrovce je kontroverzní. ŠTEFFAN (1995) se přiklání k představě, že se jedná o výsledek procesů antropogenního znečištění, zatímco STÁREK (1998, ústní zpráva) se domnívá, že sádrovec je svým vznikem spíše spojen s doznívajícími hydrotermálními pochody a že krystaluje z roztoků vzniklých při hydrotermálním rozkladu sirníků v okolních karbonátových horninách. Stopy sirovodíku byly zjištěny i v plynech v minerálních pramenech vyvěrajících v bezprostředním okolí jeskyní (STÁREK, ústní sdělení).

Nápadné analogie mezi jeskyněmi Českého krasu a Zbrašovskými jeskyněmi se projevují i v přítomnosti hojných evorzních a korozních tvarů na jeskynních stěnách.



Obr. 11. Ústí „tlakového kanálu" (označeno šipkou) v sousedství menší kopulovité dutiny. Stěna pod ústím „tlakového kanálu" je částečně pokryta květákovitými sintrovými formami – tzv. „koblihami". Zbrašovské jeskyně. (Foto J. Brožek)

Fig. 11. The entrance of a „pressure channel" (arrow) that associates with a smaller cupola-form cavity. The cave wall below is partly covered by cauliflower-like spelean sinters that are called "dumplings". Zbrašovské jeskyně Cave. (Photo by J. Brožek)

V obou systémech jsou běžné strmě ukloněné vzestupné „tlakové kanály", evorzní „obří hrnce", „ucha" a další tvary související s účinky teplých proplyněných vod (srovnej obr. 5 a obr. 11). Jiným charakteristickým rysem Zbrašovských jeskyní je, stejně jako v Českém krasu, obecná absence povrchových krasových forem. Na povrchu devonských vápenců v blízkém okolí Zbrašovských jeskyní se zachoval spíše abrazní povrch, jako zbytek činnosti badenského moře, než tvary povrchové krasové koroze; škrapy se neobjevují a závrtů je jen několik, z povrchových tvarů dominuje propast na pravém břehu Bečvy (KUNSKÝ 1957).

7. Stáří hydrotermálních procesů, kalcitových žil a krasovění

V současné době nejsou k disposici žádná exaktní data, která by umožňovala absolutní datování hydrotermálních procesů v Barrandienu. Nejsou zatím spolehlivě datovány ani hydrotermální žíly samotné, ani s nimi spojené dutiny, ba ani speleotémy, jež tyto dutiny částečně vyplňují. ŽÁK (1999) se na základě analogií s nedalekou příbramskou rudní oblastí domnívá, že etapa vzniku hydrotermálních kalcitových žil v Barrandienu připadá na perm nebo trias. BOSÁK (1997) pro změnu spekuluje o dvou diskrétních fázích hydrotermálního procesu, které situuje do karbonu a eocénu-miocénu, neuvádí však žádné důvody, která by toto stratigrafické zařazení podporovaly. Nově uskutečněná strukturní analýza kalcitových žil naznačuje, že početně nehojnější skupina severojižních žil byla výsledkem pozdní tektonické fáze, která následovala až po vzniku většiny vrás (SUCHÝ et al. 1999). Relativně mladé, nejspíše pozdně-variské nebo povariské stáří většiny severojižních poruch v Barrandienu potvrzují také starší strukturně-geologické studie (SVOBODA et al. 1966, MOHAMED 1977, LYSENKO 1986 a mnoho dalších). Z kombinace nepřímých údajů o diagenetické historii barrandienských souvrství, zejména z dat odraznosti organické hmoty (SUCHÝ et al. 1998, SÝKOROVÁ a SUCHÝ 1999, SUCHÝ a ROZKOŠNÝ 1996, FRANCŮ et al. 1998) a z prvních dat analýzy stop spontánního dělení uranu v apatitech separovaných z hornin řady barrandienských souvrství (fission track analysis, GLASMACHER et al. 1999), vyplývá, že ke vzniku kalcitových žil mohlo dojít nejspíše během karbonu. K tomu je ovšem třeba podotknout, že uvedený závěr vychází z předpokladu, že tepelný vývoj kalcitových žil a okolních sedimentárních sekvencí byl souběžný a že byl kontrolován týmiž mechanismy (v daném případě dynamikou pohřbení a s ní spojeným nárůstem teploty v sedimentárním sledu).

Není také ovšem vyloučeno, že hydrotermální proces v Českém krasu probíhal etapovitě a že jednotlivé fáze nebo hydrotermální „pulzy" mohly být odděleny značnou časovou přestávkou. Etapovitost ve vývoji tmelů kalcitových žil je totiž skutečně očividná (ZEMAN et al. 1997a, SUCHÝ et al. 1999) a k podobné představě přímo vybízí. Podobně jako uvnitř kalcitových žil, existují příznaky krystalizačních nebo sedimentačních přestávek neznámého důvodu a trvání i uvnitř speleotemické sukcese v jeskyních Českého krasu. Například v Proškově dómu Koněpruských jeskyní je pod známou polohou „koněpruských růžic" přítomna místy ještě jedna, zjevně starší, korodovaná a geochemicky odlišná generace podobných sintrů. V souvislosti s úvahami o možné etapovitosti hydrotermálních procesů v Českém krasu je pozoruhodné nedávné zjištění, že v některých barrandienských kalcitových žilách jsou přítomny termálně i chemicky nezralé polotuhé a tekuté živice, které jsou relativně mladší než silně tepelně alterované bitumeny (SÝKOROVÁ a SUCHÝ 1999). Zdá se, že jde o pozůstatek jakési pozdější, pravděpodobně postvariské události, která se projevila migrací uhlovodíků a částečnou reaktivací některých kalcitových žil (SUCHÝ et al., 1998). Stáří této migrační etapy je nejasné. Mohlo by jít možná o projevy etapy „regionální migrace živic, která postihla Český masív v terciéru", kterou zmiňují CHMELÍK a CHLUPÁČ (1969). Do tohoto kontextu zapadají i údaje

ŠČEGLOVA (1968), který studoval etapy postplatformní tektonické reaktivace a s ní spojené mineralizační projevy v celosvětovém měřítku. Tento autor dospěl k závěru, že rozsáhlá celoplanetární reaktivace platforem a krystalických masívů nastala v postkřídovém – terciérním období a místy zřejmě trvá i dodnes. Tektonická aktivizace byla vázána na dlouho žijící hlubinné zlomy, kolem nichž se soustředila charakteristická epitermální mineralizace. Pozdní mineralizační projevy platformní reaktivace jsou podle Ščeglova spojeny s relativně nízkými teplotami a malými hloubkami a zahrnují žíly s manganovými a uranovými minerály, opálem, chalcedonem, kalcitem, manganokalcitem a fluoritem. Tato minerální asociace je, stejně jako výrazná tektonická kontrola lineamenty, rovněž typická i pro kalcitové žíly v Barrandienu (SUCHÝ et al. 1999).

Vnitřní sedimenty, které vyplňují některé krasové dutiny, spojené prostorově s kalcitovými žilami, jsou datovány také pouze neúplně. Jak jsme již dříve publikovali (ZEMAN a SUCHÝ 1997a, 1997b), v ohromných subvertikálních korozních dutinách lemujících „Velkou kalcitovou žílu" ve VČS-východ, jsou přítomny, minimálně v nejvyšší odkryté části dutin, křídové sedimenty. Pod nimi, v rozsahu nejméně několik desítek metrů mocného sledu, se nachází komplex jílovitých a písčitých usazenin, jehož stáří není zatím spolehlivě určeno. Existují určité náznaky, že by mohlo jít dokonce o předkřídové, snad jurské sedimenty (ZEMAN et al. 1997a). Tato stratigrafická pozorování lze ovšem různě interpretovat, v závislosti na přijímaném modelu krasovění. Pokud by dutiny představovaly nějakou formu exogenního, například mogotového krasu, jak soudí např. K. ŽÁK (1999), potom by jurský(?)-křídový věk jejich výplní zřejmě znamenal, že dutiny samotné jsou podobného stáří. V námi předkládaném modelu krasovění, jsou však tyto prostory výsledkem hydrotermálního rozpouštění, které nebylo vázáno na exogenní pochody a probíhalo *zcela pod povrchem*, v hloubkách od několika set až do několika tisíc metrů. Když byly tyto dutiny později otevřeny, sedimentární výplň z povrchu – terciér, křída a jura(?) – se pasivně zhroutila dovnitř a dutiny zaplnila. Jinak řečeno, v našem náhledu svědčí stáří sedimentárních výplní pouze o tom, že *dutiny samotné jsou zřejmě post-křídové*. Některá nová petrografická pozorování v Českém krasu, hlavně nálezy subrecentních (?) travertinových tmelů vázaných na některé kalcitové žíly a pisolitických speleotém přecházejících do kvartérních travertinů (ZEMAN a SUCHÝ 1999), a interpretace některých historických záznamů (HIPPOLYTUS GUARINONIUS 1610) se zdají nasvědčovat tomu, že minimálně část hydrotermálních procesů v oblasti mohla doznívat ještě v relativně nedávné geologické minulosti. Překvapivě mladé radiouhlíkové stáří (< 30000 let; MELKOVÁ 1999, ústní sdělení) prakticky všech generací speleotém Koněpruských jeskyní, jejichž systematické datování v současné době probíhá, tato pozorování dobře doplňují.

Je velmi pozoruhodné, že také proces termominerálního krasovění ve Zbrašovských jeskyních, na jehož úzké analogie s Českým krasem jsme již výše poukázali, nastal v plném rozsahu až po sarmatu, případně v kvartéru (srov. např. DVOŘÁK a SLEZÁK 1953). J. JAHN (in PROKOP et al. 1957), dokonce klade vznik terem přímo do postvulkanického období mladšího pleistocénu.

8. Závěry

1. Mnohé jeskyně v Českém krasu vznikly mechanizmem hydrotermálního a/nebo hydrotermálně-geochemického rozpouštění spodnopaleozoických karbonátových souvrství. Tyto jeskyně jsou úzce prostorově vázány na subvertikální kalcitové žíly, jež krystalovaly ze slaných roztoků s příměsí uhlovodíků, při teplotách nejčastěji ≤ 70–80 °C.

2. Jeskyně vzniklé hydrotermálním mechanizmem vykazují slabou nebo žádnou vazbu na současnou topografii a povrchovou hydrologii. Typickými rysy jeskyní jsou kulovité nebo hruškovité a navzájem interferující dutiny, „stropní koryta", „obří hrnce" a další tvary, jež vznikly účinkem vzestupného negravitačního proudění.

3. Posloupnost karbonátových sintrů v jeskyních, jež lemují kalcitové žíly, potvrzuje hydrotermální původ jeskyní. Sintry, které narůstají na silně korodovaný povrch paleozoických vápenců potažený krustou Mn-Fe minerálů, jsou interpretovány jako výsledek intenzivní hydrotermální alterace, respektive krystalizace z hydrotermálních fluid. Nejstarší generace pisolitických a krystalických sintrů s polohami SiO_2, oxidy manganu a dalšími exotickými minerály a inkluzemi představuje zřejmě hydrotermální precipitát. Následné generace sintrové sekvence – tzv. „medový kalcit" a různé formy pozdních sintrů tvořící běžnou krápníkovou výzdobu, vznikly během pozdější etapy odeznívání hydrotermálního procesu, v podmínkách postupně sílícího vlivu chladných povrchových vod.

4. Představu o hydrotermálním původu mnohých jeskyní v Českém krasu naprosto přesvědčivě podporuje srovnání s hydrotermálním krasem ve Zbrašově. V obou systémech existuje analogická posloupnost chemogenních jeskynních sedimentů a i jejich látkové složení je velmi podobné. Nápadná je také shoda morfologie krasových dutin. Vazba na S–J a SSV–JJZ hydrotermální žíly na obou lokalitách je rovněž evidentní. Etapa hlavního zkrasovění ve Zbrašově spadá do terciéru, případně do kvartéru. Existující informace o stáří hydrotermálních procesů v Českém krasu v zásadě umožňují podobnou interpretaci.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři vyjadřují poděkování společnosti Cement Bohemia Praha, a.s. za umožnění vstupu a terénních prací v lomu Čertovy schody a za finanční pomoc, jež přispěla k úhradě části analytických a terénních nákladů. Tato studie byla rovněž dílem finančně podpořena Grantovou agenturou AV ČR (Grant A3012703).

Panu Komaškovi (Koněpruské jeskyně) a paní Šimečkové (Zbrašovské aragonitové jeskyně, Teplice nad Bečvou) jsme zavázáni za umožnění vstupu, odebrání a studia vzorků jeskynních sintrů v uvedených jeskyních. Mgr. Šteffan a p.g. Stárek (Teplice nad Bečvou) se spolu s námi zúčastnili srovnávacího studia ve Zbrašovských jeskyních a jejich podněty přispěly ke zkvalitnění této práce. Dr. Jančaříkové a vedení Muzea Českého krasu v Berouně jsme zavázáni za laskavé zapůjčení vzorků jeskynních sintrů z muzejních sbírek ke studijním účelům. Dr. Melkovi (GLÚ AV ČR, Praha) děkujeme za RTG určení jílových minerálů z jeskynních sedimentů. Dr. Lysenko nám laskavě zapůjčil ke studiu několik vzorků „koněpruských růžic" ze své soukromé kolekce. Dr. J. V. Dubljanskij (RAN, Novosibirsk) nám zprostředkoval těžko dostupnou ruskou literaturu. Panu Brožkovi (GLÚ AV ČR, Praha) děkujeme za trpělivou a profesionální práci při zhotovení fotografií dokumentujících podzemní krasové fenomény.

Ke zlepšení formy i věcné přesnosti tohoto příspěvku přispěly kritické připomínky recenenta dr. Slobodníka (MU Brno).

SUMMARY

Many caves developed in Lower Paleozoic carbonates of the Bohemian Karst (central Czech Republic) appear to have originated through the mechanisms of hydrothermal and/or hydrothermal-geochemical dissolution. Hydrothermal stage of cave evolution that probably occurred in a deeper subsurface was followed by a later stage of „normal" karstification that developed under the influence of cold meteoric waters.

Hydrothermal caves are spatially linked to subvertical, north-south-striking calcite veins (Fig. 1). Fluid inclusion and stable isotope data on vein cements indicate precipitation from warm (≤ 70–80 °C) saline (0.3–22 wt. % NaCl equiv.) aqueous solutions with minor liquid petroleum hydrocarbons. These fluids may have represented deeply circulating meteoric and/or connate basinal waters.

The morphology of large caves and caverns that are developed both inside the calcite veins and in adjacent limestone host indicates dissolution by uprising corrosive fluids. Cupola-form (convection) cavities up to 1–2 m in diameter and circular ceiling pockets are locally common. Indirect petrographical and geochemical evidence suggests that the caves were probably dissolved by warm fluid containing organic acids or H_2S.

The sequence of spelean sinters preserved in the caves is characteristic of a hydrothermal karst that gradually evolved into a shallow, cold-water karst (Fig. 6). The cave walls are deeply corroded and locally altered into loose carbonate sand. Exotic encrustations are also developed in some caves and include black manganese crusts overlain by pisolitic carbonate-siliceous sinters that may have replaced former aragonite precursor. The speleothems that are interpreted as hydrothermal precipitates, are postdated by columnar aggregates of "honey calcite" that, in turn, grade into youngest generations of usual cave sinters (flowstones, dripstones etc.).

The sequence of spelean carbonates of the Bohemian Karst is readily comparable to those of the Zbrašov Aragonite Caves (Teplice, Moravia) that are known as a classical example of a hydrothermal karst (Fig. 6). Moreover, the caves in both areas appear to have originated through the circulation of warm aggressive fluids along north-south-striking tectonic lineaments. Independent geomorphological and sedimentological evidence also shows that the processes of hydrothermal karstification in both areas may have occurred during post-Cretaceous or even post-Tertiary time.

LITERATURA

BAKER, A., GENTY, D., SMART, P. L., 1998: High-resolution records of soil humification and paleoclimate change from variations in speleothem luminescence excitation and emission wavelengths. – Geology, 26:903–906.

BAOPING, H., 1997: Study of Oilfield Karst. – Scientia Geologica Sinica, 6:347–353.

BOLNER, T. K., 1990: Regional and special genetic marks of the Pál–völgy Cave, the largest cave of thermal water origin in Hungary. – in: Proc. of the 10th Internat. Congress of Speleology, Budapest 1989, vol. 1 (A. Kósa, ed.):819–821. Hungarian Speleological Society, Budapest.

BOLNER, T. K., KRAUS, S., 1989: The results of research into caves of thermal water origin. – Karszt és Barlang, Special Issue 1989:31–38.

BOSÁK, P., 1971: Kalcit nebo aragonit? – Krasový Sborník, 4:53. Praha.

BOSÁK, P., 1997: Speleogenesis in the Koneprusy region (Bohemian karst, Czech Republic): New data and ideas. – in: Caves: Guide-booklet for the excursions and abstracts of the papers. – Postojna, Karst Research Institute, s. 16 (abs.).

BOSÁK, P., 1998a: Variský hydrotermální paleokras a kalcitové žíly ve Velkolomu Čertovy schody-východ (Český kras, Česká republika). – Český kras (Beroun), 24 (1998):60–64.

BOSÁK, P., 1998b: The evolution of Karst and caves in the Koněprusy region (Bohemian Karst, Czech Republic), Part II: Hydrothermal paleokarst. – Acta Carsologica, XXVII/2, 3 (1998), 41–61.

BRANDEJS, J., POŠMOURNÝ, K., 1961: Nové výzkumy v Aragonitové jeskyni na Stydlých vodách. – Československý kras, 13:181–184.

BUTUZOVA, G. Yu., DRITS, V. A., MOROZOV, A. A., GORSCHKOV, A. I., 1990: Processes of formation of iron-manganese oxyhydroxides in the Atlantis-II and Thetis Deeps of the Red Sea. – in: Sediment-Hosted Mineral Deposits (J. Parnell, Y. Lianjun, Ch. Changming, eds.):57–72. Special Publication 11 of the International Association of Sedimentologists (IAS), Blackwell; Oxford–London–Vienna.

CÍLEK, V., 1998: Hydrotermální kras v Namíbii a na Kačáku. – Speleo, 26:59–60.

CÍLEK, V., DOBEŠ, P., ŽÁK, K., 1995: Origin of calcite veins in the V Kozle (Hostim I, Alkazar) quarry, Bohemian Karst. – Bull. Czech Geol. Surv., 39:313–318.

CRESPO, A., LUNAR, R., 1997: Terrestrial hot-spring Co-rich Mn mineralization in the Pliocene-Quaternary Calatrava region (central Spain). – in: Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits (K. Hein, J. R. Bühn, S. Dasgupta, eds.), Geological Society Special Publication No. 119:253–264.

DOBEŠ, P., 1996: Studium fluidních inkluzí v koněpruské růžici. – Nepublikovaná výzkum. zpráva, ČGÚ, 1996, 8s.

DUBLJANSKIJ, V. N., DUBLJANSKIJ, Ju. V. 1988: Kalcitovye žily Gornogo Kryma kak indikator ego paleogidrogeologičeskich uslovij. – Geol. Žurnal, 1988, No. 3:81–85. Kijev

DUBLJANSKIJ, Ju. V., 1980: K mineralogii gidrotermokarsta. – Peščery, problemy izučenija, vypusk 1980: 72–78. Perm'.

DUBLJANSKIJ, V. N., 1974: Gigantskaja gidrotermokarstovaja polosť v Rodopach (Bolgarija). – Peščery, vypusk 14–15(1974):233–237. Perm.

DUBLJANSKIJ, Ju. V., 1987: Teoretičeskoje modelirovanije dinamiki formirovanija gidrotermokarstovych polostěj. – in: Metody izučenija i modelirovanija geologičeskich javlenij (V. I. Sotnikov, A. V. Vasilenko, Ju. A. Averkin, O. P. Poljanskij et al., eds.): 97–111. Sbornik naučnych trudov, Institut geologii i geofiziki AN SSSR, Novosibirsk.

DUBLYANSKY, Y., 1990: The main principles of development and diagnostic criteria of a carbonate hydrothermal karst. – in: Proc. of the 10th Internat. Congress of Speleology, Budapest 1989, vol. 1 (A. Kósa, ed.): 77–79. Hungarian Speleological Society, Budapest.

DUBLYANSKY, Y. V., 1995: Speleogenetic history of the Hungarian hydrothermal karst. – Environmental Geology, 25:24–35.

DUBLYANSKY, Y. V., 1997: Transition between Hydrothermal and Cold-Water Karst. – in: Proceedings of the 12th International Congress of Speleology, vol. 1, Symposium 1 "6th Conference on Limestone Hydrology and Fissure Media" (P. Y. Jeannin, ed.):267–270, La Caux-de-Fonds, Switzerland, 10.–17. 08. 1997. Swiss Spelological Society.

DUBLYANSKY, Y. V., FORD, D., 1997: Paleoenvironment in hydrothermal karst: Evidence from fluid inclusions and isotopes of carbon and oxygen. – in: Proceedings of the XIVth European Current Research on Fluid Inclusions (XIV ECROFI), July 1–4, 1997, Nancy, France. Volume de Resumes (M. C. Boiron, J. Pironon, eds.), CNRS-CREGU. Vandoeuvre-lès Nancy.

DUBLYANSKY, Y. V., PASHENKO, S. E., 1997: Cave Popcorn – an Aerosol Speleothem? – Proceedings of the 12th International Congress of Speleology, vol. 1, Symposium 7 "Physical Speleology" (P. Y. Jeannin, ed.): 271–274, La Caux-de-Fonds, Switzerland, 10.–17. 08. 1997. Swiss Spelological Society.

DVOŘÁK, J., 1955: Zpráva o výzkumu krasových jevů v oblasti hranického Devonu. MS Geofond Praha.

DVOŘÁK, J., SLEZÁK, M., 1953: Jeskyně v oblasti hranického devonu. – Československý kras, 6:175–184.

FAIRBRIDGE, R. W., (ed.), 1972: The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences. Encyclopedia of Earth Sciences Series, Vol. IVA. New York.

FILIP, J., SVĚTLÍK, I., SUCHÝ, V., ZEMAN, A., KOMAŠKO, A., 1999: Měrné aktivity radionuklidů uranové a thoriové řady v karbonátových horninách a jeskynních sintrech Českého krasu (dílčí studie z Koněpruských jeskyní a okolí). – Český kras (v přípravě).

FLOROVSKAJA, V. N., PIKOVSKIJ, Ju. I., OGLOBLINA, A. I., RAMENSKAJA, M. E. 1986: Roľ gidrotemaľnych faktorov v evoljucii uglerodistych veščestv i formirovanii skoplenij nefti i gaza. – Žurnal Vsesojoznogo Obščestva imeni D. I. Mendelejeva, tom XXXI (1986):562–568. Moskva.

FOLK, R. L., 1994: Intercation between bacteria, nannobacteria, and mineral precipitation in hot springs of central Italy. – Geographie Physique et Quaternaire, 48:233–246.

FOLK, R. L., CHAFETZ, H. S., TIEZZI, P. A., 1985: Bizarre forms of depositional and diagenetic calcite in hot-spring travertines, central Italy. – in: Carbonate Cements (N. Schneidermann, P. M. Harris, eds.), Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ.:349–369. Tulsa.

FORD, T. D., 1995: Some thoughts on hydrothermal caves. – Cave and Karst Science, 22:107–118.

FORTI, P., ROSSI, A., 1990: Speleothems and speleogenesis of Faggeto Tondo Cave (Umbria – Italy). – in: Proc. of the 10th Internat. Congress of Speleology, Budapest 1989, vol. 1 (A. Kósa, ed.):74–76. Hungarian Speleological Society, Budapest.

FORTI, P., UTILI, F., 1984: Le concrezioni della Grotta Giusti. – Speleo, 7:17–25.

FRANCŮ, E., MANN, U., SUCHÝ, V., VOLK, H., 1998: Model of burial and thermal history of the Tobolka-1 borehole profile in the Prague basin. – in: Proceedings of the International Conference "Paleaeozoic Orogenesis and Crustal Evolution of European Lithosphere" – Acta Universitatis Carolinae, Geologica, 42 (1998):248–249.

GATTER, I., 1984: Investigation of embedded fluids in vein fillings and in crusts precipitated from thermal waters on the walls of caves in carbonate rocks. – Karszt és Barlang, vol. 1984(I):9–17. (v maďarštině, ang. abs.)

GLASMACHER, U., FILIP, J., WAGNER, G., 1999: Preliminary Fission-Track Result – in: Barrandian of the Prague Basin (VI): Progress Report, Forschungszentrum Jülich, Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre ICG-4,10 s.

GOEMAERE, E., HANSON, A., 1997: New data about halloysite from Angleur type-locality, Belgium. – Geologica Carpathica, series Clays, 6:11–25. Bratislava.

GREGEROVÁ, M., 1994: Současný stav a perspektiva Zbrašovských aragonitových jeskyní. – Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1993, 102–103. Brno.

HEIJLEN, W., 1998: Post-Varistische adersystemen in het Praags Bekken, Barrandium gebied, Tsjechië. – Diplom. Práce, Katholieke Universiteit Leuven, Faculteit Wetenschappen, 83s.

HEIJLEN, W., MUCHEZ, Ph., SUCHÝ, V., 1999: Post-Variscan fluid flow in the Prague Basin (Barrandian area-Czech Republic). – International Workshop of Fluids and Fractures in the Lithosphere, Nancy, France, March 26–27, 1999; Book of Abstracts (přijato do tisku).

HILL, C. A., 1987: Geology of Carlsbad Cavern and other Caves in the Guadalupe Mountains, New Mexico and Texas. – New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources Bulletin, 117:150 s. Socorro.

HILL, C. A., 1995: Sulfur redox reactions: Hydrocarbons, native sulfur, Mississippi Valley-type deposits, and sulfuric acid karst in the Delaware Basin, New Mexico and Texas. – Environmental Geology, 25:16–23.

HILL, C. A., FORTI, P., 1986: Cave Minerals of the World. – National Speleological Society, 238 s.

HOBLÉA, F., 1997: Le Gouffre Chevalley: Premières observations sur une cavité hydrothermale active découverte sur le chantier des nouveaux thermes à Aix-les-Bains (Savoie, France). – Études de Géographie Physique, Travaux 1997, XXVI:3–12, Université de Provence.

HIPPOLYTUS GUARINONIUS, 1610: Die Grewel der Verwüstung menslichen Geschlechts. – In: Speleo: 22 (1996):33–34.

HYNIE, O., 1963: Hydrologie ČSSR II Minerální vody. Nakl. ČSAV, 1–797. Praha.

CHAFETZ, H. S., AKDIM, B., JULIA, R., REID, A., 1998: Mn- and Fe-rich black travertine shrubs: bacterially (and nanobacterially) induced precipitates. – Journal of Sedimentary Research, 68:404–412.

CHMELÍK, F., CHLUPÁČ, I., (1969): Geologické a naftové podklady pro strukturní vrt Tobolka v centrální části Barrandienu. – nepublikovaná zpráva, MS Geofond, P21 488.

JAKUCS, L., 1977: Genetic types of the Hungarian karst. – Karszt és Barlang, Special Issue 1977:3–18. Budapest.

JONES, B., RENAUT, R. W., ROSEN, M. R., 1998: Microbial biofacies in hot-spring sinters: a model based on Ohaaki Pool, North Island, New Zealand. – Journal of Sedimentary Research, 68:413–434.

KAŠPAR, J., 1949: Zbrašovské aragonitové jeskyně. – Československý kras, II(1949):190–198.

KOMAŠKO, A., 1987: Koněpruské růžice nevznikaly pod vodou! – Československý kras, 38:117–119.

KOZÁK, L., 1976: Arnoldka – nová nejhlubší jeskynní propast v Čechách. – Krasový sborník: 49–50. TIS – Krasová sekce. Praha.

KRÁLÍK, F., 1961: Nová jeskyně s aragonitovou výzdobou v Československu. – Československý kras, 13:23–30.

KRÁLÍK, F., SKŘIVÁNEK, F., 1964: Aragonit v československých jeskyních. – Československý kras, 15:11–35.

KUKLA, J., 1952: Zpráva o výsledcích výzkumu jeskyní na Zlatém Koni u Koněprus v roce 1951, prováděných krasovou sekcí přírodovědeckého klubu v Praze (I. část). – Československý kras, 5:49–68.

KUNSKÝ, J., 1957: Zbrašovský teplicový kras a jeskyně na severní Moravě. – Sbor. Čs. Společ. Zeměp., 62:306–351.

LOŽEK, V., 1973: Příroda ve čtvrtohorách. Academia, Praha, 372 s.

LYSENKO, V., 1976: Příspěvek ke stratigrafii sedimentů v Koněpruských jeskyních. – Český kras (Beroun), 1:18–27.

LYSENKO, V., 1980: Zpráva Krasové sekce Praha Svazu pro ochranu přírody a krajiny, Příloha č. 13. – in: Včíslová B. (1977): Silur – devon Barrandienu, I. a II. fáze, závěrečná zpráva, nepublikovaná zpráva, MS Geofond FZ 5789.

LYSENKO, V., 1986: Severojižní lineární tektonika v Českém krasu. – Český kras (Beroun), 12:55–58.

LYSENKO, V., Slačík, J., 1977a: Sukcese a chemismus minerálních výplní Českého krasu. – Český kras (Beroun), 2:7–20.

LYSENKO, V., SLAČÍK, J., 1977b: Příspěvek k sukcesi minerální výplně Koněpruských jeskyní. – Časopis pro Mineralogii a Geologii, 22:307–315.

LYSENKO, V., SLAČÍK, J., 1978: Výskyt opálu v Českém krasu. – Český kras (Beroun), 3:23–37.

LYSENKO, V., SLAČÍK, J., 1984: Minerální výplně v Koněpruských jeskyních. – Český kras (Beroun), 9:51–60.

LYSENKO, V., SLAČÍK, J., 1987: Výskyty uranu ve výplních Českého krasu. – in: Celoštátny mineralogický seminár „Mineralógia uránových a nimi súvisiacich nerastných surovín“: 142–146, Spišská Nová Ves – Čingov 22.–24. IV. 1987.

MARTINI, J. E. J., MARAIS, J. C. E., 1996: Grottes hydrothermales dans le Nord-Ouest de la Namibia. – Karstologia, 28:13–18.

MALININ, S. D., 1979: Fizičeskaja chimija gidrotermaľnych sistem s uglekislotoj. – Nauka, Moskva, 110 s.

MALTSEV, V. A., MALISHEVSKY, D. I., 1990: About the hydrothermal stage on the later part of evolution of the Cupp-Coutunn cave system. – in: Proc. of the 10th Internat. Congress of Speleology, Budapest 1989, vol. 1 (A. Kósa, ed.): 815–816. Hungarian Speleological Society, Budapest.

MATTIAS, P., BARRESE, E., FALCO, F., 1997: Halloysite and other hydrothermal minerals near Capalbio, Grosseto (Tuscany, central Italy). – Geologica Carpathica – series Clays, 6:27–34.

MIURA, H., HARIYA, Y., 1997: Recent manganese oxide deposits in Hokkaido, Japan. – in: Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits (K. Hein, J. R. Bühn, S. Dasgupta, eds.), Geological Society Special Publication No. 119:281–299.

MOHAMED, M. R., (1977): Structural and Photogeological Analysis in Barrandian Basin, Czechoslovakia, and in Bahariya Oasis, Egypt. – Ph. D. Thesis, MS Přírodověd. Fakulta UK, Praha.

MÜLLER, P., 1989: Hydrothermal paleokarst of Hungary. – in: Paleokarst. A systematic and Regional Review (P. Bosák, D. C. Ford, J. Głazek, I. Horáček I., eds.):155–163. Elsevier and Academia, Amsterdam–Praha.

PALMER, A. N., 1995: Geochemical Models for the Origin of Macroscopic Solution Porosity in Carbonate Rocks. – in: Unconformities and Porosity in Carbonate Strata (D. A. Budd, A. H. Saller, P. M. Harris, eds.), AAPG Memoir 63:77–101. Tulsa.

PROKOP, F., ZIMA, K., VRBA, J., 1957: Hydrogeologické poměry hranického devonu. – MS Geofond Praha.

RAMSEYER, K., MIANO, T. M., D'ORAZIO, V., WILDBERGER, A., WAGNER, T., GEISTER, J., 1997: Nature and origin of organic matter in carbonates from speleothems, marine cements and coral skeletons. – Organic Geochemistry, 26:361–378.

REINER, A., KEMPE, S., 1990: Recent and paleokarst systems and their relations to ore mineralization in the Iberg-reef-complex, Hartz Mountains. – in: Proc. of the 10th Internat. Congress of Speleology, Budapest 1989, vol. 1 (A. Kósa, ed.):1–2, Hungarian Speleological Society, Budapest.

RIMSTIDT, J. D., COLE, D. R. 1983: Geothermal mineralization, I. The mechanism of formation of the Beowawe, Nevada, siliceous sinter deposit. – American Journal of Science, 283:861–875.

ROUSEK, V., VRBA, J., 1960: Inženýrsko-geologické a hydrogeologické poměry širšího okolí lázní Teplic nad Bečvou. – Věst. Ústř. Úst. Geol., 35:279–298.

ROY, S., 1997: Genetic diversity of manganese deposition in the terrestrial geological record. – in: Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits (K. Hein, J. R. Bühn, S. Dasgupta, eds.), Geological Society Special Publication No. 119:5–27.

RUDNICKI, J. 1978: Role of convection in shaping subterranean forms. – Kras i Speleologia, 2(XI):92–101.

RUDNICKI, J., 1990: Relation between natural convection and cave formation in hydrothermal karst. – in: Proc. of the 10th Internat. Congress of Speleology, Budapest 1989, vol. 1 (A. Kósa, ed.):14–16, Hungarian Speleological Society, Budapest.

SANDLER, A., 1996: The occurrence of hydrothermal tripoli-type rocks at Migdal HaEmeq, nothern Israel. – Israel. J. Earth Sci., 45:201–209.

SKŘIVÁNEK, F., KUČERA, B., (1961): Krasové jevy na Damilu v Českém krasu. – Československý kras, 13 (1960–1961):7–21.

SLAČÍK, J., 1982: Nové poznatky o geochemii a mineralogii jeskyní – I. – Český kras (Beroun), 7:62–66.

SPIRAKIS, Ch. S., HEYL, A. V., 1988: Possible effects of thermal degradation of organic matter on carbonate paragenesis and fluorite precipitation in Mississippi Valley-type deposits. – Geology, 16:1117–1120.

SUCHÝ, V., ROZKOŠNÝ, I., 1996: Diagenesis of Clay Minerals and Organic Matter in the Přídolí Formation (Upper Silurian), the Barrandian Basin, Czech Republic: First Systematic Survey. – Acta Universitatis Carolinae, Geologica, 38 (1994):401–409.

SUCHÝ, V., ROZKOŠNÝ, I., ŽÁK, K., FRANCŮ, J., 1996a: Epigenetic dolomitization of the Přídolí Formation (Upper Silurian), the Barrandian basin, Czech Republic: implications for burial history of Lower Paleozoic strata. – Geologische Rundschau, 85:264–277.

SUCHÝ, V., ZEMAN, A., BOSÁK, P., 1996b: Sedimentologické výzkumy krasových dutin ve Velkolomu Čertovy schody (Koněprusko, Český kras). – in: Sedimentární geologie v České republice (K. Martínek a D. Uličný, eds.), Sborník abstraktů národní konference, Praha 26–24. Leden 1996. Univ. Karlova, Praha.

SUCHÝ, V., ZEMAN, A., DOBEŠ, P., 1997a: Hydrothermal veining and karstification in the Barrandian basin (Lower Paleozoic), Czech Republic: A preliminary survey. – EUG 9 Abstracts, Abstract Supplement No 1, Terra Nova, 9:547.

SUCHÝ, V., ZEMAN, A., BOSÁK, P., DOBEŠ, P., HLADÍKOVÁ, J., JAČKOVÁ, I., 1997b: Hydrothermal calcite veins and the origin of caves in the Lower Palaeozoic of the Barrandian Basin, Czech Republic: evidence for extensive (post?) Variscan fluid flow. – Abstracts of the 18th IAS Regional Meeting of Sedimentology, Heidelberg, September 2–4, 1997; Gaea heidelbergensis, 3: 325. Heidelberg.

SUCHÝ, V., ZEMAN, A., 1998a: Episodic post-Variscan fluid flows and hydrothermal karstification in the Bohemian Massif, Czech Republic: A preliminary note. – in: 15th International Sedimentological Congress, Alicante, Spain, April 12–17, 1998. Book of Abstracts (J. C. Canaveras. M. A. G. del Cura, J. Soria, eds.): 747–748. Alicante Univ. Press.

SUCHÝ, V., ZEMAN, A., 1998b: Transcurrent faults, seismicity and fluid activity in Variscan and post-Variscan lithosphere of Central Europe: an example from the Bohemian Massif, Czech Republic. – in: Proceedings of the International Conference "Palaeozoic Orogenesis and Crustal Evolution of European Lithosphere", Acta Univ. Carolinae, Geologica, 42 (1998):345–347.

SUCHÝ, V., ZEMAN, A., 1998c: Karst processes along a major seismotectonic zone: an example from the Bohemian Massif, Czech Republic. – in: Contributions to the International Symposium on Karst & Tectonics,

Relations between tectonics, karst and earthquakes (Y. Quinif, R. Maire, O. Kaufmann, S. Vandycke and A. Vergari, eds.), Spéléochronos hors-série – 1998:159–162.

SUCHÝ, V., ZEMAN, A., SÝKOROVÁ, I., 1998: Multiple episodes of fluid migration across the Bohemian Massif: evidence from bitumen reflectivity and hydrothermal karst. – Annales Geophysicae, Part I Society Symposia, Solid Earth Geophysics & Geodesy, Supplement I to Vol. 16: C66 (abs).

SUCHÝ, V., HEIJLEN, W., SÝKOROVÁ, I., MUCHEZ, Ph., ZEMAN, A., HLADÍKOVÁ, J., JAČKOVÁ, I., DOBEŠ, P., ŠAFANDA, J., STEJSKAL, M., 1999: Geochemical study of calcite veins in the Silurian and Devonian of the Barrandian basin (Czech Republic): Evidence for widespread post-Variscan fluid flow in the central part of the Bohemian Massif. – Sedimentary Geology (předloženo do tisku).

SURDAM, R. C., JIAO, Z. S., MACGOWAN, D. B., 1993: Redox reactions involving hydrocarbons and mineral oxidants: a mechanism for significant porosity enhancement in sandstones. – Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 77:1509–1518.

SVOBODA, J. et al., (1966): Regional Geology of Czechoslovakia, Part I, The Bohemian Massif., Geol. Survey of Czechoslovakia, Prague.

SÝKOROVÁ, I., SUCHÝ, V., 1999: Organic Petrology, Sedimentology and Geochemistry of Barrandian Bitumens. – in: Barrandian of the Prague Basin (III): Progress Report, Forschungszentrum Jülich, Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre ICG-4. (v tisku)

SZUNYOGH, G., 1990: Theoretical investigation of the development of spheroidal niches of thermal water origin – second approximation. – in: Proc. of the 10th Internat. Congress of Speleology, Budapest 1989, vol. 1 (A. Kósa, ed.): 766–768, Hungarian Speleological Society, Budapest.

ŠČEGLOV, A. D., 1968: Metallogenija oblastej avtonomnoj aktivizacii, „Nedra", Leningrad, 180s.

ŠTEFFAN, M., 1995: Sádrovec ve Zbrašovských aragonitových jeskyních. – Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1994, 117–118. Brno.

VARENTSOV, I. M., DRITS, V. A., GORSCHKOV, A. I., 1990: Mineralogy, geochemistry and genesis of manganese iron crusts of the Bezymiannaya Seamount 640, Cape Verde Plate, Atlantic. – in: Sediment-Hosted Mineral Deposits (J. Parnell, Y. Lianjun, Ch. Changming, eds.): 89–108. Special Publication 11 of the International Association of Sedimentologists (IAS), Blackwell; Oxford–London–Vienna.

VČÍSLOVÁ, B., 1977: Silur – devon Barrandienu, I. a II. fáze, závěrečná zpráva, nepublikovaná zpráva, MS Geofond FZ 5789.

WALTER, M. R., 1976: Geyserites of Yellowstone National Park: An Example of Abiogenic "Stromatolites". – in: Stromatolites (M. R. Walter, ed.): 87–112. Developments in Sedimentology 20. Elsevier. Amsterdam–Oxford–New York.

ZEMAN, A., 1983: Mapa morfostruktur území karpatské předhlubně, úsek Sever, na základě interpretace aerokosmických dat. MS Geofond Praha.

ZEMAN, A., SUCHÝ, V., 1996: The karst of central Bohemia, Czech Republic: new constraints from karst cavities. – in: 30th International Geological Congress, Abstracts, vol. 2:172. Beijing.

ZEMAN, A., SUCHÝ, V., 1998: Seismotectonic North-South Trending Lineaments of the Bohemian Massif: A New Paradigm. – GeoLines (Praha), 6:65–66.

ZEMAN, A., SUCHÝ, V., 1999: Vztah hydrotermálních a krasových procesů v Českém krasu: Odpověď na diskusní příspěvek K. Žáka. – Český kras (Beroun), v tisku.

ZEMAN, A., SUCHÝ, V., BOSÁK, P., DOBEŠ, P., HLADÍKOVÁ, J., JAČKOVÁ, I., 1997a: Disclosing geological history of the Bohemian Karst: New findings in the Čertovy schody Quarry, Beroun County. – Příležitostná neperiodická publikace Geologického ústavu AV ČR, Praha, 17 s.

ZEMAN, A., SUCHÝ, V., DOBEŠ, P., HLADÍKOVÁ, J., JAČKOVÁ, I., BOSÁK, P., 1997b: Hydrotermální kalcitové žíly a předkřídové korozní tvary v prostoru Velkolomu Čertovy schody (první výsledky). – Český kras (Beroun), 23 (1997):33–40.

ZEMAN, A., SUCHÝ, V., MELKA, K., 1997c: Složení a původ černých kůr na stěnách krasových dutin ve Velkolomu Čertovy schody u Koněprus. – Zprávy o geologických výzkumech v roce 1996:138–140. Český geologický ústav, Praha.

ŽÁK, K., 1999: Vztah hydrotermálních a krasových procesů v Českém krasu – diskuse. – Český kras (Beroun), 25 (v tisku).

ŽÁK, K., HLADÍKOVÁ, J., LYSENKO, V., SLAČÍK, J., 1987: Izotopické složení uhlíku a kyslíku jeskynních sintrů, žilných kalcitů a sedimentárních vápenců z Českého krasu. – Český kras (Beroun), 13:5–28.