

Projevy interakcí vulkanické aktivity Velkého Roudného s vodním prostředím

Evidences of interactions between Velký Roudný volcanic activity and its hydrous environments

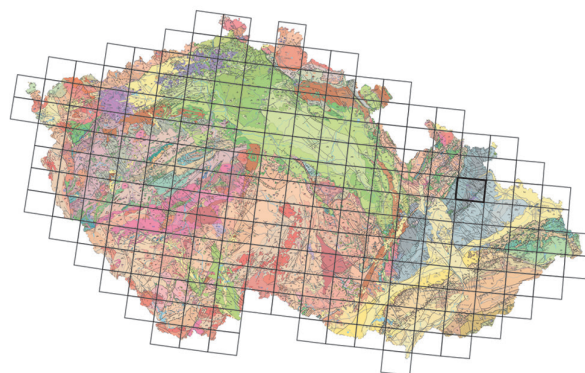
VLADISLAV RAPPRICH – ZUZANA SKÁCELOVÁ

Česká geologická služba, Klárov 6, 118 21 Praha;
vladislav.rapprich@geology.cz

Please cite this article as: Rapprich, V. – Skácelová, Z. (2022): Evidences of interactions between Velký Roudný volcanic activity and its hydrous environments. – *Geoscience Research Reports*, 55, 1, 3–10. (in Czech)

Keywords: rootless crater, phreatomagmatic eruption, pyroclastic surge deposit, lava-dammed lake, Velký Roudný, Bruntál Volcanic Field

Summary: Velký Roudný scoria cone represents the most prominent volcanic edifice of the Plio-Pleistocene Bruntál Volcanic Field (according to Cajz et al. 2012). Various types of volcanoclastic deposits and volcanic features were interpreted in various ways in the past. However, several features remained overlooked, and the investigated ones required critical revision. Velký Roudný is an asymmetric horseshoe-shaped cone, with a crater open towards the southeast (Fig. 1a). The lava flows emitted from this cone flew southwards and also to the east/southeast, where the lava filled a paleo-canyon of the Moravice River. In the paleo-canyon, the lava (up to 60 m thick) buried earlier fluvial sediments (Horský et al. 1972; Fig. 2). The best exposure of the lava flow is accessible in the active Bílčice quarry. The two levels of columnar jointing separated by a platy- to blocky-jointed domain represent the upper and lower colonnade of a single lava flow (Fig. 3a, b). The columnar jointing domains are interrupted by subvertically platy-jointed, piston-like features filled with breccia (Fig. 3c, d). These monomictic breccias are dominated by basaltic clasts with signs of abrupt quenching, like cauliflower structures (Fig. 3e, f). The shapes of these breccia bodies, together with signs of magma/water interactions, suggest their origin from rootless explosions. Their extension through the complete thickness of the lava, as well as their distribution in the lava flow were earlier documented by geophysical survey (Štainbruch 2019), whose results are re-interpreted in this contribution (Fig. 4). Another effect of the lava/water interaction is represented by “sunburn” decomposition



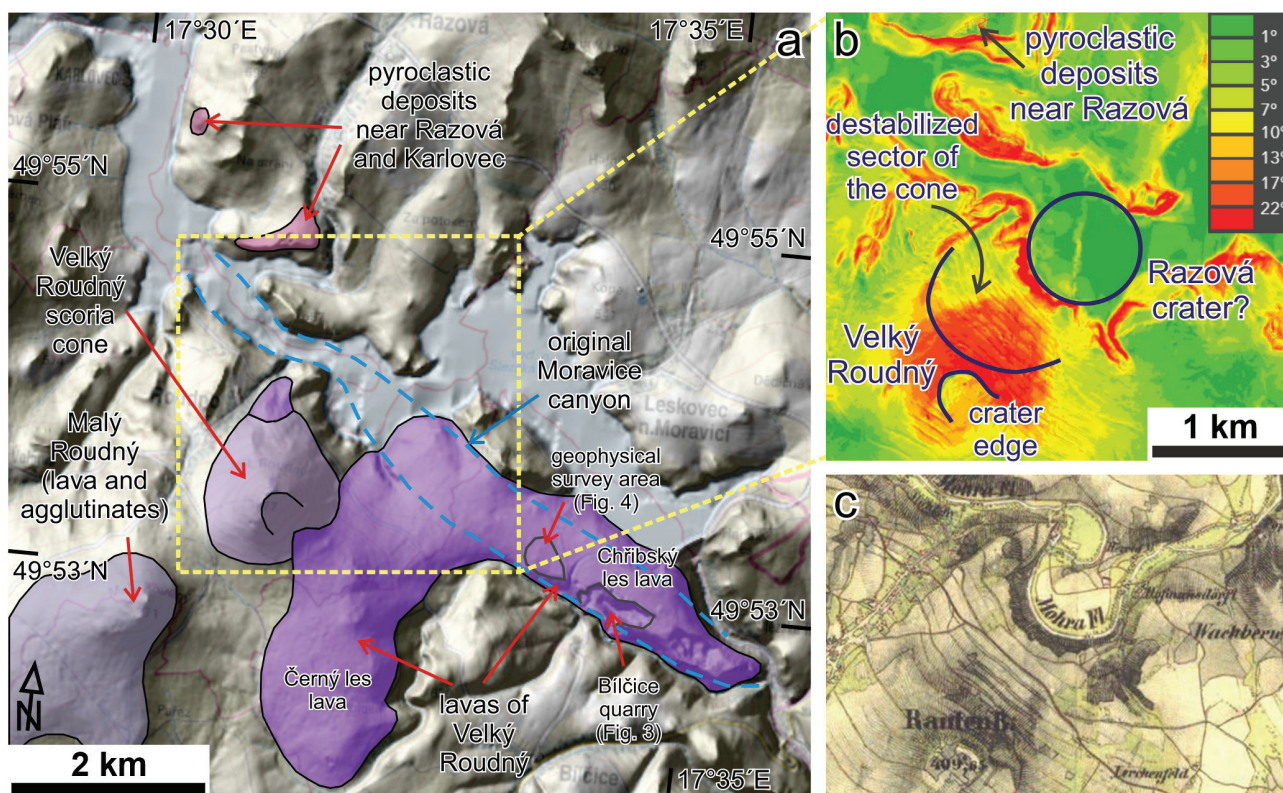
(15-31 Bruntál)

(spheroidal decomposition of the rock; Fig. 5a). The development of the spheroidal cracks seems to be restricted to the glass-containing groundmass (Fig. 5b). As the sunburn decomposition develops mainly at the base, around the rootless craters, and less frequently on the top of the lava. It seems that these irregular features reflect gentle hydration of glass-containing rock, similarly to perlitic cracks in silicic lavas (e. g., McPhie et al. 1993). Subsequently to cracking, the glass tends to analcime recrystallization (Fig. 5c, d), enhancing the decomposition of the rock.

Pyroclastic deposits exposed in two small abandoned quarries near Razová and Karlovec, respectively, were interpreted as tuffites (mixed volcano-sedimentary deposits) in the past. Despite that these deposits contain abundant fragments of basement greywackes, the fragments display no signs of rounding or sorting (Fig. 6). Poorly-sorted clast-supported deposits well correspond to the near-vent ballistic accumulation of phreatomagmatic eruption. At Karlovec, predominance of the finer-grained facies with diagonal bedding suggests that these rocks originated by base-surge deposition. The potential source of the phreatomagmatic eruption can be found in the circular depression underneath Velký Roudný (Fig. 1b, c), as supported by a magnetic anomaly (Fig. 7). The phreatomagmatic character of the volcanic activity possibly results from an eruption through a lake dammed by the Bílčice lava of the Velký Roudný scoria cone (Fig. 8).

Výskyty kenozoických vulkanitů v oblasti Nížkého Jeseníku sice patří co do objemu vulkanických hornin k těm méně významným oblastem, na druhou stranu jde o jedny z nejmladších projevů vulkanické aktivity Českého masivu. Erupce mafických alkalických magmat zde probíhaly během pozdního pliocénu (piacenz) a pleistocénu (gelas–calabr; Cajz et al. 2012). Právě díky nízkému stáří bruntálského vulkanického pole, jak je tato oblast výskytů

označována (Cajz et al. 2012), jsou zde dobře zachované povrchové pyroklastické facie, ale také originální povrchové formy. Bruntálské vulkanické pole je, podobně jako všechna ostatní plio-pleistocenní vulkanická pole Českého masivu, vázáno na pliocenní reaktivaci zlomů sudetského směru (např. Grygar – Jelínek 2003; Rajchl et al. 2009). Podložní horniny tvoří droby hornobenešovského souvrství kulmu, spodnokarbonského stáří. Nízké



Obr. 1. Distribuce vulkanických hornin a vulkanologických fenoménů v okolí Velkého Roudného: a – topografická situace na digitálním elevačním modelu založeném na LiDAR páté generace (zdroj ČÚZK), rozsah lav a pozice původního koryta Moravice upraveny dle Müllerové a Müllera (1972); b – sklonitost svahu derivovaná z digitálního elevačního modelu (zdroj ČÚZK) s vyznačením možného kráteru u Razové; c – výřez stejného území na historické mapě z 19. století (zdroj mapy.cz).

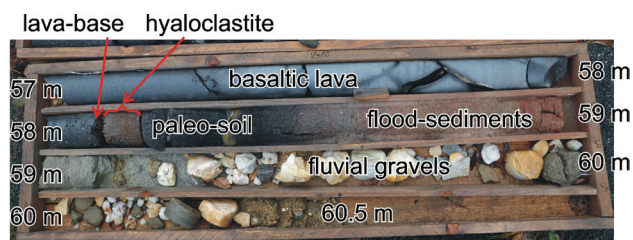
Fig. 1. Distribution of volcanic rocks and volcanological phenomena in the area of the Velký Roudný Hill: a – topographic situation on digital elevation model based on the 5th generation LiDAR (source cuzk.cz), extent of lavas and position of the original Moravice canyon adapted from Müllerová and Müller (1972); b – slope dip derived from digital elevation model (source cuzk.cz) with a possible crater at Razová indicated; c – the identical area shown on the map from 19th century (source mapy.cz).

stáří a v rámci českého masivu poněkud neobvyklá pozice přitahují k těmto vulkanickým projevům již po desetiletí pozornost odborníků různých oborů věd o Zemi, zejména petrologie, chronostratigrafie a paleomagnetismu (např. Cajz et al. 2012, 2013; Ulrych et al. 2013). Vedle toho se vulkanologické výzkumy bruntálského vulkanického pole soustředily zejména na charakterizaci erupčních stylů, zatímco dalšími fenomény se zabývaly jen okrajově (Cajz et al. 2012, 2013). První detailní popis hydrovulkanické aktivity v bruntálském vulkanickém poli přinesli Šešulka et al. (2015), kteří se zabývali maarovou strukturou Lomnice, asi 7 km západně od Velkého Roudného.

V rámci bruntálského vulkanického pole je právě Velký Roudný tím nejvýraznějším vulkanickým útvarem. Jedná se o morfologicky dobře zachovaný asymetrický struskový kužel s kráterem otevřeným směrem k jihovýchodu (obr. 1a). Geometrie vulkanického kužele pak určila směry lávových proudů, které vytékaly směrem na jih a východ. Množství vulkanických fenoménů a různých typů vulkanoklastických uloženin odkrytých v četných výchozech, ale také v činném lomu Bílčice, si zaslouží samostatné vyhodnocení. Dalším z cílů prezentovaného výzkumu bylo kritické přehodnocení geneze tzv. razovských a karloveckých tufitů.

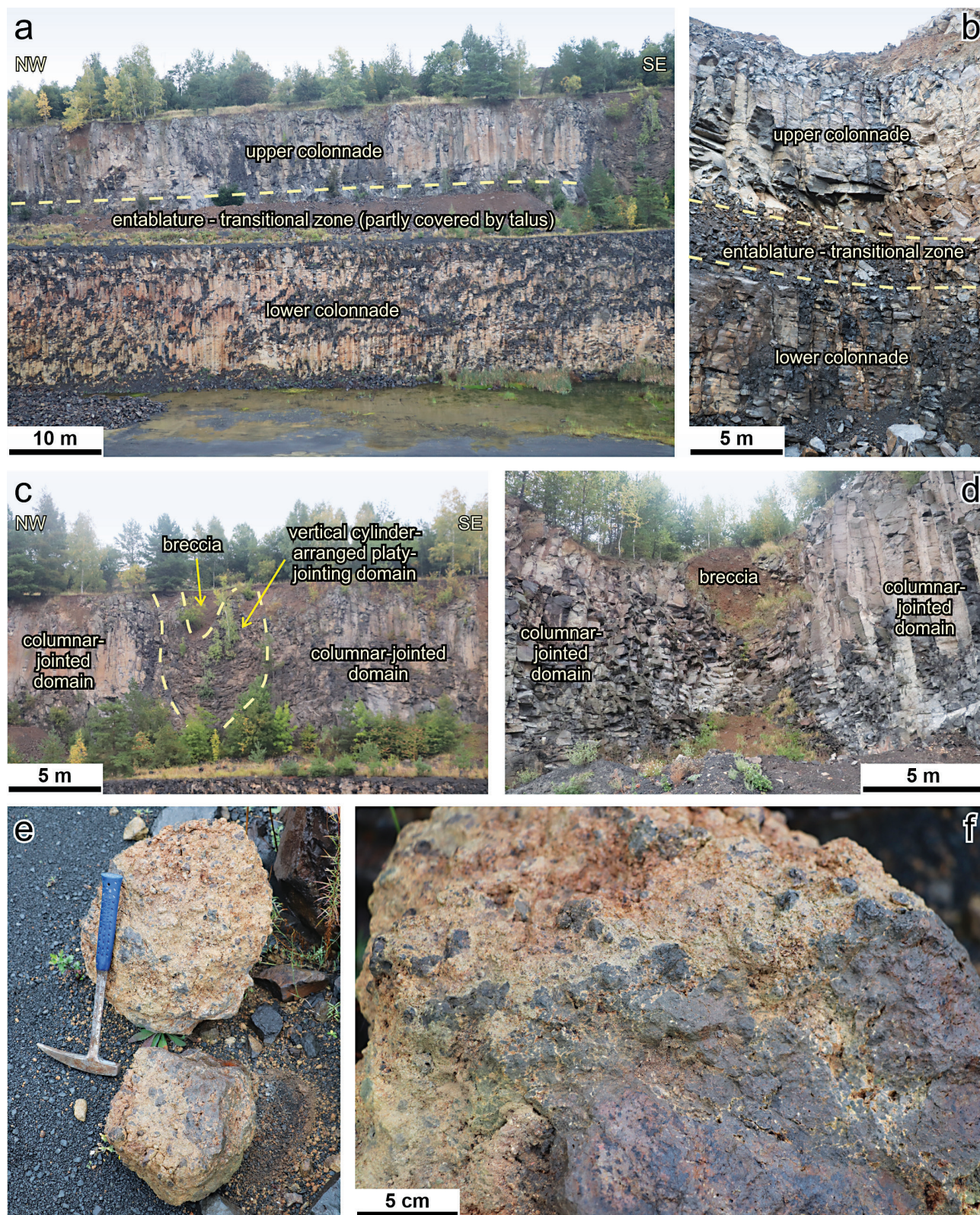
Výsledky

Bazanitová láva Bílčice – Kamenolom Bílčice je založen v lávovém proudu bazanitového složení, který vytekl z vulkánu Velký Roudný před 2,33 miliony let (K-Ar, základní hmota; Cajz et al. 2012). Lávový proud pak tekli tehdejší údolím Moravice, které částečně vyplnil (obr. 1a). O umístění lávového proudu do říčního kaňonu svědčí i přítomnost valounových štěrků v podloží lávového proudu. Ty byly v minulosti popisovány v místech budoucí stavby hráze vodní nádrže Slezská Harta (Horský et al. 1972;



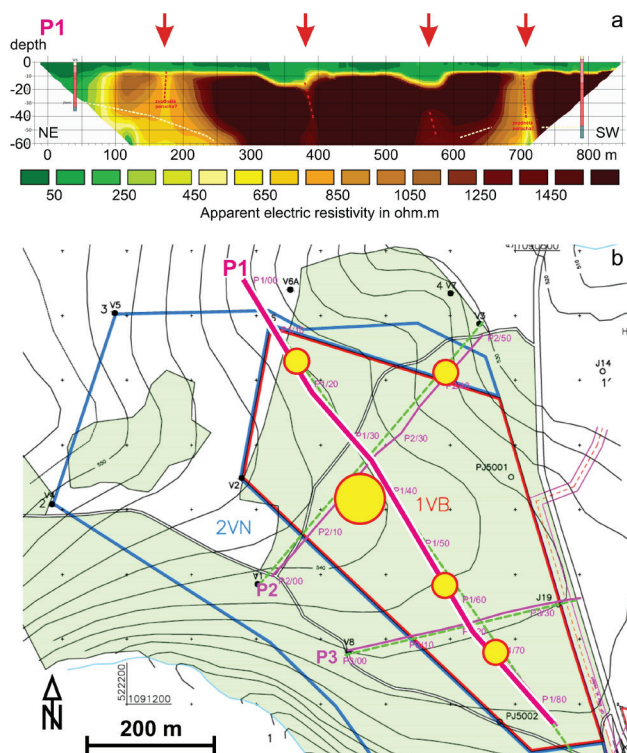
Obr. 2. Báze lávy Bílčice a podložní říční sedimenty odkryté vrtným průzkumem (vrt V-10) ložiska.

Fig. 2. Base of the Bílčice lava and underlying fluvial sediments documented by deposit survey drilling (drill-core V-10).



Obr. 3. Vulkanologické fenomény spojené s tečením lávy Velkého Roudného odkryté v lomu Bílčice: a – charakter sloupcové odlučnosti v kamenolomu Bílčice; b – detailní pohled na odlučnost lávového proudu tvořenou svrchní kolonádou, entablaturou a spodní kolonádou; c – doména subvertikální deskové odlučnosti narušující převažující sloupcovou odlučnost; d – brekciovitě těleso uvnitř lávového proudu; e, f – brekcie tvořené klasty se znaky smršťování v důsledku prudkého zchlazení.

Fig. 3. Volcanological features of Velký Roudný lava exposed in the Bílčice quarry: a – style of columnar jointing in the Bílčice quarry; b – close-up of different facies in lava-flow represented by upper collonade, entablature and lower collonade; c – domain of subvertical platy jointing alternating with columnar jointing; d – breccia body inside the lava flow; e, f – breccia containing clasts with surfaces documenting contraction due to quenching (cauliflower structure).



Obr. 4. Geofyzikální indikace bezkořených kráterů v lávovém proudu Bílčice (Chříbský les): a – výsledky geoelektrického profilu P1 v tělese bazanitu v předpolí kamenolomu Bílčice (upraveno ze Štainbrucha 2019), šipky označují předpokládané pozice bezkořených kráterů; b – situační mapa s pozicí měřených profilů a interpretovanou pozicí bezkořených kráterů (upraveno ze Štainbrucha 2019).

Fig. 4. Geophysical indications of rootless craters within the Bílčice (Chříbský les) lava flow: a – results of geoelectrical profile P1 in the basanite body of the Bílčice quarry foreland (adapted from Štainbruch 2019), arrows point to the expected position of rootless craters; b – sketch map with location of measured profiles and interpreted position of rootless craters (adapted from Štainbruch 2019).

Krystek 1973), v současnosti pak byly v podloží lávy zastíženy např. vrtným průzkumem (obr. 2).

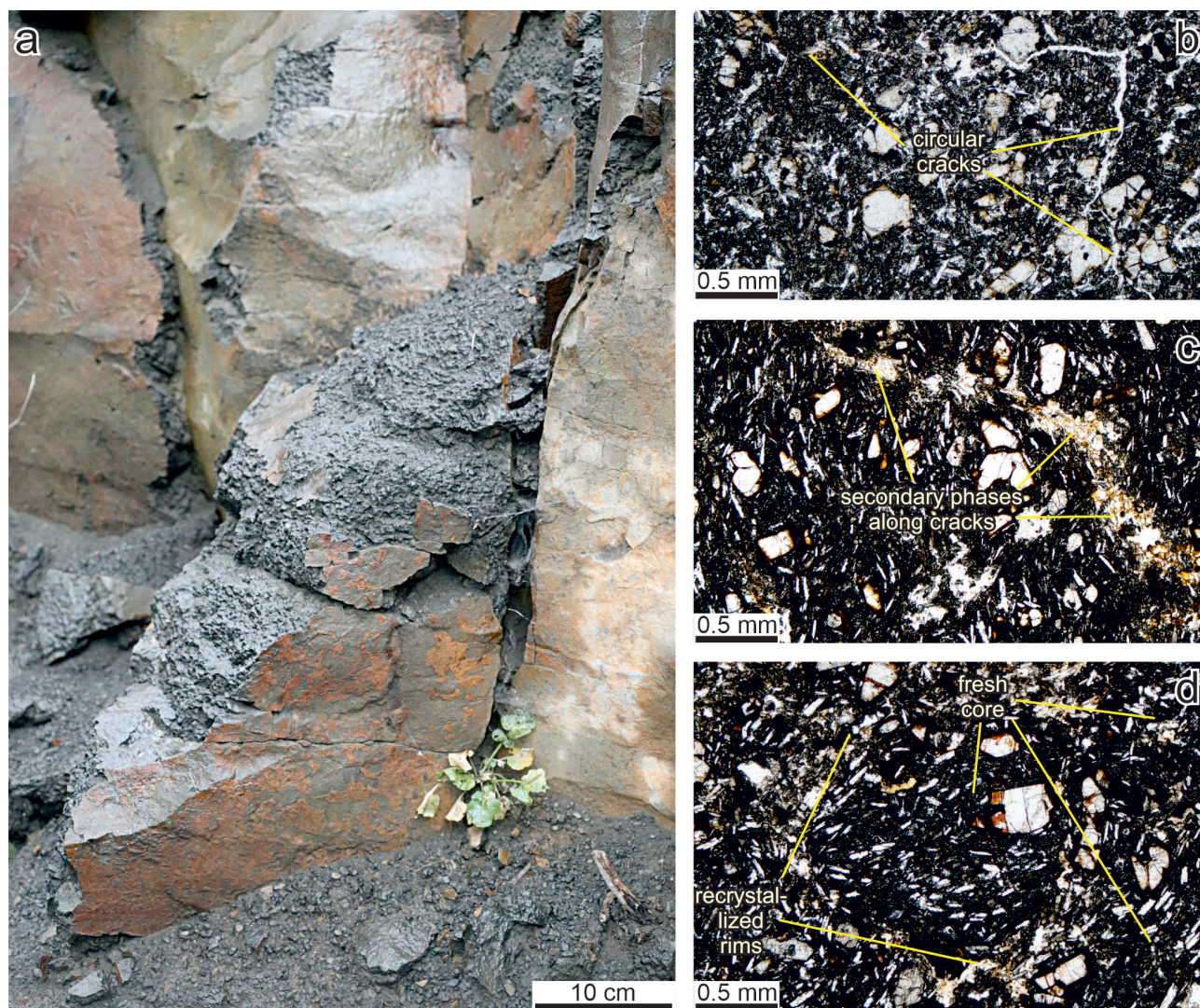
Kamenolom Bílčice, představující v současnosti nejlepší odkryv láv Velkého Roudného, je pak založen přibližně v ose tohoto proudu, jehož mocnost dosahuje 60 m. Protažení lomu pak odpovídá směru lávového proudu. Utuhlou lávu se sloupcovitou odlučností odhaluje ve dvou etážích. Dvě úrovně sloupcové odlučnosti, které jsou v kamenolomu odkryté, nepředstavují dva samostatné lávové proudy, jak uvádějí například Müllerová a Müller (1972), ale tzv. spodní a svrchní kolonádu jednoho lávového proudu (např. Schmincke 2004). Obě úrovně sloupcové odlučnosti jsou oddělené polohou nepravidelné až deskové odlučnosti, tzv. entablaturou (obr. 3a, b). Obě úrovně sloupcové odlučnosti (kolonády) vznikly v důsledku smršťování horniny při chladnutí. Na několika místech je však souvislý průběh lávy se sloupcovitou odlučností přerušen partiemi s přibližně válcovitě uspořádanou deskovitou odlučností (obr. 3c). Centrální část těchto útvarů s deskovitou odlučností je navíc vyplněna brekcii (obr. 3c, d). Světle rezavohnědá monomiktická brekie je tvořena především různě

velkými fragmenty bazanitu, které jsou obklopené jílovitou základní hmotou. Fragmenty bazanitu mají nepravidelný tvar, se zřetelným povrchem tvarovaným prudkým smršťováním při rychlém zchlazení (tzv. cauliflower texura; McPhie et al. 1993; obr. 3e, f) na kontaktu lávy s vodou. Tento typ fragmentace svědčí o intenzivním chlazení lávy vodou. Geometrie brekciovitých těles uvnitř lávového proudu potom odpovídá bezkořeným kráterům prostřelujícím skrz lávový proud. Klasickou lokalitou bezkořených kráterů je jezero Mývatn na Islandu (Noguchi et al. 2016), v Čechách byly popsány v souvislosti s pliocenním lávovým proudem Kozákova (Rapprich et al. 2013). Protažení těchto brekciovitých struktur skrz lávové těleso Bílčice až na jeho bázi a nárůst jejich četnosti ve směru blíže k Velkému Roudnému odhalil také geofyzikální průzkum (Štainbruch 2019).

Při bázi a také ve svrchní části je bazanitový lávový proud odkrytý kamenolomem Bílčice postižen kuličkovitým rozpadem, tzv. sonnenbrandem (obr. 5a). Tento rozpad postihuje i zdánlivě zdravou horninu s na první pohled nenarušenou sloupcovitou odlučností. Díky nízkému stáří nebyla hornina postižená sonnenbrandem dále alterovaná a láva Bílčice proto představuje vhodný objekt pro studium tohoto procesu. Cirkulární trhlinky, vytvářející sonnenbrandový rozpad, se vyvíjejí v základní hmotě obsahující bazické sklo (obr. 5b). Tento proces nápadně připomíná rozvoj perlitických trhlin a následného perlitického rozpadu v kyselých vulkanických sklech (McPhie et al. 1993). Podél zakřivených oslabených zón následně dochází k rekrystalizaci bazického skla v základní hmotě na čirý analcim (obr. 5c, d). To vede k postupnému rozpadu horniny na drobné kuličky (sonnenbrand), přičemž vlastní kuličky představují zdravou a pevnou horninu.

Tzv. Razovské tufity – bývalý lom na stavební kámen u Razové, který je dnes chráněn jako přírodní památka Razovské tufity, odhaluje velmi instruktivní sekvenci vulkanoklastických uloženin (obr. 6a). Znaky jako planární, místy až ploše diagonální zvrstvení a vysoký podíl klastů nevulkanického původu (okolní droby a břidlice) vedly v minulosti k interpretaci této sekvence ve smyslu redeponovaných pyroklastik s hojnou příměsí nevulkanického materiálu – tedy tufity. Při pečlivějším ohledání sekvence je zřejmé, že se zde střídají dva základní typy uloženin. Jsou to jednak masivní hrubozrnné lavice s převahou zrnitostně nevytřídněných ostrohranných bloků podložních drob a břidlic, které se střídají s rozšířenějšími polohami s detailní planárním až ploše diagonálním zvrstvením (obr. 6b, c). I tyto polohy se však vyznačují, i přes podpurnou strukturu zrn, jen slabým zrnitostním vytřídněním a nízkým stupněm opracování zrn.

Tzv. Karlovecké tufity – jsou odkryty v dalším, o poznání menším opuštěném lůdku asi 1,5 km severozápadně (výše proti proudu Moravice) od lokality „Razovské tufity“. V sekvenci u Karlovce (obr. 6d) převládají polohy s diagonálním zvrstvením, s patrným přirůstáním v šikmých plochách za hřbetem útvaru (sedimentace dun, obr. 6e, f). Masivní hrubozrnné polohy jsou méně časté a jemnozrnnější v porovnání s Razovou. I v partiích



Obr. 5. Sonnenbrandový rozpad bazanitu v kamenolomu Bílčice: a – makroskopický vzhled sloupcově odlučného bazanitu postiženého sonnenbrandovým rozpadem; b – tvorba zakřivených trhlinek v základní hmotě bazanitu (trhliny se vyhýbají vyrostlícím; spodní část lávy); c – postupná alterace skla podél těchto trhlín (spodní část lávy); d – zakřivené rekrystalizované plochy omezující kulovitá jádra zdravého bazanitu blízko povrchu lávy (vrt V13, 9,9 m). Všechny mikrofotografie v polarizovaném světle.

Fig. 5. Sunburn decomposition of basanite in the Bílčice quarry: a – macroscopic appearance of columnar jointed basanite affected by sunburn decomposition; b – development of curved cracks in the basanite groundmass (cracks do not cross phenocrysts; lower part of the lava flow); c – alteration of the glass along the cracks (lower part of the lava flow); d – curved recrystallized planes separating spherical cores of fresh basanite near the lava surface (drilling V13, 9.9 m). All photomicrographs in plane-polarized light.

s diagonálním zvrstvením, které jsou oproti masivním polohám jemnozrnnější, se hojně vyskytují výrazně větší klasty (obr. 6g).

Diskuze a závěry

Vulkanoklastické uloženiny u Razové obsahují četné fragmenty okolních nevulkanických hornin, ty však nejsou nijak opracované a jejich akumulace nevykazuje žádné známky zrnitostního vytřídění (obr. 6c), jak by se dalo předpokládat u fluvialních uloženin. Takový charakter uloženin lépe odpovídá balistickým akumulacím v těsné blízkosti zdroje freatomagmatické erupce (např. Graettinger et al. 2015; Graettinger – Valentine 2017). Planární až ploše

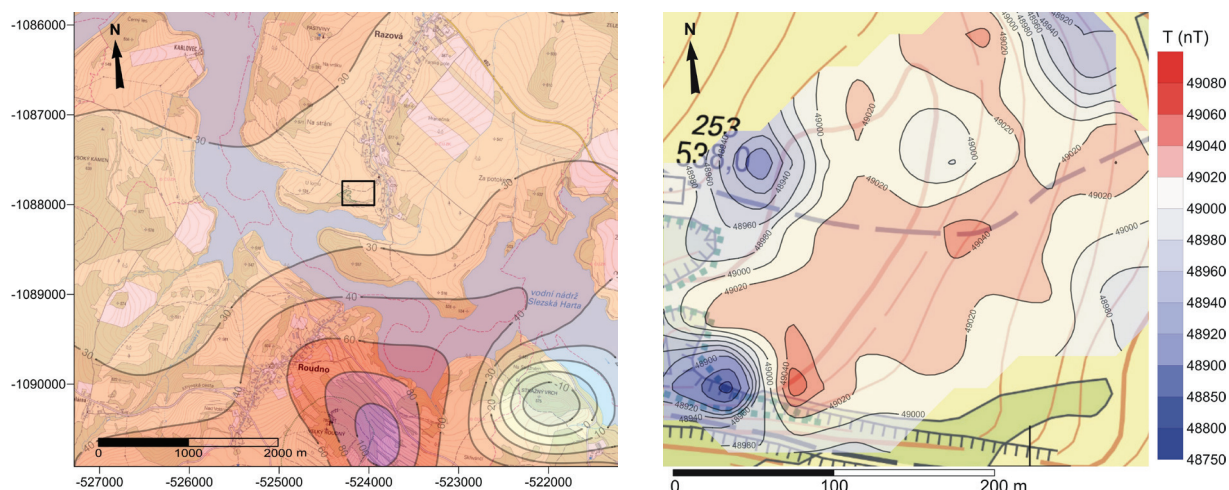
diagonální zvrstvení špatně vytříděných klastik s podpůrnou strukturou zrn a přítomností nadrozměrných klastů pak dobře odpovídá uloženinám pyroklastických přívalů (base surge; např. Bull 2000) v přechodném režimu (přechod od migrace antidun v nadkritickém režimu k migraci dun). Lokalita Karlovec by pak odpovídala o něco distálnější facií s menší velikostí zrn a uloženinami přívalů v podobě klasických dun. Geometrie zdejšího diagonálního zvrstvení totiž neodpovídá mohutnosti toku Moravice, ani v případě zvýšené dotace vody v interglaciálních periodách.

O zdroji této freatomagmatické události může leccos napovědět magnetometrický obraz studované oblasti (obr. 7a). V místě samotné lokality „Razovské tufity“ vykazují odchylky magnetického pole variace v rozmezí -250 – 80 nT (obr. 7b), což jednoznačný doklad o přítomnosti přírodní



< Obr. 6. Pyroklastické uloženiny u Razové a Karlovce: a – celkový pohled na bývalý lom stavebního kamene u Razové; b – detailní pohled na střídání vrstevnatých a masivních poloh; c – ve špatně vytříbených masivních polohách s podpurnou strukturou klastů převládají ostrohranné klasty okolních drob a břidlic; d – podstatná část pyroklastické sekvence odkryté bývalým lomem u Karlovce; e, g – diagonální zvrstvení a podpurná struktura zrn, ovšem špatné zrnitostní vytřídění (viz velké klasty) jsou charakteristické znaky uloženin pyroklastických přívalů (base-surge).

< Fig. 6. Pyroclastic deposits near Razová and Karlovec: a – overall view of the abandoned quarry near Razová; b – close-up of alternation of bedded and massive layers; c – poorly-sorted clast-supported massive layers are dominated by angular fragments of country-rock greywackes and schists; d – significant part of the pyroclastic sequence exposed in an abandoned quarry near Karlovec; e, g – diagonal bedding and clast-supported texture associated with ill-sorting (note out-sized clasts) are characteristic features of base-surge deposits.



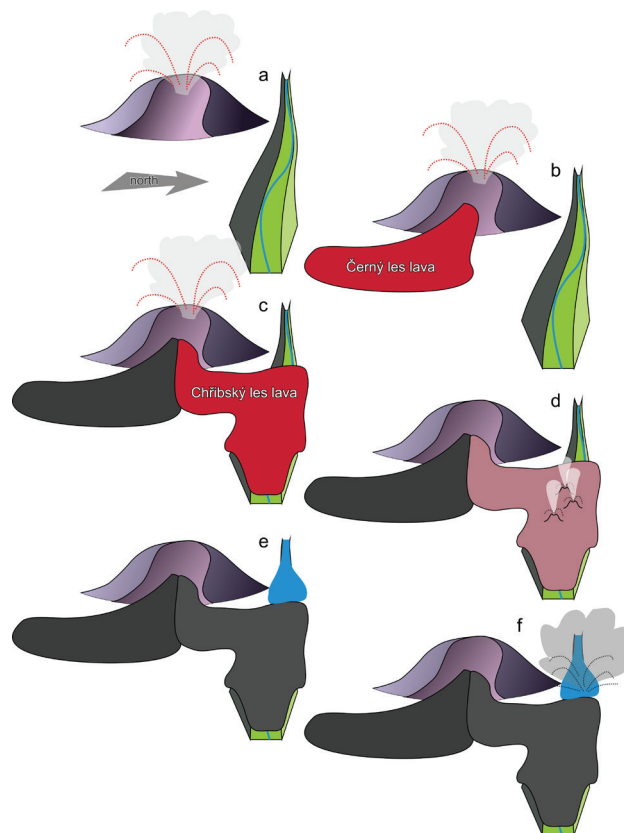
Obr. 7. Možný zdroj pyroklastik u Razové v magnetickém obraze: a – magnetický obraz severního okolí Velkého Roudného z letecké magnetometrie (Dědáček – Gnojek 1980), obdélník označuje detail zobrazený na obr. 7b; b – detailní magnetický obraz lokality Razovské tuřity z pozemního magnetometrického měření.

Fig. 7. Possible source of pyroclastic deposits near Razová from the magnetic pattern: a – magnetic image of Velký Roudný northern surroundings from regional airborne magnetometry (Dědáček – Gnojek 1980), the quadrangle marks the close-up shown on Fig. 7b; b – detailed magnetic pattern of the „Razová tuffites“ locality from the ground magnetometric survey.

dráhy nepřináší. Naproti tomu letecká magnetometrie odhaluje hruškovité protažení negativní magnetické anomálie Velkého Roudného směrem do zátočiny řeky Moravice, která je v současnosti zaplavena přehradní nádrží Slezská Harta (obr. 7a). Při analýze morfologie (obr. 1b) tato zátočina vykazuje nápadně pravidelný kruhovitý tvar, podobný vulkanickému kráteru. V případě čistě erozního původu této zátočiny by se dala předpokládat přítomnost centrálního ostrohu, který však není patrný ani na historických mapách (obr. 1c). Můžeme tedy předpokládat, že tento tvar je erupčního původu a následně byl pouze využit řekou Moravicí. Bohužel tuto hypotézu není možné s ohledem na přítomnost přehradní nádrže s konečnou platností potvrdit nebo vyvrátit.

> Obr. 8. Předpokládaný erupční vývoj Velkého Roudného: a – strombolská aktivita tvořící asymetrický struskový kužel; b – lávový proud směřující k jihu; c – lávový proud vyplňující paleokaňon Moravice; d – sekundární exploze bezkořenných kráterů v kaňonu Moravice; e – zahrazení koryta Moravice utuhlou lávou a tvorba dočasného jezera; f – freatomagmatické erupce v Razovském paleojezeře.

> Fig. 8. Interpreted eruptive history of the Velký Roudný Volcano: a – Strombolian activity building up an asymmetric scoria cone; b – southward heading lava-flow; c – lava-flow entering and filling-up Moravice paleo-canyon; d – secondary explosions of the rootless craters in the Moravice canyon; e – damming of the Moravice River by lava and formation of a temporary lake; f – phreatomagmatic eruptions in Razová paleo-lake.



Na základě získaných dat můžeme rekonstruovat pravděpodobný vývoj vulkánu Velký Roudný (obr. 8):

1. V první fázi vybudovala strombolská aktivita asymetrický struskový kužel.
2. Během následné efuzivní aktivity jeden z lávových proudů natekl do paleokaňonu řeky Moravice.
3. Sekundární exploze lávy, která překryla vodou nasycené sedimenty, vytvořily bezkoňenné krátery.
4. Láva zahradila řeku Moravici a vytvořila dočasné jezero.
5. Erupční centrum se posunulo do prostoru nově vzniklého jezera. Freatomagmatické erupce pomalu rozšiřovaly a prohlubovaly kráter. Pyroklastika obsahující vysoký podíl fragmentů podložních hornin se ukládala jak balisticky, tak formou pyroklastických přívalů do vzdálenosti nejméně 1,5 km.
6. Řeka Moravice si postupně proerodovala nový kaňon paralelně s utuhlou lávou.

Poděkování. Vulkanologický výzkum vulkánu Velký Roudný byl podpořen grantem GAČR (projekt 21-30043S). Zvláštní poděkování patří společnosti Kamenolomy ČR, s. r. o., ze skupiny Strabag za umožnění dokumentace vulkanologických fenoménů v kamenolomu Bílčice, včetně možnosti dokumentace vrtných jader a poskytnutí výsledků geofyzikálního průzkumu v prostoru plánovaného rozšiřování lomu. Ke kvalitě rukopisu přispěly podněty a připomínky Mgr. Filipa Tomka, Ph.D., a jednoho anonymního recenzenta.

Literatura

- BULL, S. W. (2000): Distinguishing base-surge deposits and volcaniclastic fluvial sediments: an ancient example from the Lower Devonian Snowy River Volcanics, south-eastern Australia. – *Sedimentology*, 47, 87–98.
- CAJZ, V. – SCHNABL, P. – PĚČSKAY, Z. – SKÁCELOVÁ, Z. – VENHODOVÁ, D. – ŠLECHTA, S. – ČÍŽKOVÁ, K. (2012): Chronological implications of the paleomagnetic record of the Late Cenozoic volcanic activity along the Moravia-Silesia border (NE Bohemian Massif). – *Geol. carpath.* 63, 423–435.
- CAJZ, V. – SKÁCELOVÁ, Z. – SCHNABL, P. – RADOŇ, M. (2013): Svrchněkenozoický severomoravský vulkanismus: rekonstrukce činnosti, paleomagnetismus, geofyzikální obraz, návrh litostratigrafie. – *Zpr. geol. Výzk. v Roce 2012*, 20–25.
- DĚDÁČEK, K. – GNOJEK, I. (1980): Technická zpráva o leteckém geofyzikálním průzkumu oblasti Jeseníků v letech 1978 a 1979. – MS Čes. geol. služba. Praha.
- GRAETTINGER, A. H. – VALENTINE, G. A. (2017): Evidence for the relative depths and energies of phreatomagmatic explosions recorded in tephra rings. – *Bull. Volcanol.* 79, 1–21.
- GRAETTINGER, A. H. – VALENTINE, G. A. – SONDER, I. – ROSS, P. S. – WHITE, J. D. (2015): Facies distribution of ejecta in analog tephra rings from experiments with single and multiple subsurface explosions. – *Bull. Volcanol.* 77, 1–12.
- GRYGAR, R. – JELÍNEK, J. (2003): The Upper Morava and Nysa pullapart grabens – the evidence of neotectonic dextral transtension on the Sudetic Fault System. – *Acta Montana, Ser. A* 24, 131, 51–59.
- HORSKÝ, O. – MÜLLER, K. – TRÁVNÍČEK, L. (1972): Investigation of disturbance of the basalt sheet at the damsite Slezská Harta using geological and geophysical methods. – *Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol.* 10, 39–57. (in Czech with English resume)
- KRYSTEK, I. (1973): Several notes on volcanic history of Velký Roudný. – *Zpr. Slez. Úst. ČSAV (Opava), přír. Vědy* 125, 11–14. (in Czech)
- McPHIE, J. – DOYLE, M. – ALLEN, R. (1993): Volcanic textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. – CODES. Hobart.
- MÜLLEROVÁ, J. – MÜLLER, K. (1972): Vindication of existence of two lava flows of Velký Roudný near Slezská Harta. – *Sbor. věd. Práci Vys. Šk. báň. (Ostrava), Ř. horn-geol.* 18, 3, 97–100. (in Czech)
- NOGUCHI, R. – HÖSKULDSSON, Á. – KURITA, K. (2016): Detailed topographical, distributional, and material analyses of rootless cones in Myvatn, Iceland. – *J. Volcanol. geothermal Res.* 318, 89–102.
- RAJCHL, M. – ULÍČNÝ, D. – GRYGAR, R. – MACH, K. (2009): Evolution of basin architecture in an incipient continental rift: the Cenozoic Most Basin, Eger Graben (Central Europe). – *Basin Res.* 21, 269–294.
- RAPPICH, V. – ADAMOVÁ, M. – BALDÍK, V. – BRÍZOVÁ, E. – BUDA, J. – ČECH, S. – DUŠEK, K. – GRYGAR, R. – HOLÁSEK, O. – HROCH, T. – KACHLÍK, V. – KRUMLOVÁ, H. – KRUPÍČKA, J. – KRYŠTOFOVÁ, E. – MAŠEK, D. – MÜLLER, P. – NOVOTNÝ, R. – PĚČSKAY, Z. – PROUZA, V. – REJCHRT, M. – RÝDA, K. – SKÁCELOVÁ, D. – SKÁCELOVÁ, Z. – ŠEBESTA, J. – ŠVÁBENICKÁ, L. – TASÁRYOVÁ, Z. (2013): Explanation to basic geological map of the Czech Republic 1:25 000, sheet 03-324 Turnov. – 176 pp. Czech Geol. Surv. Prague. (in Czech)
- SCHMINCKE, H.-U. (2004): Volcanism. – Springer Science & Business Media.
- ŠEŠULKA, V. – SEDLÁKOVÁ, I. – BÁBEK, O. – PŘICHYSTAL, A. (2015): Identification of a buried Late Cenozoic maar-diatreme structure (North Moravia, Czech Republic). – *Geol. carpath.* 65, 471–479.
- ŠTAINBRUCH, J. (2019): Lom Bílčice: geofyzikální průzkum. Závěrečná zpráva. – 9 str., 4 příl. MS PŘF UK. Praha.
- ULRYCH, J. – ACKERMAN, L. – BALOGH, K. – HEGNER, E. – JELÍNEK, E. – PĚČSKAY, Z. – PŘICHYSTAL, A. – UPTON, B. G. J. – ZIMÁK, J. – FOLTÝNOVÁ, R. (2013): Plio-Pleistocene basanitic and melilitic series of the Bohemian Massif: K-Ar ages, major/trace element and Sr-Nd isotopic data. – *Geochemistry* 73, 429–450.