Petrografie, geochemie a posterupční projevy olivínem chudého apatitického nefelinitu Slánské hory

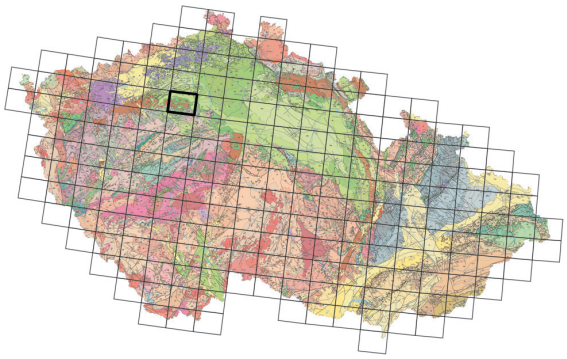
Petrography, geochemistry and post-eruption phenomena of the olivine-poor apatite nephelinite from the Slánská hora Hill

Kateřina Jáklová [1] – Jakub Trubač [2] – Tomáš Magna [2] – Vladislav Rapprich [2] – Jakub Haloda [2] – Vojtěch Erban [2]

[1] Gymnázium Botičská, Botičská 1, 128 01 Praha 2
[2] Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

Key words: *olivine nephelinite, Cenozoic intra-plate volcanism, geochemistry, lava lake, ventarols*

Abstract: The columnar jointing of the Slánská hora olivine-poor apatite nephelinite suggests single-phase effusion in the form of a lava lake filling a former phreatomagmatic crater. Unusual petrography with abundant apatite microphenocrysts is consistent with geochemical data. Pseudomorphic calcite replaced olivine during extensive carbonate metasomatism, resulting in Cr and Ni loss. A steep trace element pattern is documented by high chondrite-normalized La/Yb of 26; together with modest anomalies in HFSE and LILE and the absence of Eu anomaly these observations point to low-degree partial melting of enriched source with crystal fractionation of nepheline and without plagioclase segregation, underscored by high Zr/Hf paralleled by relatively low Sc, as well as Nb/U and U/Pb ratios, typical of oceanic basalts.



(12-21 Kralupy nad Vltavou)

V mírně zvlněné krajině středních Čech sz. od Prahy se nachází jako jeden z mála zdálky rozpoznatelných bodů Slánská hora, která se svým vrcholem ve výšce 330 m n. m. vystupuje o zhruba 50 m nad okolí. Sopečná činnost zde byla vázána na vzájemně se křížící vsv.-zjz. kladenský a sz.-jv. slánský zlomový systém. Stáří vulkanismu Slánské hory bylo metodou K-Ar stanoveno na 30,1 ± 1,7 milionu let, zdánlivé stáří zjištěné metodou štěpných stop (fission tracks) v apatitu (16,6 ± 2,6 a 17,6 ± 1,8) odráží významnou etapu postvulkanické hydrotermální aktivity v burdigalu (Filip et al. 2007).

Petrograficky dominantní horninou je na olivín chudý apatitický nefelinit, nejbazičtější hornina oligo-miocenní (hlavní/riftové) etapy kenozoického vulkanismu Českého masivu. Neobvykle vysoký obsah apatitu byl předmětem několika výzkumných prací (např. Ulrych et al. 1998, Novák – Matějka 1999).

Významným sekundárním zásahem do morfologické integrity Slánské hory bylo otevření dnes již opuštěného lomu v j. části kopce, který odkrývá sloupcovitou odlučnost zbytku vypreparovaného tělesa. Pozorovatelné jsou i některé další zajímavé fenomény, např. prameny slané vody nebo výrony teplého vzduchu, jež jsou někdy dávány do souvislosti s doznívající vulkanickou aktivitou.

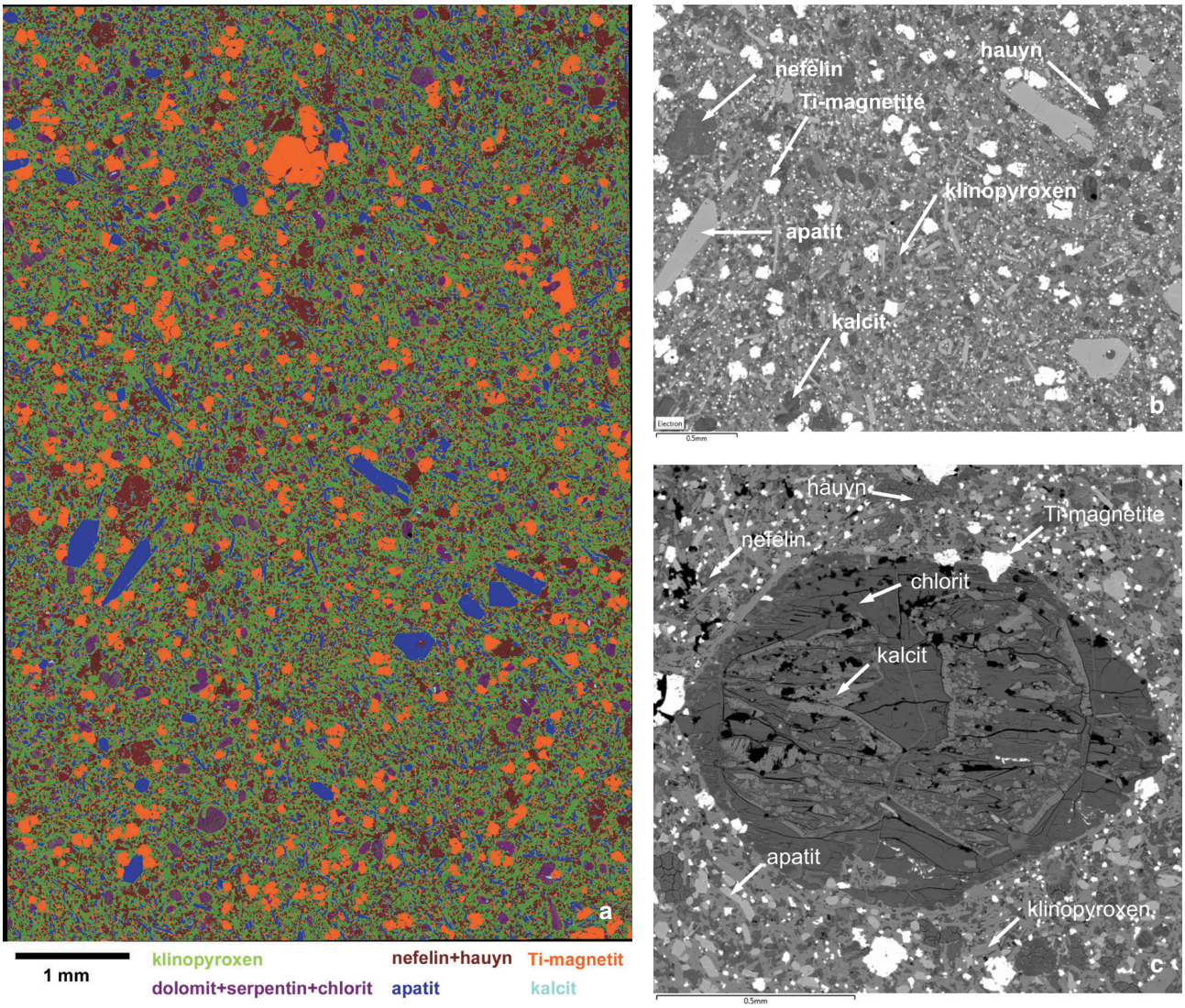
Interpretace sloupcové odlučnosti

V hlavním prostoru opuštěného lomu v j. části Slánské hory je nápadná uniformně orientovaná sloupcová odlučnost nefelinitu s celkovou výškou odhadovanou na 20 m. Jednotný systém orientace sloupcové odlučnosti (obr. 1) ukazuje jednoduchou efuzivní historii. Sloupce mají v převážné části odkryvu paralelní vertikální průběh, nasvědčující chladnutí jednoduchého subhorizontálně uloženého tělesa (lávy). Na levé straně odkryvu je možné pozorovat výrazný ohyb sloupců až do horizontální polohy. To by odpovídalo okraji údolí, ve kterém láva tuhla. Drobná nepravidelnost v centrální části je patrně důsledkem lokální termální nehomogenity v podloží nebo v bazální partii lávového proudu. Vzhledem k nízké viskozitě nefelinitového magmatu se při mocnosti tělesa odkryté v lomu nepřikláníme k možnosti, že by Slánská hora představovala obnaženou mocnou ložní žílu. Pravděpodobnější je vznik Slánské hory v podobě lávového jezera vyplňujícího předchozí freatomagmatický kráter. Na okrajích tělesa nefelinitu jsme dokumentovali relikty pyroklastických uloženin s náznaky křížového zvrstvení, které by mohly odpovídat uloženinám pyroklastických přívalů (surge) v tufovém prstenci lemujícím kráter. Relikty povrchových forem vulkanismu obdobného stáří byly doloženy na nedaleké Vinařické hoře (Rapprich 2012).

Petrografie

Těleso Slánské hory tvoří olivínem chudý apatitický nefelinit, jemnozrnný, s mikroporfyrickou strukturou

Obr. 1. Rozkreslená sloupcová odlučnost nefelinitu na lokalitě Slánská hora.



Obr. 2. Modální analýza nefelinitu (a). Výbrus zobrazený v módu odražených elektronů (b). Pseudomorfóza po olivínu (c).

s nepočetnými drobnými pseudomorfózami zcela chloritizovaného olivínu o velikosti kolem 1 mm, vzácněji také klinopyroxenu (složením odpovídajícího augitu) do 0,5 mm. Vedle těchto větších krystalů je možné v hornině pozorovat drobnější automorfní vyrostlice (do 0,2 mm) tence sloupcovitého Ti-bohatého augitu, Ti-magnetitu, apatitu a hauynu. Ty obklopuje základní hmota primárně tvořená směsí Ti-bohatého augitu a xenomorfního nefelinu. Olivín (Fo_{82}) se dochoval v rámci pseudomorfóz jen ve velmi vzácných reliktech. Akcesoricky se vyskytují baryt

Tabulka 1. Modální složení, koncentrace hlavních a stopových prvků olivinického nefelinitu Slánské hory

mineralogie (modální %)																				
klinopyroxen	nefelin	Ti-magnetit	apatit	hauyn	dolomit	serpentin	chlorit	kalcit	vulkanické sklo	olivín	baryt	pyrit								
48,1	14,2	11,4	10,9	8,3	3,8	1,6	1,2	0,3	0,15	0,01	0,01	0,01								
hlavní prvky (hmot. %)																				
SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	MnO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	F	CO_2	S (tot.)	$H_2O(^+)$	$H_2O(^-)$	Suma				
32,98	3,61	8,85	8,44	7,11	8,61	0,370	16,33	2,54	1,32	3,99	0,19	1,13	0,051	2,50	0,45	98,46				
stopové prvky (ppm)																				
Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	
18,0	4,9	20,1	351	6,79	38,9	29,2	39,9	161	22,5	46,1	1857	55,5	715	180	0,54	966	166	341	40,8	
Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Pb	Bi	Th	U			
162	26,7	7,68	26,3	3,27	12,3	2,20	6,48	0,69	4,26	0,65	14,3	12,1	0,52	7,17	0,04	15,6	4,04			

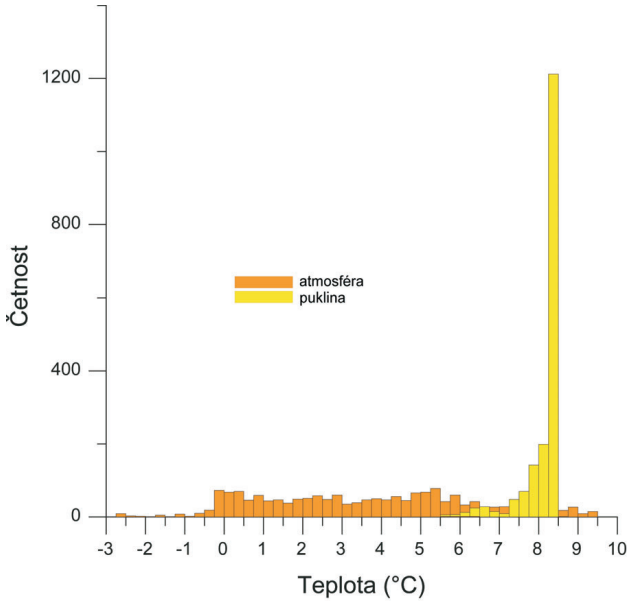
Obsah jednotlivých minerálů v hornině byl stanoven v laboratoři elektronové mikroskopie a mikroanalýzy České geologické služby pomocí mikroanalytického systému AZtec Phase Analysis (Oxford Instruments) s využitím vysokorozlišovacího rastrovacího elektronového mikroskopu Tescan MIRA 3GMU a EDS detektoru X-Max 80 Premium. Byla studována dostatečně velká reprezentativní oblast (80 mm^2) leštěného výbrusu horniny, pro kterou bylo pořízeno celkem 80 prvkových distribučních map (každá s rozlišením 1024 × 1024 pixelů a krokem 1 μm) v automatizovaném režimu Large Area Mapping. Získané prvkové distribuční mapy byly zpracovány softwarem AZtec Phase Analysis z hlediska rozdílů chemického složení, byly definovány jednotlivé minerální fáze a stanoveno jejich modální zastoupení a chemické složení. Integrace pořízených spekter ze všech analytických bodů (4,8 milionu bodů) v identifikovaných apatitech bylo využito k získání přesné reprezentativní analýzy.

a pyrit. Hornina je sekundárně postižena karbonatizací a chloritizací (výskyt chloritu, kalcitu a dolomitu). Apatity je možné charakterizovat jako hydroxyl-chlorapatity s neobvykle vysokými obsahy Sr (1,13 hmot. %) a Ce (0,27 hmot. %). Extrémní obohacení Sr (3,8 hmot. %) je možné pozorovat také v kalcitech, které jsou často součástí pseudomorfóz po olivínu (obr. 2). Modální zastoupení jednotlivých identifikovaných minerálů je uvedeno v tab. 1.

Geochemie

Chemicky jde o primitivní ultrabazickou alkalickou horninu s extrémně nízkým obsahem SiO_2 (33 hmot. %), zvýšeným obsahem MgO (8,6 hmot. %), vysokým obsahem FeO_{tot} (14,7 hmot.%) a vysokou koncentrací P_2O_5 (4 hmot. %). Hodnota mg čísla [mg#; molární $Mg/(Mg+Fe_{tot})$] je 51. Patrné je obohacení volatilními složkami (F, CO_2, H_2O^+). Zvýšený obsah fosforu je v souladu s vysokým obsahem apatitu (např. Ulrych et al. 1998, Novák – Matějka 1999). Kompletní chemickou analýzu včetně stopových prvků uvádí tab. 1.

Průběh křivky obsahů prvků vzácných zemin normalizovaných složením chondritu ukazuje výrazné obohacení prvky lehkých vzácných zemin proti těžkým (La_N/Yb_N = 26,3; suma vzácných zemin je mimořádně vysoká – 800 ppm). Strmý úklon odpovídá nízkoprocentnímu parciálnímu tavení plášťových hornin, které je typické pro vnitrodeskové alkalické bazaltoidy. Magma nefelinitu Slánské hory je příliš bazické na krystalizaci plagioklasu, natož jeho frakcionaci, což se projevuje absencí výrazné Eu anomálie (Eu/Eu* = 0,97), přičemž neobvykle vysoká koncentrace Sr (1860 ppm) je vázána na výskyt primárního a sekundárního apatitu a také kalcitu. Geochemicky relativně málo vyvinuté povaze zdroje studovaného nefelinitu odpovídají jednak reliktní olivíny s vysokým podílem hořečnaté složky (Fo_{82}), jednak primitivnímu plášti (Sun – McDonough 1989) odpovídající prvkové poměry Nb/Ta = 14,9 a Th/U = 3,9. Nicméně určitý stupeň postižení magmatickou frakcionací je zjevný z mírně zvýšeného poměru Zr/Hf = 50,0, doprovázeného relativně nízkým obsahem Sc v důsledku přítomnosti foidů (David et al. 2000), poměrů Nb/U (44,7), Sm/Nd (0,16) a U/Pb (0,56), vesměs typických spíše pro bazalty oceánských ostrovů a zaznamenaných v primitivních kenozoických nefelinitech, bazaltech a olivinických bazaltech střední Evropy (Wedepohl – Baumann 1999), a zejména z velmi nízkých obsahů Cr



Obr. 3. Histogram teplot venkovních a ve ventarolách Slánské hory.

(< 7 ppm) a Ni (< 30 ppm). Nízké hodnoty mg# spolu s nízkými obsahy Cr a Ni jsou však charakteristické pro prakticky všechny relativně primitivní alkalické bazaltoidy (bezolivinické a olivínem chudé nefelinity) středočeské oblasti (Řanda et al. 2003), i když ochuzení Cr může být kombinací augitického (spíše než Cr-diopsidického) charakteru klinopyroxenu a odnosu Cr během procesu serpentinizace. Při normalizaci na složení primitivního pláště vykazuje studovaný nefelinit výraznou shodu s podobnými horninami střední Evropy (Wedepohl – Baumann 1999), i když s mírným obohacením lehkých REE (1–2×) i těžkých REE a HFSE (2–3×). To může být dáno mírně odlišným stupněm parciálního tavení, případně odlišnostmi ve složení zdrojového pláště pro kenozoické vulkanické výskyty v rámci Evropy. Nápadná je výrazná negativní draslíková a titanová anomálie, která se v různé míře objevuje u většiny alkalických vulkanických hornin cirkum-mediterránní anorogenní kenozoické provincie (např. Wedepohl – Baumann 1999) a která je dávána do souvislosti s přítomností reziduálního amfibolu ve zdrojových plášťových horninách (viz také Jung et al. 2011), i když může být způsobena i přítomností reziduálního flogopitu (např. Wedepohl et al. 1994).

Ventaroly

Důležitým fyzikálním jevem projevujícím se na Slánské hoře jsou výrony teplého vzduchu ve vrcholových partiích během zimních měsíců, tzv. ventaroly. Vznikají akumulací tepla ve vnitřních puklinách horninového masivu v letních měsících a jeho výdejem do proudění studeného vzduchu v puklinovém systému v zimním období. Rozdíl teplot unikajícího vzduchu vůči okolnímu prostředí může být až 20 °C. Pro odhadnutí teplotního režimu ventarol Slánské hory byla využita časosběrná řada pro období od 31. 1. do 9. 3. 2014. Maximální naměřená teplota v puklině byla 8,6 °C, oproti tomu maximální naměřená teplota venkovního vzduchu 11,9 °C; minimální naměřená teplota vzduchu v puklině byla 5,6 °C, minimální venkovní naměřená teplota –2,7°C. Průměrná teplota naměřená v puklině dosáhla 8,2 °C, průměrná teplota naměřená venku 3,7 °C. Periodicita střídání dne a noci je zjevná jen u venkovních teplot, zatímco puklinová teplota zůstává téměř konstantní po celou dobu měření (obr. 3). Určitá, byť slabá komunikace mezi puklinovým a vnějším systémem je patrná z výkyvu teplot v puklinovém systému v období 31.1. až 9.3.2014. Nízký kontrast mezi teplotou vzduchu unikajícího z puklin a okolní teplotou stejně jako závislost na ročních obdobích dokládá, že jde o ventaroly.

Závěry

Sopečná činnost Slánské hory je vázána na vzájemně se křížící kladenský a slánský zlomový systém. Olivínem chudý apatitický nefelinit vystupující ve formě reliktu lávového jezera ztuhlého ve freatomagmatickém kráteru je nejbazičtější vulkanickou horninou oligo-miocenní (hlavní/riftové) etapy kenozoického vulkanismu Českého masivu a svou bazicitou je srovnatelný pouze s křídovo/paleocenním magmatismem roje Čertových zdí. Segregace nefelinu měla zásadní vliv na koncentrace a poměry stopových prvků (např. Sc, Zr/Hf). Výrony teplého vzduchu v zimních měsících ve vrcholové části Slánské hory představují běžné ventaroly a nikoliv projevy postvulkanické geotermální aktivity.

Poděkování. Vulkanologická, petrologická a geochemická část studie byla financována z projektu GAČR č. P210/12/1990, koncentrace stopových prvků byly změřeny ve spolupráci s Janou Ďurišovou (GIÚ AVČR, v. v. i.), výzkum ventarol probíhal v rámci projektu TAČR TA01020348. Detailní recenze J. Ulrycha a L. Krmíčka upřesnily nejednoznačné formulace v původní práci.

Literatura

ANDERS, E. – GREVESSE, N. (1989): Abundances of the elements: Meteoritic and solar. – Geochim. cosmochim. Acta 53, 197–214

DAVID, K. – SCHIANO, P. – ALLÈGRE, C.J. (2000): Assessment of the Zr/Hf fractionation in oceanic basalts and continental materials during petrogenetic processes. – Earth. Planet. Sci. Lett. 178, 285–301.

FILIP, J. – ULRYCH, J. – ADAMOVIČ, J. – BALOGH, K. (2007): Apatite fission track implications for timing of hydrothermal fluid flow in Tertiary volcanics of the Bohemian Massif. – J. Geosci. 52, 211–220.

JUNG, S. – PFÄNDER, J. A. – BRAUNS, M. – MAAS, R. (2011): Crustal contamination and mantle source characteristics in continental intra-plate volcanic rocks: Pb, Hf and Os isotopes from central European volcanic province basalts. – Geochim. cosmochim. Acta 75, 2664–2683.

NOVÁK, J. K. – MATĚJKA, D. (1999): Apatite enrichment in nephelinite from Slánská hora Hill, Central Bohemia. – Geolines 9, 104–109.

RAPPRICH, V. (2012): Nový pohled na vulkanologii Vinařické hory. – Zpr. Geol. Výzk. v Roce 2011, 29–33.

ŘANDA, Z. – NOVÁK, J. K. – BALOGH, K. – FRÁNA, J. – KUČERA, J. – ULRYCH, J. (2003): Vinařická hora Hill Cenozoic composite volcano, Central Bohemia: Geochemical constraints. – Geolines 15, 126–132.

SUN, S. S. – MCDONOUGH, W. F. (1989): Chemical and isotopic systema-

tics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: SAUNDERS, A. D. – NORRY, M. J., ed.: Magmatism in the Ocean Basins. – Geol. Soc. London Spec. Publ. 42, 313–345.

ULRYCH, J. – NOVÁK, J. K. – SEDLÁČEK, V. (1998): Kumulace apatitu v hauynickém nefelinitu ze Slánské hory. – Bull. Mineral.-petrogr. Odd. Nár. Muz. 6, 253–256.

WEDEPOHL, K. H. – BAUMANN, A. (1999): Central European Cenozoic plume volcanism with OIB characteristics and indications of a lower mantle source. – Contr. Mineral. Petrology 136, 225–239.

WEDEPOHL, K. H. – GOHN, E. – HARTMANN, G. (1994): Cenozoic alkali basaltic magmas of western Germany and their products of differentiation. – Contr. Mineral. Petrology 115, 253–278.