Vrtným průzkumem nově zjištěná fonolitová tělesa v Lužických horách

Newly drilling-detected phonolite intrusions in Lužické hory Mts.

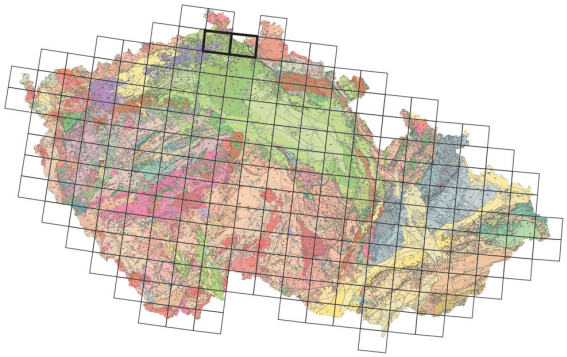
Vladislav Rapprich – Roland Nádaskay

Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1;
vladislav.rapprich@geology.cz, roland.nadaskay@geology.cz

Please cite this article as: Rapprich, V. – Nádaskay, R. (2017): Newly drilling-detected phonolite intrusions in Lužické hory Mts. – Geoscience Research Reports, 50, 207–213. (in Czech)

Key words: *Lužické hory Mts., phonolite, core drilling*

Summary: The core drilling within the framework of the Re-evaluation of the ground-water resources project has discovered two new bodies of differentiated alkaline rocks in the area of Lužické hory Mts. (Lausitz Mts.), belonging to the Lausitz Volcanic Field. In this contribution, we provide petrological constraints on two rocks discovered by boreholes 4650_X and 4640_C, classified as phonolites, as well as their intrusive position in the stratigraphic sequence of Upper Cretaceous marine deposits. Whereas the phonolite penetrated by borehole 4650_X was emplaced into the lowermost part of the Březno Formation, the phonolite reached by the borehole 4640_C terminated its ascent much lower, at the level of the Jizera Formation. The phonolite from the 4650_X drill core has trachytic texture with preferentially oriented phenocrysts of sanidine (1 mm) enclosed in fine-grained matrix of feldspar, sanidine and amphibole. On the other hand, phonolite from the 4640_C drill core is generally finer-grained, slightly porphyritic. Scarce sanidine (up to 1 mm) and amphibole (up to 0.5 mm) phenocrysts are enclosed in very fine-grained matrix. Compared to the phonolites exposed on the surface, both rocks are depleted in alkalis, namely in sodium which was probably leached out as the rocks were permanently buried by water saturated sedimentary deposits. The concentrations of less-mobile trace elements (Zr, Ti, Nb and Y) point towards phonolitic composition, as well as the pronounced U-shaped chondrite-normalized REE pattern. Both newly discovered phonolites differ in concentrations of less-mobile trace elements (namely higher Sr, lower Cr and Rb, and Nb in one case higher in other case lower) from nearest outcropping rocks, suggesting the drilled bodies represent independent intrusions at different levels. The investigation has proved, the trachytic and phonolitic intrusions were emplaced at various stratigraphic levels of the Cretaceous sequence, without any preferred stratigraphic position.



(02-24 Nový Bor, 03-13 Hrádek nad Nisou)

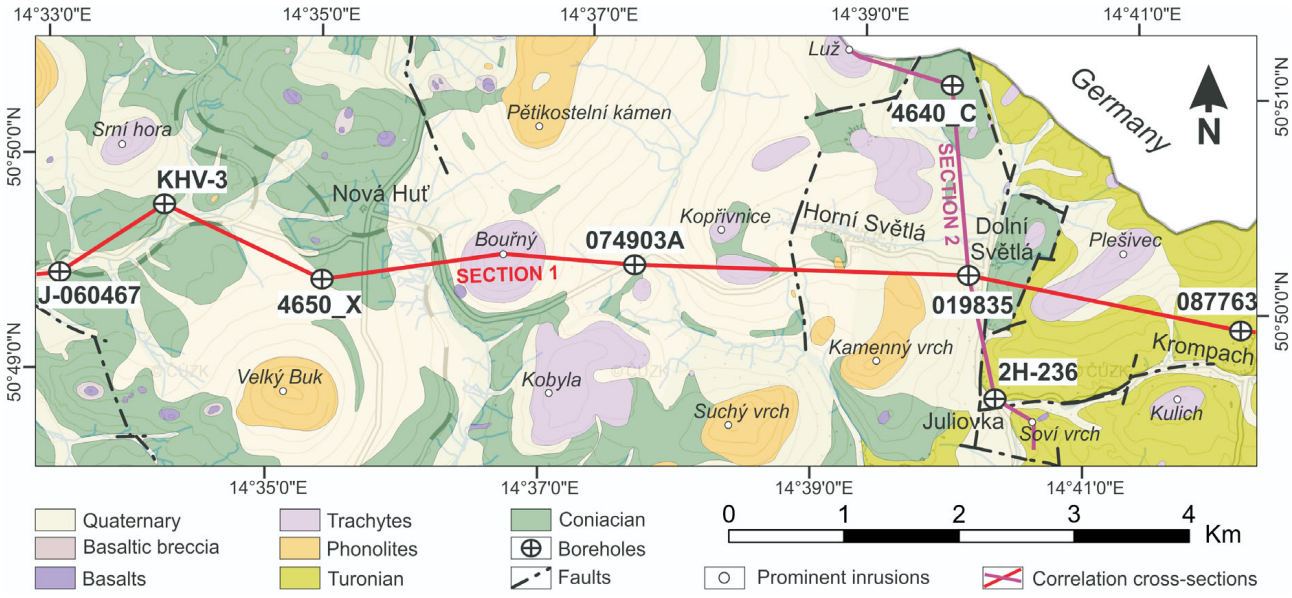
Lužické hory navazují od východu na vulkanický komplex Českého středohoří, od něhož se však výrazně odlišují hlubší úrovní erozního řezu. Z tohoto důvodu Lužické hory postrádají rozsáhlé lávové výlevy bazaltických hornin, které zde tvoří pouze relativně tenké přívodní dráhy, a svou plochou v geologické mapě převládají horniny diferencované, jako trachyty a fonolity (např. Valečka 2000). Lépe zachovalé povrchové formy bazaltového vulkanismu je možné nalézt v německé části lužického vulkanického pole (Lausitz Volcanic Field; Büchner et al. 2015). Co se výškové úrovně fonolitových a trachytových intruzí týče, nebylo zcela zřejmé, zda se vyskytují nahodile napříč sekvencí křídových sedimentů, nebo zda je možné definovat intruzemi upřednostňovanou úroveň. Oblast Lužických hor patřila mezi oblasti zpracovávané s ohledem na využitelnost zdrojů podzemních vod v rámci projektu „Rebilance zásob podzemních vod“. Cenné údaje o distribuci fonolitových těles, včetně vzorků využitelných pro petrologickou studii, přinesly dva jádrové geologické vrty realizované v této oblasti: 4640_C Horní Světlá pod Luží (50.84746° N, 14.66005° E) a 4650_X Svor (50.82599° N, 14.58671° E), jejichž primárním cílem bylo ověření geologické stavby sz. části české křídové pánve v blízkosti lužické zlomové zóny (Nádaskay et al. 2015a, b).

Vzorky odebrané z vrtných jader byly analyzovány v laboratořích České geologické služby v Praze na Barrandově. Metodiku stanovení oxidů hlavních prvků popisuje detailně Dempírová et al. (2010). Koncentrace vybraných stopových prvků (Bi, Cr, Cu, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sn, Sr, Th, U, V, Y, Zn, Zr) byly stanoveny rentgen-fluorescenčním analyzátorem ARL9400, prvky vzácných zemin hmotovým spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) ThermoFisher Scientific X Series II. Detaily analytických postupů shrnuli Walther et al. (2016). Výsledky chemických analýz jsou uvedeny v tab. 1, 2 a 3.

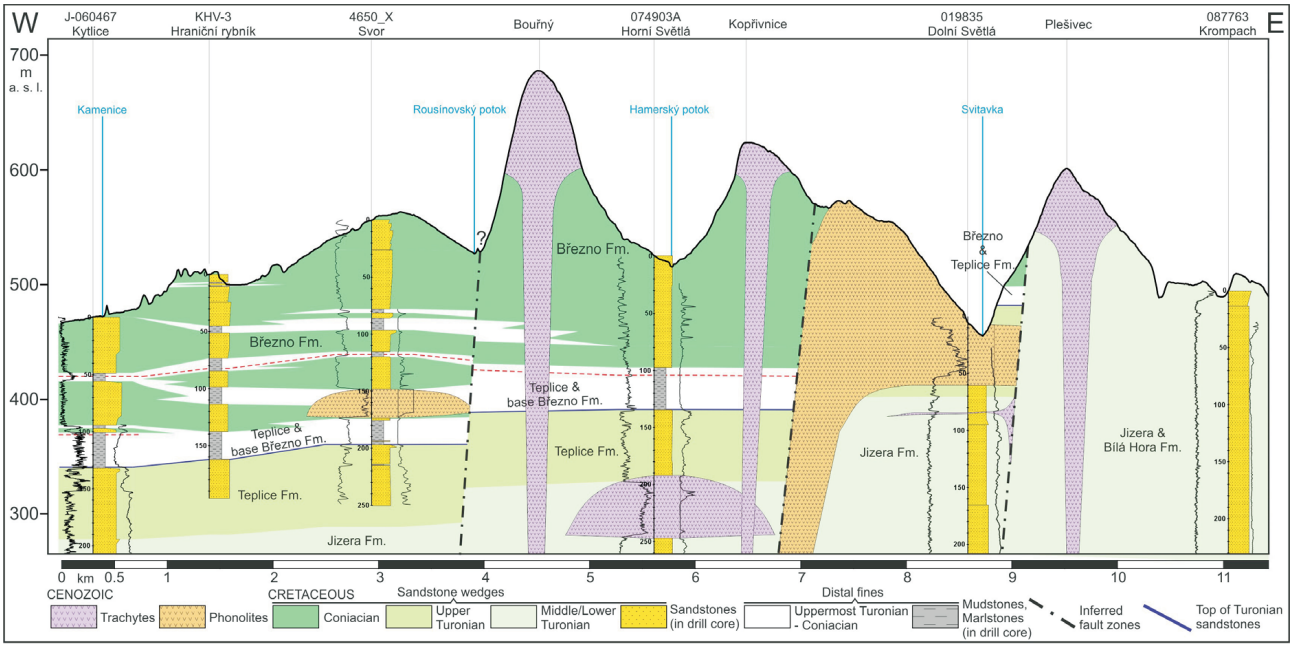
Geologická stavba

Centrální část Lužických hor tvoří sedimenty svrchní křídy, dosahující mocností až několika stovek metrů,

DOI 10.3140/zpravy.geol.2017.17



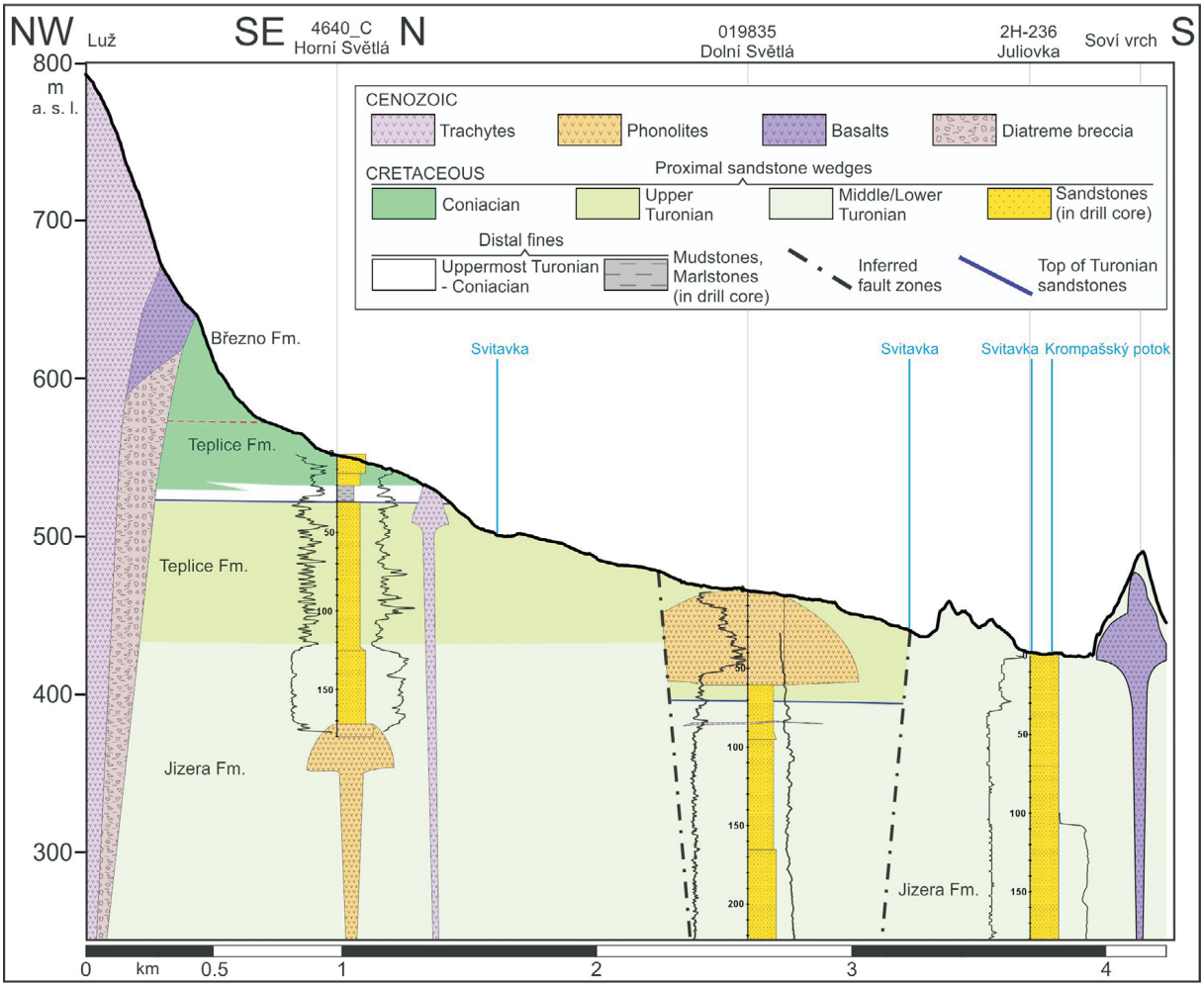
Obr. 1. Zjednodušená geologická mapa zájmové oblasti s vyznačením významných vrtů. Geologický profil podél section 1 je na obr. 2 a podél section 2 na obr. 3.
Fig. 1. Simplified geological map of study area with important boreholes indicated. Geological cross-section 1 shown in Fig. 2 and cross-section 2 in Fig. 3.



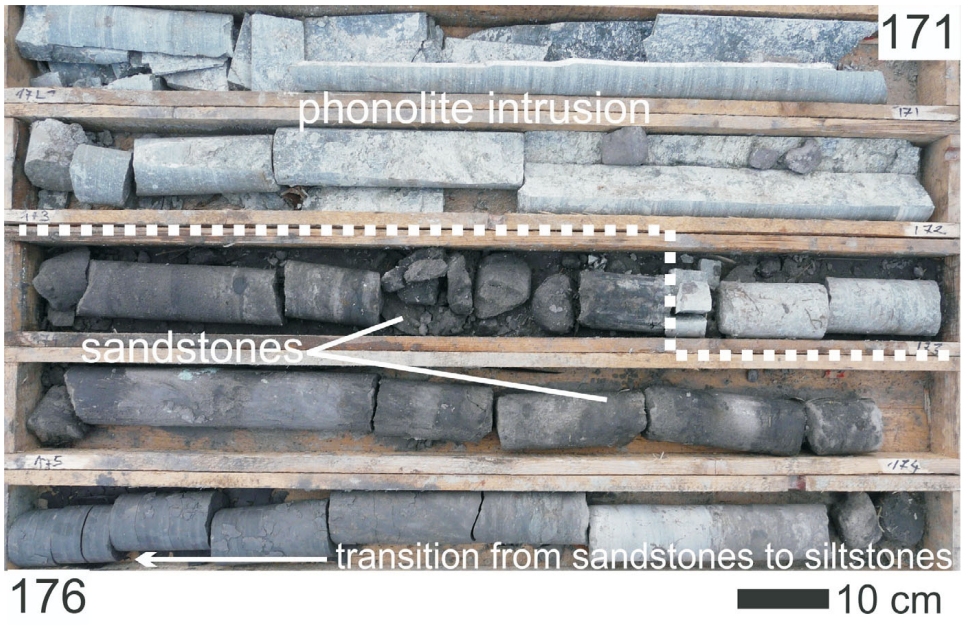
Obr. 2. Geologický řez (section 1 v obr. 1). Bez kvartérních sedimentů. Použité karotážní křivky: přirozená radioaktivita (vlevo), elektrický odpor (vpravo).
Fig. 2. Geological cross-section (section 1 in Fig. 1). Quaternary omitted. Well-logs: gamma-ray log (left), resistivity (right).

a terciérní vulkanity (obr. 1). Dnešní tektonická stavba oblasti je dána zlomovými systémy vznikajícími zejména ve dvou fázích definovaných Coubalem et al. (2015): 1. pozdně oligocenní až raně miocenní extenze s./sz. směru v režimu poklesových zlomů a 2. raně miocenní transtenze z./zsz. směru. Základní síť zlomů je povrchově zmapována (obr. 1), posouzení tektonické situace v detailu umožňují korelace vůdčích stratigrafických horizontů. V geologických řezech (obr. 2 a 3) byl pro korelaci zvolen strop turonských pískovců teplického souvrství, který je na většině území sz. části české křídové pánve dobře vymezitelný díky litologickému kontrastu s nadložním intervalem coniackých aleuropelitů.

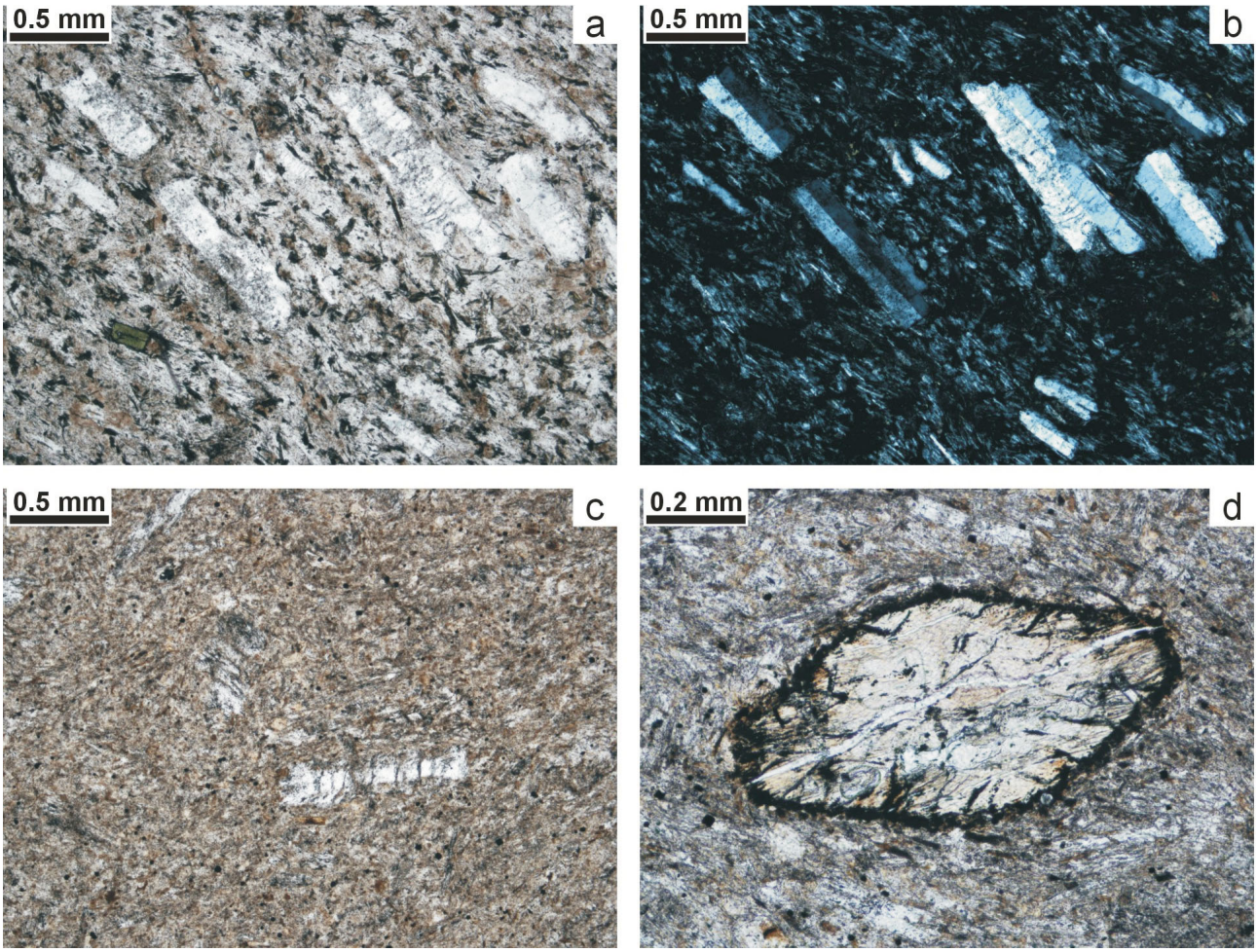
V zájmovém stratigrafickém intervalu jsou zastoupena tři souvrství. Nejnižší, **jizerské** (střední–svrchní turon), je tvořeno křemennými pískovci uspořádanými do většího počtu nahoru hrubnoucích cyklů, které byly zachyceny mj. vrtem 4640_C (interval 122–174,5 m). Do těchto pískovců



Obr. 3. Geologický řez (section 2 v obr. 1). Řez tělesem Luž podle Wengera et al. (2017). Bez kvartérních sedimentů. Použité karotážní křivky: přirozená radioaktivita (vlevo), elektrický odpor (vpravo).
Fig. 3. Geological cross-section (section 2 in Fig. 1). Section of Luž (Lausche) volcanic body after Wenger et al. (2017). Quaternary omitted. Well-logs: gamma-ray log (left), resistivity (right).



Obr. 4. Vrt 4650_X. Kontakt báze fonolitového tělesa a pískovců březenského souvrství (coniac) v hloubce 173,3 m. Nápadné je černošedé zbarvení pískovců v intervalu 173,3–175 m v důsledku nahromadění jemně rozptýlené organické hmoty.
Fig. 4. Borehole 4650_X: Basal part of the phonolite intrusion in contact with sandstones of the Březno Fm. (Coniacian) in a depth of 173.3 m. Note an apparent dark grey to black colouring of sandstones in the interval 173.3–175 m, caused by accumulation fine dispersed organic matter. Photo by J. Valečka.



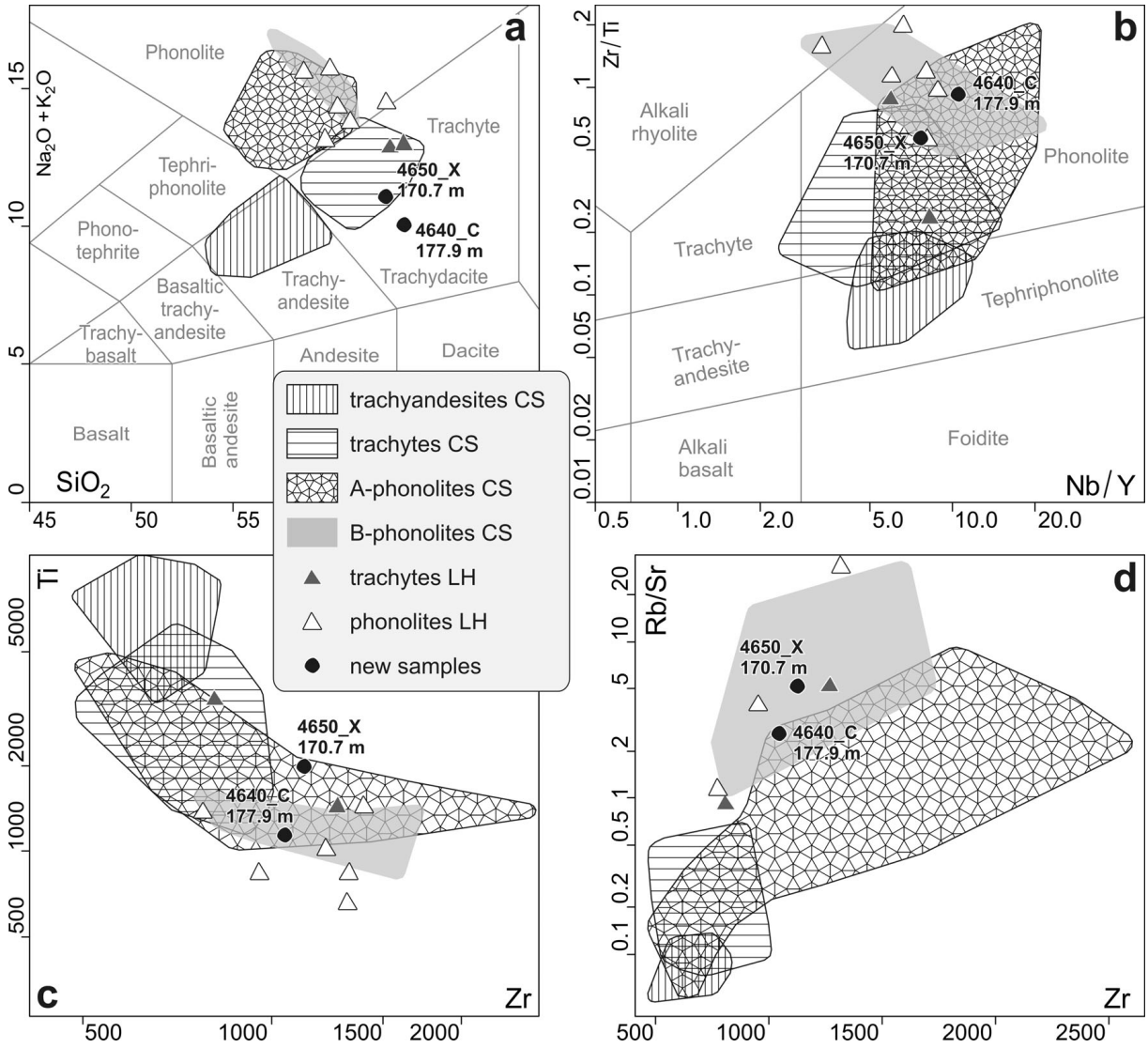
Obr. 5. Mikrofotografie fonolitových hornin zastižených vrty v Lužických horách. a, b – fonolit s trachytickou texturou ve vrtu 4650_X (a – plošně-polarizované světlo – PPL, b – zkřížené nikoly); c – jemnozrnný fonolit ve vrtu 4640_C (PPL); d – detail vyrostlice amfibolu ve fonolitu z vrtu 4640_C (PPL).

Fig. 5. Photomicrographs of phonolitic rocks penetrated by boreholes in the Lužické hory Mts. a, b – phonolite with trachytic texture in borehole 4650_X (a – plane-polarized light – PPL, b – cross-polarized light); c – fine-grained phonolite in borehole 4640_C (PPL); d – detail on amphibole phenocryst in phonolite from borehole 4640_C (PPL).

ve vrtu 4640_C intrudovalo jedno ze studovaných fonolitových těles. Na povrch vystupuje nižší část jizerského souvrství v tektonicky vyzdviženém bloku na v. od údolí Svitavky, např. v okolí Juliovky.

Teplické souvrství (svrchní turon–coniac) se v zájmové oblasti dělí na dvě části. V jeho nižší části, donedávna řazené k jizerskému souvrství (Nádaskay et al. 2017), dominují dobře vytříděné jemnozrnné pískovce, podobné pískovcům ve vrtu 4650_X (interval 197–250 m). Maximální mocnosti dosahuje spodní oddíl teplického souvrství v z. části Lužických hor, přičemž směrem k J/JZ postupně vykliňuje. Výrazně odlišný vývoj tohoto oddílu byl zaznamenán ve vrtu 4640_C (interval 30–122 m), kde převažují špatně vytříděné jílovito-prachovité pískovce s vložkami až křemenných pískovců, místy i s polohami písčitých jílovců/prachovců, a přítomny jsou i vápnité pískovce a karbonátové konkrece (od 73 m níže). Poměrně výraznou mocnost tohoto proximálního sledu vysvětlují Uličný et al. (2015) zvýšenou subsidencí podél okrajové lužické zlomové zóny. V nadloží svrchněturonských pískovců se nachází sled vápnitých jílovců/prachovců v mocnosti do 15 m (stanoveno biostratigraficky v z. části Lužických hor, např. Čech et al. 1987). Výjimkou je okolí Luže (vrt 4640_C), kde byl nad tímto intervalem, mocným 17 m, zachycen sled křemenných pískovců. Na základě přibližně shodné výškové úrovně jejich báze a nálezů indexové inoceramové fauny (S. Čech, ústní sdělení) je považováno za ekvivalent souvrství pískovců pod vrchem Sonnenberg (Německo).

Březenské souvrství (coniac) zahrnuje na výchozech i ve vrtech facie popsané Valečkou (1979): tělesa křemenných pískovců jsou ve vertikálním profilu v několika úrovních (obr. 2). Do jednoho z těles coniackých pískovců intrudovalo těleso fonolitu ve vrtu 4650_X (obr. 4), které mohlo část jeho materiálu asimilovat. Zajímavým jevem je akumulace jemně dispergované organické hmoty v pískovcích na kontaktu s bází fonolitové intruze, a nikoliv jejich kontaktní silicifikace, resp. vypálení. V podloží křemenných pískovců se nachází tzv. flyšoidní facie, tvořená typicky vložkami pískovců v rámci jílovců/prachovců.



Obr. 6. Chemické složení studovaných diferencovaných alkalických hornin. a – klasifikační TAS diagram (Le Bas et al. 1986); b – diagram Nb/Y vs. Zr/Ti (Pearce 1996); c – Zr vs. Ti (obojí v ppm a v logaritmické škále); d – Zr vs. Rb/Sr. Pro srovnání jsou vyneseny hodnoty diferencovaných alkalických hornin Českého středohoří (CS: Ackerman et al. 2015) a tělesa z okolí obou vrtů (LH: Shrbený 1998; Valečka 2000).
Fig. 6. Chemical composition of studied differentiated alkaline rocks. a – TAS diagram (Le Bas et al. 1986); b – diagram Nb/Y vs. Zr/Ti (Pearce 1996); c – Zr vs. Ti (both in ppm and logarithmic scale); d – Zr vs. Rb/Sr; composition of differentiated alkaline rocks of České středohoří Mts. (CS: Ackerman et al. 2015) and from surroundings of both drillings (LH: Shrbený 1998; Valečka 2000) plotted for comparison.

Nejspodnější části souvrství tvoří spolu s teplickým souvrstvím monotónní sled sahající ke stropu turonských pískovců teplického souvrství. Detailní sedimentologickou charakteristikou a prostorovými vztahy coniackých litofacií se zabývají Nádaskay a Uličný (2014).

Ve vrtu 4650_X bylo těleso fonolitu zachyceno v intervalu 148,15–173,3 m (obr. 2 a 4). Pro horninu je charakteristická trachytická textura s hojnými usměrněnými vyrostlicemi sanidinu o délce až 1 mm (obr. 5a, b), které jsou obtékané usměrněnou základní hmotou. Základní hmotu tvoří drobný živec, anhedrální nefelin a relativně hojné, byť velmi drobné jehličky až sloupečky (do 0,2 mm) zelenavého amfibolu. Naproti tomu vrt 4640_C byl ve fonolitovém tělese, do kterého pronikl v hloubce 174,5 m, nakonec v hloubce 178,0 m ukončen. Vzorek z vrtu 4640_C se výrazně odlišuje texturou, která je jemně porfyrická. Nehojné vyrostlice sanidinu (do 0,8 mm) jsou obklopené velmi jemnozrnnou základní hmotou (obr. 5c). Amfibol v této hornině vytváří větší (až 0,5 mm velké) rozptýlené krystaly (obr. 5d).

Oba dva vzorky z vrtů spadají v diagramu TAS do pole trachytu až trachydacitu (Le Bas et al. 1986; obr. 6a), ale s ohledem na koncentrace málo mobilních prvků (obr. 6b) předpokládáme, že v těchto horninách došlo k částečnému odnosu sodíku (5,4 a 3,9 hmot. % Na_2O, tab. 1). Klesající obsah sodíku navíc dobře koreluje s nárůstem obsahu vody (4,5 a 6 hmot. % H_2O_{tot}). V klasifikačním diagramu založeném na koncentracích málo mobilních stopových prvků (Pearce 1996; obr. 6b) pak oba vzorky spadají do pole fonolitu, do oblasti, kam spadají i fonolity Českého středohoří

Tabulka 1. Chemické analýzy – oxidy hlavních prvků (hmot. %)
Table 1. Chemical analyses – major element-oxides (wt. %)

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	F	CO_2	H_2O^+	H_2O^-	Total
4650_X (170.7 m)	59.07	0.33	19.54	2.00	0.3	0.294	0.88	1.65	5.37	5.09	0.28	0.03	0.43	3.12	1.35	99.53
4640_C (177.9 m)	59.18	0.19	22.18	1.13	0.5	0.046	0.10	0.60	3.87	5.49	0.32	0.09	0.02	3.8	2.16	99.48

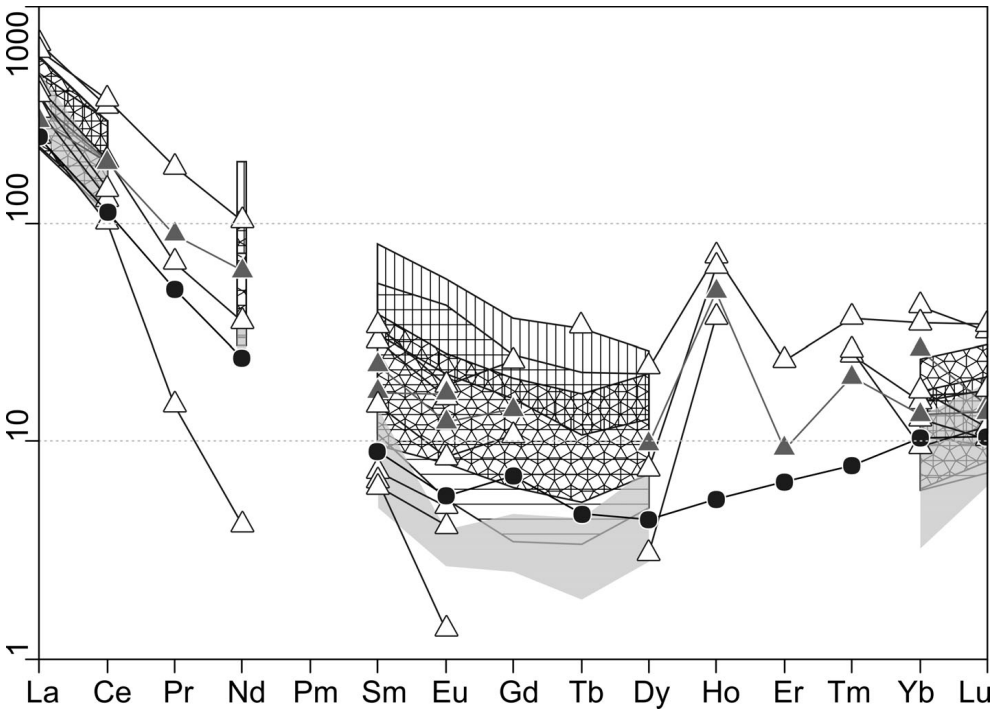
Tabulka 2. Koncentrace stopových prvky stanovené RFA (ppm)
Table 2. Trace element concentrations determined by XRF (ppm)

	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Sn	Pb	Bi	Th	U	Y
4650_X (170.7 m)	b.d.	b.d.	16	5	167	228	44	1127	320	b.d.	b.d.	22	4	32	9	42
4640_C (177.9 m)	15	b.d.	8	5	68	189	73	1048	121	3	6	16	6	25	7	11

b.d. – pod mezí detekce; below detection limit

Tabulka 3. Koncentrace prvků vzácných zemin stanovené ICP-MS (ppm)
Table 3. REE concentrations determined by ICP-MS (ppm)

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
4640_C (177.9 m)	77.5	92.2	6.2	14.5	1.8	0.4	1.8	0.2	1.4	0.4	1.4	0.3	2.2	0.3



Obr. 7. Multiprvkový normalizační diagram koncentrací vzácných zemin ve vzorku 4640_C/177,9 m, normalizovaných na složení chondritu (Boynton 1984). Pro srovnání jsou promítnuta data z Českého středohoří (Ackerman et al. 2015) a Lužických hor (Shrbený 1998; Valečka 2000); symbolika odpovídá obr. 6.
Fig. 7. Chondrite-normalized (Boynton 1984) spider-gram of REE concentrations in sample 4640_C/177,9 m. Data from the České středohoří Mts. (Ackerman et al. 2015) and Lužické hory Mts. (Shrbený 1998; Valečka 2000) plotted for comparison; symbols correspond to Fig. 6.

(Ackerman et al. 2015). Silně diferencovaný charakter obou hornin je pak patrný i v binárním diagramu Zr vs. Ti (obr. 6c), kde jsou zřetelné relativně vysoké obsahy Zr (1000–1130 ppm, tab. 2), podobně jako u dalších fonolitových hornin Českého středohoří a Lužických hor. Pouze vzorek z vrtu 4650_X se liší zvýšeným obsahem titanu (0,33 hmot. %, tab. 1, obr. 6c). V rámci Českého středohoří byly rozlišeny dvě skupiny fonolitů (Ackerman et al. 2015), přičemž skupina B se vyznačuje extrémní frakcionací spojenou mimo jiné s vysokým poměrem Rb/Sr (obr. 6d) a výrazně prohnutou křivkou chondritem normalizovaných koncentrací prvků vzácných zemin (obr. 7). Všechny vzorky z Lužických hor, včetně nově analyzovaných vrtných jader, se vyznačují vysokými obsahy Rb (u nových vzorků 190–230 ppm) a nízkými koncentracemi Sr (44–73 ppm, tab. 2) a podobají se tak fonolitům B ze Středohoří.

Koncentrace prvků vzácných zemin jsou k dispozici pouze pro vzorek z vrtu 4640_C (tab. 3). Průběh normalizační křivky (chondrit Boynton 1984) má silně prohnutý charakter s výrazným ochuzením o středně těžké vzácné zeminy, které částečně zastírá Eu-anomálii (obr. 7). Toto ochuzení je patrně důsledkem frakcionace amfibolu a titanitu.

Vrt 4650_X byl situován na úpatí znělcového tělesa Velký Buk, pro který existují chemická data (Shrbený 1998, Valečka 2000). Kromě mírných odlišností v koncentracích hlavních prvků, které mohou být důsledkem odlišného stupně alterace, je možné pozorovat mezi vzorkem z vrtu 4650_X a fonolitem Velkého Buku zásadní rozdíly v koncentracích stopových prvků. Koncentrace většiny stopových prvků jsou tak oproti Velkému Buku výrazně nižší (< 2/32 ppm Cr, 5/35 ppm Cu, 320/450 ppm Nb, 228/310 ppm Rb, 32/47 ppm Th), naproti tomu obsahy TiO_2 (0,33/0,24 hmot. %), MgO (0,88/0,1 hmot. %) a Sr (44/< 10 ppm) jsou ve vzorku z vrtu vyšší. Nárůst obsahu Mg a Ti směrem do hloubky (od Velkého Buku do vrtu 4650_X) by mohl signalizovat geochemickou zonalitu jediného tělesa, ale tato možnost naráží na relativně vysoké koncentrace kompatibilních prvků (Cr) samotného Velkého Buku. Na základě chemických dat můžeme tak předpokládat, že fonolit ve vrtu 4650_X je samostatné těleso.

Vrt 4640_C pak byl situován na úpatí fonolitového dómu Luž, pro který jsou také k dispozici archivní analytická data (Shrbený 1998, Valečka 2000). I v tomto případě jsou rozdíly v koncentracích hlavních prvků drobné a vysvětlitelné odlišným stupněm alterace. Podobně jako v předchozím případě jsou tu však výrazné rozdíly v koncentracích stopových prvků, kdy vzorek z vrtu má výrazně nižší obsahy Cr (< 2/20 ppm), Rb (189/266–275 ppm), Zn (68/112–117 ppm) a Zr (1048/1318–1324 ppm), zatímco obsahy Sr (73/9 ppm), Nb (121/100 ppm) a Pb (16/< 7 ppm) jsou oproti fonolitu Luž výrazně vyšší. I v tomto případě tak můžeme předpokládat samostatné těleso. V obou případech tedy jde o nově zjištěná intruzivní tělesa a nikoli jen o dosud zakryté hlubší části fonolitových těles.

Závěry

- Fonolitová a trachytová tělesa intrudovala v oblasti Lužických hor do křídových sedimentů v různých stratigrafických úrovních.
- Kromě známých a selektivní erozí obnažených těles existují ještě další, ukrytá hlouběji v křídových sedimentech. Jednotlivé intruze se patrně (byť v různých výškových úrovních) svou plochou překrývají.
- Geochemicky (Rb/Sr = 2,5–5, silné ochuzení MREE) se studované fonolity podobají fonolitům typu B z Českého středohoří (Ackerman et al. 2015).

Poděkování. Vrtný materiál byl získán díky projektu „Rebilance zásob podzemních vod“, financovanému z Operačního programu Životní prostředí (EIS-SFŽP 10051606). Vrtný materiál byl zpracován v rámci interního projektu ČGS č. 322300. Za připomínky, které přispěly ke kvalitě příspěvku, děkujeme také recenzentu J. Ulrychovi a editoru P. Rojíkovi.

Literatura

ACKERMAN, L. – ULRYCH, J. – ŘANDA, Z. – ERBAN, V. – HEGNER, E. – MAGNA, T. – BALOGH, K. – FRÁNA, J. – LANG, M. – NOVÁK, J. K. (2015): Geochemical characteristics and petrogenesis of phonolites and trachytic rocks from the České Středohoří Volcanic Complex, the Ohře Rift, Bohemian Massif. – Lithos 224, 256–271

BOYNTON, W. V. (1984): Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: HENDERSON, P., ed.: Rare Earth Element Geochemistry. Developments in Geochemistry. 63–114. – Elsevier, Amsterdam–New York.

BÜCHNER, J. – TIETZ, O. – VIERECK, L. – SUHR, P. – ABRATIS, M. (2015): Volcanology, geochemistry and age of the Lausitz Volcanic Field. – J. Earth Sci. 104, 8, 2057–2083.

COUBAL, M. – MÁLEK, J. – ADAMOVIČ, J. – ŠTĚPANČÍKOVÁ, P. (2015): Late Cretaceous and Cenozoic dynamics of the Bohemian Massif inferred from the paleostress history of the Lusatian Fault Belt. – J. Geodynamics 87, 26–49.

ČECH, S. – HERCOGOVÁ, J. – KNOBLOCH, E. – PACLTOVÁ, B. – POKORNÝ, V. – SAJVEROVÁ, E. – SLAVÍK, J. – ŠVÁBENICKÁ, L. – VALEČKA, J. (1987): Svrchní křída ve vrtu Volfartice Vf-1. – Sbor. geol. Věd, Geol. 4, 113–159.

DEMPÍROVÁ, L. – ŠIKL, J. – KAŠIČKOVÁ, R. – ZOULKOVÁ, V. – KŘÍBEK, B. (2010): Zhodnocení přesnosti a relativní chyby stanovení hlavních složek silikátových analýz v Centrální laboratoři České geologické služby. – Zprávy geol. Výzk. v Roce 2009, 326–330.

LE BAS, M. J. – LE MAITRE, R. W. – STRECKEISEN, A. – ZANETTIN, B. (1986): A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. – J. Petrol. 27, 745–750.

NÁDASKAY, R. – ULIČNÝ, D. (2014): Genetic stratigraphy of Coniacian deltaic deposits of the northwestern part of the Bohemian Cretaceous Basin. – Z. Dtsch. Gesell. Geowiss., 165 (4), 547–575.

NÁDASKAY, R. – VALEČKA, J. – ČECH, S. (2017): Příspěvek jádrových vrtů projektu Rebilance zásob podzemních vod k stratigrafii, sedimentologii a tektonice svrchní křídy v sz. části české křídové pánve. – Geosci. Res. Rep. 50, 129–136.

NÁDASKAY, R. – VALEČKA, J. – ČECH, S. – RAPPRICH, V. – PROCHÁZKA, M. – ŠAJGAL, J. – ZELENKOVÁ TRUBAČOVÁ, A. (2015a): Závěrečná zpráva průzkumného geologického vrtu 4640_C Horní Světlá pod Luží. – MS Čes. geol. služba, Praha.

NÁDASKAY, R. – VALEČKA, J. – PROCHÁZKA, M. – STARÝ, J. – ZELENKOVÁ TRUBAČOVÁ, A. (2015b): Závěrečná zpráva průzkumného geologického vrtu 4650_X Svor. – MS Čes. geol. služba, Praha.

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. – Geol. Assoc. Canada, short course notes 12, 79–113.

SHRBENÝ, O. (1998): Litogeochemická databáze neovulkanitů na Českém masivu. – on-line databáze Čes. geol. služba, Praha.

ULIČNÝ, D. – ŠPIČÁKOVÁ, L. – CAJZ, V. – HRONEC, L. (2015): Podklady pro prostorový model hydrogeologicky významných stratigrafických rozhraní ve vybraných hydrogeologických rajonech. Geofyzikální ústav AV ČR. Závěrečná zpráva. – MS Čes. geol. služba, Praha.

VALEČKA, J. (1979): Paleogeografie a litofaciální vývoj severozápadní části české křídové pánve. – Sbor. geol. Věd, Geol. 33, 47–81.

WALTHER, D. – BREITKREUZ, C. – RAPPRICH, V. – KOCHERGINA, Y. V. – CHLUPÁČOVÁ, M. – LAPP, M. – STANEK, K. – MAGNA, T. (2016): The Late Carboniferous Schönfeld-Altenberg Depression on the NW margin of the Bohemian Massif (Germany/Czech Republic): volcanosedimentary and magmatic evolution. – J. Geosci. 61, 371–393.

WENGER, E. – BÜCHNER, J. – TIETZ, O. – MRLINA, J. (2017): The polycyclic Lausche Volcano (Lausitz Volcanic Field) and its message concerning landscape evolution in the Lausitz Mountains (northern Bohemian Massif, Central Europe). – Geomorphology 292, 193–210.