

Paleomagnetické datování sedimentů v jeskyních Českého krasu

Paleomagnetic dating of cave sediments in the Czech Karst

Jaroslav Kadlec¹, Petr Schnabl¹, Petr Pruner¹, Lenka Lisá¹, Karel Žák², Jaroslav Hlaváč¹

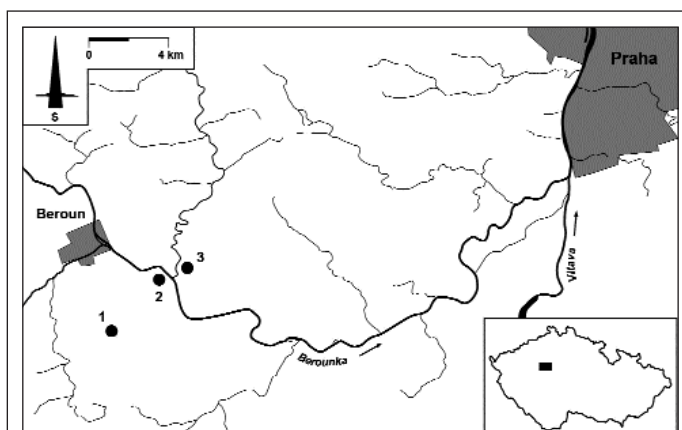
Abstract

The age of cave deposits exposed in four sections in the Czech Karst was estimated based on magnetic remanence record measured in the sediments. Obtained magnetic record corresponds to several possible age intervals of formation of studied deposits in the Koněpruské Caves are: more than 2,581 Ma (Gauss Chron), 1,95-1,77 Ma (Olduvai Event) or 1,070-0,99 Ma (Jaramillo Event), respectively. Studied cave sediments exposed in the Portálová and Nad Kačákem caves were deposited during the Brunhes Chron and are younger than 0,78 Ma. These paleomagnetic ages are in agreement with recently obtained results of U-series datings of flowstones deposited nearby studied sections.

1. Úvod

Sedimenty ukládané v jeskyních jsou cenným zdrojem informací o procesech odehrávajících se v podzemí i na povrchu krasu. Datování jeskynních sedimentů je často nezbytné pro dešifrování těchto procesů. V jeskynních systémech se často setkáváme s uloženinami vznikajícími ve vodním prostředí, které jsou většinou paleontologicky sterilní a tudíž nevhodné pro odhad stáří na základě klasických geologických metod. Určit přibližnou dobu ukládání takovýchto sedimentů lze však pomocí měření paleomagnetického záznamu zachovaného v jeskynních uloženinách (např. Bosák et al. 2003). V případě klastických sedimentů lze pro měření použít jíl až jemnozrnné písky ukládané ve vodním prostředí. Paleomagnetický záznam je možné zjišťovat i v sintrových vrstvách uložených v sedimentárních profilech. Velkou výhodou sintrů je, že je lze radiometricky datovat pomocí uranových řad (např. Harmon et al. 1975) a tím ověřit a doplnit interpretaci paleomagnetického stáří profilu (např. Kadlec et al. 2002).

V Českém krasu je počet profilů vhodných pro paleomagnetické datování omezen, protože jeskyně obsahují častěji buď hrubá klastika (valounové šterky), nebo sedimenty ukládané gravitačně jeskynními komínky. Jedním z prvních pokusů bylo datování sedimentů v Aragonitové jeskyni v Solvayových lomech (Kadlec et al. 1992). Tento příspěvek shrnuje výsledky pilotních paleomagnetických analýz profilů odkrytých na třech lokalitách Českého krasu - ve středním patře Koněpruských jeskyních, v Portálové jeskyni v lomu Montánka u Tetína a v jeskyni Nad Kačákem ve spodní části údolí Kačáku (obr. 1).



Obr. 1. Lokalizace jeskyní se zkoumanými sedimentárními profilemi.

1 - Koněpruské jeskyně, 2 - Portálová jeskyně, 3 - jeskyně Nad Kačákem

Fig. 1. Position of caves containing studied sedimentary sections.

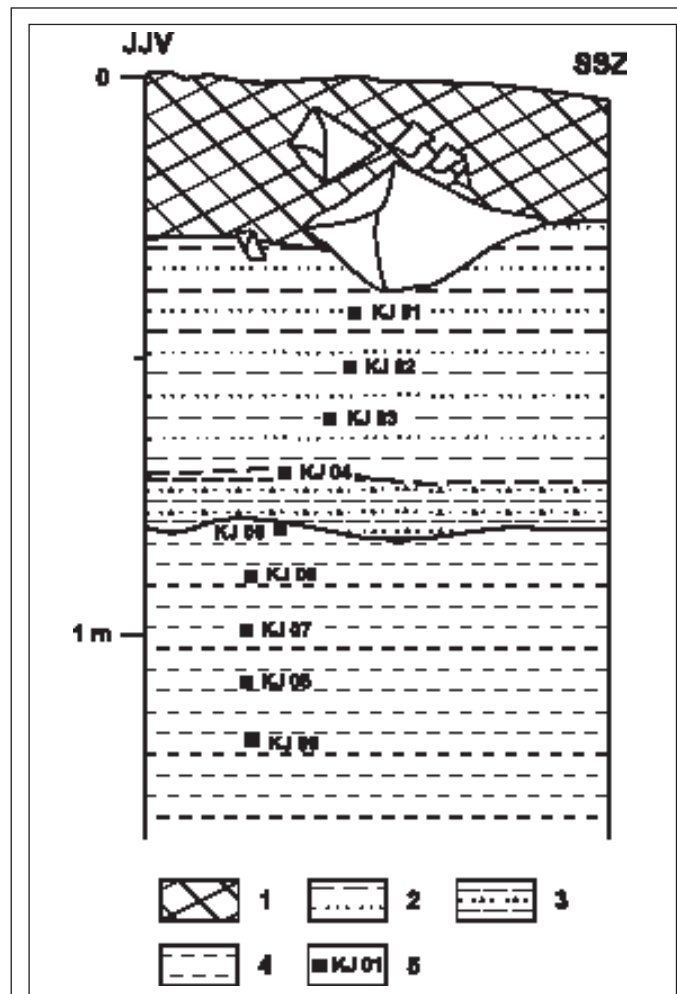
1 - Koněpruské Caves, 2 - Portálová Cave, 3 - Nad Kačákem Cave

2. Použité metody

Po detailní dokumentaci vybraných profilů byly odebrány orientované vzorky sedimentů do plastových krabiček 2 x 2 x 2 cm, které byly do profilů zatlačovány. Poté byly vzorky v paleomagnetické laboratoři demagnetovány z přirozeného stavu střídavým polem o intenzitě 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80 a 100 mT v demagnetizačním zařízení LDA-3. Remanentní magnetizace byla po každém demagnetizačním kroku měřena na rotačním magnetometru JR-5A (Jelínek 1966). Primární a sekundární složka přirozené rema-

nentní magnetizace (NRM) a magnetická polarita sedimentu (tzn. hodnota deklinace a inklinace vektoru magnetického pole v době ukládání sedimentu) byly odvozeny pomocí multi-komponentní analýzy (Kirsink 1980). Magnetické polaritě naměřené v sedimentárních profilech byly korelovány s normálními a reverzními magnetoerónami na datované škále paleomagnetických polarit (Cande a Kent 1995).

Na zařízení kappabridge KLY-2 byla měřena magnetická susceptibilita vzorků v přirozeném stavu (κ_n), anizotropie magnetické susceptibility (AMS) byla měřena na přístroji kappabridge KLY-3.



Obr. 2. Profil ve Staré chodbě Koněpruských jeskyní.

1 - vykopaný materiál, na bázi opadané stropní bloky vápence, 2 - jíl s písčnými laminami, 3 - jíl s vápencovými klasty, 4 - masivní jíl, 5 - pozice orientovaných vzorků.

Fig. 2. A section in the Stará chodba Passage in the Koněpruské Caves.

1 - excavated material with limestone blocks collapsed cave ceiling, 2 - clay with sandy laminae, 3 - clay with limestone clasts, 4 - massive clay, 5 - position of oriented samples.

¹ Geologický ústav Akademie věd ČR, Rozvojová 135, 165 02 Praha 6

² Státní geologická služba, Klárov 3, 121 18 Praha 1

Poděkování: Výzkum sedimentů Českého krasu je financován Grantovou agenturou České republiky (projekt č. 205/02/0449 - Jeskynní sedimenty a vývoj krasových jevů v údolí řeky Berounky v Českém krasu) a je součástí výzkumného záměru č. CEZ: Z3-013-912 Geologického ústavu AVČR.

Čes. kras (Beroun), 29 (2003), 21- 25, 6 obr., 4 tab.

ISSN 1211-1643

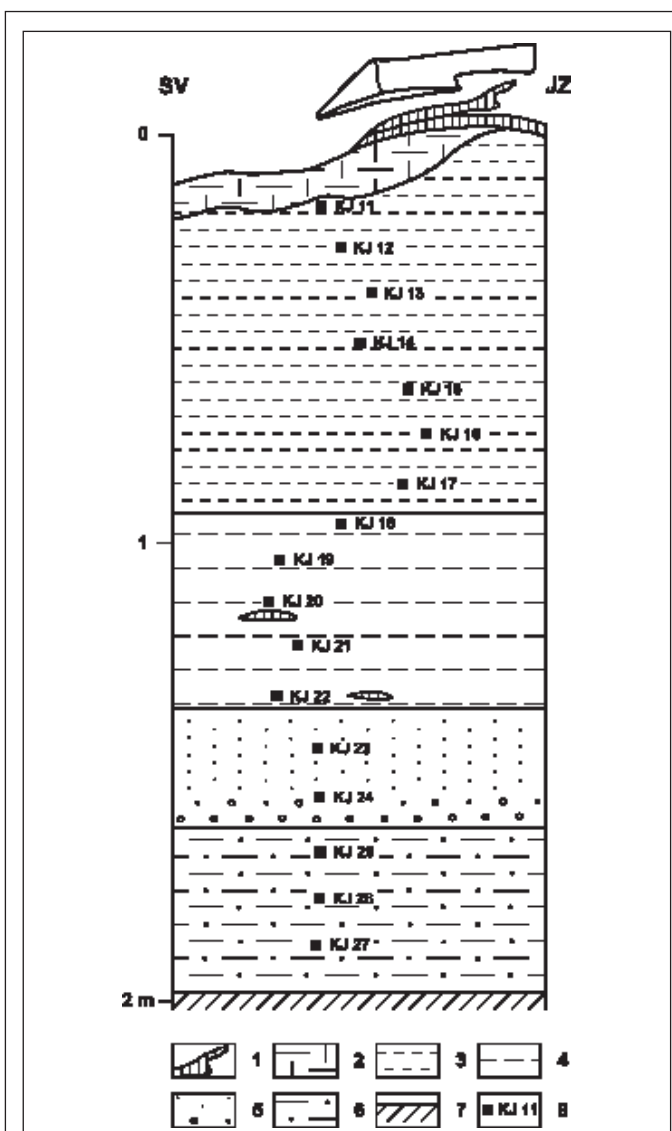
ISBN 80-902098-7-4

V sedimentech odkrytých ve dvou profilech v Koněpruských jeskyních byl orientačně stanoven obsah těžkých minerálů. Ze zrnitostní frakce 0,063-0,250 mm oddělené mokřím síťováním, byly vyseparovány těžké minerály pomocí Tetrabromethanu ($D = 2,964$). Získaná těžká frakce byla zalita do kanadského balzámu a určena v elektronovém mikroskopu. Mikroanalýza opakní frakce (detritický materiál nasypáný na uhlíkové pásce) byla zhotovena na přístroji Jeol JXA 50A-EDAX v laboratoři fyzikálních metod geologického ústavu AVČR. Rentgenové analýzy byly stanoveny pomocí rentgenového difraktografu Philips X'PERT APD v laboratoři fyzikálních metod geologického ústavu AVČR.

3. Popis sedimentárních profilů

3.1. Profily v Koněpruských jeskyních

Oba studované profily jsou ve středním patře jeskyní v blízkosti turistického okruhu. První z nich je odkryt ve střední části Staré chodby na její západní straně, ve výkopu krátké odbočky vedoucí k elektroinstalačnímu zařízení. Ve svrchní části profilu jsou pod kamenito-hlinitou navázkou ostrohranné vápencové kameny a bloky odpadlé od jeskynního stropu (obr. 2). Niž vystupuje hnědožlutý jíl s laminami jemnozrnného písku mocnými 0,1-1 cm. Ve spodní části této vrstvy se vyskytují četné ostrohranné vápencové klasty velké až 0,5 cm. Spodní část profilu tvoří okrově žlutohnědý masivní jíl, s ojedinělými tmavými šmouhami zbarvenými Mn-oxidy.

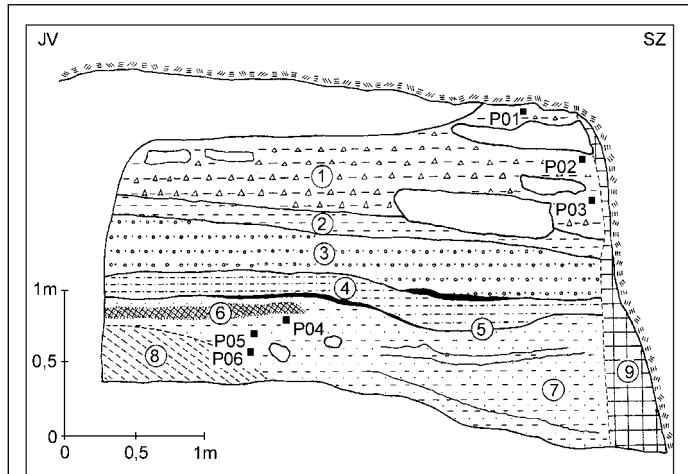


Obr. 3. Profil v zatáčce U Labuť v Koněpruských jeskyních.

1 - zvětralý sintr, 2 - cementovaný jíl, 3 - masivní jíl, 4 - laminovaný jíl s ččkami písku, 5 - jílovitý písek až písčité štěrky, 6 - jíl, 7 - pozice orientovaných vzorků.

Fig. 3. A section at the Labuť passage in the Koněpruské Caves.

1 - weathered flowstone, 2 - cemented clay, 3 - massive clay, 4 - laminated clay with sandy lenses, 5 - clayey sand to sandy gravel, 6 - clay, 7 - position of oriented samples.

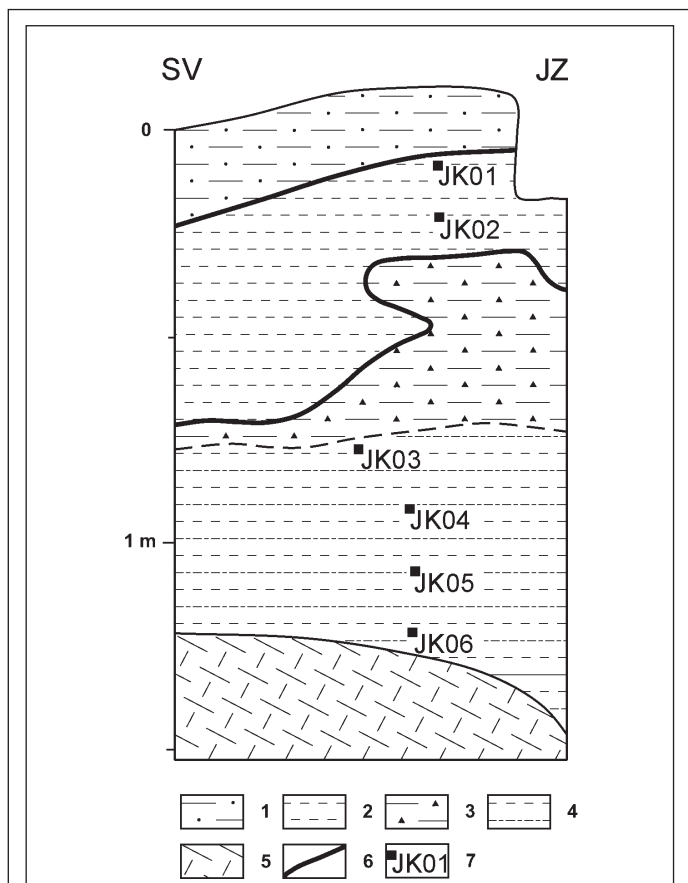


Obr. 4. Profil v Neviditelném domě v Portálové jeskyni.

1 - laminovaný jíl s vápencovými klasty a zřícenými stropními deskami, 2 - jíl, 3 - písčité štěrky, 4 - prachovitý písek s vápencovými klasty, 5 - laminovaný jíl, 6 - ččka vápencové sutě, 7 - prachovitý písek, 8 - zvětralý vápenc, 9 - vápencová suť, P 01-P 06 - pozice orientovaných vzorků.

Fig. 4. A section in the Neviditelný Room in the Portálová Cave.

1 - laminated clay with limestone clasts and collapsed ceiling blocks, 2 - clay, 3 - sandy gravel, 4 - silty sand with limestone clasts, 5 - laminated clay, 6 - limestone scree lens, 7 - silty sand, 8 - weathered limestone, P 01-P 06 - position of oriented samples.

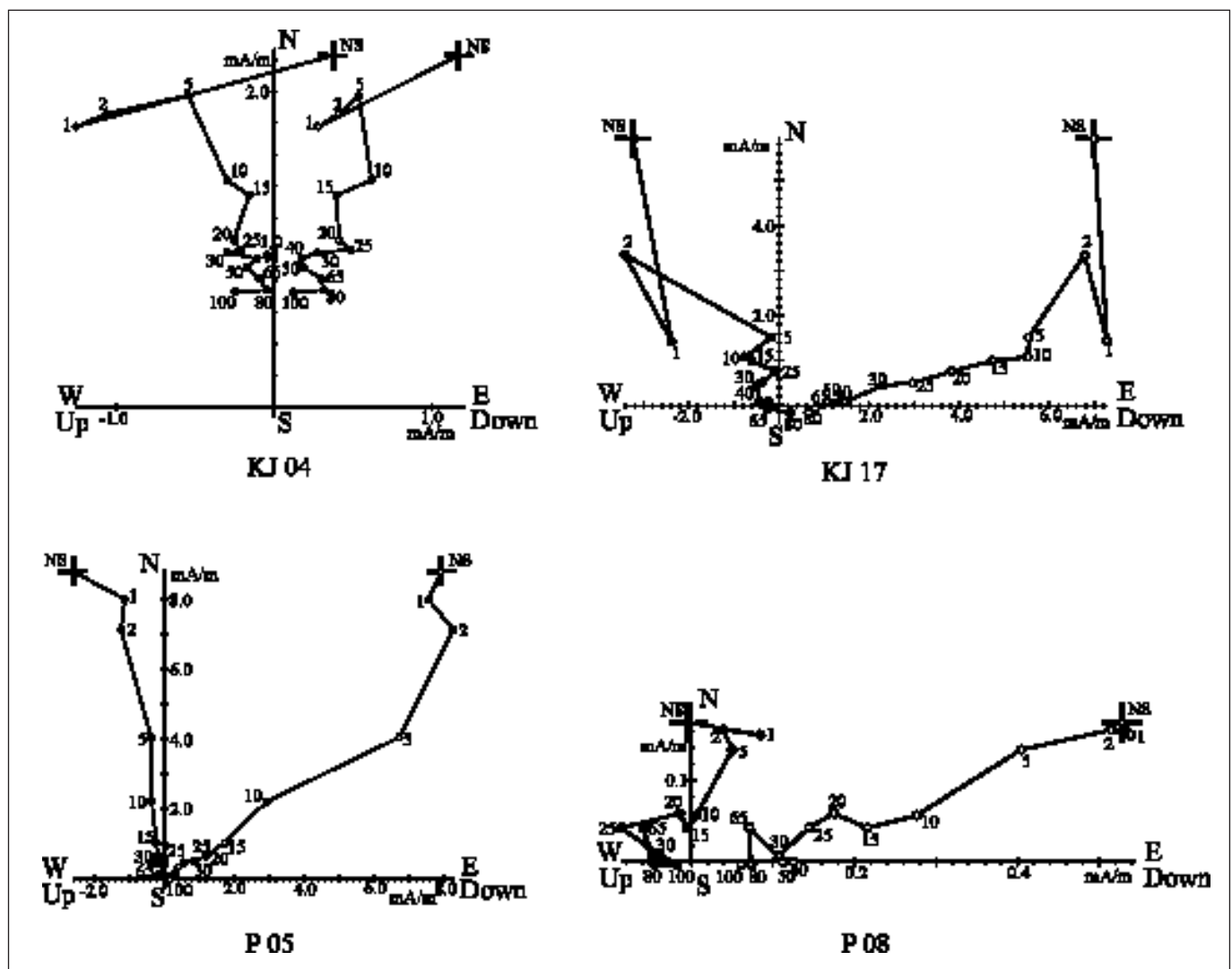


Obr. 5. Profil ve Sněmovním domě v jeskyni Nad Kačákem.

1 - jílovitý písek, 2 - masivní jíl, 3 - písčité prach s vápencovými klasty, 4 - písčité prach, 5 - vykopaný materiál, 6 - vrstvy zbarvené Mn-oxidy, 7 - pozice orientovaných vzorků.

Fig. 5. A section in the Sněmovní Room in the Nad Kačákem Cave.

1 - clayey sand, 2 - massive clay, 3 - sandy clay with limestone clasts, 4 - sandy silt, 5 - excavated material, 6 - layers coloured by Mn-oxides, 7 - position of oriented samples.



Obr. 6. Průběh vektoru magnetického pole ve vzorcích KJ 02, KJ 17, P 05, P 08 během demagnetizace střídavým polem.

Plné kroužky - průmět do roviny xy, prázdné kroužky - průmět do roviny xz.

Fig. 6. Behavior of magnetic field vector during AF field demagnetization of samples KJ 02, KJ 17, P 05, P 08.

Full circles - projection into xy plane, empty circles - projection into xz plane.

Druhý studovaný profil je odkryt v zatáčce U labutě vedle chodníku pro návštěvníky, ve směru prohlídky podél sestupného schodiště před Labutí. Klastické sedimenty nacházející se ve spodní části profilu jsou zčásti překryty polohami rezavě hnědého zvětřelého sintru a opadanými stropními deskami (obr. 3). Pod sintrem je uložen červenohnědý až šedý jíla částečně cementovaný karbonátem vysráženým ze skapových vod. V tomto jílu se vyskytují karbonátové konkréty až 20 cm velké. Níže v profilu vystupuje žlutohnědý masivní jíla, drobtovitě rozpadavý, při povrchu zbarvený tmavým pigmentem. Níže se uložil laminovaný červenohnědý jíla s ojedinělými čočkami diagonálně zvrstveného písku (směr proudění vody k SV) obsahujícím valounky křemene o velikosti do 0,3 cm. Ve spodní části profilu vystupuje žlutohnědý jemně až středně zrnitý jílovitý písek, při bázi vrstvy je uložen písčité štěrčík s valounky křemene do 0,2 cm. Bázi profilu tvoří hnědý slabě písčité jíla. Na klastických sedimentech leží dále směrem k jihu několik metrů mocný komplex zřícených stropních desek, v jejichž horní partii se nachází laminovaná sintrová poloha asi 7 cm mocná.

3.2. Profil v Portálové jeskyni

Profil byl odkryt výkopy Tetínských jeskyněňářů v tzv. Neviditelném domě v z. části jeskyně, výškově zhruba 28 m nad současnou hladinou Berounky. Grafická i textová dokumentace profilu (obr. 4) je převzata z diplomové práce Mühlhorda (2003). Horní část profilu tvoří hnědé laminované jíly s vápencovými klasty a zřícenými stropními deskami (vrstva č. 1). V podloží je uložen tmavě hnědý jíla (č. 2). Pod ním vystupuje písčité štěrčík s poloostrohrannými až zaoblenými valounky křemene o průměrné velikosti 0,3 cm, maximálně 5 cm velké (č. 3). Níže se vyskytuje hnědý písčité prach až prachovitý písek s drob-

nými vápencovými klasty (č. 4) a pod ním vrstvička tvořená útržky redeponovaného hnědého laminovaného jílu (č. 5). Ve spodní části profilu je uložen hnědý prachovitý písek (č. 7) s klasty vápence a čočkou vápencové suti v horní části (č. 6). Mezi profilem a stěnou jeskyně se uložila vápencová suť s jílovitou matrix (č. 9). Podloží profilu tvoří vápenc (č. 8) zvětřelý na tzv. bílé vrstvy (viz Žák et al. 2001a).

3.3. Profil v jeskyni Nad Kačákem

Profil byl odkryt v tzv. Sněmovním domě, tedy ve stupni ze hlavní chodby staré části jeskyně do tzv. Rotundy, zhruba 70 m od vchodu do jeskyně. Horní část profilu (obr. 5) tvoří šedo-hnědý jílovitý písek. Pod ním je uložen hnědý masivní jíla, na jehož bázi i povrchu se vysrážely Mn-oxidy v podobě vrstviček černé sazovité hmoty. Přítomnost Mn byla ověřena analyticky (15,6 % Mn, metoda FAAS, laboratoře ČGS, podle RTG determinace je hlavním minerálem todorkit). Hluběji vystupuje hnědý písčité prach s četnými ostrohrannými vápencovými klasty velkými až 1 cm. Ve spodní části profilu vystupuje šedo-hnědý slabě písčité prach. Studovaný profil leží několik metrů v nadloží souvrství světlých písků, které se místy nacházejí v hlavní chodbě staré části jeskyně a které byly Žákem et al. (2001b) na základě studia těžkých minerálů řazeny do micoénu.

4. Stáří jeskynních sedimentů

4.1. Koněpruské jeskyně

Z profilu ve Staré chodbě bylo odebráno 9 orientovaných vzorků, jejichž polarita je normální (tab. 1, obr. 6). Měření AMS ukázalo, že magnetické minerály nejsou v profilu uloženy horizontálně (jak by tomu mělo být v přípa-

dě klidné sedimentace ze suspenze), ale uklání se zhruba pod úhlem 25° k Z. Je to pravděpodobně způsobeno sklonem dna Staré chodby a ukládáním sedimentů na takto ukloněném podloží. Hodnoty magnetické deklinace a inklinace byly o tento náklon opraveny.

V těžké frakci zcela převládají opakní minerály (99%). Předběžnou mikroanalýzou opakní frakce, byly zjištěny dvě dominantní složky. V první řadě jsou zde minerály s převahou FeO (50-89%), v druhém případě se jedná o opakní minerál s menším obsahem FeO (8-25%). Rentgenovou analýzou byl stanoven goethit a pyrit. Jedná se tedy zřejmě o produkty zvětvování typu goethitu. Vysoký obsah opakních minerálů je charakteristický spíše pro kvartérní sedimenty (Mühldorf 2003, Žák et al. 2001b, Růžicková a Minaříková 1991). Také naměřené hodnoty κ_n odpovídají spíše kvartérním sedimentům. Například spodno a střednomiocenní fluvialní jíly z pískovny U ručiček a z Vižiny mají hodnoty κ_n většinou menší než 50 [10^{-6} SI].

Č. vzorku	J_n [mA/m]	κ_n [10^{-6} SI]	D	I	Polarita
KJ 01	1,312	78	238	38	N
KJ 02	8,537	362	338	16	N
KJ 03	3,729	312	236	64	N
KJ 04	2,543	148	343	7	N ?
KJ 05	4,931	144	56	21	N
KJ 06	1,217	158	67	30	N
KJ 07	1,196	176	94	20	N
KJ 08	7,820	186	71	2	N ?
KJ 09	2,746	206	28	17	N

Tab. 1. Koněpruské jeskyně, Stará chodba - magnetické parametry sedimentů. J_n - remanentní magnetizace v přirozeném stavu, κ_n - objemová magnetická susceptibilita v přirozeném stavu, D - deklinace vektoru magnetického pole, I - inklinace vektoru magnetického pole.

Tab. 1. Koněpruské Caves, Stará chodba passage - magnetic properties of sediments. J_n - remanent magnetization in natural state, κ_n - volume magnetic susceptibility in natural state, D - declination, I - inclination

Č. vzorku	J_n [mA/m]	κ_n [10^{-6} SI]	D	I	Polarita
KJ 11	13,17	372	163	72	N
KJ 12	8,069	313	118	62	N
KJ 13	2,160	288	141	-30	R
KJ 14	9,901	214	321	68	N
KJ 15	2,863	88	330	46	N
KJ 16	8,501	219	270	64	N
KJ 17	8,724	208	327	77	N
KJ 18	5,429	165	298	60	N
KJ 19	4,459	203	41	21	N
KJ 20	1,486	141	41	29	N
KJ 21	1,728	130	188	81	N-R ?
KJ 22	2,895	137	24	17	N
KJ 23	6,033	165	5	6	N ?
KJ 24	3,705	153	267	70	N
KJ 25	2,620	168	14	32	N
KJ 26	4,825	161	43	11	N
KJ 27	5,555	218	274	44	N

Tab. 2. Koněpruské jeskyně, zátáčka U labutě - magnetické parametry sedimentů. Vysvětlivky - viz. tab. 1.

Tab. 2. Koněpruské Caves, section at Labut passage - magnetic properties of sediments. For explanation see Tab. 1.

Horáček (2000) uvádí ze sondy v Proškově dómu nálezy spodnopleistocenní fauny ve žlutavých sedimentech. Není vyloučeno, že se jedná o obdobné staré sedimenty jako v profilu ve Staré chodbě. V tomto kontextu je možné výsledek paleomagnetického měření interpretovat jako pravděpodobné stáří sedimentů v následujících časových intervalech: starší než 2,581 milionu let (chrona Gauss) nebo 1,95-1,77 milionu let (Olduvai event), případně 1,070-0,99 milionu let (Jaramillo event).

Z profilu v zátáčce U labutě odebráno 17 orientovaných vzorků, jejichž polarita je normální (tab. 2, obr. 6), kromě vzorku KJ 13, který vykazuje reverzní polaritu a vzorku KJ 21, který má spíše přechodný charakter. V těžké frakci jsou opět ve výrazné převaze opakní minerály (cca. 95 %). Dále jsou zastoupeny zonální zirkony, rutil, kyanit, turmalín, biotit, apatit a karbonáty. Výsledky mikroanalýzy opakní frakce jsou stejné jako u předchozího vzorku. Výsledky z rentgenové analýzy prokázaly navíc přítomnost chamositu a berthierinu. Větší pestrost složení těžkých minerálů je způsobena hrubší zrnitostí sedimentů. Pro vysoký obsah opakních minerálů i hodnoty κ_n platí to samé jako u předcházejícího profilu.

V nadloží profilu se nachází několik metrů mocný komplex vápencových lavic uvolněných ze stropu jeskyně. Stáří sintrové polohy z horní části tohoto souvrství bylo určeno Th/U metodou na 276 +71/-43 tisíce let (H. Hercman - osobní sdělení, 2003). Tento výsledek je v souladu se starším nálezem fauny v těsném podloží datovaného sintru s fragmenty ulity Campylea capeki, představující spodnopleistocenní indexový druh (I. Horáček - osobní sdělení, 2003).

Na základě naměřených magnetických polarit lze interpretovat pravděpodobné stáří sedimentů do stejných intervalů jako v případě profilu ve Staré chodbě.

4.2. Portálová jeskyně

Z profilu bylo odebráno 6 orientovaných vzorků, jejichž polarita je ve všech případech normální (tab. 3, obr. 6). Dá se předpokládat, že se sedimenty uložily během současné normální magnetozóny Brunhes a jsou mladší než 780 tisíc let (tj. hranice magnetozón Brunhes a Matuyama). Tuto interpretaci podporuje i stáří sintrové polohy překrývající fluvialní písčité šterky, které se uložily zhruba o 5 m níže v nedaleké Terasové jeskyni. Pomocí Th/U metody bylo zjištěno, že je sintr starý 181 +6,6/-6,2 tisíce let (H. Hercman - osobní sdělení, 2003).

Č. vzorku	J_n [mA/m]	κ_n [10^{-6} SI]	D	I	Polarita
P 01	17,33	618	17	45	N
P 02	12,12	616	353	58	N
P 03	10,90	558	19	60	N
P 04	0,901	75	335	63	N
P 05	0,554	61	320	76	N
P 06	0,800	81	11	64	N

Tab. 3. Portálová jeskyně - magnetické parametry sedimentů. Vysvětlivky - viz. tab. 1.

Tab. 3. Portálová Cave - magnetic properties of sediments. For explanation see Tab. 1.

4.3. Jeskyně nad Kačákem

Z profilu bylo odebráno 6 orientovaných vzorků, jejichž polarita je ve všech případech normální (tab. 4). Dá se tedy s největší pravděpodobností předpokládat, že se sedimenty uložily během současné normální magnetozóny Brunhes a jsou mladší než 780 tisíc let.

Závěry

1. Stáří sedimentů odkrytých v obou profilech v Koněpruských jeskyních je možné na základě převážně normálních polarit a starších poznatků o stratigrafii sedimentů v jeskyni interpretovat jako pliocenní (3,5-2,581 milionu let) nebo spodnopleistocenní (1,95-1,77, případně 1,070-0,99 milionu let).

2. Studované sedimenty v Portálové jeskyni a v jeskyni Nad Kačákem se uložily během středního, příp. svrchního pleistocénu. Zvláště významný je poznatek o středně pleistocenním stáří fluvialních sedimentů v Portálové jeskyni, potvrzené radiometrickým datováním sintru z nedaleké Terasové jeskyně. Tato informace bude hrát důležitou roli při rekonstrukci chování Berounky v Českém krasu během pleistocénu.

Č. vzorku	J_n [mA/m]	K_n [10 ⁻⁸ SI]	D	I	Polarita
JK 01	4,347	238	348	67	N
JK 02	0,388	158	228	57	N
JK 03	3,285	218	325	70	N
JK 04	4,150	221	354	64	N
JK 05	8,538	331	338	78	N
JK 06	2,888	186	78	52	N

Tab. 4. Jeskyně Nad Kačákem - magnetické parametry sedimentů
Vysvětlivky - viz. tab. 1.

Tab. 4. Nad Kačákem Cave - magnetic properties of sediments.
For explanation see Tab. 1.

Literatura

- Cande S.C. a Kent D.V. (1995): Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *J. geophys. Res.*, 100, B4, 6093-6095.
- Bosák P., Pruner P., Kadlec J. (2003): Magnetostratigraphy of Cave Sediments: Application and Limits.- *Studia Geophysica et Geodaetica*, 47(2), 301-330. Praha.
- Jelínek V. (1966): A high sensitivity spinner magnetometer.- *Stud. geophys. geodet.*, 10, 58-78. Praha.
- Harmon R.S., Thompson P., Schwarz H.P., Ford D.C. (1975): Uranium-series dating of speleothems. - *Natl. Speleol. Coc. Bull.*, 37, 21-33.
- Horáček I. (2000): Nálezy mladokenozoické fauny v českém krasu a jejich význam pro poznání morfogeneze této oblasti.- In Čílek V. a Bosák P. (Eds.): *Zlatý kůň, Kniha, Čes. speleol. Spol.*, Sv. 36, 40-48. Praha.
- Kadlec J., Jäger O., Kočí A. a Minaříková D. (1992): Stáří sedimentární jeskynní výplně v Aragonitové jeskyni.- *Čes. Kras (Beroun)*, 17, 16-23. Beroun.
- Kadlec J., Pruner P., Venhodová D., Hercman H. a Nowicky T. (2002): Stáří a geneze sedimentů v Šošůvské jeskyni.- *Acta Mus. Morav., Sci. geol.*, 87, 229-243. Brno.
- Kirschvink J. L., 1980: The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophys. J. Royal Astronom. Soc.*, 62, 699-718.
- Mühlendorf J. (1993): *Sedimentární výplně krasových dutin v údolí Berounky mezi Tetínem a Srbskem v Českém krasu*.- MS, dipl. práce, Přír. Fak. UK, 1-99.
- Žák K., Frýda J., Bruthans J., Kadlec J., Živor R. (2001a): Nová lokalita bílých vrstev v Portálové jeskyni v Kavčím lomu (Montánci) u Tetína (nálezozá zpráva).- *Čes. Kras (Beroun)*, 27, 36-39. Beroun.
- Žák K., Táborský Z., Lachmanová M. a Pudilová M (2001b): Využití těžkých minerálů při studiu alochtonních klastických jeskynních sedimentů Českého krasu.- *Čes. Kras (Beroun)*, 27, 5-14. Beroun.