

## VULKANOKLASTICKÝ HORIZONT V KLADORUBECH U LETOVIC (BOSKOVICKÁ BRÁZDA)

VOCLANOCLASTIC HORIZON AT KLADORUBY NEAR LETOVICE (BOSKOVICE BASIN)

JAKUB JIRÁSEK, DALIBOR MATÝSEK, STANISLAV ŠTAMBERG, DANIEL ŠIMÍČEK

### Abstract

Jirásek, J., Matýsek, D., Štamberg, S., Šimíček, D., 2022: Vulkanoklastický horizont v Kladorubech u Letovic (Boskovická brázda). – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 107, 2, 215–225 (with English summary).

### *Volcanoclastic horizon at Kladoruby near Letovice (Boskovice Basin)*

The occurrence of volcanoclastic rock was confirmed for the second time within the Letovice Formation (Asselian to Artinskian?) of the Boskovice Basin. Volcanoclastics are reported from the Kladoruby locality near Letovice, ca. 40 km N of Brno. Volcanoclastic layer was found in paleontological excavations in section Dolní Pepřík (GPS N 49° 33.080' E 016° 35.843') of Lubě Horizon. Locality is important for abundant Permian acanthodians, xenacanthid sharks, rare fossils of actinopterygian fish, discosauriscid amphibians, and very abundant plant remains. Three samples representing top, middle and bottom parts of the layer reaching 12 cm were taken. Mineralogical composition shows approximately the same portions of montmorillonite, albite, and kaolinite in all samples (each ca. 20–30 wt.%), with constant admixture of both idiomorphic and angular quartz not exceeding 6 wt.%. Calcite is also very common, assumed completely of secondary origin. Prismatic apatite crystals, well developed zircon crystals, cubic pyrite, *limonite*, and etched baryte were identified in heavy mineral fraction. Grain size of the rock equals to sandy silts, after the decalcification even to silts. There is a strong evidence for volcanoclastic origin reflected in the composition of clay components (montmorillonite is exceptional in the basin sediments) combined with the well-developed crystals of apatite and zircon. However, there is no credible way how to estimate the share of terrestrial component, and therefore distinguish between tuff and tuffite. TAS classification should not be used for this rock because very high loss on ignition (26%). According to the Zr/Ti vs. Nb/Y diagram the rocks belong to trachyandesites. Zircon saturation thermometry yielded crystallization temperature range 700–750 °C and rhyolite parent magma. It is intriguing that Kladoruby is second locality within the Boskovice Basin, where the deposition of volcanic ash is linked with presence of fossiliferous shales rich in organic matter. However, to link volcanic ash fertilization with organic-matter production leading to the bituminous shale horizons development in the basin needs further investigation. The volcanoclastic rock seems to be suitable for U-Pb dating of zircon and apatite.

*Key words:* volcanoclastic rock, Permian, mineralogy, petrology, geochemistry, Czech Republic

Jakub Jirásek, Department of Geology, Faculty of Science, Palacký University Olomouc, 17. listopadu 1192/12, 771 46 Olomouc, Czech Republic; e-mail: jakub.jirasek@upol.cz

Dalibor Matýsek, Department of Geological Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 15/ 2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Czech Republic; e-mail: dalibor.matysek@vsb.cz

Stanislav Štamberg, Department of Science, Museum of Eastern Bohemia in Hradec Králové, Eliščinovo nábřeží 465, 500 03 Hradec Králové, Czech Republic; e-mail: s.stamberg@muzeumhk.cz

Daniel Šimíček, Department of Geology, Faculty of Science, Palacký University Olomouc, 17. listopadu 1192/12, 771 46 Olomouc, Czech Republic; e-mail: daniel.simicek@upol.cz

## 1. ÚVOD

Vulkanoklastické horniny (tufy, tufity) a horniny s vulkanoklastickou příměsí jsou předmětem pozornosti geologů pracujících v sedimentárních pánvích ze dvou důvodů. Představují totiž výrazné markery, které mohou sloužit jako identifikační a korelační vodítka při analýze rozsáhlejších pánevních výplní. V posledních zhruba dvou desetiletích se na ně upřela také pozornost díky obsahu některých vulkanogenních minerálů, které je možno pomocí různých systémů (K/Ar, Ar/Ar, U-Pb) radiogenních izotopů datovat. S rozvojem velmi přesného datování pak tyto horniny poskytují v řadě případů přesnější údaj o stáří okolních sedimentů, než jaký je možné získat pomocí biostratigrafie.

Předmětem této práce je mineralogické, petrografické a geochemické studium potenciálně vulkanogenního horizontu, na který upozornil třetí z autorů v rámci paleontologických studií na lokalitě Kladoruby u Letovic – Dolní Pepřík. Jde o nově dokumentovanou lokalitu bohatou na permskou faunu i flóru, kde by objev radiogenní datovatelného materiálu ve spojení s paleontologickými daty mohl výrazně přispět k stratigrafii spodního permu nejen na Moravě, ale také minimálně ve středoevropském prostoru.

## 2. GEOLOGICKÁ SITUACE

Boskovická brázda je přibližně 100 km dlouhá a 3 až 10 km široká tektonicky predisponovaná struktura v jihovýchodní části Českého masivu. Její výplň tvoří sedimenty stephanu (gželu) a autunu (cisuralu). Tato struktura vznikla na mladovariský aktivní zlom, který se nachází na styku dvou velkých regionálně-geologických jednotek – ludogdanubika a moravosilesika. V podloží pánevní výplně se nachází horniny západomoravského krystalinika a sedimentární pokryv brunovistulika. Celková složená mocnost permokarbonských sedimentů dosahuje 5–6 km. Výplň pánve je členěna do čtyř litostratigrafických jednotek: rosicko-oslavanského, padochovského, veverskobítežského a letovického souvrství. Všechny mají dominantně fluviaální až fluviolakustrinní původ (JAROŠ a MALÝ 2001).

Vulkanické a vulkanoklastické horniny jsou v Boskovické brázdě přítomné jen zcela ojediněle a většina se nachází v jižní části pánve (přehled JIRÁSEK *et al.* 2017). Důvodem pro to ovšem může být výrazně nerovnoměrné množství informací z geologického průzkumu, který byl zaměřen téměř výhradně na uhlonosné rosicko-oslavanské souvrství. V severní (letovické) části pánve, která je od jižní oddělena tišnovským prahem (JAROŠ a MALÝ 2001), byly vulkanické horniny – bazalty, andezity, dacity až ryolity zjištěny v letovickém souvrství vrtem RPV-47 Bělá u Jevíčka (ONDRÁČEK 2012). Vulkanoklastika popsali JIRÁSEK *et al.* (2019) z profilu lokality Obora v letovickém souvrství a ze stejné jednotky je bez analytických dat zmiňuje také ŠTAMBERG (2007) z lokality Kochov – V potocích.

Detaily starších geologických a paleontologických výzkumů v okolí obce Kladoruby (nyní součást Letovic) shrnuje IVANOV (2003). Od druhé poloviny 19. století zde bylo objeveno několik lokalit s výskyty fosilní flóry. Lokalitu Kladoruby – Dolní Pepřík poprvé popisuje ŠTAMBERG (2003). Kromě základního litologického popisu založeného na novém odkryvu popisuje nálezy hojných akantodů, vzácných paprskoploutých ryb a diskosauriscidních obojživelníků. Z flóry uvádí zejména zástupce rodů *Walchia* a *Autunia*. Autor usuzuje na svitávecký obzor a biozónu *Acanthodes gracilis*. Dosud nejdetailnější popis lokality uvádí ŠTAMBERG (2007). Popisuje zde vrstevní sled (od podloží): šedý jílovec s florou, silně fosiliferní laminovaný bituminózní karbonát (5 cm), světle šedý jílovec s rostlinnou drtí (0,5 cm), šedý neštěpný jílovec s florou (7 cm), žlutý rozpadavý pískovec (6 cm), nažloutlý neštěpný prachovitý jílovec (13 cm), fosiliferní šedozelený jílovec (8 cm), fosiliferní jemně laminovaný jílovitý vápenec (30 cm), žlutý a zelený pískovec (2,5–4 cm), fosiliferní šedý jílovec (12 cm), žlutý jílovitý pískovec

(13 cm), slabě fosiliferní šedý nebo zelenkavý jílovec (50 cm), a šedý masivní pískovec. Podle nově zpracovaných paleontologických nálezů by měla náležet nejsvrchnějšímu fosilifernímu horizontu spodního letovického souvrství, tj. lubskému obzoru. Paralelizaci zdejší lokality s dalšími fosiliferními obzory spodní části letovického souvrství publikoval ŠTAMBERG (2015).

### 3. METODIKA VÝZKUMU

Semikvantitativní fázové složení hornin bylo sledováno pomocí práškové rentgenové analýzy na Institutu geologického inženýrství na VŠB-TU v Ostravě (analytik D. Matýsek). Měření probíhalo na difraktometru Bruker-AXS D8 Advance s pozičně citlivým detektorem LynxEye za podmínek: záření  $\text{CuK}\alpha/\text{Ni}$  filtr, 40 kV/40 mA, krok 0.014° 2 $\theta$ , čas na kroku 0,25 s, součet pěti opakovaných měření.

Separace těžkých minerálů byla provedena v laboratořích České geologické služby Praha. Použito bylo přibližně 10 kg vzorku.

Sledování morfologie a orientačního chemického složení těžkých minerálů bylo provedeno na přírodním povrchu vzorků za použití autoemisního elektronového mikroskopu FEI Quanta-650 FEG od firmy FEI. Chemické složení minerálů bylo ověřováno energiově disperzním analyzátozem (EDS) - EDAX Galaxy. Jednalo se o bezstandardové analýzy s použitím korekce obsahů lehkých prvků na základě sady standardů. Mikroskop pracoval za podmínek: napětí 15 kV, proud 8–10 nA, průměr svazku 5,5  $\mu\text{m}$ , sníženě vakuum s tlakem v komoře 50 Pa, vzorky bez pokovení. Identifikace spektrálních linií byla prováděna s využitím spektrálního rozkladu za použití funkce halographic peak deconvolution.

Celkový chemismus horniny byl stanoven v laboratořích společnosti Bureau Veritas Mineral Laboratories ve Vancouveru v Kanadě. Vzorek o hmotnosti přibližně 100 g byl podrcen, rozemlet na zrnitost 200 mesh a zredukován kvartováním. Vzorek pro analýzu oxidů hlavních složek byl rozpuštěn v lučavce královské (95 °C) a analyzován metodou ICP-OES. Další prvky byly zjišťovány na podílu vzorku, který prošel rozkladem tavením s borátem lithným, vylouhováním kyselinou dusičnou (5 %) a byl analyzován metodou ICP-MS. Obsah uhlíku a síry byl měřen analyzátozem LECO. Ztráta žiháním byla zjišťována rozdílem hmotnosti před a po žihání na 1000 °C.

Pro zjištění zrnitosti vulkanoklastické polohy byly použity 3 vzorky, odebrané z vrchní, střední a spodní části polohy (označené v uvedeném pořadí KLAD1, KLAD2 a KLAD3). Souběžně byly části stejných vzorků podrobeny dekalciifikaci v ca. 10% kyselině octové po dobu 3 dní. Méně než 0,5 g každého vzorku bylo poté rozplaveno ve zhruba 10 ml vody a důkladně promícháno. Následné měření probíhalo na laserovém difraktometru FRITSCH NanoTec Analysette 22 (Fritsch, Německo), který v rozmezí 0,08 až 2000  $\mu\text{m}$  rozlišuje 102 velikostních kategorií. Před vlastní analýzou byl rozplavený vzorek vystaven působení ultrazvuku po dobu několika desítek sekund. Pro statistické zpracování výsledků byl použit program GRADISTAT (v8.0) (BLOTT a PYE 2001).

### 4. VÝSLEDKY A DISKUZE

V roce 2018 byl ve střední části svahu na lokalitě Kladoruby – Dolní Pepřík (GPS N 49° 33.080' E 016° 35.843') odebrán materiál ze silně rozpadavé běžové polohy, makroskopicky odpovídající jemnozrnnému pískovci. Začátkem roku 2022 byla obdobně vypadající poloha odkryta výkopem níže ve svahu, asi 6 m severovýchodně od předešlé. Zde byla méně postižena svahovými pohyby a lze ji popsat jako málo soudržnou velmi světle hnědou až béžovou vrstvu dosahující mocnosti do 12 cm (obr. 1), která má vrchní část silně rozpadavou. Je ostře ohraničená od nadložních aleuropelitů, pro které je typická tmavě šedočerná barva a přítomnost rozptýlené organické hmoty a makrofosilií.

Přechod do podloží je barevně pozvolnější, přesto lze polohu jasně vymezit. Ze světlé vrstvy byly odebrány 3 vzorky: KLAD1 z vrchního 1 cm, KLAD2 ze střední části a KLAD3 z její bazální části. V původním profilu ŠTAMBERGA (2007) pocházejícím z prvních výkopů na lokalitě jsou podobné polohy vyznačeny tři - vrstvy číslo 5, 9 a 11. Vzorky ze spodní části lokality tedy odpovídají vrstvě číslo 5 a vzorek ze svrchní polohy vrstvě číslo 11. Protože ale lokalita není souvisle odkrytá, není možné vyloučit ani vliv drobné tektoniky a svahových pohybů na zdejší vrstevní sled.

Výsledky fázového složení odebraných vzorků jsou v tabulce 1. Je patrné, že dominantními složkami horniny jsou kaolinit, minerál smektitové skupiny blízký montmorillonitu a albit, zastoupené přibližně ve stejném poměru.

Jílový minerál studovaného horizontu lze charakterizovat jako montmorillonit. Příprava sedimentovaného preparátu pro práškovou rentgenovou difrakci byla komplikovaná intenzivní flokulací materiálu, kterou se nepodařilo překonat běžnými postupy, jako např. přidávkem Na-pyrofosfátu, saponátu nebo etanolu. V přírodním stavu na částečně uspořádaném preparátu bez granulometrického rozdělení materiál vykazuje intenzivní poněkud rozšířenou difrakci (001) kolem 14,9–15,0 Å, po nasycení etylenglykolem tato linie expanduje na 16,9–17,1 Å (obr. 2). Difrakce (060) není rozlišitelná z důvodu koincidence s jinými minerály.

Křemen je přítomen v celé poloze konstantně v malém množství. Největší rozdíly jsou patrné v obsahu kalcitu. Ten považujeme, shodně jako další autoři u tufů a tufitů z jiných lokalit (např. DVOŘÁK 1999, JIRÁSEK *et al.* 2019), za sekundární, tj. diagenetický. Z toho důvodu jsme v tabulce 1 uvedli variantu, kde není obsah kalcitu ve složení



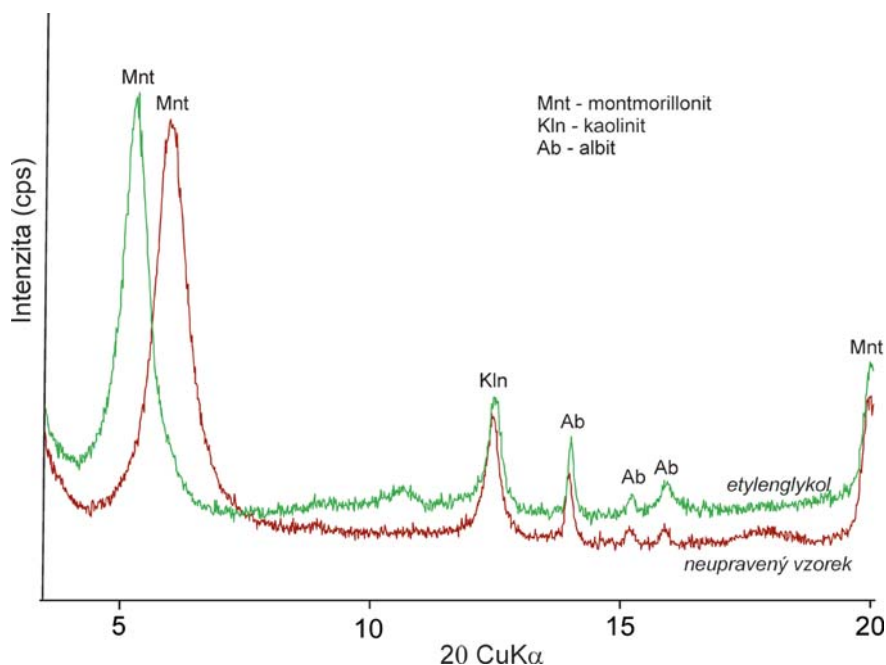
Obr. 1. Vulkanoklastická poloha. Výška kladiva 28 cm. Foto J. Jirásek, 2022.

Fig. 1. Volcanoclastic layer. Pick height 28 cm. Photo J. Jirásek, 2022.

Tabulka 1. Přehled fázového složení studovaných vzorků s a bez započtení obsahu sekundárního kalcitu (v hmot. %).

Table 1. Phase composition of the studied samples with and without the secondary calcite content (in wt.%).

	KLAD1		KLAD2		KLAD3	
	s CaCO <sub>3</sub>	bez CaCO <sub>3</sub>	s CaCO <sub>3</sub>	bez CaCO <sub>3</sub>	s CaCO <sub>3</sub>	bez CaCO <sub>3</sub>
kaolinit	35 %	39 %	20 %	30 %	20 %	30 %
montmorillonit	20 %	23 %	23 %	34 %	22 %	33 %
albit	28 %	31 %	21 %	31 %	19 %	29 %
křemen	6 %	7 %	3 %	5 %	5 %	8 %
kalcit	11 %	–	33 %	–	34 %	–



Obr. 2. Práškový rentgenový záznam částečně uspořádaného sedimentovaného preparátu. Patrný je posun difrakce (001) z neupraveného vzorku po nasycení etylenglykolem.

Fig. 2. Powder X-ray diffraction record of a partially ordered sedimented sample. A diffraction shift (001) from the untreated sample to ethylene glycol saturated sample is evident.



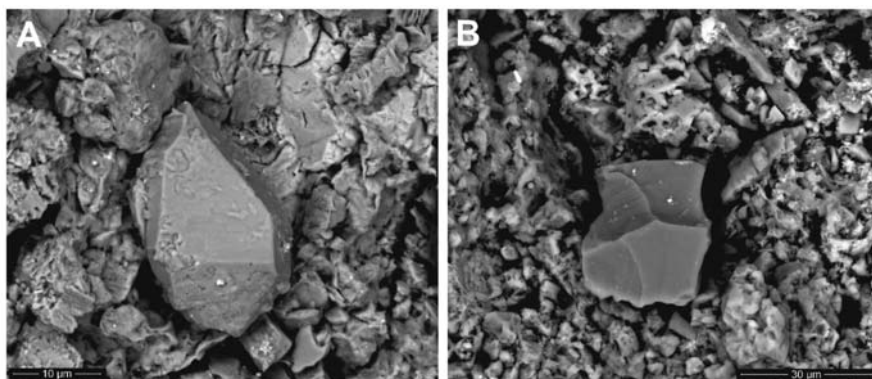
horniny započítán. Sekundární změny, jako zjilovatění a karbonatizace vulkanoklastik, bývají výsledkem výrazné chemické nerovnováhy mezi jemnozrnnými porézniemi sopečnými produkty a vodním prostředím, případně roztoky v procesu diagenese. Vzhledem k vysokému obsahu jilových minerálů nebyl statisticky věrohodně sledován tvar zrn křemene, proto nelze rozhodnout o jeho původu. Vyskytují se však jak zrna téměř idiomorfne omezená (obr. 3A), tak také ostrohranná, která bývají popisovaná jako vulkanogenní (obr. 3B).

V nemagnetické a magnetické frakci těžkých minerálů byla zjištěna řada akcesorických minerálů. Velmi hojný je apatit přítomný v podobě dobře krystalově omezených sloupcovitých krystalů a jejich zlomků (obr. 4A). Krystaly zirkonu jsou méně běžné, ale zato tvoří dokonale krystalově omezené jedince o velikosti okolo 100  $\mu\text{m}$  (obr. 4B). Blíže neanalyzované oxidy/hydroxidy železa (*limonit*) tvoří nejčastěji nepravidelně omezené agregáty, vzácně také pseudomorfozy po pyritu (obr. 4C). Hojná jsou také zrna barytu s výrazně voštinovitým povrchem (obr. 4D), zjevně způsobeným chemickou korozí. Na základě tvaru lze považovat většinu krystalů apatitu a křemene za vulkanogenní. Zejména apatitová zrna s tímto tvarem by totiž byla velmi náchylná k destrukci během transportu s dalším klustickým materiálem. Naopak pyritové krystaly zjevně neprošly žádným transportem a přítomný pyrit je velmi pravděpodobně diagenetickým produktem rozkladu organické složky sedimentu v anoxickém prostředí. Původ barytu je pravděpodobně v nízkoteplotních hydrotermálních žilkách se sulfidy Pb, Zn a Cu, které byly nalezeny i na dalších lokalitách Boskovické brázdy (BOUŠKA a KRUTA 1964, HOUZAR a HRŠELOVÁ 2016) a v okolních horninách moravika (např. DOLNÍČEK 2001, HOUZAR *et al.* 2021) a moravosilesika (např. HALAVÍNOVÁ *et al.* 2005) lemujícího Boskovickou brázdu. Morfologie barytu neodpovídá jeho vzniku při zvětrávání (MATÝSEK *et al.* 2022).

Přehled hlavních oxidů a obsahu dalších prvků ve studované vrstvě je uveden v tabulce 2. U hlavních oxidů je zjevná vazba na převažující silikátové minerály a kalcit, u železa pak na *limonit* a pyrit. Koncentrace stopových prvků (Zr, Rb a Th vs. Ni, Cr a V) napovídají spíše kyselému nebo intermediálnímu vulkanickému zdroji. Klasifikační diagramy pro vulkanické horniny není vhodné pro analyzovaný materiál použit z důvodu vysoké ztráty žiháním, způsobené vysokým jak obsahem kalcitu, tak i montmorillonitu (Tab. 2). Použití diskriminačních diagramů založených na prvcích málo mobilních při horninové alteraci může poskytnout relevantnější výsledky. V případě použití poměrů Zr/Ti vs. Nb/Y podle PEARCE (1996) by se matečná hornina nacházela v poli trachyandezitů. Využití termometru založeného na saturaci zirkonem určenou pro silně alterované vulkanoklastika (KIPLI 2022) poskytuje odhad teplot krystalizace zirkonu v rozmezí 750–700 °C a klasifikuje zdrojové magma jako ryolitové.

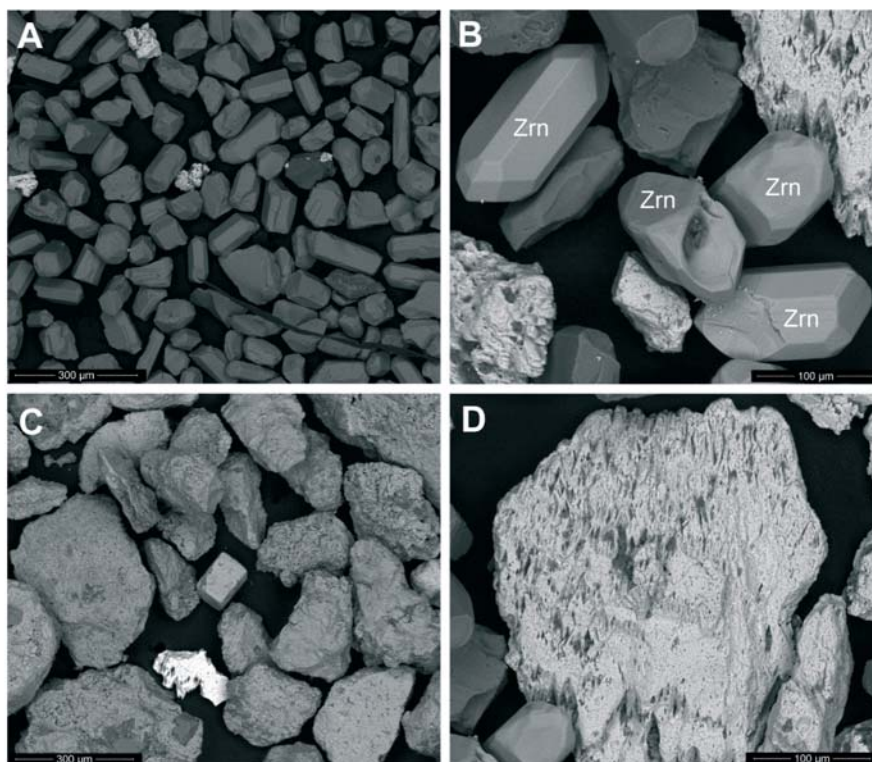
S ohledem na to, že hornina makroskopicky připomíná slabě zpevněný pískovec, jsme se pokusili o její granulometrickou analýzu. Ta v ideálním případě u vulkanoklastik může pomoci interpretovat přibližnou délku transportu částic vzduchem (např. HOUGHTON a CAREY 2015). Na základě klasifikačního ternárního diagramu podle FOLKA (1954) zrnitost vzorků odpovídá písčítým prachovcům (obr. 5). Dle texturní klasifikace FOLKA (1954) odpovídají hrubozrnnému prachovci s příměsí velmi jemného písku. Nejvyšší podíl písčítých zrn byl zjištěn ve vzorku KLAD2 (38,5 %), nejnižší ve vzorku KLAD3 (17,0 %). Vytrídění sedimentů je velmi špatné (KLAD1 a 2) až špatné (KLAD3). Vzorky KLAD1 a 2 mají bimodální zrnitostní distribuci. Primární mód kulminuje na 24,3  $\mu\text{m}$  (KLAD1) a 131,5  $\mu\text{m}$  (KLAD 2). Sekundární mód kulminuje na 131,5  $\mu\text{m}$  (KLAD1) a 26,8  $\mu\text{m}$  (KLAD2). Vzorek KLAD3 je unimodální s kulminací na 53,8  $\mu\text{m}$ . Kumulační křivka všech vzorků je mesokurtická a pozitivně až velmi pozitivně šikmá.

Alikvotní části všech vzorků byly podrobeny dekalifikaci v ca. 10% kyselině octové po dobu 3 dní. Ve všech případech dekalifikace vedla ke zvýšení stupně zrnitostní



Obr. 3. Morfologie křemenných zrn zobrazené pomocí zpětně odražených elektronů. A - idiomorfni, B - ostrorhanný. Foto D. Matýšek, 2022.

Fig. 3. BSE images of quartz morphology. A - idiomorphic crystal, B - angular grain. Photo D. Matýšek, 2022.



Obr. 4. Vybrané těžké minerály zobrazené pomocí zpětně odražených elektronů. A - apatit, B - zirkon (Zrn), C - limonit, D - baryt. Foto D. Matýšek, 2020.

Fig. 4. BSE images of selected heavy minerals. A - apatit, B - zircon (Zrn), C - limonite, D - baryte. Photo D. Matýšek, 2020.

Tabulka 2. Chemické složení vulkanoklastika. Hodnoty hlavních oxidů v hm. %, další hodnoty v  $\mu\text{g/g}$  (ppm), zlato v  $\text{ng/g}$  (ppb). Obsahy Be, Sn, Sb a Se byly pod detekčním limitem. TOT/C - celkový obsah uhlíku (v %), TOT/S - celkový obsah síry (v %), LOI - ztráta žiháním při 1000 °C (v %).

Table 2. Chemical compositions of the volcanoclastic horizon. Values of major oxides are given in wt.% and other values in  $\mu\text{g/g}$  (ppm), gold in  $\text{ng/g}$  (ppb). Values of Be, Sn, Sb, and Se were below the detection limits. TOT/C - total carbon content (wt.%), TOT/S - total sulfur content (wt.%), LOI - loss on ignition at 1000 °C (wt.%).

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>TOT</sup>	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
30,50	0,28	11,45	4,06	1,21	0,23	23,95	1,83	0,29	0,18

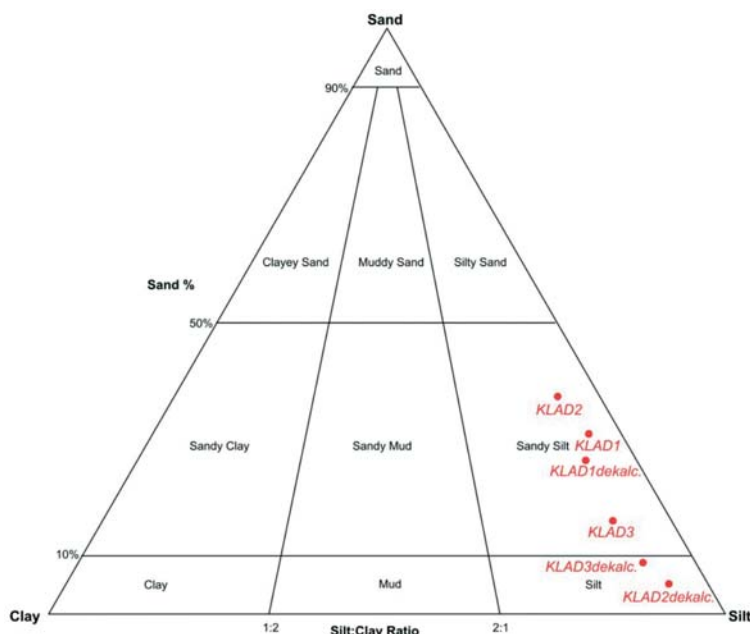
TOT/C	TOT/S	LOI	Total	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu
5,25	< 0,02	25,8	99,83	3	32,0	13,7	5,3	16,9	25,4

Pb	Zn	Cd	Ag	Ga	As	Bi	Rb	Sr	Tl
18,9	611,0	34,9	0,7	7,6	40,2	0,3	6,0	111,9	1,3

Hg	Y	Zr	Nb	Mo	Cs	Ba	Hf	Ta	W
0,1	9,5	125,5	11,5	36,4	0,7	621	3,6	0,9	0,7

Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
34,1	15,0	40,9	59,8	5,6	18,3	2,4	0,7	1,9	0,3

Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Au
1,7	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	2,5



Obr. 5. Klasifikační ternární diagram FOLKA (1954) s vynesemím pozice zkoumaných vzorků.

Fig. 5. FOLK (1954) classification diagram with the positions of analysed samples.



ho vytrídění, i když stále zůstává špatné. Dále se projevuje zešíkmení kumulační křivky směrem k jemnějším frakcím. Pozice primárních i sekundárních módů se posunula do jemnějších frakcí. Nejmenší rozdíl mezi původní a dekalcifikovanou zrnitostní distribucí lze pozorovat u vzorku KLAD1. Dekalcifikovaný vzorek vykazuje nárůst písčité frakce o přibližně 4,5 hm. % na úkor prachových a jílových zrn v porovnání s neupraveným vzorkem. Naopak, největší rozdíl po dekalcifikaci byl pozorován u vzorku KLAD2. Po dekalcifikaci obsah písčité frakce klesnul o více než 32 hm. % na úkor prachových a jílových zrn.

Analýza zrnitosti však u horniny vulkanoklastického původu naráží na několik problémů. V případě karbonatizované horniny jde o tvorbu agregátů tmelených kalcitem, které ovlivňují velikost zrn směrem k vyšším zrnitostem. Dekalcifikace ovšem může mít nepříznivý vliv na expanzi struktury montmorillonitu a s ní spojené ovlivnění průběhu zrnitostní křivky. Jednoznačně patrný obsah zrn o větší velikosti v bazální části studované vrstvy je možné přisoudit jednorázové depozici vulkanoklastického materiálu, kdy buď dochází ke gradaci vlivem gravitačních sil při uložení přímo z vodní hladiny, nebo z důvodu přeplavení a následné resedimentace. Dále lze však konstatovat, že soudržnost studované vrstvy není dána primárními faktory, ale sekundární kalcifikací a následným rozpouštěním kalcitu směrem z nadloží do podloží vsakující dešťovou vodou.

Srovnáním se dříve publikovanými nálezy vulkanoklastik z jiných stratigrafických úrovní Boskovické brázdy (JIRÁSEK *et al.* 2017, 2019, GILÍKOVÁ *et al.* 2019) lze dospět k následujícím závěrům: 1) zatímco horizonty z Padochova a Veverské Bitýšky jsou pouze albitizované, u horizontů z Obora a nově i Kladorub je albitizace patrná, ale dominantní alterací je smektitizace a karbonatizace; 2) zdrojová magmata byla většinou nejspíše ryolitická, pouze u Obora andezitická; 3) převládající těžké minerály jsou apatit a zirkon, rozdíly jsou v dalších akcesoriích. U albitizovaného vulkanoklastika z Padochova chybí limonit a objevují se  $\text{TiO}_2$  a fosfáty, na Oboře byl jako na jediné z lokalit zjištěn idiomorfni Ti-bohatý magnetit, v Kladorubech je hojný baryt; 4) kolísání obsahu jednotlivých chemických prvků mezi lokalitami (např. europiová anomálie  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  při normalizaci na CI chondrit podle MCDONOUGH a SUN 1995 v Padochově 0,31, na Oboře 0,76 a v Kladorubech 1,00) může být dáno jak rozdílem v primárním složení magmatických vyvrženin, tak v různém poměru mísení s různým materiálem z okolí pánve; 5) zatím pouze na lokalitě Obora se podařilo doložit přítomnost vulkanoklastického materiálu v širším intervalu vrstevního sledu, jinde kvůli odkrytí nebylo takové vzorkování možné.

Po lokalitě Obora (JIRÁSEK *et al.* 2019) se jedná o druhou potvrzenou lokalitu, kde se vulkanoklastický materiál nachází přímo ve fosiliferním sledu tzv. bitumenního obzoru Boskovické brázdy. Nabízí se otázka, zda přínos vulkanogenního materiálu do sedimentačního prostředí pánve nebyl přímo příčinou vzniku těchto fosiliferních poloh, když v mnoha případech může jeho přiměřené množství rychle uvolňovat biogenní prvky a fungovat jako hnojivo podporující růst a tím i akumulaci organické hmoty (např. DUGGEN *et al.* 2007, LI *et al.* 2019, STÁRKOVÁ *et al.* 2021).

## 5. ZÁVĚR

Výzkum paleontologické lokality Kladoruby u Letovic - Dolní Pepřík potvrdil předpoklad S. Štamberga, že se v rámci dostupného vrstevního sledu nachází vulkanoklastická poloha. Jednoznačně ale není možné určit podíl vulkanogenního a terigenního materiálu, tj. rozhodnout, zda jde o tuf nebo tufit? Bez ohledu na to je objev takové vrstvy cenný z pohledu dosud velmi malého množství podobných hornin v Boskovické brázdě a zejména v její severní části. Ukazuje se tak další podobnost s podkrkonošskou a vnitrosudetskou pánví, ze kterých jsou vulkanoklastika v podobných stratigrafických úrovních hojnější (OPLUŠTIL *et al.* 2016).

Zároveň jde díky přítomnosti vulkanogenního apatitu i zirkonu o lokalitu, na které by bylo možné použít radioizotopové datování pro upřesnění informací získaných s pomocí biostratigrafie. Tento krok je předmětem navazujícího výzkumu.

Významným přínosem studie je také nově formulovaná hypotéza o příčinné souvislosti výskytu vulkanoklastik a fosiliferních bitumenních aleuropelitů v Boskovické brázdě. Její ověření bude s ohledem na špatné odkrytí řady lokalit, jejich ochranu a další faktory dlouhodobou záležitostí.

## PODĚKOVÁNÍ

Tato studie byla podpořena grantovým projektem GA ČR 22-11661K Integrovaná stratigrafie mladšího paleozoika ve východní části tropické Pangey. Děkujeme dvěma recenzentům (H. Gilíková a anonym) za připomínky vedoucí ke z kvalitnění textu.

## LITERATURA

- BLOTT, S. J., PYE, K., 2001: Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. - *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 11, 1237-1248.
- BOUŠKA, V., KRUŽA, T., 1964: O nerostech z okolí Letovic a o jejich vzniku. - *Acta Musei Moraviae, Scientiae naturales*, 49, 5-32.
- DOLNÍČEK, Z., 2001: Mineralogie barytových žil na Květnici u Tišnova. - *Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae*, 86, 59-73.
- DUGGEN, S., CROOT, P., SCHACHT, U., HOFFMANN, L., 2007: Subduction zone volcanic ash can fertilize the surface ocean and stimulate phytoplankton growth: evidence from biogeochemical experiments and satellite data. - *Geophysical Research Letters*, 34, 1, L01612.
- DVOŘÁK, J., 1999: Disharmonicky zvrásněné hradecko-kyjovické souvrství ve Staré Vsi u Bílovc (jv. část Oderských vrchů, sev. Morava). - *Časopis Slezského musea, series A: vědy přírodní*, 48, 1, 91-93.
- FOLK, R. L., 1954: The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. - *Journal of Geology*, 62, 4, 344-356.
- GILÍKOVÁ, H., HRDLÍČKOVÁ, K., MELICHAR, R., 2019: 4. Veverská Bitýška, Veverská Bitýška Formation in Boskovic Basin. In: Hanžl, P., Melichar, R., Janoušek, V. (Eds.). - *Excursion guide CETEG 2019, 17th meeting of the Central European Tectonic Group, Rozdrojovice 24-27 April, 2019, 31-32*. - Czech Geological Survey, Prague.
- HALAVÍNOVÁ, M., SLOBODNÍK, M., KRMIČEK, L., KUČERA, J., 2005: Hydrotermální asociace na žilách v klastických horninách spodního karbonu Dražanské a Zábřežské vrchoviny: genetické aspekty. - *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2004*, 12, 55-58.
- HOUGHTON, B., CAREY, R. J., 2015: Pyroclastic fall seposits. In: Sigurdson, H., Houghton, B., McNutt, S. R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.). - *The encyclopedia of volcanoes, 2nd edition, 599-616*. - Elsevier, Amsterdam.
- HOUZAR, S., HRAZDIL, V., HRŠELOVÁ, P., TOMAN, J., BUŘIVALOVÁ, L., GROSSMANNOVÁ, D., HLADIŠOVÁ, T., LITOCHEB, J., MALÝ, K., ŠKRDLA, P., ŠMERDA, J., VEDRA, P., VIŠKOVÁ, E., VOKÁČ, M., 2021: Historické dolování drahých kovů na Českomoravské vrchovině. - *Moravské zemské muzeum*, 476 p.
- HOUZAR, S., HRŠELOVÁ, P., 2016: Přehled historie výzkumů permokarbonských sedimentů jižní části Boskovické brázd (Část 1. Historie dolování a mineralogie). - *Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae*, 101, 3-32.
- IVANOV, M., 2003: Přehled historie paleontologického bádání v permokarbonu boskovické brázd na Moravě. - *Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae*, 88, 3-112.
- JAROŠ, J., MALÝ, L., 2001: Boskovická brázda. In: Pešek, J. (Ed.). - *Geologie a ložiska svrchnopaleozoických limnických pánvi České republiky, 208-223*. - Český geologický ústav, Praha.
- JIRÁSEK, J., MATÝSEK, D., SIVEK, M., 2017: Albitizovaný vulkanoklastický komplex z Padochova u Oslavan (boskovická brázda). - *Zprávy o geologických výzkumech*, 50, 39-44.
- JIRÁSEK, J., MATÝSEK, D., SIVEK, M., MARTÍNEK, K., 2019: Nález vulkanoklastik na lokalitě Obora u Boskovic (letovické souvrství, boskovická brázda). - *Zprávy o geologických výzkumech*, 52, 1, 53-61.
- KIPLI, T., 2022: Using zircon saturation thermometry of source magma in strongly altered volcanic ashes. - *Acta Geochimica*, 41, 406-418.

- LI, S., ZHU, R.-K., CUI, J.-W., LUO, Z., CUI, J.-G., LIU, H., LI, W. Q., 2019: The petrological characteristics and significance of organic rich shale in the Chang 7 member of the Yanchang Formation, south margin of the Ordos basin, central China. - *Petroleum Science*, 16, 5, 1255-1269.
- MATÝSEK, D., JIRÁSEK, J., SKUPIEN, P., 2022: Formation of baryte and celestine during supergene processes on sedimentary rocks outcrops. - *International Journal of Earth Sciences*, 111, 623-639.
- MCDONOUGH, W. F., SUN S.-S., 1995: The composition of the Earth. - *Chemical Geology*, 120, 223-253.
- ONDRÁČEK, J., 2012: Permský vulkanismus v boskovické brázdě a na jejím styku s orlickou pávní. - MS, bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Brno.
- OPLUŠTIL, S., SCHMITZ, M., KACHLÍK, V., ŠTAMBERG, S., 2016: Re-assessment of lithostratigraphy, biostratigraphy, and volcanic activity of the Late Paleozoic Intra-Sudetic, Krkonoše-Piedmont and Mnichovo Hradiště basins (Czech Republic) based on new U-Pb CA-ID-TIMS ages. - *Bulletin of Geosciences*, 91, 2, 399-432.
- PEARCE, J. A., 1996: A user's guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman, D. A. (Ed.): Trace element geochemistry of volcanic rocks: Applications for massive sulphide exploration, 79-113. - *Geol. Assoc. Canada, Short Course Notes 12*, Winnipeg.
- STÁRKOVÁ, M., NÁDASKAY, R., RAPPRIČH, V., POUR, O., 2021: Podrobnosti o počátcích sedimentace a vulkanické činnosti na začátku permu (asselu): rudický obzor v sz. části podkrkonošské pánve. - *Geoscience Research Reports*, 54, 2, 99-109.
- ŠTAMBERG, S., 2003: Dvě významné paleontologické lokality ve spodním permu severní části Boskovické brázdě. - *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2002*, 36, 153-154.
- ŠTAMBERG, S., 2007: Permo-Carboniferous actinopterygians of the Boskovice Graben: Part 1. *Neslovicella*, *Bourbonnella*, *Letovichthys*, *Elonichthys*. - *Museum of Eastern Bohemia, Hradec Králové*, 155 p.
- ŠTAMBERG, S., 2015: Paprskoploutvé ryby a další fauna obratlovců z fosiliférních obzorů spodních vrstev le-tovického souvrství (spodní perm) boskovické brázdě. - *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2014*, 36, 71-74.