

Vznik některých elipsoidálních dutin rozpouštěním karbonátového tmelu v pískovcích jizerského souvrství na Kokořínsku

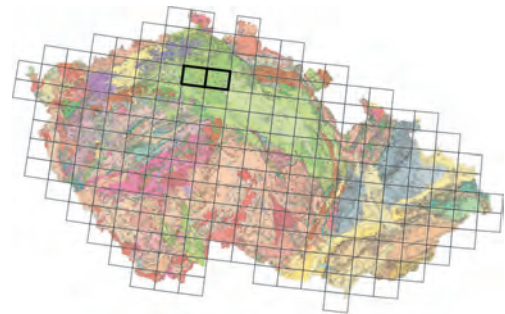
Origin of some ellipsoidal cavities by carbonate cement dissolution in the Jizera Formation sandstones, Kokořín area

Jiří ADAMOVIČ – RADEK MIKULÁŠ

Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 02 Praha 6;
adamovic@gli.cas.cz

Key words: sandstone relief, ellipsoidal cavities, carbonate concretions, Bohemian Cretaceous Basin

Abstract: The origin of some regular (ellipsoidal, spherical) cavities, tens of centimetres to metres in size, in the Jizera Formation sandstone, Kokořín area, was proved to be connected with precursor calcareous concretions. Evidence is based on 1. uniform azimuths of cavity elongation, suggestive of their former lithological control, 2. the presence of dense systematic fracturing in cavity walls, passing not far to the ambient sandstone, 3. the presence of corroded remains of calcareous concretions in some of the cavities. Dense networks of tensional fractures limited to carbonate concretions embedded in sandstones have been reported from many sites worldwide. They form in response to far-field compressive stresses in the lithosphere and strike parallel to the maximum principal



(02-44 Štětí, 03-33 Mladá Boleslav)

stress. After the concretion has been removed, either completely dissolved or partly dissolved and gravitationally detached, fractures in the cavity walls become modelled into a set of vertical ribs and grooves. This contribution is to stimulate a discussion as to what proportion of cavities in the sandstones of the Bohemian Cretaceous Basin are true *tafoni* formed principally by salt weathering.

Kulovité nebo elipsoidální dutiny o rozměrech prvních decimetrů až metrů jsou poměrně častým prvkem reliéfu mnoha pískovcových oblastí všech klimatických pásů. Dosavadní malá úspěšnost snah o vytvoření jednotného genetického modelu pro podobné tvary (srov. Vitek 1979, Turkington – Phillips 2004) souvisí zřejmě s tím, že se na jejich vzniku podílí mnoho faktorů a v různých situacích se může stát jen jeden z nich zcela dominantním.

V zásadě jsou dutiny dvojího typu. Izometrické, ale i méně pravidelné dutiny nazývané *tafoni* vznikají v souvislosti se skalními kůrami: do míst, kde je skalní kůra porušená, se koncentruje výpar pórových vod, a tedy i krystalizace solí. Krystalizační tlak solných subflorescencí vede k rozvolnění zrn pískovce (např. Winkler 1975) a vzniku dutin. Další růst dutin pod skalní kůrou je podporován přednostní krystalizací solí v těchto zastíněných prostorách.

V pískovcích české křídové pánve se kromě dutin typu *tafoni* často vyskytují pravidelné (sférické, elipsoidální) dutiny bez prostorové souvislosti se skalními kůrami, někdy tvořící jeskyně o délce mnoha metrů. V minulosti byly dobře popsány například z Klokočských skal u Turnova (Vitek 1987), z okolí Ješovic na Kokořínsku (Zimmerman 1995) nebo z národního parku Góry Stołowe (Dumanowski 1961). Jejich symetrické tvary a azimutálně konzistentní elongace nezávislá na smě-

rech puklinatosti nasvědčují tomu, že vytvoření dutin je konečným výsledkem procesů, které započaly již ve stadiu diagenese. Podle jedné z představ vznikly dutiny rozpouštěním původního karbonátového nebo křemitého tmelu. Ještě před vytvořením dnešního reliéfu došlo posunem fyzikálně-chemických poměrů v hornině mimo pole stability cementačních minerálů k delitifikaci pískovce a jeho přeměně na sypký písek. Písek byl pak dnešní erozí odstraněn a v obvodu původní konkrerce se vytvořila dutina. Tato představa je v některých pískovcových oblastech lehce doložitelná přítomností různých fází vývoje skalních dutin po obvodu nedestruovaných nebo zčásti destruovaných karbonátových konkrercí, a to jak v české křídové pánvi (Mladoboleslavsko), tak i jinde – např. v jurských pískovcích v Lucembursku nebo v paleocenních arkózoovitých pískovcích magurského flyše na Chříbech (Adamovič et al. 2010). Další možností vzniku dutin je odstranění pojiva v důsledku soustředěného toku podzemních vod, především podél puklin (Zimmerman 1995). V případě větších sférických dutin mohla při finální modelaci hrát roli i cirkulace vzduchu během posledního glaciálu (Bruthans et al. 2009).

Cílem stávajícího výzkumu bylo rozhodnout, jakým procesem vznikaly elipsoidální dutiny v pískovcích jizerského souvrství na Kokořínsku, především v Kokořínském dole a v okolí Ješovic.

Tabulka 1. Údaje o rozměrech a protažení dutin v pískovcích jizerského souvrství u Ješovic a směrech puklin pozorovatelných na stěnách dutin a podmiňujících vznik žebrování na vnitřních stěnách dutin

dutina	zeměpisná šířka WGS84	zeměpisná délka WGS84	výška dna	šířka dutiny	výška dutiny	délka dutiny	azimut elongace dutiny	směr puklin
	°N	°E	m n. m.	m	m	m	°	°
1 Mordloch ¹	50,44761	14,43955	240	2,4	2,1	6,3	39	nezachovány
2 U Mordlochu	50,44769	14,43944	240	2	1,05	9	35	89–90
3	50,44770	14,43976	240	1,9	0,8	2,5	45	neměřitelné
4 Ješovická	50,44837	14,43732	240	1,25	0,7	7	29	15–24
5	50,44813	14,43724	239	1,2	1,0	1,8	47	neměřitelné
6	50,44665	14,44108	239	1,2	0,55	3 ²	50	95–105
7	50,44664	14,44100	239	2,5	0,9	1,2	–	86
8	50,44540	14,44244	240	1,25	0,45	3,3	49	120
9	50,44551	14,44275	237	2,1	0,35	3,6	37	35 a 85
10	50,44552	14,44263	237	0,65	0,6	1,2	52	neměřitelné
11 Žabí	50,44203	14,44529	230	3,6	2,2	7,8	43	108–110
12	50,44199	14,44552	230	2,4	0,7	5,7	34	120
13 (pravá)	50,44192	14,44571	230	1,45	1,2	6,8	33	103
13 (střední)			230	1,75	0,5	> 5,5	34	100–104
13 (levá)			230	1,4	0,35	1	32	102
14 ³	50,44139	14,44650	227	2,7	1	4,1	54	neměřitelné
15	50,43908	14,44825	221	2	1,3	3	28	neměřitelné

¹ jeskyně uměle rozšířená, rozměry převzaty z práce Zimermana (1995), úzkým průchodem sousedí se dvěma přirozenými dutinami, protaženými ve stejném směru

² jeskyně ústí do výklenku, celková délka je 6,5 m

³ dutina tvoří malou skalní bránu

Dutiny v Kokořinském dole

V úseku Kokořinského dolu mezi Hlučovem a Štampachem jsou dobře odkryté pískovce svrchní části jizerského souvrství (svrchní pískovcová sekvence Adamoviče 1994) v mocnosti 40–45 m. Naspodu začínají jemnozrnnými prachovitými pískovci o mocnosti 15 m, zcela bioturbovanými nebo horizontálně stratifikovanými, ojediněle s hřbítkovitým zvrstvením. Ty místy obsahují 1–3 horizonty čočkovitých konkrecí o mocnosti 10–20 cm, tvořených pískovcem s karbonátovým výplňovým tmelem. Výše leží středně až hrubě zrnité křemenné pískovce s šikmým zvrstvením a polohami slepence, s dotykovým křemítkem, ale bez jakéhokoli výplňového tmelu. V těchto pískovcích lze v celém Kokořinském dole vysledovat 20 m nad bází svrchní části jizerského souvrství, tj. 1–3 m pod nejnižší slepencovou polohou, úroveň se skalními dutinami decimetrových až metrových rozměrů. Při pohledu na skalní stěnu mají přibližně eliptický tvar, spodní část bývá vesměs plošší než horní část, která může být i vysoce klenutá. V půdorysu jsou dutiny přibližně kruhové. Mohou být vyplněné slabou vrstvou písku, ojediněle i alochtonní výplní, např. hlinitým deluviem s úlomky pískovců, pocházejících z topograficky vyšších poloh. Vnitřní povrchy dutin jsou hladké nebo pokryté drobnými sférickými voštinami.

Vzhledem k mírnému úklonu vrstev k JJZ klesá v pravém

boku Kokořinského dolu úroveň s dutinami postupně z nadmořské výšky 325 m u Hlučova na 307 m u hradu Kokořina a na 283 m u Chaloupek, v místě vyústění příčné rokle vedoucí od obce Kokořín. Tímto směrem se poněkud zmenšuje rozměr dutin a na jejich vnitřních stěnách začínají převládat svisle protažená žebra o reliéfu prvních centimetrů (obr. 1a). Jejich zahluobené části jsou založené na drobných prasklinách, místy patrných ve dně nebo ve stropě dutiny. Pod obcí Kokořín obsahují některé dutiny „jádra“ silněji tmeleného pískovce, porušená svislými puklinami směru V-Z (obr. 1b). Analýza minerálního složení metodou rentgenové difrakce (J. Dobrovolný, Geol. ústav AV ČR, v. v. i.) v nich potvrdila přítomnost kalcitu. Pukliny porušující jádra kalcifikovaného pískovce pokračují na vzdálenost až několika decimetrů do okolního pískovce a zjevně podmiňují vznik žebrování na vnitřních stěnách skalních dutin. Pukliny a drobné zlomy v okolních pískovcích mají jiný směr, převážně S-J až SSV-JJZ.

Dutiny u Ješovic

V severním okolí Ješovic s. od Liběchova vystupují středně až hrubě zrnité křemenné pískovce spodní části jizerského souvrství v podobě izolovaných skalek o výšce do 10 m nebo skalnatých hřbetů, protažených ve směru ZSZ-VJV. Mají



Obr. 1a. Skalní dutina v Kokořínském dole s náznaky svislého žebrování. Svrchní část jizerského souvrství, 50,43306°N a 14,57876°E, 299 m n. m. Foto J. Adamovič.



Obr. 1b. Skalní dutina v Kokořínském dole se zbytkem konkrce kalciifikovaného pískovce. Konkrce je porušená svislými puklinami, které nepokračují do okolního pískovce. Svrchní část jizerského souvrství, 50,42958°N a 14,57294°E, 284,5 m n. m. Foto J. Adamovič.



Obr. 2a. Elipsoidální skalní dutiny v sousedství Žabí jeskyně u Ješovic se svislým žebrováním na vnitřních stěnách (lokalita 13 v tab. 1). V dutině vpravo přecházejí žebra směrem na strop do mělkých voštin. Spodní část jizerského souvrství. Foto J. Adamovič.



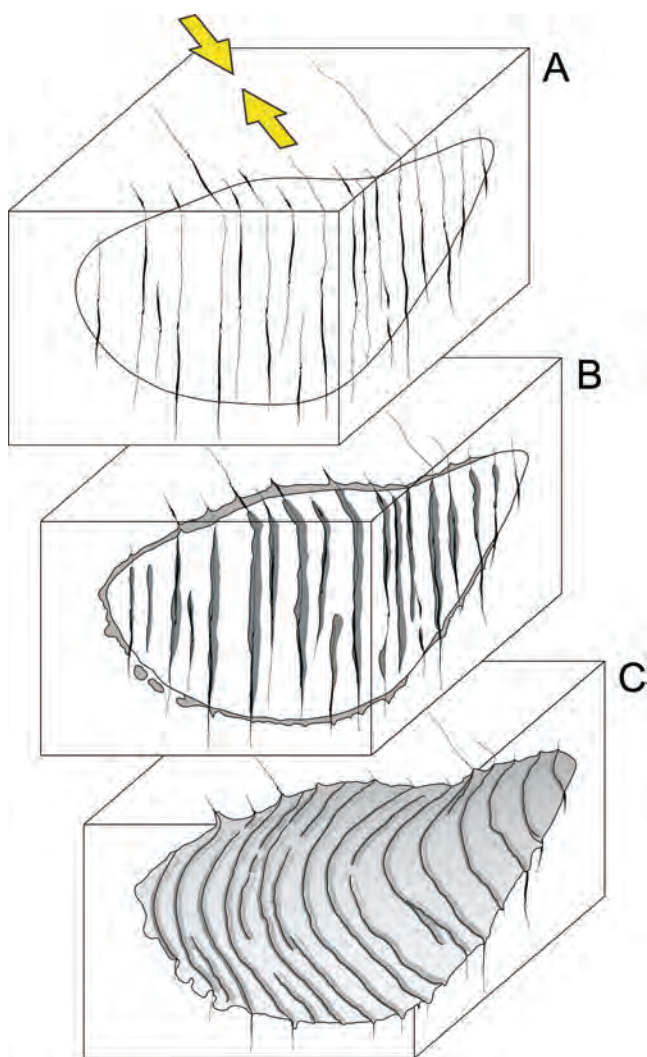
Obr. 2b. Svislá žebra na stěnách Žabí jeskyně u Ješovic (lokalita 11), zjevně vytvořená na systému drobných puklin, pozorovatelných ve dně jeskyně. Spodní část jizerského souvrství. Foto J. Adamovič.



Obr. 3a. Karbonátové konkrce bočníkovitých tvarů uložené v křemenných pískovcích v údolí Strenického potoka u Sudoměře. Jizerské souvrství, 50,44883°N a 14,73003°E. Foto R. Mikuláš.



Obr. 3b. Elipsoidální dutiny v údolí Strenického potoka, 200 m vjv. od výchozu na obr. 3a. Jizerské souvrství, 50,44786°N a 14,73269°E. Foto R. Mikuláš.



Obr. 4. Schéma vzniku skalní dutiny vyloužením tmelu karbonátové konkrce v pískovci. A – v tlakovém napěťovém poli vzniká hustá síť tahových puklin orientovaných rovnoběžně se směrem maximálního hlavního napětí, omezená na konkrce a její nejbližší okolí; B – v případě částečného vyloužení tmelu konkrce dojde k morfologickému zvýraznění puklin. Stejně tak ve vnějším lemu konkrce se vytvoří negativní reliéf, ať již z důvodu selektivního odnosu pojiva pískovce nebo z důvodu intenzivnějšího fyzikálního zvětrávání na kontaktu obou hornin; C – při úplném vyloužení tmelu konkrce a odstranění nesoudržného písku vznikne dutina, do jejíž stěn se promítne křehké porušení původní konkrce v podobě svislého žebrování.

dotykový křemitý nebo železitý tmel. Dutiny eliptického průřezu mají šířku 0,6–3,6 m a výšku 0,3–1 m, maximálně 2,2 m. Jejich délka, resp. hloubka, výrazně převyšuje jejich šířku a dosahuje až 9 m, ve většině případů je tedy lze považovat spíše za jeskyně. Nadmořská výška dutin klesá jv. směrem z 240 m n. m. na 221 m n. m. Bez ohledu na expozici stěny jsou všechny protažené zhruba ve stejném směru, a sice SV-JZ (tab. 1).

Naprostá většina dutin nese na vnitřních stěnách svislá žebra a rýhy s reliéfem až 10 cm (obr. 2a, b). Jejich průběh podmiňuje orientace drobných puklin, které jsou nejlépe sle-

dovatelné na dně dutiny a někdy také na jejím stropě. S jednou výjimkou (Ješovická jeskyně) je směr těchto puklin poměrně stálý, a sice V-Z až VJV-ZSZ. Pukliny jsou neprůběžné a mizí na vzdálenost prvních decimetrů od okraje dutiny. Směry hlavních puklin a drcených pásem v okolních pískovcích jsou VJV-ZSZ a SV-JZ, od puklin v dutinách se ale odlišují svou výraznou průběžností v terénu.

Diskuse a závěr

Zachované konkrce kalcifikovaného pískovce v jádrech skalních dutin v Kokořínském dole ukazují, že minimálně část pravidelných skalních dutin na Kokořínsku může vznikat v místech původních konkrce. K tomu může docházet buď vyloužením (alespoň částečným) kalcitového tmelu a následným odstraněním nesoudržného písku, nebo postupným vydrolením pískových zrn v okolním pískovci, například v důsledku odlišné teplotní roztažnosti obou typů pískovce. Vzhledem k nálezům elipsoidálních enkláv sypkého písku uvnitř pískovce, uváděným z české křídové pánve dřívějšími autory (Seifert 1936), je třeba připustit první možnost. V jedné stratigrafické úrovni v Kokořínském dole tak zřejmě můžeme pozorovat na poměrně malé vzdálenosti několika set metrů přechod od čerstvých konkrce po konkrce zcela vyloužené, na jejichž původní přítomnost (a zhruba i tvar) lze usuzovat jen na základě skalních dutin jako druhotného jevu. Vyšší míru rozkladu konkrce ve středně zrnitém pískovci oproti těm v jemnozrnném prachovitěm pískovci lze vysvětlit vyšší rychlostí pohybu pórových fluid a celkově většími objemy vod, které touto částí horninového masivu protékají.

Obdobná situace je pozorovatelná i u Březovic na v. okraji Kokořínska, nejlépe v údolí Strenického potoka v defilé asi 100 m z. od jeskyně Petroviny (Mikuláš 1998), kde výchozy bočníkovitých karbonátových konkrce o průměru až 1 m přecházejí plynule ve stejné stratigrafické úrovni do elipsoidálních dutin. Defilé 2500 m jv. od Petroviny ukazuje analogickou situaci (obr. 3a, b). Zde vystupují karbonátové konkrce ze stěn v polohách vápenného pískovce. V bezprostředním nadloží, kde jsou pískovce (druhotně?) bez karbonátového tmelu, jsou vyvinuty dutiny podobných rozměrů a tvaru. Mechanismem vzniku dutin je zde vydrolení zrn z pískovce podél kontaktu s konkrce a její následné vypadnutí.

Shodné protažení všech dutin v pískovcích u Ješovic ukazuje na jejich společný vznik a na pravděpodobnou existenci prekurzoru, který byl spojen se specifickým hydraulickým režimem pórových vod v průběhu diagenese. Významná z hlediska interpretace jsou zde svislá žebra na vnitřních stěnách dutin, založená na souboru hustých rovnoběžných puklin, zasahujících jen do nejbližšího okolí dutiny. Uvedený typ křehké deformace je typický pro karbonátové konkrce v pískovci (např. Bessinger et al. 2003, Quesada et al. 2009). Kalcifikovaný pískovec se vyznačuje vyšším modulem pružnosti než okolní křemenný pískovec, takže na sebe soustřeďuje účinek regionálního tlakového napětí. Napětí v okolním

pískovci se naopak snižuje. Uvnitř konkrací vzniká hustá síť tahových puklin rovnoběžných s maximálním hlavním napětím a zasahujících beze změny orientace i do nejbližšího okolí. Při částečném vyloužení karbonátu dojde k rozšíření a zvýraznění puklin, při jeho úplném vyloužení spojeném s delitifikací k setření křehkých struktur uvnitř konkrace a k jejich zachování výhradně po jejím obvodu (obr. 4). Rozpukání kalcitových konkrací podle uvedeného modelu je stejně jako žebrování uvnitř dutin po zcela vyloužených konkracích běžným jevem v lucemburském pískovci v Lucembursku a v Německu (Krippel 2000, Van den Bril – Swennen 2009).

Doklady pro původní existenci karbonátových konkrací v dutinách u Ješovic lze spatřovat především: 1. ve shodném směru protažení všech dutin, 2. v přítomnosti husté sítě puklin a doprovodných žebor po obvodu dutiny, navíc podobné orientace i v rámci regionu, 3. v analogii s Kokořínským dolem, kde zůstaly zbytky karbonátových konkrací v některých dutinách zachovány. Přítomnost vápnitého tmelu ve zdejších pískovcích naznačuje i výskyt povlaků nickamínku na stěnách a stropě jeskyně Na křižovatce (Zimmerman 1995).

Přestože nelze všem sférickým a elipsoidálním dutinám v pískovcích přisoudit stejnou genezi bez podrobnějšího ověření, otevírají uvedené doklady nové směry výzkumu skalních dutin, například studium transportu fluid ve stadiu rané diagenese (elongace dutin kopírujících původní konkrace) nebo interpretace paleonapěťových polí (orientace puklin a protažení žebor v dutinách). Předložený model dodatečné dekalifikace rozpukaného konkracionálního prekurzoru může být klíčem k pochopení dosud nevysvětlených tektonických jevů, jako je omezení svislých puklin na určitý interval v texturně masivním pískovci a s ním související vznik „tahových sloupků“ (Adamovič et al. 2010).

Poděkování. Práce je součástí výzkumného záměru Geologického ústavu AV ČR, v. v. i., v Praze, č. AV0 Z 30130516. Je výstupem grantu GA AVČR č. IAA300130806.

Literatura

- ADAMOVIČ, J. (1994): Paleogeography of the Jizera Formation (Late Cretaceous sandstones), Kokořín area, central Bohemia. – Sbor. geol. Věd, Geol. 46, 103–123.
- ADAMOVIČ, J. – MIKULÁŠ, R. – ČÍLEK, V. (2010): Atlas pískovcových skalních měst České a Slovenské republiky. – 460 s. Academia. Praha.
- BESSINGER, B. – COOK, N.G.W. – MYER, L. – NAKAGAWA, S. – NIHEI, K. – BENITO, P. – SUAREZ-RIVERA, R. (2003): The role of compressive stresses in jointing on Vancouver Island, British Columbia. – J. Struct. Geol. 25, 983–1000.
- BRUTHANS, J. – JENČ, P. – CHURÁČKOVÁ, Z. – SCHWEIGSTILOVÁ, J. (2009): Vykroužené dutiny Českého ráje: jak a kdy vznikaly? – Speleofórum 28, 101–105.
- DUMANOWSKI, B. (1961): Forms of spherical cavities in the Stołowe Mountains. – Zesz. nauk. Univ. Wrocław, Sér. B, 8, 123–137.
- KRIPPEL, Y., ed. (2000): Die Kleine Luxemburger Schweiz. – 251 s. Soc. natural. Luxembourg, Luxembourg.
- MIKULÁŠ, R. (1998): Pískovcový fenomén Skalské tabule. – Ochr. Přír. 53, 4, 107–111.
- QUESADA, D. – LEGUILLON, D. – PUTOT, C. (2009): Multiple failures in or around a stiff inclusion embedded in a soft matrix under a compressive loading. – Eur. J. Mechanics, A–Solids 28, 668–679.
- SEIFERT, A. (1936): Sandnester im Turon-Sandstein der Sächsischen Schweiz und ihre Bedeutung für Verwitterungsformen (Wannen, „Opferkessel“ und Höhlchenbildungen). – Sitz.-Ber. Abh. Naturwiss. Gesell. Isis 1935, 136–152.
- TURKINGTON, A. V. – PHILLIPS, J. D. (2004): Cavernous weathering, dynamical instability and self-organization. – Earth Surf. Process. Landforms 29, 665–675.
- VAN DEN BRIL, K. – SWENNEN, R. (2009): Sedimentological control on carbonate cementation in the Luxembourg Sandstone Formation. – Geol. Belgica 12, 3–23.
- VÍTEK, J. (1979): Pseudokrasové tvary v kvádrových pískovcích severovýchodních Čech. – Rozpr. Čs. Akad. Věd, Ř. mat.-přír. Věd 89, 4, 1–57.
- VÍTEK, J. (1987): Pseudokrasové tvary v pískovcích Klokočských skal. – Čs. Kras 38, 71–85.
- WINKLER, E.M. (1975): Stone: properties, durability in Man's environment. 2nd ed. – 230 s. Appl. Mineral. 4.
- ZIMMERMAN, V. (1995): Jeskyně Kokořínska – místo průvodce. – 40 s. Místní noviny Podbezdězí. Kruh.