

VÝSLEDKY RÁDIOIZOTOPOVÉHO DATOVANIA SINTROV Z DEMÄNOVSKÉHO JASKYNNÉHO SYSTÉMU V ROKOCH 1995 – 2005

Helena Hercman¹ – Pavel Bella² – Michal Gradziński³ – Jerzy Glazek⁴
– Tomasz Nowicki¹ – Grzegorz Sujka¹

¹ Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, Poland; hhercman@twarda.pan.pl, tnowicki@twarda.pan.pl, gsujka@twarda.pan.pl

² Slovak Caves Administration, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovakia; bella@ssj.sk

³ Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, Oleandry 2a, 30-063 Kraków, Poland; gradzinm@ing.uj.edu.pl

⁴ Institute of Geology, Adam Mickiewicz University, Maków Polnych 16, 61-606 Poznań, Poland; glazekj@amu.edu.pl

H. Hercman, P. Bella, M. Gradziński, J. Glazek, T. Nowicki & G. Sujka: Results of the U-series dating of carbonate speleothems from the Demänová Cave System in 1995 – 2005

Abstract: The Demänová Cave System (more than 35 km long) on the eastern side of the Demänová Valley in the Nízke Tatry Mts. was formed in the Middle Triassic Gutenstein limestones by allochthonous streams at nine developmental levels. The highest cave level IX is located at 140 m above the recent stream flowing through the bottom of valley. Cave levels are correlated with fluvial terraces of the Demänovka Stream and Váh River in the Liptov Basin (A. Droppa, 1966, 1972). At the contact non-karstic and karstic area, several drawdown vadose passages lead from sinkholes or invasion sinkholes to the lower levelled river bed of main underground stream (P. Bella, 1993, 1996). More than 200 U-series analyses of carbonate speleothems and several palaeomagnetism analyses of cave sediments were realised for the geochronology and developmental reconstruction of the cave system. Several episodes of carbonate speleothem growth were indicated. Flowstones in the Suchá Cave and Okno Cave are older than 1.2 Ma (J. Kadlec et al., 2004). **Residues of fluvial sediments above the cave level IV** (near the Hviezdoslav's Dome) have a reversed magnetic polarity (P. Pruner et al., 2000). Basal flowstones deposited on fluvial sediments in the cave levels III and IV are more than 350 ka old and younger than 1.2 Ma. These sediments of normal magnetic polarity are younger than 0.78 Ma (H. Hercman et al., 1997, 1998). During the postfluviokarstic developmental phase, the cave levels IV and III, also the Granite Corridor above the cave level IV were several times flooded by invasion waters. **The age of scalloped flowstone on fluvial sediments of the cave level II in the Marble River Bed is 88.6 – 107 ka. This flowstone is younger than the levelled wall notch and the accumulation of fluvial sediments but older than the redeposition of these sediments and the downcutting of river bed to the cave level I with the flowstone 8.4 ka old.** Unlike the age of basal flowstone in the river bed of Demänovka Stream in the Ground Floor is 138 ka. But the whole cave recent river bed can't be considered as the unified development level I in sense of A. Droppa (1966, 1972). The elevation between two sector of the river bed in the Ground Floor and the Marble River Bed is 6 metres. Also roof breakdown processes were dated in several places of the cave system. The slab breakdown in the Cemetery is limited by older basal flowstone age of >350 ka (<1.2 Ma) and younger overlying stalagmite age of 134 ka. From several generations of block breakdown in the Big Dome, two younger episodes of breakdown processes older than 13 ka and 2.3 ka are known.

Key words: U-series dating, speleogenesis, Demänová Cave System, Nízke Tatry Mts.

ÚVOD

Jaskyne v Demänovskej doline sú vhodným príkladom alogénneho stredohorského krasu monoklinálnych štruktúr na detailný výskum a rekonštrukciu vývoja horizontálnych a subhorizontálnych jaskýň v závislosti od zahľbovania doliny alochtónnym vodným tokom. Geologické a geomorfologické pomery krasu a jaskýň Demänovskej doliny vrátane vývoja jaskynných úrovní v súvislosti s vývojom riečnych terás Demänovskej a Váhu v Liptovskej kotline sú známe najmä z prác A. Droppu (1957, 1963, 1966, 1972, 1994). Novšie práce dopĺňajú najmä poznatky o sifonálnych freatických a epifreatických úsekoch (Z. Hochmuth, 1988, 1995), depresných vadóznych jaskynných priestoroch i genetických typoch jaskýň, resp. jaskynných priestorov v Demänovskej doline (P. Bella, 1993, 1996a,b, 2000).

S cieľom potvrdiť alebo spresniť vývojové etapy jaskynných úrovní v rámci geologickej chronológie kvartéru, ktoré uvádza A. Droppa (1966, 1972), sa v roku 1995 v rámci slovensko-poľskej spolupráce pristúpilo k rádioizotopovému datovaniu sintrov na vybraných superpozičných profiloch z viacerých jaskynných úrovní. Z poľskej strany tieto práce prvotne iniciovali a realizovali Jerzy Glazek, Helena Hercman a Michal Gradziński, zo slovenskej strany Pavel Bella.

Na základe doterajších poznatkov o vývoji jaskynného systému a predpokladanej „výpovednej“ hodnoty výber miest odberu vzoriek sintrov na datovanie odporučil a priebežne usmerňoval P. Bella, avšak v súčasnosti

so spomenutými poľskými geológmi. Laboratórne a vyhodnocovacie práce týkajúce sa rádioizotopového datovania sintrov zabezpečovala a koordinovala H. Hercman so spolupracovníkmi (Tomasz Nowicki, Grzegorz Sujka a Stein Erik Lauritzen). Na niektorých terénnych prácach asistovali aj českí odborníci (Pavel Bosák a Jaroslav Kadlec), ktorí navyše datovanie vývojových fáz Demänovského jaskynného systému rozšírili o analýzy paleomagnetizmu sedimentov (P. Pruner et al., 2000; P. Pruner – P. Bosák, 2001; J. Kadlec et al., 2003, 2004), čím sa získali ucelenejšie údaje o geochronológii jeho vývoja.

ZÁKLADNÉ CIELE VÝSKUMU

Moderné metódy datovania jaskynných sedimentov výrazne prispievajú k rekonštrukcii geochronológie vývoja jaskýň, a preto sa stali neodlučiteľnou súčasťou komplexného geologicko-geomorfologického výskumu krasu a jaskýň.

V súvislosti s narastajúcou aplikáciou týchto metód datovania sedimentov pri výskume jaskýň sa v roku 1995 zásluhou H. Hercman a jej spolupracovníkov naskytla možnosť rádioizotopového datovania – určenia absolútneho veku sintrov, ktoré majú významnú superpozičnú polohu vzťahu k rekonštrukcii niektorých vývojových fáz Demänovského jaskynného systému.

Postupne sa sformulovali tieto základné ciele nášho výskumu založeného na využití rádioaktívnych izotopov na datovanie uvedených jaskynných sedimentov:

1. Zistiť, resp. spresniť vek spodných a stredných jaskynných úrovní (najmä najrozsiahlnejšej IV. vývojovej úrovne tiahnucej sa od Pustej jaskyne cez Demänovskú jaskyňu slobody a Demänovskú jaskyňu mieru až do Demänovskej ľadovej jaskyne) vzhľadom na časovú schému ich vývoja, ktorú predložil A. Droppa (1966, 1972; pozri tab. 1).

Tab. 1. Základné údaje o jaskynných úrovniach v Demänovskej doline a príahľých riečnych terasách (A. Droppa, 1966).

Jaskynné úrovne		Riečne terasy						Vek
označenie	výška	označenie		Demänovka		Váh		
				povrch	báza	povrch	báza	
I		nízke terasy	T-Ia	–	–	1	–	Würm
			T-Ib	1	-2	2–3	-3	
			T-Ic	2	-4	5–8	-5	
II	1–3	stredné terasy	T-II	5	2	15–20	10–15	Riss-2
III	10		T-III	12–13	7–11	25–33	18–22	Riss-1
IV	24–40	vysoké terasy	T-IV	–	–	42–53	30–35	Mindel-2
V	50–55		T-V	–	–	62–72	40–50	Mindel-1
VI	73–75		T-VI	–	–	92–103	83–86	Günz-2
VII	90		T-VII	–	–	104–106	100	Günz-1
VIII	130		T-VIII	–	–	129–131	124	Donau
IX	140	T-IX	–	–	162	140	vrchný pliocén	

2. Potvrdiť či preformulovať názor na vymedzenie I. vývojovej úrovne v Demänovskej jaskyni slobody v úseku Pekelný dóm – Prízemie – Mramorové riečisko vzhľadom na existenciu skalného prahu pred Veľkým dómom medzi Prízemím a Mramorovým riečiskom.

3. Datovať výrazné rútenia v Demänovskej jaskyni slobody na Cintoríne a vo Veľkom dome (uvedené miesta sa nachádzajú na prehliadkovej trase, a preto sú zaujímavé aj pre návštevníkov jaskyne).

4. Datovať akumulčné fázy vývoja podzemných priestorov (naplavovanie fluviálnych sedimentov, skalné rútenia, tvorba sintrov) vo viacerých častiach jaskynného systému – v rámci jednej i rozdielnych jaskynných úrovní.

5. Zaradiť Demänovské jaskyne do projektu rekonštrukcie klimatických zmien v strednej Európe pred 10-tisíc až 200-tisíc rokmi na základe analýzy frekvencie rastu sintrov (spolu s jaskyňami v južnej časti Poľska a Moravského krasu). Fázy tvorby sintrov v jaskyniach indikujú teplé a humídne klimatické podmienky.

Výskum založený na využití rádioaktívnych izotopov sintrov sa neskôr rozšíril aj o štúdium stabilných izotopov. V roku 2004 sa T. Atkinson so spolupracovníkmi začal zaoberať kvantitatívnym výskumom stabilných izotopov zo sintrov a priesakových atmosférických vôd z Hlinenej chodby Demänovskej jaskyne slobody a Kaskádovej chodby Demänovskej jaskyne mieru s cieľom rekonštruovať klimatické podmienky a zmeny v holocéne v stredohorskej oblasti strednej Európy.

PREHĽAD ODBEROV VZORIEK SINTROV A METÓDY ICH DATOVANIA

V rokoch 1995 – 2005 sa uskutočnilo sedem terénnych akcií na odber vzoriek sintrov na rádioizotopové datovanie. Išlo najmä o sintrové kôry, ktoré sa vytvorili na fluviaálnych sedimentoch, ale oddeľujú ich rozdielne súvrstvia. S cieľom datovať vek rútení sa odobrali vzorky sintrov z nátekov a stalagmitov na zrútených skalných blokoch a z podložných podlahových sintrových kôr. Časový i lokálny prehľad odberov vzoriek sintrov z Demänovského jaskynného systému je uvedený v tabuľke 2.

Tab. 2. Prehľad odberov vzoriek sintrov z Demänovského jaskynného systému na rádioizotopové datovanie v rokoch 1995 – 2005

Dátum	Účastníci	Miesto odberu
začiatok mája 1995	P. Bella, H. Hercman, J. Głazek, M. Gradziński	<i>Demänovská jaskyňa slobody:</i> – Mramorové riečisko (pri odbočke Hlinenej chodby) – Prízemie (odkryv sedimentov) – Suchá chodba (zo strany Veľkého dómu) – Cintorín a priechod do Stalagnátovej galérie <i>Demänovská jaskyňa mieru:</i> – Dóm Vyvierania, Kaskádová chodba – odbočka k ponoru západne od Zrúteného dómu – IV. vývojová úroveň za Kvapľovým lesíkom (severným smerom, podplavené a polámané podlahové sintrové kôry so stalagmitmi vytvorenými pred a po naklonení sintrových kôr, vzorky JMR/7 až JMR/12) – južná časť Vodopádového dómu vedúca k Dukelskému pomníku <i>Demänovská ľadová jaskyňa:</i> – SZ od Závrtového dómu (v priestore meračského bodu č. 11, mapa A. Droppu z roku 1952)
18. – 19. 7. 1996	P. Bella, M. Gradziński	<i>Demänovská jaskyňa mieru:</i> – Ružová galéria <i>Demänovská jaskyňa slobody:</i> – Žulová chodba (odkryv sedimentov) <i>Demänovská ľadová jaskyňa:</i> – SZ od Závrtového dómu (sintrové kôry oddelené hlinou, na zrútenom balvane)
7. 4. 1999	P. Bella, H. Hercman, M. Gradziński, T. Nowicki, J. Kadlec	<i>Demänovská jaskyňa slobody:</i> – Prízemie (vzorky S/10 až S/20)
7. 8. 2000	P. Bella, H. Hercman, M. Gradziński, T. Atkinson	<i>Demänovská jaskyňa slobody:</i> – Prízemie (vzorka DJS/21) – Pekelný dóm (vzorky DJS/22 až DJS/24)
1. 5. 2002	P. Bella, M. Gradziński, R. Jach	<i>Demänovská jaskyňa slobody:</i> – Veľký dóm (sintrové náteky na zrútených skalných blokoch)
5. – 6. 9. 2004	P. Bella, H. Hercman, T. Nowicki, P. Bosák, T. Atkinson	<i>Demänovská jaskyňa slobody:</i> – Hlinená chodba (vzorky HCH-1 až HCH-11) – Veľký dóm (vzorky 12 až 14) <i>Demänovská jaskyňa mieru:</i> – Dóm Vyvierania, Kaskádová chodba (vzorky 1 až 6)
18. 4. 2005	P. Bella, H. Hercman, M. Gradziński, G. Sujka	<i>Demänovská jaskyňa slobody:</i> – Pekelný dóm – Žulová chodba

Rádioizotopové datovanie sintrov z Demänovského jaskynného systému sa realizovalo v rámci medzinárodného programu „Izotopový záznam klimatických zmien neskorého kvartéru v Európe na S – J profile (Nórsko – Poľsko – Bulharsko)“ ako súčasť poľských grantov KBN č. 0888/P02/94/06 a č. 0586/P04/95/09. Rádioizotopové datovanie vzoriek sintrov z Demänovskej ľadovej jaskyne vykonala H. Hercman v laboratóriu

Geologického ústavu Bergenskej univerzity v Bergene (Nórsko). Datovanie vzoriek z Demänovskej jaskyne slobody a Demänovskej jaskyne mieru vykonali H. Hercman, T. Nowicki a G. Sujka v laboratóriu Ústavu geologických vied Poľskej akadémie vied vo Varšave. Vzorky sa datovali α -spektrometrickou metódou $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ (M. Ivanovich – R. S. Harmon, 1982) na spektrometri OCTETE PC vyrobenom Ortec EG&G. Chyba merania je vyjadrená v rozsahu ± 1 sigma (σ).

Vo vzorkách sintrov z Demänovskej ľadovej jaskyne pri koncentrácii U 0,15 – 0,49 ppm bol pomer $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ vždy väčší ako 1000, dokonca aj väčší ako 10 000. Preto chyba datovania je menšia ako 10 %. Keďže metódou $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ sa určil vek vzorky DLJ-4 starší ako 350 tis. rokov, vypočítané pomery $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ z mladších vzoriek sa využili na odhad pomeru $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ v sintrovej kôre vzorky DLJ-4 (RUBE metóda – Regional Uranium Best Estimator; M. Ivanovich – R. S. Harmon, 1982), ktorý sa rovná $2,62 \pm 0,38$ (H. Hercman et al., 1997, 1998). Analýzami ďalších vzoriek sintrov z iných miest Demänovského jaskynného systému sa však zistili výrazné rozdiely izotopového zloženia a koncentrácie uránu, ktoré závisia od ich veku a miesta výskytu. Preto H. Hercman konštatuje, že v prípade Demänovského jaskynného systému nie je RUBE-metóda vhodná na určovanie veku vzoriek sintrov starších ako 350-tisíc rokov.

Vo vzorkách z Demänovskej jaskyne slobody pri koncentrácii U 0,2 až 18 ppm bol pomer $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ vždy väčší ako 120, v niektorých prípadoch aj väčší ako 1000. Preto chyba datovania je menšia ako 5 až 10 % (Hercman et al., 2000). Ďalšími analýzami sa vo vzorkách sintrov z Prízemia zistila maximálna koncentrácia U až cca 64 ppm.

V Demänovskej jaskyni mieru mali vzorky z Dómu vyvierania a Kaskádovej chodby koncentráciu U menej ako 0,5 ppm, z južnej časti Vodopádového dómu 8 až 14 ppm.

V nadväznosti na údaje v tabuľke 2 treba uviesť, že v rámci paleomagnetického výskumu jaskynných sedimentov J. Kadlec et al. (2004) odobral vzorky sintrov na rádioizotopové datovanie aj zo Suchej jaskyne a z jaskyne Okno.

INTERPRETÁCIA DOTERAJŠÍCH VÝSLEDKOV

Doterajšie výsledky rádioizotopového datovania sintrov výrazne prispeli k spresneniu vývojových fáz Demänovského jaskynného systému najmä v mladších a stredných štvrtohorách. Väčšinou sa prezentovali priebežne (Hercman et al., 1997, 1998, 2000), avšak viaceré údaje o absolútnom veku superpozíčných sintrov z Hlinenej chodby a Pekelného dómu Demänovskej jaskyne slobody, z Demänovskej jaskyne mieru či výsledky revízných a doplnujúcich datovaní prvotne predkladáme v tejto správe.

Tab. 3. Výsledky revízneho rádioizotopového datovania sintrov metódou $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ z Demänovskej ľadovej jaskyne (v nadväznosti na údaje H. Hercman et al., 1997, 1998)

Vzorka	Vek [ka]	Charakter a miesto odberu vzorky
<i>SZ od Závrtového dómu (prichádzajúc z Čiernej galérie za ochrannou murovanou stenou, pri závрте)</i>		
DLJ-1/1 (N 1085)	173 +18/-16	spodná sintrová kôra pri východnej, resp. severovýchodnej stene
DLJ-1/3 (N 1090)	180 +24/-21	
DLJ-1/6 (N 1087)	130 +15/-14	
DLJ-1/9 (N 1089)	137 +18/-16	
DLJ-2/1 (N 1066)	86,1 +9,9/-9,3	nadložná sintrová kôra pri východnej, resp. severovýchodnej stene
DLJ-2/2 (N 1065)	75,2 +8,5/-6,2	
DLJ-2/3 (N 1040)	69,2 +4,8/-4,7	
DLJ-2/4 (N 1039)	5,41 \pm 0,8	
DLJ-3/1 (N 1029)	82,5 +4,6/-4,5	najvyššia sintrová kôra bývalého jazierka pri severnej stene
DLJ-3/3 (N 1028)	74,2 +4,4/-4,2	
DLJ-4/1 (N 1450)	>350	sintrová kôra vo vrchnej časti sondy vykopanej do nánosov štrkov
DLJ-4/2 (N 1451)	>350	
DLJ-5/1 (N 1441)	89,5 +5,7/-5,5	sintrová kôra nad vykopanou sondou
DLJ-5/1A (N 1442)	79,9 +6,3/-6,1	
DLJ-5/2 (N 1443)	75,7 +4,5/-4,4	
DLJ-6/1 (N 1456)	92,1 +4,7/-4,6	sintrové kôry na zrútenom skalnom bloku pokrytom tenkou vrstvou múľu
DLJ-6/2 (N 1455)	99,6 +7,1/-6,8	
DLJ-7/1 (N 1454)	96,7 +5,2/-5	
DLJ-7/2 (N 1453)	82,8 +7,2/-6,9	
DLJ-7/3 (N 1452)	5,68 \pm 0,59	

Prehľad doteraz vykonaných datovaní sintrov z Demänovskej jaskyne slobody, Demänovskej jaskyne mieru a Demänovskej ľadovej jaskyne uvádzajú tabuľky 3, 4 a 5 (výber prevažnej časti údajov). Základný prehľad výsledkov rádioizotopového datovania sintrov z Demänovského jaskynného systému je uvedený v tabuľke 6. S cieľom získať čo najúplnejšie a vieryhodnejšie poznatky o geochronológii vývoja jaskynného systému sa výsledky rádioizotopového datovania sintrov kombinujú a dopĺňajú s výsledkami paleomagnetického výskumu jaskynných sedimentov (P. Pruner et al., 2000; J. Kadlec et al., 2004).

Tab. 4. Výsledky revízieho a doplnujúceho rádioizotopového datovania sintrov metódou $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ z Demänovskej jaskyne slobody (v nadväznosti na údaje uvedené H. Hercman et al., 2000)

Vzorka	Vek [ka]	Charakter a miesto odberu vzorky	
<i>Prízemie – odkryv sedimentov poniže Rázcestia</i>			
Rázcestie (1373)	65,5 ±0,7	sintrové kôry v spodnej časti odkryvu nad riečiskom	
DJS-1/1 (N 1511)	74,8 ±1,3		
DJS-1/2 (97)	52,1 ±0,6		
DJS-1/3 (N 1512)	56,4 ±1,7		
DJS-2/1 (88)	80,2 ±1,4	sintrová kôra v strednej časti odkryvu	
DJS-2/1 (N 1513)	77,5 +2,2/-2,1		
DJS-2/2 (89)	76,2 ±1,4		
DJS-2/2 (N 1514)	75,3 +2,4/-2,3		
DJS-3/1 (82)	1,5 ±0,15	sintrová kôra na povrchu odkryvu	
DJS-3/2 (83)	<0,5		
DJS-10/1 (347)	105,6 +2,8/-2,7	sintrová kôra medzi štrkami v spodnej časti odkryvu	
DJS-10/2 (346)	92,4 ±2,5		
DJS-11/1 (224)	75,3 ±2,5	tenká sintrová kôra v strednej časti odkryvu	
DJS-11/2 (252)	70 ±1,6		
DJS-13/2 (350)	7,9 ±0,2	tenká sintrová kôra medzi jemnými sedimentmi na okraji odkryvu (od Rázcestia)	
DJS-14/1 (403)	94,4 +2,2/2,1	zvyšok sintrovej kôry so stalagmitom na brehu riečiska	
DJS-14/2 (404)	89,7 +3,3/-3,2		
DJS-14/3 (348)	9,9 ±0,5		
DJS-15/1 (203)	81,9 ±1,1		
DJS-15/2 (253)	72,3 ±1,9		
DJS-18/1 (328)	106,2 +2,8/2,7		
DJS-16/1 (419)	93,3 +2,8/-2,7		
DJS-16/2 (979)	86,9 ±2,2		
DJS-16/3 (980)	84,2 ±2,7		
DJS-16/4 (417)	89,6 +3,6/-3,5		
DJS-16/4 (329)	78,8 ±2,4		
DSJ-17 (402)	137,9 ±2,9		
DJS-17/1 (382)	111,1 ±1,2		
DJS-17/3 (345)	75,2 ±0,8		
DJS-18/1 (401)	29,8 ±0,6		spodná sintrová kôra pri exhumovanom stalagmite, 30 cm nad riečiskom
DJS-18/2 (400)	99,9 ±1,1		
DJS-18/3 (399)	124,6 ±1,9		
DJS-19/1 (155)	64,1 ±0,8	sintrová kôra s kopovitým útvarom na okraji riečiska	
DJS-19/2 (156)	89,6 ±1,5		
DJS-20/1 (361)	71,2 ±1,4	sintrová kôra nad exhumovaným stalagmitom pri riečisku	
DJS-20/6 (359)	48 ±3,2		

<i>Prízemie – Veľký dóm</i>		
DJS-7/1 (N 1099)	10,28 ±0,56	stalagmit na hlinitých sedimentoch asi 2 m nad kaskádovitým úsekom vodného toku
DJS-7/2 (N 1100)	2,94 ±0,23	
DJS-7/3 (N 1101)	2,68 ±0,23	
DJS-7/4 (N 1102)	0,77 ±0,11	
DJS-7a (7)	9,14 ±0,38	
DJS-7b (8)	5,65 ±0,23	
DJS-7c (18)	3,06 ±0,18	
DJS-7d (9)	1,43 ±0,11	
DJS-P/VD-13/1	13,01 ±0,25	stalagmit na zrútenom skalnom bloku, ktorý sa naklonil následkom odplavenia podložných sedimentov alebo zahĺbenia chodby
DJS-P/VD-13/2	8±2	
DJS-P/VD-14/1	9±2	stalagmit vytvorený na zrútenom a neskôr naklonenom skalnom bloku
DJS-P/VD-14/4	1,3±0,4	
<i>Veľký dóm</i>		
DJS/VD-12a/1 (1489)	1,4 ±0,5	sintrové náteky na zrútených skalných blokoch
DJS/VD-12a/2 (1462)	2,3 ±0,4	
<i>Pekelný dóm – východná strana</i>		
DJS-PD-2a/1 (1468)	2,2 ±0,2	stalagmity na visutej polici scementovaných sedimentov, 5 m nad riečiskom
DJS-PD-2a/3	0,4 ±0,2	
DJS-PD-2/1	8,15 ±0,28	
DJS-PD-2/3 (1465)	<1	
DJS-PD-3/1	8,61 ±0,29	
DJS-PD-3/2 (1488)	2,9 ±0,3	stalagmit pod visutou policou scementovaných sedimentov, 3 m nad riečiskom – dolná časť
DJS-PD-4DDa (1477)	37,4 ±1,1	
DJS-PD-4DD (1444)	37,3 ±1,2	
DJS-PD-4DH (1443)	20,6 ±1,5	stalagmit pod visutou policou scementovaných sedimentov, 3 m nad riečiskom – horná časť nad scementovanou vrstvou piesku
DJS-PD-4HD (1476)	9,7 ±0,4	
DJS-PD-4HH (1467)	2,8 ±0,2	
<i>Mramorové riečisko – pri odbočke Hlinenej chodby</i>		
DJS-4/1 (90)	88,6 +4,7/-4,5	sintrová kôra na fluviálnych sedimentoch na terasovitom záreze
DJS-4/2 (91)	107 +8,5/-8,1	
DJS-4a (99)	96,3 +4,3/-4,1	
DJS-5 (93)	8,4 ±3,2	sintrová kôra tesne nad podlahovým riečiskom
<i>Hlinená chodba</i>		
DJS/HCH-1/1 (1404)	65,5 ±19	sintrová kôra na fluviálnych sedimentoch na ľavej strane chodby za pravostrannou odbočkou do bočnej siene, vedľa zrútených skalných blokov
DJS/HCH-1/2 (1471)	>350	
DJS/HCH-1/4 (1460)	>350	
DJS/HCH-2/1 (1506)	13,31 ±0,74	stalagmit v bočnej chodbe vedúcej k jaskyni Vyvieranie
DJS/HCH-2/2 (1324)	7,4 ±2	
DJS/HCH-2/3 (1325)	4,4 ±2,3	
DJS/HCH-2/6 (1518)	1,49 ±0,19	
DJS/HCH-3/1 (1511)	223 + 23/-20	
DJS/HCH-3/2 (1515)	153 +11/-10	zvyšok podlahovej sintrovej kôry na fluviálnych sedimentoch v bočnej chodbe vedúcej k jaskyni Vyvieranie
DJS/HCH-7 (1519)	11,74 +1,53/-1,52	sintrová kôra na stene oproti anastomózam

pokračovanie tab. 4

DJS/HCH-8/1 (1531)	231 +29/-24	sintrová kôra na fluviálnych sedimentoch v najvyššej stropnej časti chodby nad sieňovitým priestorom pred bývalým sifónom (zo strany Mramorového riečiska)
DJS/HCH-8/5 (1530)	281 +32/-26	
DJS/HCH-8D-1 (1510)	280 +26/-22	
DJS/HCH-11/1 (1520)	84 ±10	dolná sintrová kôra v odkryve sedimentov na začiatku chodby od Mramorového riečiska
sintrové brčká	24 ±6	sintrové brčká spadnuté na hlinitých sedimentoch v zadnej časti chodby
<i>Suchá chodba</i>		
DJS-6/1/1 (N 1606)	324 +88/-53	sintrové kôry na okraji chodby pri Veľkom dome (pri betónovom chodníku)
DJS-6/2/1 (100)	201 ±6	
DJS-6/2/4 (69)	321 +27/-23	
DJS-6/2/4 (67)	320 +22/-19	
DJS-6/3/1 (96)	234 +11/-10	
DJS-6/3/2 (68)	191 +9/-8	
DJS-6/4/1 (34)	221 +14/-13	
DJS-6/4/2 (35)	171 ±9	
DJS-6/4/3 (30)	136 +7/-6	
DJS-6/4/4 (N 1539)	114 ±9	
DJS-6/5/1 (31)	203 +14/-13	
DJS-6/5/2 (16)	208 +20/-18	
<i>Žulová chodba</i>		
DJS-ZCH-1/1 (85)	335 +24/-21	sintrové kôry v spodnej a strednej časti odkryvu sedimentov
DJS-ZCH-1/3 (101)	204 ±3	
DJS-ZCH-1/4 (86)	369 +57/-38	
DJS-ZCH-2/1 (118)	>350	
DJS-ZCH-2/6 (135)	207 ±7	
DJS-ZCH-3 (87)	365 +31/-25	
DJS-ZCH-4/4 (124)	>350	
DJS-ZCH-4/8 (125)	>350	
DJS-ZCH-7/1d (119)	>350	
DJS-ZCH-8/1 (120)	147 ±4	sintrové kôry v hornej časti odkryvu sedimentov
DJS-ZCH-9/1 (358)	108 ±3	
DJS-ZCH-9/2 (421)	62,3 ±0,7	
DJS-ZCH-9/3 (362)	11,2 ±0,4	
DJS-ZCH-9/4 (418)	11,5 ±0,3	
DJS-ZCH-9/5 (420)	5,8 ±0,2	
DJS-ZCH-9/6 (360)	1,69 ±0,16	
<i>Cintorín – prechod do Stalagnátovej galérie</i>		
DJS-8/1+2 (95)	>350	sintrová kôra zasahujúca pod zával – na prechode medzi Cintorínom a Stalagnátovou galériou
DJS-8/3 (114)	260 +35/-28	
DJS-8/4 (102)	>350	
DJS-8/5 (103)	429 +37/-30	
DJS-8/7 (94)	325 +20/-18	
DJS-9/1 (170)	134 ±4	stalagmit na sutinovej kope
DJS-9/2 (192)	120 +2,7/-2,6	
DJS-9/5 (201)	80,1 +2,8/-2,7	
DJS-9/6 (178)	79,4 ±3,7	
DJS-9/7 (171)	13,9 ±0,8	

Tab. 5. Výsledky rádioizotopového datovania sintrov metódou $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ z Demänovskej jaskyne mieru

Vzorka	Vek [ka]	Charakter a miesto odberu vzorky
<i>Dóm Vyvierania – Kaskádová chodba</i>		
DJM-1/1 (1402)	117,4 +27,2/-26,4	sintrová kôra na fluviálnych sedimentoch pri vyústení vstupnej štólne z dolinky Vyvieranie
DJM-1/2 (1473)	73,36 +22,4/-22,8	
DJM-3/1 (1320)	11,68 ±2,6	stalagmit na hlinitých sedimentoch na ľavej strane Kaskádovej chodby, pred zrútenými skalnými blokmi
DJM-4/1 (1322)	12,85 ±0,3	stalagmit na hlinitých sedimentoch v zníženej chodbe medzi Kaskádovou chodbou a Vodopádovým dómom
DJM-4/2 (1321)	11,73 ±1	
DJM-5-1/2 (1341)	60,91 +11,94/-12,78	stalagmity na postranných úsypiskách na pravej strane Kaskádovej chodby
JMR-3/1 (445)	10,81 ±0,57	
JMR-3/2 (446)	9,26 ±0,49	
<i>Južná časť Vodopádového dómu vedúca k Dukelskému pomníku</i>		
JMR-14/1 (153)	12,04 ±0,13	stalagmit na jemných sedimentoch
JMR-14/5 (162)	2,81 ±0,34	
<i>Chodba za Kvapľovým lesíkom (severným smerom) – v mieste podplavených a polámaných podlahových sintrových kôr so stalagmitmi vytvorenými pred a po naklonení sintrových kôr</i>		
JMR-11 (1249)	230 +17,71/-15,71	„naklonený“ stalagmit zo staršej sintrovej kôry vytvorenej na fluviálnych sedimentoch, po ich čiastočnom odplavení sa sintrová kôra sklonila a polámala
<i>Ružová galéria – stredná časť</i>		
JMR-20/1 (N 1474)	>350 ka	sintrové kôry v záreze chodníka
JMR-20/2 (N 1475)	(<1,2 Ma)	
JMR-20/4 (N 1479)		
JMR-21/1 (N 1476)	>350 ka	
JMR-21/2 (N 1477)	(<1,2 Ma)	
JMR-21/3 (N 1478)		

Horizontálne a subhorizontálne chodby nad IV. vývojovou úrovňou

Najnižšie „pochované“ podlahové sintrové kôry v Žulovej chodbe Demänovskej jaskyne slobody, ktorá visuto ústi do podstropnej časti Prízemia vo výške asi 20 m nad terajším riečiskom Demänovky (podľa A. Droppu IV. vývojovej úrovni zodpovedajú bočné korytá v strednej časti Prízemia) sú staršie ako 350-tisíc rokov. Vytvorené sú na žulovom štrku a veľkých okruhliakoch, pričom imbrikácia okruhliakov poukazuje na prúdenie bývalého vodného toku smerom do hornej časti Prízemia. Klinovité súvrstvie piesku v tomto bazálnom súvrství žulového štrku a okruhliakov (pod spodnou sintrovou kôrou staršou ako 350-tisíc rokov), ako aj klinovité usporiadanie vyšších sintrových kôr starých 236- až 172-tisíc rokov a imbrikácia mladších „horných“ žulových okruhliakov uložených nad súvrstvím hliny svedčí o „opačnom“ viacfázovom prenikaní vôd podzemnej Demänovky do Žulovej chodby z Prízemia. Na hornom súvrství žulového štrku a okruhliakov sú tri podlahové sintrové kôry. Spodná časť najvyššej sintrovej kôry je stará 136-tisíc rokov (H. Hercman et al., 2000).

Na základe superpozície fluviálnych alochtónnych sedimentov aj nad sintrovými kôrami starými 236-tisíc rokov a 172-tisíc rokov treba uvažovať o občasných aktívnych hydrologických fázach bočnej Žulovej chodby aj po vytvorení nižšej IV. vývojovej úrovne až do vzniku bázy spodnej sintrovej kôry, ktorá je staršia ako 136-tisíc rokov a pokrýva horné súvrstvie žulového štrku a okruhliakov. Keďže sintrové kôry nie sú korózne rozrušené alebo modelované, pravdepodobne išlo o viac-menej krátkodobé naplavenie fluviálnych sedimentov vodami z podzemnej Demänovky (H. Hercman et al., 2000). Následne profil sedimentov v Žulovej chodbe detailnejšie opísali M. Kojdová a E. Sliva (2005), pričom potvrdzujú predtým interpretované smery prúdenia vody.

Žulová chodba je podstatne staršia ako vek uvedených sintrových kôr, ako aj nižšie ležiaci úsek IV. vývojovej úrovne prechádzajúci strednou časťou Prízemia. Jemné sedimenty uložené nad veľkými žulovými okruhliakmi v spodnej časti profilu vykazujú normálnu paleomagnetickú polaritu pod hranicou Brunhes/

Tab. 6. Základný prehľad výsledkov rádioizotopového datovania sintrov metódou $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ z Demänovského jaskynného systému (vývojové úrovne podľa A. Droppu, 1966, 1972, 1994; paleomagnetické polarity podľa P. Prunera et al., 2000)

Jaskyňa	Časť jaskyne	Počet analýz	Najstarší vek analyzovaných vzoriek [ka]	Lokalizácia
Demänovská jaskyňa slobody	Mramorové riečiško	4	8,4 ±3,2	sintrová kôra na riečišku
			107 ±8	sintrová kôra na fluviálnych sedimentoch na terasovitom záreze – II. vývojová úroveň
	Prízemie	46	137,9 ±2,9	sintrová kôra pri riečišku
	Prízemie – Veľký dóm	11	10,26 ±0,56	spodná časť stalagmitu nad riečiškom pri kaskáde
	Veľký dóm	6	13,01 ±0,25	sintrová kôra na zrútenom skalnom bloku
	Pekelný dóm	17	37,4 ±1,1	stalagmit vo výške 3 m nad riečiškom, pod visutou sintrovou kôrou
	Hlinená chodba	19	>350 ka (<1,2 Ma) (<780 ka?)	sintrová kôra na fluviálnych sedimentoch – III. vývojová úroveň
	Suchá chodba	12	>350 ka (<1,2 Ma) (<780 ka?)	podlahová sintrová kôra v záreze chodníka – IV. vývojová úroveň
	Žulová chodba	16	>350 ka (<1,2 Ma) (<780 ka) normálna magnetická polarita	spodná sintrová kôra v odkryve fluviálnych sedimentov
	Cintorín a prechod do Stalagnátovej galérie	10	>350 ka (<1,2 Ma) (>780 ka) reverzná magnetická polarita	sintrová kôra pokračujúca pod zával na Cintoríne
Demänovská jaskyňa mieru	Dóm vyvierania Kaskádová chodba	19	117 ±27	sintrová kôra na fluviálnych sedimentoch – III. vývojová úroveň
	chodba za Kvapľovým lesíkom (severným smerom)		230 ±17	stalagmit zo sintrovej kôry na fluviálnych sedimentoch – IV. vývojová úroveň
	Ružová galéria	6	>350 ka (<1,2 Ma)	sintrové kôry v záreze chodníka – IV. vývojová úroveň
Demänovská ľadová jaskyňa	pred Závrtovým dómom	20	>350 ka (<1,2 Ma) (<780 ka) normálna magnetická polarita	sintrová kôra na fluviálnych sedimentoch

Matuyama, t. j. sú mladšie ako 780-tisíc rokov. Avšak zvyšky fluviálnych sedimentov, ktoré sa zachovali na juhozápadnom okraji Guličkového dómu (nad chodníkom vedúcim do Hviezdoslavovho dómu, vzhľadom na Žulovú chodbu vo vertikálnom prevýšení asi 10 m), vykazujú reverznú magnetickú polaritu nad hranicou Brunhes/Matuyama, t. j. sú staršie ako 780-tisíc rokov (P. Pruner et al., 2000).

V Demänovskej jaskyni slobody sa v Zabudnutej chodbe (vedúcej zo skalného stupňa na východnom okraji Pekelného dómu) vo výške približne zodpovedajúcej IV. vývojovej úrovni zistila normálna magnetická polarita sedimentov, rovnako ako v Guličkovej chodbe Demänovskej jaskyne mieru nad chodbou IV. vývojovej úrovne. Vo vyššie situovanom Starom riečišku za Pekelným dómom a Brkovou chodbou (smerom do Spojovacej chodby vedúcej do Pustej jaskyne) vzorky sedimentov majú nejednoznačnú polaritu. V Suchej jaskyni, ako aj v jaskyni Okno sú sintre staršie ako 1,2 mil. rokov. Keďže v Suchej jaskyni, ktorej spodné časti predstavujú VI. vývojovú úroveň a horné časti VII. vývojovú úroveň, sedimenty vykazujú normálnu magnetickú polaritu, ich vek sa predpokladá niekde v rozpätí 1,2 až 1,77 mil. rokov. Vzorky z jaskyne Okno, ktorá tvorí najvyššiu, IX. vývojovú úroveň, sú zväčša nejednoznačnej polarity, avšak čiastočne aj s normálnou polaritou – môžu byť staršie ako 1,95 mil. rokov (J. Kadlec et al., 2004).

Bočné depresné vadózne chodby ústiace nad IV. vývojovú úroveň

V hornej časti Demänovskej jaskyne slobody je Medvedia chodba, ktorá je súčasťou depresných vadóznych priestorov (P. Bella, 1996a,b) tiahnucich sa z dolinky Točište cez neznáme priestory do Mliečnej chodby ústiacej do hornej časti Prízemia (A. Droppa, 1957). Zachovali sa tu alochtónne fluviaálne sedimenty s reverznou magnetickou polaritou nad hranicou Brunhes/Matuyama, t. j. staršie ako 780-tisíc rokov (P. Pruner et al., 2000).

Vyššie situovaný Cintorín je súčasťou najvyššej bočnej depresnej vadóznej inaktívnej chodby, ktorá sa tiahne z dolinky Točište cez Chodbu utrpenia a Panenskú chodbu do priestorov vytvorených hlavným podzemným tokom Demänovky (P. Bella, 1996a,b). Výrazné stropné platňovité rútenie na Cintoríne vymedzuje staršia „podsutinová“ podlahová sintrová kôra stará viac ako 350-tisíc rokov a mladšia ako 1,2 mil. rokov (pokračuje do hornej časti Stalagnátovej galérie) a koreňová časť stalagmitu na zrútenom balvane z vrcholu sutinovej kopy stará 134-tisíc rokov. Vrcholová časť tohto stalagmitu je stará 13-tisíc rokov.

IV. vývojová úroveň

Najnižia podlahová sintrová kôra uložená na fluviaálnych sedimentoch chodby IV. vývojovej úrovne pri Závrtovej dome v Demänovskej ľadovej jaskyni (tesne nad vykopanou sondou) je staršia ako 350-tisíc rokov a mladšia ako 1,2 mil. rokov. Keďže táto sintrová kôra, ako aj jej podložné scementované sedimenty majú normálnu paleomagnetickú polaritu, sú mladšie ako 780-tisíc rokov (H. Hercman et al., 1997, 1998).

V strednej časti Ružovej galérie sú podlahové sintrové kôry staršie ako 350-tisíc rokov a mladšie ako 1,2 mil. rokov. V Suchej chodbe Demänovskej jaskyne slobody sú podlahové sintrové kôry staré okolo 325-tisíc rokov, pričom na základe prvotných analýz sa určil ich vek viac ako 350-tisíc rokov a menej ako 1,2 mil. rokov (H. Hercman, 2000).

Hoci paleomagnetická polarita uvedených sintrových kôr z Ružovej galérie a Suchej chodby sa neurčila, vzhľadom na výškovú pozíciu týchto častí jaskynného systému spolu so Závrtovej domom na rovnakej vývojovej úrovni možno predpokladať, že sú mladšie ako 780-tisíc rokov.

Predpokladajúc, že niekedy v dobe ohraničenej 780-tisíc až 350-tisíc rokmi bolo posledné štádium pretekania ponorného alochtónneho vodného toku, priestranná chodba IV. vývojovej úrovne vytvorená koróznou-eróznou modeláciou alochtónneho podzemného vodného toku je podstatne staršia. IV. vývojovej úrovni, ktorá je v jaskyniach Demänovskej doliny najvýznamnejšia, A. Droppa (1966, 1972) priradil „mindelský“ vek, resp. glaciál Mindel 2.

Viacere výsledky datovania sintrov možno využiť aj na rekonštrukciu mladších fáz vývoja chodby tejto vývojovej úrovne. Podplavenie podlahovej sintrovej kôry v Demänovskej jaskyni mieru na IV. vývojovej úrovni za Kvapľovým lesíkom inváznymi vodami je mladšie ako 230-tisíc rokov starý stalagmit, ktorý sa vytvoril na pôvodnej podlahovej sintrovej kôre pred jej naklonením a polámaním následkom vyplavenia podložných fluviaálnych sedimentov.

V Demänovskej ľadovej jaskyni pri Závrtovej dome sú sintrové kôry staré 169-tisíc až 140-tisíc rokov rozlámané na viaceré fragmenty a čiastočne premiestnené, čo sa pravdepodobne takisto udialo v dôsledku vyplavenia podložných sedimentov a následného gravitačného posunu. Na hornom okraji sú korodované, čo svedčí o mladšom občasných zaplavení jaskynnej chodby vodami.

V Závrtovej dome a Jazernej chodbe Demänovskej ľadovej jaskyne sa miestami na zrútených balvanoch zachovali nánosy múľu obsahujúce silikátový klastický materiál ako dôsledok sedimentácie v pokojnom vodnom prostredí v tejto a priľahlej časti jaskynného systému. Na povrchu skalného bloku zrúteného zo stropu pri Závrtovej dome (neďaleko od ochrannej kamennej steny) sa na týchto nánosoch vytvorili sintrové náteky a stalagmity staré 104-tisíc až 92,5-tisíc rokov. Skalný blok sa zrútil pred alebo počas občasných zaplavenia jaskynnej chodby, ktoré sa indikuje na základe korózie horného okraja sintrovej kôry starej 169-tisíc až 140-tisíc rokov.

Hlinité sedimenty pod touto sintrovou kôrou i zrúteným skalným blokom sú staršie, avšak mladšie ako už spomenutá najnižšia sintrová kôra stará viac ako 350-tisíc rokov. Naplavenie týchto sedimentov, ako aj uvedených nánosov múľu nespôsobili ponorné alochtónne vody Demänovky, ale pravdepodobne invázne vody, možno z topiacich sa ľadovcov. Jazerné vody akumulované z presakujúcich atmosférických vôd, čo v súčasnosti pozorujeme v Jazernej chodbe, nemohli spôsobiť transport silikátového klastického materiálu prítomného v týchto sedimentoch.

Tak ako spomenuté sintrové náteky a stalagmity staré 104-tisíc až 92,5-tisíc rokov, nánosmi múľu nie sú pokryté ani mladšie sintrové kôry staré 82,5-tisíc až 69,9-tisíc rokov, ktoré sa nachádzajú na východnom okraji chodby v blízkosti zrúteného skalného bloku (H. Hercman et al., 1997, 1998).

III. vývojová úroveň

Podlahová sintrová kôra v Hlinenej chodbe Demänovskej jaskyne slobody, ktorá pokrýva alochtónne fluviálne sedimenty, je staršia ako 350-tisíc a mladšia ako 1,2 mil. rokov (obr. 1). Zvyšok denudovanej sintrovej kôry starej 223-tisíc rokov, ktorý sa zachoval vo vyššej bočnej chodbe vedúcej pravdepodobne do priestoru jaskyne Vyvieranie, svedčí o pomerne výraznej akumuláčnej fáze po vytvorení spomenutej nižšej a staršej sintrovej kôry. V tomto období sa pravdepodobne paragenézou vytvorili aj príľahlé výrazné anastomózy s menším stropným korytom smerujúcim do uvedenej bočnej chodby. Sintrové brčká, ktoré spadli na hlinité sedimenty v zadnej časti chodby, sa vytvorili pred 24-tisíc rokmi.

Získali sa aj niektoré údaje o veku sintrov z prednej časti Hlinenej chodby od Mramorového riečiska. V odkryve sedimentov na rozhraní týchto chodieb sú sintrové kôry, z ktorých dolná je stará 84-tisíc rokov. Sintrová kôra v najvyššej stropnej časti chodby nad sieňovitým rúťivým priestorom pred bývalým sífonom (zo strany Mramorového riečiska), ktorá sa takisto vytvorila na alochtónnych fluviálnych sedimentoch, je stará 281- až 231-tisíc rokov. Jej výšková pozícia vzhľadom na spomenuté nižšie situované podlahové sintrové kôry v zadnej časti chodby, najmä na kôru staršiu ako 350-tisíc a mladšiu ako 1,2 mil. rokov, nastoľuje otázku o komplikovanom, viacfázovom paragenetickom? vývoji chodby, resp. o určitých rozdielnych fázach vývoja prednej (pedsifónovej) a zadnej (zasifónovej) časti chodby.

A. Droppa (1957, 1966, 1972) predpokladá, že spodná časť Demänovskej jaskyne mieru od Dóm vyvierania cez Kaskádovú chodbu, najnižšie časti Vodopádového dómu a Chodby trosiek až k ponoru pri Zrútenom dóme sa vytvárali v rovnakom vývojovom štádiu ako Hlinená chodba. Zatiaľ sa tu nedatovali sintrové náteky staršie ako 350-tisíc rokov. Spodná časť sintrovej kôry vytvorenej na alochtónnych fluviálnych sedimentoch pri vyústení vstupnej štólne z dolinky Vyvieranie je stará 117-tisíc rokov. Na úsypiskách na pravom okraji Kaskádovej chodby (v smere toku bývalých alochtónnych ponorných vôd, ako aj terajšieho ponorného autochtónneho potôčika z dolinky Vyvieranie) sú stalagmity staré 60,91-tisíc rokov a 10,8-tisíc rokov, čo pravdepodobne indikuje viaceré fázy rútenia a opadávania horninového nadložia. Na hlinitých sedimentoch, ktoré po okrajoch Kaskádovej chodby (a pokračujúceho úseku vedúceho do Vodopádového dómu) pokrývajú staršie nánosy okruhliakov a štrku, sa vytvorili stalagmity staré 12,85-tisíc a 11,68-tisíc rokov.



Obr. 1. Sintrová kôra pokrývajúca alochtónne fluviálne sedimenty (jej spodná časť je staršia ako 350-tisíc rokov a mladšia ako 1,2 mil. rokov), Hlinená chodba v Demänovskej jaskyni slobody. Foto: P. Bella

Fig. 1. Flowstone covered alochtonnous fluvial sediments (its lower part is older than 350 ka and younger than 1.2 Ma), Loamy Corridor in the Demänová Cave of Liberty. Photo: P. Bella

II. a I. vývojová úroveň

Najnižšie vývojové úrovne (podľa ich vyčlenenia A. Droppom, 1966, 1972) možno najlepšie sledovať v Mramorovom riečisku Demänovskej jaskyne slobody. Za odbočkou Hlinenej chodby je vo výške 4 až 5 m výrazný pozdĺžny terasovitý zárez, ktorý predstavuje bývalú podlahu chodby – II. vývojovú úroveň. Na ňom sú uložené nánosy riečnych okruhliakov, štrku a piesku (pri stene chodby siahajúce až do výšky 7 až 8 m nad terajšou podlahou chodby), na ktorých sa našiel zvyšok sintrovej kôry starej 88,6-tisíc až 107-tisíc rokov (H. Hercman et al., 2000).

Na časové obdobie zahlbovania podlahy chodby do terajšej podoby (I. vývojová úroveň) poukazuje vek sintrovej kôry starej 8,4-tisíc rokov, ktorá sa nachádza tesne nad dnom chodby. Už asi pred jej vznikom sa vody Demänovky strácali v tzv. Podzemnom prepadaní. Dno Mramorového riečiska neskôr remodelovali iba občasné vody, ktoré ním pretekali za zvýšených vodných stavov (H. Hercman et al., 2000).

Erózne-akumulačné fázy modelácie riečiska Demänovky na Prízemí a v Pekelnom dóme Demänovskej jaskyne slobody

Prízemie. Viaceré nové poznatky, ktoré modifikujú názor A. Droppu (1966, 1972) na vývoj najnižších častí Demänovskej jaskyne slobody, sa zistili datovaním profilu fluvialných sedimentov na Prízemí (obr. 2). Terajšie riečisko Demänovky A. Droppa považuje za I. vývojovú úroveň, strednú časť Prízemia za súčasť IV. vývojovej úrovne. Na II. a III. vývojovú úroveň údajne poukazujú výrazné bočné zářezy na stenách mohutnej chodby Prízemia. Zvyšky akumulácie fluvialných sedimentov, ktoré sa nachádzajú na pravom brehu Demänovky, siahajú do výšky 3 m, A. Droppa (1957) ich považuje za holocénnu terasu.

Na okraji riečiska sa však zistila podlahová sintrová kôra stará 85-tisíc až 92-tisíc rokov (H. Hercman et al., 2000). Datovaním ďalšej vzorky inej podlahovej sintrovej kôry sa určil vek dokonca 138-tisíc rokov. Z toho vyplýva, že skalné podložie terajšieho riečiska vystlaného alochtónnymi fluvialnými sedimentmi je ešte staršie.

V spodnej časti odkryvu sedimentov na pravom okraji riečiska je sintrová kôra stará 105,6-tisíc až 92,4-tisíc rokov. V strednej časti odkryvu sú sintrové kôry staré 80,2-tisíc až 75,3-tisíc rokov, resp. 75,3-tisíc až 70-tisíc rokov. V nižšej pozícii vzhľadom na tieto sintrové kôry sa pozoruje exhumovaný stalagmit, ktorý takisto vznikol pred zanesením riečiska fluvialnými sedimentmi. Na povrchu odkryvu sedimentov je sintrová kôra stará 1,5-tisíc rokov.

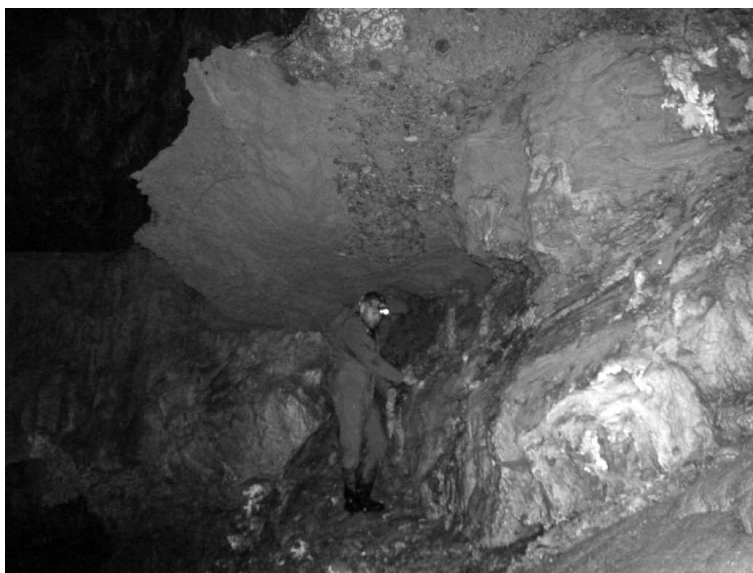
Na balvanoch ležiacich na dne Demänovky pri Rázcestí sa zachovali zvyšky riečnych sedimentov, ktoré sa zrútili ešte pred výrazným vyplňovaním vtedajšieho riečiska na Prízemí fluvialnými sedimentmi. O mocnosti sedimentácie svedčia aj zasintrované žulové okruhliaky na spodnej strane visutej sintrovej kôry pri Strome života (P. Bella, 1996b). V neskorších erózne-akumulačných, resp. erózných fázach sa fluvialne sedimenty vyplavili až do terajšej podoby riečiska, avšak jeho skalné podložie sa neprehĺbilo.

Na nerovnomerné zahlbovanie terajšieho riečiska Demänovky poukazujú jeho mierne sklonené úseky z Prízemia do Královej galérie až Pekelného dómu a od Dómu mŕtvych cez Mramorové riečisko, ktoré sú oddelené kaskádovitým úsekom na juhovýchodnom okraji Veľkého dómu. Prevýšenie súčasného riečiska na Prízemí vzhľadom na tzv. Podzemné prepadanie v Dóme mŕtvych je 6 m. Túto skutočnosť dokladajú aj horeuvedené výsledky datovania sintrov z Prízemia a Mramorového riečiska.



Obr. 2. Profil fluvialných sedimentov s datovanými sintrovými kôrami, Prízemie v Demänovskej jaskyni slobody. Foto: P. Bella

Fig. 2. Profile of fluvial sediments with dated flowstones, Ground Floor in the Demänová Cave of Liberty. Photo: P. Bella



Obr. 3. Východná strana Pekelného dómu s datovanými stalagmitmi pod i nad visutou policou scementovaných fluvialných sedimentov, Demänovská jaskyňa slobody. Foto: P. Bella

Fig. 3. The eastern side of Hell Dome with dated stalagmites below and above a hanging shelf of cemented fluvial sediments, Demänová Cave of Liberty. Photo: P. Bella

Terajšie dno Mramorového riečiska a riečisko Demänovky v úseku Pekelný dóm – Kráľova galéria – Prízemie nemožno považovať za jednu vývojovú úroveň. Súčasné riečisko Demänovky na Prízemí je v približne rovnakej výškovej pozícii ako asi pred 138-tisíc rokmi. Erózne zahĺbvanie dna Mramorového riečiska a riečiska v Dóme mŕtvych pred tzv. Podzemným prepadaním však pokračovalo aj v holocéne (H. Hercman et al., 2000).

Vzhľadom na horeuvedené a ďalšie morfológické a sedimentologické znakov vývoja Prízemia a priľahlých častí jaskynného systému pravdepodobnejšou príčinou opačne orientovaného čerinového zvrstvenia pieskov v strednej časti odkryvu sedimentov na pravom okraji riečiska na Prízemí, na ktoré upozorňujú M. Kojdová a E. Sliva (2005), bolo určitú dobu trvajúce sekundárne spätné prúdenie vody spôsobené bariérou v riečisku (skalný podlahový výklenok, neodplavené zvyšky starších sedimentov alebo vyčnievajúce staršie sintrové útvary), tak ako to uvedení autori uvádzajú vo svojej „druhej teórii“. Ostrohranný podlahový skalný výklenok – *echinolit* (T. Aley, 1964), resp. *čer* (T. Slabe, 1995) – vyčnieva z terajšieho riečiska poniže profilu smerom k priľahlej časti Veľkého dómu. Na Prízemí sa opačné čerejovité zvrstvenie piesku miestami pozoruje aj v recentnom riečisku.

Pekelný dóm. Skúmaný profil sa nachádza na východnej strane dómu nad riečiskom Demänovky (obr. 3). Koreňové časti stalagmitov na visutej polici scementovaných sedimentov vo výške 5 m nad terajším riečiskom, spod ktorej sa pôvodné fluvialné sedimenty odplavili, sú staré 8,61-tisíc, 8,15-tisíc a 2,2-tisíc rokov. Stalagmit, ktorý sa nachádzal vo výške asi 3 m nad riečiskom, t. j. pod visutou policou scementovaných sedimentov, sa skladá z dvoch častí oddelených scementovanou vrstvou piesku. Jeho spodná časť je stará 37,3-tisíc až 20,6-tisíc rokov, jeho horná časť 9,7-tisíc až 2,8-tisíc rokov. Na vysvetlenie otázky výskytu mladšej hornej časti stalagmitu pod visutou policou scementovaných sedimentov, na ktorej sú staršie stalagmity, sa snažíme získať údaje z dopĺňajúceho datovania sintrov. Náhle znížený profil chodby riečiska Demänovky na okraji Pekelného dómu pod Ružovou galériou v smere odtoku vody mal pravdepodobne bariérový vplyv voči transportu fluvialných sedimentov.

Mohutné skalné rútenia a vývoj spodnej časti Veľkého dómu s blízkym okolím

Vo Veľkom dóme Demänovskej jaskyne slobody sa zreteľne pozorujú viaceré generácie skalného rútenia. Najstaršie sú zrútené sintrové bloky v jeho juhozápadnej časti, severne od Perlového jazierka, na povrchu ktorých vidieť drobné lastúrovité jamky (*scallops*) vytvorené až po ich zrútení do prostredia prúdiacej vody. Miestami sa na nich zachovali aj zvyšky fluvialných sedimentov. Veľké balvany v severnej a východnej časti Veľkého dómu takéto znaky modelácie tečúcich vôd nemajú. Na ich povrchu sú sintrové náteky, ktoré sa začali vytvárať pred 9-tisíc a 8-tisíc rokmi, niektoré iba pred 2,3-tisíc rokmi.

Jemné sedimenty pokrývajú zrútený a neskôr naklonený mohutný skalný blok na juhovýchodnom okraji Veľkého dómu v prechodnej časti na Prízemie (oproti kaskádovitému úseku toku Demänovky). Na jeho povrchu je stalagmit, ktorého spodná časť je stará 13,01-tisíc rokov. Tento stalagmit po naklonení skalného bloku zmenil pôvodnú zvislú polohu na šikmú. Skalný blok sa naklonil následkom odplavenia podložných sedimentov alebo zahĺbenia chodby v jej mladšom vývojovom štádiu. Následne sa na ňom vytvoril stalagmit, ktorého spodná časť je stará 9-tisíc rokov. Na obdobie vtedajšieho zarezávania sa Demänovky poukazuje aj stalagmit na hlinitých sedimentoch asi 2 m nad jej klesajúcim tokom, ktorého vek v koreňovej časti je 10,26-tisíc rokov.

Zrútenie skalných blokov na Prízemí pri Rázcestí, na ktorých sa zachovali zvyšky riečnych sedimentov, je staršie ako posledná generácia rútenia vo Veľkom dóme.

Rozdiely izotopového zloženia a koncentrácie uránu v sintroch

Počas laboratórnych a vyhodnocovacích prác H. Hercman a T. Nowicki zistili výrazné rozdiely izotopového zloženia a koncentrácie uránu v datovaných vzorkách sintrov, ktoré závisia od ich veku a miesta výskytu v Demänovskom jaskynnom systéme.

Podľa izotopového zloženia a koncentrácie uránu uvedení autori rozlíšili dve základné „subpopulačné“ skupiny sintrov:

- sintre s hodnotou $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ nad 1 a nízkou koncentráciou uránu,
- sintre s hodnotou $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ pod 1 a vyššou koncentráciou uránu.

Nižšie pomery iniciálnej $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ aktivity sa zistili vo vzorkách sintrov s vyššou koncentráciou uránu, ako aj vo vzorkách zo starších sintrov (s vekom viac ako 140-tisíc rokov). Zmeny izotopového zloženia a koncentrácie uránu sa zaznamenali aj vo vzorkách sintrov rozdielneho veku, ktoré pochádzajú z jedného miesta jaskynného systému. Výrazné rozdiely týchto ukazovateľov sú medzi vzorkami sintrov, ktoré sa odobrali v odlišných častiach jaskynného systému.

Základné súvislosti izotopového zloženia a koncentrácie uránu poukazujú na rozdielne rozpúšťacie účinky vody, ktoré sú zdrojom uránu v sekundárnom kalcite. Príčiny týchto zmien môžu súvisieť so zmenami „ciest“ priesakových vôd alebo s prítomnosťou odlišných nadložných rozpustných hornín, čím sa mení zloženie vody v závislosti od charakteru rozpustnej horniny a splavených sedimentov. Na tvorbu niektorých podlahových sintrových kôr však mohla vplývať aj voda pritekajúca chodbami z iných častí jaskynného systému.

Viacere generácie sintrovej výplne

Hoci hlavným cieľom doterajšieho rádioizotopového datovania sintrov v jaskyniach Demänovskej doliny bolo zistenie veku superpozičných sintrových útvarov na rekonštrukciu viacerých vývojových etáp jaskynného systému, doterajšie výsledky viac-menej umožňujú poukázať aj na výskyt viacerých generácií sintrov:

1. podlahové sintre staršie ako 1,2 mil. rokov – zistili sa v Suchej jaskyni (jej spodné časti patria do VI. vývojovej úrovne a horné časti do VII. vývojovej úrovne) a v jaskyni Okno (jej horizontálna chodba predstavuje IX. vývojovú úroveň), ich výskyt sa predpokladá aj v iných jaskyniach podobnej výškovej pozície nad dnom doliny (J. Kadlec et al., 2004);

2. podlahové sintrové kôry staré 780-tisíc až 1,2 mil. rokov – ich výskyt sa predpokladá na V. vývojovej úrovni, resp. v jaskynných priestoroch medzi IV. až VI. vývojovou úrovňou (napr. medzi Žulovou chodbou Demänovskej jaskyne slobody a Suchou jaskyňou);

3. podlahové sintrové kôry staré 350-tisíc až 780-tisíc rokov – zistili sa na III. vývojovej úrovni (Hlinená chodba v Demänovskej jaskyni slobody) a IV. vývojovej úrovni (okraj Závrtového dómu v Demänovskej ľadovej jaskyni – H. Hercman et al., 1997, 1998, 2000; Ružová galéria v Demänovskej jaskyni mieru);

4. podlahové sintrové kôry staré 350-tisíc až 140-tisíc rokov – zistili sa v strednej časti profilu v Žulovej chodbe Demänovskej jaskyne slobody (H. Hercman et al., 1997, 1998); na IV. vývojovej úrovni v Suchej chodbe Demänovskej jaskyne slobody sú na sebe uložené sintrové kôry staré 325-tisíc až 114-tisíc rokov, na tej istej vývojovej úrovni v Demänovskej jaskyni mieru sa datoval 230-tisíc rokov starý stalagmit vytvorený na staršej podlahovej sintrovej kôre (okrem súvislosti s vyššou koncentráciou uránu pomery iniciálnej $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ aktivity sú nižšie aj vo vzorkách sintrov starších ako 140-tisíc rokov);

5. podlahové sintrové kôry staré 140-tisíc až 70-tisíc rokov – vyskytujú sa na Prízemí v Demänovskej jaskyni slobody (H. Hercman et al., 2000), pri Závrtovom dome v Demänovskej ľadovej jaskyni (H. Hercman et al., 1997, 1998);

6. stalagmity staré 40-tisíc až 20-tisíc rokmi sa vyskytujú na pravej strane Pekelného dómu vo výške 3 m nad terajším riečiskom pod visutou policou scementovaných fluviaálnych sedimentov;

7. sintrové náteky a stalagmity mladšie ako 15-tisíc rokov vytvorené najmä v holocéne (H. Hercman et al., 1997, 1998, 2000), ktoré sa vyskytujú v dolných i horných častiach jaskynného systému.

Na základe analýz frekvencie rastu sintrov v jaskyniach tatranskej oblasti, juhopoľských vrchovín, Moravského krasu a Sudet pred 10-tisíc až 200-tisíc rokmi, ako aj z porovnania výsledkov iných autorov z ďalších oblastí strednej a západnej Európy. H. Hercman (2000) konštatuje synchronne klimatické zmeny na celom sledovanom území. Pritom indikuje nárast continuity rastu sintrov v južnom smere S – J profilu, čo je pravdepodobne späté so S – J klimatickým gradientom v Európe. Na území Tatier a Nízkych Tatier sa v ľadových dobách prejavovali vplyvy horských ľadovcov.

Výsledky rádioizotopového datovania sintrov z území postihnutých štvrtohornými klimatickými zmenami potvrdzujú, že pleistocénna tvorba sintrov v miernom klimatickom pásme sa prerušovala v glaciáloch a narastala v interglaciáloch (H. P. Thompson et al., 1974; R. S. Harmon et al., 1975; T. C. Atkinson et al., 1978; J. G. Henning et al., 1983; D. Gordon et al., 1989; Y. Quinif – B. Bastin, 1989; H. Hercman, 1991; K. Kashiwaya et al., 1991; A. Baker et al., 1993 a iní).

ZÁMERY ĎALŠIEHO VÝSKUMU

Doterajšie výsledky budú doplnené výsledkami datovania ďalších vzoriek sintrov, ktoré sa už odobrali z horeuvedených miest jaskynného systému (tab. 2) alebo sa dodatočne odoberú s cieľom spresniť požadované výsledky. Pozornosť sa upriami najmä na:

1. Rekonštruovať geochronológiu vývoja Hlinenej chodby (III. vývojová úroveň podľa A. Droppu) v Demänovskej jaskyni slobody s viacerými eróznymi a akumuláčnými fázami, vrátane lokálnych prejavov paragenetickej modelácie stropných častí bočných zárezov chodby (výskyt anastomóz v dvoch výškových úrovniach).

2. Skompletizovať údaje o veku sintrov z Dómu vyvierania, Kaskádovej chodby a odtokovej chodby k Zrútenému domu a rekonštruovať geochronológiu vývoja tejto časti Demänovskej jaskyne mieru (takisto III. vývojová úroveň podľa A. Droppu), vrátane porovnania vývojových súvislostí s Hlinenou chodbou, ktoré predpokladá A. Droppa (1957, 1972, 1995).

3. Po skončení datovania všetkých vzoriek sintrov z Pekelného dómu objasniť vývoj riečiska podzemného toku Demänovky medzi Pekelným dómom a Prízemím vo vzťahu k výrazným akumuláciám fluviálnych sedimentov a ich redeponácii.

4. Rekonštruovať vývoj IV. vývojovej úrovne v Demänovskej jaskyni mieru v úseku medzi Zrúteným dómom a Objavným sífónom od Demänovskej ľadovej jaskyne – v mieste za Kvapľovým lesíkom, kde sa sintrové kôry vytvorené na fluviálnych sedimentoch polámali následkom mladšieho odplavenia časti týchto podložných sedimentov. Porovnať vývoj tejto časti jaskynného systému s už rekonštruovaným vývojom chodby za Závrtovým dómom v Demänovskej ľadovej jaskyni (H. Hercman et al., 1997, 1998).

5. Na základe dodatočného datovania sintrov vrátane zrútených starých sintrových blokov s prejavmi fluviálnej modelácie dokladovať viaceré generácie rútení vo Veľkom dome Demänovskej jaskyne slobody.

V jaskyniach Demänovskej doliny existuje množstvo ďalších vhodných profilov so sintrami, ktorých datovaním sa môžu získať ďalšie dôležité poznatky o vývoji tohto pozoruhodného jaskynného systému. Náš výskum sa tu v budúcnosti možno rozšíri, avšak na zreteli treba mať skutočnosť, že použitie rádioizotopových metód datovania je obmedzené ich chronologickým rozsahom a viac-menej ich nemožno použiť na rekonštrukciu najstarších fáz vývoja tohto jaskynného systému. Preto sa súčasne s rádioizotopovým datovaním sintrov už skôr uskutočnil aj paleomagnetický výskum sedimentov, najmä zo stredných a horných častí jaskynného systému (H. Hercman et al., 1997, 1998; P. Pruner et al., 2000; P. Pruner – P. Bosák, 2001; J. Kadlec et al., 2003, 2004), pričom získané údaje navzájom nadväzujú a vzájomne sa dopĺňujú s cieľom získať najpresnejšie a najucelenejšie poznatky.

LITERATÚRA

ALEY, T. 1964. Echinoliths – an important solution feature in the stream caves of Jamaica. *Cave Notes*, 6, 1, 3–5.

ATKINSON, T. C. – HARMON, R. S. – SMART, P. L. – WALTHAM, A. C. 1978. Paleoclimatic and geomorphic implications of $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dates on speleothems from Britain. *Nature*, 272, 24–28.

BAKER, A. – SMART, P. L. – FORD, D. C. 1993. Northwest European paleoclimate as indicated by growth frequency variations of secondary calcite deposits. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 100, 291–301.

BELLA, P. 1993. Poznámky ku genéze Demänovského jaskynného systému. *Slovenský kras*, 31, 43–53.

BELLA, P. 1996a. K problematike genézy depresných častí Demänovskej jaskyne slobody a priľahlých ponorných jaskýň v Demänovskej doline. In M. Lalkovič, Ed. *Kras a jaskyne – výskum, využívanie a ochrana*, zborník referátov. Liptovský Mikuláš, 103–109.

BELLA, P. 1996b. Geomorfologický význam a problémy genézy Demänovskej jaskyne slobody. In P. Bella, Ed. *Sprístupnené jaskyne – výskum, ochrana a využívanie*, zborník referátov. Liptovský Mikuláš, 46–52.

BELLA, P. 2000. Genetické typy jaskynných priestorov v Demänovskej doline. In J. Lacika, Ed. *Zborník referátov z 1. konferencie Asociácie slovenských geomorfologov pri SAV*. Bratislava, 8–20.

BÖGLI, A. 1978. *Karsthydrographie und physische Speläologie*. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 292 s.

DROPPA, A. 1957. Demänovské jaskyne. *Krasové javy Demänovskej doliny*. Bratislava, 289 s.

DROPPA, A. 1963. Paralelizácia riečnych terás a horizontálnych jaskýň. *Geologické práce, Zošit* 64, 93–96.

DROPPA, A. 1966. The correlation of some horizontal caves with river terraces. *Studies in Speleology*, 1, 186–192.

DROPPA, A. 1972. Geomorfologické pomery Demänovskej doliny. *Slovenský kras*, 10, 9–46.

DROPPA, A. 1994. Die Entwicklung der Demänová-Höhlen. In P. Bella, Ed. *Caves and Man, Proceedings of International Symposium*. Liptovský Mikuláš, 7–10.

FORD, D. C. 1977. Genetic Classification of Solution Cave System. *Proceeding of the 7th International Congress of Speleology*, Sheffield, 189–192.

FORD, D. C. 2000. Speleogenesis Under Unconfined Settings. In A. B. Klimchouk – D. C. Ford – A. N. Palmer – W. Dreybrodt, Eds. *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, Alabama (USA), 319–324.

FORD, D. C. – EWERS, R. O. 1978. The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 15, 1783–1798.

GORDON, D. – SMART, P. L. – FORD, D. C. – ANDREVS, J. N. – ATKINSON, T. C. – ROWE, P. J. – CHRISTOPHER, N. S. T. 1989. Dating Late Pleistocene interglacial and interstadial periods in the United Kingdom from speleothems growth frequency. *Quaternary Research*, 31, 14–26.

- HENNING, G. J. – GRÜN, R. – BRUNNACKER, K. 1983. Speleothems, travertines, and paleoclimate. *Quaternary Research*, 20, 1–29.
- HERCMAN, H. 1991. Reconstruction of geological environment on the Western Tatra Mts. based on isotopic dating of speleothems. *Zeszyty Naukowe Politechniki Slaskiej, Matematika – Fizyka*, 66, *Geochronometria*, 8, 1–139.
- HERCMAN, H. 2000. Reconstruction of palaeoclimatic changes in Central Europe between 10 and 200 thousand years BP, based on analysis of growth frequency of speleothems. *Studia Quaternaria*, 17, 35–70.
- HERCMAN, H. – BELLA, P. – GLAZEK, J. – GRADZIŃSKI, M. – LAURITZEN, S. E. – LOVLIE, R. 1997. Uranium-series dating of speleothems from Demänová Ice Cave: A step to age of the Demänová Cave System (The Nízke Tatry Mts., Slovakia). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 67, 4, 439–450.
- HERCMAN, H. – BELLA, P. – GRADZIŃSKI, M. – GLAZEK, J. – LAURITZEN, S. E. 1997. The antiquity of the famous Demianowska Caves (Slovakia). *Proceedings of the 12th International Congress of Speleology*, 1, La Chaux-de-Fonds, 85–86.
- HERCMAN, H. – BELLA, P. – GLAZEK, J. – GRADZIŃSKI, M. – LAURITZEN, S. E. – LOVLIE, R. 1998. Rádioizotopové datovanie a paleomagnetizmus sintrov z Demänovskej ľadovej jaskyne a geochronológia IV. vývojovej úrovne Demänovského jaskynného systému. In P. Bella, Ed. *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň*, 1, zborník referátov. Liptovský Mikuláš, 9–15.
- HERCMAN, H. – BELLA, P. – GLAZEK, J. – GRADZIŃSKI, M. – NOWICKI, T. 2000. Rádioizotopové datovanie sintrov z Demänovskej jaskyne slobody. In P. Bella, Ed. *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň*, 2, zborník referátov. Liptovský Mikuláš, 26–35.
- HOCHMUTH, Z. 1988. Geomorfologický výskum a topografia Vodnej cesty medzi jaskyňami Vyvieranie a j. Slobody v Demänovskej doline. *Slovenský kras*, 26, 7–23.
- HOCHMUTH, Z. 1995. Some notes concerning the research of the phreatic zone in the cave system of Demänová Valley (Low Tatras, Slovakia). In P. Bella, Ed. *Caves and Man, Proceedings of International Symposium*. Liptovský Mikuláš, 11–15.
- IVANOVICH, M. – HARMON, R. S. 1982. *Uranium Series Disequilibrium. Applications to Environmental Problems*. Clarendon, Oxford, 571 p.
- KADLEC, J. – PRUNER, P. – CHADIMA, M. – GRYGAR, T. 2003. Magnetostratigraphy od sediments preserved in caves located in the Nízke Tatry Mts. and correlation with the Váh river terrace system, Slovakia. EGS-AGU-EUG Joint Assembly. MG6 Magnetostratigraphy: sensitivity, resolution and cross-correlations. Nice, France 6 – 11 April 2003.
- KADLEC, J. – PRUNER, P. – HERCMAN, H. – SCHNABL, P. – ŠLECHTA, S. 2004. Magnetostratigrafia sedimentov zachovaných v jaskyniach Nízkyh Tatier. In P. Bella, Ed. *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň*, 4, zborník referátov. Liptovský Mikuláš, 15–19.
- KASHIWAYA, K. – ATKINSON, T. C. – SMART, P. L. 1991. Periodic Variations in Late Pleistocene Speleothem Abundance in Britain. *Quaternary Research*, 35, 190–196.
- KOJDOVÁ, M. – SLIVA, Ľ. 2005. Sedimentologická charakteristika vybraných profilov Demänovskej jaskyne slobody. *Slovenský kras*, 43, 129–144.
- PRUNER, P. – BOSÁK, P. 2001. Palaeomagnetic and magnetostratigraphic research of cave sediments: theoretical approach, and examples from Slovenia and Slovakia. *Proceedings, 13th International Congress of Speleology*, volume 1, Brasilia, 94–97.
- PRUNER, P. – BOSÁK, P. – KADLEC, J. – VENHODOVÁ, D. – BELLA, P. 2000. Paleomagnetický výzkum sedimentárných výplní vybraných jeskyní na Slovensku. In P. Bella, Ed. *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň*, 2, zborník referátov. Liptovský Mikuláš, 13–25.
- QUINIF, Y. – BASTIN, B. 1989. Modalités et chronologique de la sédimentation souterraine en Belgique au Pleistocène moyen et supérieur. *Acta Carsologica*, 18, 71–87.
- SLABE, T. 1995. Cave rocky relief and its speleogenetical significance. *Zbirka ZRC*, 10, ZRC SAZU, Ljubljana, 128 p.
- THOMPSON, H. P. – FORD, D. C. – SCHWARTZ, H. P. 1974. Continental Pleistocene climatic variation from speleothem age and isotopic data. *Science*, 184, 893–895.