

Výrazným geologickým činitelem v zájmové oblasti je vodní eroze, k níž změnou spádové křivky vodních toků přispěly i rozsáhlé blokové deformace. Severní svahy, díky uložení vrstev velmi příkré, zpravidla nejsou porušeny hlubokými deformacemi, často však na nich dochází k povrchovému ploužením pokryvných materiálů. Rovněž zářezy lesních cest zde bývají porušeny mělkými zátrhy.

Autoři vyjadřují svůj dík projektu COST 625 „3-D monitoring of active tectonic structures“ za spolufinancování prací spojených s výzkumem hlubokých porušení svahů v Moravskoslezských Beskydech.

## Literatura

- HABRNÁL, L. (1971): Způsoby porušení svahů a příčiny deformace v oblasti Kněhyně v Moravsko-slezských Beskydech. – Diplomová práce. Přírodověd. fak. Univ. Karl. v Praze, 60 s., 12 příl. Praha.
- KIRCHNER, K. – KREJCÍ, O. (1998): Inventarizace geomorfologických prvků národní přírodní rezervace Kněhyně – Čertův Mlýn jako podklad

- pro charakteristiku abiotického prostředí geobiocenů. – MS Úst. geoniky Akad. věd Čes. republ., 12 s. Brno.
- KIRCHNER, K. – KREJCÍ, O. (1999): Inventarizace geomorfologických prvků v hranicích předběžně vymezeného nadregionálního biocentra Kněhyně – Čertův Mlýn jako podklad pro charakteristiku abiotického prostředí geobiocenů. MS Úst. geoniky Akad. věd Čes. republ., 14 s. Brno.
- MENČÍK, E. et al. (1983): Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny. – Ústř. úst. geol., 304 s. Praha.
- PAVLICA, J. (1984): Pseudokrasová puklinová jeskyně na Kněhyně. – Naši Přír., 1984, 2, 8–11.
- RYBÁŘ, J. (2001): Hodnocení náhylnosti území k sesouvání ve vybraných částech okresu Vsetín. – Zpr. Geol. Výzk. v Roce 2000, 134–136.
- RYBÁŘ, J. – HOLZER, R. – KOPECKÝ, M. (2002): 1st European Conference on Landslides – Post Conference Field Trip: East of the Czech Republic and Slovakia. – 69 s., Úst. struktury a mechaniky hornin Akad. věd Čes. republ. Praha.
- STEMBERK, J. (2002): Slope and tectonic movements trial in Moravskoslezské Beskydy Mts. In: 1<sup>st</sup> European Conference on Landslides – Post Conference Field Trip Guide (Rybář, J. – Holzer, R. – Kopecký, M. eds.), 24–27. Úst. struktury a mechaniky hornin Akad. věd Čes. republ. Praha.
- WAGNER, J. et al. (1990): Jeskyně v Moravskoslezských Beskydech a jejich okolí. – Knih. Čes. speleol. Společ., 17, 131 s. Praha.

## VZNIK HOLOCENNÍCH SUŤOVÝCH BREKCIÍ VE STŘEDOČESKÉ OBLASTI A JEJICH EROZNÍ POSTIŽENÍ

### Formation of Holocene scree breccias in Central Bohemia and their destruction by erosion

KAREL ŽÁK<sup>1</sup> – LUCIE MIKŠÍKOVÁ<sup>2</sup> – HELENA HERCMAN<sup>3</sup> – JAROSLAVA MELKOVÁ<sup>2</sup> – JAROSLAV KADLEC<sup>4</sup>

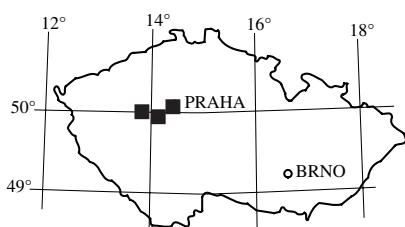
<sup>1</sup> Český geologický ústav, Klárov 3, 118 21 Praha 1

<sup>2</sup> Přírodovědecká fakulta UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2

<sup>3</sup> Institute of Geology, Polish Academy of Sciences, Warszawa

<sup>4</sup> Geologický ústav AV ČR, Rozvojová 135, 165 00 Praha 6

(12-14 Rakovník, 12-24 Praha, 12-32 Zdice, 12-41 Beroun, 12-42 Zbraslav)



**Key words:** scree breccias, scree cementation, dating, erosion, Holocene

**Abstract:** Scree slope accumulations are locally cemented into resistant scree breccia in the Central Bohemia. The cementation occurred mostly at sites of groundwater discharge. Based on U-series data on carbonate cement, the scree breccias were formed between 12.9 and 7.9 ka BP in the area where Neoproterozoic silicate rocks outcrop. In a karst area formed by Devonian limestones the oldest scree cement was dated at 9.5 ka BP. An intensive destruction of scree breccias by erosion occurred between 1.9 and 0.3 ka BP.

## Úvod

Ve středních Čechách lze na řadě lokalit nalézt svahové suťové akumulace (droliny, osypy, suťové kužely apod.) stmelené chemogenním tmelem různého minerálního složení do pevných brekcií. Nejčastěji se suťové brekcie (tmelené sutě) vyskytují v oblastech tvorených sedimentárními a vulkanickými horninami barrandienského neoproterozoika, další lokality jsou známy v krasovém prostředí, tedy v oblasti tvorené paleozoickými vápenci Pražské pánve. Tmel sutí je nejčastěji karbonátový (kalcit nebo aragonit), poměrně hojně jsou však i lokality s tmelem tvoreným sekundárními minerály železa (Žák et al. 2001). K cementaci sutí došlo nejčastěji v souvislosti s vývěry podzemních vod, a to i na místech, kde dnes žádné podzemní vody nevyvěrají. Tmel je obvykle dotykový a v brekci zůstávají volné dutiny. Kromě těchto pevných suťových brekcií se v krasovém prostředí vyskytují často ještě svahové sedimenty částečně zpevněné sekundárním karbonátem, vyšráženým na sklonku boreálu a ve starším atlantiku ze stupňových srážkových vod v souvislosti s půdním vývojem na povrchu (přehledně pro tento typ např. Ložek – Cílek 1995). Tento odlišný genetický typ částečně zpevněných svahových sedimentů nebyl do výzkumu zahrnut.

Vznik suťových brekcií na přechodu z glaciálu do holocénu lze chápat jako zákonitý důsledek předchozího vývoje svahových akumulací a nástupu specifických klimatických podmínek. Těmto často velmi nápadným brekciím byla dosud věnována poměrně malá výzkumná pozornost. Obsahují totiž zpravidla málo malakofauny a dalších živočišných a rostlinných zbytků a jejich přesné časové zařazení je proto obtížné. Výskyty holocenních tmelených sutí ve středočeské oblasti mají jeden typický rys, který je sbližuje s akumulacemi pěnovců při pramenech nebo v povrchových tocích – často jsou postiženy mladoholocenní erozí, která mnohdy prořezává jak akumulace tmelených sutí, tak i pěnovců až na skalní podloží. Protože dosud nebyla o stáří cementačního procesu k dispozici žádná přímá data, pokusili jsme se tmel některých nejznámějších lokalit datovat. V tomto příspěvku je uveden seznam nejdůležitějších lokalit a výsledky geochronologických prací. Lokality popisované v tomto článku představují nepochybně jen část z míst, kde k cementaci sutí tmelem vysráženým z podzemních vod došlo. Regionálně byl výzkum zaměřen na suťové akumulace v údolí Vltavy, Berounky a jejich přítoků v širším okolí Prahy.

## Přehled lokalit

Většina lokalit suťových brekcií uvedených v tomto přehledu byla již dříve známa. Jednotlivé lokality nalezli J. Petrbok, V. Ložek, J. Kovanda, P. Štěpánek, V. Cílek, J. Rudolský, K. Záhrubský, K. Žák a další. Detailní popisy jednotlivých lokalit včetně fotodokumentace, nákresy profilů, popisy vzorků a přehledy literatury k jednotlivým lokalitám jsou uvedeny v práci Míškové (2003).

V oblasti tvorené horninami barrandienského neoprotorozoika došlo ke tmelení sutí zejména v litologicky pestrých partiích. Brekcie s karbonátovým tmelem se vyskytuji na Křivoklátsku ve spodní části Hřebečského luhu u Hřebečníků (vzorek TMS-13), na jižním okraji přírodní rezervace Brdatka u Křivoklátu (TMS-24, TMS-25), ve Zbečně v části Riviéra, na několika místech v přírodní rezervaci Kabečnice u Žloukovic (TMS-11), při Habrovém potoce v Otročině (TMS-20) i na dalších místech. V okolí Prahy lze cementaci sutí karbonátem nalézt v údolí Vltavy jak na jihu (v okolí Davle, osada Mandát i na opačném břehu), tak i na severu, na několika místech v národní přírodní rezervaci Větrušické rokle (TMS-17). Příklady cementace sutí sekundárními minerály železa se nacházejí v oblasti Křivoklátska například na levém břehu Berounky proti železniční stanici ve Zbečně, v okolí Prahy v Károvském údolí a v Břežanském údolí nedaleko Zbraslaví.

V oblasti, kde vystupují vápence devonu Pražské pánve, lze nalézt typické ukázky akumulací holocenních tmelených sutí ve střední a v horní části Císařské rokle u Srbska, další méně známý výskyt je také na pravém břehu řeky Berounky ve střední části tzv. Myší rokle u Karlštejna. V těchto případech jde o vznik suťových brekcií v souvislosti s vývěry podzemních krasových vod. V Císařské rokle jsou suťové brekcie vytvořeny v podloží masivních čistých pěnovců atlantiku (PETRBOK 1929). Situace je zde poměrně

složitá, protože podzemní vody protékaly tmelenými sutěmi ještě i v době tvorby čistých pěnovců v jejich nadloží. Jak pěnovce, tak tmelené sutě jsou v Císařské rokli proříznuty mladoholocenní erozí. V Císařské rokli pokračuje tvorba pěnovců do současnosti. Erozí prorvané akumulace suťových brekcií a kaskády pěnovců atlantického stáří jsou tedy překrývány mladšími kaskádami pěnovců. To poskytuje možnost datovat významné erozní události mladého holocénu. Ke studiu byly v Císařské rokli zvoleny dva profily, jeden ve střední části rokle, v místě největší erozí proříznuté kaskády (cca 350 m od ústí rokle) a další profil asi o 200 m výše proti proudu potoka. Ze spodního i z horního profilu byly odebrány vzorky tmelu sutí v podloží masivních pěnovců atlantiku (TMS-1 a TMS-28), z horního profilu navíc vzorek výplně v dutinách a trhlině reliktu tmelené suti (tj. poslední datovatelný vzorek před hlavními erozními událostmi, TMS-5) a vzorek vytvořený již jednoznačně po těchto erozních událostech (TMS-29).

## Metodika

V terénu byly odebrány vzorky o hmotnosti zhruba 1 až 2 kg, ze kterých byl v laboratoři pečlivě separován karbonátový tmel. Přednost přitom byla dána partiím s tmelem čistým, krystalickým, bez podstatných příměsí jílových minerálů a dalších klastických složek. Vzorky byly datovány pomocí U-series a v karbonátu byla navíc stanovena i aktivita  $^{14}\text{C}$ . U vzorků s vysokým podílem jílových částic ve tmelu bylo provedeno pouze stanovení  $^{14}\text{C}$  v karbonátu.

Datování karbonátů provedla metodou  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  laboratoř Geologického ústavu Polské akademie věd ve Varšavě. Uran a thorium byly z karbonátu separovány obvyklou chemickou procedurou (IVANOVICH – HARMON 1992). Vzorky byly rozpuštěny v 6 M kyselině dusičné a uran a thorium byly separovány chromatografickou metodou s použitím iontoměriče DOWEX 1x8. Účinnost chemické separace byla kontrolována přidáním spike  $^{228}\text{Th}/^{232}\text{U}$ . Měření aktivit (-spektrometrie) bylo provedeno na přístroji OCTETE PC firmy EG&G ORTEC. Analýza spekter a výpočet stáří byly provedeny s užitím software „URANOTHOR 2.5“ (GORKA – HERCMAN 2002). Část vzorků měla nízkou příměs klastického thoria a žádná korekce vypočteného stáří nebyla třeba. U vzorků z Císařské rokle (TMS-1, 5, 28, 29) bylo zapotřebí korekci na příměs klastického thoria provést. Počáteční poměr aktivit  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  klastické kontaminace byl předpokládán  $1.5 \pm 0.5$ . Nejistota v tomto poměru vede k větší chybě vypočteného korigovaného stáří. Výsledky všech stanovení jsou v tabulce 1.

Aktivitu  $^{14}\text{C}$  v karbonátu nelze užít k výpočtu stáří, vzhledem k nejistotě v poměru mísení uhlíku z organické hmoty a uhlíku odvozeného z hornin (který má nulovou aktivitu  $^{14}\text{C}$ ), lze ji však využít k lepšímu poznání procesů vzniku tmelu. Pro stanovení  $^{14}\text{C}$  byly vzorky rozloženy  $\text{H}_3\text{PO}_4$  a uvolněný  $\text{CO}_2$  byl na konverzní vakuové aparatuře převeden na benzen ( $\text{CO}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6$ ). V benzenu byla potom po přidání scintilátoru měřena aktivita  $^{14}\text{C}$  metodou LSC po dobu 2400–3600 minut, v závislosti na aktivitě vzorku. Stanovení aktivity  $^{14}\text{C}$  v karbonátu bylo prove-

Tabulka 1. Výsledky datování karbonátového tmelu sutí pomocí U-series a výsledky stanovení aktivity  $^{14}\text{C}$  v karbonátu

lokalita	vzorek	lab. č.	obsah U (ppm)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	stáří (bez korekce) tis. let	korigované stáří tis. let	aktivita $^{14}\text{C}$ v $\text{CaCO}_3$ % m. c.
Císařská rokle 1	TMS-1	W743	2,363 $\pm 0,042$	1,367 $\pm 0,018$	0,097 $\pm 0,002$	9,7	11,09 $\pm 0,25$	<b>9,46</b> $\pm 1,20$	52,17 $\pm 1,180$
Císařská rokle 2	TMS-5	W744	0,786 $\pm 0,015$	1,985 $\pm 0,032$	0,020 $\pm 0,001$	10	2,21 $\pm 0,15$	<b>1,88</b> $\pm 0,45$	66,82 $\pm 1,191$
Žloukovice 2	TMS-11								19,43 $\pm 0,513$
Hřebečský luh	TMS-13	W742	2,698 $\pm 0,052$	3,192 $\pm 0,034$	0,095 $\pm 0,002$	309	<b>10,78</b> $\pm 0,20$		6,25 $\pm 0,324$
Větrušické rokle 2	TMS-17								25,24 $\pm 0,646$
Otročiněves	TMS-20	W 915	68,873 $\pm 1,269$	1,405 $\pm 0,004$	0,112 $\pm 0,001$	87	<b>12,88</b> $\pm 0,08$		7,33 $\pm 0,311$
Brdatka	TMS-24	W 913	4,059 $\pm 0,078$	1,803 $\pm 0,018$	0,071 $\pm 0,020$	22	<b>7,94</b> $\pm 0,19$		17,28 $\pm 0,453$
Brdatka	TMS-25								23,55 $\pm 0,561$
Císařská rokle 2	TMS-28	W 914	1,162 $\pm 0,021$	1,876 $\pm 0,034$	0,068 $\pm 0,003$	6,4	7,65 $\pm 0,34$	<b>5,92</b> $\pm 1,52$	
Císařská rokle 2	TMS-29	W 917	1,789 $\pm 0,032$	1,735 $\pm 0,028$	0,008 $\pm 0,001$	2,3	0,86 $\pm 0,09$	<b>0,30</b> $\pm 0,60$	

deno v Radiouhlíkové laboratoři Přírodovědecké fakulty UK v Praze. Výsledky všech stanovení jsou v tabulce 1.

## Hlavní závěry a nové poznatky

Z provedených prací vyplývají tyto hlavní závěry:

1. V oblasti tvořené horninami barrandienského neoprotoroika dokládají vzorky dosud datované pomocí U-series cementaci sutí karbonátem v rozmezí od **12 880** ( $\pm 80$ ) do **7 940** ( $\pm 190$ ) let před současností (BP). Ke vzniku tmelu tedy došlo v pozdním glaciálu a časném holocénu (v mladším dryasu, preboreálu a boreálu). To potvrzuje i aktivity  $^{14}\text{C}$  v karbonátu, které u některých lokalit naznačují možné pokračování procesu až do spodního atlantiku. Nejstarší lokality (Otročiněves, Hřebečský luh) mají měřené aktivity  $^{14}\text{C}$  v karbonátu mimořádně nízké, což odpovídá nízkým počátečním aktivitám radiouhlíku. Jednou z možných příčin může být vliv  $\text{CO}_2$  uvolňovaného z hlubších zón rozmrzajícího permafrostu.
2. Ke tmelení sutí karbonátem v tomto nekrasovém prostředí došlo vesměs ve spodní části svahových akumulační, kde vyvěraly podzemní vody sestupující sutí. Cementace sutí souvisela se značnou dostupností geochemicky nezvětralých úlomků hornin vzniklých gelivací a kongelifrakcí v glaciálu a s klimatickou změnou.
3. Datování vzorku z Otročiněvs je velmi přesné vzhledem ke zcela mimořádné koncentraci uranu v karbonátu

(jde o aragonit obsahující téměř 69 ppm U). Někde ve svahu nad výskytem tmelené sutí se musejí nacházet zdrojové horniny značně obohacené uranem.

4. V oblasti tvořené devonskými vápenci udává v Císařské rokle nejstarší datovaný vzorek tmelu sutí, v podloží masivních pěnovců atlantiku v místě velké kaskády, stáří **9 460** ( $\pm 1200$ ) let BP. Vysoká aktivita  $^{14}\text{C}$  však naznačuje, že ve vzorku je kromě původního tmelu sutí i podíl mladšího karbonátu a údaj je proto zapotřebí brát s určitou rezervou, skutečné stáří tmelení sutí může být i mírně vyšší.

5. Vzorky předcházející velkým erozním událostem (TMS-5) a vytvořené již po nich (TMS-29) naznačují, že tyto mimořádné erozní události nastaly v Císařské rokle v rozmezí mezi **1 880** ( $\pm 450$ ) a **300** (+300/-600) lety BP. Eroze byla schopna proříznout až 5 m mocné kaskády pevných pěnovců. Vzhledem k malému povodí rokle se muselo jednat o přívalové srážky mimořádné intenzity. Erozí a destrukcí jsou poznamenány všechny studované lokality tmelených sutí, jak v krasovém tak i v nekrasovém prostředí.

Výzkum byl podpořen projektem GA ČR reg. číslo 205/02/0449.

## Literatura

- GORKA, P. – HERCMAN, H. (2002): URANOTHOR v. 2.5. Delphi Code of calculation program and user guide. – MS, Archive of Quaternary Geology Dpt., Institute of Geological Sciences, PAS, Warsaw.  
IVANOVICH, M. – HARMON, R. S. (1992): Uranium Series Disequilibrium

- um: Applications to Environmental Problems. – 2<sup>nd</sup> Ed., Clarendon Press, Oxford.
- LOŽEK, V. – CÍLEK, V. (1995): Late Weichselian-Holocene sediments and soils in mid-European calcareous areas. – Sbor. geol. Věd, Antropozoikum, 22, 87–112. Praha.
- MIKŠÍKOVÁ, L. (2003): Holocénní tmelené sutě středočeské oblasti. – MS, Dipl. práce Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- PETRBOK, J. (1929): Ssuťové travertinové pokrov v Královské rokli u Srbska. – Věda přír., 10, 109–111. Praha.
- ŽÁK, K. – CÍLEK, V. – LOŽEK, V. – ZÁHRUBSKÝ, K. (2001): Karbonátem tmelené holocénní sutě u Otročiněvsi a Žloukovic. – Český Kras, 27, 34–35. Beroun.