

REKONSTRUKCE PALEOHYDROGRAFIE NA ZÁKLADĚ DATOVÁNÍ SEDIMENTŮ HOLŠTEJNSKÉ JESKYNĚ (MORAVSKÝ KRAS)

Reconstruction of paleohydrography based on dating of the Holštejnská
Cave deposits (Moravian Karst)

Jaroslav Kadlec¹, Helena Hercman², Tomasz Nowicki², Darryl Granger³, Pavel Šroubek⁴,
Jimmy F. Diehl⁴

¹ Geologický ústav Akademie věd České republiky, Rozvojová 135, 162 00 Praha 6, kadlec@gli.cas.cz

² Institute of Geological Sciences of the Polish Academy of Sciences, Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, Poland

³ Purdue University, West Lafayette, Indiana, 47907 USA

⁴ Michigan Technological University, Houghton, Michigan, 49931 USA

(24-23 Protivanov)

Key words: Moravian Karst, Quaternary, Holštejn Cave, sediments, dating

Abstract:

Large sections in cave deposits are exposed in the Holštejnská Cave in the Moravian Karst. The periods of fluvial activity alternated with periods of speleothem deposition. The study of the genesis and age of these cave deposits poses a clue to the reconstruction of development of the Holštejnská Cave and of local paleohydrographic history. The time of deposition was determined by U-series dating of speleothems, ¹⁰Be and ²⁶Al dating of quartz pebbles, radiocarbon dating of charcoal and measurement of paleomagnetic record in both clastic sediments and speleothems. The fluvial sediments were deposited during the Early, Middle and Late Pleistocene in the cave. The age of oldest cave sediment sequence deposited by a subsurface stream indicates that the local hydrographic situation has changed later than 0.8 Ma.

Úvod

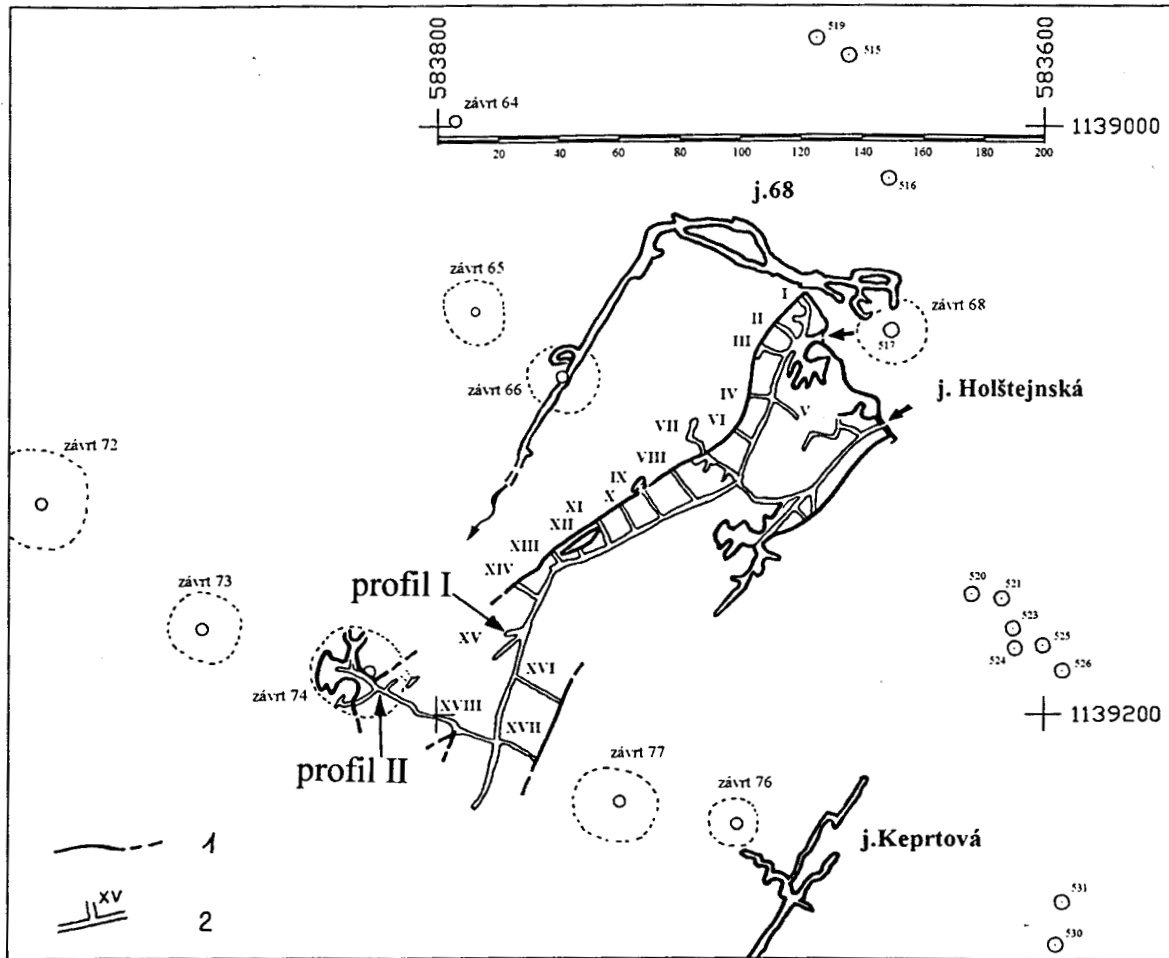
Holštejnská jeskyně se nachází při severním okraji Moravského krasu v poloslepém Holštejnském údolí. Jedná se o jeskyni ponorovou s ústím ležícím ve výšce 470 m n.m. Jeskyni tvoří horizontální chodba, která představuje horní úroveň rozsáhlého (z větší části dosud neznámého) jeskynního systému. Spodní úroveň tvoří jeskyně č. 68, která se nachází o 60 m hlouběji (obr. 1). Obě úrovně jsou propojeny vertikálními dutinami vyplněnými sedimenty.

Horizontální chodba Holštejnské jeskyně je 40-50 m široká a je vyplněna několika akumulacemi různě starých říčních sedimentů. Členové místní jeskyňářské skupiny vykopali v sedimentech Holštejnské jeskyně přes 700 m chodeb (obr. 1). Díky tomu je sedimentární výplň jeskynní chodby dokonale odkryta. Profily v Holštejnské jeskyni mají velký význam nejen pro rekonstrukci vývoje Holštejnského údolí, ale i pro objasnění paleohydrografických změn, ke kterým došlo v této části Moravského krasu i v přilehlém území tvořeném nekrasovými sedimenty spodnokarbonského stáří. Studiu sedimentů Holštejnské jeskyně se věnovali Příbyl (1973), Glozar (1979), Vít (1990, 1997), Vít - Zatloukal (1996), Otava - Vít (1992) a Kadlec (1997).

Sedimenty Holštejnské jeskyně

Ze sedimentárních defilé odkrytých v Holštejnské jeskyni byly vybrány profily v rozrážce č. XV (profil I) a v rozrážce č. XVIII (profil II) - viz obr. 1. Profil I je kolmý na směr proudění podzemního toku. Profil II je orientován podélně se směrem proudění toku.

V profilu I jsou odkryty všechny tři akumulace fluviálních sedimentů (obr. 2). Nejstaršími sedimenty (akumulace I) jsou středně zrnité písčité štěrky, často stmelené CaCO₃. Ve štěrcích převládají polozaoblené až zaoblené valouny droby o průměrné velikosti 5 cm, maximálně jsou 15 cm velké. Droba je silně zvětralá. Na povrchu písčitých štěrků je zachován relikt písčitého prachu. Akumulaci I překrývají sintrové vrstvy zachované v reliktech (obr. 2). Prostřední akumulace II fluviálních sedimentů je tvořena jílovitými prachy bez náznaků zvrstvení. Ojedinele se v těchto sedimentech vyskytují čočkovité polohy písčitých štěrků a bloky vápence nebo sintru. Také na povrchu této akumulace se zachovaly reliktové sintrové vrstvy (obr. 2). Nejmladšími říčními sedimenty (akumulace III) jsou horizontálně, místy diagonálně zvrstvené středně až hrubě zrnité písky až drobnozrné písčité štěrky střídající se s polohami jílovitého prachu. Sedimenty vyplňují koryta zahloubená do obou starších akumulací fluviálních sedimentů. Ojedinele se v horní části nejmladších říčních sedimentů akumulace III vyskytují



Obr. 1 - Mapa Holštejnské jeskyně a jeskyně č. 68 s vyznačením studovaných profilů I a II (převzato z Vít - Zatloukal 1996): 1 - vápencová stěna jeskynní chodby, 2 - chodby vykopané v jeskynních sedimentech.

Fig. 1 - Map of the Holštejnská and No. 68 caves with position of studied sedimentary sections (after Vít - Zatloukal 1996): 1 - limestone wall of the cave corridor, 2 - corridors excavated in cave deposits.

čočkovité polohy drobnozrnných písčitých šterků s polozaoblenými až zaoblenými křemennými valounky velkými do 2 cm, které byly do jeskyně redeponovány komíny z výplní závrťů na povrchu krasové oblasti.

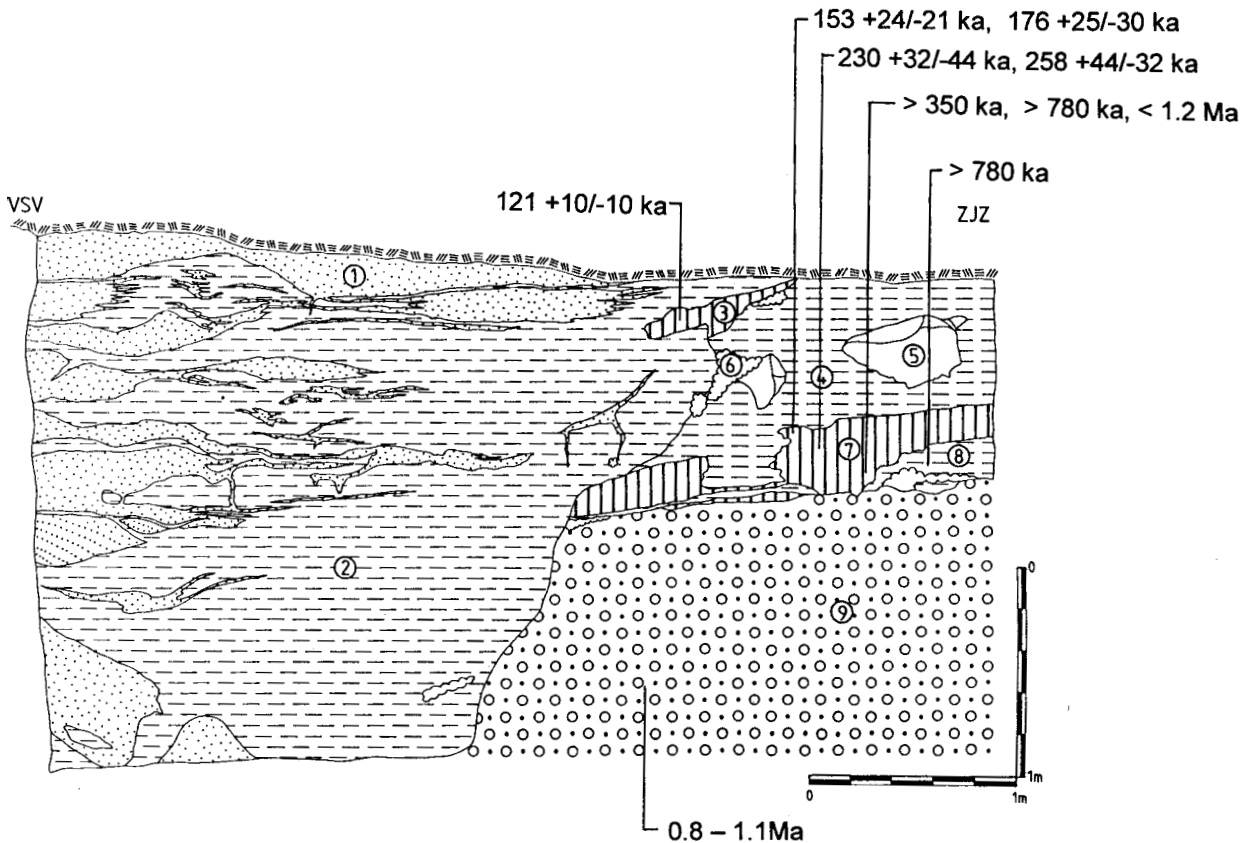
V profilu II jsou zachovány pouze sedimentární akumulace I a III (obr. 3). Prostřední akumulace byla erodována podzemním tokem. Starší fluvialní písčité šterky (akumulace I) tvoří středně zrnité písčité šterky s polozaoblenými až zaoblenými valouny droby o průměrné velikosti 3 cm, maximálně jsou 15 cm velké. Na ně nasedá souvrství tvořené polohami písčito-jílovitého prachu a středně zrnitého písku (akumulace III). Povrch těchto nejmladších říčních sedimentů byl erodován vodami přitékajícími krasovým komínem, pod kterým se profil II nachází. Komínem komunikuje jeskyně se závrtem č. 74 na krasové planině (viz obr. 1). Po skončení fluvialní sedimentace se na povrchu nejmladších říčních sedimentů vysrážela vrstva jeskynního karbonátu (sintru). Karbonát stmelil závalky podložního jílovitého prachu. Na sintrové vrstvě vyrostly až 32 cm vysoké stalagmity tvořené bílým karbonátem se světle šedými laminami.

Nejmladšími sedimenty v profilu II jsou šedohnědé až šedé jílovité prachy místy laminované, většinou však

masívní textury bez náznaků zvrstvení. Tyto sedimenty obklopují spodní konce delších brček visících ze stropu jeskynní chodby (obr. 3).

Použité metody datování

Klastické i chemogenní sedimenty Holštejnské jeskyně byly datovány pomocí několika nezávislých metod. Jeskynní karbonáty byly datovány metodou $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ (viz např. Harmon et al. 1975) v Uranium-Series Laboratory Geologického ústavu Polské Akademie věd ve Varšavě a v Centre d'Etudes et de Recherches Appliquées au Karst, Faculté Polytechnique de Mons v Belgii. Stáří fluvialní akumulace I bylo zjištěno pomocí měření obsahu izotopů ^{10}Be a ^{26}Al v křemenných valounech. Touto metodou lze zjistit, kdy byly sedimenty naposledy vystaveny vlivům kosmického záření před transportem do jeskyně (viz Nishiizumi et al. 1986). Datování bylo provedeno na Purdue University v Indianě v USA. V klastických i chemogenních sedimentech byl měřen paleomagnetický záznam pro určení stáří pomocí porovnání paleomagnetického záznamu ze sedimentů se známou datovanou paleomagnetickou škálou. Měření orientovaných vzorků bylo prováděno



Obr. 2 - Sedimentární profil v rozřázcce č. XV s výsledky datování sedimentů. Fluviální akumulace III: 1 - písky, 2 - jílovité prachy, 3 - relikt sintrové vrstvy; fluviální akumulace II: 4 - jílovitý prach, 5 - bloky sintru, 6 - prach stmelený CaCO_3 , 7 - relikt sintrové vrstvy; fluviální akumulace I: 8 - písčité prach, 9 - písčité štěrky.

Fig. 2 - Sedimentary section exposed in corridor No. XV with dating results. Fluvial sequence III: 1 - sand, 2 - clayey silt, 3 - relic of flowstone layer; fluvial sequence II: 4 - clayey silt, 5 - speleothem blocks, 6 - silt cemented by CaCO_3 , 7 - relic of flowstone layer; fluvial sequence I: 8 - sandy silt, 9 - sandy gravel.

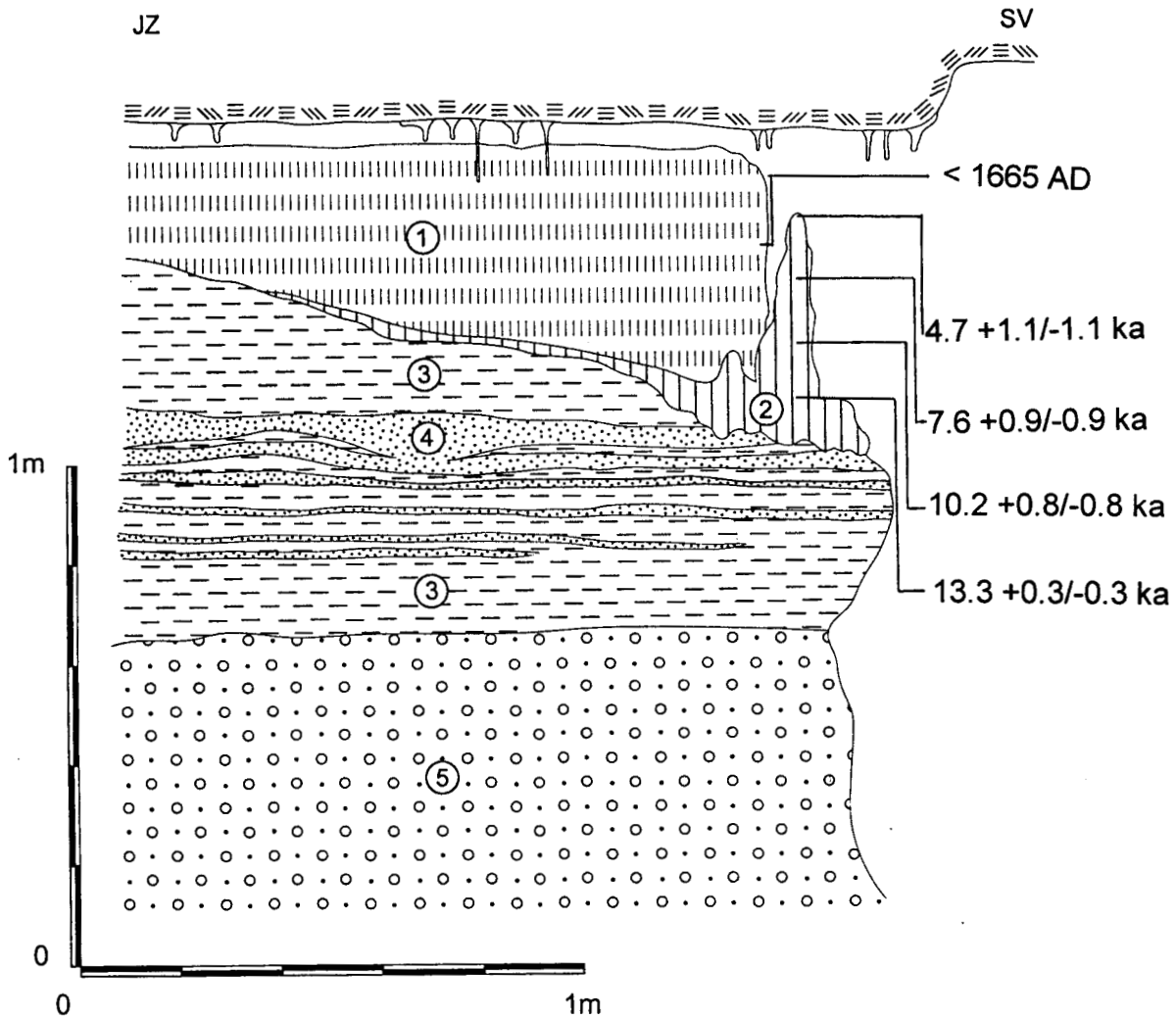
v paleomagnetických laboratořích Geologického ústavu AVČR a Michigan Technological University v USA. Radiokarbonové datování uhlíku bylo zadáno do Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory va Floridě v USA.

Výsledky datování sedimentů

Stáří nejstarších fluviálních písčitéch štěrků tvořících akumulaci I (viz obr. 2) stanovené pomocí izotopů ^{10}Be a ^{26}Al ve valounech křemene je 0,8 - 1,1 milionu let (Kadlec et al. 1999). Fluviální písčité prachy uložené na povrchu těchto písčitéch štěrků mají inverzní paleomagnetickou orientaci indikující, že jsou starší než paleomagnetická hranice Brunhes/Matuyama - tj. 780 tisíc let. Sintrová vrstva zachovaná v reliktu na povrchu akumulace I má dvě části oddělené prachovou laminou. Spodní část karbonátové vrstvy má inverzní paleomagnetickou orientaci - viz obr. 4 (Šroubek and Diehl 1995) a $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ stáří přesahující limit této metody - tj. 350 tisíc let (Hercman et al. 1997). Poměry izotopů ^{230}Th a ^{234}U v karbonátu však indikují stáří menší než 1,2 milionu let. Znamená to, že spodní část sintrové vrstvy a podložní písčité prach jsou starší než paleomagnetická hranice

Brunhes/Matuyama - tj. 780 tisíc let. Stáří horní části sintrové vrstvy (nad prachovou laminou) je podle výsledků $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ datování 230 +32/-44 tisíc let a 176 +25/-30 tisíc let (viz obr. 2). Podobné hodnoty ukázalo první datování sintrů z horní části této sintrové polohy v roce 1994: 258 +44/-32 a 153 +24/-21 tisíc let (Glazek et al. 1995). Z uvedených poznatků vyplývá, že hiát v tvorbě sintru je dlouhý zhruba 500 tisíc let.

Sintrová vrstva tvořící relikt v nadloží fluviální akumulace II je podle $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ datování stará 121 +10/-10 tisíc let. Vyplývá z toho, že fluviální jílovité prachy akumulace II se uložily během předposledního glaciálu v období mezi 153 +24/-21 a 121 +10/-10 tisíci lety. Poslední datum určuje zároveň maximální stáří báze fluviální akumulace III (viz obr. 2). Ukončení ukládání těchto nejmladších jílovitých prachů, písků a drobnozrnných písčitéch štěrků je dáno stářím sintrové vrstvy se stalagmity uložené na povrchu akumulace III a odkryté v rozřázcce č. XVIII - viz obr. 3. Stalagmit vysoký 32 cm byl v osní části datován na čtyřech místech $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ metodou. Báze stalagmitu vznikla před 13,3 +0,3/-0,3 tisíci lety, špička je stará 4,7 +1,1/-1,1 tisíce let. Nejmladší fluviální akumulace III se tedy uložila v průběhu posledního glaciálu.



Obr. 3 - Sedimentární profil v rozřáze č. XVIII s výsledky datování sedimentů: 1 - infiltrační jílovité prachy, 2 - sintrová vrstva se stalagmity; fluviaální akumulace III: 3 - jílovité prachy, 4 - písky; fluviaální akumulace I: 5 - písčité štěrky.
 Fig. 3 - Sedimentary section exposed in corridor No. XVIII with dating results: 1 - infiltration clayey silt, 2 - flowstone layer with stalagmites; fluvial sequence III: 3 - clayey silt 4 - sand; fluvial sequence I: 5 - sandy gravel.

Stáří infiltračních sedimentů v profilu II dokládá stáří uhlíku odebraného se střední části polohy jílovitých prachů - viz obr. 3. Výsledky radiokarbonové analýzy po korekci s dendrochronologickou škálou ukázaly, že uhlík je mladší než rok 1665.

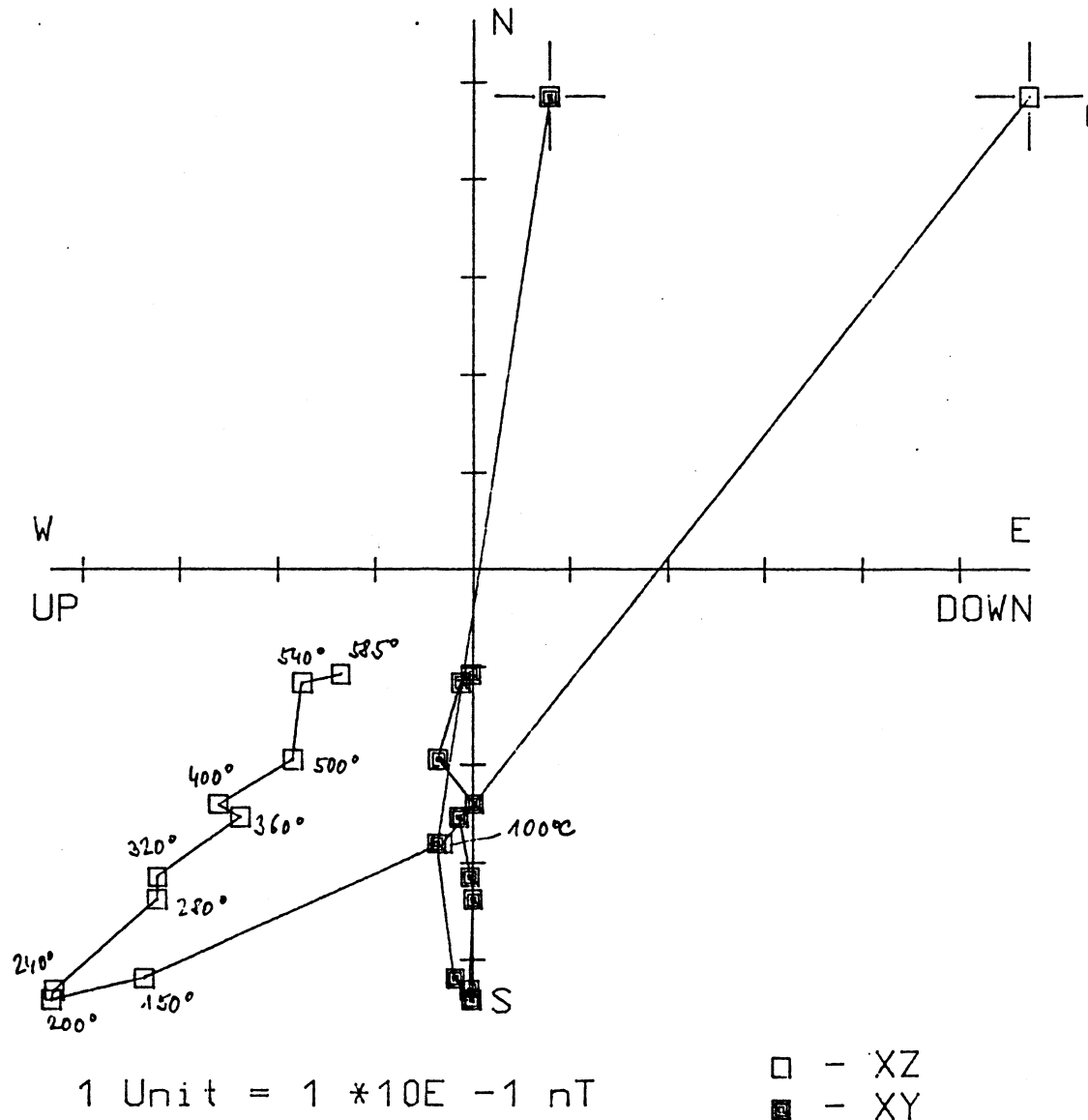
Rekonstrukce paleohydrografických změn

Ukládání sedimentů v Holštejské jeskyni je úzce spojeno s vyplňováním poloslepého Holštejského údolí fluviaálními sedimenty, jejichž mocnost dosahuje v západní části údolí 60 m (Kadlec 1996b). Stáří fluviaální akumulace I v Holštejské jeskyni (0,8–1,1 milionu let) dokládá, že v této době (tj. na konci spodního pleistocénu) muselo být Holštejské údolí vyplněno fluviaálními sedimenty přibližně do dnešní výšky, aby mohl vodní tok vtékat do jeskyně.

Holštejským údolím dnes protéká Bílá voda, která se propadá v jižní části údolí v jeskyni Nová Rasovna. Studium litologie valounů písčitého štěrku odkrytých

v Holštejské jeskyni zjistili Příbyl (1973) a Glozar (1979), že se s největší pravděpodobností nejedná o fluviaální sedimenty z povodí Bílé vody. Dnešní Bílá voda transportuje valouny droby (83-94 %) a prachovců s břidlic (6-17 %) z rozstáňského souvrství (Kadlec 1996a). V menší míře také valouny droby z povodí protivanovského. Otava a Vít (1992) zjistili, že asociace průsvitných těžkých minerálů ve fluviaálních píscích z Holštejské jeskyně neodpovídají zdrojovým horninám rozstáňského souvrství, pro které je charakteristická převaha granátu nad epidotem. Tito dva autoři vysvětlují tuto skutečnost tak, že do Holštejského údolí přitékal ze severu tok z povodí dnešní Luhy - tj. z území tvořeného drobami protivanovského souvrství s asociací těžkých minerálů s převahou epidotem nad granátem. Tok proudil Holštejskou jeskyní, kde uložil sedimenty s asociací těžkých minerálů protivanovského souvrství (Otava a Vít 1992). Bílá voda v té době proudila směrem k jihu a vlévala se do Malé Hané (viz Kettner 1960).

Datování jednotlivých fluviaálních akumulací

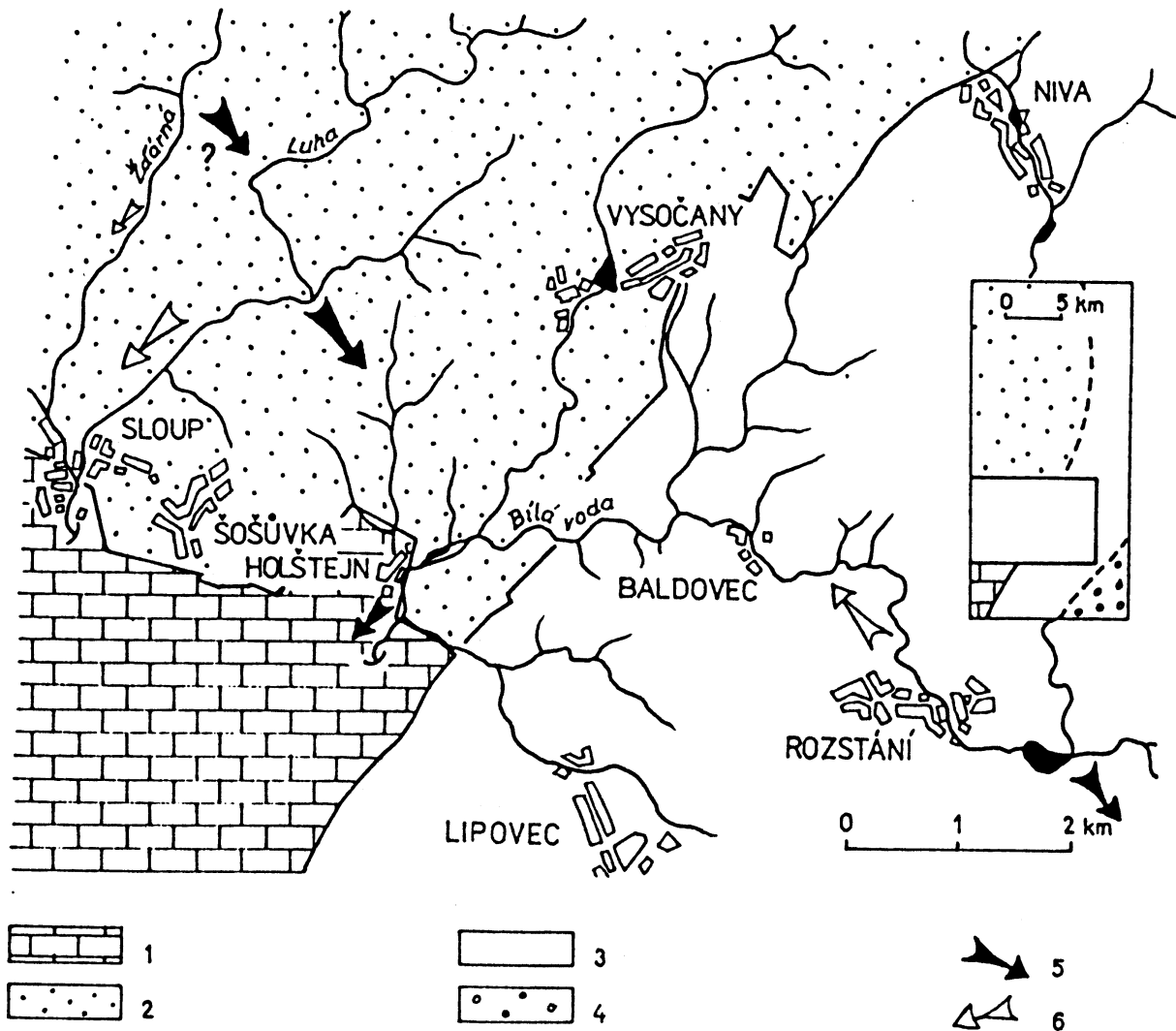


Obr. 4 - Průběh tepelné demagnetizace orientovaného vzorku ze spodní části sintrové vrstvy uložené na povrchu nejstarších fluviálních písčitých štěrků (akumulace I): XZ - hodnoty inklinace ve svislé rovině, XY - hodnoty deklinace v horizontální rovině. Při zvyšování teploty (od 2401) směřuje vektor magnetizace ze shora dolů, což je opačně, než je tomu v současnosti. Jedná se tedy o sediment s inverzní paleomagnetickou orientací.

Fig. 4 - Thermal demagnetization of lower portion of the flowstone layer covering the oldest fluvial sandy gravel (sequence I): XZ - inclination plane, XY - declination plane. A vector of magnetization is tending from up to down and it means that this sediment reveals reversal paleomagnetic orientation.

uložených v Holštejské jeskyni umožňuje rekonstruovat časovou posloupnost těchto hydrografických změn. Nejstarší fluviální sedimenty odkryté v jeskyni (akumulace I) pochází podle těžkých minerálů i litologie valounů z protivanovského souvrství v povodí dnešní Luhy (obr. 5). Vodní tok transportoval sedimenty do jeskyně na konci spodního pleistocénu před 0,8 - 1,1 milionem let. Prostřední fluviální akumulace II se uložila v Holštejské jeskyni na konci středního pleistocénu. V té době však již do Holštejského údolí proudila Bílá voda. Dokládají to fluviální sedimenty odkryté v údolí v profilu pod zříceninou hradu Holštejn. Tyto sedimenty s normální paleomagnetickou orientací jsou řazeny do středního pleistocénu na základě mikromorfologické analýzy půdního sedimentu

zachovaného v reliktu v profilu (Smolíková - Kadlec 1993). Asociace těžkých minerálů z fluviálních sedimentů odkrytých v tomto profilu odpovídá sedimentům transportovaným Bílou vodou (Vít 1996). Znamená to, že ve druhé polovině středního pleistocénu proudila Holštejským údolím a tudíž i Holštejskou jeskyní Bílá voda. Pokud se v akumulaci II v jeskyni objevují těžké minerály z protivanovského souvrství, musí se jednat o sedimenty redeponované z podložní fluviální akumulace I. Ke změně hydrografie, po které došlo se otočení toku Bílé vody k Z směrem do Holštejského údolí došlo během první poloviny středního pleistocénu. Tok Luhy stočil svůj průběh k JZ a začal proudit do Sloupského údolí. Otázka příčiny této hydrografické změny zůstává otevřená.



Obr. 5 - Paleohydrografická rekonstrukce toků s. a sv. od Moravského krasu (převzato z práce Otava - Vít 1992): 1 - vápence svrchního devonu (macošské souvrství), 2 - brodecké droby (protivanovské souvrství), 3 - droby a břidlice (rozstáňské souvrství), 4 - slepence a droby (myslejovické souvrství), 5 - starší směr odvodňování, 6 - současný směr odvodňování.

Fig. 5 - Paleohydrographic reconstruction of drainage pattern north and northeast of Moravian Karst (after Otava - Vít 1992): 1 - upper Devonian limestones (Macocha Formation), 2 - Brodek Mb. greywackes (Protivanov Formation), 3 - greywackes and shales (Rozstání Formation), 4 - conglomerates and greywackes (Myslejovice Formation), 5 - former drainage direction, 6 - modern drainage direction.

Kettnerův (1960) předpoklad, že změna hydrografie s. od Moravského krasu byla způsobena pirátstvím toků vyvolaným rychlým zahloubením erozní báze Svitavy během kvartéru může být správný, stejně jako tektonické příčiny, které předpokládají Otava - Vít (1992).

Ve svrchním pleistocénu se v Holštejnské jeskyni uložila nejmladší říční akumulace. V té době se pravděpodobně hydrografická situace výrazně nelišila od dnešní a Bílá voda protékala Holštejnským údolím i Holštejnskou jeskyní. Znamená to, že pokud byla v písčích této akumulace III identifikována asociace těžkých minerálů protivanovského souvrství (viz Otava a Vít 1992), musí se jednat opět o sedimenty redeponované z nejstarší fluvialní akumulace I, ve které podzemní tok vyhloubil koryta, která byla nejmladšími říčními sedimenty vyplněna.

Závěr

Nejstarší sedimenty odkryté v Holštejnské jeskyni dokládají, že na konci spodního pleistocénu bylo Holštejnské údolí vyplněno fluvialními sedimenty přibližně do dnešní výšky, což bylo nezbytnou podmínkou pro to, aby vodní tok mohl proudit do jeskyně. Holštejnskou jeskyní protékal podzemní tok také koncem středního pleistocénu a v pleistocénu svrchním. Období fluvialní aktivity se v Holštejnské jeskyni střídala s periodami ukládání jeskynních karbonátů. Datování sedimentů společně se studiem asociací těžkých minerálů ve fluvialních sedimentech ukazuje, že v první polovině středního pleistocénu došlo k lokálním změnám hydrografie. Následkem těchto změn začala Bílá voda proudit do Holštejnského údolí a Luha do Sloupského údolí.

Poděkování:

Výzkum sedimentů Ochozské jeskyně je zařazen do výzkumného záměru CEZ: Z3 – 013 – 912 Geologického ústavu AVČR a je součástí projektu č. 95 051 podporovaného US-Czech Science and Technology Program.

Literatura:

- Glazek, J. - Hercman, H. - Vít, J. (1995): Preliminary $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ speleothem dating results from the Holštejská Cave (in Czech, English sum.).- in Cílek, V. (ed.): Underground world.- Knih. Čes. speleol. Spol., Vol. 25: 24-29. Praha.
- Glozar, P. (1979): Studium sedimentů vyšší jeskynní etáže mezi Macochou a jeskynní Řečiště.- MS, dipl. práce, UJEP, pp. 55. Brno.
- Harmon, R. S. - Thompson, T. - Schwarcz, H. P. - Ford, D. C. (1975): Uranium-series dating of speleothems.- Nat. Speleol. Soc. Bull., 37, 21-33.
- Hercman, H. - Lauritzen, S. E. - Glazek, J. - Vít, J. (1997): Uranium-series dating of speleothems from Amaterska and Holstejska caves, Moravian Karst, Czech Republic.- Proc. 12th Int. Con. Speleol., 45-47. Basel.
- Kadlec, J. (1996a): Shape of fluvial pebbles in surface and subsurface karst stream from Moravian Karst, Czech Republic.- Acta Carsol., XXV, 119-126.
- Kadlec, J. (1996b): The Holštejn Valley in the Moravian Karst (in Czech).- in Zatloukal, R. (ed): Speleology in the Holštejn area.- Knih. Čes. speleol. Spol., Vol. 28, 7-12. Praha.
- Kadlec, J. (1997): Rekonstrukce sedimentačních procesů v jeskynních systémech severní části Moravského krasu v období kenozoika.- MS, dis. práce, Přír. fak. UK Praha, pp. 149.
- Kadlec, J. - Hercman, H. - Nowicki, T. - Glazek, J. - Vít, J. - Šroubek, P. - Diehl, J. F. - Granger, D. (1999): Dating of the Holštejská Cave sediments.- Abs.IIst Nat. Speleol. Cong., 15-18.
- Kettner, R. (1960): Morfologický vývoj Moravského krasu a jeho okolí.- Čs. Kras, 12, 47-84.
- Nishiizumi, K. - Lal, D. - Klein, J. - Middleton., R. - Arnold, J. R. (1986): Production of ^{10}Be and ^{26}Al by cosmic rays in terrestrial quartz in situ and implications for erosion rates.- Nature (Lond), 319: 134-136.
- Otava, J. - Vít, J. (1992): Paleohydrography of the northern tributaries of the Punkva River reconstructed from the analysis of cave sediments (Moravian Karst, Drahaný Upland).- Scripta Fac. Sci. Univ. Brun., Geol., 22, 141-156. Brno.
- Příbyl, J. (1973): Paleohydrography of the caves in the Moravian Karst (Moravský kras).- Stud. Geog., 28, 1-64.
- Smolíková, L. - Kadlec, J. (1993): Interglaciál v holštejském údolí v Moravském krasu.- Věst. Čes. Geol. Úst, 68, 4, 63-64.
- Šroubek, P. - Diehl, J. F. (1995): Paleomagnetic/environmental magnetic study of Moravian Karst cave deposits (in Czech).- in Cílek, V. (ed.): Underground world.- Knih. Čes. speleol. Spol., Vol. 25, 29-30. Praha.
- Vít, J. (1990): Asociace těžkých minerálů v sedimentech jeskyní Moravského krasu.- Diplom. práce, MS, MU Brno, pp. 75.
- Vít, J. (1996): Fluviální sedimenty severní části Moravského krasu.- MS, dis. práce, MU Brno, 1-110.
- Vít, J. (1997): New researches in the Moravian Karst.- in Bosák, P. (ed.): Czech Speleological Society 1993-1997. - Čes. speleol. Spol., 40-45.
- Vít, J. - Zatloukal, R. (1996): Jeskyně Holštejská (č. 518) - Nezaměstnaných (č. 517). - in Zatloukal, R. (ed): Speleology in the Holštejn area.- Knih. Čes. speleol. Spol., Vol. 28, 7-12. Praha.