

Otázka vzniku závrťů, jeskyní a vydatných pramenů v hruboskalském pískovci a implikace pro hydrogeologický konceptuální model kvádrového pískovce

Questions of origin of sinkholes, caves and large springs in Hrubá Skála sandstone and implications for hydrogeological conceptual model of quader sandstone

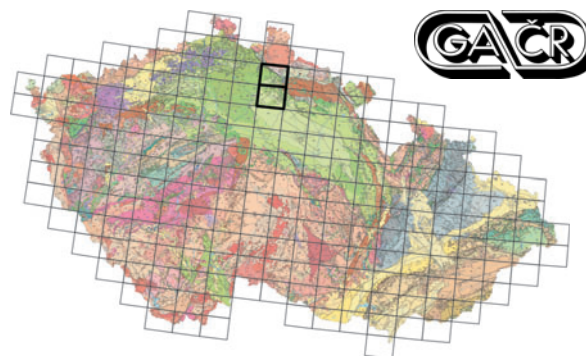
IVA KŮRKOVÁ^{1,2} – JIŘÍ BRUTHANS^{1,2}

¹ Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2; bruthans@natur.cuni.cz

² Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1; iva.kurkova@geology.cz

Key words: sandstone, doline, erosion, Bohemian Cretaceous Basin

Abstract: Dolines are common landforms in Bohemian Paradise area. About 530 dolines occur here with length up to ~50 m and depth up to 13 m. Dolines are developed in Hrubá Skála sandstone, a quartz sandstone bond by kaolinite, which at studied places does not contain any carbonate or other dissoluble material. According to most of authors the dolines were created by erosion of surface water entering the tectonic fractures in weakly cemented sandstone, but relatively recently one author claims that slope movements are dominantly responsible for origin of dolines. Position of dolines and direction of doline groups with respect to the escarpments supports idea that most of dolines are erosional in origin. Presence of dolines,



(03-34 Sobotka; 03-32 Jablonec nad Nisou)

semi-blind valley, up to 190 m long caves and relatively large springs shows that Hrubá Skála sandstone is (or in recent geological history was) easily erodible at many different areas in Bohemian Paradise. Hydrogeologists should consider the likely existence of highly permeable conduits with high flow velocities (10–40 cm/s) which may be self-organized in similar way as those described from Střeleč quarry.

Na Hruboskalské plošině i v dalších oblastech Českého ráje (Příhrazské a Kostecké plošině, Prachovských skalách a kuestě Klokočských skal) se v kvádrových pískovcích nachází přes 530 závrťů (Balatka – Sládek 1971; Ulrichová 1995), které odvádějí srážkové vody do podzemí. Mají často značnou velikost – délku až přes 50 m, hloubku až 13 m (Řezáč 1950; obr 1a–c).

Jak doložila měření směru podélné osy závrťů i obnažených otevřených puklin v nich, závrty jsou jasně vázány na tektonické pukliny v pískovcích (Balatka – Sládek 1971, Ulrichová 1995). Řezáč (1950) závrty považoval za jevy vznikající vplavováním spráše do puklin v kvádrových pískovcích. Uvažoval, že „postupným zhušťováním, spojováním a prohlubováním sítě závrťů vzniknou nakonec rokle a kaňonovitá údolí a skalní města“. Podobně i Balatka a Sládek (1971) uvedli, že některé závrty již tvoří součást počátku údolních rýh; doložili, že vznikají v kvádrových pískovcích i v oblastech bez sprašového pokryvu a většina se jich nachází v zalesněných územích. Vznik závrťů vysvětlují mechanickým zvětráváním a odnosem sypkého materiálu do puklin v pískovcích s kaolinovým tmelem (sufózou, tj. mechanickým odnosem drobných částic podpovrchovou vodou; Král 1975). Balatka a Sládek (1977) uvádějí, že ve vývoji

některých závrťů hrálo roli i odsedání pískovcových ker. Pouze Ulrichová (1995) závrty považuje především za důsledek kerných svahových pohybů, které způsobují rozevření původně tektonických trhlin, voda pouze splavuje materiál do prostor vytvořených svahovými pohyby.

V Hruboskalském pískovci se nachází řada puklinových a vrstevních jeskyní s délkou až 191 m (např. Krtola na Příhrazské plošině, Sklepy pod Troskami; Vítek 1979).

V lomu Střeleč byl v posledních letech detailně zdokumentován rozsáhlý systém kanálů vytvořených koncentrovaným proudem podzemní vody (Bruthans et al. 2012; Soukup et al. 2013). Eroze pískovce pozorovaná v lomu umožňuje dobře vysvětlit vznik závrťů. Cílem práce je kriticky zhodnotit existující informace týkající se závrťů a určit, zda závrty mohly vznikat převážně procesy popsanými v lomu Střeleč, či naopak jde spíše o jevy vzniklé převážně svahovými pohyby.

Diskuse

V lomu Střeleč se během pouhých pěti let vyvinul kanál o objemu okolo 10 000 m³ a ploše povodí 7 km² (Bruthans



Obr. 1. Příklady závrťů v hruboskalském pískovci. a – závrť na s. okraji planiny Na Koutech v. od Lažan, b – závrť na z. okraji obce Lažany, c – závrť na v. okraji obce Lažany s jasně patrnou otevřenou puklinou; d, e – dno propasti Na Mužském, f – závrť na planině Na Koutech v. od Lažan. Foto I. Kůrková a J. Bruthans.

et al. 2012). Byl vytvořen koncentrovaným proudem podzemní vody (spád hladiny toku 1 %, rychlost proudění 40 cm/s; Soukup et al. 2013). Spouštěčem erozních procesů bylo dočasné zvýšení regionálního spádu hladiny podzemní vody z 0,5 % na 2 %, což je spád snadno dosažitelný i za přírodních poměrů. V lomu Střeleč bylo dokumentováno, že již nepatrný koncentrovaný průtok v puklinách (0,001 l/s) při spádu 5 % vede k erozi pískovce (Bruthans et al. 2012).

Nestor české hydrogeologie O. Hynie (1969) zmiňuje blíže nedokumentované, avšak podobné závěry týkající se přírodních pramenů v hruboskalském pískovci: „... pramenití trhliny bývají v kvádrech vyklizeny do velkých vzdáleností od vývěřů v šířce zející spáry. Vyplavený písek víří ve vývařiskách...“ a jako příklad uvádí některé prameny u Žehrovky. Dále zmiňuje, že „... nad volnou hladinou vody a zejména v dosahu jejího kolísání dochází často k rozpadu kvádrových pískovců... rozpad vychází od rozervřených trhlín. Sufozí a podzemní erozí uvolněný písek je přemístován. Vznikají podzemní dutiny, drobnější závrty a další pseudokrasové jevy.“

Důvodem, proč Ulrichová (1995) považovala závrty za důsledek svahových pohybů, byly otevřené tektonické pukliny na dně mnohých závrťů, které pokládala za „mateřské rozsedliny“. Jak je ale detailně dokumentováno v práci Bruthans et al. (2013), široce otevřené pukliny nápadně připomínající rozsedliny vznikají vymytím erodovatelného pískovce mezi paralelními tektonickými puklinami i bez jakékoli účasti svahových pohybů.

Eroznímu původu závrťů nasvědčují následující skutečnosti:

1. závrty se často vyskytují v celé šířce erozí rozčleněných plošin, nikoli jen při jejich okraji, kde lze očekávat nejintenzivnější svahové pohyby (obr. 2a, b);

2. směr závrťů nebo i směr skupin závrťů je často výrazně kosý, nebo dokonce kolmý k okraji plošiny (např. oblast Hlavatice, obr. 2a);

3. závrty místy přehlubují mělká a až několik set metrů dlouhá povrchová údolíčka a obecně fungují jako podzemní drenáž okolního povrchu (obr. 1b, 2a);

4. závrty mají obvykle kruhový a oválný půdorys s velmi

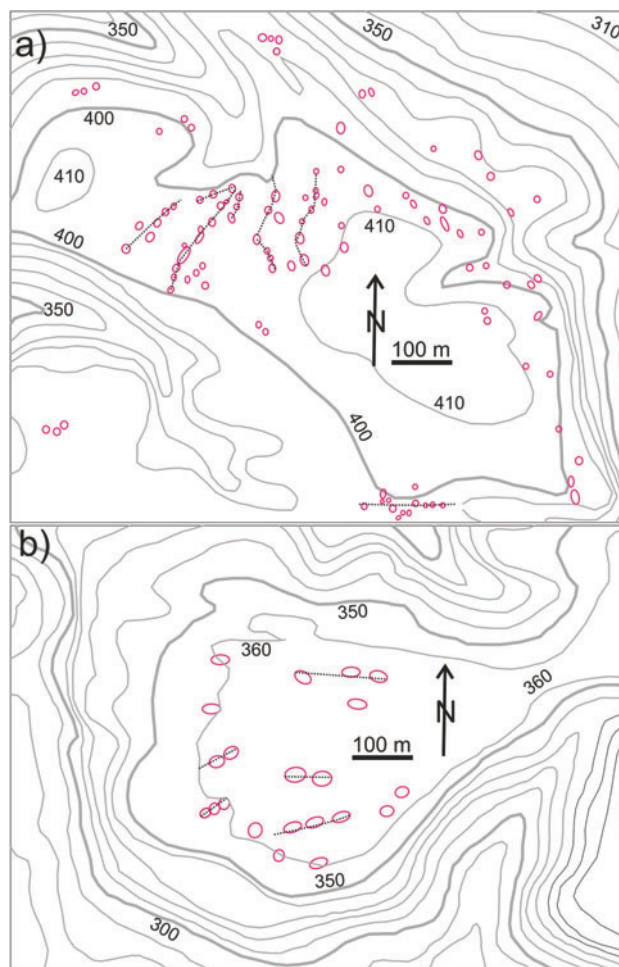
značným objemem vůči šířce otevřených puklin na dně (obr. 1c), což naznačuje, že pískovec je (nebo v nedávné geologické minulosti byl) snadno rozplavitelný a je (byl) odnášen vodou. Velké závrtý se často vyskytují samostatně nebo ve dvojici. Pokud by šlo o následek svahových pohybů, závrtý by měly být výrazně protažené, nebo malé a v řadách za sebou, sledující odlučné plochy.

Zajímavá je z tohoto hlediska propast na Mužském, vyvinutá na dně mohutného závrtu (Lhotský – Ginzl 1965). Nachází se jen 40 m od skalní stěny ohraničující plošinu, ale směr hlavního prostoru propasti svírá s okrajem plošiny úhel 60°. V propasti je patrná jen menší jednoznačně rozsedlinová prostora s rozevřením pouhých 8 cm. Naopak hlavního prostora propasti je při dně výrazně rozšířena dvěma úrovněmi nízkých, ale rozsáhlých subhorizontálních kapes s čochovitým průřezem o celkové ploše přes 5 m², které dokládají erozi pískovce (dále erozní horizont; viz obr. 1e). Hlavního prostora propasti vznikla zřejmě odpadáváním, rozvolněním a odnosem subvertikálních deskovitých bloků pískovce, které dosud uzavírají jz. i sv. prostoru propasti (obr. 1d, e). Bloky pískovce byly podetnuty erozním horizontem, což při nízké tahové pevnosti pískovce vedlo k jejich zřícení.

Největší jeskyni v oblasti, Sklepy pod Troskami s délkou 191 m, spolu s propastí na Mužském považuje Vítek (1979) za puklinovou jeskyni, tedy vznikající zvětráním a odnosem materiálu podle puklin. Teprve někteří pozdější autoři uvažují o významném vlivu svahových pohybů na vznik jeskyně. Z terénního průzkumu jeskyně vyplývá častá přítomnost znaků eroze pískovce proudící vodou, zejména v nižších prostorách, ale místy i ve stropích. Velká řada prostor je morfologicky velmi podobná kanálům v lomu Střeleč se stěnami tvořenými puklinovými plochami obnaženými díky řízení podzemletých vertikálně protažených bloků pískovce. Takové bloky jsou často zachovány ve stropu chodeb. U části chodeb nelze vyloučit rozevření díky svahovým pohybům, nicméně značná část chodeb naopak znaky žádných svahových pohybů nenesou. Voda, která do jeskyně dosud přitéká a transportuje písek, se sbírá zřejmě na jílovcích pokrývajících kvádrové pískovce.

Vůbec nejmohutnějším jevem poukazujícím na podzemní erozi pískovce je poloslepé údolí v kvádrových pískovcích Žehrovské plošiny popsané Balatkou a Sládkem (1974).

V souladu s ostatními autory s výjimkou Ulrichové (1995) se domníváme, že velká většina závrtů vznikla erozí koncentrovaně proudící vodou, tedy stejným procesem, který byl detailně popsán v lomu Střeleč, s tím rozdílem, že v případě závrtů šlo o srážkové vody vstupující do podzemí z povrchu, nikoli o proud podzemní vody. Výjimkou mohou být závrtý situované v malé vzdálenosti od okraje plošiny a orientované paralelně s okrajem plošiny, kde mohly hrát zásadnější roli svahové pohyby. Na základě detailního studia v lomu Střeleč a přírodním skalním městě Apolena (Bruthans et al. 2012 a Bruthans et al. 2013) lze plně podpořit názor Řezáče (1950), že vodní erozí a spojováním a prohlubováním sítě závrtů vznikly rokly a skalní města a že k těmto jevům docházelo především v minulém glaciálu či na hranici glaciálu a holocénu.



Obr. 2. a – závrtý na plošině Na Konících mezi Hlavaticí a hradem Valdštejnem se vyskytují zejména v centrální části plošiny a tvoří linie kolmé či výrazně kosé na okraje pískovcové plošiny; b – plošina Bukovina j. od Kacanov; závrtý se vyskytují na liniích blízkých směru V-Z bez ohledu na směr okraje plošiny. Závrtý fialovou barvou, pozice převzata z Ulrichové (1995). Vrstevnice šedou barvou po 10 m podle topografické mapy 1 : 10 000. Černou přerušovanou čarou zvýrazněné linie závrtů.

Podle Filipem (1951) publikovaného seznamu vyvěrá v prostoru kvádrových pískovců Českého ráje nejméně 36 pramenů s vydatností nad 1 l/s. Dva nejvydatnější prameny mají vydatnost 14 l/s a 13 l/s (pramen Hrudka u stejnojmenného rybníka 2 km jv. od Hrubé skály a pramen nad mlýnem Vysoké Kolo 1,5 km z. od Vyskefe). Při specifickém základním odtoku okolo 2 l/s/km² (ČHMÚ) je možné povodí největších pramenů odhadnout na ~7 km². Je tak zřejmé, že prameny drénují plošně značně rozsáhlý systém puklin do jediného bodu. Plocha povodí pramenů odpovídá ploše povodí kanálů vyvinutých v lomu Střeleč (Bruthans et al. 2012).

V oblastech, kde se vyskytují závrtý nebo větší prameny, tedy ve většině oblastí Českého ráje, lze očekávat možnou přítomnost vyklizených puklin zasahujících stovky metrů až první kilometry od míst drenáže. Voda ve vyklizených puklinách může proudit značnými rychlostmi (10–40 cm/s) a pukliny mohou být organizovány do vysoce efektivní drenážní sítě (sebeorganizovaná pórozita; Bruthans et al.

2011). O přítomnosti vyklizených puklin a možnosti velmi rychlého proudění by mělo být uvažováno v hydrogeologickém konceptuálním modelu hruboskalského pískovce.

Závěr

Na základě geometrie závrťů a jejich skupin a dalších znaků se ve shodě s většinou předchozích autorů domníváme, že velká většina závrťů vznikla erozí koncentrovaně proudící vody vnikající z povrchu do tektonických puklin v pískovci. Tedy podobnými procesy, které v současnosti probíhají v lomu Střeleč.

Existence závrťů, poloslepého údolí, jeskyní a přítomnost pramenů o vydatnostech až 14 l/s naznačuje, že hruboskalský pískovec ve většině oblastí Českého ráje podléhá nebo v nedávné geologické minulosti (poslední glaciál, přechod glaciál/holocén) podléhal snadné erozi proudící podzemní vodou. V oblastech, kde se vyskytují závrty nebo větší prameny, a tedy ve většině oblastí Českého ráje pravděpodobně existují vyklizené pukliny se značnými rychlostmi proudění podzemní vody (10–40 cm/s). Pravděpodobná přítomnost vyklizených puklin zasahujících stovky metrů až první kilometry od míst drenáže by měla být zohledněna v hydrogeologickém konceptuálním modelu hruboskalského pískovce.

V oblasti by bylo vhodné provést stopovací zkoušky mezi závrty a prameny pro zjištění, zda v současnosti dochází k proudění vody ze závrťů do pramenů, nebo zda závrty vznikly za jiných podmínek (např. glaciál), byly drénovány do svahů a nejsou přímo propojeny se současným koncentrovaným prouděním podzemní vody.

Poděkování. Děkujeme J. Grundlochovi za pomoc s terénními pracemi a recenzentům L. Kopeckému a S. Chamrovi za kladné hodnocení. Tento výzkum byl podpořen grantem Univerzity Karlovy (grant GAUK 380511, výzkumný plán MSM0021620855) a Grantové agentury ČR 13-28040S. Řešeno v rámci vědecko-výzkumného projektu VMG ČL, PřF UK a SCHKO Český ráj „Kvartérní sedimenty pískovcové krajiny středního Pojizeří a Českolipska“.

Literatura

- BALATKA, B. – SLÁDEK, J. (1971): Závrty v pískovcích jičínské pahorkatiny. – Čs. Kras 20, 63–74.
- BALATKA, B. – SLÁDEK, J. (1974): Poloslepé údolí v kvádrových pískovcích Žehrovské plošiny. – Čs. Kras 25, 97–99.
- BALATKA, B. – SLÁDEK, J. (1977): Závrty v západní části Hruboskalské plošiny. – Čs. Kras 28, 90–94.
- BRUTHANS, J. – MIKUŠ, P. – SOUKUP, J. – SVĚTLÍK, D. – KAMAS, J. – ZEMAN, O. (2011): Sebeorganizace proudění a porozity v české křídové pánvi: výsledky stopovacích zkoušek a dalších metod – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2010, 233–238.
- BRUTHANS, J. – SOUKUP, J. – SVĚTLÍK, D. – SCHWEIGSTILLOVÁ, J. – MAYO, A. L. (2013): Zpevněné povrchy puklin v kvádrovém pískovci a jejich role při vzniku skalních měst. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2012, 109–115.
- BRUTHANS, J. – SOUKUP, J. – SCHWEIGSTILLOVÁ, J. – VACULIKOVÁ, J. – SMUTEK, D. – MAYO, A. L. – FALTEISEK, L. (2013): Origin of “rock-cities”, pillars and cleft-conduits in kaolinite-bonded sandstone: new insight from study in sandstone quarry where landforms recently evolve. In: FILIPPI, M. – BOSÁK, P., ed.: Proceedings of the 16th International Congress of Speleology, July 21–28, Brno, 3, str. 499, 247–252. – Czech Speleol. Soc. Praha.
- BRUTHANS, J. – SVĚTLÍK, D. – SOUKUP, J. – SCHWEIGSTILLOVÁ, J. – VÁLEK, J. – SEDLÁČKOVÁ, M. – MAYO, A. L. (2012): Fast evolving conduits in clay-bonded sandstone: Characterization, erosion processes and significance for origin of sandstone landforms. – Geomorphology 177–178, 178–193.
- DOMENICO, P. – SCHWARTZ, W. (1998): Physical and chemical hydrogeology (second edition). – 497 str. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- FILIP, B. (1951): Podzemní vody a prameny v okolí Turnova na území speciální mapy Turnov 3754. – Věd.-techn. nakl. Praha.
- HYNIE, O. (1969): Hydrogeologie ČSSR. I Prosté vody. – 562 str. Čs. akad. věd. Praha.
- KRÁL, V. (1975): Sufoze a její podíl na současných geomorfologických procesech v Čechách. – Geographica 1–2, 23–29.
- LHOTSKÝ, O. – GINZEL, G. (1966): Pseudokrasová propast na Mužském u Mnichova Hradiště. – Čs. Kras 17, 137–138.
- ŘEZÁČ, B. (1950): Závrty ve spraši na Hruboskalské vysočině. – Sbor. Čs. společ. zeměpis. 55, 203–214.
- SOUKUP, J. – BRUTHANS, J. – SVĚTLÍK, D. – SCHWEIGSTILLOVÁ, J. – SMUTEK, D. (2013): Sebeorganizovaný systém podzemních kanálů vzniklých prouděním vody v puklinách křemenného pískovce v lomu Střeleč. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2012, 296–304.
- ULRICHOVÁ, E. (1995): Pseudokrasové závrty v oblasti CHKO Český ráj. Diplom. práce. 117 str. – Přírodověd. fak. Univ. Palackého. Olomouc
- VÍTEK, J. (1979): Typy pseudokrasových jeskyní ČSR. – Čs. Kras 30, 17–28.