Povariské kalcitové žíly a sedimenty z krasových dutin v Solvayových lomech: příspěvek k upřesnění stáří hydrotermálních procesů v Českém krasu

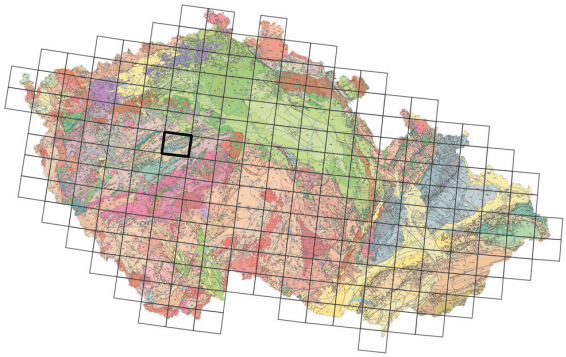
Post-Variscan calcite veins and karst sediments from the Solvayovy lomy Quarry: New constraints on the age of hydrothermal processes in the Bohemian Karst

Antonín Zeman [1] – Václav Suchý [2] – Petr Dobeš [3] – Jiří Filip [4] – Petra Hauková [1]

[1] Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i., Prosecká 76, 190 00 Praha 9; zeman@itam.cas.cz; haukova@itam.cas.cz
[2] Jiránkova 1136/4, 163 00 Praha 6; sediment@quick.cz
[3] Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1; petr.dobes@geology.cz
[4] Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 00 Praha 6; filip@gli.cas.cz

Key words: *calcite veins, fluid inclusions, hydrothermal karst, Bohemian Karst, Lower Palaeozoic, Barrandian*

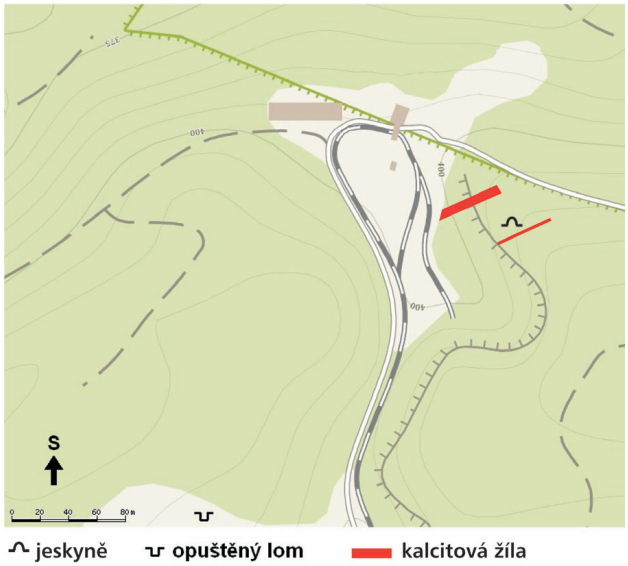
Abstract: Post-Variscan calcite veins that cut through the lower Palaeozoic carbonate sequences of the Barrandian area, crystallized from hot (~ 40–115 °C) aqueous solutions of variable salinity (~ 0.4–22 wt. % NaCl equiv.) We document the presence of exotic intraclasts embedded within the vein calcite, notably the fragments of ancient terra rosa palaeosoils and rounded quartz pebbles overgrown by the younger generation of vein calcite implying that the veins originated at relatively shallow depth, below the sedimentary cover. Based on sedimentological constraints and other indirect evidence, the most probable age of the veins can be bracketed by a time window from the Late Cretaceous to the Miocene.



(12-41 Beroun)

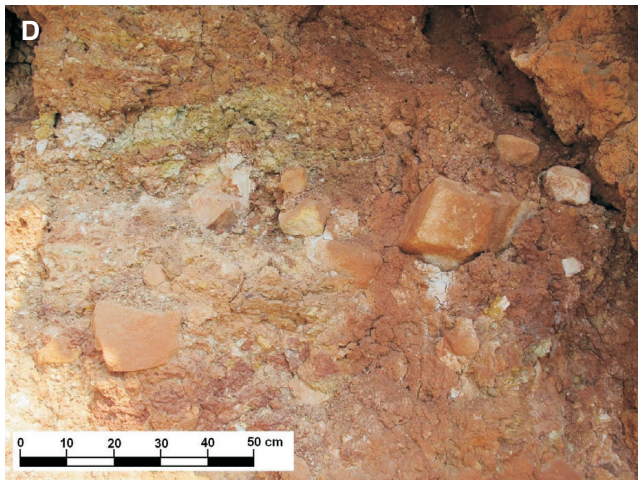
Výzkumy uskutečněné během posledních dvou desetiletí ukázaly, že karbonátová souvrství barrandienského spodního paleozoika byla během geologické historie intenzivně ovlivněna horkými roztoky, které migrovaly tektonickými puklinami. Nápadným svědectvím o této fluidní mobilitě jsou kalcitové žíly několika generací, jejichž mineralogii, geochemii a podmínky vzniku studovala řada autorů (viz Suchý et al. 2000, Slobodník et al. 2012 a další reference tamtéž). Halavínová (2009) s pomocí strukturní a geochemické analýzy rozlišila, vedle starší generace žil spojené s variskými deformacemi, i skupinu pozdějších žil povariských, které nemají strukturní vztah k okolním deformovaným horninám. Tyto relativně mladší žilné systémy jsou nejčastěji subvertikální, orientované severojižním nebo severovýchodním směrem a vyplněné hrubě krystalickým kalcitem pastelových barev; naprostá většina z nich protíná paleozoická souvrství ve zhruba 10–12 km širokém severojižním pruhu procházejícím mezi Berounem a Karlštejnem. Většina jeskyní Českého krasu, jejichž původ byl interpretován jako hydrotermální, se vyskytuje rovněž v tomto tektonicky porušeném pásmu přímo na povariských kalcitových žílách nebo v jejich těsném sousedství (Suchý – Zeman 1999). Přesnější stáří žil však nebylo až dosud spolehlivě vyřešeno – v úvahu stále přicházel široký časový interval od variské orogeneze až po pliocén, tedy časové okno v délce skoro 380 milionů let.

V této nálezové zprávě popisujeme mocnou subvertikální povariskou kalcitovou žílu, která byla nedávno odkryta



Obr. 1. Schematická mapka severní části 1. etáže bývalých Solvayových lomů s vyznačenou polohou studované kalcitové žíly. Žíla vystupuje k povrchu v zářezu polní cesty při dráze historické důlní železnice. Další kalcitová žíla podobného směru, na kterou je vázána malá hydrotermální jeskyně č. 2157 Prorokova proplástka, probíhá poněkud jižněji od studovaného místa.

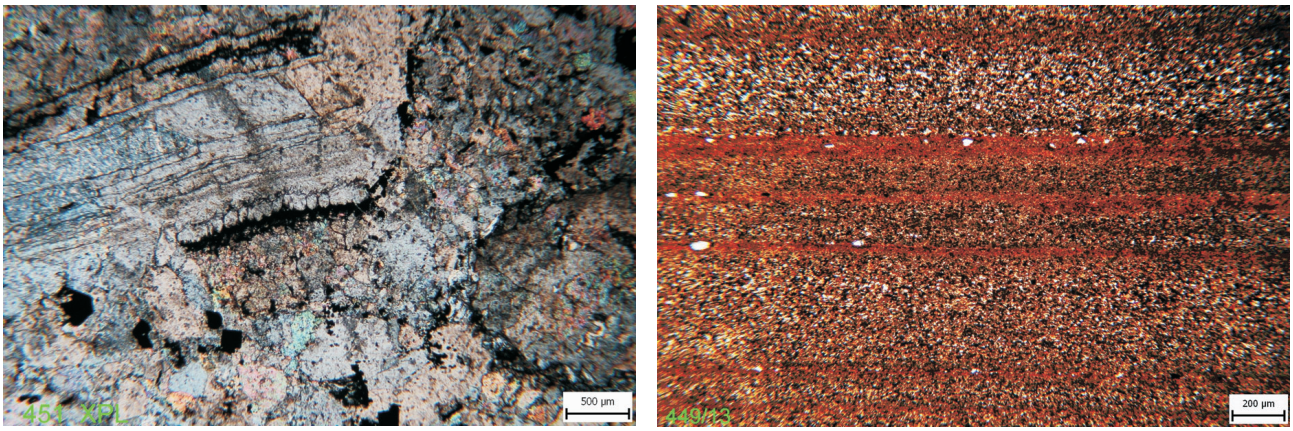
Obr. 2. Terénní aspekty subvertikální kalcitové žíly, vystupující na sv. okraji 1. etáže, a sedimentů z dutin v jejím bezprostředním okolí. A – celkový pohled na kalcitovou žílu s dobře viditelným palisádovým kalcitem tvořícím lem žíly; vnitřní načervenalá část žilné výplně s úlomky terry rosy, tmelenými agregáty radiálních kalcitových krystalů mladší generace. Rukověť kladívka má délku 25 cm. B – velké cihlově červené úlomky provápněné terry rosy, tmelené bílým kalcitem mladší generace žilné výplně. Rukověť kladívka má délku 25 cm. C – detailní pohled na kalcitovou výplň žíly, jež obrůstá zaoblený bílý křemenný valoun (označený šipkou). Mince má průměr 2 cm. D – kamenito-písčitá hlína vyplňující krasové dutiny na boku kalcitové žíly. V sedimentu vynikají zejména ostrohranné pískovcové úlomky a poloha zelenavého glaukonitického jílovce. V pravém horním rohu převislá stěna dutiny pokrytá zkorodovanými kalcitovými krystaly.



terénními úpravami v bývalých Solvayových lomech (lom Na stydlých vodách) u Bubovic. Na rozdíl od většiny podobných povariských žil, již dříve zkoumaných na různých místech Barrandienu (viz tab. 1), umožňuje zmíněná lokalita detailně studovat vztahy mezi vlastní kalcitovou žílou, její výplní a okolními krasovými dutinami, částečně zaplněnými křídovými sedimenty. Tato pozorování poskytují důležitá vodítka pro bližší omezení doby a podmínek, za nichž povariské žíly vznikaly.

Terénní a mikroskopická pozorování

Subvertikální, severovýchodně orientovaná, nejméně 1 m mocná kalcitová žíla vystupuje na sv. okraji 1. lomové etáže (obr. 1). Výplň žíly má zřetelnou zonální stavbu (obr. 2A). Nejstarší generace žilné výplně je tvořena velkými palisádovitými krystaly nažloutlého kalcitu. Vnitřní, mladší část žíly vyplňují nápadné hvězdicovité agregáty bílého a šedého kalcitu, který krystalizoval kolem početných provápněných a alterovaných úlomků materiálu typu terra rosa. Pozdní generace kalcitu místy tmelí až několik desítek centimetrů velké ploché a silně provápněné fragmenty terry rosy; tento materiál také zabarvil některé kalcitové polohy do ruda (obr. 2B). V pozdní generaci žilného kalcitu jsou ojediněle zarostlé rovněž silně zkorodované a zaoblené valouny žilného křemene (obr. 2C). Dutiny mezi radiálními agregáty pozdního kalcitu ve střední části žíly jsou vyplněny neobvyklým, vínově načervenalým písčitě rozpadavým materiálem, připomínajícím zrnitý klastický sediment. Pod optickým mikroskopem je patrné, že jde o karbonátový pískovec s útržky materiálu typu terra rosa (obr. 3A, tab. 2).



Obr. 3. Mikroskopické aspekty sedimentů vyplňujících kalcitovou žílu a s ní spojené krasové dutiny (procházející světlo, mírně zkřížené nikoly). A – specifický karbonátový pískovec vyplňující dutiny v centrální části kalcitové žíly; kromě karbonátových zrn je sediment tvořen opakními minerály a úlomky laminovaných karbonátových sedimentů s texturou podobnou travertinu; B – laminit z nejmladší části výplně krasové dutiny při kalcitové žíle připomínající varvový sediment. Bližší podrobnosti v textu.

Tabulka 1. Teploty homogenizace a salinity fluidních inkluzí z povariských kalcitových žil Českého krasu

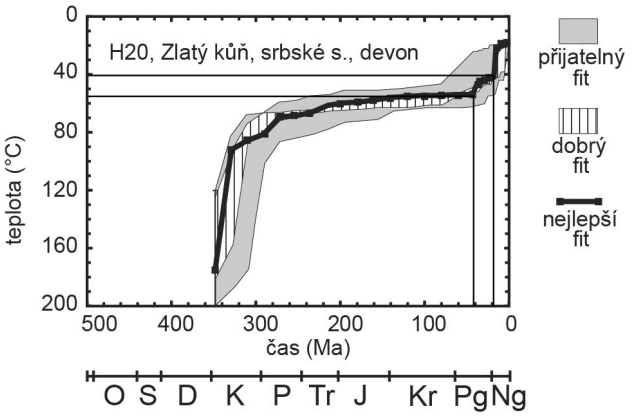
lokalita	T_h (°C)	salinita (hmot. % NaCl ekv.)	charakter fluidních inkluzí	zdroj dat
Tomáškovy lomy u Srbska	65–105	–	primární inkluze	Heijlen (1998), diplom. práce, Kathol. Univ. Leuven
štola v Lomu Alkazar, kaňon Berounky	83–115 starší generace, 41–58 mladší generace	0,35–7,70 velmi nízká (max. 1,0)	sekundární inkluze	Cílek et al. (1995), J. Czech Geol. Soc. 39, 313–318
„velká kalcitová žíla“, Velkolom Čertovy schody-východ	55–84	0,9–2,1	sekundární a pseudosekundární inkluze; přítomnost drobných inkluzí kapalných uhlovodíků	Suchý et al. (2000)
Lom na Chlumu u Srbska	77–115 50–62	0,4–22,1	primární a primárně sekundární inkluze; sekundární inkluze	Halavínová (2009)
kaňon Berounky, sz. od Srbska	68–85	0,4–22,1	primární a primárně sekundární inkluze	Halavínová (2009)
Lom Alkazar, kaňon Berounky	79–114	0,4–22,1	primární a primárně sekundární inkluze	Halavínová (2009)
jezerní propast, Velkolom Čertovy schody-východ	~70–80	–	primární (?) inkluze; přítomnost inkluzí ropných bitumenů	Dubljanskij – Bosák (1999), Český kras 25, 16–17
jeskyně Javorka u Karlštejna	58–91	0,5–7,0	primární inkluze	Dragoun et al. (2013), Proc. 16th Int. Congr. Speleol., Brno

Kalcitovou žílu těsně lemuje řada nepravidelných korozních dutin v okolních devonských vápencích, jejichž stěny jsou potaženy hrubě krystalickým kalcitem. Některé z těchto dutin jsou částečně vyplněny pestrou směsí místy intenzivně provápněných klastických a jílovitých sedimentů (obr. 2D). V klastické složce usazenin převládají ostrohranné bloky a valouny šedých a nazelenalých křemenných pískovců, úlomky materiálu typu terra rosa a vzácněji i zaoblené křemenné valouny. Matrix sedimentu je tvořen cihlově červenými až hnědorudými jíly a nepravidelnými polohami zelených glaukonitických jílovců. V nejmladší části výplně některých krasových dutin lemujících zkoumanou kalcitovou žílu se potom nacházejí polohy jemnozrnných laminitů s pozitivním gradačním zvrstvením, které svým složením odpovídají přeplavenému materiálu typu terra rosa (obr. 3B, tab. 2).

Přinejmenším část těchto sedimentů, jmenovitě úlomky křemenných pískovců a glaukonitické jílovce, lze předběžně interpretovat jako uloženiny svrchní křídy. Litologicky podobné svrchněkřídové sedimenty byly již dříve popsány z krasových dutin lemujících jinou velkou povariskou kalcitovou žílu ve Velkolomu Čertovy schody-východ (Zeman et al. 1997). Svrchní křída byla paleontologicky doložena také ze sedimentárních výplní dnes již zřejmě zaniklých krasových kapes přímo v Solvayových lomech,

Tabulka 2. Výsledky SEM/EDX analýz vzorků vápencových pískovců z jádra kalcitové žíly a sedimentárních laminitů z přilehlé krasové dutiny (hmot. %)

vzorek, měření		CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	K_2O	FeO	TiO_2	MnO	P_2O_5	SO_3
	1	97,2	1,6	0,9	0,4						
	2	1,0	6,2	3,0			89,1	0,9			
	3	95,1	2,8	1,7	0,4						
vápencový pískovec	4	1,9	55,2	41,6	0,5	0,8					
	5	94,5	3,2	1,7	0,5						
	6	0,7	55,2	42,6	0,5	1,0					
	7	97,8	1,3	0,5	0,3						
	1	2,4	56,2	21,5	1,1	3,3	10,2	2,2	1,8	1,4	
	2	1,5	51,6	25,5	1,2	2,6	13,1	3,5		1,1	
	3	1,0	62,5	20,2	0,7	2,8	9,1	2,7		1,0	
terra rosa	4	1,5	49,6	29,4	1,2	2,4	11,8	2,8		1,0	0,3
	5	2,1	50,9	25,1	1,1	2,9	13,9	3,0		1,0	
	6	1,9	49,4	26,1	1,2	2,9	14,5	3,0		1,0	



Obr. 4. Typický teplotně časový vývoj hornin barrandienského devonu s vyznačeným časovým intervalem pravděpodobného vzniku povariských kalcitových žil. T-t dráha je založena na analýze stop spontánního štěpení uranu v apatitu. Analytické podrobnosti uvádějí Suchý et al. (2012).

zhruba 150 m jižně od námi popisované kalcitové žíly (Röhlich – Chlupáč 1951).

Mikrotermometrická analýza provedená na vzorcích z obou generací kalcitu žilné výplně potvrdila přítomnost fluidních inkluzí vodného roztoku. Primární inkluze mají nepravidelný tvar, velikost 10–80 μm a velmi nepravidelné zaplnění plynnou a kapalnou fází, které neumožňuje měřit teploty homogenizace. Salinita vodného roztoku se pohybuje mezi 0,5–4,7 hmot. % NaCl ekv.

Primárně sekundární inkluze v kalcitu jsou většinou ploché, o velikosti od 5 do 20 μm a mají relativně pravidelné zaplnění plynnou a kapalnou fází, kapalná fáze zaujímá 95–98 obj. % inkluze. Teploty homogenizace byly měřeny v rozmezí 55–77 °C, salinita vodného roztoku je nízká, 0,4–1,9 hmot. % NaCl ekv. Tyto parametry jsou celkově velmi podobné těm, které byly již dříve zjištěny na řadě jiných lokalit povariských žil v Barrandienu (tab. 1).

Stáří a podmínky vzniku kalcitové žíly: předběžná interpretace

Sedimenty, které ve formě uzavřenin uvízly v mladších generacích žilné výplně, umožňují upřesnit geologické stáří i podmínky, za nichž žilný kalcit krystalizoval.

Z celkového geologického kontextu lokality je zřejmé, že fragmenty paleopůd typu terra rosa a křemenné valouny, které žilný kalcit obrůstá, mohou být buď křídové, nebo terciérní, nebo dokonce kvartérní. Vzhledově podobné zaoblené křemenné valouny se na dané lokalitě vyskytují v bezprostředním okolí studované žíly, kde jsou součástí křídových usazenin vyplňujících přilehlé krasové dutiny. V širším okolí jsou však rovněž běžné křemenné valouny pocházející i z mladších terciérních říčních usazenin. Chronologicky blíže neurčené červené jílovce a písčité jíly typu terra rosa, vzhledově neobyčejně podobné těm, jež byly ve formě provápněných úlomků zachyceny v kalcitu žilné výplně, lze nalézt v krasových dutinách kolem kalcitové žíly. Rudé půdy typu terra rosa obecně vznikaly během teplých období terciéru nebo kvartéru. Nakonec, opracované valouny žilného křemene spolu s laminovanými jíly prokazatelně pliocenního stáří byly popsány ze sedimentární výplně nedaleké Aragonitové jeskyně (Kadlec et al. 1992). Všechny tyto okolnosti, bez ohledu na stratigrafickou neurčitost jednotlivých nálezů, vedou k minimalistickému závěru, že mladší generace žilného kalcitu krystalizovaly nejdříve během pozdní křídy, nebo – což se zdá pravděpodobnější – až během terciéru, či dokonce ještě později. Postcenomanské stáří severojižních povariských kalcitových žil bylo již dříve odvozováno na základě strukturních pozorování ve Velkolomu Čertovy schody u Koněprus (Melka et al. 2000), avšak naše současné nálezy v Solvayových lomech jsou v tomto ohledu podstatně průkaznější.

Mimo datování intraklastů uzavřených v žilné výplni lze k odhadu stáří kalcitové žíly využít i dalších nepřímých metod a širších úvah. Z kombinace známých poznatků o teplotně časovém vývoji devonských hornin Barrandienu,

získaných metodou AFTA a z údajů o minimálních teplotách zachycení fluidních inkluzí v žilném kalcitu, lze velmi přibližně odhadnout časový interval, kdy teplota fluid v žílách konvergovala k teplotě okolních horninových masivů. Tato konstrukce poskytuje časové okno pro závěr vzniku žil přibližně mezi 20–40 miliony lety, tedy zhruba v období od středního paleogénu po časný neogén, kdy došlo k výraznému vyzdvižení (upliftu) Českého masivu (obr. 4). Zjištěný časový interval se přibližně kryje s obdobím, do něhož byla na základě nezávislých geomorfologických a karstologických pozorování situována hlavní fáze vzniku jeskyní v Českém krasu (Bosák et al. 1993). Rovněž vezmeme-li v úvahu, že za 1. povariské žíly krystalizovaly v hloubce 0,6–1,9 km (Halavínová 2009), za 2. veličina upliftu v barrandienské oblasti od spodního miocénu do dneška činila asi 350 m (Tyráček et al. 2004) a za 3. úlomky uvažovaného fosilního sedimentárního pokryvu mohly propadnout do otevřených žil možná i několik stovek metrů pod úroveň tehdejšího reliéfu, potom se eocenní až miocenní stáří žil nejeví jako nereálné.

Naše další výzkumy, jež v době uzávěrky tohoto příspěvku stále pokračovaly, ukazují, že analogické poměry jako v Solvayových lomech lze pozorovat také na řadě dalších lokalit povariských kalcitových žil – např. na Koněprusku, Karlštejnsku a v kaňonu Berounky. Také tam povariské žíly obsahují úlomky i jemné impregnace cihlově červeného materiálu typu terra rosa, což naznačuje vznik žil během pokřídového období, nehluboko pod povrchem zvětralinami pokrytého paleoreliéfu.

Poděkování. Tato studie byla částečně podpořena z prostředků grantového projektu MK ČR DF11P01OVV010 – Tradiční vápenné technologie historických staveb a jejich využití v současnosti. Dále byla také částečně podpořena výzkumným grantem GA AV ČR A30127703/1997. Autoři vyjadřují poděkování Mgr. M. Halavínové, PhD., a dalšímu anonymnímu recenzentovi za věcné podněty, které umožnily tento příspěvek zkvalitnit. Za spolupráci patří poděkování Mgr. Veronice Petráňové a také Dušanu Čapkovi ze Společnosti Barbora o.s.

Literatura

BOSÁK, P. – CÍLEK, V. – BEDNÁŘOVÁ, J. (1993): Tertiary Morphogeny and Karstogenesis of the Bohemian Karst. In: CÍLEK, V., ed.: Krasové sedimenty. Fosilní záznam klimatických oscilací a změn prostředí. – Knih. Čes. speleol. společ. 21, 10–19.

HALAVÍNOVÁ, M. (2009): Zdroje, podmínky, mobilizace a migrace fluid v sedimentech pražské pánve během postdiagenetického vývoje. Disertační práce, 94 str. – Přírodověd. fak. Masaryk. univ. Brno.

KADLEC, J. – JÄGER, O. – KOČÍ, A. – MINAŘÍKOVÁ, D. (1992): Stáří sedimentární jeskyní výplně v Aragonitové jeskyni. – Čes. Kras (Beroun) 17, 16–23.

MELKA, K. – SUCHÝ, V. – ZEMAN, A. – BOSÁK, P. – LANGROVÁ, A. (2000): Halloysite from karst sediments of the Koněprusy area: evidence for acid hydrothermal speleogenesis in the Bohemian Karst, Czech Republic. – Acta Univ. Carol., Geol. 44, 117–124.

RÖHLICH, P. – CHLUPÁČ, I. (1951): Zbytky mořského cenomanu nad Sv. Janem pod Skalou. – Čas. Nár. Muz., Odd. přírodověd. 110.

SLOBODNÍK, M. – MELICHAR, R. – HURAI, V. – BAKKER, R. J. (2012): Litho-stratigraphic effect on Variscan fluid flow within the Prague synform, Barrandian: Evidence based on C, O, Sr isotopes and fluid inclusions. – Mar. Petrol. Geol. 35, 128–138.

SUCHÝ, V. – HEIJLEN, W. – SÝKOROVÁ, I. – MUCHEZ, P. – DOBEŠ, P. – HLADÍKOVÁ, J. – JAČKOVÁ, I. – ŠAFANDA, J. – ZEMAN, A. (2000): 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 Geol. 131, 201–219.

SUCHÝ, V. – SÝKOROVÁ, I. – DOBEŠ, P. – MACHOVIČ, V. – FILIP, J. – ZEMAN, A. – STEJSKAL, M. (2012): Blackened bioclasts and bituminous impregnations in the Koněprusy Limestone (Lower Devonian), the Barrandian area, Czech Republic: implications for basin analysis. – Facies 58, 759–777.

SUCHÝ, V. – ZEMAN, A. (1999): Hydrotermální původ jeskyní v Českém krasu: Nové paradigma. – Acta Mus. Morav., Sci. natur. 84, 97–119.

TYRÁČEK, J. – WESTWAY, R. – BRIDGLAND, D. (2004): River terraces of the Vltava and Labe (Elbe) system, Czech Republic, and their implications for the uplift history of the Bohemian Massif. – Proc. Geol. Assoc. 115, 101–124.

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