Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
LXXXIII(1998):97–108, 1998

SEDIMENTÁRNĚ PETROGRAFICKÉ A GEOCHEMICKÉ STUDIUM JAVOŘÍČSKÝCH JESKYNÍ

PETROGRAPHICAL AND GEOCHEMICAL STUDY OF SEDIMENTARY ROCKS IN THE JAVOŘÍČKO CAVES (CZECH REPUBLIC)

JINDŘICH ŠTELCL & JIŘÍ ZIMÁK

Abstract

Štelcl, J., Zimák, J., 1998: Sedimentárně petrografické a geochemické studium Javoříčských jeskyní. *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 83:97–108 (with English summary).

The article presents results of sedimentary petrographical and geochemical research of Devonian limestones and Quarternary cave soils in a part of the Javoříčko Caves which seems to be very suitable for children speleotherapy.

Key words: limestones, geochemistry, soils, granulometry, Javoříčko Caves, Czech Republic.

Jindřich Štelcl, Department of Mineralogy, Petrography and Geochemistry, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic.
Jiří Zimák, Department of Geology, Palacký University, tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc, Czech Republic.

Úvod

V souvislosti s celosvětovým trendem prudkého růstu počtu respiračních onemocnění vyvolaných civilizačními faktory prožívá v posledních letech období konjunktury relativně stará léčebná metoda označovaná jako speleoterapie. K základním principům této disciplíny patří z přírodovědného a lékařského hlediska pozitivní působení některých fyzikálně chemických parametrů atmosféry podzemních prostor (např. jeskyní a důlních děl) na lidský organismus doprovázené stimulací jeho imunitního systému. Jednou z medicínsky nejvýznamnějších vlastností jeskynní atmosféry je kromě konstantní teploty, vlhkosti, proudění a relativní čistoty rovněž její radioaktivita, spočívající v uvolňování radonu a jeho dceřiných produktů z okolního horninového prostředí. Vzhledem k tomu, že množství vznikajícího radonu je bezprostředně závislé na některých mineralogických, petrologických a geochemických vlastnostech příslušných hornin, uvádíme v následující práci přehled výsledků získaných sedimentárně petrografickým a geochemickým studiem karbonátových sedimentů a mladších jeskynních výplní v prostorách připravované speleoterapeutické léčebny v Javoříčských jeskyních na severní Moravě. Práce vznikla v rámci projektu PHARE EC/HEA/10-cz řešeného v letech 1994–1996 pracovníky Lékařské a Přírodovědecké fakulty UP Olomouc, Přírodovědecké fakulty MU Brno a Vysoké vojenské školy pozemního vojska ve Vyškově. Měření koncentrací radonu v jeskynní atmosféře bylo prováděno týmem z VVŠ PV ve Vyškově a jeho výsledky budou publikovány v samostatné studii.

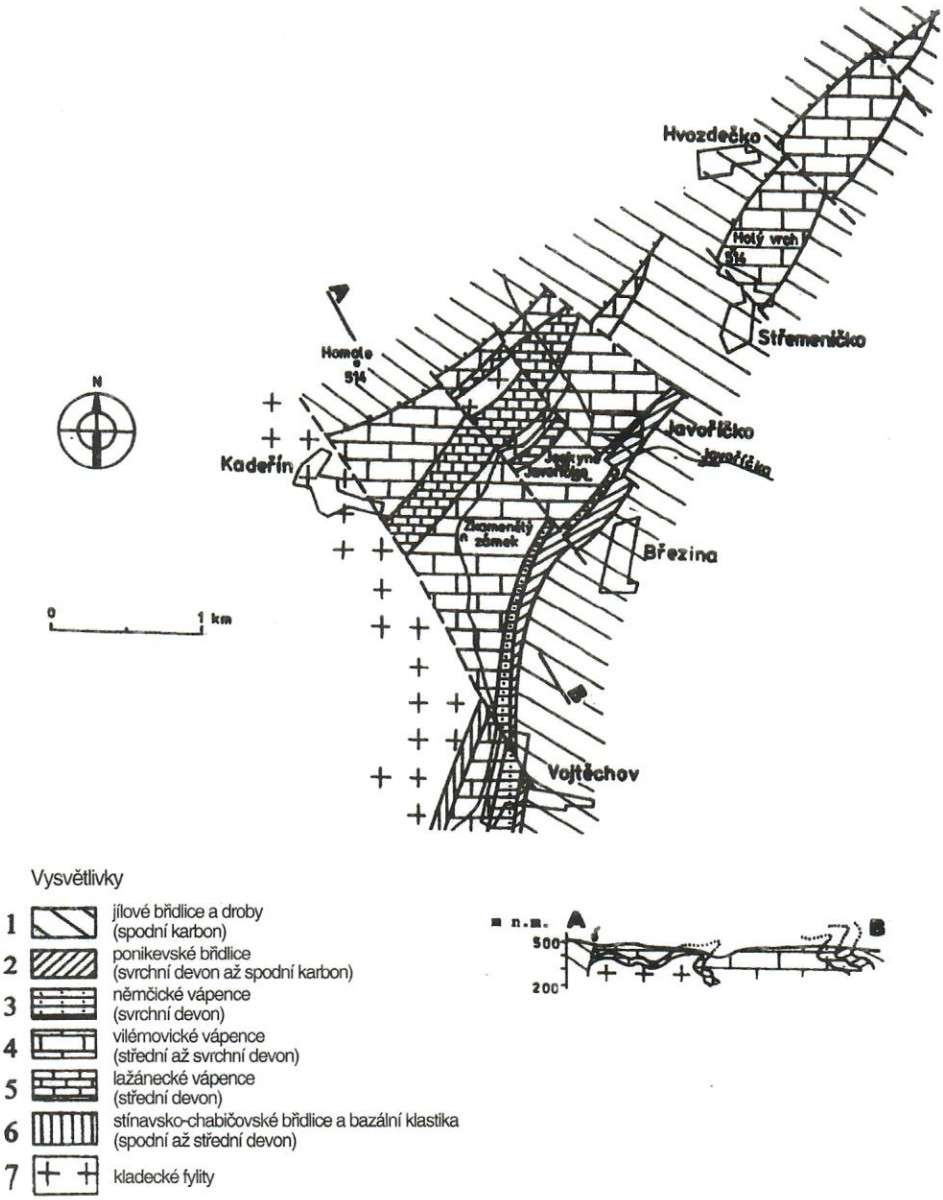
Geologická pozice Javoříčských jeskyní

Javoříčské jeskyně jsou součástí Javoříčského krasu, jenž leží v severní části konicko-mladečského pruhu hornin devonského stáří. Podloží devonu tvoří ve sledovaném prostoru kladecké fylity, které na povrch vycházejí zejména západně od vojtěchovského zlomu (probíhajícího od Kadeřína k Vojtěchovu), ale vzhledem ke komplikované tektonické stavbě i uvnitř pruhu devonských vápenců mezi Kadeřínem a Javoříčkem (obr. 1). Bazálním členem devonských sedimentů jsou klastika (slepence a pískovce), jejichž výchozy tvoří úzký pruh západně od Vojtěchova. Směrem do nadloží bazální klastika přecházejí do stínavsko-chabičovských břidlic. Karbonátová sedimentace začíná v severní části konicko-mladečského pruhu tmavě šedými lažáneckými vápenci, které vystupují v relativně úzkých pruzích mezi Kadeřínem a Javoříčkem. Lažánecké vápence přecházejí do nadložních světle šedých vilémovických vápenců, které jsou ve sledovaném území plošně nejrozšířenějšími devonskými horninami. U Vojtěchova lze mocnost vilémovických vápenců odhadnout na 300–400 m; v prostoru Javoříčka je jejich mocnost patrně ještě o něco větší (obr. 1, řez A–B). Stratigraficky nejvyšším členem devonu v karbonátovém vývoji jsou ve sledovaném území němčické vápence, jež vystupují v úzkém pruhu mezi Vojtěchovem a Javoříčkem. Nadloží němčických vápenců je tvořeno ponikevskými břidlicemi svrchnodevonského až spodnokarbonského stáří. Nad ponikevskými břidlicemi leží spodnokarbonské sedimenty, reprezentované jílovými břidlicemi a drobami.

Devonské vápence a sintry

V prostoru Javoříčských jeskyní dominují světle šedé vápence, lokálně jsou přítomny i vápence tmavší. Z mikroskopického zhodnocení výbrusů karbonátových hornin je zřejmé, že v souboru vzorků z prostoru připravované speleoterapeutické léčebny silně převažují sparitové (mikrokrystalické) vápence se shluky jemně až středně krystalického sparitového kalcitu. Některé vápence můžeme na základě jejich strukturních znaků označit jako „chuchvalcovité“ až páskované – jde o sparitové vápence s „chuchvalci“, resp. pásky tvořenými mikritickým vápencem (s průměrnou velikostí zrna kolem 0,01 mm, tj. na horní hranici mikritu).

Některé z výsledků pariciálních chemických analýz karbonátových sedimentů (celkem bylo analyzováno 21 vzorků devonských vápenců a sintrů), jimiž byly sledovány obsahy CaO, MgO, FeO, MnO a nerozpustného podílu (n.p.), jsou uvedeny v horní části tab. 1 a 2 (v hmot. %). Vzorky devonských vápenců a sintrů k dalšímu laboratornímu zpracování byly odebrány hlavně ve vstupní štole od Soví díry (vzorky J1, J3, J5 až J13), v prostoru Síně naděje (J14, J16 a J17), Březinské chodbě (J15), Síni objevitelů (J19), chodbě za Závrtovým dómem, v prostoru Svěcené díry (J24) a v chodbě, jež je v mapách Javoříčských jeskyní označována jako Spramecká (J28). Parciální analýzy byly provedeny P. Kadlecem v laboratořích Přírodovědecké fakulty MU Brno. Ze získaných výsledků je zřejmé, že devonské vápence lze charakterizovat jako vysokoprocentní – obsahy CaO se pohybují v intervalu 54,78–56,02 hmot. %, obsahy MgO v 0,21–0,73 hmot. %, obsahy FeO v 0,01–0,05 hmot. %, obsahy MnO v 0,00–0,02 hmot. %, obsahy nerozpustného podílu v 0,01–0,69 hmot. %. V případě vzorku J12 byly sledovány dvě texturně i barevně odlišné partie (J12a = světle šedý vápenec, J12b = béžové pásky či laminy). V sintrech jsou obsahy CaO v intervalu 55,14–55,94 hmot. %, obsahy MgO v 0,01–0,05 hmot. %, obsahy FeO jsou stopové až 0,16 hmot. %, obsahy MnO v 0,00 až 0,02 hmot. %, obsahy nerozpustného podílu 0,13–1,55 hmot. %. Z analytických dat je zřejmé, že studované sintry jsou bez ohledu na jejich povahu (krápníky, desky masívních i silně porézních sintrů, připomínajících travertin) tvořeny prakticky čistým kalcitem.



Obr. 1. Odkrytá geologická mapa konicko-mladečského devonu v okolí Javoříčka (podle FABIKA 1975).
Fig. 1. Uncovered geological map of the Konice-Mladeč Belt in the vicinity of Javoříčko (after FABÍK 1975).

Explanation: 1 – shales and greywackes (Lower Carboniferous), 2 – shales of the Ponikev Formation (Upper Devonian-Lower Carboniferous), 3 – Němčice Limestone (Upper Devonian), 4 – Vilémovice Limestone (Middle-Upper Devonian), 5 – Lažánky Limestone (Middle Devonian), 6 – shales of the Stínava-Chabičov Formation and the basal clastic formation (Lower-Middle Devonian), 7 – Kladky phyllites.

Tab. 1. Chemické složení devonských vápenců (ve sloupcích A, B a C jsou průměrné obsahy sledovaných elementů v karbonátových horninách – viz text; v textu je uvedena i lokalizace jednotlivých vzorků).
Table 1. Chemical composition of Devonian limestones (n.p. = insoluble residue); the average contents of listened elements in carbonate rocks are given in the columnes A, B and C – see text).

VZOREK	J1	J5	J6	J12a	J12b	J16	J17	J19	J22	A	B	C
CaO (%)	55,29	55,33	55,21	55,26	51,98	54,78	54,96	55,22	54,98			
MgO	0,31	0,22	0,21	0,37	0,26	0,34	0,32	0,33	0,34			
FeO	0,05	0,04	0,04	0,02	0,39	0,05	0,02	0,02	0,01			
MnO	0,02	0,02	0	0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01			
n. p.	0,07	0,28	0,08	0,06	5,77	0,69	0,19	0,38	0,16			
Ag (ppm)	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8			0,0X
As	0,8	0,3	0,3	1,1	12	2,5	1,1	0,6	0,6		2,5?	1
Ba	88	<10	<10	<10	158	124	<10	17	<10	130	150	10
Be	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	1,3	<0,8	<0,8	1,3	1,6			0,X
Bi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			
Cd	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8			0,035
Co	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5			0,1
Cr	7	8	7	8	14	8	8	10	9	18	9	11
Cu	<3	<3	<3	<3	8	<3	<3	<3	<3	23	14	4
Li	1,4	0,9	1,9	2,3	6,5	1,4	1,4	1,4	1,4		20	5
Mo	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	1,7	1,1?	0,4
Ni	<5	<5	<5	<5	10	<5	<5	<5	<5	6,2	12	20
Pb	24	15	<15	26	23	17	23	31	25	5,3	8	9
Sb	0,20	0,15	0,17	0,15	1,27	0,15	0,12	0,12	0,17			0,2
Sr	147	125	130	146	119	152	149	147	170	393	475	610
Ti	<120	<120	<120	<120	480	<120	<120	<120	<120	776	300?	400
V	<15	<15	<15	<15	15	<15	<15	<15	<15		15?	20
Zn	6	3	6	5	25	7	4	5	5	23,2	26	20

Obsahy mikroelementů ve vzorcích devonských vápenců a sintrů, které byly stanoveny v laboratořích ČGÚ Praha, jsou rovněž uvedeny v tab. 1 a 2 (v ppm). Pro srovnání byly do sloupce „A" v tab. 1 začleněny údaje o průměrných obsazích sledovaných elementů v karbonátových horninách (sedimentech i metamorfitech) z jiných oblastí Českého masívu, jež jsou převzaty z práce KLEMENTA a KRUTSKÉHO (1969), a také „klarky" vápenců ve sloupci „B" podle GRAFA (1960) a ve sloupci „C" podle TUREKIANA a WEDEPOHLA (1961). V případě Sr, Zn a Ba v devonských vápencích i v sintrech, u nichž lze zejména u Sr předpokládat přednostní vazbu na karbonátovou složku horniny, jsou zřejmé nižší koncentrace ve srovnání s „klarkem" vápence. Srovnání výsledku analýzy vzorku J12b se vzorkem J12a a dalšími vzorky vápenců ukazuje zřetelně na sepětí některých prvků s nekarbonátovou složkou (jde např. o As, Ba, Cu, Li, Sb, Ti i Zn).

Klastické jeskynní sedimenty

Klastické sedimenty v prostoru studované části Javoříčských jeskyní jsou zastoupeny fluviálními a deluviálními hlínami. Uvedené hlíny se nacházejí na puklinách, v depresích a nesouvisle pokrývají dno chodeb. Studované hlíny nemají nápadnější zvrstvení a s výjimkou horninových úlomků lokálního původu (devonské vápence a sintry) neobsahují vyšší podíl větších fragmentů (valounů apod.). Hlíny se vyznačují poměrně širokou škálou barev, a to od žlutohnědých, okrově hnědých až po oranžově hnědé odstíny. Vzorky hlín k dalšímu laboratornímu zpracování byly odebrány hlavně ve vstupní štole od Soví díry (vzorky J2 a J4), Březinské chodbě (J20), Síni objevitelů (J18), v Závrto-

Tab. 2. Chemické složení sintrů (lokalizace jednotlivých vzorků viz text).
Table 2. Chemical composition of sinters (n.p. = insoluble residue).

VZOREK	J14a	J14b	J15a	J15b
CaO (%)	55,14	55,94	55,57	55,64
MgO	0,05	0,01	0,01	0,05
FeO	0,08	0,04	0	0
MnO	0	0	0	0,01
n. p.	1,20	0,48	0,13	0,14
Ag (ppm)	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
As	1,0	0,7	0,8	1,9
Ba	18	<10	18	31
Be	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Bi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cd	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Co	<5	<5	<5	<5
Cr	7	6	7	9
Cu	4	<3	<3	6
Li	1,9	1,4	0,9	3,3
Mo	<5	<5	<5	<5
Ni	5	<5	<5	11
Pb	28	16	25	24
Sb	0,17	0,14	0,15	0,28
Sr	31	14	45	13
Ti	<120	<120	<120	<120
V	<15	<15	<15	<15
Zn	13	7	7	17

vém dómu (J21), v prostoru Svěcené díry (J23), v Panenské jeskyni (J25), Babské jeskyni (J26) a ve Spramecké chodbě (J27 a J29).

Na základě provedených zrnitostních analýz lze jeskynní hlíny klasifikovat ve smyslu u nás používané Kontovy klasifikace (KONTA 1973) převážně jako písčitý až štěrkovito-písčitý prach, menší počet vzorků leží v polích odpovídajících prachovitému až štěrkovito-prachovitému písku, jen jeden ze vzorků reprezentuje prach (obr. 2). Kvantitativní zastoupení tří sledovaných zrnitostních frakcí (prachové pod 0,063 mm, písčité v rozmezí 0,063 až 2 mm, štěrkové frakce s velikostí úlomků nad 2 mm) v jednotlivých vzorcích je uvedeno v tab. 3 a graficky znázorněno na obr. 3. Pro oba vzorky odebrané ve vstupní štole (vz. J2 a J4) je charakteristická výrazná převaha prachového podílu a absence hrubší klastické frakce. V prostoru Březinské chodby, Síně objevitelů a Závrtovém dómu (vz. J18, J20 a J21) se na složení hlín podílí hlavně písčitá složka (v množství cca 50 až 60 %), množství prachové komponenty je zde relativně nízké. Ve zbývající části profilu až po Svěcenou díru (vz. J23, J25, J26, J27 a J29) je variabilita zrnitostního složení hlín velmi nízká, převažuje prachová frakce. Oba úseky s podstatným zastoupením hrubší klastické frakce se vzájemně liší jejím petrografickým složením. Ve všech vzorcích jsou hojně přítomny úlomky karbonátových sedimentů (devonské vápence, sintry) a také hornin bohatých křemenem, příp. křemenné žiloviny. Ve vzorku J18 dominují rezavě hnědé jílovce (nápadně připomínající obdobné typy sedimentů v poorlickém permu), provázené také pískovci a pegmatity. Ve vzorku J20 jsou kromě karbonátových sedimentů a fragmentů křemene přítomny úlomky sericitových břidlic, fylitů, svorů, rul, pískovců (částečně limonitizovaných), jílovců, kvarcitů, aplitů (?), drob, amfibolitů a snad i bazických metatufů (?).

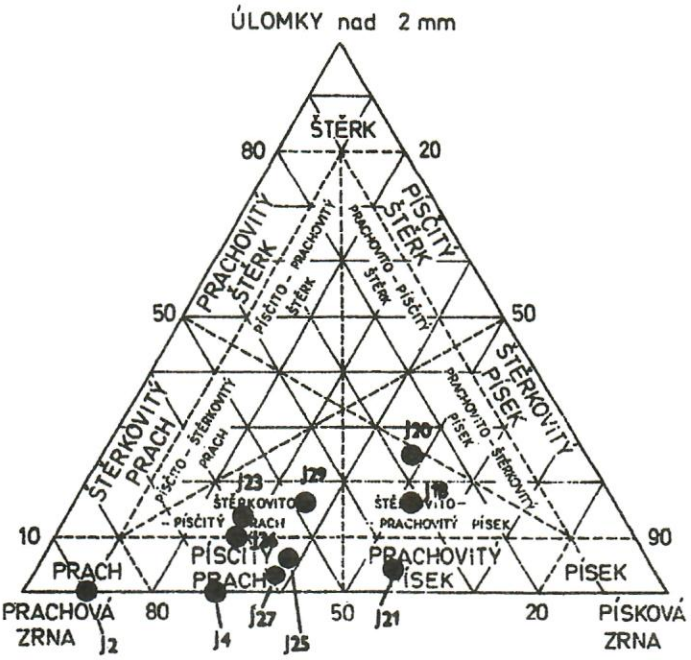
Tab. 3. Kvantitativní zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí ve studovaných vzorcích jeskynních hlín (v obj. %, lokalizace jednotlivých vzorků viz text).
Table 3. Abundance of main grain-size fractions (vol. %) in the studied samples of cave soils. (Explanation: prachová frakce = silt; písčitá frakce = sand; štěrková frakce = fragments above 2 mm.)

	J2	J4	J18	J20	J21	J23	J25	J26	J27	J29
Prachová frakce	90	68	31	26	40	59	55	61	58	47
Písčitá frakce	10	32	53	49	56	28	38	29	38	38
Štěrková frakce	0	0	16	25	4	13	7	10	4	15

Zrnitostní složení námi výše vymezené „prachové frakce" jeskynních hlín bylo detailně sledováno pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu CAM SCAN. Ve všech vzorcích dominují částice o velikosti pod 0,004 mm (tj. pelitová frakce), přičemž frakce s velikostí zrna pod 0,002 mm se na celkovém objemu vzorků podílí 25 až 45 %. Podíl jednotlivých zrnitostních tříd ve frakci 0,063 mm ve třech vzorcích reprezentujících variabilitu celého studovaného souboru jeskynních hlín je graficky znázorněn na obr. 4.

Výsledky chemických analýz písčité a prachové frakce jeskynních hlín jsou uvedeny v tab. 4 (analytik P. Kadlec, PřF MU Brno) a tab. 5 (analyzováno v laboratořích ČGÚ Praha). Grafické znázornění obsahů vybraných mikroelementů v hlínách z Javoříčských jeskyní je uvedeno na obr. 5.

Z údajů v tab. 4 jsou zajímavé velmi vysoké obsahy P_2O_5 v jeskynních hlínách odebraných v Březinské chodbě, Síni objevitelů a Závrtovém dómu, které patrně souvisejí s přítomností guanových minerálů (zřejmě rentgenamorfních) ve studovaných vzorcích. V těchto vzorcích byly současně zjištěny i anomálně vysoké obsahy Sr (viz tab. 5). Lze

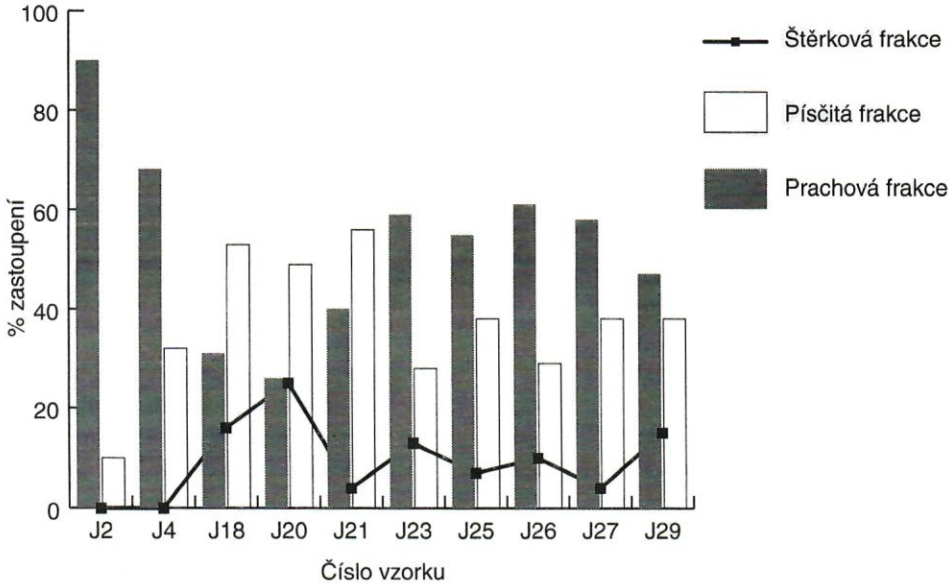


Obr. 2. Pozice studovaných jeskynních hlín v klasifikačním diagramu podle KONTY (1973).
Fig. 2. Location of cave earths from this study in the fragments 2 mm – silt grains (= „prachová zrna" in Fig. 2) – sand grains (= „písková zrna") triangular diagram (after KONTA 1973).

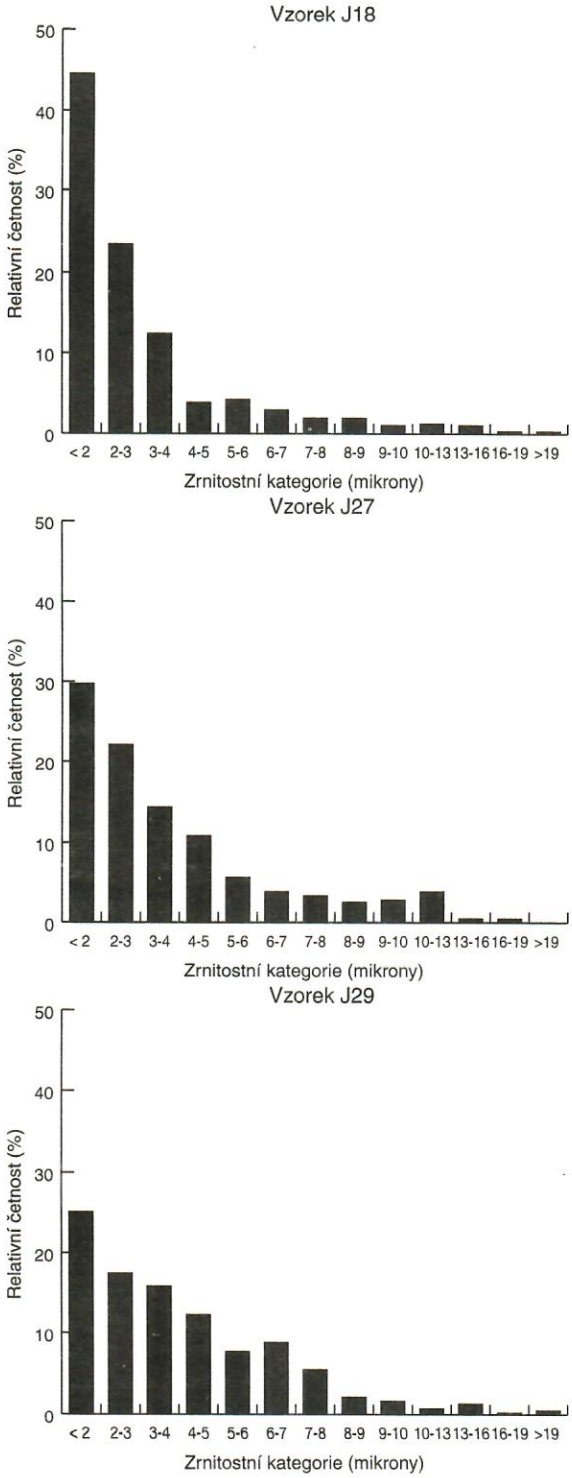
Tab. 4. Chemické složení jeskynních hlín. Obsahy všech komponent jsou uváděny v hmot. %. (K analýzám byla použita písčitá a prachová frakce; lokalizace jednotlivých vzorků viz text).
Table 4. Chemical composition of cave soils. Concentrations of all oxides are expressed in wt. %. The < 2 mm fractions were analysed.

VZOREK	J2	J4	J18	J20	J21	J23	J25	J26	J27	J29
SiO_2	68,21	53,99	36,14	28,12	29,62	49,17	57,92	44,75	45,82	40,94
TiO_2	0,40	0,57	0,61	0,27	0,43	0,52	0,56	0,80	0,82	0,56
Al_2O_3	13,37	20,25	13,29	6,69	8,09	9,91	12,51	12,15	12,59	9,61
Fe_2O_3	5,30	7,39	6,82	2,80	3,32	3,80	4,50	4,54	4,65	3,64
MnO	0,52	0,33	0,20	0,10	0,02	0,05	0,08	0,12	0,10	0,10
CaO	2,13	2,52	17,26	30,91	28,66	14,96	7,34	15,27	13,21	21,91
MgO	0,51	0,70	0,04	stopy	0,78	1,34	0,92	1,74	1,67	0,74
K_2O	2,19	2,48	1,05	0,82	1,24	1,85	1,89	1,74	1,93	1,50
Na_2O	stopy	stopy	stopy	stopy	0	0,32	stopy	0	0	0
S	0	0	0	stopy	0	0	0	0	0	0
CO_2	0,94	1,59	9,18	15,92	15,31	11,29	5,25	10,37	12,25	13,80
P_2O_5	0,87	0,94	5,81	9,01	6,99	0,26	0,32	2,07	1,26	1,62
H_2O^-	0,80	2,79	3,06	1,43	1,55	2,66	4,19	1,55	1,48	1,30
H_2O^+	4,39	6,34	6,32	3,45	3,79	3,35	4,04	4,84	3,94	4,05
CELKEM	99,63	99,89	99,78	99,52	99,80	99,48	99,52	99,94	99,72	99,77

předpokládat, že většina stopových prvků uvedených v tab. 5 je vázána přednostně na jílové minerály; to se týká především Co a Ni (mezi nimi je výrazná pozitivní korelace – viz obr. 5), Ba, Cu, V, Ti, Zn a Pb. Některé z uvedených prvků však mohou být z určité části přítomny v metaloorganických sloučeninách (např. Co, Ni, Cu a V), nebo mohou být i vázány na karbonátovou složku horniny (Zn a Pb). V případě titanu může jít i o jeho přítomnost v podobě Ti-oxidů; vanad může být vázán i na oxidy (resp. oxy-hydroxi-



Obr. 3. Diagram procentuálního zastoupení hlavních zrnitostních frakcí v jeskynních hlínách.
Fig. 3. Diagram showing the abundance of the main grain-size fractions in cave soils.
(Explanation: prachová frakce = silt; písčitá frakce = sand; štěrková frakce = fragments above 2 mm.



dy) železa, vyskytující se v jeskynních hlínách.

S cílem stanovit alespoň přibližně kvantitativní zastoupení hlavních složek v zrnitostní frakci pod 2 mm byly provedeny rentgenometrické analýzy, k nimž byly použity vysušené vzorky jeskynních hlín, z nichž byla na sítě oddělena štěrková frakce. Rentgenometrické analýzy byly provedeny Dr. D. Krausovou (PřF UP Olomouc) práškovou metodou na difraktografu HZG 4/C (Freiberger Präzisionsmechanik, SRN) za těchto podmínek: Cu-záření, Fe-filtr, 40 kV, 30 mA, měření difrakčních úhlů v rozsahu 5–80°2theta, krok 0,02°2theta, doba integrace 2 s. Difrakční záznamy byly zpracovány pomocí software COMPHYS RAY (autoři: M. S. Nachmanson, A. G. Antošulskij a I. G. Ivanov). Identifikace jednotlivých fází byla prováděna porovnáváním s údaji v kartotéce JCPDS; ke stanovení přibližného zastoupení minerálů, které jsou alespoň v některých vzorcích přítomny v podstatném množství, byla použita data z karet č. 5-586, 6-263, 13-465, 29-1488 a 33-1161.

Vzhledem ke značné chybě při kvantitativním stanovení jednotlivých fází, je v tab. 6 jejich zastoupení v analyzovaných vzorcích uváděno jen semikvantitativně. Protože za daných podmínek je rozlišení některých strukturně podobných minerálů značně obtížné, jsou v této ta-

Obr. 4. Grafické vyjádření zrnitostních tříd ve frakci 0,063 mm ve třech vybraných vzorcích jeskynních hlín.

Fig. 4. Histograms showing the results of granulometric analyses of the 0.063 mm fraction in three selected cave soil samples (using by CAMSCAN).

Tab. 5. Mikrochemismus jeskynních hlín. Obsahy stanovených prvků jsou s výjimkou K, Na a Ti uváděny v ppm. (K analýzám byla použita písčitá a prachová frakce; lokalizace jednotlivých vzorků viz text.)
Table 5. Minor elements in cave soils. Concentrations of all elements are expressed in ppm, except for K, Na, and Ti (wt. %). The < 2 mm fractions were analysed.

VZOREK	J2	J4	J18	J20	J21	J23	J25	J26	J27	J29
Ag	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
As	30	34	42	10	10	6	9	13	13	8
Ba	797	563	501	328	261	292	434	396	499	274
Be	9	9	8	3	4	3	3	3	4	3
Bi	0,2	0,4	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Cd	1	1	2	2	4	1	<1	<1	<1	<1
Co	49	35	20	9	14	10	16	25	18	14
Cr	46	94	108	47	59	67	76	72	70	56
Cu	209	196	189	107	85	19	30	98	71	63
K (%)	1,77	1,95	0,94	0,64	0,94	1,43	1,44	1,48	1,66	1,10
Li	56	58	36	16	23	34	51	32	33	21
Mo	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Na (%)	0,03	0,07	0,32	0,23	0,05	0,38	0,19	0,07	0,08	0,13
Ni	196	133	130	28	49	31	42	43	43	32
Pb	64	53	49	43	20	31	33	26	33	35
Sb	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
Sr	76	65	903	254	114	110	73	145	76	59
Ti (%)	0,30	0,45	0,52	0,26	0,31	0,37	0,47	0,65	0,63	0,43
V	100	134	148	35	76	73	89	113	101	64
Zn	250	227	394	556	604	69	116	240	187	294

bulce vedle jednoznačně identifikovatelného křemene a kalcitu uvedeny pouze skupiny strukturně příbuzných nerostů: jde o slídy (muskovit, hydrobiotit), kaolinické minerály (kaolinit, problematický halloysit), smektity (bezpečně identifikován jen montmorillonit) a živce (problematická přítomnost K-živce nebo plagioklasu).

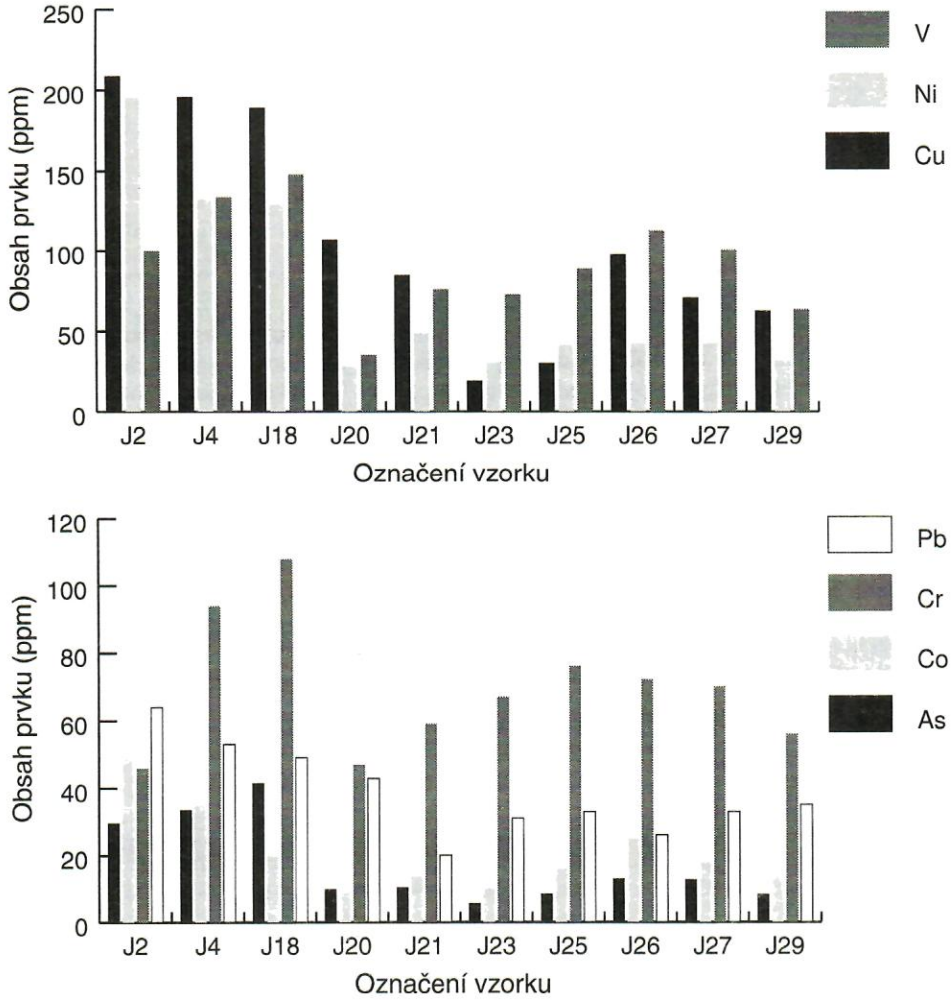
Z výsledků rentgenometrických analýz je zřejmé, že hlavní složkou (ve většině vzorků dominantní) je křemen, jenž byl stanoven v množství 49 až 85 %. Množství kalcitu je velmi variabilní a dosahuje až 43 % (v ostatních vzorcích byl kalcit stanoven v množství pod 30 %, v jednom vzorku nebyl identifikován vůbec). Množství slíd se podle výsledků fázové analýzy pohybuje v intervalu 4 až 18 %; ze slíd byl ve všech vzorcích identifikován muskovit, ve vzorku J25 byl v relativně velkém množství stanoven hydrobiotit (vzorek J25 obsahuje na základě provedené analýzy 3,6 % muskovitu a 2,9 % hydrobiotitu). S výjimkou vzorku J25 byl ve všech ostatních vzorcích identifiko-

Tab. 6. Semikvantitativní zastoupení rentgenometrickou analýzou identifikovaných složek v jeskynních hlínách. (K analýzám byla použita písčitá a prachová frakce; lokalizace jednotlivých vzorků viz text.) Vysvětlivky: >50 % (+++), 10–50 % (++), <10 % (+), problematická přítomnost (?).
Table 6. Relative abundance of compounds determined by X-ray diffractometry in cave soils. The < 2 mm fractions were analysed.

	J2	J4	J18	J20	J21	J23	J25	J26	J27	J29
KŘEMEN	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++
KALCIT		+	++	++	+	++	++	+	++	++
SLÍDY	+	+	+	+	++	+	+	++	+	+
KAOLINICKÉ MIN.	++	+	+	+	+	+		+	+	+
SMEKTITY		+			?					
ŽIVCE	?					?			?	?
FRAKCE < 2 m	100%	100%	84%	75%	96%	87%	93%	90%	96%	85%

ván kaolinit, a to v množství 1 až 12 %. K uvedeným číselným hodnotám je však nutno poznamenat, že chyby ve stanovení obsahu jednotlivých fází jsou dosti vysoké. V případě křemene dosahuje chyba až ± 10 %. Značné chyby jsou i ve stanovení obsahů kalcitu a zejména fylosilikátů (extrémním případem je vzorek J2 s patrně nejvyšším podílem kaolinických minerálů v rámci studovaných jeskynních hlín, v němž bylo stanoveno 12 ± 10 % kaolinitu).

Vzhledem k značné podobnosti studovaných jeskynních hlín s obdobným materiálem nacházejícím se v jeskynních systémech Moravského krasu jsme provedli rentgenometrický výzkum 17 vzorků fluviálních a deluviálních hlín, odebraných ve Sloupsko-šošůvských jeskyních, Císařské jeskyni a jeskyni Býčí skála. Podmínky provedení RTG analýz a způsob jejich vyhodnocení a dalšího zpracování získaných dat byl stejný jako v případě vzorků z Javoříčka. Výsledky jsou uvedeny v tab. 7. Slídy jsou



Obr. 5. Obsahy Cu, Ni, V, As, Co, Cr a Pb v jeskynních hlínách
Fig. 5. Concentrations of Cu, Ni, V, As, Co, Cr, and Pb in cave soils.

Tab. 7. Zastoupení rentgenometricky identifikovaných složek v jeskynních hlínách z Javoříčských jeskyní a vybraných jeskyní Moravského krasu. (K analýzám byla použita písčitá a prachová frakce.)
Table 7. Abundance of compounds determined by X-ray diffractometry in cave soils from the Javoříčko Caves and selected caves of the Moravian Karst. (The < 2 mm fractions were analysed.)

	Javoříčské jeskyně	Sloupsko-šošůvské jeskyně	Císařská jeskyně	jeskyně Býčí skála
KŘEMEN	49–85 %	68–89 %	55–84 %	79–95 %
KALCIT	< m.s.–43 %	< m.s.–5 %	3–42 %	< m.s.–1 %
SLÍDY	4–18 %	11–32 %	3–13 %	4–11 %
KAOLINIT	< m.s.–12 %	< m.s.–11 %	< m.s.	< m.s.–2 %

v jeskynních hlínách Moravského krasu zastoupeny vždy muskovitem, ve většině vzorků z Císařské jeskyně a Sloupsko-šošůvských jeskyní byla zjištěna navíc také přítomnost hydrobiotitu, jenž podle výsledků fázových analýz zcela ojediněle převažuje nad muskovitem (v jednom ze vzorků ze Sloupsko-šošůvských jeskyní bylo stanoveno 18 % hydrobiotitu a 14 % muskovitu).

Zjištěné minerální složení studovaných jeskynních hlín vcelku dobře odráží geologický charakter okolního území. Přítomností granitoidů brněnského masívu v klastickém materiálu lze např. vysvětlit relativně vysoké zastoupení hydrobiotitu v jeskyních Moravského krasu (zejména v Císařské jeskyni a ve Sloupsko-šošůvských jeskyních). Malý podíl hydrobiotitu v některých vzorcích z Javoříčských jeskyní souvisí s největší pravděpodobností s výskytem hornin krystalinika (např. svorů, rul, pegmatitů) ve studovaných hlínách.

Závěr

Ze sedimentárně petrografického a geochemického výzkumu vybrané části Javoříčských jeskyní, jenž byl proveden v rámci jejich komplexního hodnocení (v souvislosti s projektem na zřízení speleoterapeutické léčebny Javoříčko), bylo zjištěno, že devonské karbonátové sedimenty jsou zde zastoupeny převážně chemicky čistými sparitovými vápenci. Z výsledků chemických analýz těchto vápenců jsou zajímavé relativně velmi nízké obsahy stroncia, které mohou svědčit o nízké salinitě nebo vysoké teplotě prostředí, v němž probíhala sedimentace karbonátů, avšak je nutno poznamenat, že obsahy Sr (resp. hodnoty poměru Sr/Ca) v karbonátových horninách bývají ovlivněny dalšími primárními faktory (např. podílem aragonitu v čerstvém sedimentu) a také procesy probíhajícími po uložení sedimentu (diagenetickými a anchimetamorfními).

Klastické sedimenty jsou ve studované části Javoříčských jeskyní zastoupeny fluviálními a deluviálními hlínami, které zrnitostně odpovídají převážně písčitému a štěrkovito-písčitému prachu. Hojně jsou v nich obsaženy štěrkové úlomky karbonátových sedimentů (devonské vápence, sintry) a také hornin bohatých křemenem, příp. křemenné žiloviny; v některých vzorcích jeskynních hlín jsou ve větším množství přítomny i jílovce, pískovce a pegmatity, někdy se v nich také vyskytují úlomky sericitových břidlic, fylitů, svorů, rul, kvarcitů, aplitů (?), drob, amfibolitů a snad i bazických metatufů. Rentgenometrickou analýzou frakce pod 2 mm bylo zjištěno, že k hlavním složkám této frakce patří křemen (zpravidla kvantitativně převažuje), kalcit (ve velmi variabilním množství) a slídové minerály (především muskovit) v menším množství je přítomen kaolinit.

Z výsledků chemických analýz jsou zajímavé vysoké obsahy P_2O_5 v jeskynních hlínách, odebraných v části Javoříčských jeskyní, které vysvětlujeme přítomností guanových minerálů (zřejmě rentgenamorfních) ve studovaných vzorcích.

Většina stopových prvků, zjištěných ve studovaných jeskynních hlínách v relativně vysokých koncentracích (hlavně Co, Ni, Ba, Cu, V, Zn a Pb), je patrně vázána na jílové minerály nebo na organickou složku.

SUMMARY

The paper presents the main results of the sedimentary petrographical and geochemical research carried out in a part of the Javoříčko Caves. The Javoříčko Caves are situated in the northern part of the Konice-Mladeč Belt (northern Moravia, Czech republic). The Devonian predominately sparite limestones are the most widespread rock type in the Javoříčko Caves. Based on granulometric analyses, cave soils from the studied part of the Javoříčko Caves correspond mainly to sandy silt to gravelly-sandy silt. Rock fragments occurring in cave soils are composed essentially of local carbonate rocks (incl. sinters), minor quartzose rocks, mudstones, sandstones (incl. graywackes), pegmatites and phyllites are abundant.

LITERATURA

FABÍK, M., 1975: Výsledky ložiskového průzkumu vápenců konického devonu. *Sbor. GPO*, 9:15–28.

GRAF, D. L., 1960: Geochemistry of carbonate sediments and sedimentary carbonate rocks. Part III – Minor element distribution. Illinois State Geological Survey Urbana, Circular 301, s. 1–71.

KLEMENT, K., KRUTSKÝ, N., 1969: Stopové prvky v karbonátových horninách Českého masívu. *Nerostné suroviny*, I(5):91–112.

KONTA, J., 1973: Kvantitativní systém reziduálních hornin, sedimentů a vulkanoklastických usazenin. UK Praha.

ŠTELCL, J., ZIMÁK, J., 1997: Jeskynní hlíny Javoříčských jeskyní. *Geol. Výzk. Mor. Slez. v R. 1996*, 15–16. Brno.

TUREKIAN, K. K., WEDEPOHL, K. H., 1961: Distribution of the elements in some major units of the Earths crust. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 72:175–192.