

JEHLICOVITÝ APATIT A DOPROVODNÉ HORNINOVÉ MINERÁLY Z ČEDIČOVÉHO LOMU BÍLČICE V NÍZKÉM JESENÍKU (ČESKÁ REPUBLIKA)

ACICULAR APATITE AND ASSOCIATED ROCK-FORMING MINERALS FROM THE BASALT
QUARRY BÍLČICE IN THE NÍZKÝ JESENÍK UPLAND (CZECH REPUBLIC)

ZDENĚK DOLNÍČEK, JANA ULMANOVÁ, MICHAELA KREJČÍ KOTLÁNOVÁ,
ROSTISLAV KOUTŇÁK

Abstract

Dolníček, Z., Ulmanová, J., Krejčí Kotlánová, M., Koutňák, R., 2024: Jehlicovitý apatit a doprovodné horninové minerály z čedičového lomu Bílčice v Nízkém Jeseníku (Česká republika). – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 109, 2, 165–183 (with English summary).

Acicular apatite and associated rock-forming minerals from the basalt quarry Bílčice in the Nízký Jeseník Upland (Czech Republic)

Rich drusy coatings of acicular apatite, with needles up to 1.5 cm long, were recently found in vesicular cavities of the Pleistocene alkaline lavas in the quarry Bílčice. The occurrence was recorded at the upper mining level, i.e., within the upper respective effusion of the Chřibský les lava flow. The mineral assemblage of apatite-bearing cavities and adjacent host rock was studied by means of an electron microprobe. The apatite from both cavities and rock matrix shows very homogeneous and stoichiometric composition with prevailing fluorapatite component (F-Ap_{75.89}Cl-Ap_{13.17}OH-Ap_{0.11}). The wall rock is composed of forsterite (Fo_{57.79}Fa_{21.42}Te_{0.1}), clinopyroxene (Wo_{48.54}En_{33.41}Fs_{9.15}), ulvöspinel (Ulv_{48.58}Mgt_{23.30}Mgf_{8.17}Spn_{1.7}Gal_{2.3}), plagioclase (Ab_{33.65}An_{23.65}Or_{1.18}Slw_{0.2}Cn_{0.1}), alkali feldspar (Ab_{48.60}An_{2.7}Or_{28.47}Slw_{0.3}Cn_{0.4}), nepheline (Ne_{68.77}Ks_{3.12}Qz_{17.23}), and glass enriched in P, F, and Cl. An increase of grain size of rock-forming minerals towards the vesicular cavity underlines the increasing role of volatiles during crystallization of the magma. The uniform composition of various morphological forms of apatite implies for a geochemically closed system and yields a genetic link to the magmatic processes, including the cavity filling. The external post-magmatic fluids operated later during formation of a clay mineral consuming nepheline and glass. In addition, a small quartz-rich xenolith was found during our microprobe study. The contact zone between xenolith and igneous rock is mainly composed of alkali feldspar and clinopyroxene. The shifts in composition of both phases suggest that the protolith of this xenolith was characterized by elevated contents of Fe³⁺ and K.

Key words: Neovolcanites, nepheline basanite, apatite, vesicular basalt, pyrometamorphism

Zdeněk Dolníček, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9-Horní Počernice; e-mail: zdenek.dolnicek@nm.cz

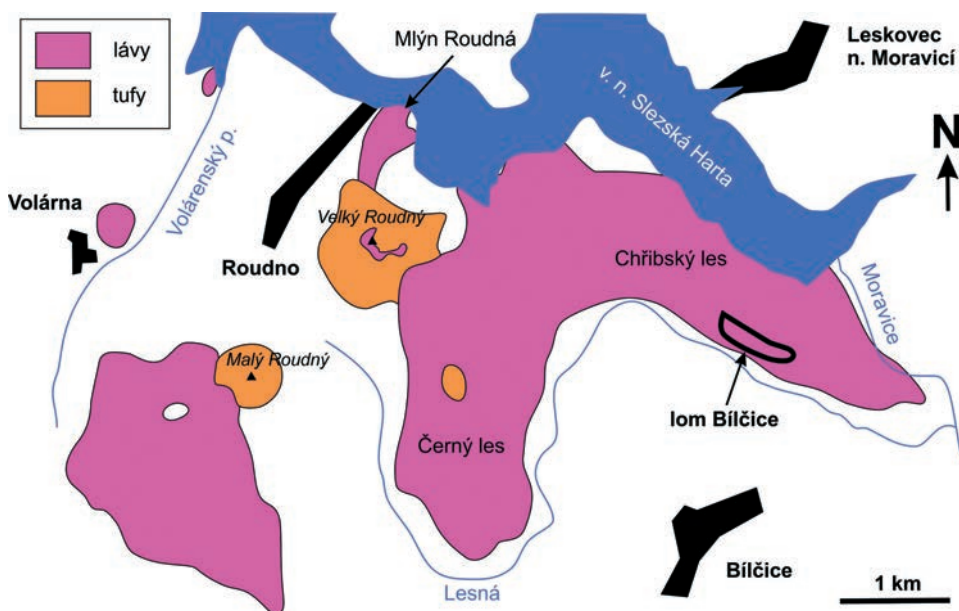
Jana Ulmanová, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9-Horní Počernice

Michaela Krejčí Kotlánová, Research Institute for Building Materials, Hněvkovského 30/65, 617 00 Brno
Rostislav Koutňák, Bezručova 1168, 765 02 Otrokovice

ÚVOD

Činný dvouetážový kamenolom, situovaný cca 1,5 km severně od obce Bílčice při jv. okraji vodní nádrže Slezská Harta (obr. 1), je v současnosti jedinou aktivně těženou loka-

litou neovulkanitů v oblasti sv. části Českého masivu. Lom Bílčice je založen v lávovém proudu Chříbského lesa, který představuje největší a nejlépe zachovalý lávový proud strato-vulkánu Velký Roudný, jehož vrchol se nachází cca 3,5 km směrem na Z od lomu (obr. 1). Vulkanity pronikly v pleistocénu spodnokarbonskými sedimenty hornobenešovského souvrství moravskoslezského kulmu. Lávový proud Chříbského lesa dosahuje délky 5,5 km, šířky až 900 m a má mocnost až přes 50 m (VOCILKA 1987). Leží na staropleistocenních fluviálních sedimentech řeky Moravice s vložkami tufitů (KRYSTEK 1963). Lávový proud přehradil tok řeky, čímž vzniklo jezero, v němž se následně ukládal pyroklastický materiál vyvržený z Velkého Roudného. Vulkanoklastika ukládaná v jezeře daly vzniknout komplexu tzv. razovských tufitů s vrty doloženou mocností až 12 m (KRYSTEK 1963; BARTH 1977). Geologická pozice vulkanitů je v souladu i s výsledky K-Ar datování, které pro horninu z lomu Bílčice ukázalo věk $2,40 \pm 0,12$ Ma (ULRYCH *et al.* 2013). V profilu lomu Bílčice jsou - podle interpretací starších prací - odkryty produkty dvou dílčích efuzí Velkého Roudného, které se liší složením i magnetickými parametry: spodní je tvořena nefelinickým bazanitem, horní alkalickým olivinickým bazaltem (KOLOFÍKOVÁ 1972). Na hranici obou dílčích efuzí má hornina typicky vyvinutou bobovitou odlučnost. Nově RAPPRIČH a SKÁČELOVÁ (2022) na základě terénních pozorování interpretují vulkanity odkryté lomem Bílčice jako produkty náležející jen jednomu lávovému proudu, svá zjištění ovšem nekonfrontují s výše zmíněnými staršími petrologickými a petrofyzikálními poznatky upozorňujícími na látkovou odlišnost hornin odkrytých v horní a spodní části lomem odkrytého profilu. Na bázi spodního výlevu byl u Slezské Harty identifikován i limburgit (NAGYOVÁ 2011). Bazaltoidy odkryté lomem Bílčice mají charakteristicky vyvinutou sloupcovou odlučnost. Sloupky jsou orientovány vertikálně, mají šířku až několika decimetrů a šesti-, čtyř-, či pětiboký průřez.



Obr. 1. Pozice studované lokality v oblasti plio-pleistocenních vulkanitů v okolí Roudna. Upraveno podle SLIVKY a VAVRA (1996).

Fig. 1. Position of the studied site in the area of Plio-Pleistocene volcanites in the surrounding of Roudno. Modified after SLIVKA and VAVRO (1996).

Dostupné práce uvádějící bližší informace k nerostnému složení bazaltoidů z lomu Bílčice nejsou příliš četné (GREGEROVÁ 2004 in ŠTELCL *et al.* online; NAGYOVÁ 2011; ULRYCH *et al.* 2013; BURIÁNEK online) a navíc se v detailech liší. Shodují se v tom, že horniny mají běžně vyvinutou porfyrickou stavbu. Porfyrické vyrostlice jsou tvořeny zejména olivínem (Fo₆₀₋₈₀) a klinopyroxenem. Základní hmota horniny obsahuje olivín (Fo₆₅₋₇₅), klinopyroxen, bazický plagioklas, nefelín, někdy je uváděn i magnetit, ilmenit, analcim, apatit a sklovina (GREGEROVÁ 2004 in ŠTELCL *et al.* online; NAGYOVÁ 2011; ULRYCH *et al.* 2013). Minerály byly určeny opticky (GREGEROVÁ 2004 in ŠTELCL *et al.* online; NAGYOVÁ 2011), rentgenograficky (NAGYOVÁ 2011), a jen zcela ojediněle (pouze v případě olivínu) i mikroanalyticky (GREGEROVÁ 2004 in ŠTELCL *et al.* online; ULRYCH *et al.* 2013).

Z pohledu mineralogického je lokalita Bílčice prakticky neznámou lokalitou. Fenokrysty olivínu a pyroxenu dosahují velikosti max. do 1 mm a nejsou tedy sběratelsky příliš zajímavé. Dutiny a pukliny neobsahují žádnou zajímavější (např. zeolitovou či karbonátovou) mineralizaci, popsány jsou z nich pouze výplně limonitu a blíže nespecifikovaných jílových minerálů vzniklých větráním horniny (GREGEROVÁ 2004 in ŠTELCL *et al.* online). Absenci vlivu postmagmatických hydrotermálních procesů dokumentují i chybějící sekundární přeměny olivínu a klinopyroxenu (GREGEROVÁ 2004 in ŠTELCL *et al.* online).

Prekvapením byl proto nový nález bohatých vzorků bělavého jemně jehlicovitého minerálu v dutinách bazaltoidů (obr. 2). Vedle identifikace tohoto minerálu pomocí elektronové mikrosondy bylo provedeno i studium chemismu horninotvorných minerálů v bezprostředně sousedící hostitelské hornině. Získané výsledky, prezentované v tomto příspěvku, doplňují (a v řadě případů i významně korigují) dosud v literatuře uváděné údaje.

METODIKA VÝZKUMU

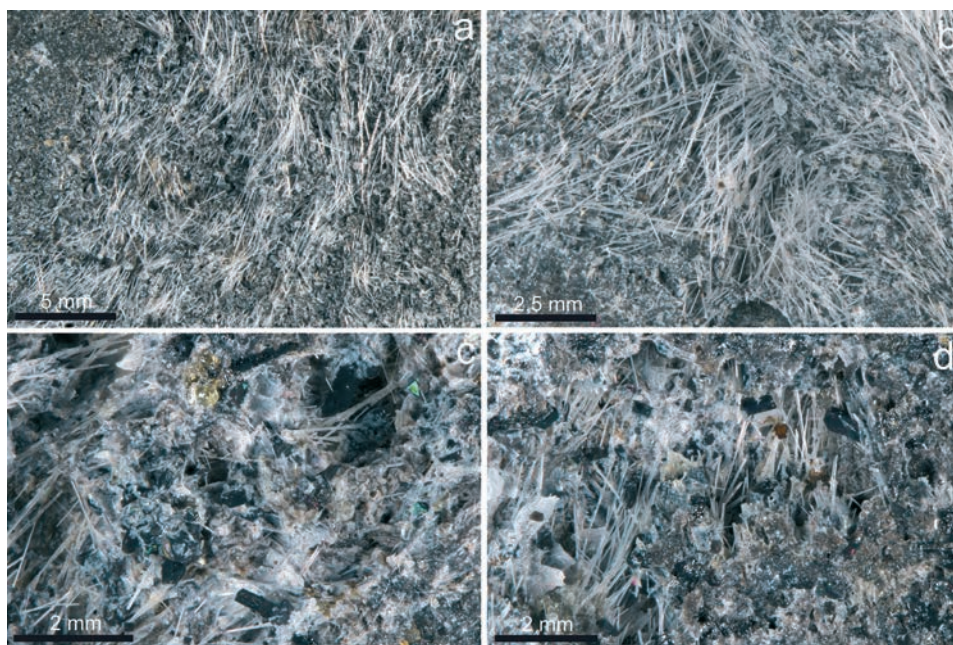
Všechny studované vzorky byly odebrány autory této práce. Fotografie makrovzorků v dopadajícím světle byly pořízeny pomocí mikroskopu Nikon SMZ 25 s digitální kamerou Nikon DS-Ri2 a funkce skládání obrazu za použití programu NIS Elements AR verze 4.20. Z vybraných vzorků byly vyhotoveny nábrusy (P. Sečkář, Přírodovědecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislavě), které byly nejprve prostudovány v odraženém světle v mikroskopu Nikon Eclipse ME600 vybaveném digitální kamerou Nikon DXM1200F.

Následně byly nábrusy vakuově napařeny uhlíkovou vrstvou o tloušťce 30 nm a studovány na elektronové mikrosondě Cameca SX 100 (Národní muzeum, Praha). Na přístroji byly pořízeny snímky ve zpětně odražených elektronech (BSE), provedena identifikace jednotlivých fází pomocí energiově disperzních (EDS) spekter a kvantitativně měřeno chemické složení vybraných fází ve vlnově disperzním (WDS) modu. Při bodových analýzách bylo použito urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 20 nA (*spinelidy*), 10 nA (*pyroxeny*, *olivín*, *nefelín*, *živce*, *apatit*), respektive 5 nA (*sklovina*) a průměru elektronového svazku 0,7 μm (*spinelidy*), 2 μm (*pyroxeny*, *olivín*, *nefelín*, *živce*, *apatit*), respektive 5 μm (*sklovina*). V *pyroxenech* a *olivínu* byly měřeny obsahy Al, Ba, Ca, Cl, Cr, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, P, Pb, Si, Sr, Ti, V a Zn, v *živcích* a *nefelínu* Al, Ba, Ca, Cs, Cu, F, Fe, Mg, Mn, N, K, Na, P, Pb, Rb, Si, Sr a Zn, ve *sklovině* Al, Ba, Ca, Cl, Cs, Cu, F, Fe, Mg, Mn, N, K, Na, P, Pb, Rb, S, Si, Sr a Zn, v *apatitu* Al, As, Ba, Ca, Ce, Cl, F, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Nd, P, Pb, S, Si, Sr, Y a Zn a ve *spinelidech* Al, Ca, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, P, S, Sb, Si, Ti, V a Zn. Použité standardy a analytické čáry: albit (NaKα), almandin (AlKα, FeKα), antimonit (SbLα), apatit (PKα, CaKα), baryt (BaLβ), BN (NKα), celestin (SKα, SrLβ), CePO₄ (CeLα), Co (CoKα), Cr₂O₃ (CrKα), Cs-sklo (CsLα), diopsid (MgKα), halit (ClKα), chalkopyrit (CuKα), klinoklas (AsLα), LaPO₄ (LaLα), LiF (FKα), NdPO₄ (NdLβ), Ni (NiKα), PrPO₄ (PrLβ), Rb-Ge-sklo (RbLα), rodonit (MnKα), sanidin (AlKα, KKα, SiKα), TiO₂ (TiKα), V (VKα), vanadinit (PbMα), wollastonit (CaKα, SiKα), YVO₄ (YLα) a zinkit (ZnKα). Měřící časy na piky se pohybovaly obvykle mezi 10 a 30 s (pro N 100 s), měřící čas každého pozadí trval polovinu času měření na piky. Načtená data byla přepočítána na obsahy prv-

ků vyjádřené v hm. %, s použitím standardní PAP korekce (POUCHOU a PICOIR 1985). Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou uvedeny v tabulkách minerálních analýz, byly ve všech případech pod mezí stanovitelnosti (obvykle mezi 0,05 a 0,1 hm. %, v případě F a N kolem 0,2 hm. %).

CHARAKTERISTIKA STUDOVANÝCH VZORKŮ

Námi studovaný materiál byl odebrán v roce 2022 a pochází z odstřeleného materiálu z nejzápadnější části horní etáže lomu. Vzhledem k jeho pozici v čele rozvalu a s ohledem k lokálnímu navětrání některých horninových fragmentů je velmi pravděpodobné, že byl původně situován při horní hraně etáže. Bazaltoidní hornina má za čerstva šedočernou barvu a podél puklin hnědě zvětrává. Makroskopicky jsou v ní patrné izolované vyrostlice tmavých minerálů o velikosti do 1 mm. Nápadné jsou však zejména zploštělé dutiny po uniklých plynech, které dosahují délky až několika cm a mají silně nepravidelný tvar při jen velmi malé šířce (do 1 cm, obvykle jen první mm). V těchto dutinách se místy vyskytly bohaté bělavé jemně jehlicovité agregáty minerálu, makroskopicky připomínajícího natrolit z dutin některých vulkanitů (obr. 2a–d). Tento minerál byl posléze laboratorně určen jako apatit. Jeho agregáty jsou složeny z jednotlivých jehlic dosahujících délky až 1,5 cm a šířky do 0,04 mm. Vedle apatitu se ve zmiňovaných vezikulárních dutinách vyskytují i drobné



Obr. 2. Makroskopický vzhled vzorků s jehlicovitým apatitem z Bilčic. a,b) Bohaté drúzy jehlic apatitu v dutinách bazaltoidu. c,d) Jehlice apatitu spolu s doprovodnými fázemi v dutinách (olivín – žlutozelený, ulvöspinel – černý, klinopyroxen – téměř černý, tmavě hnědě prosvitající, sklovina – nahnědlá.

Fig. 2. Macroscopic appearance of samples with acicular apatite from Bilčice. a,b) Rich druses of acicular apatite in vesicular cavities in a basaltic rock. c,d) Acicular apatite together with accompanying phases in vesicular cavities (olivine – yellow-green, ulvöspinel – black, clinopyroxene – almost black, dark brownish translucent, glass – brownish.

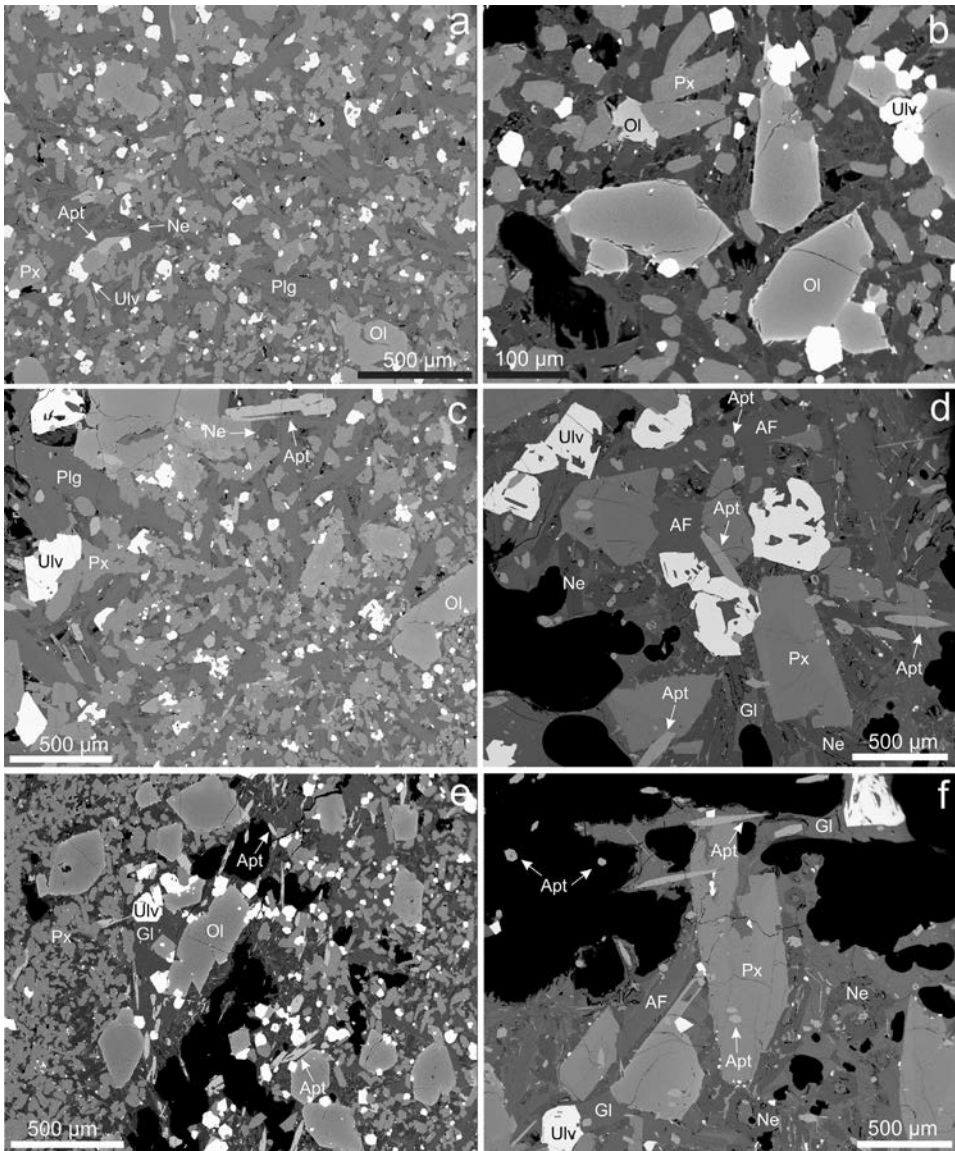
né tmavohnědé krystaly klinopyroxenu a černé krystaly spinelidu, jež představují fenokrysty, vyznívající do dutiny z okolní nahnědlé skloviny (obr. 2c,d). Další minerály v čerstvých vzorcích zjištěny nebyly; vezikuly komunikující s puklinami, po nichž cirkulovaly zvětrávací roztoky, jsou žlutohnědě zbarvené v důsledku přítomnosti povlaků jílového minerálu.

Struktura horniny je porfyrická, s hemikrystalickou základní hmotou (obr. 3). Z pohledu stavby horniny lze na profilu mezi vezikulární dutinou s jehlicovitým apatitem a okolní horninou konstatovat nárůst velikosti vyrostlic klinopyroxenu, olivínu a spinelidu směrem k dutině (obr. 3a-d). V základní hmotě v tomtéž směru ubývá plagioklasu a nefelinu a přibývá množství skloviny (obr. 3e,f), jež je někdy druhotně alterovaná v jílový minerál (obr. 4a,b). Specifická situace pak byla zaznamenána v jednom vzorku, který obsahoval silně natavený křemenem bohatý xenolit několikamilimetrové velikosti. V kontaktní zóně okolní xenolitu z bazaltoidu zcela vymizely olivín a nefelín a naopak ve větší míře jsou zastoupeny klinopyroxen a alkalický živec (obr. 4c,d). Charakteristika jednotlivých zjištěných fází je uvedena v následujících odstavcích.

Olivín je v hornině běžnou komponentou vyrostlic a v menší míře i základní hmoty (obr. 3a-c). Automorfne až hypautomorfne omezené vyrostlice olivínu, často s šestibokým průřezem, dosahují velikosti až 0,5 mm a v BSE obraze mívají slabě vyvinutou difuzní zónalnost, kdy objemově dominantní tmavá Mg bohatší jádra plynule přecházejí ve světlejší Fe bohatší okraj (obr. 3b). V základní hmotě jsou přítomna i xenomorfne omezená zrna, jež mají někdy zřetelně světlejší odstín na obraze BSE (obr. 3b) v důsledku vyššího obsahu fayalitové komponenty. Chemické složení olivínu (tab. 1, obr. 5a) vždy odpovídá forsteritu ($\text{Fe}_{0,57-0,79}\text{Fa}_{21-42}\text{Fe}_{0-1}$) se slabě zvýšenými obsahy Ca (0,008–0,015 *apfu*) a Ni (do 0,003 *apfu*). Nebyly zjištěny žádné přeměny tohoto minerálu. Olivín zcela chybí v blízkosti křemenem bohatého xenolitu.

Klinopyroxen je majoritní komponentou vyrostlic, základní hmoty a reakčního lemu kolem křemenem bohatého xenolitu (obr. 3, 4). Vyrostlice jsou automorfne až hypautomorfne omezeny, izometrického až krátce sloupečkovitého tvaru, a dosahují velikosti až 1 mm. Zonalita nebyla v BSE obraze většinou zjištěna, vyjma některých rozměrnějších vyrostlic, které mívají přesýpátkovou stavbu (obr. 3d). Druhotné přeměny pyroxenu nebyly pozorovány. Shodnou charakteristiku kromě velikosti mají i pyroxeny základní hmoty horniny. Pyroxen-živcové srůsty tvoří také reakční lem mezi horninovou maticí a křemenem bohatým xenolitem (obr. 4c,d). Pyroxen zde vytváří buď masivní zrnité agregáty (blíže k vulkanitu) složené z xenomorfních zrn či automorfne až hypautomorfne omezené krátce až dlouze sloupcovité jednotlivé krystaly uzavírané v živcové maticí (blíže ke xenolitu). Příklady chemického složení pyroxenů jsou uvedeny v tab. 2. Složení pyroxenu vyrostlic a základní hmoty je identické. Při přepočtu na bázi 6 atomů kyslíku a 4 kationtů lze konstatovat vysoký obsah Ca (0,876–0,922 *apfu*), zvýšené obsahy Al (0,159–0,438 *apfu*), Ti (0,039–0,154 *apfu*), Mn (0,002–0,007 *apfu*), v části analýz i Na (do 0,060 *apfu*), ve stopách u části analýz i Cr (do 0,022 *apfu*) a/nebo V (do 0,003 *apfu*). Poměr $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})$ kolísá mezi 0,18 a 0,31; kalkulovaný obsah Fe^{3+} nepřesahuje 0,051 *apfu*. Klinopyroxen reakčního lemu má nižší obsahy Al (do 0,033 *apfu*), Ti (do 0,016 *apfu*) i nižší poměr $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})$ mezi 0,05 a 0,13, avšak většinou vyšší podíl Fe^{3+} (0,033–0,129 *apfu*). Podle klasifikace MORIMOTA *et al.* (1989) jde v případě vyrostlic a základní hmoty o diopsid s ojedinělým přesahem do Wo-bohatého pyroxenu, v případě pyroxenu z reakčního lemu o diopsid s ojedinělým přesahem do augitu (obr. 5b). Průměrný (33 analýz) empirický vzorec klinopyroxenu z vulkanitu z Bílic je $(\text{Ca}_{0,90}\text{Na}_{0,02})_{\Sigma 0,92}(\text{Mg}_{0,67}\text{Fe}^{2+}_{0,22}\text{Mn}_{0,01}\text{Fe}^{3+}_{0,01}\text{Al}_{0,08}\text{Ti}_{0,08})_{\Sigma 1,07}(\text{Si}_{1,79}\text{Al}_{0,21})_{\Sigma 2,00}\text{O}_6$, průměrný (13 analýz) vzorec pyroxenu z reakčního lemu je $(\text{Ca}_{0,88})_{\Sigma 0,88}(\text{Mg}_{0,94}\text{Fe}^{2+}_{0,09}\text{Fe}^{3+}_{0,06}\text{Ti}_{0,01})_{\Sigma 1,10}(\text{Si}_{1,96}\text{Al}_{0,01}\text{Fe}^{3+}_{0,03})_{\Sigma 2,00}\text{O}_6$.

Spinelid je součástí základní hmoty vulkanitu (obr. 3a), směrem k vezikulím velikost jeho zrn ovšem vzrůstá, takže při okraji dutin může utvářet i porfyrické vyrostlice (obr. 3c,d). Minerál vytváří jednotlivé automorfne až hypautomorfne omezené izometrické krystaly (někdy kostrovitého vývinu) a jejich srůstlice, které dosahují velikosti běžně kolem 0,1 mm,

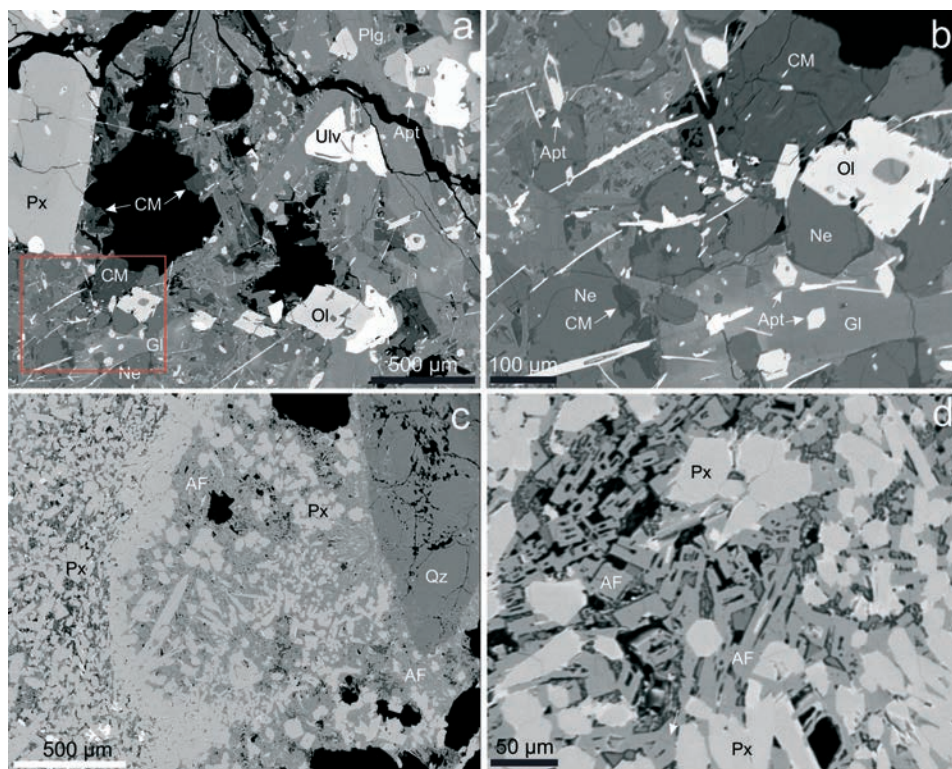


Obr. 3. Asociace a vývin fází studovaných vzorků na BSE snímcích. a) Stavba horniny několik cm daleko od vezikulární dutiny. b) Difúzní zonalita vyrostlic olivínu a světlejší fayalitem bohatší zrno v základní hmotě. c) Hrubnutí zrna horniny směrem k vezikulární dutině (dále vlevo od obrázku). d) Kostrovité krystaly ulvöspinelu, jehlice apatitu a vyrostlice klinopyroxenu v sousedství vezikulární dutiny. e,f) Asociace zvětrávacími roztoky nealterovaných vezikulárních dutin s jehlicemi apatitu. Zkratky fází: AF - alkaličtý živec, Apt - apatit, Gl - sklovina, Ne - nefelin, Ol - olivín, Plg - plagioklas, Px - pyroxen, Ulv - ulvöspinel.

Fig. 3. Assemblage and development of phases in the studied samples on BSE images. a) Fabric of the rock several cm far from the vesicular cavity. b) Diffuse zonation of olivine phenocrysts and a brighter grain of fayalite-rich olivine in rock matrix. c) The coarsening of mineral grains towards the vesicular cavity (situated far to the left). d) Skeletal crystals of ulvöspinel, apatite needles, and clinopyroxene phenocrysts adjacent to a vesicular cavity. e,f) The association of vesicular cavities unaltered by weathering and containing needles of apatite. Abbreviations of phases: AF - alkali feldspar, Apt - apatite, Gl - glass, Ne - nepheline, Ol - olivine, Plg - plagioclase, Px - pyroxene, Ulv - ulvöspinel.

v maximech až 0,5 mm. Často obsahují inkluze živců či skloviny a samy bývají běžně uzavřeny v pyroxenech a olivínu. Zonalita není v obraze BSE patrná. Chemické složení je podle provedených WDS analýz málo variabilní (tab. 3). Převažující komponentou je vždy ulvöspinelová složka (48–58 mol. %), méně jsou zastoupeny složky magnetitová (23–30 mol. %), magnezioferitová (8–17 mol. %), spinelová (1–7 mol. %) a galaxitová (2–3 mol. %), zatímco gahnitová, coulsonitová a chromitová komponenta jsou přítomny pouze ve stopách (max. 0,9 mol. %). Průměrný (21 WDS analýz) empirický vzorec ulvöspinelu z Bílčic je $(\text{Ti}_{0,52}\text{Fe}^{2+}_{0,26}\text{Mg}_{0,19}\text{Mn}_{0,03})_{\Sigma 1,00}(\text{Fe}^{2+}_{1,04}\text{Fe}^{3+}_{0,80}\text{Al}_{0,15}\text{V}_{0,01})_{\Sigma 2,00}\text{O}_4$.

Plagioklas je vedle skloviny a nefelínu hlavní složkou základní hmoty horniny, chybí však v reakčním lemu kolem xenolitu. Vytváří lištovité průřezy o délce až 150 μm , které jsou v základní hmotě uspořádány všesměrně (obr. 3a,c). Zonalita je v BSE obvykle nezřetelná, ojediněle byla na snímcích pozorována světlejší jádra a tmavší okraje, nasvědčující normální magmatické zonalnosti. Přeměny nebyly zjištěny. Provedené WDS analýzy (tab. 4) prokázaly variabilitu složení mezi oligoklasem a labradoritem ($\text{Ab}_{33-65}\text{An}_{23-65}\text{Or}_{1-18}\text{Slw}_{0-2}\text{Cn}_{0-1}$),

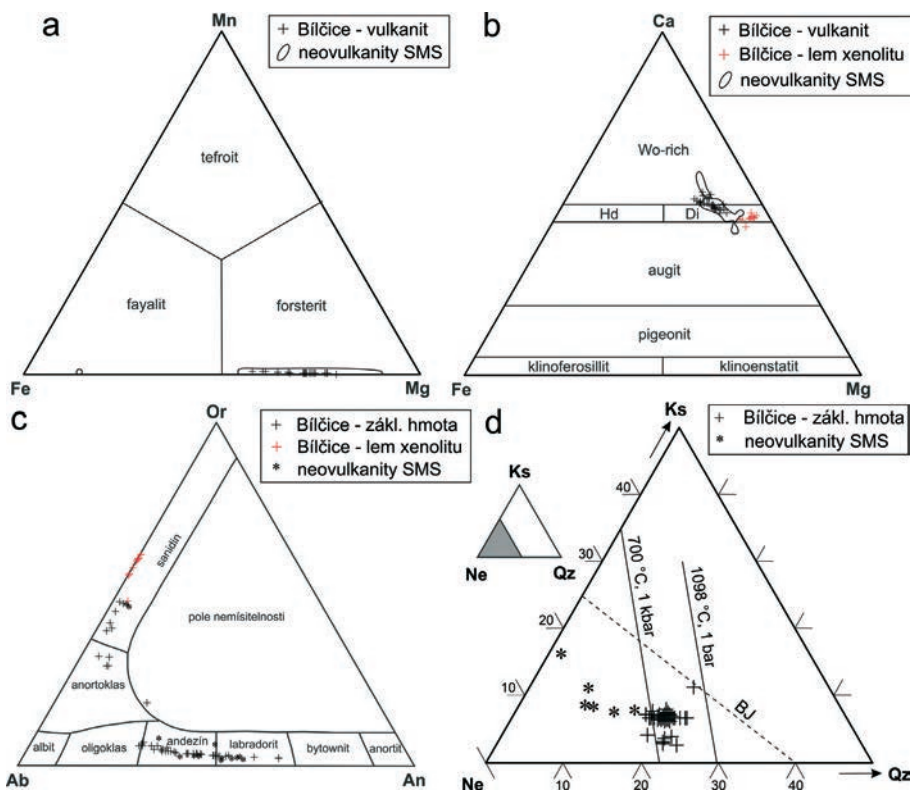


Obr. 4. Asociace a vývin fází studovaných vzorků na BSE snímcích. a,b) Asociace zvětrávacími roztoky alterované vezikulární dutiny. Sklovina a nefelín se přeměňují na jílový minerál. Červený obdélník ukazuje oblast obr. 4b. c) Reakční lem mezi křemenem bohatým xenolitem a vulkanitem, tvořený pyroxenem a alkalickým živcem. d) Detail stavby reakčního lemu. Zkratky fází: CM – jílový minerál, Qz – křemen, ostatní zkratky viz obr. 3.

Fig. 4. Assemblage and development of phases in the studied samples on BSE images. a,b) Association of a vesicular cavity altered by weathering solutions. The glass phase and nepheline are partly transformed to a clay mineral. The red rectangle shows region of Fig. 4b. c) A contact zone developed between quartz-rich xenolith and volcanic rock, formed by pyroxene and alkali feldspar. d) Detail of fabric of the contact zone. Abbreviations of phases: CM – clay mineral, Qz – quartz, for other abbreviations see Fig. 3.

příčemž největší část získaných analýz odpovídá andezínu (obr. 5c). Obsah Or složky v plagioklasech systematicky vzrůstá s rostoucím zastoupením Ab složky (obr. 5c). Hliník je v plagioklasech slabě zastupován Fe^{3+} (0,010–0,025 *apfu*).

Alkalický živec je minoritní složkou základní hmoty vulkanitu, v níž vytváří xenomorfně omezená v BSE obraze nezonální izometrická zrna o velikosti do 70 μm (obr. 3d,f). Významněji je zastoupen v reakčním lemu kolem křemenem bohatého xenolitu, kde je spolu s klinopyroxenem hlavní složkou. Zde vytváří i automorfně omezená lištovitá či izometrická individua o velikosti až 50 μm , která rovněž v BSE obraze nemají patrnou zonálnost (obr. 4c,d). Chemické složení alkalického živce ze základní hmoty vulkanitu je chudší draslíkem a odpovídá sanidinu až anortoklasu ($\text{Ab}_{48-60}\text{An}_{2-7}\text{Or}_{28-47}\text{Slw}_{0-3}\text{Cn}_{0-4}$), zatímco alkalický živec reakčního lemu je bohatší na draslík a odpovídá sanidinu ($\text{Ab}_{39-49}\text{An}_{0-4}\text{Or}_{48-61}$; tab. 5, obr. 5c). Hliník je v alkalickém živci z reakčního lemu výrazněji zastupován Fe^{3+}



Obr. 5. Variace v chemickém složení studovaných minerálních fází a porovnání s publikovanými údaji. a) Olivín v diagramu Fe-Mn-Mg. b) Pyroxeny v klasifikačním diagramu Ca-Fe-Mg podle MORIMOTA *et al.* (1989). c) Živce v diagramu Ab-An-Or. d) Nefelín v diagramu Ne-Ks-Qz. BJ – kompoziční trend přírodního nefelínu („Barth join“) podle DOLASSEHO a THOMASE (1978). Plně linie vyznačují limity rozpustnosti živce v nefelínu při 1098 °C (GREIG a BARTH 1938) a 700 °C (HAMILTON 1961). Srovnávací data pro plio-pleistocenní alkalické neovulkanity severní Moravy a Slezska (SMS) jsou převzata z FOLTÝNOVÉ (2003).

Fig. 5. Variations in chemical composition of the studied mineral phases and a comparison with published data. a) Olivine in a Fe-Mn-Mg plot. b) Pyroxene in the classification scheme Ca-Fe-Mg according to MORIMOTO *et al.* (1989). c) Feldspars in the Ab-An-Or plot. d) Nepheline in a Ne-Ks-Qz plot. BJ – compositional trend of natural nepheline („Barth join“) according to DOLASSE and THOMAS (1978). The full lines indicate limits of solubility of feldspar in nepheline at 1098 °C (GREIG and BARTH 1938) and at 700 °C (HAMILTON 1961). The comparative data for Plio-Pleistocene alkaline neovolcanites of northern Moravia and Silesia (SMS) are taken from FOLTÝNOVÁ (2003).

(0,057–0,123 *apfu*) než v témže minerálu ze základní hmoty horniny (0,010–0,025 *apfu*). Obsah An složky v alkalickém živci vzrůstá s obsahem Ab složky (obr. 5c). Průměrný (10 WDS analýz) empirický vzorec alkalického živce ze základní hmoty vulkanitu z Bílčic je $(\text{Na}_{0,55}\text{Ca}_{0,04}\text{K}_{0,37}\text{Sr}_{0,01}\text{Ba}_{0,02})_{\Sigma 0,99}(\text{Al}_{1,06}\text{Fe}^{3+}_{0,02}\text{Si}_{2,93})_{\Sigma 4,01}\text{O}_8$ a průměrný (10 WDS analýz) empirický vzorec alkalického živce z reakčního lemu kolem xenolitu je $(\text{Na}_{0,41}\text{K}_{0,55}\text{Mg}_{0,02})_{\Sigma 0,98}(\text{Al}_{0,90}\text{Fe}^{3+}_{0,07}\text{Si}_{3,02})_{\Sigma 3,99}\text{O}_8$.

Nefelin je součástí základní hmoty vulkanitu, v níž vytváří xenomorfně až automorfně omezená izometrická či lištovitá zrna a krystaly s šestibokým obrysem o velikosti do 100 μm (obr. 3a,d,f). Od okrajů a podél trhlin bývají v blízkosti dutin a puklin, v nichž cirkulovaly pozdní roztoky, zčásti či kompletně přeměněny na jílový minerál (obr. 4a,b). V BSE obraze je nezonální. Nefelin zcela chybí v reakčním lemu kolem xenolitu. Chemické složení (tab. 6) odpovídá alkáliemi deficitnímu a Si bohatému nefelinu s variabilně zvýšenou kalsitovou komponentou ($\text{Ne}_{68-77}\text{Ks}_{3-12}\text{Qz}_{17-23}$) a většinou i malými obsahy Fe (do 0,017 *apfu*), Mg (do 0,013 *apfu*) a/nebo Ca (do 0,009 *apfu*). V diagramu Ne-Ks-Qz (obr. 5d) padají průměrné body analýz pod linii „Barth join“, charakterizující složení přírodních nefelinů. Průměrný (46 WDS analýz) empirický vzorec nefelinu ze základní hmoty vulkanitu z Bílčic je $(\text{Na}_{0,73}\text{K}_{0,07})_{\Sigma 0,80}(\text{Al}_{0,80}\text{Fe}^{3+}_{0,01}\text{Si}_{1,19})_{\Sigma 2,00}\text{O}_4$.

Křemen je jediným zjištěným zachovalým reliktním minerálem v xenolitu. Vytváří jednotlivá zrna o velikosti do 1,5 mm, jež jsou od okrajů a podél prasklin korodována sklovinou (obr. 4c).

Sklovina je vedlejší až hlavní komponentou základní hmoty vulkanitu (obr. 3d-f). Makroskopicky má nahnědlou barvu (obr. 2c,d). V BSE obraze je obvykle slabě nehomogenní, misty krupičkovitá, takže lze předpokládat její devitrifikaci. S tím jsou v souladu i nízké analytické sumy WDS analýz mezi 88 a 95 hm. % (tab. 7). Od okrajů dutin přístupných pro zvětrávací roztoky je sklovina zatlačována jílovým minerálem. Sklovina je silně draselná (6,5–7,3 hm. % K_2O) a za zmínku stojí také zvýšené obsahy P (až 0,8 hm. % P_2O_5), Cl (až 0,6 hm. %) a F (až 0,4 hm. %).

Apatit je běžným akcesorickým minerálem vulkanitu. Jeho vývin je značně variabilní. Dále od dutin vytváří izolovaná izometrická nepravidelná zrna o velikosti do 100 μm s hypautomorfním či xenomorfním omezením (obr. 3a), jež se vyskytují v základní hmotě i jako uzavřené a vyrostlicí olivinu a pyroxenu. V blízkosti dutin má horninový apatit zřetelný trend k tvorbě hypautomorfně až automorfně omezených delších sloupečků až jehlic o délce až 0,5 mm (obr. 3d-f). Dlouze jehlicovitý vývoj s délkou jednotlivých individuí i nad 1,5 cm je pak charakteristický pro apatit přímo ve vezikulárních dutinách (obr. 2). V BSE obraze žádná z popisovaných morfologických forem apatitu nejeví viditelnou chemickou zonalitu. Bodové WDS analýzy prokázaly značnou chemickou homogenitu apatitu bez ohledu na jeho vývin/pozici (tab. 8). Při přepočtu empirického vzorce na bázi 5 kationtů v pozici Ca lze konstatovat stechiometrický obsah prvků v pozici P (2,997–3,014 *apfu*). Fosfor je většinou slabě zastupován Si (do 0,053 *apfu*), vápník pak nepatrně Fe (0,014–0,035 *apfu*), LREE (do 0,017 *apfu* La+Ce) a v několika analýzách i Mn (do 0,006 *apfu*). Pozice X je dominantně obsazena F (0,747–0,887 *apfu*), méně pak Cl (0,127–0,169 *apfu*); dopočet vody do plného obsazení pozice X OH skupinami dává 0,000–0,110 pfu OH. Klasifikačně tedy jde o fluorapatit. Průměrný (20 WDS analýz) empirický vzorec horninového apatitu z vulkanitu z Bílčic je $(\text{Ca}_{4,96}\text{Fe}_{0,03}\text{Ce}_{0,01})_{\Sigma 5,00}(\text{P}_{2,99}\text{Si}_{0,02})_{\Sigma 3,01}\text{O}_{12}(\text{F}_{0,80}\text{Cl}_{0,14}\text{OH}_{0,06})_{\Sigma 1,00}$, zatímco průměrný (13 WDS analýz) empirický vzorec jehlicovitého apatitu z dutin vulkanitu je $(\text{Ca}_{4,97}\text{Fe}_{0,02}\text{Ce}_{0,01})_{\Sigma 5,00}(\text{P}_{2,98}\text{Si}_{0,02})_{\Sigma 3,00}\text{O}_{12}(\text{F}_{0,79}\text{Cl}_{0,14}\text{OH}_{0,07})_{\Sigma 1,00}$.

Jílový minerál povléká jako nejmladší fáze některé vezikulární dutiny a zatlačuje sklovinu a nefelin (obr. 4a,b). V BSE obraze nevykazuje zonalitu. WDS analýzy ukázaly vysoké obsahy Al a Si, jejichž atomový poměr je blízký 1:1 (tab. 9). Hlavní komponentou je tedy pravděpodobně alofan či minerál z kaolinitové skupiny. Fáze ovšem není čistá – vzhledem k variabilním obsahům Ca, Na, NH_4 , K a Mg (tab. 9) lze předpokládat i proměnlivou příměs smektitové nebo i slídlivé komponenty.

Tabulka 1. Příklady chemického složení olivínu z lomu Bílčice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bázi 4 atomů kyslíku, obsahy koncových členů jsou v mol. %. b.d. – pod mezi stanovitelnosti.

Table 1. Examples of chemical composition of olivine from the quarry Bílčice. Contents of oxides in wt. %, *apfu* values are based on 4 atoms of oxygen per formula unit, contents of endmembers are in mol. %. b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	38,42	38,75	38,24	38,03	38,30	37,56	37,71	37,50	36,83	36,05	36,04	36,13
MgO	40,69	38,97	38,33	36,76	36,33	35,25	35,36	32,83	30,85	29,24	28,66	26,89
MnO	0,35	0,47	0,41	0,53	0,62	0,58	0,66	0,62	0,66	0,89	0,88	0,92
FeO	19,38	21,51	21,65	23,62	25,14	25,12	26,29	28,72	30,96	33,38	33,70	35,31
NiO	b.d.	b.d.	0,13	0,06	b.d.	0,12	b.d.	b.d.	0,09	b.d.	b.d.	b.d.
CaO	0,34	0,43	0,41	0,45	0,44	0,46	0,41	0,51	0,52	0,35	0,32	0,26
Celkem	99,18	100,12	99,17	99,45	100,82	99,08	100,42	100,17	99,91	99,92	99,61	99,51
Si	0,996	1,004	1,002	1,003	1,003	1,003	0,998	1,007	1,004	0,996	1,001	1,011
Mg	1,572	1,505	1,497	1,446	1,418	1,403	1,395	1,313	1,254	1,205	1,186	1,122
Mn	0,008	0,010	0,009	0,012	0,014	0,013	0,015	0,014	0,015	0,021	0,021	0,022
Fe	0,420	0,466	0,475	0,521	0,550	0,561	0,582	0,645	0,706	0,772	0,782	0,826
Ni	b.d.	b.d.	0,003	0,001	b.d.	0,003	b.d.	b.d.	0,002	b.d.	b.d.	b.d.
Ca	0,009	0,012	0,012	0,013	0,012	0,013	0,012	0,015	0,015	0,010	0,010	0,008
Catsum	3,004	2,996	2,998	2,997	2,997	2,997	3,002	2,993	2,996	3,004	2,999	2,989
Fo	78,6	76,0	75,6	73,1	71,5	71,0	70,0	66,6	63,5	60,3	59,6	56,9
Fa	21,0	23,5	24,0	26,3	27,8	28,4	29,2	32,7	35,7	38,6	39,3	41,9
Te	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	1,0	1,1

Tabulka 2. Příklady chemického složení pyroxenů ze základní matrice horniny (M) a z reakčního lemu kolem xenolitu (RL) z lomu Bílčice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* a obsahy Fe²⁺ a Fe³⁺ jsou vypočítány na bázi 6 atomů kyslíku a 4 kationtů na vzorcovou jednotku, obsahy koncových členů jsou v mol. %. b.d. – pod mezi stanovitelnosti.

Table 2. Examples of chemical composition of pyroxene from matrix of the igneous rock (M) and from reaction rim around a xenolith (RL) from the quarry Bílčice. Contents of oxides in wt. %, *apfu* values and contents of Fe²⁺ and Fe³⁺ are based on 6 atoms of oxygen and 4 cations per formula unit, contents of endmembers are in mol. %. b.d. – below detection limit.

An. č. Pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	M	M	M	M	M	M	M	RL	RL	RL	RL	RL
SiO ₂	43,30	48,05	46,18	49,19	44,83	51,12	48,41	53,85	54,59	52,74	53,18	52,02
TiO ₂	5,37	2,88	3,74	1,92	3,93	1,42	2,20	0,26	0,32	0,47	0,29	0,56
Al ₂ O ₃	9,74	6,16	7,97	6,09	8,04	3,65	5,04	0,24	0,15	0,54	b.d.	0,48
V ₂ O ₅	0,06	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,09	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Cr ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	0,25	b.d.	0,62	b.d.	b.d.	b.d.	0,23	b.d.	0,21
Fe ₂ O ₃	0,00	0,74	1,22	0,00	1,79	0,00	1,79	1,19	2,09	3,19	4,04	4,64
MgO	9,78	11,54	10,96	13,53	10,85	14,51	12,94	16,93	17,56	16,85	16,96	16,94
MnO	0,17	0,19	0,16	0,14	0,18	0,12	0,19	0,15	0,14	0,12	0,11	0,11
FeO	8,39	7,11	6,41	6,78	5,87	5,86	5,26	4,62	4,21	2,72	2,06	1,57
CaO	21,74	22,21	22,34	22,11	22,26	22,58	22,33	23,16	21,63	21,86	23,13	21,90
Na ₂ O	0,26	0,80	0,83	b.d.	0,72	b.d.	0,59	b.d.	0,48	0,56	0,39	0,60
F	b.d.	0,18	0,21	b.d.	0,15	0,19	b.d.	b.d.	b.d.	0,10	b.d.	b.d.
Celkem	98,81	99,86	100,02	100,01	98,81*	100,07	98,84	100,40	101,17	99,38	100,16	99,04
Si	1,652	1,801	1,731	1,822	1,705	1,889	1,821	1,971	1,976	1,948	1,950	1,928
Ti	0,154	0,081	0,105	0,054	0,112	0,039	0,062	0,007	0,009	0,013	0,008	0,016
Al	0,438	0,272	0,352	0,266	0,360	0,159	0,223	0,010	0,006	0,024	b.d.	0,021
V	0,002	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,003	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Cr	b.d.	b.d.	b.d.	0,007	b.d.	0,018	b.d.	b.d.	b.d.	0,007	b.d.	0,006
Fe ³⁺	0,000	0,021	0,034	0,000	0,051	0,000	0,051	0,033	0,057	0,089	0,111	0,129
Mg	0,556	0,645	0,613	0,747	0,615	0,799	0,726	0,924	0,947	0,928	0,927	0,936
Mn	0,005	0,006	0,005	0,004	0,006	0,004	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,004
Fe ²⁺	0,268	0,223	0,201	0,210	0,187	0,181	0,165	0,141	0,127	0,084	0,063	0,049
Ca	0,889	0,892	0,897	0,878	0,907	0,894	0,900	0,908	0,839	0,865	0,909	0,869
Na	0,019	0,058	0,060	b.d.	0,053	b.d.	0,043	b.d.	0,033	0,040	0,028	0,043
F	b.d.	0,021	0,025	b.d.	0,018	0,022	b.d.	b.d.	b.d.	0,011	b.d.	b.d.
Catsum	3,983	4,000	4,000	3,988	4,000*	3,983	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
En	32,5	36,6	35,8	40,7	36,0	42,6	40,5	46,8	49,5	49,4	48,8	50,5
Wo	51,9	50,7	52,5	47,8	53,1	47,7	50,3	46,0	43,8	46,1	47,9	46,9
Fs	15,6	12,7	11,8	11,4	10,9	9,7	9,2	7,2	6,7	4,5	3,3	2,6

* včetně 0,19 hm. % ZrO₂, resp. 0,004 apfu Zr, including 0.19 wt. % ZrO₂, resp. 0.004 apfu Zr

Tabulka 3. Příklady chemického složení spinelidu z lomu Bílčice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* a obsahy Fe^{2+} a Fe^{3+} jsou vypočítány na bázi 4 atomů kyslíku a 3 kationtů kovů na vzorcovou jednotku, obsahy koncových členů jsou v mol. %. b.d. – pod mezi stanovitelnosti.

Table 3. Examples of chemical composition of spinelide from the quarry Bílčice. Contents of oxides in wt. %, *apfu* values and contents of Fe^{2+} and Fe^{3+} are based on 4 atoms of oxygen and 3 cations of metals per formula unit, contents of endmembers are in mol. %. b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TiO ₂	20,83	19,99	19,97	19,91	18,89	18,81	18,85	18,51	18,42	18,22	18,13	17,91
Al ₂ O ₃	2,02	1,90	4,13	3,88	3,63	2,42	3,84	4,22	4,22	3,91	4,07	4,34
V ₂ O ₃	0,26	0,30	0,37	0,32	0,27	0,33	0,33	0,34	0,35	0,29	0,31	0,35
Cr ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	0,12	b.d.	b.d.	b.d.	0,63	0,63	b.d.	b.d.	b.d.
Fe ₂ O ₃	26,55	29,16	25,81	26,62	29,01	30,95	29,11	27,73	27,74	31,00	30,69	30,99
MgO	2,41	3,36	3,57	3,69	3,91	3,52	3,93	2,79	2,57	4,05	3,95	3,87
MnO	0,98	0,95	0,73	0,76	0,88	0,84	0,90	0,76	0,75	0,83	0,81	0,83
FeO	45,53	43,53	43,54	43,40	41,68	42,43	41,97	43,41	43,47	41,28	41,46	41,56
CoO	b.d.	0,07	b.d.	b.d.	0,07	0,07	b.d.	0,08	0,12	0,13	b.d.	b.d.
ZnO	0,16	b.d.	b.d.	b.d.	0,13	b.d.	b.d.	b.d.	0,17	0,17	0,15	0,12
Celkem	98,74	99,27	98,11	98,70	98,46	99,37	98,93	98,48	98,45	99,88	99,57	99,96
Ti	0,581	0,552	0,550	0,545	0,519	0,517	0,515	0,511	0,510	0,493	0,492	0,484
Al	0,088	0,082	0,178	0,166	0,156	0,104	0,164	0,183	0,183	0,166	0,173	0,184
V	0,008	0,009	0,011	0,009	0,008	0,010	0,010	0,010	0,010	0,008	0,009	0,010
Cr	b.d.	b.d.	b.d.	0,003	b.d.	b.d.	b.d.	0,018	0,018	b.d.	b.d.	b.d.
Fe ³⁺	0,741	0,805	0,711	0,730	0,798	0,851	0,796	0,766	0,768	0,839	0,833	0,838
Mg	0,133	0,184	0,195	0,200	0,213	0,192	0,213	0,153	0,141	0,217	0,212	0,207
Mn	0,031	0,030	0,023	0,023	0,027	0,026	0,028	0,024	0,023	0,025	0,025	0,025
Fe ²⁺	1,413	1,336	1,333	1,322	1,274	1,297	1,275	1,333	1,338	1,242	1,251	1,249
Co	b.d.	0,002	b.d.	b.d.	0,002	0,002	b.d.	0,002	0,004	0,004	b.d.	b.d.
Zn	0,004	b.d.	b.d.	b.d.	0,004	b.d.	b.d.	b.d.	0,005	0,005	0,004	0,003
Catsum	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Cl _s	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
Ulv	58,1	55,2	55,0	54,5	51,9	51,7	51,5	51,1	51,0	49,3	49,2	48,4
Ghn	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,4	0,3
Gal	3,1	3,0	2,3	2,3	2,7	2,6	2,8	2,4	2,3	2,5	2,5	2,5
Spl	0,9	1,2	6,7	6,0	4,7	2,6	5,5	6,8	6,4	5,3	5,8	6,4
Mgt	24,6	22,8	22,8	22,5	23,1	25,8	24,0	29,6	30,3	25,2	26,2	27,5
Mgf	12,5	17,2	12,8	14,0	16,6	16,6	15,8	8,5	7,7	16,4	15,5	14,4
Chr	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9	0,0	0,0	0,0
Celkem	100,0	99,8	100,0	100,0	99,8	99,8	100,0	99,8	99,6	99,6	100,0	100,0

Tabulka 4. Příklady chemického složení plagioklasu z lomu Bílčice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bázi 8 atomů kyslíku na vzorcovou jednotku, obsahy koncových členů jsou v mol. %. b.d. – pod mezí stanovitelnosti.

Table 4. Examples of chemical composition of plagioclase from the quarry Bílčice. Contents of oxides in wt. %, *apfu* values are based on 8 atoms of oxygen per formula unit, contents of endmembers are in mol. %. b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P ₂ O ₅	0,08	b.d.	b.d.	b.d.	0,15	b.d.	0,08	0,14	0,11	b.d.	0,16	b.d.
SiO ₂	58,55	60,50	59,40	58,38	58,80	59,74	58,10	56,24	55,58	53,85	52,75	50,11
Al ₂ O ₃	23,95	24,02	24,42	24,77	24,90	24,85	26,82	26,42	28,04	27,69	29,36	29,72
Fe ₂ O ₃	0,38	0,31	0,38	0,30	0,41	0,49	0,38	0,41	0,53	0,43	0,66	0,70
CaO	5,65	5,43	5,54	6,26	6,64	7,03	8,59	8,94	10,32	10,44	11,78	12,89
SrO	0,53	0,76	0,81	0,35	0,57	0,43	0,32	0,22	b.d.	b.d.	0,28	0,20
BaO	0,44	0,83	0,52	0,62	0,47	0,26	0,24	0,34	0,15	b.d.	b.d.	b.d.
Na ₂ O	7,29	7,35	7,23	7,26	6,78	6,81	6,43	5,82	5,51	5,24	4,42	3,67
K ₂ O	0,84	0,88	0,94	0,86	0,69	0,62	0,46	0,42	0,35	0,33	0,29	0,22
Celkem	97,71	100,08	99,24	98,80	99,41	100,23	101,42	98,95	100,59	97,98	99,70	97,51
P	0,002	b.d.	b.d.	b.d.	0,003	b.d.	0,002	0,003	0,002	b.d.	0,003	b.d.
Si	2,691	2,718	2,691	2,659	2,659	2,672	2,580	2,563	2,496	2,481	2,404	2,342
Al	1,297	1,272	1,304	1,330	1,327	1,310	1,404	1,419	1,484	1,504	1,577	1,637
Fe ³⁺	0,013	0,011	0,013	0,010	0,014	0,016	0,013	0,014	0,018	0,015	0,022	0,025
Ca	0,278	0,261	0,269	0,306	0,322	0,337	0,409	0,437	0,497	0,515	0,575	0,645
Sr	0,014	0,020	0,021	0,009	0,015	0,011	0,008	0,006	b.d.	b.d.	0,007	0,005
Ba	0,008	0,015	0,009	0,011	0,008	0,005	0,004	0,006	0,003	b.d.	b.d.	b.d.
Na	0,650	0,640	0,635	0,641	0,595	0,591	0,554	0,514	0,480	0,468	0,391	0,333
K	0,049	0,050	0,054	0,050	0,040	0,035	0,026	0,024	0,020	0,019	0,017	0,013
Celkem	5,001	4,986	4,996	5,016	4,983	4,978	4,999	4,986	5,000	5,003	4,996	5,000
An	27,8	26,5	27,2	30,0	32,9	34,4	40,8	44,2	49,7	51,4	58,1	64,8
Slw	1,4	2,0	2,2	0,9	1,5	1,1	0,8	0,6	0,0	0,0	0,7	0,5
Cn	0,8	1,5	0,9	1,1	0,9	0,5	0,4	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0
Ab	65,0	64,9	64,2	63,0	60,7	60,4	55,3	52,1	48,0	46,7	39,4	33,4
Or	4,9	5,1	5,5	4,9	4,1	3,6	2,6	2,5	2,0	1,9	1,7	1,3
Celkem	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabulka 5. Příklady chemického složení alkalického živce z lomu Bílčice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bázi 8 atomů kyslíku na vzorcovou jednotku, obsahy koncových členů jsou v mol. %. R – matrice vulkanitu, X – lem xenolitu, b.d. – pod mezi stanovitelnosti.

Table 5. Examples of chemical composition of alkali feldspar from the quarry Bílčice. Contents of oxides in wt. %, *apfu* values are based on 8 atoms of oxygen per formula unit, contents of endmembers are in mol. %. R – rock matrix, X – rim around the xenolith, b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pozice	R	R	R	R	R	R	X	X	X	X	X	X
P ₂ O ₅	0,14	b.d.	b.d.	b.d.	0,06	b.d.	0,09	b.d.	b.d.	0,07	b.d.	b.d.
SiO ₂	63,63	62,75	61,90	65,06	66,13	66,33	65,38	66,34	66,61	68,11	66,56	66,42
Al ₂ O ₃	20,24	20,75	21,16	19,87	18,91	19,06	15,72	17,07	17,37	15,80	17,40	16,74
Fe ₂ O ₃	0,41	0,48	0,28	0,34	0,72	0,60	3,55	2,13	1,92	2,01	1,68	2,24
MgO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,45	0,27	0,14	0,25	0,19	0,23
CaO	0,82	1,50	1,44	0,52	0,39	0,57	0,71	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
SrO	0,58	0,69	1,06	0,41	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
BaO	2,00	2,09	2,34	1,51	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Na ₂ O	6,78	6,58	6,52	6,37	6,16	5,77	5,29	5,06	4,96	4,44	4,45	4,25
K ₂ O	5,26	4,73	4,72	6,63	7,75	8,14	7,82	9,36	9,42	9,80	10,24	10,20
Celkem	99,86	99,57	99,42	100,71	100,12	100,47	99,01	100,23	100,42	100,48	100,52	100,08
P	0,003	b.d.	b.d.	b.d.	0,001	b.d.	0,002	b.d.	b.d.	0,001	b.d.	b.d.
Si	2,899	2,869	2,847	2,933	2,974	2,974	3,003	3,006	3,009	3,071	3,010	3,020
Al	1,087	1,118	1,147	1,056	1,002	1,007	0,851	0,912	0,925	0,840	0,927	0,897
Fe ³⁺	0,014	0,016	0,010	0,012	0,024	0,020	0,123	0,073	0,065	0,068	0,057	0,077
Mg	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,031	0,018	0,009	0,017	0,013	0,016
Ca	0,040	0,073	0,071	0,025	0,019	0,027	0,035	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Sr	0,015	0,018	0,028	0,011	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ba	0,036	0,037	0,042	0,027	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Na	0,599	0,583	0,581	0,557	0,537	0,502	0,471	0,445	0,434	0,388	0,390	0,375
K	0,306	0,276	0,277	0,381	0,445	0,466	0,458	0,541	0,543	0,564	0,591	0,592
Celkem	4,999	4,993	5,004	5,002	5,002	4,996	4,973	4,995	4,985	4,949	4,988	4,976
An	4,0	7,4	7,1	2,5	1,9	2,8	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Slw	1,5	1,9	2,8	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cn	3,6	3,8	4,2	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ab	60,2	59,0	58,2	55,6	53,7	50,4	48,9	45,1	44,5	40,8	39,8	38,8
Or	30,7	27,9	27,7	38,1	44,4	46,8	47,5	54,9	55,5	59,2	60,2	61,2
Celkem	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabulka 6. Příklady chemického složení nefelinu z lomu Bílčice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bázi 4 atomů kyslíku na vzorcovou jednotku, obsahy koncových členů jsou v mol. %. b.d. – pod mezí stanovitelnosti.

Table 6. Examples of chemical composition of nepheline from the quarry Bílčice. Contents of oxides in wt. %, *apfu* values are based on 4 atoms of oxygen per formula unit, contents of endmembers are in mol. %. b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P ₂ O ₅	0,08	0,08	0,08	b.d.	b.d.	b.d.	0,09	b.d.	0,09	0,09	b.d.	0,16
SiO ₂	52,13	50,89	52,54	50,63	49,28	53,67	51,56	51,67	50,88	51,47	52,40	51,73
Al ₂ O ₃	28,79	30,57	28,75	29,23	29,72	28,26	28,85	28,62	29,36	28,52	28,27	28,63
Fe ₂ O ₃	0,60	0,67	0,98	0,69	0,67	0,73	0,77	0,63	0,76	0,71	0,62	0,79
MgO	0,15	0,08	0,11	0,12	0,20	0,18	0,09	b.d.	0,08	0,07	b.d.	b.d.
CaO	b.d.	0,30	0,04	0,13	0,13	b.d.	0,14	0,19	0,36	0,14	0,19	0,35
Na ₂ O	17,07	16,79	16,76	16,25	15,97	16,55	16,16	16,09	15,79	15,63	15,61	14,77
K ₂ O	1,53	2,52	1,33	2,19	2,57	1,02	2,44	2,13	2,71	2,30	2,36	3,82
Celkem	100,34	101,90	100,59	99,24	98,54	100,41	100,10	99,33	100,03	98,93	99,45	100,25
P	0,001	0,001	0,001	b.d.	b.d.	b.d.	0,001	b.d.	0,001	0,001	b.d.	0,002
Si	1,201	1,163	1,205	1,183	1,164	1,226	1,195	1,203	1,182	1,203	1,216	1,201
Al	0,782	0,824	0,777	0,805	0,827	0,761	0,788	0,785	0,804	0,786	0,773	0,784
Fe ³⁺	0,010	0,011	0,017	0,012	0,012	0,012	0,013	0,011	0,013	0,013	0,011	0,014
Mg	0,005	0,003	0,004	0,004	0,007	0,006	0,003	b.d.	0,003	0,002	b.d.	b.d.
Ca	b.d.	0,007	0,001	0,003	0,003	b.d.	0,003	0,005	0,009	0,004	0,005	0,009
Na	0,762	0,744	0,745	0,736	0,731	0,733	0,726	0,726	0,711	0,708	0,703	0,665
K	0,045	0,073	0,039	0,065	0,077	0,030	0,072	0,063	0,080	0,069	0,070	0,113
Celkem	2,806	2,827	2,789	2,809	2,821	2,769	2,802	2,794	2,804	2,785	2,778	2,787
Ne	77,0	75,9	75,2	74,7	74,7	74,2	73,6	73,3	72,8	71,7	70,9	67,7
Ks	4,5	7,5	3,9	6,6	7,9	3,0	7,3	6,4	8,2	6,9	7,1	11,5
Qz	18,4	16,6	20,8	18,6	17,4	22,8	19,1	20,3	18,9	21,4	22,0	20,8

Tabulka 7. Chemické složení skloviny z vulkanitu z lomu Bílčice. Obsahy v hm. %. b.d. – pod mezí stanovitelnosti.

Table 7. Chemical composition of glass phase from volcanic rock from the quarry Bílčice. Contents in wt. %. b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8
SO ₃	0,07	b.d.	b.d.	0,08	b.d.	b.d.	0,07	0,07
P ₂ O ₅	0,30	0,25	0,23	b.d.	0,83	0,37	0,30	0,29
SiO ₂	58,18	57,55	57,97	56,51	56,31	55,23	56,48	54,98
Al ₂ O ₃	19,65	19,60	20,34	19,32	19,46	20,04	20,07	20,49
Fe ₂ O ₃	4,11	3,89	3,78	4,25	4,02	3,79	3,57	3,45
MgO	0,73	0,48	0,65	0,67	0,61	0,51	0,51	0,94
MnO	0,15	0,16	0,10	0,10	0,08	0,14	b.d.	0,14
CaO	0,54	0,46	0,49	0,54	0,49	0,49	0,53	0,52
Na ₂ O	3,47	1,95	3,67	3,10	3,01	1,65	1,32	b.d.
K ₂ O	7,25	7,26	7,13	6,99	7,17	6,62	6,54	6,83
F	0,35	0,19	0,28	0,26	0,23	0,12	0,27	0,34
Cl	0,37	0,38	0,36	0,61	0,57	0,54	0,59	0,53
Celkem	95,17	92,17	95,00	92,43	92,78	89,50	90,25	88,58

Tabulka 8. Příklady chemického složení apatitu (V – jehlicovitý apatit z dutin, R – apatit z horninové matrice) z lomu Bílčice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na bázi 5 kationtů v pozici Ca na vzorcovou jednotku, obsahy koncových členů jsou v mol. %. b.d. – pod mezí stanovitelnosti.

Table 8. Examples of chemical composition of apatite (V – acicular apatite from vesicles, R – apatite from rock matrix) from the quarry Bílčice. Contents of oxides in wt. %, apfu values are based on 5 cations in the position of Ca per formula unit, contents of endmembers are in mol. %. b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pozice	V	V	V	V	V	V	R	R	R	R	R	R
P ₂ O ₅	41,68	42,05	42,04	41,14	41,62	41,61	42,11	41,63	41,94	41,47	41,59	41,67
SiO ₂	0,25	0,24	0,20	0,56	0,34	0,42	b.d.	0,33	0,24	0,63	0,38	0,37
La ₂ O ₃	0,13	0,19	b.d.	0,20	0,17	0,13	0,13	b.d.	b.d.	b.d.	0,12	b.d.
Ce ₂ O ₃	0,43	0,16	0,21	0,25	0,31	0,27	0,20	0,15	0,16	0,17	0,29	0,21
MnO	b.d.	b.d.	0,09	0,08	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,08	b.d.	b.d.
FeO	0,28	0,25	0,24	0,49	0,40	0,50	0,27	0,34	0,24	0,24	0,22	0,20
CaO	54,80	55,23	55,25	54,42	54,77	54,81	54,92	55,06	55,14	55,31	55,11	55,03
F	2,93	2,82	3,12	3,04	3,17	2,84	3,32	2,87	2,87	3,00	2,98	3,11
Cl	1,01	0,96	0,88	1,00	1,07	1,08	0,87	0,96	1,15	0,94	0,91	0,92
O=F+Cl	-1,43	-1,37	-1,48	-1,47	-1,54	-1,41	-1,56	-1,39	-1,44	-1,44	-1,43	-1,48
Celkem	100,08	100,53	100,54	99,71	100,31	100,25	100,27	99,94	100,29	100,40	100,17	100,03
P	2,982	2,992	2,988	2,954	2,976	2,970	3,012	2,970	2,992	2,946	2,965	2,979
Si	0,021	0,020	0,017	0,047	0,029	0,035	b.d.	0,028	0,020	0,053	0,032	0,031
Subtot.	3,003	3,012	3,005	3,002	3,005	3,006	3,012	2,998	3,012	2,999	2,997	3,010
La	0,004	0,006	b.d.	0,006	0,005	0,004	0,004	b.d.	b.d.	b.d.	0,004	b.d.
Ce	0,013	0,005	0,006	0,008	0,010	0,008	0,006	0,005	0,005	0,005	0,009	0,006
Mn	b.d.	b.d.	0,006	0,006	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,006	b.d.	b.d.
Fe	0,020	0,018	0,017	0,035	0,028	0,035	0,019	0,024	0,017	0,017	0,015	0,014
Ca	4,963	4,972	4,970	4,945	4,957	4,952	4,971	4,971	4,978	4,972	4,972	4,979
F	0,783	0,749	0,828	0,815	0,847	0,757	0,887	0,765	0,765	0,796	0,794	0,831
Cl	0,149	0,141	0,129	0,148	0,158	0,159	0,128	0,141	0,169	0,138	0,134	0,136
OH	0,068	0,110	0,043	0,037	0,000	0,084	0,000	0,094	0,066	0,066	0,073	0,034
F-Ap	78,3	74,9	82,8	81,5	84,7	75,7	88,7	76,5	76,5	79,6	79,4	83,1
Cl-Ap	14,9	14,1	12,9	14,8	15,8	15,9	12,8	14,1	16,9	13,8	13,4	13,6
OH-Ap	6,8	11,0	4,3	3,7	0,0	8,4	0,0	9,4	6,6	6,6	7,3	3,4

Tabulka 9. Příklady chemického složení jílového minerálu z lomu Bílčice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bezvodou bázi 7 atomů kyslíku na vzorcovou jednotku. b.d. – pod mezi stanovitelnosti.

Table 9. Examples of chemical composition of a clay mineral from the quarry Bílčice. Contents of oxides in wt. %, *apfu* values are based on anhydrous basis of 7 atoms of oxygen per formula unit. b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P ₂ O ₅	b.d.	b.d.	2,02	0,22	0,30	0,33	2,52	2,88	0,06	0,48	0,90	0,98
SiO ₂	42,67	37,19	40,26	41,21	44,73	46,96	44,45	41,89	33,22	45,33	46,81	49,11
TiO ₂	0,23	0,24	0,06	0,46	0,74	0,22	0,12	0,12	0,49	0,89	0,11	0,51
Al ₂ O ₃	34,86	28,91	31,12	31,28	31,87	33,33	31,18	29,47	21,31	27,05	28,54	27,77
Fe ₂ O ₃	1,84	1,50	1,00	2,16	2,90	2,31	0,88	1,04	3,63	2,68	0,74	2,07
MgO	b.d.	b.d.	0,68	0,39	0,59	0,86	0,20	b.d.	0,45	0,62	b.d.	0,66
CaO	0,74	0,69	1,95	0,65	1,46	1,54	2,18	2,19	0,58	1,87	1,96	1,47
(NH ₄) ₂ O	b.d.	0,57	b.d.	0,29	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,70	b.d.	b.d.	0,45
Na ₂ O	0,11	b.d.	b.d.	b.d.	0,21	0,15	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
K ₂ O	0,33	0,06	0,05	0,21	0,29	0,31	0,14	0,10	0,38	0,24	0,07	0,12
Cl	0,06	0,09	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,16	b.d.	b.d.	0,10
Celkem	80,84	69,25	77,14	76,87	83,09	86,01	81,67	77,69	60,98	79,16	79,13	83,24
P	b.d.	b.d.	0,042	0,005	0,006	0,006	0,050	0,060	0,002	0,010	0,018	0,019
Si	2,003	2,034	1,995	2,042	2,071	2,085	2,066	2,066	2,138	2,197	2,220	2,245
Subtot.	2,003	2,034	2,037	2,047	2,077	2,091	2,116	2,126	2,139	2,207	2,238	2,264
Ti	0,008	0,010	0,002	0,017	0,026	0,007	0,004	0,004	0,024	0,032	0,004	0,018
Al	1,929	1,864	1,817	1,827	1,740	1,744	1,708	1,713	1,616	1,545	1,595	1,496
Fe	0,065	0,062	0,037	0,080	0,101	0,077	0,031	0,039	0,176	0,098	0,027	0,071
Mg	b.d.	b.d.	0,050	0,029	0,041	0,057	0,014	b.d.	0,043	0,045	b.d.	0,045
Ca	0,037	0,040	0,104	0,035	0,072	0,073	0,109	0,116	0,040	0,097	0,100	0,072
NH ₄	b.d.	0,043	b.d.	0,020	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,061	b.d.	b.d.	0,028
Na	0,010	b.d.	b.d.	b.d.	0,019	0,013	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
K	0,020	0,004	0,003	0,013	0,017	0,018	0,008	0,006	0,031	0,015	0,004	0,007
Subtot.	2,061	2,013	2,012	2,004	1,990	1,982	1,870	1,874	1,968	1,800	1,726	1,719
Cl	0,005	0,008	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,017	b.d.	b.d.	0,008

DISKUSE

Porovnání s publikovanými poznatky

Jak je patrné z obr. 5a–c, chemické složení olivínu, pyroxenu, alkalického živce a plagioklasu dobře odpovídá dosud publikovaným mikrosondovým analýzám jak z Bílčic (olivín – ULRYCH *et al.*, 2013), tak ze širší oblasti severomoravských a slezských neovulkanitů (olivín, pyroxen, plagioklas, alkalický živec – FOLTÝNOVÁ 2003). Větší rozdíly lze spatřovat v chemismu nefelínu, kdy nově získaná data z Bílčic jsou Qz komponentou nejbohatší v rámci severomoravských a slezských neovulkanitů (obr. 5d). To může souviset s celkově acidnějším charakterem studované horniny z Bílčic, v níž složení plagioklasu v průměru odpovídá andezínu, takže by mělo jít z pohledu petrografické klasifikace o kyselější litotyp, než jsou zde tradičně uváděné bazanity, nefelinity či alkalické bazalty. Složení skloviny z okolí vezikulárních dutin, promítnuté do TAS diagramu, ukazuje, že zbytková tavenina námi studované horniny měla složení až trachyandezitu či trachytu (60,7–62,6 hm. % SiO₂, 7,7–11,3 hm. % Na₂O+K₂O po přepočtu analýzy na 100 %). S těmito zjištěními korespondují i celohorninové chemické analýzy NAGYOVÉ (2011), spadající v TAS diagramu zčásti až do pole trachybazaltu. Důvodem posunu v chemismu nefelínu ale mohou být i analytické problémy související s těkavostí alkálií při elektronové mikroanalýze (WILKINSON a HENSEL 1994), ačkoliv námi získaná data se zdají být v pořádku z pohledu celkové stechiometrie (srov. BANNISTER a HEY 1931).

Nesoulad mezi základním optickým určením horninotvorných minerálů a klasifikací založenou na chemismu je pochopitelný v případech, kdy nebyly využity speciální optické metody vedoucí k přesnějšímu určení dané fáze. V tomto smyslu lze chápat jako „tradiční“ označení fází jako je „augit“, či „magnetit“, popisovaných GREGEROVOU 2004 in ŠTELCL *et al.* online; NAGYOVOU (2011) či ULRYCHEM *et al.* (2013). O využití optických metod k bližší identifikaci plagioklasů a pyroxenů (podpořenou i rentgen-difrakční identifikací) se pokusila NAGYOVÁ (2011). Jí uváděné údaje jsou však vnitřně nekonzistentní. Metodou měření úhlu zhášení v symetrické zóně a práškovou difrakcí údajně určila plagioklas jako bazický labradorit, v kontrastu s tím však uvádí, že plagioklas zháší rovnoběžně. Podobně augit určila jednak práškovou difrakcí, jednak na základě úhlu zhášení. Přesto však autorka uvádí, že minerál zháší rovnoběžně (!).

Poznámky ke genezi

Zvýšený obsah Fe³⁺, zaznamenaný v obou minerálních fázích (alkalický živec i klinopyroxen) podílejících se na složení reakčního lemu kolem křemenem bohatého xenolitu, naznačuje zvýšený obsah Fe³⁺ v protolitu tohoto xenolitu. Nejpravděpodobnější je, že původně šlo o navětralou horninu se zvýšeným zastoupením *limonitu*. Analogické chování, pokud jde o Fe³⁺, bylo zjištěno i u alkalických živců v okolí xenolitu uzavřeném v alkalickém bazaltu od Prackovic v Českém středohoří (DOLNÍČEK *et al.* 2022). Obohacení draslíkem u alkalického živce v reakčním lemu signalizuje také vysoký obsah K v protolitu xenolitu. Pokud jde o charakter protolitu xenolitu z Bílčic, mohlo jít buď o úloмок sedimentární horniny z podložního kulmu (xenolity této proveniencie jsou velmi hojné hlavně v extruzivních produktech vulkanické činnosti na Bruntálsku; např. BARTH 1970, 1977) nebo o horninový valoun z pleistocenních štěrků řeky Moravice, stržený tekoucí lávou.

Výskyt bohatých drúz jehlic apatitu ve vezikulárních dutinách vulkanitu by mohl naznačovat jeho sekundární (hydrotermální) původ z pozdně magmatických či postmagmatických fluid. Zjištěné poznatky však takový scénář vylučují: 1) Jehlice apatitu jsou zčásti uzavírány i ve sklovině (obr. 3e,f); 2) veškerý zjištěný apatit (v horninové základní hmotě, ve vyrostlících olivínu a pyroxenu, i v dutinách) má shodný chemismus (tab. 8); 3) chybí alterace málo stabilních fází (olivínu, pyroxenu, skloviny) okolo *všech* dutin s apatitem. Z uvedeného tedy vyplývá, že i vznik apatitu ve vezikulárních dutinách souvisel s magmatickou krystalizací hostitelské horniny. Tomu by nasvědčovaly i zvýšené obsahy P, F a Cl,

zaznamenané v analýzách skloviny (tab. 7). Zjištěná změna morfologie apatitu během krystalizace – od víceméně izometrických zrn uzavíraných ve vyrostlicích olivínu a pyroxenu až k dlouhým jehlicím a vezikulárních dutinách – může být zapříčiněna různými faktory. V literatuře je v této souvislosti nejčastěji zmiňována míra podchlazení krystalizující taveniny, přičemž izometrické krystaly apatitu vznikají za víceméně rovnovážných podmínek při pomalém chladnutí, zatímco dlouze jehlicovité či kostrovité krystaly při rychlé krystalizaci indukované velkým podchlazením (např. WYLLIE *et al.* 1962; PICCOLI a CANDELA 2002; WEBSTER a PICCOLI 2015). Další práce zmiňují i možnou roli koexistující fluidní fáze při vzniku jehlicovitého apatitu (např. GIRAULT 1966; CAPDEVILA 1967; BARGOSI *et al.* 1999), jež je naznačena i v našem případě nárůstem velikosti zrna horninotvorných součástí směrem k dutině. V námi studované hornině lze dále uvažovat změny tlaku či změnu acidity zbytkové taveniny během krystalizace horniny. Naproti tomu lze vzhledem k velmi uniformnímu složení různých morfologických forem apatitu v našem případě vyloučit významnější kontaminaci externí fluidní fází během celého období krystalizace horniny. Z pohledu vzájemných proporcí těkavých komponent (F, Cl, H₂O) byl výstup matečného magmatu zemskou kůrou i následně rozlité lávy po zemském povrchu v zásadě geochemicky uzavřeným systémem.

ZÁVĚR

V lomu Bílčice byly nově zjištěny bohaté drúzy jehlicovitého apatitu ve vezikulárních dutinách pleistocenních alkalických láv. Výskyt byl zaznamenán na horní etáži lomu, tj. ve svrchní dílčí efuzi lávového proudu Chříbského lesa. Nerozná asociace dutin a přilehlé horniny byla studována pomocí elektronové mikrosondy. Apatit z dutin i horninové matrice vykazuje velmi homogenní a stechiometrické složení s převahou fluorapatitové složky (F-Ap₇₅₋₈₉Cl-Ap₁₃₋₁₇OH-Ap₀₋₁₁). Okolní hornina je tvořena forsteritem (Fo₅₇₋₇₉Fa₂₁₋₄₂Te₀₋₁), klinopyroxenem (Wo₄₈₋₅₄En₃₃₋₄₁Fs₉₋₁₅), ulvöspinelem (Ulv₄₈₋₅₈Mgt₂₃₋₃₀Mgf₈₋₁₇Spn₁₋₇Ga₁₂₋₃), plagioklasem (Ab₃₃₋₆₅An₂₃₋₆₅Or₁₋₁₈Slw₀₋₂Cn₀₋₁), alkalickým živcem (Ab₄₈₋₆₀An₂₋₇Or₂₈₋₄₇Slw₀₋₃Cn₀₋₄), nefelinem (Ne₆₈₋₇₇Ks₃₋₁₂Qz₁₇₋₂₃) a sklovinou obohacenou P, F a Cl. Nárůst velikosti zrna horninotvorných minerálů směrem k vezikulární dutině podtrhuje rostoucí roli těkavých komponent během krystalizace magmatu. Uniformní složení různých forem apatitu poukazuje na uzavřený geochemický systém a genetickou souvislost s magmatickými procesy, a to včetně dutinových krystalizátů. Externí post-magmatická fluida působila až při vzniku jílového minerálu zatlačujícího nefelín a sklovinu. Dále byl při studiu na sondě zjištěn drobný křemenem bohatý xenolit s reakčním lemem na styku s vulkanitem, tvořeným alkalickým živcem a klinopyroxenem. Posuny v chemismu obou těchto fází naznačují, že protolít xenolitu se vyznačoval vyššími obsahy Fe³⁺ a K.

PODĚKOVÁNÍ

Prof. A. Přichystalovi (MU Brno) jsme zavázáni za zapůjčení špatně dostupné rukopisné literatury. Výzkum byl realizován za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2024-2028/1.II.a, 00023272). J. Jiráskovi (UP Olomouc) a anonymnímu recenzentovi jsme zavázáni za konstruktivní připomínky, které pomohly vylepšit původní verzi rukopisu.

LITERATURA

- BANNISTER, F. A., HEY, M. H., 1931: A chemical, optical, and X-ray study of nepheline and kaliophilite. – *Mineralogical Magazine*, 22, 569–608.
- BARGOSI, G. M., DEL MORO, A., FERRARI, M., GASPAROTTO, G., MORDENTI, A., ROTTURA, A., TATEO, F., 1999: Caratterizzazione petrografico-geochimica e significato dell'associazione monzogranito-inclusi femici microgranulari della Vetta di Cima d'Asta (Alpi Meridionali). – *Mineralogica et Petrographica Acta*, 42, 155–179.

- BARTH, V., 1970: Uhlířský vrch v Nížkém Jeseníku. Dějiny výzkumu a nové geologické poznatky. – Sborník prací Přírodovědecké fakulty University Palackého v Olomouci, 29, 5–56.
- BARTH, V., 1977: Čedičové vulkány střední části Nížkého Jeseníku. – Časopis pro mineralogii a geologii, 22, 4, 279–291.
- CAPDEVILA, R., 1967: Repartition et habitus de l'apatite dans le granite de Neira (Espagne): comparaisons avec des données expérimentales et applications pétrogénétiques. – Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris, 264, 1694–1697.
- DOLLASE, W. A., THOMAS, W. M., 1978: The crystal chemistry of silica-rich, alkali-deficient nepheline. – Contributions to Mineralogy and Petrology, 66, 311–318.
- DOLNÍČEK, Z., STÖHR, P., ULMANOVÁ, J., VRTIŠKA, L., 2022: Kausticky metamorfovaný pískovcový xenolit a doprovodná hydrotermální mineralizace z neovulkanitů od Prackovic nad Labem (České středohoří). – Bulletin Mineralogie Petrologie, 30, 1, 95–107.
- FOLTÝNOVÁ, R., 2003: Geochemicko-petrografická charakteristika neovulkanitů severní Moravy a Slezska. – MS, diplomová práce, MU Brno.
- GIRAULT, J., 1966: Sur la genèse des cristaux d'apatite des carbonatites d'Oka (Canada). – Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris, 26, 97–100.
- GREIG, J. W., BARTH, T. F. W., 1938: The system $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-2\text{SiO}_2$ (nephelinite, carnegieite) $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-6\text{SiO}_2$ (albite). – American Journal of Science, 35A, 93–112.
- HAMILTON, D. L., 1961: Nephelines as crystallization temperature indicators. – Journal of Geology, 69, 321–329.
- KOLOFIKOVÁ, O., 1972: Magnetické vlastnosti čediče lávového proudu chřibského lesa vulkánu Velkého Roudného a pokus o jejich geologickou interpretaci. – MS diplomová práce, UJEP Brno.
- KRYSTEK, I., 1963: Několik poznámek o průběhu vulkanické činnosti Velkého Roudného. – Zprávy Slezského Ústavu ČSAV, přírodní vědy, 125-B, 11–14.
- MORIMOTO, N., FABRIES, J., FERGUSON, A. K., GINZBURG, I. V., ROSS, M., SEIFERT, F. A., ZUSSMAN, J., 1989: Nomenclature of pyroxenes. – Canadian Mineralogist, 27, 143–156.
- NAGYOVÁ, G., 2011: Petrografická charakteristika neovulkanitů Slezska. MS, diplomová práce, VŠB-TUO Ostrava.
- PICCOLI, P. M., CANDELA, P. A., 2002: Apatite in igneous systems. – Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 48, 1, 255–292.
- POUCHOU, J. L., PICOIR, F., 1985: "PAP" ($\phi\rho Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. – In: ARMSTRONG, J. T. (ed.): Microbeam Analysis, 104–106. San Francisco Press, San Francisco.
- RAPPRICH, V., SKÁČELOVÁ, Z., 2022: Projevy interakcí vulkanické aktivity Velkého Roudného s vodním prostředím. – Geoscience Research Reports, 55, 1, 3–10.
- SLIVKA, V., VAVRO, M., 1996: The significance of textural and structural properties of North-Moravian basaltoids for the manufacture of mineral fibres. – Ceramics-Silikáty, 40, 4, 149–159.
- ULRYCH, J., ACKERMAN, L., BALOGH, K., HEGNER, E., JELÍNEK, E., PĚČSKAY, Z., PRICHYSTAL, A., UPTON, B. G. J., ZIMÁK, J., FOLTÝNOVÁ, R., 2013: Plio-Pleistocene basanitic and melilititic series of the Bohemian Massif: K-Ar ages, major/trace element and Sr-Nd isotopic data. Chemie der Erde, 73, 429–450.
- VOCILKA, M., 1987: Geologické poměry čedičového proudu Chřibského lesa u Slezské Harty. – Sborník GPO, 32, 81–88.
- WEBSTER, J. D., PICCOLI, P. M., 2015: Magmatic apatite: A powerful, yet deceptive, mineral. – Elements, 11, 3, 177–182.
- WILKINSON, J. F. G., HENSEL, H. D., 1994: Nephelines and analcimes in some alkaline igneous rocks. Contributions to Mineralogy and Petrology, 118, 79–91.
- WYLLIE, P. J., COX, K. G., BIGGAR, G. M., 1962: The habit of apatite in synthetic systems and igneous rocks. Journal of Petrology, 3, 238–242.

INTERNETOVÉ ZDROJE

- BURIÁNEK, D.: Bílčice – činný lom. Databáze významných geologických lokalit: 4212 [online]. Praha: Česká geologická služba, 2020 [přístup 2024-05-02]. Dostupné na: <https://lokality.geology.cz/4212>
- ŠTELCL, J., VÁVRA, V., ZIMÁK, J.: Lokalita Bílčice. Mineralogicko-petrografický exkurzní průvodce po území Moravy a Slezska. [online]. Brno, 2009 [přístup 2024-05-01]. Dostupné na: <http://pruvodce.geol.morava.sci.muni.cz/Bilcice/>