

PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ VE VEŘEJNOSTI PŘÍSTUPNÝCH JESKYNÍCH V ČECHÁCH (CHÝNOVSKÁ JESKYNĚ, KONĚPRUSKÉ JESKYNĚ, BOZKOVSKÉ DOLOMITOVÉ JESKYNĚ)

Jiří Zimák¹ – Jindřich Štelcl²

¹Katedra geologie PřF UP, tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc, Česká republika; zimak@prfnw.upol.cz

²Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Česká republika; stelcl@sci.muni.cz

J. Zimák & J. Štelcl: Natural radioactivity of the rock environment in Czech show caves (Chýnov Cave, Koněprusy Caves, Bozkov Dolomite Caves)

Abstract: Concentrations of natural radioactive elements (K, U and Th) were measured using a field gamma-ray spectrometer GS-256 in the rocks in three Czech show caves managed by the Agency for Nature Conservation and Landscape Protection of the Czech Republic (Chýnov Cave, Koněprusy Caves and Bozkov Dolomite Caves). Concentrations of these elements were converted to the mass activity of ²²⁶Ra equivalent (a_m) in order to express gamma-ray activity at the studied sites. Average values a_m of marbles, calc-silicate rocks, amphibolites, and clastic cave sediments (cave soils) of the Chýnov Cave are very low, reaching respective values of 23, 72, 60, and 73 Bq.kg⁻¹. The monitored zones of the Koněprusy Caves are characterized by low average values a_m of Devonian limestones and also sinters (70 and 54 Bq.kg⁻¹, respectively). Average a_m value of Silurian dolostones in the Koněprusy Caves area is 138 Bq.kg⁻¹ (up to 12 ppm U in the rocks). Relatively high natural radioactivity of cave soils in the Koněprusy Caves (171 Bq.kg⁻¹ average, 306 Bq.kg⁻¹ maximum) is caused by high contents of K, U, and especially Th (up to 33 ppm). Average values of a_m of metamorphic rocks (calcite marbles and quartzites), sinters, and cave soils in the Bozkov Dolomite Caves are 99, 70, and 128 Bq.kg⁻¹, respectively. Marbles and clastic cave sediments in certain parts of the Bozkov Dolomite Caves (so-called Nová Cave) have increased contents of uranium (up to 11 ppm U in marbles).

Key words: gamma-ray spectrometry, karst rocks, cave soils, sinters

V rámci hodnocení přirozené radioaktivity hornin v turisticky zpřístupněných jeskyních, které jsou v péči Agentury ochrany přírody a krajiny ČR, bylo autory tohoto příspěvku provedeno pomocí terénního gamaspektrometru GS-256 (výrobce Geofyzika Brno) celkem 295 měření, jimiž byly stanoveny obsahy K, U a Th v horninovém prostředí Chýnovské jeskyně (dále jen ChJ), Koněpruských jeskyní (KJ) a Bozkovských dolomitových jeskyní (BDJ). Z gamaspektrometricky stanovených obsahů všech tří uvedených prvků byl standardním způsobem proveden výpočet hmotnostní aktivity (a_m) studovaných hornin (použitou metodiku popisuje Zimák a Štelcl, 2004a; výsledky měření v jednotlivých bodech uvádí Zimák et al., 2004, Zimák a Štelcl, 2004b,c).

Studované jeskyně byly vytvořeny v odlišných horninách, náležejících k různým geologickým jednotkám. Chýnovská jeskyně je situována v hořickém souvrství pestré skupiny moldanubika. Vznikla v max. 12 m mocné poloze krystalického vápence, uložené v nezkrasovělém krystalickém dolomitu. V karbonátových horninách jsou četné vložky erlanů, amfibolitů a kvarcitů; podloží a nadloží zmíněné polohy krystalického vápence tvoří amfibolity. Podrobnější údaje uvádí např. Chábera et al. (1985), Litochleb et al. (1997), Vrána et al. (1997) a Cícha (1999).

Jeskynní systém KJ má tři vzájemně propojená patra. Veřejnosti nepřístupné spodní patro vzniklo v koněpruských vápencích (spodní devon: prag); průběh středního patra zhruba sleduje rozhraní mezi koněpruskými vápenci a vápenci suchomastskými; horní patro je vytvořeno ve vápencích suchomastských (spodní až střední devon: ems – sp. eifel) a vápencích acanthopygových (střední devon: eifel) – viz např. Hromas (1968), Chlu-páč (1988, 1999), Mergl a Vohradský (2000). Z geologického hlediska je zajímavá štola vedoucí z povrchu do Vánočních jeskyní, jež jsou součástí středního patra jeskynního systému KJ. Úvodní část štoly je ražena v silurských karbonátových horninách, které složením odpovídají dolomitům s vysokým podílem nekarbonátové složky (Zimák – Štelcl, 2004a), zbývající (za očkovským přesmykem) ve vápencích suchomastských; v místech vyústění do Vánočních jeskyní jsou při počvě štoly odkryty vápence koněpruské (detailní popis geologické situace ve štole uvádí Jančaříková, 1988).

Prostor BDJ je součástí ponikelské skupiny (svrchní ordovik a silur). Nejmladší část tohoto souvrství je tvořena chlorit-muskovitickými fylity s polohami krystalických vápenců až dolomitů; tyto karbonátové horniny vystupují na povrch v nesouvislých pruzích a čočkách, v jedné z nichž se vytvořily právě BDJ (Skřivánek – Valášek, 1959, reprint 1997; Chaloupský et al., 1989; Hromas, 1997; Kachlík – Patočka, 1998; Hladil et al., 2003).

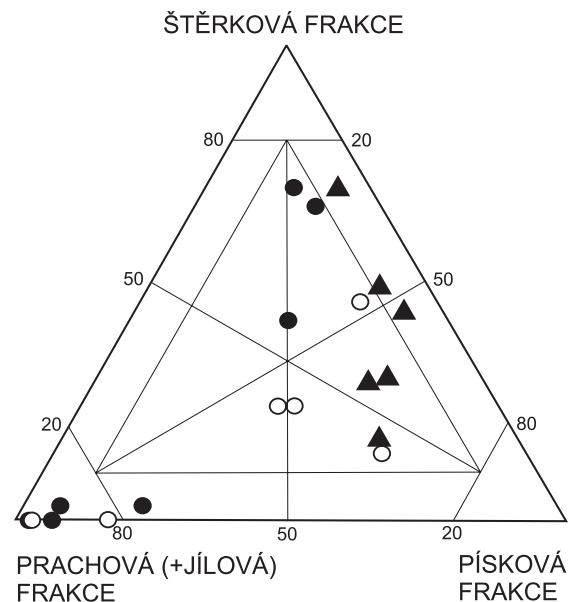
Významnou složku horninového prostředí studovaných jeskyní představují klastické jeskynní sedimenty, které lze na základě zrnitostního složení (stanoveného sitováním za sucha) označit převážně jako polystrukturní (jde o písčité až prachovito-písčité štěrky, resp. štěrkovité, prachovito-štěrkovité až štěrkovito prachovité písek

– viz obr. 1); v KJ a BDJ se běžně vyskytují i jeskynní hlíny s výraznou převahou frakce pod 0,063 mm (někdy jde o prach, jindy o jílu). Látkové složení klastických jeskynních sedimentů závisí na povaze krasových hornin (na charakteru nerozpustné složky), v případě ChJ je však výrazně ovlivňováno materiálem pocházejícím z hornin nekrasových (amfibolitů a erlanů). V prostoru návštěvní trasy v KJ (v Mincovně) se výjimečně vyskytují jeskynní hlíny, jejichž dominantní složkou je halloisit nebo metahalloysit (z krasových dutin v nedalekém velkolomu Čertovy schody je metahalloysit a hallosit provázený kaolinitem popisován Melkou et al., 2000). V jeskynních hlínách BDJ někdy výrazně převažuje dolomit.

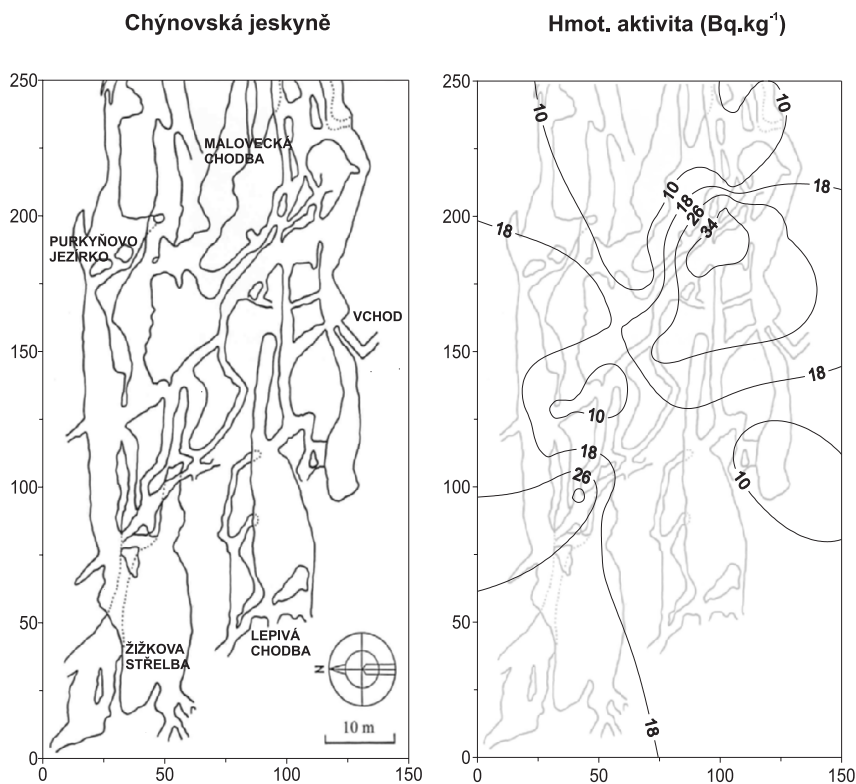
Výsledky gamaspektrometrických měření v ChJ, KJ a BDJ jsou sumarizovány v tab. 1. Data v této tabulce dokládají relativně nízkou přirozenou radioaktivitu horninového prostředí ve všech třech sledovaných jeskyních, obzvláště pak v ChJ. Nízká přirozená radioaktivita mramorů, erlanů a amfibolitů pestré skupiny moldanubika v prostoru ChJ je zřejmá i z obr. 2.

Pro karbonátové horniny ve veřejnosti přístupné části KJ (suchomastské a koněpruské vápence) jsou charakteristické relativně nízké hodnoty hmotnostní aktivity (viz data v tab. 1 a v pravé polovině obr. 3). Mírně zvýšenou přirozenou radioaktivitu vykazují silurské karbonátové horniny (dolomity), v nichž je ražena úvodní část štoly do Vánočních jeskyní. Hmotnostní aktivita těchto hornin je zhruba dvojnásobná ve srovnání s devonskými vápenci, a to vlivem vyšších obsahů všech tří gamaspektrometricky sledovaných prvků, především však uranu. Velmi výrazné zvýšení obsahu U (až na 11,6 ppm) bylo zaznamenáno v zóně očkovského přesmyku, a to v poloze černých podrcených břidlic, jež je zmiňována již Jančaříkovou (1988). Výsledky gamaspektrometrických měření na stěně štoly (na 31 bodech s víceméně pravidelnými rozestupy) jsou vyjádřeny graficky na obr. 4, z něhož jsou jasně patrné rozdíly mezi karbonátovými horninami silurského stáří na straně jedné a devonskými vápenci na straně druhé.

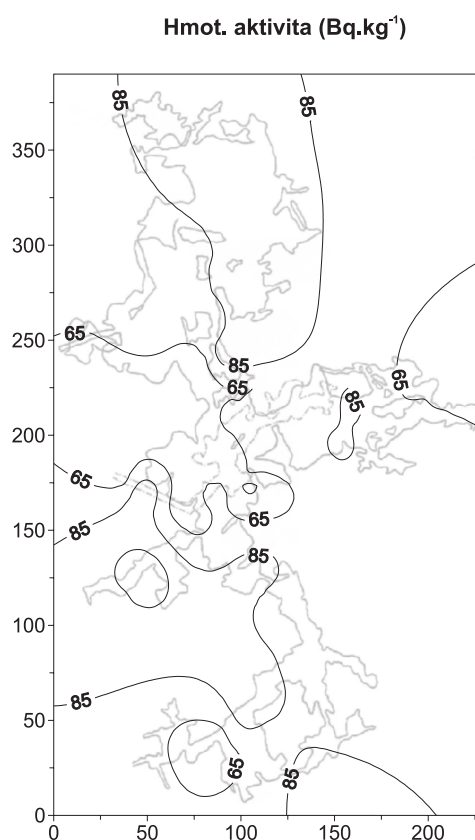
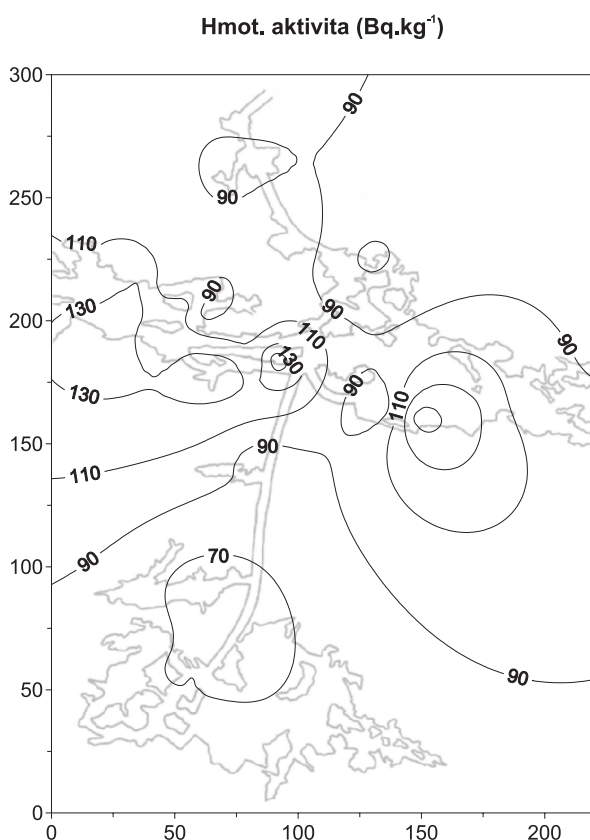
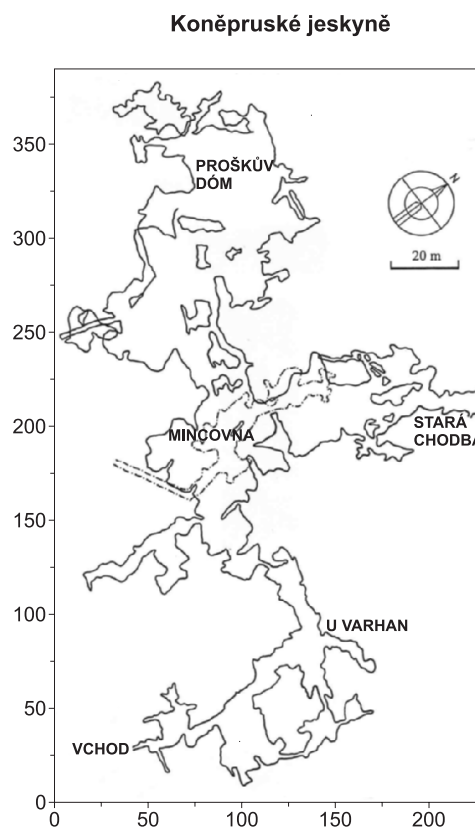
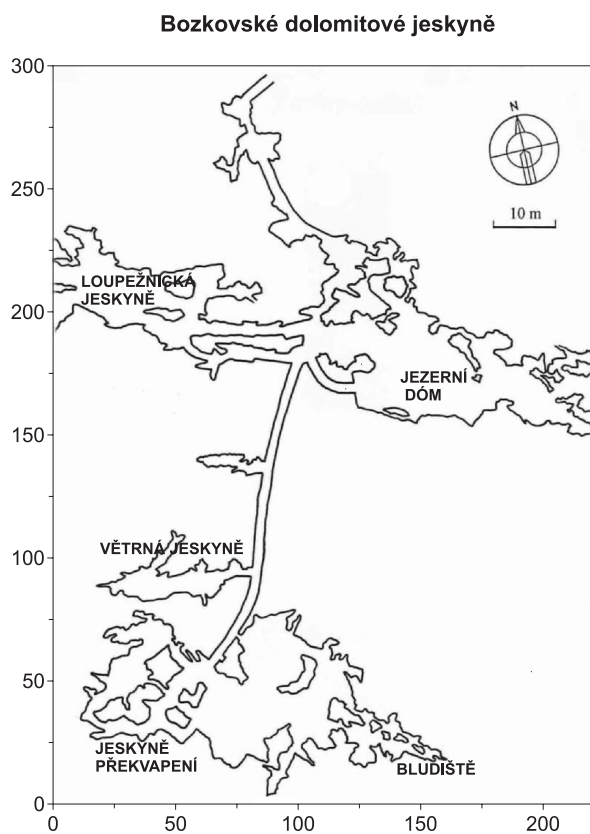
Distribuce hodnot a_m v mramorech, kvarcitických mramorech a též kvarcitech vystupujících v BDJ je znázorněna v levé polovině obr. 3. Relativně vysokou přirozenou radioaktivitu vykazují mramory v Loupežnické jeskyni a Jezerním domě, tj. v prostoru Nové jeskyně, kde byly v těchto horninách stanoveny nejvyšší obsahy U (až 11 ppm) a Th (až 4,6 ppm).



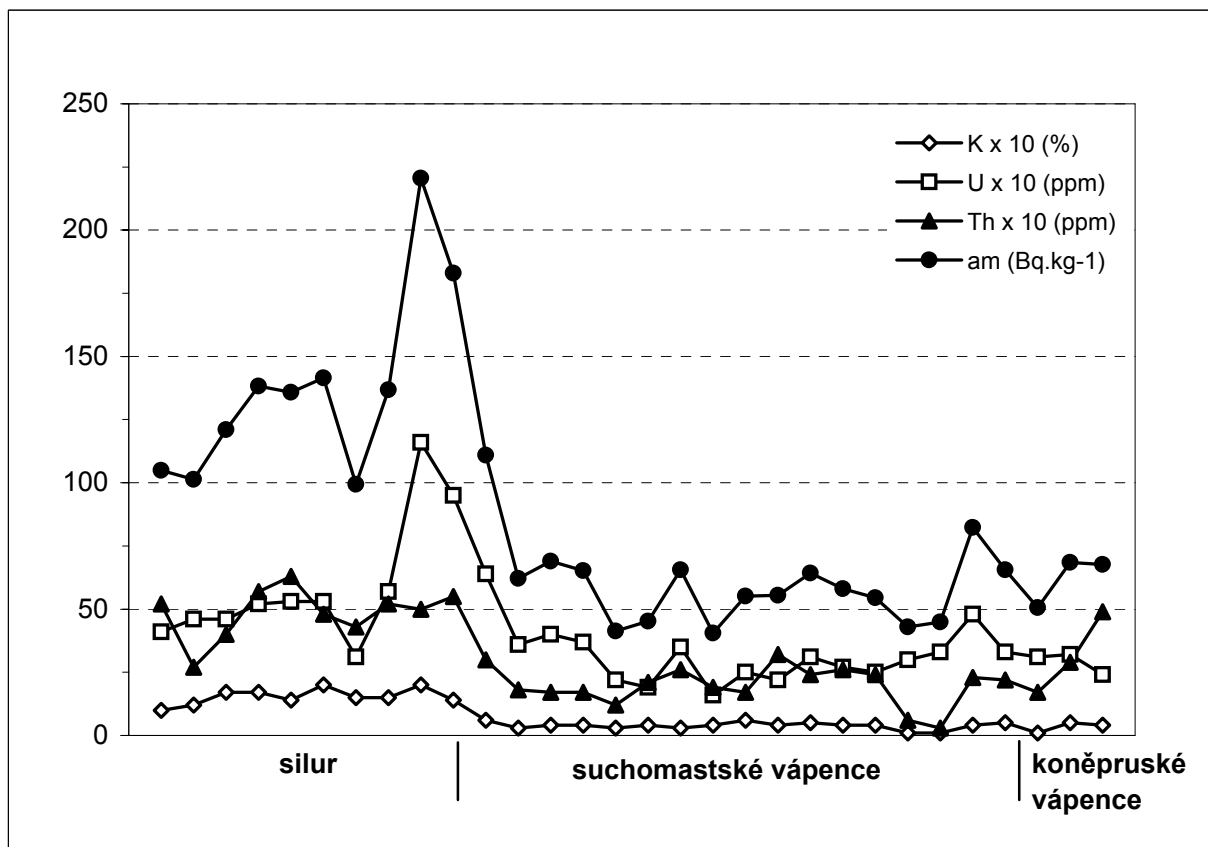
Obr. 1. Pozice klastických jeskynních sedimentů v klasifikačním diagramu *prachová (+ jílová) frakce – písková frakce – štěrková frakce*, upraveném podle Konty (1969). Vysvětlivky: trojúhelníky = Chýnovská jeskyně; prázdné kruhy = Koněpruské jeskyně; plné kruhy = Bozkovské dolomitové jeskyně



Obr. 2. Schematický náčrt veřejnosti přístupné části Chýnovské jeskyně (vlevo) a distribuce vypočtených hodnot hmotnostní aktivity (a_m) v mramorech, erlanech a amfibolitech pestré skupiny moldanubika (vpravo)



Obr. 3. Schematický náčrt Bozkovských dolomitových jeskyní (vlevo nahoře) a veřejnosti přístupné části Koněpruských jeskyní (vpravo nahoře), distribuce vypočtených hodnot hmotnostní aktivity (a_m) v metamorfitech řady mramor-kvarcit vystupujících v Bozkovských dolomitových jeskyních (vlevo dole) a v paleozoických karbonátových horninách Koněpruských jeskyní (vpravo dole)



Obr. 4. Obsahy K, U, Th a vypočtená hmotnostní aktivita (a_m) karbonátových hornin vystupujících ve štole vedoucí do Vánočních jeskyní

Tab. 1. Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U, Th) a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m) v horninovém prostředí Chýnovské jeskyně, Koněpruských jeskyní a Bozkovských dolomitových jeskyní

Hornina	n	K (hm. %)		U (ppm)		Th (ppm)		a_m (Bq.kg ⁻¹)	
		rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø
<i>Chýnovská jeskyně</i>									
mramory	46	0,1 – 1,5	0,5	0 – 3,5	0,6	0 – 3,0	0,7	3 – 68	23
erlany	19	0,6 – 2,5	1,6	0 – 2,5	1,0	0 – 7,1	3,3	22 – 110	72
amfibolity	10	1,1 – 2,7	1,6	0 – 1,7	0,7	0,1 – 4,5	2,3	31 – 107	60
klastické jeskynní sed.	15	0,9 – 2,8	1,5	0 – 2,2	0,9	1,4 – 6,8	4,1	38 – 134	73
<i>Koněpruské jeskyně</i>									
suchomastské vápence	71	0,1 – 1,2	0,6	0,4 – 6,4	2,6	0,3 – 11,3	4,3	27 – 123	73
koněpruské vápence	10	0,1 – 0,6	0,4	1,0 – 3,2	2,4	1,3 – 4,9	2,6	32 – 68	55
silurské dolomity	10	1,0 – 2,0	1,5	3,1 – 11,6	5,9	2,7 – 6,3	4,9	99 – 220	138
sintry	8	0 – 0,6	0,3	0,5 – 6,7	2,8	0 – 4,3	2,1	16 – 83	54
klastické jeskynní sed.	34	0,6 – 2,2	1,2	1,7 – 7,2	4,0	6,3 – 33,5	16,1	79 – 306	171
<i>Bozkovské dolomitové jeskyně</i>									
mramory+kvarcity	47	0,1 – 1,3	0,5	3,2 – 11,1	6,3	0 – 4,6	1,4	50 – 165	99
sintry	11	0,1 – 0,4	0,3	3,2 – 7,5	4,8	0 – 1,9	0,7	44 – 108	70
klastické jeskynní sed.	14	0,5 – 1,8	1,2	3,9 – 9,3	6,0	1,8 – 7,4	4,3	81 – 192	128

LITERATURA

- CÍCHA, J. 1999. Jeskyně a historická důlní díla v jižních Čechách a na Šumavě. Nakladatelství KLETR.
- HLADIL, J. – PATOČKA, F. – KACHLÍK, V. – MELICHAR, R. – HUBAČÍK, M. 2003. Metamorphosed carbonates of Krkonoše Mountains and Paleozoic evolution of Sudetic Terranes (NE Bohemia, Czech Republic). Geol. Carpathica, 54, 281–297.

- HROMAS, J. 1968. Nové objevy v Koněpruských jeskyních v Českém krasu. *Čs. kras*, 20, 51–62.
- HROMAS, J. 1997. Tektonická stavba krasových ostrovů v oblasti Bozkov-Jesenný. In B. Kučera – I. Turnovec, Eds. *Příroda 9. Kras Krkonoš a Podkrkonoší*, 22–49. AOPK ČR, Praha.
- CHÁBERA, S. ET AL. 1985. Jihočeská vlastivěda. Neživá příroda. Jihočeské nakladatelství České Budějovice.
- CHALOUPSKÝ, J. ET AL. 1989. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. ÚÚG Praha.
- CHLUPÁČ, I. 1988. Geologické zajímavosti pražského okolí. Academia Praha.
- CHLUPÁČ, I. 1999. Vycházky za geologickou minulostí Prahy a okolí. Academia Praha.
- JANČAŘIKOVÁ, I. 1988. Geologická situace ve štole do Koněpruských jeskyní. *Český kras*, 14, 33–41.
- KACHLÍK, V. – PATOČKA, F. 1998. Lithostratigraphy and tectonomagmatic evolution of the Železný Brod crystalline unit: some constraints for the palaeotectonic development of the W Sudetes (NE Bohemian Massif). *Geolines*, 6, 34–35.
- LITOHLEB, J. – SEJKORA, J. – KREJČA, F. – ŠINDELÁŘ, J. 1997. Mineralogický výzkum Chýnovské jeskyně a lomu na Pacově hoře u Chýnova. *Bull. min.-petr. odd. NM v Praze*, 4–5, 154–159.
- 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 (2–4), 117–124.
- MERGL, M. – VOHRADSKÝ, O. 2000. Vycházky za geologickými zajímavostmi Plzně a okolí. KOURA publishing, Mariánské Lázně 2000.
- SKŘIVÁNEK, F. – VALÁŠEK, K. 1959. Jeskyně ve vápnitých dolomitech fylitové zóny u Bozkova na Železnobrodsku. *Čs. kras*, 12, 7–36.
- SKŘIVÁNEK, F. – VALÁŠEK, K. 1997. Jeskyně ve vápnitých dolomitech fylitové zóny u Bozkova na Železnobrodsku. In B. Kučera – I. Turnovec, Eds. *Příroda 9. Kras Krkonoš a Podkrkonoší*, 50–69. AOPK ČR, Praha.
- VRÁNA, S. – NOVÁK, M. – SELWAY, J. B. 1997. Locality No. 8 – Chýnov near Tábor. In M. Novák – J. B. Selway, Eds. *Tourmaline 1997. Field trip guidebook*. Moravian Museum Brno, 93–98.
- ZIMÁK, J. – ŠTELCL, J. 2004a. Přirozená radioaktivita horninového prostředí v jeskyních České republiky. Vydavatelství UP Olomouc.
- ZIMÁK, J. – ŠTELCL, J. 2004b. Výsledky gamaspektrometrických měření v Chýnovské jeskyni (závěrečná zpráva). MS. PŘF UP Olomouc a PŘF MU Brno.
- ZIMÁK, J. – ŠTELCL, J. 2004c. Výsledky gamaspektrometrických měření v Koněpruských jeskyních (závěrečná zpráva). MS. PŘF UP Olomouc a PŘF MU Brno.
- ZIMÁK, J. – ŠTELCL, J. – HOFÍRKOVÁ, P. 2004. Výsledky gamaspektrometrických měření v Bozkovských dolomitových jeskyních (závěrečná zpráva). MS. PŘF UP Olomouc a PŘF MU Brno.