

<https://doi.org/10.46861/bmp.30.095>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Kausticky metamorfovaný pískovcový xenolit a doprovodná hydrotermální mineralizace z neovulkanitů od Prackovic nad Labem (České středohoří)

Pyrometamorphosed sandstone xenolith and associated hydrothermal mineralization from neovolcanites at Prackovice nad Labem (České středohoří Mts., Czech Republic)

ZDENĚK DOLNÍČEK^{1)*}, PETR STÖHR²⁾, JANA ULMANOVÁ¹⁾ A LUBOŠ VRTIŠKA¹⁾

¹⁾Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9;
*e-mail: zdenek.dolnicek@nm.cz

²⁾SG Geotechnika, Geologická 4, 152 00 Praha 5 - Barrandov

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). Bull Mineral Petrolog 22(1): 95-107 ISSN 2570-7337

Abstract

Technical workings realized near Prackovice nad Labem (České středohoří Mts., Czech Republic) yielded new findings about rocks and mineral veins present in Cenozoic volcanites. The studied xenolith represents a piece of pyrometamorphosed and hydrothermally altered sandstone enclosed in an alkaline basic volcanic rock. The core of the xenolith contains relicts of clasts of quartz, embedded in a matrix composed of laths of quartz (probably pseudomorphs of quartz after tridymite) and symplectitic intergrowths of alkali feldspar (sanidine $Or_{57-81}Ab_{19-41}An_{0-1}$) and quartz. This core is rimmed by drusy overgrowths of sanidine and crystals of fluorapatite, aegirine-augite and titanite. All silicates are characterized by a significant substitution of Al by Fe^{3+} , which is probably the result of high content of Fe^{3+} in the sandstone protolith (perhaps in *limonite* cement). The marginal part of xenolith is formed by zeolites (chabazite-K and phillipsite-K), saponite and calcite. These minerals likely crystallized at very low temperatures (<100 °C) in a vug, leaving after volatiles, which were expelled during pyrometamorphism of the xenolith. In addition, we have studied tiny hydrothermal veinlets hosted by neovolcanites, composed of a mixture of Al-rich phyllosilicates (probably a mineral from the kaolinite group and smectite) and strongly substituted carbonates including siderite ($Sid_{55-91}Mag_{3-38}Cal_{5-31}Rdc_1$) and calcite ($Cal_{58-90}Mag_{8-41}Sid_{1-6}$).

Key words: neovolcanics, xenolith, pyrometamorphism, zeolites, aegirine-augite, smectite, siderite, České středohoří Mts.

Obdrženo 11. 5. 2022; přijato 27. 6. 2022

Úvod

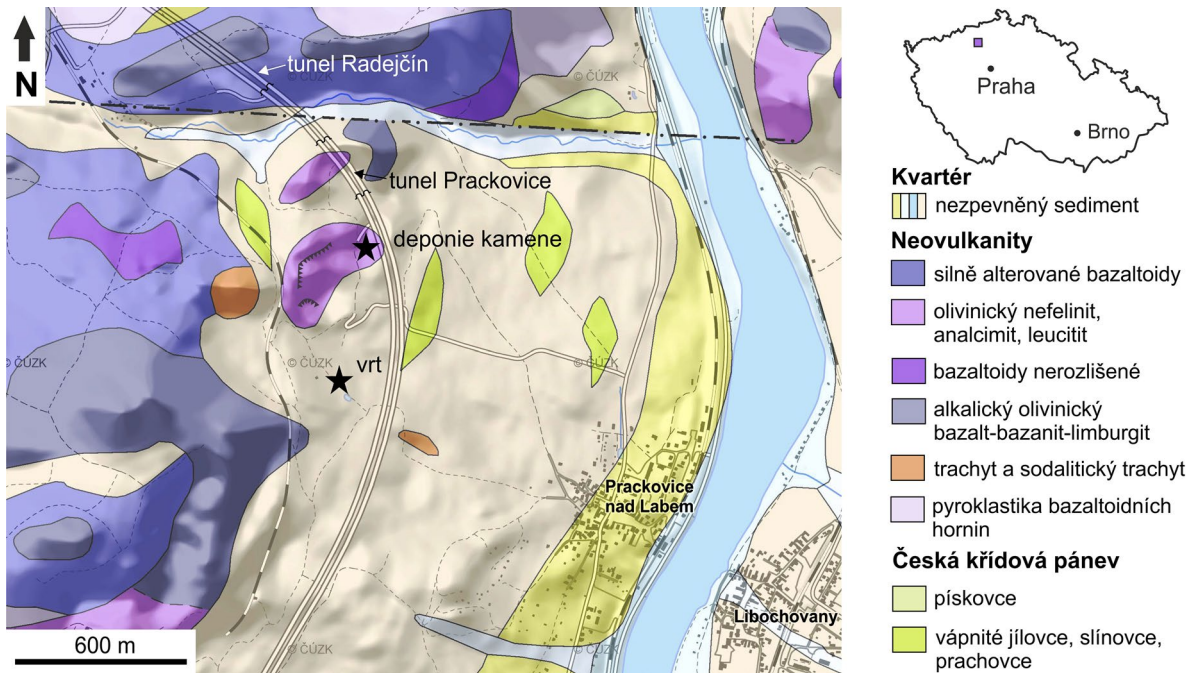
Ve druhé polovině roku 2021 byl během geologického a geotechnického monitoringu v oblasti dálnice D8 získán dokladový mineralogický a horninový materiál. Lokalita je situována nad obcí Prackovice nad Labem v geologicky, petrologicky i mineralogicky pozoruhodné centrální části Českého středohoří. V tomto příspěvku přinášíme výsledky výzkumu mineralogicky zajímavějších vzorků odebraných ze dvou lokalit.

První místo odběru vzorků se nachází v oblasti mezi prackovickou mostní estakádou a tunelem Prackovice (obr. 1). Jedná se o oblast dočasné deponie kamene vytěženého při ražbě dálničních tunelů Prackovice a Radejčín, na kterou byla vyvezena rubanina pestrébarvných tufů, bazaltoidů a vápnitých jílovců/slínovců. V průběhu roku 2021 započaly ve zmíněném místě práce na odlehčení svahu, kdy byl výše zmíněný materiál odvezen na skládku inertního odpadu. Během těchto prací byl v podloží deponie odkryt sopouch, který tvořila sloupcovitě až nepravidelně odlučná bazaltoidní hornina (obr. 2a,b). Kvůli hrozbě zasakování povrchových vod proběhlo odtěžení tohoto tělesa pod úroveň terénu a následně utěsně-

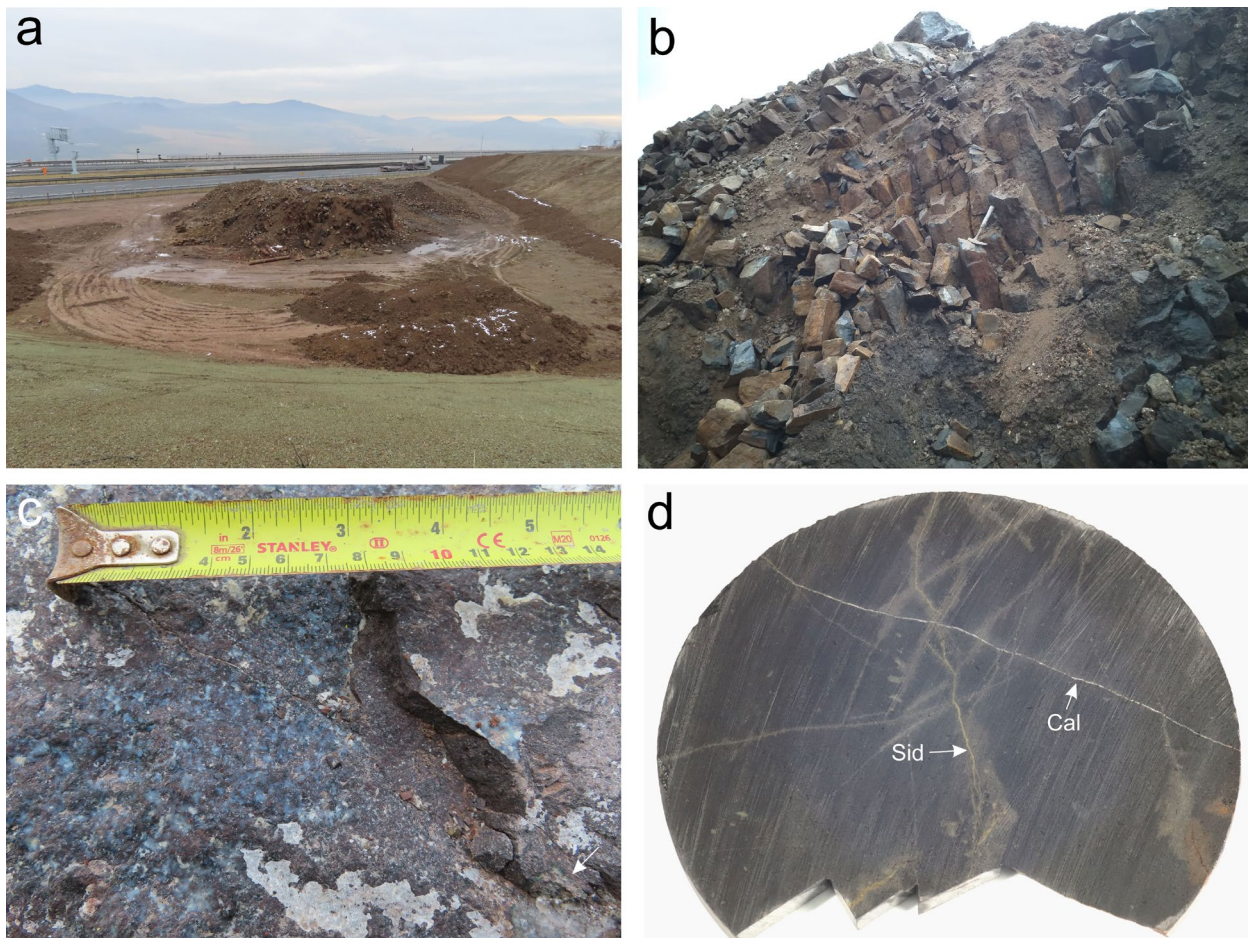
ní vzniklé deprese jílem. Ještě před těmito pracemi byla uskutečněna v polovině prosince 2021 návštěva lokality a odběr vzorků jak z tělesa sopouchu, tak ze zbytkového materiálu pocházejícího z ražby tunelů.

Druhá část studovaných vzorků pochází z jádrového vrtu situovaného přibližně 200 m jz. od pražské opěry prackovické mostní estakády (obr. 1), který byl vyvrtán v rámci rozšíření geotechnického monitoringu v okolí dálnice D8. Z tohoto vrtu byla vzorkována masivní černá vulkanická hornina s lokálně přítomnými hydrotermálními žilkami nahnědlé barvy.

Geologicky patří zájmová oblast do české křídové pánve a k neovulkanitům Českého středohoří s jejich kvartérním pokryvem (obr. 1). Podloží oblasti je tvořeno marinními svrchnokřídovými (coniac - santon) sedimenty. Litologicky jde zejména o vápnité jílovce až slínovce březenského souvrství, méně pak o křemenné, arkóзовé či jílovité „kvádrové“ pískovce s vložkami jílovců a prachovců merboltického souvrství. Křídové sedimenty jsou pronikány tělesy neovulkanitů, které v oblasti Českého středohoří vykazaly K-Ar věky většinou mezi 40 a 18 Ma (svrchní eocén až spodní miocén; Ulrych et al. 1999). Jde o inter-



Obr. 1 Geologická pozice studované lokality. Podkladová mapa upravena z elektronické verze geologické mapy ČR 1:50 000 (<https://mapy.geology.cz/geocr50/>).



Obr. 2 Studovaná lokalita a makroskopický vzhled blíže studovaných vzorků. a - pohled od západu na již téměř zcela aplanovanou deponii vytěženého kamene. V centrální části záběru vystupuje drobný vypreparovaný výchoz bazaltoidní horniny. b - sloupcovitý rozpad bazaltoidní horniny z odkrytého výchozu. c - vzhled vzorku PRA-1 s nápadnou drobnou světlou uzavřeninou se zeleným lemem (šipka) a směrně rozlomenou vlasovou žilkou s výplní Al-fylosilikátu (modrošedý) a kalcitu (bílý). d - křížení starší hnědé sideritové žilky (Sid) a mladší bílé kalcitové žilky (Cal) na řezné ploše vrtného jádra ze vzorku PRA-2. Průměr jádra je 10 cm. Snímky a-c P. Stöhr (stav v prosinci 2021), snímek d J. Ulmanová.

mediální, bazické až ultrabazické vulkanity s alkalickým charakterem, geneticky vázané na vývoj oháreckého riftu (Cajz ed. 1996; Ulrych et al. 1999, 2001). Litologicky v zájmové oblasti převažují různé typy bazaltoidů včetně bazaltů, bazanitů a nefelinitů a méně i trachytických hornin a jejich tufů. Vulkanity jsou často různou měrou postmagmaticky alterované. Kvartérní pokryv je reprezentován zejména kamenitohlinými svahovinami. Úložné poměry a vztahy horninových těles jsou v zájmové oblasti komplikované, často modifikované i svahovými pohyby.

Metodika

Z odebraných makrovzorků byly zhotoveny nábrusy, jejichž prvotní dokumentace byla provedena na odrazovém polarizačním mikroskopu Nikon Eclipse ME600.

Následně byl nábrus napařen uhlíkovým filmem o tloušťce 30 nm a studován na elektronové mikrosondě Cameca SX-100 v laboratoři Mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze (operátor Z. Dolníček). 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. Kvantitativní analýzy minerálů byly provedeny při urychlovacím napětí 15 kV, proudu svazku 20 nA (titanit), 10 nA (pyroxeny, apatit, fylosilikáty, živce), respektive 5 nA (zeolity, karbonáty) a při průměru elektronového svazku 0.7 μm

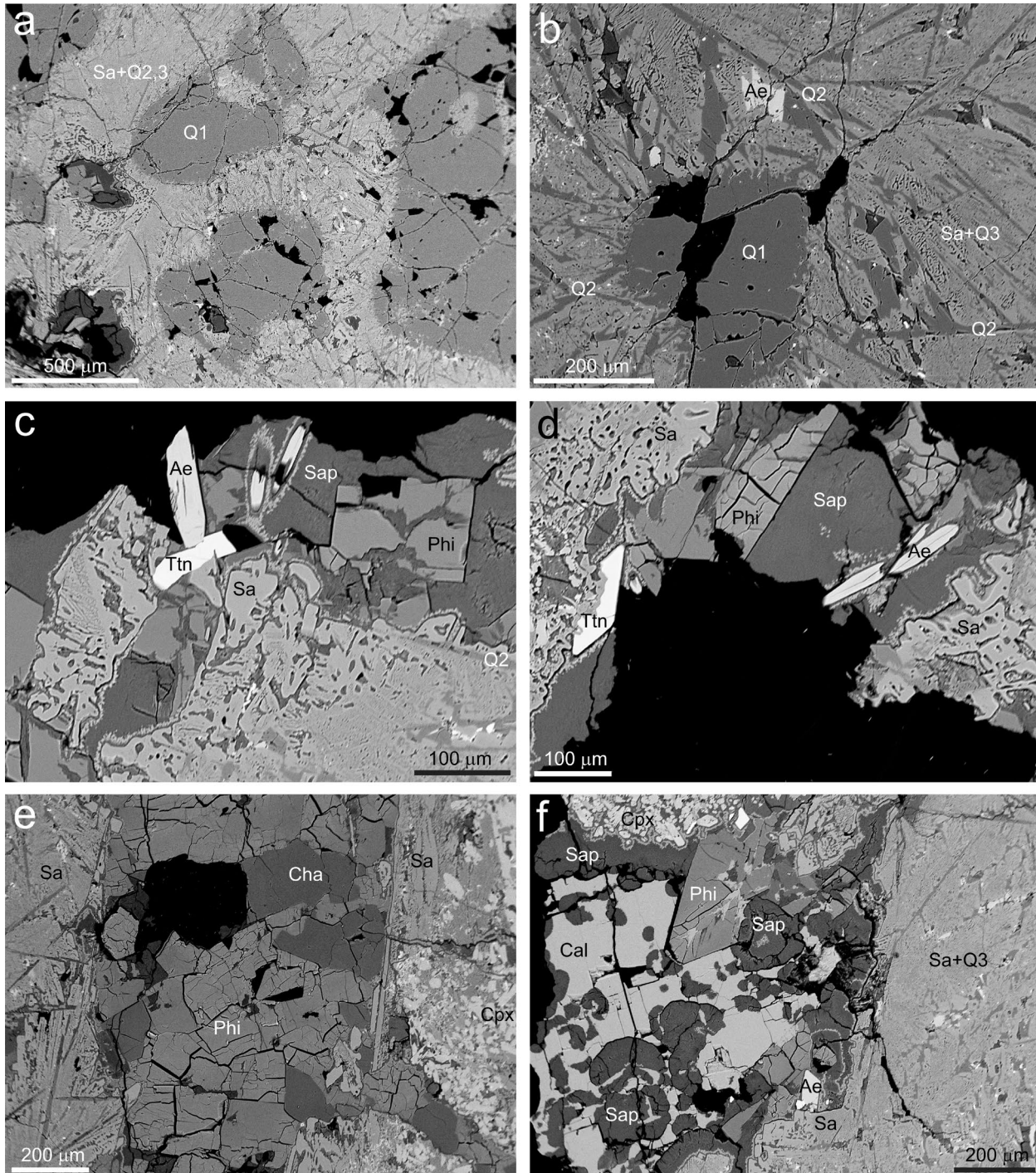
(titanit), 2 μm (pyroxeny, apatit, fylosilikáty, živce), 5 μm (karbonáty), respektive 10 μm (zeolity). V titanitech byly měřeny obsahy Al, Ca, Ce, F, Fe, Hf, La, Mg, Na, Nb, Nd, Pb, Pr, Sc, Si, Sn, Ta, Ti, Y a Zr, v pyroxenech Al, Ba, Ca, Cl, Cr, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, P, Pb, Si, Sr, Ti, V a Zn, v živcích Al, Ba, Ca, Cs, Cu, F, Fe, Mg, Mn, N, K, Na, P, Pb, Rb, Si, Sr a Zn, v apatitech Al, As, Ba, Ca, Ce, Cl, F, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Pb, S, Si, Sr, Y a Zn, ve fylosilikátech Al, Ba, Ca, Co, Cs, Cu, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Si, Sr a Zn a v karbonátech Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Si, Sr a Zn. Použité standardy a analytické čáry: albit (NaKa), almandin (AlKa, FeKa), antimonit (SbLa), apatit (PKa, CaKa), baryt (BaL β), BN (NKa), celestin (SKa, SrL β), CePO₄ (CeLa), Co (CoKa), Cr₂O₃ (CrKa), CrTa₂O₆ (TaLa), Cs-sklo (CsLa), diopsid (MgKa), halit (ClKa), Hf (HfMa), chalkopyrit (CuKa), klinoklas (AsLa), LaPO₄ (LaLa), LiF (FKa), Nb (NbLa), NdPO₄ (NdL β), Ni (NiKa), PrPO₄ (PrL β), Rb-Ge-sklo (RbLa), rodonit (MnKa), sanidin (AlKa, KKa, SiKa), scheelit (WLa), ScVO₄ (ScKa), Sn (SnLa), TiO₂ (TiKa), UO₂ (UMa), V (VKa), vanadinit (PbMa), wollastonit (CaKa, SiKa), YVO₄ (YLa), zinkit (ZnKa), zirkon (ZrLa). Měřicí časy na piky se obvykle pohybovaly mezi 10 a 30 s (pro N 150 s), měřicí časy pozadí trvaly polovinu času měření na piky. Načtená data byla přepočítána na hm. % s použitím standardní PAP korekce (Pouchou, Pichoir 1985). Obsahy prvků, které nejsou uvedeny v níže prezentovaných tabulkách, byly ve všech případech pod mezí stanovitelnosti.

Tabulka 1 Chemické složení egirín-augitu (Ae) a magmatického klinopyroxenu (Cpx) z uzavřené (U) a okolní vulkanické horniny (V) z Prackovic n. L. Obsahy oxidů jsou v hm. %, hodnoty apfu a rozpočet Fe jsou kalkulovány na základě 6 atomů kyslíku a 4 kationtů, obsahy koncových členů jsou v mol. %. bdl - pod mezí stanovitelnosti, alk - Na+K+Ca+Sr+Ba

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Ae-U	Ae-U	Ae-U	Ae-U	Ae-U	Ae-U	Ae-U	Ae-U	Cpx-V	Cpx-V	Cpx-V	Cpx-V	Cpx-V	Cpx-V
Vzorek	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-2	PRA-1	PRA-2	PRA-1	PRA-1
SiO ₂	53.18	52.86	53.09	52.12	51.96	52.01	51.85	51.96	51.99	43.25	53.61	46.90	53.32	41.67
TiO ₂	1.65	1.04	3.30	1.39	2.65	3.80	5.42	4.49	2.00	4.46	0.11	2.84	0.73	5.15
Al ₂ O ₃	0.17	0.17	0.19	0.12	0.11	0.20	0.23	0.21	1.40	8.98	0.10	5.82	0.23	10.29
V ₂ O ₃	0.11	0.10	bdl	0.08	bdl	0.08	bdl	0.07	bdl	bdl	0.11	bdl	0.07	bdl
Fe ₂ O ₃	8.23	10.28	10.72	11.78	12.10	14.55	14.25	15.30	0.42	3.65	1.41	4.27	1.93	5.44
MgO	9.74	9.60	8.70	8.73	8.78	6.61	4.61	4.80	14.35	11.16	15.43	12.97	13.50	10.47
MnO	0.46	0.48	0.40	0.69	0.65	0.67	0.61	0.63	0.19	0.10	0.18	0.13	0.21	0.08
FeO	5.38	4.29	3.82	3.93	3.04	3.90	5.61	5.21	5.81	4.56	3.31	3.42	6.65	2.81
CaO	17.38	18.26	14.36	15.34	14.79	11.75	8.96	9.41	23.60	23.26	24.51	23.16	22.77	23.52
Na ₂ O	4.23	4.07	6.11	5.12	5.65	7.38	8.83	8.56	0.47	0.30	0.39	0.50	0.93	0.59
Celkem	100.53	101.13	100.69	99.30	99.74	100.96	100.36	100.64	100.22	99.71	99.15	99.99	100.34	100.02
Si ⁴⁺	1.986	1.969	1.974	1.977	1.957	1.950	1.962	1.963	1.925	1.633	1.987	1.750	1.980	1.570
Ti ⁴⁺	0.046	0.029	0.092	0.040	0.075	0.107	0.154	0.128	0.056	0.127	0.003	0.080	0.020	0.146
Al ³⁺	0.007	0.007	0.008	0.005	0.005	0.009	0.010	0.009	0.061	0.400	0.004	0.256	0.010	0.457
V ³⁺	0.003	0.003	bdl	0.002	bdl	0.002	bdl	0.002	bdl	bdl	0.003	bdl	0.002	bdl
Fe ³⁺	0.231	0.288	0.300	0.336	0.343	0.411	0.406	0.435	0.012	0.104	0.039	0.120	0.054	0.154
Mg ²⁺	0.542	0.533	0.482	0.494	0.493	0.370	0.260	0.270	0.792	0.628	0.853	0.722	0.748	0.588
Mn ²⁺	0.014	0.015	0.012	0.022	0.021	0.021	0.020	0.020	0.006	0.003	0.006	0.004	0.007	0.003
Fe ²⁺	0.168	0.134	0.119	0.125	0.096	0.122	0.177	0.164	0.180	0.144	0.103	0.107	0.206	0.089
Ca ²⁺	0.695	0.729	0.572	0.623	0.597	0.472	0.363	0.381	0.936	0.941	0.974	0.926	0.906	0.950
Na ⁺	0.306	0.294	0.440	0.376	0.413	0.536	0.648	0.627	0.033	0.022	0.028	0.036	0.067	0.043
Celkem	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Na+Ca	1.001	1.022	1.012	0.999	1.010	1.008	1.011	1.008	0.970	0.962	1.001	0.962	0.973	0.993
Ae	24.0	29.5	32.5	34.2	35.8	44.0	46.5	48.4	0.5	2.7	3.9	4.1	4.8	6.0
Jd	0.8	0.8	0.9	0.5	0.5	0.9	1.2	1.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
Quad	75.2	69.8	66.6	65.2	63.7	55.0	52.4	50.6	99.5	97.3	95.7	95.9	95.2	94.0

Ramanovská měření byla provedena *in situ* v nábrusu za pomoci Ramanova disperzního spektrometru DRX (Thermo Scientific) s konfokálním mikroskopem Olympus (Národní muzeum). Spektrometr byl kalibrován pomocí softwarově řízené procedury s využitím emisních linií neonu (kalibrace vlnočtu), Ramanových pásů polystyrenu

(kalibrace frekvence laseru) a standardizovaného zdroje bílého světla (kalibrace intenzity). Spektra studovaných minerálů byla získána za použití zeleného laseru (532 nm) o výkonu 10 mW (minerály SiO_2), respektive 5 mW (zeolity, fylosilikáty) v měřicím rozsahu $45 - 4000 \text{ cm}^{-1}$, za použití objektivu 100x a kruhové apertury o šířce $25 \mu\text{m}$.



Obr. 3 Minerální asociace studované uzavřeniny z Prackovic n. L. (vzorek PRA-1) v obraze BSE. a - korodovaná izometrická zrna křemene I (Q1) uzavřená ve směsi křemene II, sanidinu a křemene III (Sa+Q2,3). b - detail matrix mezi zrna křemene I (Q1), tvořené lištami křemene II (Q2) a symplektitickými srůsty sanidinu (Sa) a křemene III (Q3). Ae - egirín-augit. c, d - krystalové nárůsty sanidinu (Sa), titanitu (Ttn) a egirín-augitu (Ae) na kontaktu s bílozelenou zónou, tvořenou phillipsitem (Phi) a saponitem (Sap). e - zeolitová výplň (Cha - chabazit-K, Phi - phillipsit-K) bílozelené zóny na kontaktu s bílou jádrovou částí uzavřeniny (vlevo) a s okolním vulkanitem s hojným klinopyroxenem (Cpx). f - minerální asociace bílozelené zóny se saponitem (Sap), phillipsitem-K (Phi) a kalcitem (Cal) na kontaktu mezi okolním vulkanitem s hojným klinopyroxenem (Cpx) a bílou zónou uzavřeniny s egirín-augitem (Ae), sanidinem (Sa) a křemenem III (Q3). Všechny snímky Z. Dolníček.

Jedno spektrum bylo načítáno cca 30 minut (expoziční čas 10 s, 200 skenů). Získaná spektra byla následně pomocí obslužného softwaru Omnic 9 automaticky porovnána s referenčními spektry v databázi RRUFF. Číselné hodnoty pozic jednotlivých pásů ve spektrech byly vizualizovány v tomtéž programu.

Charakteristika zjištěné mineralizace

Většina materiálu představuje vizuálně čerstvou masivní horninu bez jakýchkoli žilek či mandlí a makroskopických minerálů. Byly nalezeny pouze dva mineralogicky zajímavější vzorky (obr. 2c,d), v nichž byly identifikovány tři různé typy mineralizací, podrobněji charakterizované na následujících řádcích.

1. Xenolit ve vulkanitu

Materiál byl odebrán z rozměrného (~1 m³) bloku vulkanitu, pocházejícího z ražby tunelů (vzorek PRA-1). Vulkanit je celistvý, nepravidelného lomu a má hnědavou barvu. V mikroskopu má drobně porfyrickou stavbu, definovanou přítomností hojných drobných (do 150 μm) vyrostlic klinopyroxenu, Fe-Ti oxidů a pseudomorfóz patrně po vyrostlicích olivínu. Klinopyroxen nejví v obraze BSE výraznou zonalitu, avšak místo od místa je jeho chemismus dosti proměnlivý (Di₅₉₋₈₁Hd₉₋₂₁Jh₀₋₁Ae₀₋₆Ti-px₂₋₁₅Tsch₁₋₂₂; tab. 1). Méně běžné větší vyrostlice po pravděpodobném původním olivínu byly přeměněny na jílový minerál, zřejmě smektit. Krystaly Fe-Ti oxidů jsou pravidelně tvořeny srůsty ilmenitu a nízkotitanového magnetitu. Ojedinele byl

v hornině identifikován i titanit a apatit. V alterované základní hmotě horniny byly zjištěny pouze alkalické živce, fylosilikát blízký saponitu a K>Ca>Na zeolit, přičemž složení těchto fází je v zásadě analogické týmž nerostům ze studovaného xenolitu.

V popisovaném vulkanitu byla nalezena a blíže studována ojedinelá inkluze (xenolit) izometrického tvaru o velikosti asi 3 cm, tvořená bílým jádrem a zelenavým lemem (obr. 2c). Kontakt xenolitu s okolním vulkanitem je ostrý, v exokontaktu není makroskopicky patrná žádná změna v barvě či uspořádání horniny, mikroskopicky lze však konstatovat úplné vymizení Fe-Ti oxidů. Podrobnější studium ukázalo odlišné minerální složení barevně rozdílných partií. Bílá jádrová část je složena z křemene a alkalického živce, akcesoricky se vyskytují i titanit, apatit a egirín-augit. Naproti tomu okrajové zelenavé partie jsou složeny ze zeolitů, saponitu a kalcitu. Kontakt obou kompozičně odlišných zón je ostrý. Texturní uspořádání minerální výplně obou zón jasně ukazuje, že zelenavá zóna představuje mladší výplň, vzniklou až po krystalizaci jak okolního vulkanitu, tak bílé jádrové zóny uzavřeny.

Křemen je přítomen pouze v bílém jádře, a to ve třech morfologických typech, přičemž ve všech případech byla jeho identita bezpečně potvrzena Ramanovou spektroskopii. Nejstarší (křemen I) jsou okrouhlá zrna o velikosti 0.2 - 1.2 mm, která jsou od okrajů a podél puklin silně zatlačovaná směsí alkalického živce a křemene III (obr. 3a,b). Zrna křemene I jsou v jádrové části vzorku rozmístěna ve víceméně pravidelných rozestupech a vzájemně

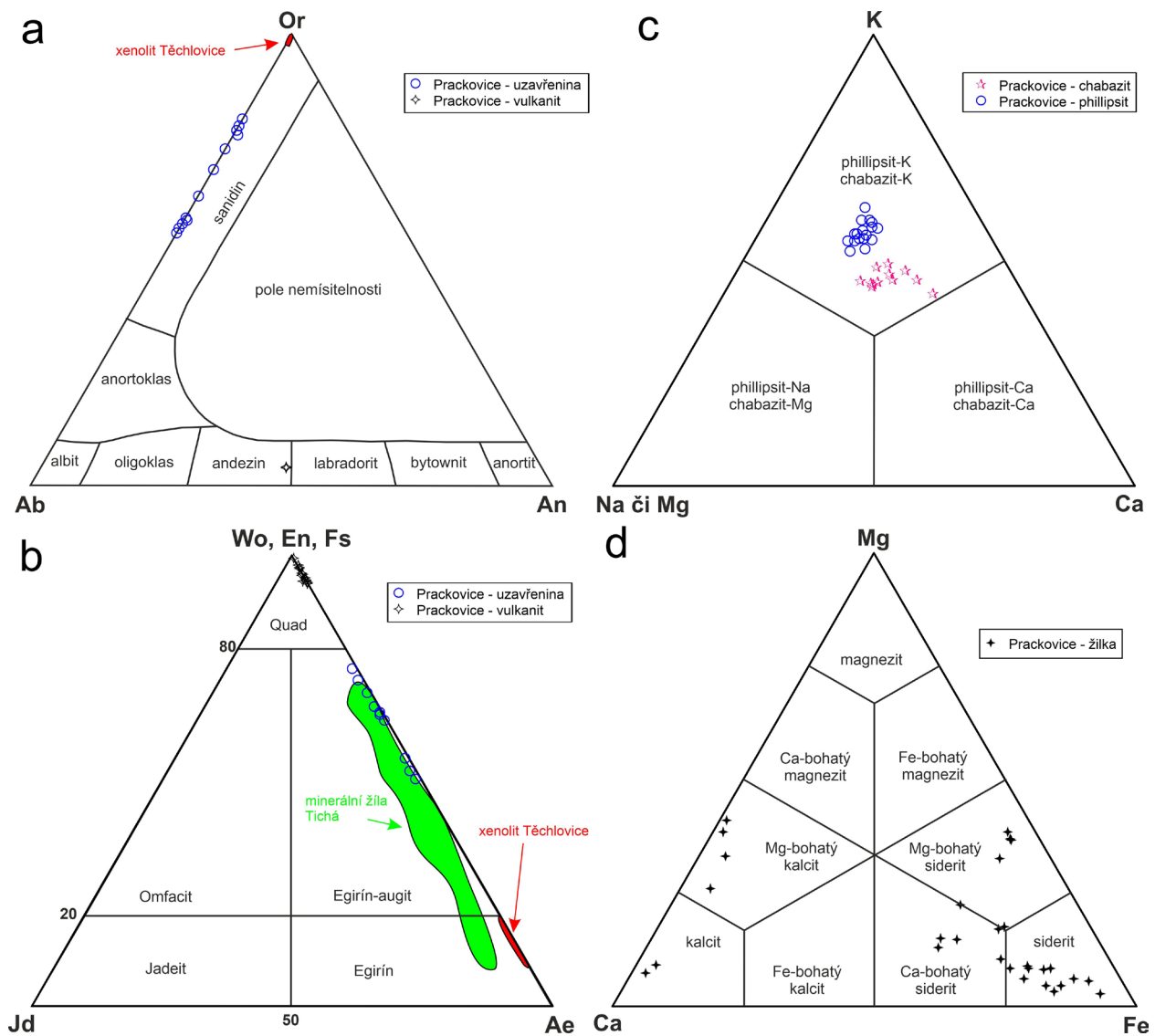
Tabulka 2 Chemické složení sanidinu (Sa) a plagioklasu (Plg) z uzavřeny (U) a okolní vulkanické horniny (V) z Pracovic n. L. Obsahy oxidů jsou v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na základ 8 atomů kyslíku, obsahy koncových členů jsou v mol. %. bdl - pod mezí stanovitelnosti, alk - Na+K+Ca+Sr+Ba

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fáze	Sa-U	Sa-U	Sa-U	Sa-U	Sa-U	Sa-U	Sa-U	Sa-U	Sa-U	Sa-V	Sa-V	Sa-V	Plg-V	Plg-V
Vzorek	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-2	PRA-2
SiO ₂	66.91	65.85	66.69	66.35	64.26	66.68	66.24	65.55	67.54	66.99	65.71	66.22	53.72	53.33
Al ₂ O ₃	16.00	14.99	15.36	15.21	15.10	14.98	15.15	14.84	15.76	18.18	18.04	18.09	28.08	27.95
Fe ₂ O ₃	3.03	4.06	3.11	3.05	3.47	4.09	4.08	3.95	2.93	1.04	0.77	0.73	0.46	0.50
MgO	0.12	0.05	0.07	bdl	0.99	0.12	bdl	0.23	0.11	0.06	0.07	bdl	bdl	bdl
CaO	bdl	bdl	bdl	bdl	0.13	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	9.34	9.31
SrO	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.82	1.85
BaO	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.23	0.29	0.53	0.71	0.92
Na ₂ O	2.07	2.75	2.17	2.24	2.06	4.49	4.76	3.36	4.45	5.00	4.69	4.03	5.38	5.40
K ₂ O	13.50	12.19	12.88	12.54	11.29	9.79	9.53	11.92	9.86	9.64	9.87	10.94	0.63	0.72
Celkem	101.63	99.89	100.28	99.39	97.30	100.24	99.76	99.85	100.65	101.14	99.44	100.54	100.14	99.98
Si ⁴⁺	3.036	3.040	3.058	3.065	3.025	3.042	3.036	3.031	3.052	3.003	3.000	3.004	2.462	2.456
Al ³⁺	0.856	0.816	0.830	0.828	0.838	0.806	0.818	0.809	0.839	0.961	0.971	0.967	1.517	1.517
Fe ³⁺	0.104	0.141	0.107	0.106	0.123	0.140	0.141	0.137	0.100	0.035	0.026	0.025	0.016	0.017
Mg ²⁺	0.008	0.003	0.005	bdl	0.069	0.008	bdl	0.016	0.007	0.004	0.005	bdl	bdl	bdl
Ca ²⁺	bdl	bdl	bdl	bdl	0.007	0.004	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.459	0.459
Sr ²⁺	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.048	0.049
Ba ²⁺	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.004	0.005	0.009	0.013	0.017
Na ⁺	0.182	0.246	0.193	0.201	0.188	0.397	0.423	0.301	0.390	0.434	0.415	0.354	0.478	0.482
K ⁺	0.781	0.718	0.753	0.739	0.678	0.570	0.557	0.703	0.568	0.551	0.575	0.633	0.037	0.042
Celkem	4.966	4.964	4.947	4.938	4.928	4.968	4.975	4.998	4.957	4.992	4.997	4.993	5.029	5.039
alk	0.963	0.964	0.946	0.940	0.873	0.971	0.980	1.004	0.958	0.990	0.995	0.997	1.035	1.049
Or	81.1	74.5	79.6	78.7	77.7	58.7	56.9	70.0	59.3	55.7	57.8	63.5	3.6	4.0
Ab	18.9	25.5	20.4	21.3	21.5	40.9	43.1	30.0	40.7	43.9	41.7	35.5	46.2	45.9
An	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.3	43.8
Slw	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	4.7
Cn	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	0.9	1.2	1.6

se nedotýkají. Křemen II vytváří hojně tenké lištovité průřezy o délce až 300 μm a šířce kolem 10 - 20 μm , zpravidla náhodně orientované, výjimečně i vějířovitě uspořádané. Lišty křemene II jsou přítomny v mezerách mezi zrnými křemeny I a volné mezery mezi nimi jsou vyplněny směsí alkalického živce a křemene III (obr. 3b). Vzhledem k netypickému vývinu předpokládáme, že křemen II může představovat paramorfózy po jiné modifikaci SiO_2 , nejpravděpodobněji po tenké tabulkovitých krystalech tridymitu. Křemen III vytváří symplektitické srůsty s alkalickým živcem. Jeho hojná velmi drobná individua mají typicky červíkovitý tvar a velikost do 10 μm (obr. 3b).

Alkalický živec byl zaznamenán ve dvou generacích. Živec I převážně vytváří intimní symplektitické srůsty s křemenem III (obr. 3b); symplektit zároveň reprezentuje převážnou část hmoty bílého jádra. Stejný symplektit se vyskytuje i na sporadicky přítomném přímém kontaktu bílé zóny s okolní vulkanickou horninou (mezi vulkanitem a bílou zónou xenolitu je obvykle přítomna bílozelená zóna xenolitu). Hraniční partie podél kontaktu s vnější

bílozelenou zónou uzavřeny jsou vždy charakterizovány přítomností mladých drůzovitých nárůstů alkalického živce, v tomto případě ovšem již bez viditelných inkluzí křemene. Krystaly alkalického živce mají většinou adularovou morfologii, jen výjimečně byl pozorován i dlouze lištovitý vývin (obr. 3c-e). V BSE obraze je živec I vždy nezonální. Jeho chemické složení (tab. 2) odpovídá sanidinu ($\text{Or}_{57-81}\text{Ab}_{19-41}\text{An}_{0-1}$; obr. 4a), přičemž mezi složením mladých krystalových nárůstů a živce srůstajícího s křemenem není rozdíl. Zajímavý je vysoký obsah Si (3.025 - 3.065 *apfu*), který je vyvolán nejspíše přítomností submikroskopických inkluzí křemene v živci. Alkalický živec přítomný v okolním vulkanitu má naproti tomu stechiometrické obsahy Si (3.000 - 3.004 *apfu*; tab. 2). Hliník je v živci poměrně významně substituován Fe^{3+} (0.10 - 0.14 *apfu*; tab. 2). Druhá generace živce (živec II) vytváří tenkou polohu v saponitu (obr. 5a), místy i přímo na živci I, či na krystalech titanitu a egirín-augitu, čnějících do původní otevřené dutiny (obr. 3c,d). Vrstvička živce II o mocnosti max. prvních jednotek μm je složena z jednot-



Obr. 4 Variace v chemismu některých studovaných minerálních fází z Prackovic n. L. a - živce v ternárním diagramu albit-ortoklas-anortit. b - pyroxeny v diagramu jadeit-egirín-(wollastonit+enstatit+ferrosillit) (Morimoto et al. 1988). c - zeolity v diagramu (Na či Mg)-K-Ca znázorňujícím vzájemné proporce tří nejzastoupenějších vyměnitelných kationtů. d - karbonáty v diagramu kalcit-siderit-magnezit (Trdlíčka, Hoffman 1975). Srovnávací data pro další lokality zmiňované v textu byla převzata z prací Dolníčka et al. (2010) a Paulíše et al. (2021).

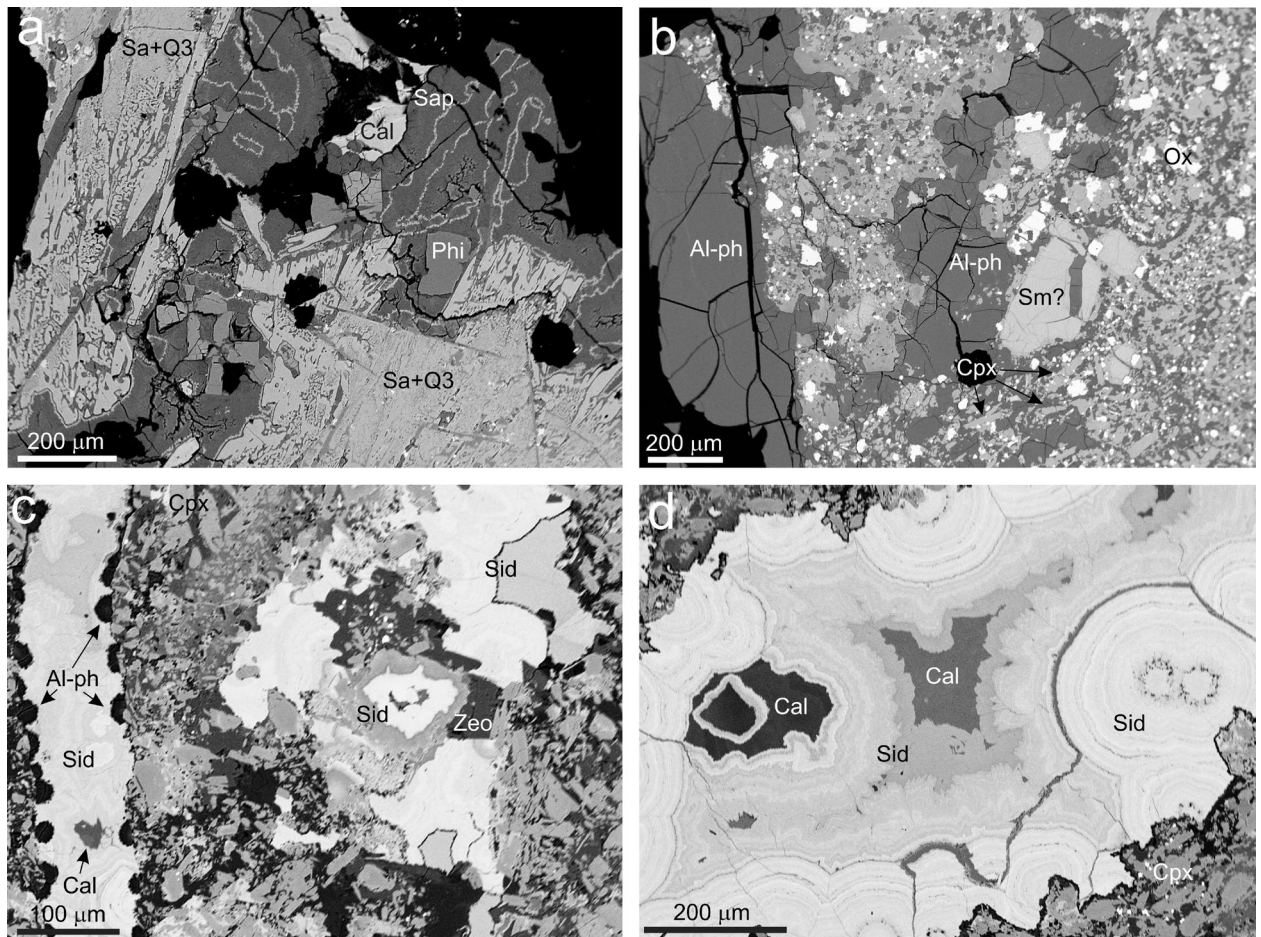
livých izometrických zrn, obklopených hlavně mladším saponitem. Z toho důvodu se nepodařilo získat žádnou reprezentativní kvantitativní analýzu; evidentně však jde opět o alkalický živec s převahou K a zvýšeným Na.

Titanit je poměrně vzácným minerálem. Vytváří hlavně jednotlivé hypautomorfně až automorfně omezené krystaly o velikosti až 100 μm , v BSE obraze nezonální, narůstající do původní dutiny na krystaly živce I (obr. 3c,d). Méně častá jsou jeho drobná hypautomorfně až xenomorfně omezená zrna vzácně uzavíraná v matrixu bílé zóny uzavřeniny. Jeho chemické složení (tab. 3) se vyznačuje zvýšenými obsahy Na (0.028 - 0.045 *apfu*), Fe (0.023 - 0.034 *apfu*), Nb (0.002 - 0.007 *apfu*), Zr (0.001 - 0.012 *apfu*), LREE (0.005 - 0.007 *apfu* La + Ce), Hf (0.001 *apfu*) a F (0.047 - 0.064 *apfu*). Hliník je ve všech měřených bodech pod mezí stanovitelnosti.

Egirín-augit vytváří buď sporadická izometrická xenomorfně omezená zrna o velikosti až 100 μm v křemen-živcových agregátech v bílé jádrové části uzavřeniny (obr. 3b) nebo rovněž relativně vzácně automorfně ome-

zené jednotlivé krátce sloupcovité krystaly narůstající do původní dutiny na krystaly alkalického živce či titanitu (obr. 3c,d,f). Chemické složení odpovídá ve všech měřených bodech egirín-augitu bez zonality v obraze BSE ($\text{Di}_{26-53}\text{Ae}_{23-43}\text{Hd}_{10-18}\text{Jh}_{1-2}\text{Jd}_1\text{Ti-px}_{3-15}$; tab. 1, obr. 4b). Chemismus je zajímavý přebytkem Na^+ v porovnání se sumou trojvalentních kationtů ($\text{V}+\text{Al}+\text{Fe}^{3+}$), který činí až 0.23 *apfu*; to svědčí o významném uplatnění dalších heterovalentních substitucí vyrovnávajících nábojovou bilanci molekuly (zahrnujících též zvýšený Ti či deficitní Si; tab. 1).

Fluorapatit byl zjištěn jen v jediném xenomorfně omezeném zrnu narůstajícím na krystalu živce I, tj. v obdobné pozici jako titanit a egirín-augit. S těmito fázemi však není v kontaktu, takže jejich vzájemné sukcesní vztahy nelze posoudit. Zrno dosahuje velikosti 80 μm . Jedna orientační WDS analýza ukázala zvýšené obsahy alkálií (0.052 *apfu* Na + K; báze přepočtu 5 kationtů v pozici Ca) a síry (0.087 *apfu*). Obsah prvků v pozici fosforu je deficitní, což by mohlo nasvědčovat zvýšenému obsahu karbonátové-



Obr. 5 Minerální asociace studovaných vzorků z Prackovic n. L. v obraze BSE. a - minerální asociace bíloželené zóny uzavřeniny vzorku PRA-1 s převládajícím saponitem (Sap) s tenkými světlými interpozicemi alkalického živce, křížovými prorostlými phillipsitu-K (Phi) a kalcitem (Cal) na kontaktu s bílou zónou uzavřeniny tvořenou srůsty sanidinu (Sa) a křemene III (Q3). b - žilka tvořená Al-bohatým fylosilikátem (Al-ph) ze vzorku PRA-1 (levý okraj snímku) na kontaktu s okolním vulkanitem, složeným z vyrostlíc klinopyroxenu (Cpx), Fe,Ti-oxidických fází (Ox) a zřejmě smektitových (Sm?) pseudomorfóz patrně po olivínu, jehož základní hmota je silně zatlačována Al-bohatým fylosilikátem. c - žilka ze vzorku PRA-2 tvořená Al-bohatým fylosilikátem (Al-ph), sideritem (Sid) a kalcitem (Cal) (levý okraj snímku) ve vulkanické hornině s obsahem klinopyroxenu (Cpx) a zeolitu (Zeo). Dutina v hornině je rovněž vyplněna zonálním sideritem; nejtmavší zóna kolem středu dutiny obsahuje nejvyšší zjištěné obsahy Mg. e - detailní růstová zonálnost sideritové (Sid) výplně žilky ve vzorku PRA-2. Blízko středu žilky jsou dva agregáty kalcitu (Cal), z nichž ten tmavší má nejvyšší zjištěné obsahy Mg. Všechny snímky Z. Dolníček.

ho aniontu zastupujícího aniont fosforečnanový - zjištěný deficit by odpovídal přítomnosti 2.46 hm. % CO₂, tj. 0.285 *apfu* C. Naměřený obsah fluoru (1.207 *apfu*) je vyšší než teoretické maximum 1 *apfu*, což pravděpodobně souvisí s nevhodnou orientací analyzovaného zrna vůči dopadajícímu svazku elektronů, zapříčínující difuzi F během analýzy (Stormer et al. 1993).

Chabazit-K pravidelně doprovází ve vnější zelenavé partii uzavřeniny jako podřízená složka zrnitý phillipsit-K. Vytváří xenomorfně omezená izometrická zrna o velikosti do 300 μm , jednotlivě uzavíraná v zrnitých agregátech phillipsitu-K, místy je jím i zatlačován (obr. 3e). Ramanova spektroskopie danou fází identifikovala nejpravděpodobněji jako chabazit, méně pravděpodobně jako gonardit. Získané chemické analýzy (tab. 4) upřednostňují chabazit vzhledem k vysokému poměru Si/(Si+Al) mezi 0.71 a 0.74 (Coombs et al. 1997). Převažujícím výměnným kationtem je v této fázi K (0.92 - 1.10 *apfu*, bezvodá báze přepočtu 24 atomů O), doprovázený Ca (0.52 - 0.94 *apfu*), Mg (0.41 - 0.61 *apfu*) a Na (max. 0.19 *apfu*) (tab. 4). Klasifikačně jde tedy ve všech případech o chabazit-K (obr. 4c).

Tabulka 3 Chemické složení titanitu z uzavřeniny (U) a okolní vulkanické horniny (V) z Prackovic n. L. Obsahy oxidů jsou v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na základě 3 kationtů na vzorcovou jednotku. bdl - pod mezí stanovitelnosti

An. č.	1	2	3	4	5	6
Pozice	U	U	U	U	V	V
Vzorek	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1
P ₂ O ₅	0.07	0.10	bdl	bdl	0.97	0.18
SiO ₂	30.00	30.27	29.99	30.22	29.19	29.50
Nb ₂ O ₅	0.17	0.48	0.23	0.41	bdl	bdl
TiO ₂	39.52	38.45	39.10	39.10	39.25	38.51
ZrO ₂	0.13	0.77	0.05	0.05	0.11	bdl
HfO ₂	0.09	0.07	0.09	0.10	0.06	0.13
Al ₂ O ₃	bdl	bdl	bdl	bdl	0.47	0.15
Fe ₂ O ₃	0.93	1.04	1.33	1.39	0.88	1.42
La ₂ O ₃	0.18	0.19	0.19	0.16	0.11	bdl
Ce ₂ O ₃	0.22	0.38	0.29	0.29	0.26	0.20
CaO	27.11	26.73	27.18	27.83	28.61	27.80
Na ₂ O	0.66	0.71	0.59	0.44	bdl	0.20
F	0.53	0.52	0.62	0.47	0.39	0.37
O=F	-0.22	-0.22	-0.26	-0.20	-0.16	-0.16
Celkem	99.39	99.50	99.40	100.26	100.13	98.31
P ⁵⁺	0.002	0.003	bdl	bdl	0.027	0.005
Si ⁴⁺	0.988	0.999	0.989	0.988	0.956	0.982
Subtot.	0.989	1.002	0.989	0.988	0.983	0.987
Nb ⁵⁺	0.003	0.007	0.003	0.006	bdl	bdl
Ti ⁴⁺	0.979	0.955	0.970	0.962	0.967	0.964
Zr ⁴⁺	0.002	0.012	0.001	0.001	0.002	bdl
Hf ⁴⁺	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Al ³⁺	bdl	bdl	bdl	bdl	0.018	0.006
Fe ³⁺	0.023	0.026	0.033	0.034	0.022	0.036
Subtot.	1.007	1.001	1.008	1.004	1.009	1.007
La ³⁺	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	bdl
Ce ³⁺	0.003	0.005	0.004	0.003	0.003	0.002
Ca ²⁺	0.956	0.945	0.960	0.975	1.004	0.991
Na ⁺	0.042	0.045	0.038	0.028	bdl	0.013
Subtot.	1.003	0.997	1.004	1.008	1.008	1.007
F ⁻	0.055	0.054	0.065	0.049	0.040	0.039

Phillipsit-K je dominantní složkou zelenavých partií uzavřeniny. Vytváří buď stejnoměrně zrnité agregáty, tvořené hypautomorfně až xenomorfně omezenými zrny o velikosti do 400 μm (obr. 3e) nebo jednotlivé automorfně omezené krystaly, narůstající na všechny výše zmiňované minerály jádrové části uzavřeniny a přerůstající mladšími fázemi (saponitem i kalcitem). Izometrické krystaly dosahují velikosti do 200 μm a mají hrotitý či obdélníkový habitus (obr. 3c,d,f). Ojedinele byly zjištěny i dvojčaté srostlice křížového tvaru (obr. 5a). Phillipsit-K se vyznačuje oproti chabazitu-K malou stabilitou při dlouhém pobytu ve vakuu, projevující se praskáním a odpadáváním drobných částic minerálu z naleštěného povrchu nábrusu. Rtg. difrakční identifikace nemohla být provedena pro malé množství dostupného materiálu. Ramanova spektroskopie danou fází identifikuje nejpravděpodobněji jako phillipsit, méně pravděpodobně jako dachiardit, garronit či paulingit. Provedené WDS analýzy (tab. 4) ukázaly poměr Si/(Si+Al) mezi 0.72 a 0.73, což z uvedených možností nejlépe odpovídá phillipsitu (Coombs et al. 1997). Z výměnných kationtů obsahuje daný zeolit převahu K (1.85 - 2.25 *apfu*, bezvodá báze přepočtu 32 atomů O) nad Na (0.74 - 1.07 *apfu*), Ca (0.68 - 0.84 *apfu*), Mg (max. 0.04 *apfu*) a Ba (max. 0.02 *apfu*) (tab. 4). Jde tedy klasifikačně o phillipsit-K (obr. 4c).

Saponit vytváří celistvé masivní agregáty a povlaky o mocnosti až 200 μm , do dutin s typicky ledvinitým povrchem a to na všech fázích vyjma kalcitu. V kalcitu byvají uzavřeny i polokulovité či kulovité agregáty této fáze (obr. 3f). Některé povlaky saponitu obsahují v nejstarší partii, přiléhající k vulkanické hornině či minerálům bílého jádra uzavřeniny, tenkou vrstvičku alkalického živce (obr. 5a). V BSE obraze jsou jinak agregáty saponitu kompozičně homogenní (obr. 3c,d,f,5a). Chemické složení (tab. 5) se vyznačuje vedle hlavních komponent (3.63 - 3.72 *apfu* Si, 2.50 - 2.85 *apfu* Mg; bezvodá báze přepočtu na 11 atomů O) i variabilním obsahem Al (0.46 - 0.81 *apfu*). Obsahy Fe a Mn nepřesahují 0.01 *apfu*. Meziřvrstevní kationty jsou reprezentovány hlavně Ca (0.03 - 0.16 *apfu*), stopově i K (≤ 0.01 *apfu*) a výjimečně i Na (≤ 0.03 *apfu*). Vzhledem k malému množství dostupného materiálu nemohla být provedena rtg.-difrakční identifikace. Ramanovo spektrum dané fáze (obr. 6a) odpovídá spektru saponitu publikovanému v práci Wang et al. (2015).

Kalcit je nejmladším minerálem dané asociace, vyplňuje zbylé volné prostory v oblasti bíloželené zóny (obr. 3f). V EDS spektru vykázal malou příměs železa.

2. Žilky s kalcitem a Al-fylosilikáty

Tento typ mineralizace byl zjištěn ve stejném bloku vulkanitu, z něhož byl popsán výše charakterizovaný xenolit (vzorek PRA-1). Jde o jedinou žilnou mineralizaci, zjištěnou v horninovém materiálu pocházejícím z ražby tunelů. Subparalelní vlasové žilky o mocnosti do 0.5 mm jsou na bloku velmi nápadné, neboť se podél nich hornina přednostně rozpadá (obr. 2c). Okoložilné alterace nejsou v tomto případě makroskopicky patrné; při podrobném studiu na mikrosondě lze pozorovat zatlačování základní hmoty vulkanitu Al-bohatým fylosilikátem (obr. 5b). Minerální složení žilek je velmi jednoduché, tvořené Al-bohatým fylosilikátem a kalcitem.

Al-bohatý fylosilikát představuje v žilkách starší výplň, má šedavou až světle modravou barvu (obr. 2c) a v tenkých vrstvách slabě prosvítá. Vyznačuje se celistvým vzhledem a mastným leskem. Fáze je mechanicky soudržná, nerozplaví se vodou a nelze do ní ani rýpat

nehem. V mikroskopu je patrné, že v okolí žilky silně zatlačuje i základní hmotu horniny (obr. 5b). Rtg. prášková difrakční analýza poskytla nepříliš reprezentativní záznam v důsledku vysokého pozadí, difrakční maxima jsou široká, patrně kvůli horší krystalinitě. Dvě nejintenzivnější difrakční linie s d-hodnotami 14.53 Å a ~7.1 Å pravděpodobně odráží přítomnost smektitu, minerálu z kaolinitové skupiny či chloritu (Melka, Šťastný 2014). Také další zjištěné difrakce mají d-hodnoty odpovídající zmíněným fylosilikátům: 4.48, 2.56 a 1.491 Å. Ramanova spektra (obr. 6b) software s nízkou mírou pravděpodobnosti přiřazuje k dickitu. V BSE obraze je fáze celistvá, homogenní a nezonální. Pořízené WDS analýzy ukázaly vysoké obsahy SiO₂ (48.8 - 50.0 hm. %) a Al₂O₃ (33.7 - 35.8 hm. %) a také zvýšenou příměs MgO (2.05 - 2.44 hm. %) a v menší míře i FeO (0.53 - 0.83 hm. %), CaO (0.61 - 0.62 hm. %), K₂O (0.38 - 0.48 hm. %) a TiO₂ (0.06 - 0.60 hm. %). Analytické sumy se pohybují kolem 88 hm. % (tab. 5). Uvedené složení neodpovídá žádné známé fázi; v souladu s výsledkem rtg. difrakční analýzy však může jít pravděpodobně o směs minerálu z kaolinitové skupiny a smektitu; přítomnost většího množství chloritu je málo pravděpodobná, vzhledem k vyššímu poměru Si/Al, než mají minerály kaolinitové skupiny.

Kalcit je mladší než výše charakterizovaný fylosilikát. Vyplnil volné prostory po opětovném znovuootevření vlasových trhlin. Makroskopicky má mléčně bílou barvu (obr. 2c). Vytváří plochá zrna o velikosti až několika milimetrů s dobře patrnou štěpností. Je zajímavé, že i při uložení vzorků mineralizace ve stabilních podmínkách kalcit ze vzorků postupně samovolně odpaďává. V EDS spektru byla zjištěna vedle Ca jen malá příměs Fe.

3. Žilky se sideritem a Al-fylosilikáty

Tento typ mineralizace byl zjištěn ve vzorku vulkanitu z vrtného jádra z vrtu vyhloubeného do podloží dálničního mostu (vzorek PRA-2). Vulkanit má černou barvu a drobně porfyrickou stavbu a obsahuje hojně drobné (≤100 μm velké) nealterované vyrostlice klinopyroxenu (Di₆₀₋₇₆Hd₅₋₁₄Jh₀₋₁Ae₂₋₅Ti-px₆₋₁₅Tsch₁₁₋₂₁; tab. 1) a také smektitové pseudomorfózy, patrně po vyrostlicích olivínu. Základní hmota horniny je značně alterovaná. Z primárních fází je v ní přítomen Ti-bohatý magnetit, nefelin (s obsahem 0.06 apfu Ca a 0.09 apfu K) a bazický andezín (Ab₄₆An₄₄Slw₅Or₄Cn_{1,2}; tab. 2), sekundární fáze jsou zastoupeny smektitem či chloritem a zeolitem K>Ca>Na.

Subparalelní, postupně vyklíňující vlasové hydrotermální žilky hnědé barvy s převahou sideritu tvoří v hornině ojediněle zjištěný „žilník“. Okoložilné alterace nejsou přítomny; makroskopicky patrná změna barvy horniny (obr. 2d) postihuje okolí mikroskopických prasklin bez minerálních výplní. Na složení studovaných žilek se podílí Al-bohatý fylosilikát, siderit a kalcit. Zcela ojediněle byla zaznamenána v tomto vzorku i mladší vlasová bíle zbarvená kalcitová žilka (obr. 2d).

Al-bohatý fylosilikát představuje v žilkách nejstarší minerální fázi. Jeho výskyt je jen akcesorický. Vytváří drobné sférické agregáty o průměru až kolem 20 μm, narůstající na stěny žíly (obr. 5c). V BSE obraze je fáze homogenní. Chemické složení je velmi podobné Al-bohatému silikátu ze vzorku PRA-1 (tab. 5), rozdíl je ve vyšším obsahu FeO (2.45 - 3.36 hm. %), CaO (1.06 - 1.59 hm. %) a K₂O (0.73 - 0.83 hm. %). To naznačuje vyšší podíl smektitové komponenty v porovnání se vzorkem PRA-1. V Ramanovském mikroskopu fáze vykazuje podobné

Tabulka 4 Chemické složení zeolitů (Phi - phillipsit-K, Cha - chabazit-K) z uzavřeniny z Prackovic n. L. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na bezvodou bázi 32 (phillipsit-K), respektive 24 (chabazit-K) atomů kyslíku. bdl - pod mezí stanovitelnosti, alk - suma vyměnitelných kationtů, T_{Si} - Si/(Si+Al), E - balance-error function podle Passaglia (1970)

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Phi	Phi	Phi	Phi	Phi	Phi	Phi	Phi	Cha	Cha	Cha	Cha	Cha	Cha
Vzorek	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1
P ₂ O ₅	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.13	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl
SiO ₂	59.44	60.44	58.73	60.67	58.11	58.73	57.78	55.93	57.88	53.63	54.76	54.10	57.77	57.10
Al ₂ O ₃	19.82	19.78	19.48	19.18	18.76	19.12	19.26	18.41	18.18	18.78	17.30	17.35	17.58	17.54
MgO	0.11	0.13	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.41	1.73	2.56	2.52	2.81	2.51
CaO	3.51	3.82	3.63	3.30	3.40	3.32	3.53	3.12	3.53	5.57	3.52	3.39	3.20	3.33
BaO	0.17	bdl	0.18	0.14	0.15	0.19	0.16	0.19	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Na ₂ O	2.36	2.20	2.37	2.47	2.77	2.54	2.11	2.67	0.33	bdl	0.18	0.54	0.16	0.20
K ₂ O	8.58	7.92	8.06	8.28	7.72	7.93	8.88	7.94	4.79	5.01	4.83	4.57	4.96	4.71
Celkem	93.99	94.29	92.51	94.04	90.91	91.83	91.72	88.26	87.25	84.81	83.15	82.47	86.48	85.39
P ⁵⁺	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.017	0.012	bdl	bdl	bdl	bdl
Si ⁴⁺	11.481	11.559	11.502	11.659	11.571	11.571	11.472	11.511	8.741	8.446	8.706	8.673	8.800	8.800
Al ³⁺	4.512	4.459	4.497	4.345	4.403	4.440	4.507	4.466	3.236	3.486	3.242	3.279	3.156	3.186
Mg ²⁺	0.032	0.037	0.018	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.543	0.406	0.607	0.602	0.638	0.577
Ca ²⁺	0.726	0.783	0.762	0.680	0.725	0.701	0.751	0.688	0.571	0.940	0.600	0.582	0.522	0.550
Ba ²⁺	0.013	bdl	0.014	0.011	0.012	0.015	0.012	0.015	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Na ⁺	0.884	0.816	0.900	0.920	1.069	0.970	0.812	1.065	0.097	bdl	0.055	0.168	0.047	0.060
K ⁺	2.114	1.932	2.014	2.030	1.961	1.993	2.249	2.085	0.923	1.007	0.980	0.935	0.964	0.926
Celkem	19.762	19.586	19.706	19.644	19.742	19.690	19.805	19.831	14.126	14.296	14.190	14.239	14.128	14.099
alk	3.769	3.568	3.707	3.640	3.768	3.679	3.825	3.853	2.133	2.353	2.242	2.287	2.171	2.112
T _{Si}	0.72	0.72	0.72	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73	0.71	0.73	0.73	0.74	0.73
E	-1.9	6.4	-0.2	0.9	-6.5	3.0	-5.3	-5.2	0.9	12.6	14.9	15.2	13.4	4.2

spektrum jako Al-bohatý fylosilikát ze vzorku PRA-1, ve všech měřených místech však byla ve spektrech zaznamenána příměs sideritu (obr. 6b).

Siderit je převažující fází žilek. Narůstá na Al-bohatý fylosilikát a téměř beze zbytku vyplňuje prostor žilky (obr. 5c). Typicky vytváří radiálně paprscité agregáty, v nichž vykazují jednotlivá individua sideritu silně undulózní zřetelnosti. V BSE obraze je na nich patrná zřetelná oscilační zonálnost (obr. 5c,d). Chemické složení (tab. 6) kolísá v dosti širokých mezích u obsahů Fe, Ca a Mg, zatímco obsah Mn je ve všech měřených bodech nízký ($\text{Sid}_{55-91}\text{Mag}_{3-38}\text{Cal}_{5-31}\text{Rdc}_{1.}$). Zjištěný chemismus odpovídá sideritu, Ca-bohatému sideritu a Mg-bohatému sideritu v klasifikačním schématu Trdličky a Hoffmana (1975) - viz obr. 4d. Uhlík je v několika případech zastupován malým množstvím P (max. 0.002 *apfu*).

Kalcit je nejmladší fází, která vyplňuje sporé zbylé izometrické dutiny v sideritové žilovině (obr. 5c,d). Jeho chemické složení značně kolísá při porovnání výplní různých dutin, zatímco v rámci jedné dutiny je složení relativně stálé. V jeho chemismu (tab. 6) se uplatňují tytéž prvky jako v případě sideritu: hlavními složkami jsou Ca, Mg a Fe, zatímco Mn prakticky chybí ($\text{Cal}_{58-90}\text{Mag}_{8-41}\text{Sid}_{1-6}$). V klasifikačním schématu Trdličky a Hoffmana (1975) - viz obr. 4d - odpovídá složení kalcitu až Mg-bohatému kalcitu. V BSE obraze se Mg velmi bohatá fáze jeví jako homogenní (obr. 5d). Je otázkou, zdali by v tomto případě nemohlo jít i o karbonát dolomitové skupiny. Ten by se však vyznačoval extrémní nestechiometrií ve smyslu přebytku Ca a nedostatku Mg+Fe ve srovnání s maximální dosud známou nestechiometrií dolomitů (přebytek max. 8 mol. % Ca-složky; Reeder a Dolasse 1989).

Diskuse

Mineralogicky nejzajímavějším objektem, zjištěným v prostoru rekognoskované deponie vytěženého kamene, je drobná bilozelená uzavřenina ve vulkanitu. Interpretujeme ji jako sedimentární xenolit, značně postižený nejprve kaustickou metamorfózou a posléze i intenzivní hydrotermální přeměnou. Křídové xenolity jsou v neovulkanitech této části Českého masivu časté (např. Čáp 2013), byly však dosud jen málokdy podrobněji zkoumány, přestože jde často o mineralogicky, texturně i geneticky velmi zajímavé objekty (Fediuk 1981; Žáček et al. 2010; Pauliš et al. 2021).

Studovaná uzavřenina z Prackovic je složena ze dvou mineralogicky rozdílných partií, u nichž předpokládáme i rozdílnou genezi (obr. 7). Bílé jádro uzavřeniny velmi pravděpodobně představuje vlastní xenolit psamitického sedimentu. Nasvědčuje tomu hlavně jeho vnitřní uspořádání, zachovávající relikty původní psamitické struktury. Velká izometrická zrna nejstarší generace křemene (křemen I; obr. 3a) představují relikty klastických zrn písčité frakce, silně zatlačované všemi ostatními mladšími novotvořenými fázemi. Na charakter matrixu/tmelu původního sedimentu můžeme usuzovat jen nepřímě, neboť žádné jejich relikty se nedochovaly. Přítomnost novotvořených minerálů s nominálním vysokým obsahem Fe^{3+} (egirín-augit) či fází s významnými obsahy Fe^{3+} substituujícími Al ve struktuře (alkalický živec, titanit) poukazuje na vysokou aktivitu trojmocného železa a relativně nízkou aktivitu hliníku během rané fáze kontaktně-metamorfických přeměn. To s největší pravděpodobností poukazuje na vysoké poměry $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{\text{tot}}$ a Fe/Al v původním sedimentu, neboť

Tabulka 5 Příklady chemického složení fylosilikátů (*Sap* - saponit, *Al-fyl* - Al-bohatý fylosilikát) z Prackovic n. L. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na 11 atomů kyslíku. *bdl* - pod mezí stanovitelnosti, *alk* - suma mezivrstevních kationtů

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Al-fyl	Al-fyl	Al-fyl	Al-fyl	Al-fyl	Al-fyl
Vzorek	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-1	PRA-2	PRA-2	PRA-2
SiO ₂	54.65	54.25	50.52	51.50	53.00	52.59	53.59	51.98	49.88	49.96	48.83	49.27	50.25	49.86
TiO ₂	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.06	0.48	0.60	0.22	0.05	0.08
Al ₂ O ₃	8.11	10.19	7.63	7.28	8.86	7.10	5.65	5.99	33.88	33.69	35.77	32.48	34.33	31.30
MgO	25.46	22.66	24.21	24.19	24.36	25.82	26.96	27.02	2.44	2.05	2.15	2.66	1.83	2.93
MnO	0.07	0.08	0.15	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
FeO	bdl	0.08	bdl	bdl	0.07	bdl	bdl	0.10	0.83	0.64	0.56	3.07	2.46	3.35
CaO	0.76	1.50	2.12	1.66	1.78	1.42	1.13	0.44	0.61	0.62	0.61	1.59	1.06	1.15
Na ₂ O	bdl	0.17	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
K ₂ O	0.12	0.14	0.08	0.08	0.13	0.08	0.07	0.14	0.48	0.38	0.40	0.73	0.74	0.83
Cl	bdl	0.04	0.08	0.03	bdl	bdl	bdl	0.03	0.03	0.05	0.03	bdl	bdl	bdl
Celkem	89.17	89.11	84.79	84.82	88.20	87.01	87.40	85.70	88.21	87.87	88.95	90.02	90.72	89.50
Si ⁴⁺	3.698	3.677	3.631	3.683	3.643	3.666	3.717	3.678	3.324	3.337	3.228	3.285	3.297	3.342
Ti ⁴⁺	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.003	0.024	0.030	0.011	0.002	0.004
Al ³⁺	0.647	0.814	0.646	0.614	0.718	0.583	0.462	0.500	2.662	2.652	2.787	2.552	2.655	2.473
Mg ²⁺	2.568	2.290	2.594	2.579	2.496	2.683	2.787	2.850	0.242	0.204	0.212	0.264	0.179	0.293
Mn ²⁺	0.004	0.005	0.009	0.005	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Fe ²⁺	bdl	0.005	bdl	bdl	0.004	bdl	bdl	0.006	0.046	0.036	0.031	0.171	0.135	0.188
Ca ²⁺	0.055	0.109	0.163	0.127	0.131	0.106	0.084	0.033	0.044	0.044	0.043	0.114	0.075	0.083
Na ⁺	bdl	0.022	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
K ⁺	0.010	0.012	0.007	0.007	0.011	0.007	0.006	0.013	0.041	0.032	0.034	0.062	0.062	0.071
Celkem	6.983	6.933	7.050	7.014	7.004	7.046	7.056	7.079	6.362	6.329	6.365	6.459	6.404	6.453
Cl ⁻	bdl	0.005	0.010	0.004	bdl	bdl	bdl	0.004	0.003	0.006	0.003	bdl	bdl	bdl
alk	0.065	0.143	0.171	0.134	0.143	0.113	0.090	0.046	0.084	0.077	0.077	0.176	0.136	0.154

nealterovaný hostitelský vulkanit a jeho primární minerály (zejména dominující klinopyroxen) se většinou vyznačují převahou Fe^{2+} nad Fe^{3+} i zvýšeným obsahem Al. V případě alkálií (Na, K) je jejich původ vzhledem k jejich snadné mobilitě obtížné hodnotit, v literatuře však převládá názor o jejich významném přínosu do xenolitu z okolní vulkanické horniny během kontaktně-metamorfních přeměn (Kopecký et al. 1970; Čáp 2013). Z uvedeného vyplývá, že protolitem studovaného xenolitu mohl být pravděpodobně křemenný pískovec s limonitovým tmelem a patrně s jen nízkým množstvím jílových minerálů.

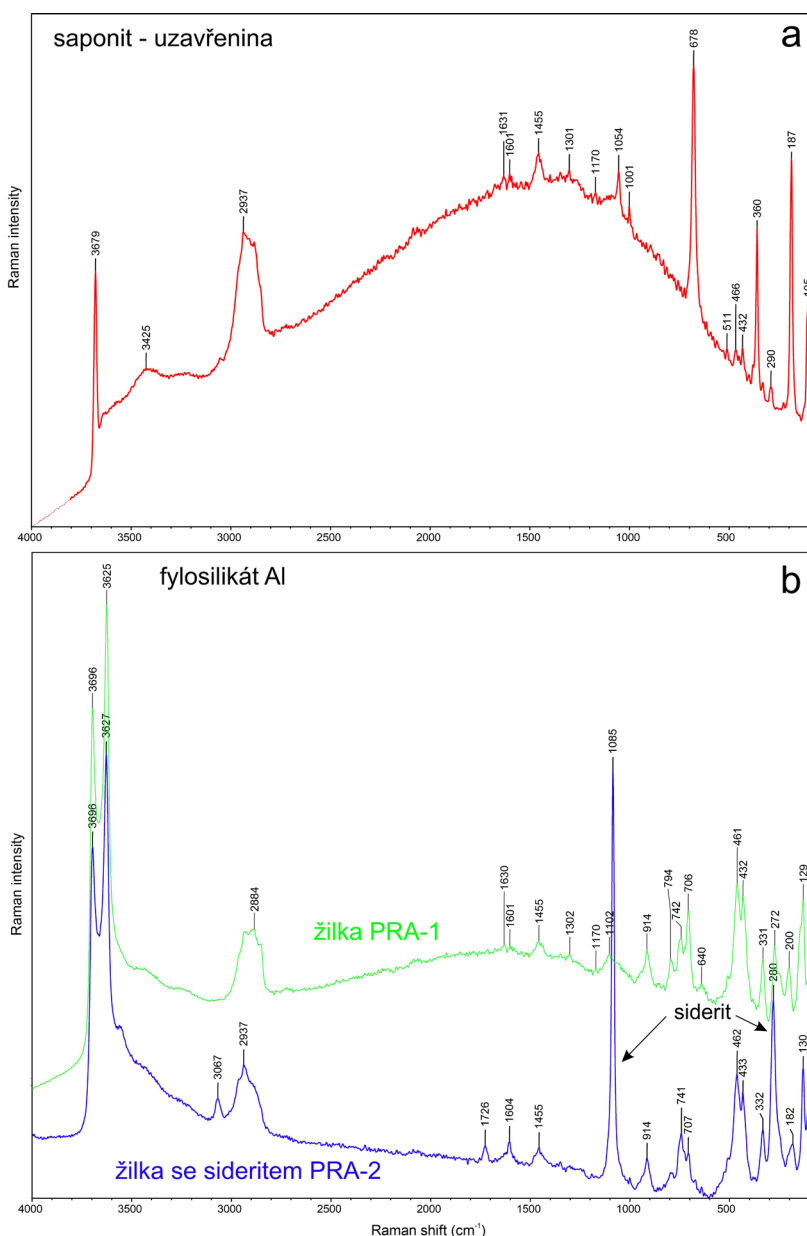
Pokud při kontaktně-metamorfni přeměně studovaného xenolitu skutečně vznikl i tridymit (čemž nasvědčuje morfologie lištovitých průřezů, tvořených dnes křemenem II; obr. 3b), lze uvažovat o teplotě metamorfni přeměny xenolitu mezi 870 a 1470 °C, což je teplotní interval stability této fáze (Fenner 1912; Rockett, Foster 1967).

Podél kontaktu vnitřní středové bílé partie uzavřeniny s bílozelenou vnější partií uzavřeniny jsou všude vyvinuty drúzové nárůsty sanidinu s narostlými jednotlivými krystaly titanitu, apatitu a egirín-augitu (obr. 3c,d). To nasvědčuje tomu, že vnější bílozelená partie byla původně volným prostorem, vyplněným pravděpodobně fluidní fází. Vznik tohoto „lemu“ fluidní fáze pravděpodobně souvisel s procesy vysokoteplotní kontaktně-metamorfni přeměny minerálů sedimentárního protolitu xenolitu, při nichž byla uvolňována voda a eventuálně i CO_2 při rozkladu limonitu, jílových minerálů a příp. i kalcitu. Nelze samozřejmě vyloučit ani spoluúčast magmatických fluid, uvolněných při krystalizaci hostitelské vulkanické horniny. Významnou roli fluid při vzniku zmíněné minerální asociace podtrhují i poznatky z detailně studované žilné mineralizace v tělese těšinitu z lokality Tichá ve slezské jednotce vněkarpatského flyšového pásma na východní Moravě, obsahující prakticky identickou asociaci minerálů krystalizujících i ve shodném pořadí (titanit - egirín-augit - egirín - zeolit - kalcit). Na této lokalitě studium fluidních inkluzí prokázalo aktivitu vysokoteplotních (390 - 510 °C) vysokosalinních (47 - 57 hm. % solí) postmagmatických roztoků, bohatých na NaCl a chudých na CaCl_2 , z nichž krystalizovaly titanit a egirín-augit až egirín (Dolníček et al. 2010). Podobné minerogenetické procesy probíhaly i v neovulkanitech na jiných lokalitách, jak dokládají obdobné minerální asociace xenolitů (např. v xenolitu popsaném Paulišem et al. 2021 od Těchlovic u Děčína); někdy i značné rozdíly v chemismu jednotlivých minerálních fází v porovnání s námi studovaným výskytem (obr. 4a,b) lze vysvětlit primárními rozdíly v chemismu protolitu xenolitů a okolních vulkanitů a v důsledku toho

i koexistujících fluid, či rozdílnými P-T podmínkami při krystalizaci minerálních fází z různých lokalit.

Vlastní minerální výplň vnější bílozelené zóny je tvořena zeolity, kalcitem a saponitem a vznikla přímou krystalizací v otevřené dutině, která zůstala po uniklých vysokoteplotních fluidech. Krystalizace této mladší minerální výplně proběhla za podstatně nižších teplot než formování minerální asociace vlastního xenolitu (bílé zóny uzavřeniny). Např. pro krystalizaci chabazitu uvádějí Kristmannová a Tómasson (1978) teploty max. 70 °C, pro phillipsit teploty mezi 65 a 85 °C. Tenká interpozice alkalického živce II, zčásti uzavřená i v saponitu (obr. 5a), však jistě nevznikala za takto nízkých teplot. Nelze tedy vyloučit možnost, že jde o relict vysokoteplotní mineralizace, o tenký lem, původně narostlý na povlaku nestabilní fáze (např. skla?), která byla během mladších nízkoteplotních alterací zcela zatlačena saponitem.

Formování hydrotermálních žilek obsahujících Al-bohatý fylosilikát, siderit a kalcit, bylo mladším procesem,



Obr. 6 Ramanova spektra fylosilikátů z Prackovic n. L. a - saponit, b - Al-bohatý fylosilikát.

Tabulka 6 Chemické složení karbonátů ze žilky se sideritem (Sid - siderit, Cal - kalcit) z Prackovic n. L. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na bázi 1 kationtu kovů, obsahy koncových členů v mol. %. Obsahy Al byly při výpočtu hodnot apfu vyloučeny. bdl - pod mezí stanovitelnosti

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Sid	Sid	Sid	Sid	Sid	Sid	Sid	Sid	Cal	Cal	Cal	Cal	Cal	Cal
Vzorek	PRA-2	PRA-2	PRA-2	PRA-2	PRA-2	PRA-2	PRA-2	PRA-2	PRA-2	PRA-2	PRA-2	PRA-2	PRA-2	PRA-2
P ₂ O ₅	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.13	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.09	bdl	0.07
Al ₂ O ₃	0.10	0.45	0.18	0.10	0.17	0.31	bdl	bdl	0.12	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
CaO	2.58	6.52	10.11	15.71	14.90	8.25	4.92	2.82	50.40	48.95	39.19	36.09	35.22	34.82
MgO	0.94	2.86	3.70	4.72	5.44	6.38	12.08	14.71	3.02	3.77	10.83	13.95	16.41	17.84
MnO	0.56	0.70	0.53	0.71	0.71	0.88	0.95	0.72	0.11	0.13	bdl	bdl	bdl	bdl
FeO	55.35	48.07	43.24	35.84	35.35	42.37	37.73	38.16	1.76	2.60	4.11	3.59	1.37	0.97
Celkem	59.53	58.60	57.76	57.08	56.57	58.32	55.68	56.41	55.41	55.45	54.13	53.72	53.00	53.70
P ⁵⁺	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.002	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.001	bdl	0.001
Ca ²⁺	0.054	0.134	0.205	0.309	0.294	0.162	0.095	0.053	0.899	0.869	0.682	0.619	0.596	0.577
Mg ²⁺	0.028	0.082	0.104	0.129	0.150	0.174	0.324	0.382	0.075	0.093	0.262	0.333	0.386	0.411
Mn ²⁺	0.009	0.011	0.008	0.011	0.011	0.014	0.014	0.011	0.002	0.002	bdl	bdl	bdl	bdl
Fe ²⁺	0.909	0.772	0.683	0.551	0.545	0.650	0.567	0.555	0.025	0.036	0.056	0.048	0.018	0.013
Me sum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Cal	5.4	13.4	20.5	30.9	29.4	16.2	9.5	5.3	89.9	86.9	68.2	61.9	59.6	57.7
Mag	2.8	8.2	10.4	12.9	15.0	17.4	32.4	38.2	7.5	9.3	26.2	33.3	38.6	41.1
Rdc	0.9	1.1	0.8	1.1	1.1	1.4	1.4	1.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Sid	90.9	77.2	68.3	55.1	54.5	65.0	56.7	55.5	2.5	3.6	5.6	4.8	1.8	1.3

kteřý proběhl po vzniku otevřených průběžných puklin v hostitelských vulkanitech. Vznik sideritu byl spojen s nízkým Eh prostředím, pufrovaným pravděpodobně okolním vulkanitem, umožňujícím udržení významného množství dvojmocného železa v hydrotermálních roztocích. Většina dat definuje v diagramu obrázku 4d jednotný trend od čistého sideritu směrem k Ca i Mg obohacenému sideritu. To nasvědčuje kontinuální krystalizaci za stabilních geochemických podmínek. Naproti tomu Mg nejbohatší růstová zóna (obr. 5c) se z jednotného trendu vymyká, což signalizuje významnou změnu ve složení fluid či podmínek při krystalizaci.

Stádium	1	2	3
Křemen	I	II	III
Sanidin			
Titanit			
Egirín-augit			
Chabazit-K			
Phillipsit-K			
Saponit			
Kalcit			

Obr. 7 Posloupnost krystalizace minerálních fází v xenolitu z Prackovic n. L. Stádium 1 - detritické fáze, stádium 2 - pyrometamorfóza a raná hydrotermální aktivita, stádium 3 - nízkoteplotní hydrotermální aktivita.

Závěr

Mineralogické studium vzorků odebraných v prostoru deponie kamene, vytěženého při ražbě dálničních tunelů u Prackovic n. L., přineslo řadu nových zjištění k mineralogii xenolitů kausticky metamorfovaných sedimentů a hydrotermálních žilek, přítomných v kenozoických vulkanitech Českého středohoří. Studovaný xenolit představuje pravděpodobně úlomek kausticky metamorfovaného křídového pískovce, později přepracovaného i hydrotermální aktivitou. Má zonální stavbu. Jádro xenolitu obsahuje reliktů původních detritických křemenných zrn, uložených v matrici tvořené lištami křemene (patrně jde o paramorfózy křemene po tridymitu) a symplektitických srůstů alkalického živce (sanidin Or₅₇₋₈₁Ab₁₉₋₄₁An₀₋₁) a křemene. Obvod jádra xenolitu je lemován drúzovitými nárůsty alkalického živce s krystaly apatitu, egirín-augitu a titanitu. Významná je substituce Al trojvalentním železem ve všech zmiňovaných silikátech; je pravděpodobně důsledkem zvýšeného obsahu Fe³⁺ v původním pískovci (patrně v limonitovém tmelu). Okraj uzavřeniny je tvořen výplní složenou ze zeolitů (chabazit-K a phillipsit-K), saponitu a kalcitu. Tyto minerály pravděpodobně krystalizovaly za velmi nízkých teplot (<100 °C) v dutině, která zůstala po fluidech, uvolněných během kaustické přeměny jádra xenolitu. Dále byly studovány hydrotermální žilky v neovulkanitech, tvořené směsí Al-bohatých fylosilikátů (patrně minerálu z kaolinitové skupiny a smektitu) a silně substituovaným sideritem (Sid₅₅₋₉₁Mag₃₋₃₈Cal₅₋₃₁Rdc₁) a kalcitem (Cal₅₈₋₉₀Mag₈₋₄₁Sid₁₋₆).

Poděkování

Práce na dané problematice byly finančně podpořeny Ministerstvem kultury ČR v rámci institucionálního financování výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 - cíl DKRVO 1.II.d). Autoři děkují oběma recenzentům (K. Kropáč, V. Žáček) za konstruktivní připomínky, které přispěly k vylepšení rukopisu.

Literatura

- CAJZ V (ed) (1996) České středohoří. ČGS, Praha. 1-160
- COOMBS DS, ALBERTI A, ARMBRUSTER G, COLELLA C, GALLI E, GRICE JD, LIEBAU F, MANDARINO JA, MINATO H, NICKEL EH, PASSAGLIA E, PEACOR D, QUARTIERI S, RINALDI R, ROSS M, SHEPPARD RA, TILLMANN S, VEZZALINI G (1997) Recommended nomenclature for zeolite minerals: Report of the Subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names. *Can Mineral* 35: 1571-1606
- ČÁP P (2013) Poznámky ke xenolitům křídových sedimentů v neogenních vulkanitech z okolí Rovenska pod Troskami (Geopark Český ráj). *Zpr geol výzk v r 2013*: 7-11
- DOLNÍČEK Z, KROPÁČ K, UHER P, POLÁCH M (2010) Mineralogical and geochemical evidence for multi-stage origin of mineral veins hosted by teschenites at Tichá, Outer Western Carpathians, Czech Republic. *Chem Erde Geochem* 70(3): 267-282
- FEDIUK F (1981) Minerály hornin kausticky metamorfovaných vulkanitů a zemními požáry. In: BERNARD JH, ČECH F, DAVIDOVÁ Š, DUDEK A, FEDIUK F, HOVORKA D, KETTNER R, KODÉRA M, KOPECKÝ L, NĚMEC D, PADĚRA K, PETRÁNEK J, SEKANINA J, STANĚK J, ŠÍMOVÁ M: *Mineralogie Československa*: 524-525. Academia Praha
- FENNER CN (1912) The various forms of silica and their mutual relations. *J Washingt Acad Sci* 2(20): 471-480
- KOPECKÝ L, DOBEŠ M, FIALA J, ŠTOVIČKOVÁ N (1970) Fenites of the Bohemian Massif and the relations between fenitization, alkaline volcanism and deep fault tectonics. *Sbor geol věd, Geol* 16: 51-112
- KRISTMANNDÓTTIR H, TÓMASSON J (1978) Zeolite zones in geothermal areas in Iceland. In: SAND LB, MUMPTON FA (eds.) *Natural zeolites: Occurrence, properties, use*: 277-284. Pergamon Press, Elmsfold, New York
- MELKA K, ŠTĀSTNÝ M (2014) Encyklopedický přehled jílovyých a příbuzných minerálů. Academia Praha, 1-914
- MORIMOTO N, FABRIES J, FERGUSON AK, GINZBURG IV, ROSS M, SEIFERT FA, ZUSSMAN J, AOKI K, GOTTARDI G (1988) Nomenclature of pyroxenes. *Mineral Mag* 50: 535-550
- PASSAGLIA E (1970) The crystal chemistry of chabazites. *Am Mineral* 55: 1278-1301
- PAULÍŠ P, DOLNÍČEK Z, VRTÍŠKA L, MALÍKOVÁ R, POUR O, FEDIUK F (2021) Hydroxyapofylit-(K) z kamenolomu Těchlovice u Děčína (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 29(1): 124-130
- POUCHOU J, PICOIR F (1985) „PAP“ (φρΖ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: ARMSTRONG JT (ed): *Microbeam Analysis*: 104-106. San Francisco Press. San Francisco
- REEDER RJ, DOLLASE WA (1989) Structural variation in the dolomite-ankerite solid-solution series: An X-ray, Mössbauer, and TEM study. *Am Mineral* 74: 1159-1167
- ROCKETT TJ, FOSTER WR (1967) The thermal stability of purified tridymite. *Am Mineral* 52: 1233-1240
- STORMER JC JR, PIERSON MJ, TACKER RC (1993) Variation of F and Cl X-ray intensity due to anisotropic diffusion of apatite during electron microprobe analysis. *Am Mineral* 78: 641-648
- TRDLÍČKA Z, HOFFMAN V (1975) Untersuchungen der chemischen Zusammensetzung der Gangkarbonate von Kutná Hora (ČSSR). *Freiberg Forschungshefte* 6: 29-81
- ULRYCH J, CAJZ V, BALOGH K, ERBAN V (2001) Geochemistry of the stratified volcanosedimentary complex in the central part of the České středohoří Mts., North Bohemia. *Krystalinikum* 27: 27-49
- ULRYCH J, PIVEC E, LANG M, BALOGH K, KROPÁČEK V (1999) Cenozoic intraplate volcanic rock series of the Bohemian massif: a review. *Geolines* 9: 123-129
- WANG A, FREEMAN JJ, JOLLIFF BL (2015) Understanding the Raman spectral features of phyllosilicates. *J Raman Spectrosc* 46(10): 829-845
- ŽÁČEK V, RAPPRICH V, ŠKODA R, LAUFEK F (2010) Porcelanit s reliktmi mikrofosilií z lemu miocenní bazanitové žíly u Mladějova v Českém ráji. *Bull Mineral-petrolog odd Nár Muz (Praha)* 18(2): 79-86