

# Stáří a vznik hrubě krystalických speleotém z jeskyně Dvoustovka v Ještědském hřbetu

Age and origin of coarse-crystalline speleothems from the Dvoustovka Cave in the Ještěd Ridge (Liberec Region, Czech Republic)

KAREL ŽÁK<sup>1</sup> – IVAN ROUS<sup>2</sup> – PETR DOBEŠ<sup>3</sup> – JOSEF KLOMÍNSKÝ<sup>3</sup> – HELENA HERCMAN<sup>4</sup> – ŠÁRKA MATOUŠKOVÁ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojevá 269, 165 00 Praha 6; zak@gli.cas.cz, matouškov@gli.cas.cz

<sup>2</sup> Severočeské muzeum v Liberci, Masarykova 11, 460 01 Liberec 1; ivan.rous@muzeumlb.cz

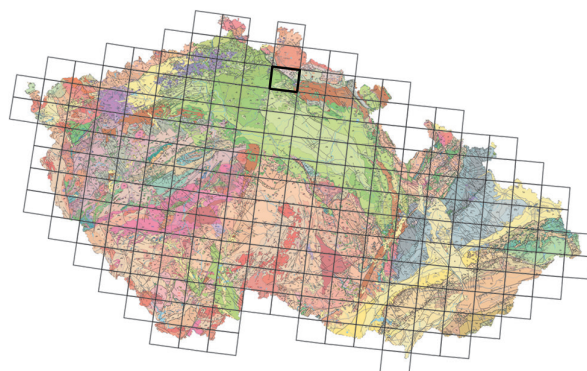
<sup>3</sup> Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1; petr.dobes@geology.cz, josef.klominsky@geology.cz

<sup>4</sup> Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, Poland; hhercman@twarda.pan.pl

Please cite this article as: Žák, K. – Rous, I. – Dobeš, P. – Klomínský, J. – Hercman, H. – Matoušková, Š. (2018): Age and origin of coarse-crystalline speleothems from the Dvoustovka Cave in the Ještěd Ridge (Liberec Region, Czech Republic). – *Geoscience Research Reports*, 51, 2, 97–102. (in Czech)

**Key words:** Ještěd Ridge, caves, speleothems, U-series dating, fluid inclusions, C and O stable isotopes

**Summary:** The Ještěd Ridge (part of the Krkonoše-Jizera Crystalline Complex; northern part of the Bohemian Massif) hosts 20 known karst caves, which are developed in marbles of Devonian age. The caves are mostly relatively small and isolated, not connected into larger cave systems. The longest one, Západní (Jitřavská) Cave, currently exceeds the length of 450 m. Majority of the known caves are shorter than 50 m. Formation of these cavities was initiated under morphological conditions different from those of today, in the pre-Quaternary. The caves are developed along two systems of regional faults, one striking NW-SE and the second striking SW-NE. One of the newly found caves, about 70 m long Dvoustovka Cave, was discovered in 2015 at an elevation of ca. 795 m a.s.l., close to the Ještěd ridgeline near the Pláně pod Ještědem site. The cave hosts several speleothem types including



(03-32 Jablonec nad Nisou)

unusual, coarse-crystalline speleothems characterized by translucent calcite crystals up to 15 mm in size (so-called dogtooth spar). These speleothems developed in several small water pools located at different elevations within the cave. Fluid inclusions and C and O stable isotope studies (Table 1) do not support their deposition from thermal water and indicate formation from usual low-temperature descending karst water. Fluid inclusions in calcite of dogtooth spar are single-phase, containing low-salinity water. The C and O isotope data lie in a range typical of usual low-temperature Quaternary speleothems of the area. The U-series dating (methods: spike addition; dissolution; chromatographic separation using TRU-resin; measurement on ICP-MS; results in Table 2) indicate an age of the coarse-crystalline speleothems fitting into the Eemian interglacial ( $118 \pm 3$  ka BP). Underground spaces of the Dvoustovka Cave are affected by numerous movements along cracks and rock collapses. While some of these movements occurred before the formation of the studied coarse-crystalline speleothems, majority of them are younger, related most probably to slope movements (mass wasting) during the last Glacial. The cave cannot keep larger stagnant pools of karst water today.

## Stručná historie výzkumů, lokalizace jeskyně

Ještědský hřbet, nápadný geomorfologický celek zřetelně ovlivněný komplexními tektonickými pohyby na zlomech lužického zlomového pásma ještě v kenozoiku, zahrnuje v rámci hornin ještědského úseku krkonošsko-jizerského krystalinika lokálně zkrasovělé polohy a čočky vápenců paleozoického stáří. Jeskyně Ještědského hřbetu popsali Müller (1940), Bosák a Horušický (1978, 1981), Horušický a Lysenko (1987), Horáček, Horušický et al. (1999), Horá-

ček (2009) a Rous (ed., 2016a). V současnosti je zde známo 20 jeskyní, z nichž největšími jsou v sz. části Ještědského hřbetu jeskyně Západní (též Jitřavská; délka měřického polygonu jeskyně 450 m) a Nedobytná (též Rokytkva II; 99,5 m), v jv. části hřbetu potom jeskyně Hanychovská (též Müllerova, Michlerova, Michlerů, Panský lom; 136 m) a námi studovaná jeskyně Dvoustovka (70 m). Všechny ostatní evidované jeskyně v obou částech Ještědského hřbetu měly k roku 2009 délku do 50 m.

Jeskyni Dvoustovka (souřadnice WGS84: 50,71936N, 15,00441E; 795 m n. m.) se podařilo objevit v roce 2015

cíleným průzkumem v hřebenové linii Ještědského hřbetu, zhruba 1 km jz. od Panského (Michlerova) lomu a Hanychovské jeskyně (Rous 2016b). Geochemický výzkum hrubě krystalického jeskynního sintru se skalenoedry z prakticky čirého kalcitu z této jeskyně inicioval J. Klomínský. Uvažoval pro něj o možnosti jeho vzniku z termálních vod, což měl výzkum podpořit nebo vyvrátit. Existence sintrů vzniklých pomalou krystalizací pravděpodobně ve freatické zóně jeskyně, která se nachází blízko hřebenové linie Ještědského hřbetu, je zajímavá sama o sobě. Pro hrubozrně čiré, hrubě krystalické jeskynní sintry nedaleké Hanychovské jeskyně navíc Bosák a Horušický (1981) a Horáček (2009) předpokládali značné stáří (více než 600 000 let); uváděny byly i z blízké jeskyně Velká Basa. Jeden velký terénní vzorek hrubě krystalického sintru z nově objevené jeskyně Dvoustovka, rozdělený pro analýzy na několik částí, byl proto podroben pilotnímu geochemickému výzkumu a datování pomocí členů uranových řad.

## Stručná geologie Ještědského hřbetu a vazba jeskyní na tektonické struktury

Úzký pruh ještědského úseku krkonošsko-jizerského krystalinika, součásti lugika, je omezen zlomy lužického zlomového pásma – na JZ lužickým přesmykem a na SV šimonovsko-machnínským zlomem. Část Ještědského hřbetu tvoří pestrá, složitě provrásněná a zlomově postižená sekvence ještědské jednotky, která obsahuje poměrně slabě metamorfované břidlice a fylity, krystalické vápence (mramory, dolomitické i kalcitické), metabazalty a zelené břidlice. Část této sekvence je pravděpodobně silurského stáří. Krystalické vápence a břidlice byly paleontologicky jednoznačně zařazeny do časového úseku od givetu po počátek tournai (Chlupáč – Hladil 1992, Chlupáč 1993, 1998). Samotné vápence přísluší zřejmě většinou givetu. Vztah k výše metamorfované machnínské jednotce a k zřejmě nasunuté sekvenci ordovických(?) fylitů a kvarcitů tvořících vrcholovou partii Ještědu interpretovali různí autoři rozdílně.

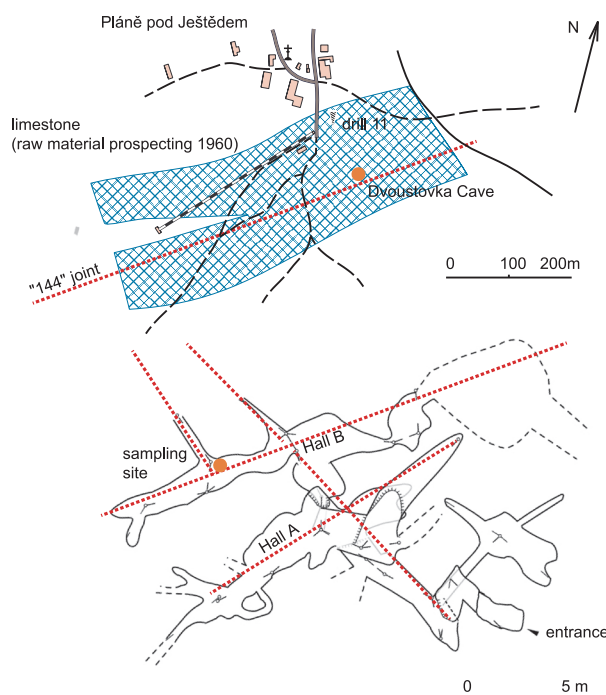
Krasové jeskyně Ještědského hřbetu mají – kromě určující litologické vazby na čocky a polohy krystalických vápenců – významnou kontrolu strukturní, tedy vazbu na zlomové a puklinové linie několika hlavních směrů. Krasové dutiny jsou vyvinuty v několika nesouvislých čockách karbonátových hornin, zejména podél tektonických struktur paralelních s lužickým směrem (tedy SZ-JV), nebo k němu kolmých, krušnohorského směru (též tektonická zóna Čertových zdí, tedy JZ-SV).

Jeskyně Dvoustovka patří do oblasti, kde jsou dosud známé jeskyně vyvinuty zejména ve vazbě na zlomy směru JZ-SV. Zlomy stejného směru jsou v prostoru města Liberec vyplněny nejčastěji paleogenním olivinickým melilitem (polzenitem) a jeho výskyt je možné předpokládat i v hlubších úsecích zlomů křížujících Ještědský hřbet. Významný zlom z této skupiny spojuje sedlo Pláně s Panským lomem a Hanychovskou jeskyní. Na nalezení tohoto zlomu a souvisejícího zkrasovění byly zaměřeny práce, při kterých došlo k objevu jeskyně Dvoustovka. Ta byla

otevřena na místě vedlejší pukliny směru JZ-SV, označené pořadovým číslem 144 (označení zlomu podle liniového hydrogeologického průzkumu Hubera 1904). Průběh hlavní linie zlomu byl přesněji vymezen surovinovým průzkumem (Krutský et al. 1963) a nově zasazen do širších souvislostí zlomů probíhajících městem Liberec (Klomínský ed. 2016). Existence zlomových linií směru S-J a V-Z, indikovaných fotolineacemi v interpretaci Horušického a Lysenka (1987), se ve studovaném prostoru nepotvrdila.

## Speleotémy jeskyně Dvoustovka

Pozice jeskyně a některých dalších objektů uváděných v textu je znázorněna na obr. 1. Jeskyně má složitý vícefázový vývoj. Prvotní korozní vznik krasových dutin zatím nebyl nijak časově zařazen. Dutiny sledují dva systémy puklin, jeden paralelní s lužickým směrem (SZ-JV) a druhý k němu příčný. Na příčných poruchách směru JZ-SV jsou vyvinuty dvě souběžné, mírně větší prostory jeskyně označované původně písmeny A a B (obr. 1). Podle současných zjištění jde o jedinou prostoru oddělenou stropním žebrem, s tím, že není známa povaha počvy, zakryté zřícenými skalními bloky a sedimenty. Posledními pracemi v jeskyni bylo zjištěno, že všechny prostory se směrem dolů spojují do jediného dómu, z většiny zaplněného hlinitými sedimenty. V současné geomorfologické pozici jeskyně blízko



Obr. 1. Poloha studované jeskyně Dvoustovka (horní část obrázku) a její mapa (dolní část obrázku; I. Rous a členové ČSS ZO 4-01 Liberec). Obrisy tělesa krystalických vápenců v horní části obrázku je podle surovinového průzkumu Krutského et al. (1963). Fig. 1. Position (upper figure part) and a cave map (lower figure part; I. Rous and members of the ČSS ZO 4-01 Liberec) of the studied Dvoustovka Cave. The contour of the marble body is also shown in the upper figure part (cf. J. Krutský et al. 1963).



Obr. 2. Hrubě krystalické speleotémy v jeskyni Dvoustovka. Prst ukazuje na místo reliktu starších sintrů, pod kterými jsou klastické sedimenty. Ve spodní části obrázku je patrná odlomená poloha starších sintrů. Foto K. Žák.

Fig. 2. Coarse-crystalline speleothems in the Dvoustovka Cave. There is visible a layer of older flowstone underlain by detrital sediments in the lower part of the photo. Photo by K. Žák.

hřebenové linie je její povodí plošně velmi malé, takže si lze stěží představit, že by jí v dnešní morfologii povrchu protékalo nějaké větší množství vody. Vznik prvotních korozních krasových dutin proto odpovídá zcela jiné morfologii povrchu, než jaká je morfologie současná.

Na skalní stěny jeskyně na více místech nasedá několik typů jeskynních sintrů. Jde o náteky na stěnách a zejména poměrně mocné (až 15 cm) polohy podlahového sintru, který se jeví v jeskyni jako nejstarší. Tento typ sintru je neztetelně laminovaný a mnohde složen ze sloupcovitých krystalů, orientovaných kolmo k ploše růstu. Na sintrové náteky na stěnách, na polohy podlahového sintru a zejména na stěny nad nimi potom nasedá oproti nim relativně mladší, poměrně hrubě krystalovaný kalcit studovaný v této práci (obr. 2). Je bezbarvý až nažloutlý, s rozdílnou velikostí krystalů, v nejlépe vyvinutých partiích jej tvoří 0,5–1,5 cm velké skalenoedry. Na některých místech je patrné, že velikost krystalů narostlých na stěnách jeskyně se směrem nahoru zmenšuje. Krystalové povlaky postupně mizí obvykle první desítky centimetrů nad zmíněnými podlahovými sintry. Krystaly ale najdeme místy i v úrovních pod polohou podlahových sintrů, což naznačuje, že alespoň někde byly sedimenty pod těmito subhorizontálními sintry před vznikem krystalů vyklizeny. Jak podlahové sintry, tak i hrubě krystalické partie se v jednotlivých částech jeskyně nacházejí v nestejných výškách, takže zřejmě byly při svém vzniku kontrolovány lokálními zavěšenými hladinami stagnující vody.

Polohy podlahových a stěnových sintrů i studované hrubě krystalické typy kalcitu jsou potom porušeny výraznými pohyby a řícením skalních bloků, které dosahuje takové míry, že některé partie jeskyně připomínají spíše

pseudokrasové dutiny než kras. Při těchto procesech byly zřejmě všechny starší typy nezpevněných sedimentů ze známé části jeskyně přemístěny do nižších, dosud neznámých dutin. Sedimentární výplň dutin dnes tvoří hnědé hlíny s četnými úlomky hornin, pravděpodobně nevelkého stáří.

## Metodika

Jeden velký terénní vzorek (delší rozměr cca 15 cm) byl rozdělen na části pro jednotlivé analýzy. Fluidní inkluze v kalcitu hrubě krystalických speleotém byly studovány v České geologické službě v úlomcích získaných dělením krystalů podél jejich štěpnosti metodami optické mikrottermometrie na aparatuře Chaixmeca. Aparatura byla kalibrována pro teploty mezi  $-100$  až  $+400$  °C chemickými standardy firmy Merck, s teplotou tání ledu a fázovými přechody v inkluzích s čistým  $\text{CO}_2$ . Homogenizační a kryometrická data vykazují reprodukovatelnost  $\pm 0,2$  °C při teplotách pod  $0$  °C a  $\pm 3$  °C při teplotách do  $400$  °C. Salinita vodných roztoků byla přepočtena podle Bodnara a Vityka (1994).

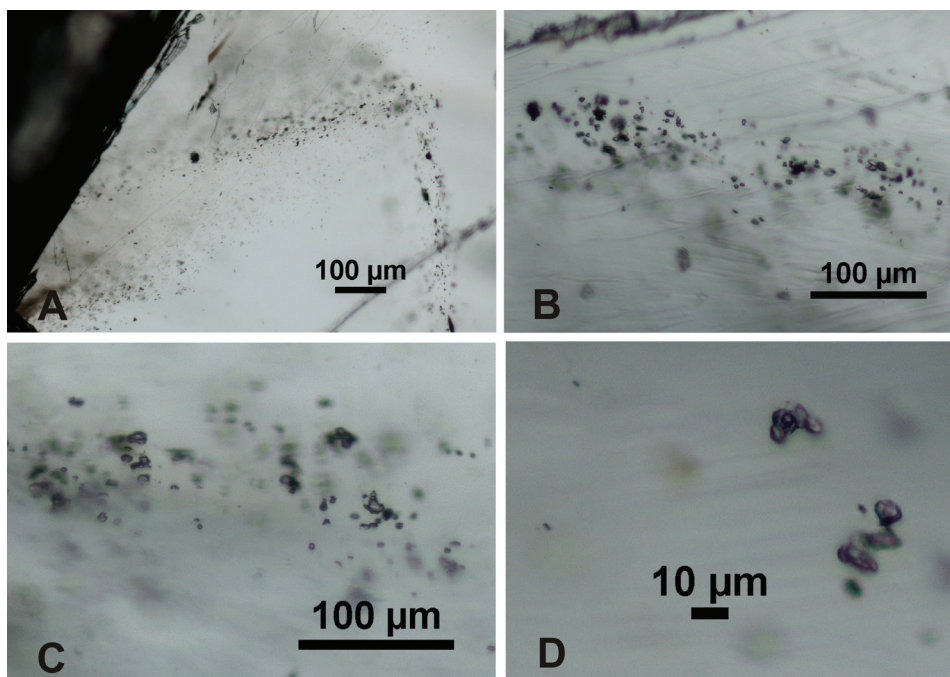
Izotopové složení uhlíku a kyslíku studovaného kalcitu bylo stanoveno běžnou metodikou, tedy rozkladem pomocí 100%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ve vakuu a měřením izotopového složení uhlíku a kyslíku uvolněného plynu  $\text{CO}_2$  oproti standardnímu plynu, připravenému z karbonátového standardu stejným způsobem. Měření bylo prováděno v laboratořích České geologické služby na hmotnostním spektrometru Delta V Advantage (Thermo Scientific) s celkovou chybou stanovení hodnot  $\delta^{13}\text{C}$  a  $\delta^{18}\text{O}$   $\pm 0,1$  ‰ (analyzovaly Z. Lněničková, I. Jačková, B. Čejková). Výsledky jsou potom přepočítány proti mezinárodnímu standardu V-PDB.

Při proceduře chemické separace uranu a thoria pro datování pomocí členů uranových řad byl ke vzorku po termálním rozkladu organické hmoty nejprve přidán kombinovaný spike  $^{233}\text{U} - ^{236}\text{U} - ^{229}\text{Th}$ . Vzorek byl potom rozpuštěn v kyselině dusičné a U a Th byly separovány chromatografickou metodou s využitím sorbentu TRU-resin v Laboratoři uranových řad Ústavu geologických věd Polské akademie věd ve Varšavě. Vlastní měření obsahu jednotlivých izotopů bylo provedeno v Geologickém ústavu AV ČR, v. v. i., v Praze s použitím hmotnostního spektrometru ICP-MS (Element 2, Thermo Finnigan MAT). Výsledky byly korigovány podle souběžného měření pozadí přístroje a měření slepého pokusu přípravy (identický postup bez vzorku).

## Výsledky

### Fluidní inkluze

Studovaný hrubě krystalovaný kalcit obsahuje jednofázové inkluze oválného až nepravidelného tvaru o velikosti 2–20  $\mu\text{m}$ . Inkluze se nacházejí na růstových zónách, které kopírují krystalový tvar (obr. 3A), často je však vidět pouze část růstové zóny s inkluzemi (obr. 3B). Všechny inkluze



Obr. 3. Studované inkluze v kalcitu z jeskyně Dvoustovka. Podrobnější popis viz text. Mikrofoto P. Dobeš.

Fig. 3. Fluid inclusions in the studied calcite from the Dvoustovka Cave. For more detailed description see the text. Microphoto P. Dobeš.

jsou jednofázové (obr. 3C) a obsahují kapalný vodný roztok. Inkluze byly pravděpodobně uzavřeny během krystalizace kalcitu v klidném homogenním vodném prostředí, teplota vody byla nižší než 40–50 °C (Goldstein 2001).

Během kryometrie nebyly v inkluzích pozorovány žádné fázové změny. Inkluze byly proto zahřáty do teploty 250 °C, došlo ke strečinku (roztavení inkluzí přetlakem), popř. částečné dekrepitaci, a při poklesu teploty na 25 °C se v některých inkluzích objevila plynná bublinka (obr. 3D). V těchto inkluzích pak byla měřena teplota tání posledního krystalu ledu mezi 0,0 až –0,2 °C, což odpovídá velmi nízké salinitě inkludovaného vodného roztoku 0,0–0,4 hmot. % NaCl ekv. (Bodnar – Vityk 1994). Celkem bylo zahřáno 6 úlomků kalcitu a změřeno 15 inkluzí. Určena byla jen celková salinita. Protože u žádné inkluze nebyla vzhledem k jejich malé velikosti pozorována teplota prvního tání, tzv. eutektická teplota, nebylo možné určit složení solí v roztoku.

### Stabilní izotopy uhlíku a kyslíku

Výsledky stanovení izotopového složení uhlíku a kyslíku studovaných vzorků speleotém jsou obsaženy v tab. 1. Jde o úlomky z několika míst jediného terénního vzorku, identické s těmi, na kterých byl proveden výzkum fluidních inkluzí.

Hodnoty  $\delta^{13}\text{C}$  a  $\delta^{18}\text{O}$  jeskynních sintrů jsou určovány řadou parametrů. Mezi nejvýznamnější patří hodnoty  $\delta^{18}\text{O}$  vody, ze které sintry vznikají,  $\delta^{13}\text{C}$  bikarbonátu v této vodě, teplota a rychlost krystalizace. Rychlost transformace bikarbonátu na rozpuštěné karbonátové ionty a krystalizace pevného karbonátu určuje, zda frakcionace izotopů mezi vodou, bikarbonátem a kalcitem bude z hlediska rozdělení izotopů rovnovážná nebo kinetická. Vzhledem k charakteru vzorků můžeme předpokládat spíše rovnovážný vznik. Fluidní inkluze neposkytly indikaci výrazně vyšší teploty vzniku. V oblasti pod 50 °C je k odhadu teploty vzniku

Tabulka 1. Data stabilních izotopů

Table 1. Stable isotope data

| Sample | Localization                                     | $\delta^{13}\text{C}$ (‰ V-PDB) | $\delta^{18}\text{O}$ (‰ V-PDB) |
|--------|--|---------------------------------|---------------------------------|
| D1     | Ještěd, Dvoustovka cave, Hall B                  | –10.04                          | –6.99                           |
| D2     | Ještěd, dtto, another part of the same aggregate | –10.15                          | –7.12                           |
| D3     | Ještěd, dtto, another part of the same aggregate | –9.65                           | –7.22                           |

Tabulka 2. Výsledek datování metodou uranových řad

Table 2. Result of the U-series dating

| Lab. No | Sample | Concentration U [ppm] | $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ | $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ | $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ | Age [ka] |
|---------|--------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------|
| 562     | Ještěd | 0.0126 ± 0.0001       | 1.504 ± 0.006                   | 0.696 ± 0.009                    | 36.6 ± 0.5                        | 118 ± 3  |

Udané chyby jsou 2 standardní odchylky; výsledné stáří je v tisících let před současností (ka).  
Reported errors are 2 standard deviations.

nelze dobře použít. Přepočítání na konkrétní hodnoty izotopových parametrů roztoků proto není možné. Lze jen konstatovat, že hodnoty jak izotopového složení uhlíku, tak i kyslíku se pohybují v rozmezí běžných hodnot jeskynních karbonátů kvartérního stáří, vzniklých z chladných krasových vod (viz obr. 1 in Žák et al. 2012).

### Datování metodou uranových řad

Výsledky datování vzorku sintrů metodou uranových řad jsou obsaženy v tab. 2. I při velmi nízkém obsahu uranu se podařilo získat stáří vzorku  $118 \pm 3$  ka. Toto stáří padá do minulého interglaciálu označovaného jako eem (před zhruba 130–115 ka), teplého období, které oddělovalo sálský a viselský glaciál.

I když se vzorek svým nízkým obsahem uranu pohyboval při hranici možností metody, byly měřené signály u  $^{230}\text{Th}$  zhruba na desetinásobku signálu chemického blanku přípravy a výsledek lze proto považovat za věrohodný.

### Diskuse

#### Procesy vzniku hrubě krystalických speleotém jeskyně Dvoustovka

Získaná pilotní data nenaznačují vznik studovaných hrubozrnných speleotém z teplých vod, ani nebylo zjištěno jejich vysoké stáří, jak bylo někdy pro speleotémy freatické zóny jiných jeskyní Ještědského hřbetu předpokládáno (Bosák – Horušický 1981, Horáček 2009). V oblasti pod 50 °C s výskytem pouze jednofázových fluidních inkluzí v kalcitu nelze metodikou fluidních inkluzí teplotu přesně určit a ani interpretace dat stabilních izotopů uhlíku a kyslíku nemůže být bez nezávisle určené teploty jednoznačná. Studovaná jeskyně se nachází prakticky v hřebenové linii Ještědského hřbetu, kde lze v eemském interglaciálu, ve kterém podle provedeného datování studovaný vzorek sintru vznikl, považovat hydrotermální proces za nepravděpodobný.

Pozorování v jeskyni a provedené analytické práce naznačují její etapovitý vícefázový vývoj. Kdy vznikly primární krasové korozní dutiny, sledující zejména puklinové nehomogenity dvou hlavních směrů, není zatím známo. Stalo se tak ale v době, kdy byla morfologie povrchu ještě zřetelně odlišná od dnešní. V dutinách potom vznikaly po poměrně dlouhou dobu v klidném vývoji vadózní typy speleotém, tedy podlahové sintry a stěnové nátekové sintry. Potom zřejmě došlo k první fázi dílčích pohybů, kdy byly sintrové polohy částečně porušeny a sedimenty pod nimi místy vyklizeny. Odtokové cesty se zřejmě poté, podle provedeného datování nejspíše v interglaciálu eem, zcela ucply a v jeskyni se na několika místech v různých výškových úrovních vytvořila malá, dlouhodobě stagnující jezírka skapových vod, ve kterých rostly na stěnách i na starší výzdobě studované hrubě krystalické typy kalcitu se skalenoedrickým ukončením krystalů. Zřejmě šlo o lokální zavěšené nádrže podzemních vod, nikoliv o souvislou

hladinu v celé jeskyni. Hladina vody dosáhla zřetelně výše, než byla úroveň starších podlahových sintrů.

Zřejmě v posledním glaciálu potom došlo k dalšímu masivnímu porušení jeskyně, pravděpodobně v souvislosti se svahovými pohyby. Některé partie jeskyně dosáhly díky masivnímu řízení stropních bloků charakteru pseudokrasu a speleotémy byly na většině míst těmito pohyby porušeny. Pokud v jeskyni byly přítomny nějaké starší sedimenty, byly zřejmě všechny vyklizeny do nižších prostor. V závěru glaciálu a v holocénu se prostory mezi bloky postupně zaplňovaly materiálem, pronikajícím sem z povrchu podél trhlin.

Situace vývoje krasových dutin a sekundárních jeskynních karbonátů v nich ve vazbě na vývoj reliéfu je v prostoru Ještědského hřbetu dosud nedostatečně poznána. Jurková et al. (2007) popsali nálezy reliktu podlahového jeskynního sintru v dnes bezestropém reliktu jeskyně na bočním hřebeni nad údolím Rokytky nedaleko Kryštofova Údolí. Pomocí palynologie a paleomagnetických metod byla tato masivní sintrová poloha orientačně datována do dlouhého časového rozmezí mezi pliocénem a spodním pleistocénem (3,6–0,7 milionu let; Jurková et al. 2007). Velmi rozdílná stáří získaná pro různé typy speleotém v jeskyních Ještědského hřbetu ukazují, že by mělo smysl věnovat se jejich stáří a pozici v rámci detailního projektu, který by mohl podstatně přispět k poznání geomorfologického vývoje této oblasti.

### Závěr

Pilotní geochemický a geochronologický výzkum jednoho velkého terénního vzorku hrubě krystalického kalcitu z jeskyně Dvoustovka z hřebenové linie Ještědského hřbetu v oblasti Pláni pod Ještědem neprokázal jeho vznik z termálních vod. Kalcit krystaloval v klidném prostředí vodného roztoku s velmi nízkou salinitou, 0,0–0,4 hmot. % NaCl ekv., složení solí nebylo možné určit. Teplota krystalizace byla nižší než 50 °C. Data stabilních izotopů uhlíku a kyslíku padají do běžné oblasti jeskynních karbonátů (speleotém), vytvořených během kvartéru z chladných sestupných vod. Provedené pilotní práce tedy naznačují, že jde o běžný hrubozrnný typ jezerního jeskynního kalcitu, tedy tzv. speleotému. Podle provedeného datování (metoda uranových řad) krystaly kalcitu vznikly v období teplého eemského interglaciálu, kdy musíme v jeskyni Dvoustovka předpokládat stagnující jezírka vody. I když data ze studovaného vzorku jsou zcela věrohodná a průkazná, výzkum je třeba považovat za předběžný. Měla by na něj navázat detailní studie zaměřená na datování a geochemický výzkum všech typů speleotém přítomných v jeskyni s větším počtem analyzovaných vzorků.

*Poděkování. Účast K. Žáka a Š. Matouškové na tomto výzkumu byla možná díky podpoře RVO67985831. Datování metodou uranových řad bylo umožněno bilaterální spoluprací zaměřenou na mobilitu PAN 17–22 Geologického ústavu AV ČR, v. v. i., a Ústavu geologických věd Polské akademie věd. Přípomínky recenzentů J. Kadlece a V. Suchého přispěly ke zlepšení kvality rukopisu.*

## Literatura

- BODNAR, R. J. – VITYK, M. O. (1994): Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions. In: DE VIVO, B. – FREZZOTTI, M. L., ed.: Fluid inclusions in minerals: Methods and applications. Short course of the working group Inclusions in Minerals, 117–130. – Virginia Polytechnic Institute. Blacksburg.
- BOSÁK, P. – HORUŠICKÝ, R. (1978): Současný stav výzkumu krasových jevů Ještědského hřbetu. – Čs. Kras 29 (1977), 47–52.
- BOSÁK, P. – HORUŠICKÝ, D. R. (1981): Kras Ještědského hřbetu. – Stalagmit, mimořádná příloha. Abstrakta přednášek symp. Kras Sudet, „Králíky – 1981“, str. 2. – Čes. speleol. společ. Praha.
- GOLDSTEIN, R. H. (2001): Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems. – Lithos 55 (1–4), 159–193.
- HORÁČEK, D. (2009): Kras Ještědského hřbetu. In: Hromas, J., ed.: Jeskyně, Chráněná území ČR, sv. XIV (editoři řady Mackovčín, P., Sedláček, M.), 309–312. – Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum. Brno, Praha.
- HORÁČEK, D. – HORUŠICKÝ R. et al. (1999): Rokytka – staré a nové objevy. – Speleofórum '99, XVIII, 23–30. – Čes. speleol. společ. a Zlatý kůň. Praha.
- HORUŠICKÝ, R. – LYSENKO, V. (1987): Tektonická predispozice zkrasování v JV části Ještědského hřbetu. In: III. symposium o krasu krkonošsko-jizerské soustavy, sborník referátů, 71–78. – Čes. speleol. společ. Praha.
- HUBER, U. (1904): Weiteres über die klüftigkeit des Jeschkengebirges. – Mitteilungen aus dem Vereine der Naturfreunde in Reichenberg 35, 1–6.
- CHLUPÁČ, I. (1993): Stratigraphic evaluation of some metamorphic units in the N part of the Bohemian Massif. – Neu. Jb. Geol. Paläont., Abh. 188 (3), 363–388.
- CHLUPÁČ, I. (1998): Poznámky k rozšíření devonu a stavbě metamorfovaného paleozoika v jižní a střední části Ještědského pohoří. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 1997, 19–22.
- CHLUPÁČ, I. – HLADIL, J. (1992): New Devonian occurrences in the Ještěd Mts., North Bohemia. – Čas. Mineral. Geol. 37 (3), 185–190.
- JURKOVÁ, N. – BOSÁK, P. – KOMAR, M. – PRUNER, P. (2007): Relict flowstone at Machnín (the Ještěd Ridge, North Bohemia, Czech Republic) and its implications for relief evolution. – Geomorphologia Slovaca et Bohemica 2/2007, 19–24.
- Klomínský J., ed. (2016): Urbanistická geologie města Liberce, modelová územní studie. – 151 str. Čes. geol. služba. Praha.
- KRUTSKÝ, N. – SEDLÁŘ, J. – ZELINKOVÁ, Z. (1963): Závěrečná zpráva Ještědsko 1959–1962. Surovina: vápence – cementářské suroviny; etapa: vyhledávací; stav ke dni 31. 3. 1963. Nepublikovaná zpráva, Geindustria Praha/Dubí. Geofond GF P016647. – Čes. geol. služba. Praha.
- MÜLLER, B. (1940): Höhlen im Jeschkengebirge (Sudetenland). – Mitteilungen über Höhlen- und Karstforschung, Zeitschrift des Hauptverbandes deutscher Höhlenforscher 1940, 65–69.
- ROUS, I. (ed. 2016a): Geologie Jizerských hor a Liberecka. – 128 str. Severočeské muzeum v Liberci a Česká geologická služba. Liberec, Praha.
- ROUS, I. (2016b): Objev jeskyně „Dvoustovka“ ve vrcholové partii Ještědského hřbetu. In: Výzkum v podzemí. Odborná konference o výzkumu přírodního i umělého podzemí. Sborník abstrakt, 11–21. – Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- ŽÁK, K. – RICHTER, D. K. – FILIPPI, M. – ŽIVOR, R. – DEININGER, M. – MANGINI, A. – SCHOLZ, D. (2012): Coarsely crystalline cryogenic cave carbonate – a new archive to estimate the Last Glacial minimum permafrost depth in Central Europe. – Climate Past 8, 1821–1837.