



VÝZKUM KRASU

KARST RESEARCH

Vykroužené dutiny Českého ráje: jak a kdy vznikaly?

Jiří Bruthans¹, Petr Jenč², Zdenka Churáčková¹ a Jana Schweigstillová³

1) Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, 128 43 Praha 2

2) Vlastivědné muzeum a galerie v České Lípě, Pracoviště archeologie, speleoantropologie a novodobých militárií, Náměstí Osvobození 297, 470 34 Česká Lípa

3) Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i., V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8

Abstract: Rounded cavities in Bohemian Paradise: How and when they developed?

Many caves in sandstone in the Bohemian Paradise contain rounded chambers. By shape they resemble some hydrothermal karst caves. Based on archaeological evidence and new ¹⁴C and U/Th dating of carbonate sinters covering some rounded cavities they originated prior Holocene, probably in glacial time. This is in agreement with idea of Cílek (2006) who described the origin of the Krtola Cave.

We propose following model: originally bedding plane-guided or join-guided caves were extended by repeated freeze/melt cycles in sandstone subjected to permafrost conditions. Heat was transported by flowing air in convection cells. This theory can explain why the cavities have rounded cross-sections and why the joins and bedding planes are not affecting the shape of spherical spaces. Many alcoves may have such origin as well.

Úvod

V prostoru Českého ráje se nachází množství pozoruhodných skalních dutin s vykrouženými stěnami. Často jde o jeskyně sestávající z několika větších síněk spojených menšími plazivkami či chodbami. Svou morfologií značně připomínají krasové jeskyně (Cílek 2006) a přítomností kulovitých dutin pak zejména jeskyně známé z hydrotermálního krasu. Jeskyně jsou často vázané na křížení subvertikálních puklin a vrstevních ploch.

Popis dutin

Pod „vykroužené dutiny“ řadíme dutiny, které mají kruhový či oválný příčný řez s ohlazenými stěnami (stěny jsou hladké již od měřítka několika mm). Tyto dutiny se mohou vyskytovat sa-

mostatně nebo často jako síně v jeskyních. Jeskyně dosahují délky od několika metrů po první desítky metrů. Jsou ve velké většině případů subhorizontální, sestávají obvykle z několika větších síněk spojených plazivkami či nízkými chodbami – kupř. v oblasti Maloskalské Drábovny „Netopýří jeskyně“ (VMG ČL-Dr/95, SCHKO PPK – jesk. č. 33), Zadní Kostel – „Veliká sluj“ a „Jeskyně č. XVII“ (Filip 1947, 196, 198, 202; Vokolek 1995, 14–15, 23), jeskyně evidovaná VMG ČL pod kódem Dr/111, jednoprostorová „Kaplička pod Uněm“ v Přírodní rezervaci Příhrazské skály (Jenč 2006b, 129). V některých případech tvoří dutiny strukturu „ementálu“, kde jednotlivé kulovité či oválné dutiny jsou propojeny úzkými průchody (jeskyně U studánky – SCHKO PPK – jesk. č. 23, členitá sedmiprostorová „Sintrová jeskyně“ – SCHKO PPK – jesk. č. 187 v Přírodní rezervaci Klokočské skály). V Českém ráji se dále nachází řada vykroužených dutin, které odpovídají definici převisu (foto 1).

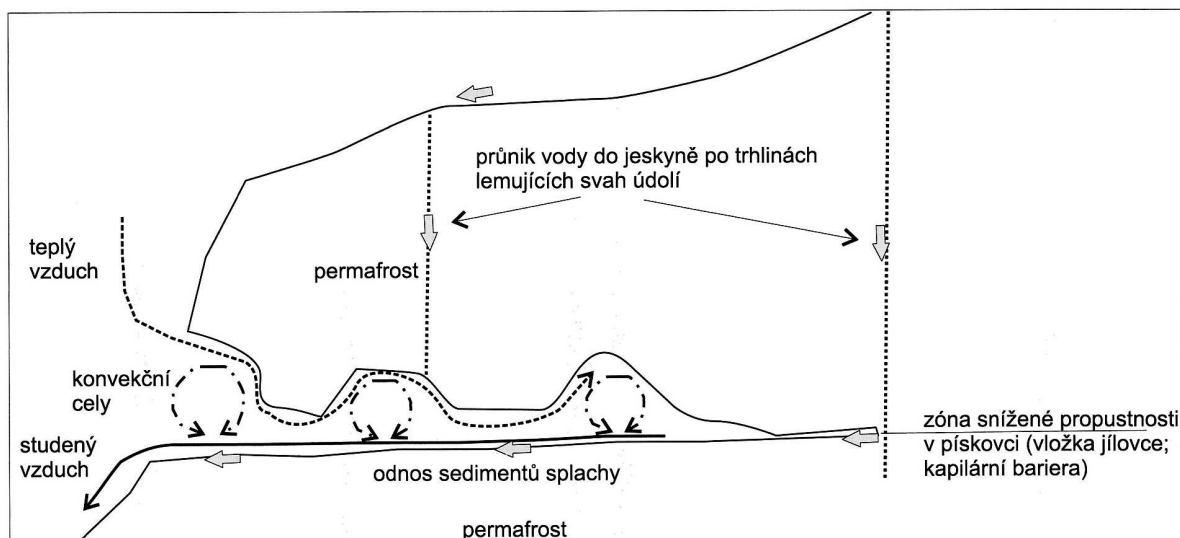
Jeskyně jsou směrem do masivu ukončeny skalní stěnou do vzdálenosti většinou pod 10 m od ústí jeskyně. I když u některých dutin nelze vyloučit pokračování dále do masivu (pískem vyplněné plazivky), je pravděpodobné, že jeskyně jsou vázány na povrchovou morfologii a nejedná se tak o jevy vzniklé či založené selektivním zvětřáním pískovce v době před vznikem údolí. Jeskyně se obvykle nachází v hloubkách pouhých několika metrů pod terénem.

Tvary dutin často silně připomínají kopulovité kapsy v hydrotermálních jeskyních. Je zajímavé, že puklinové zóny se obvykle neprojevují na tvaru dutin (podobně jako v případě některých kulovitých kapes v krasu). Například v jeskyni Jižní Lízovka v Příhrazských skalách (SCHKO PPK – jesk. č. 144; Matoušek, Jenč a Peša 2005, 69–70) přechází vykroužený tvar přes puklinu i drčené pásmo, aniž by docházelo k většímu zvětřání a odnosu pískovce na puklině oproti okolnímu prostředí. Kopulovité přechodné tvary (převisy) jsou v blízkosti povrchu často pokryty voštinami evidentně sekundárně přehlubujícími původně hladký povrch dutin (foto 1).



Foto 1 Kulovité dutiny-výklenky, naproti jeskyni Jižní Lízovka v Českém ráji. Původně hladce vykroužené dutiny jsou sekundárně přehlubeny voštinami (Foto J. Bruthans)

Photo 1 Rounded half-chambers close to the Jižní Lízovka Cave in the Bohemian Paradise. Originally smooth surface is covered by secondary honeycombs (Photo by J. Bruthans)



Obr. 1 Model vzniku vykroužených dutin v pískovcových jeskyních v glaciálu díky opakovanému rozmrzání permafrostu prouděním teplého vzduchu – vertikální řez

Fig. 1 Model of origin of rounded chambers in caves in sandstones in glacial period by repeated melting of permafrost – vertical section (dashed line – warm air; solid line – cold air; dashed-dot line – convection cells, grey arrows – flow of water and sediment transport)

Období vzniku jeskyní

Jak ukazuje přítomnost nejstarších archeologických nálezů v některých jeskyních (souvrství datovaná od pozdního glaciálu či starého holocénu, výjimečně starší; např. Jenč 2006a; Hartman, Prostředník a Šída, v přípravě; Svoboda a kol. 2003) i ^{14}C a U/Th datování karbonátových sintrů pokrývajících stěny a strop některých kulovitých dutin (Bruthans a kol., v přípravě), vznik dutin lze řadit do období před Holocémem, podobně jako vznik převisů (Cílek 2006). Z výsledků datování je zřejmé, že za posledních nejméně 5–7 tisíc let se vykroužené stěny jeskyní měřitelně nezměnily (ústup stěny o méně než několik mm). Je tak nepochybné, že procesy, které jeskyně tvořily se v současnosti v jeskyních neodehrávají a systém je v podstatě konzervován.

Diskuze mechanismu vzniku jeskyní

Na vznik jeskyní existuje řada názorů. Vítek (1987) je popisuje jako „v podstatě dutiny typu tafoni, které se pod povrchovou partií horniny od otvoru více méně zvětšují, nebo kombinace výklenků a vrstevních jeskyní“. Vznik jeskyní je vysvětlován selektivním zvětváváním a sufozí. Při studiu dutin je však zřejmé, že nekopírují zpevněnou připovrchovou krustu pískovce ale vyskytují se nepravidelně do hloubek až 10 m v bloku pískovce. Cílek (2006) vysvětluje vznik jeskyně Krtola promrzáním vlhkých partií pískovce nad jílovitou mezivrstvou v glaciálu. Rozvolněný písek byl podle jeho názoru vyplachován např. při jarním tání.

Dále budou detailněji diskutovány jednotlivé možné mechanismy vzniku vykroužených dutin:

a) Nápadná morfoloická podobnost s kopulovitými hydrotermálními dutinami může naznačovat účast konvekčních cel při vzniku vykroužených dutin v jeskyních. Podle našeho názoru mohly vykroužené dutiny vznikat rozšiřováním mezivrstevních či puklinových jeskyní v pískovci v glaciálech, kdy permafrost zasahoval do hloubek několika desítek metrů pod terén a pískovec v prostoru dnešních jeskyní tedy obsahoval zmrzlou vodu. V letním období vnikal do puklinových/mezivrstevních jeskyní teplý vzduch a v místech rozšíření dutin se tvořilo konvekční proudění, kdy se teplý vzduch ochlazoval o podchlazené stěny a klesal podél nich ke dnu, odkud proudil ven z jeskyně (obr. 1). Opakované rozmrzání (léto, teplé dny) a zamrzání (zima, mrazivé noci) pórové vody pak vedlo k opadu pískovcových zrn nebo i exfoliačních šupin či slupek pískovce (mocnost až několik cm). Výstupky o rozměrech do prvních desítek cm byly zarovnávány protože výstupky se prohřejí/ochladí rychleji než hladká stěna. Prohlubně do rozměrů desítek cm zanikaly, protože se prochladí/ohřejí pomaleji než hladká stěna. Výsledkem je pak kulovitá či oválná dutina s hladkými stěnami, která odpovídá velikosti cel konvekčního proudění vzduchu. Stejným způsobem mohly vznikat i mnohé převisy. Tento princip vzniku, kdy je teplo konvekcí (proudícím vzduchem) transportováno a distribuováno podél stěn jes-

kyně, umožňuje poměrně rychlý rozvoj dutin (velká četnost přechodu bodu mrznutí v čase). Materiál byl z jeskyní odnášen občasnými letními splachy. Zásadní slabinou této teorie je způsob, jak se z prohlubní dostával materiál ven z jeskyně (intenzivní cirkulace vzduchu se mohla odehrávat jen nad úrovní sedimentů v jeskyni). V glaciálech s vyšší povrchovou erozí mohl být materiál z dutin transportován dnes již ucpanými níže ležícími puklinami a cestami. Kupříkladu jeskyně Veliká sluj prochází blokem pískovce a tvořila zřejmě odvodnění dnes slepého údolíčka. Vzhledem k velmi chladnému klimatu, kdy jeskyně mohly sloužit jako cenná útočiště, by mohlo být vysvětlením i odstraňování písku většími živočichy. Sondování v jeskyních navíc ukázalo, že mocnost sedimentární výplně dosahuje obvykle jen několika decimetrů a že sedimenty zaplněné dno jeskyně je často výrazně mělké než protilehlá prohlubeň ve stropě. Výrazně nižší úroveň sedimentů v raném holocénu ukazují i archeologické nálezy, a to i v dutinách kde již dnes není patrná nižší úroveň drenáže. Vývoj jeskyní mohl probíhat po několik glaciálních období v závislosti na rychlosti ústupu stěn údolí na povrchu. Není žádný morfologický ani klimatický důvod, proč by tyto dutiny měly být vázány pouze na poslední cyklus glaciál/interglaciál.

b) Méně pravidelné tvary mohly vznikat opakovaným rozmrzáním a zamrzáním vody v pórech pískovce na počvě chodeb. Při intenzivním proudění vzduchu mohlo v jeskyni kondenzovat poměrně velké množství vody (z přechlazeného vzduchu). Tato voda by pak po okapu na dno chodeb zvyšovala vlhkost pískovce a při opakovaném mrznutí by se tyto partie měly rozpadat rychleji než sušší partie pískovce. Ve dvou jeskyních (Veliká sluj a Sintrová jeskyně) byly ve vykroužených dutinách nalezeny SiO_2 krustou zpevněné prohlubně v podlaze, které by podle tvaru mohly být vytvořené okapem kondenzované vody ze stropu.

c) Vykroužený tvar jeskyní a dutin může být částečně způsoben i odpadáním pískových zrn či celých exfoliačních šupin podle pevnostní obálky. Nicméně tímto způsobem nelze vysvětlit občas se vyskytující struktury ementálu (pevnostní obálka bude směřovat k vzniku jediné dutiny, ale ne několika oválných kapes nad sebou).

d) Proti vytváření jeskynních dutin v silně navětralém pískovci proudící vodou s volnou hladinou svědčí nepřítomnost horizontálních zářezů (meander notches) a kolmých zářezů ve stěnách. V navětralém, rozpadavém pískovci by se tyto zářezy měly vyvinout, stejně jako se tvoří v jiných málo odolných materiálech (led a sůl). Voda však musela mít klíčový význam při odnosu pískových zrn. V glaciálu, kdy průlomy pískovce byly na rozdíl od současnosti téměř nepropustné (voda v nich mrzla díky velkému poměru pevné/ kapalné fáze) lze očekávat existenci občasných splachových toků na povrchu. Toky se infiltrovaly do tenkých (zejména odtrhových) puklin při hraně svahů a vymývaly z nich během letních období písek. Rozšiřovat se mohly jen krátké puklinové sítě s vysokým spádem a dostatečnou dotací (tepelná kapacita vody se rychle vyčerpávala). Tím mohly vznikat krátké jeskyně v těsném okolí svahů, které se současně rozšiřovaly mrazovým rozpadem díky proudění teplého vzduchu.

e) Dutiny by mohly být potenciálně vytvářeny vodou za režimu freatického proudění. Pro takové vysvětlení však chybí dostatečný zdroj vody a dutiny se vyskytují vysoko ve svazích. Dostatečnou rychlost proudění pro odnos písku ve freatických podmínkách si lze v těchto úrovních velmi těžko představit. Proudění vody se tak zřejmě omezilo jen na odnos písku z jeskyní.

f) Na základě terénních pozorování nelze vyloučit možnost, že dutiny vznikaly jako původně oválné prostory vyplněné rozpadlým pískovcem, které se postupně rozšiřovaly a spojovaly. Teprve sekundárně došlo k vypláchnutí rozvolněné výplně. Proti této možnosti však svědčí často velmi hladké stěny dutin, přítomnost dobře zachovaných polokulovitých dutin i vysoko ve stěnách roklí a zejména mechanismus transportu tepla hluboko do neporušeného pískovcovému masivu a zpět (aby mohlo docházet k rozpadu pískovce díky přechodu bodu mrznutí). Zamrzání a rozmrzání vody hluboko v pískovcovém masivu, mimo drenážní cesty otevřených puklin bude díky nízké tepelné vodivosti hornin a zanedbatelné propustnosti zmrzlé horniny velmi pomalé a lze těžko očekávat, že bude vytvářet pravidelné tvary.

Závěr

Vykroužené jeskynní prostory a dutiny v Českém ráji vznikaly pravděpodobně v období glaciálů z jeskyní rozšiřovaných podle vrstevních ploch a puklin vytvářených letními splachy při okraji plošin. V letním období vnikal do puklinových/mezivrstevních jeskyní teplý vzduch a v místech rozšíření dutin se tvořilo konvekční proudění, kdy se teplý vzduch ochlazoval o podchlazené



stěny a klesal podél nich ke dnu, odkud proudil ven z jeskyně. Opakované rozmrzání (léto, teplé dny) a zamrzání (zima, mrazivé noci) pórové vody pak vedlo k opadu pískovcových zrn i celých šupin či slupek pískovce. Stejně vysvětlení může být platné pro mnohé převisy. Tento princip vzniku bude vést k zarovnávání výstupků ve stěnách a stropech a k vytváření kulovitých tvarů o průměru obvykle v prvních metrech s hladkým povrchem. Vzniklé dutiny pak nápadně připomínají morfologii krasové jeskyně. Pokud je toto vysvětlení správné, jedná se v podstatě o obdobu rozšiřování puklin prouděním teplého vzduchu v ledovcích. Voštiny a další drobné tvary vznikající v holocénu pak tyto dutiny v blízkosti povrchu sekundárně přehlubují, zatímco hlouběji pod povrchem jsou tyto jevy plně konzervovány.

Poděkování

Projekt byl podpořen z výzkumného záměru na Univerzitě Karlově v Praze MSM0021620855 a grantového projektu IAA300130806 (GA AV ČR). Řešeno v rámci vědecko-výzkumného projektu VMG v České Lípě, PřF UK, SCHKO Český ráj a ZIP Plzeň, o. p. s. „Kvartérní sedimenty pískovcové krajiny středního Pojizeří a Českolipska”.

Literatura:

- Bruthans J., Jenč P., Churáčková Z., Schweigstilllová J. (v přípravě): Radiouhlíkové a U/Th datování karbonátových sintrů v jeskyních Českého ráje. – In: Jenč P., Šoltysová L. (Red.): *Pískovcový fenomén Českého ráje*, 2.
- Cílek V. (2006): Jeskyně Krtola v Českém ráji. – In: Jenč P., Šoltysová L. (Red.): *Pískovcový fenomén Českého ráje*: 97–102. Turnov.
- Filip J. (1947): *Dějinné počátky Českého ráje*. – Státní archeologický ústav v Praze: 1–296 + tabulky 1–72 + vlož. rozkládací přílohy I–V. Praha.
- Jenč P. (2006a): Historická paměť pískovcové krajiny Českého ráje. – In: Jenč P., Šoltysová L. (Red.): *Pískovcový fenomén Českého ráje*: 103–116. Turnov.
- Jenč P. (2006b): Soupis speleoarcheologických lokalit Českého ráje – terénní průzkum a evidence nálezů v letech 1992–2003, 1. část. – In: Jenč P., Šoltysová L. (Red.): *Pískovcový fenomén Českého ráje*: 117–156. Turnov.
- Hartman P., Prostředník J., Šída P. (v přípravě): Záchranný archeologický výzkum Kristovy jeskyně v Klokočských skalách. – In: Jenč P., Šoltysová L. (Red.): *Pískovcový fenomén Českého ráje*, 2.
- Matoušek V., Jenč P., Peša V. (2005): Jeskyně Čech, Moravy a Slezska s archeologickými nálezy. – Nakladatelství Libri: 1–280. Praha.
- Svoboda J. a kol. (2003): Mezolit severních Čech. Komplexní výzkum skalních převisů na Českolipsku a Děčínsku, 1978–2003. – *Dolnověstonické studie*, 9: 1–328. Brno.
- Vokolek V. (1995): Skalní sídliště nad Záborčím, k. ú. Ondříkovice. – *Pískovcový fenomén Českého ráje*, 2/95: 13–36. Turnov.
- Vítek J. (1987): Pseudokrasové tvary v pískovcích Klokočských skal. – *Československý kras*, 38: 71–85. Praha

