

<https://doi.org/10.46861/bmp.32.085>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Andradit a datolit z Košťálova u Semil (Liberecký kraj, Česká republika)

Andradite and datolite from Košťálov near Semily (Liberec Region, Czech Republic)

LUBOŠ VRTIŠKA^{1)*}, JAROMÍR TVRDÝ^{1,2)}, ZDENĚK DOLNÍČEK¹⁾ A ZDENĚK DVOŘÁK³⁾¹⁾Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 -Horní Počernice;*e-mail lubos.vrtiska@nm.cz²⁾G E T s.r.o., Perucká 11a, 120 00 Praha 2 - Vršovice³⁾Edisonova 1643, 415 01 Teplice

VRTIŠKA L, TVRDÝ J, DOLNÍČEK Z, DVOŘÁK Z (2024) Andradit a datolit z Košťálova u Semil (Liberecký kraj, Česká republika). Bull Mineral Petrolog 32(1): 85-94 ISSN 2570-7337

Abstract

Andradite and datolite were newly discovered in the Košťálov quarry near Semily (Czech Republic). Both minerals form an irregular filling of a thin veinlet rimmed by recrystallised albite and diopside in altered basaltic andesite. Transparent honey-brown andradite occurring in crystals up to 1.5 mm in size and their subparallel aggregates is relatively pure, containing 93 - 99 mol. % Adr, in the narrow outer zone with increased content of grossular component in the range of 13 - 27 mol. %. Crystalline datolite with empirical formula $\text{Ca}_{1.00}\text{B}_{1.03}(\text{SiO}_2)_{0.97}\text{OH}_{0.99}\text{F}_{0.01}$ is clearly younger than andradite and older than calcite. The minerals were identified by electron microprobe analysis, supplemented for datolite by Raman spectroscopy and powder X-ray diffraction. Hydrothermal solutions with temperatures between about 160 and 400 °C are thought to have formed the studied mineral assemblage.

Key words: garnet, andradite, datolite, chemical composition, Raman spectroscopy, PXRD study, basaltic andesite, Košťálov, Czech Republic

Obdrženo: 20. 4. 2024; přijato 27. 6. 2024

Úvod

Kamenolom Košťálov se nachází cca 6 km jihovýchodně od centra Semil v Libereckém kraji. Předmětem těžby je kompaktní, šedočerná až tmavě šedá vulkanická hornina tradičně nazývaná *melafyr*. Petrograficky odpovídá subalkalickému (tholeiitickému) bazaltu (Fediuk in Pauliš, Malec 2010), průměty chemického složení uvedeného v závěrečné zprávě Knotka a Bašty (1976) padají v diagramu TAS (Le Maitre et al. 2002) do pole bazaltického andezitu. *Melafyry* u Košťálova vznikly během hlavního cyklu svrchnopaleozoické sopečné aktivity podkrkonošské pánve (cca 297 Ma) a na zemský povrch vystupují v délce asi 10 km od svahu Kozákova přes Hofensko, Stružinec až k Libštátu. Mají intruzivní charakter a pronikají diskordantně červenými aleuopelity a pískovci spodního permu. Na severu jsou zčásti překryty křídovými mořskými sedimenty a neovulkanity (Pešek 2004; Ulrych et al. 2003, 2006; Opluštil et al. 2016; Dostal et al. 2020).

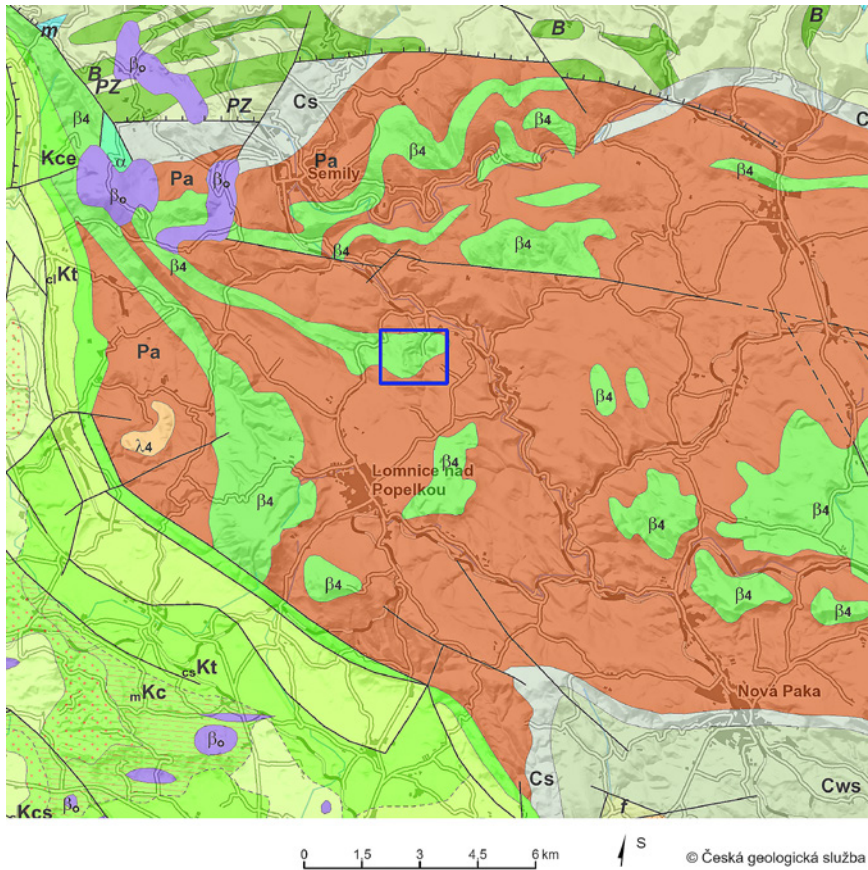
V Želechovském údolí u Košťálova je těžba kamene dokumentována od roku 1922 (Hašlar, Čtyroký 1957). Postupně zde vznikly tři kamenolomy. V opuštěném, obci nejbližší situovaném Košťálovském lomu byla v 90. letech zřízena skládka komunálního odpadu. Dlouhou dobu mimo provoz je i lom Černá díra se stále platným dobývacím prostorem Košťálov II, položeným na evidovaném výhradním ložisku Košťálov. Veškerou současnou produkci tak obstarává velký kamenolom na místě starého Stružineckého lomu na západním svahu Želechovského údolí. Zde je ve státní bilanci vedeno výhradní ložisko staveb-

ního kamene Košťálov-Stružinec s dobývacím prostorem Košťálov I (obr. 1 a 2). Ložisko poskytuje kolem 300 tisíc m³ drceného kameniva a lomového kamene ročně (Tvrđý et al. 2023).

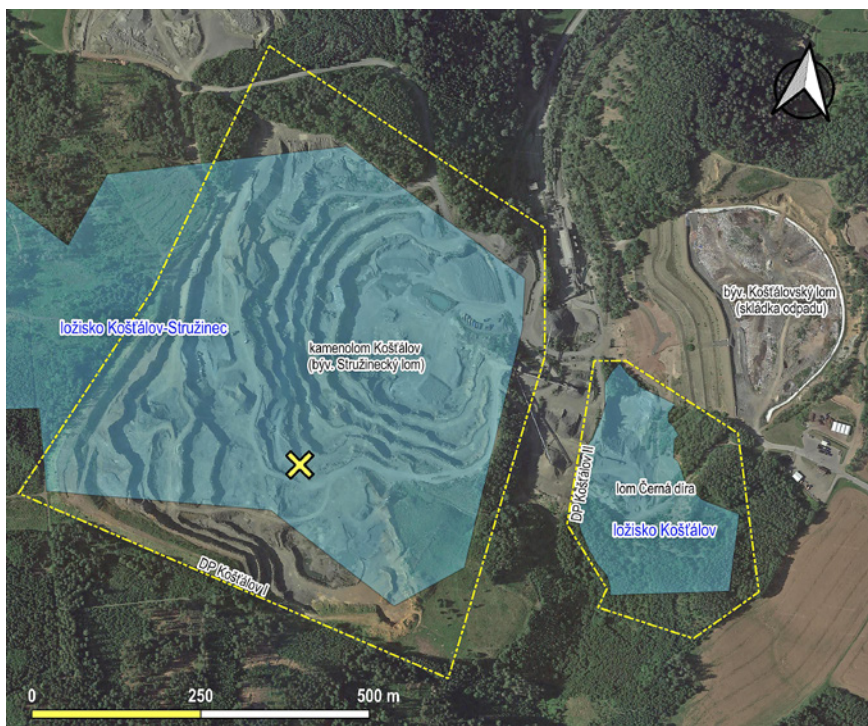
Přehled minerálů popsanych z trhlín *melafyru* v Košťálově uvádí Pauliš et al. (2020). Lokalita je proslulá nalezy pektolitu (Gotthard 1933; Kašpar 1941; Tuček 1965) a řady dalších minerálů. Dosud byly zjištěny prehnit, baryt, apofylit (*sensu lato* a hydroxylapofylit), stevensit (resp. diskreditovaný *hanušit*), kalcit a chalcodon; ze zeolitů jsou uváděny chabazit-Ca, heulandit-Ca, skolecit a thomsonit-Ca (Kratochvíl 1930; Kašpar 1942; Tuček 1943, 1965; Faust et al. 1959; Kašpar et al. 2010; Pauliš et al. 2020). Nález měděné mineralizace (djurleit, chryzokol, brochantit) publikovali Pauliš a Malec (2010). Na ně navázaly popisy julgolditu-(Fe²⁺) v asociaci s pektolitem, železem bohatým prehnitem, hematitem a pyritem (Vrtiška et al. 2023) a ortorombického vápenatého zeolitu stelleritu (Tvrđý et al. 2023). Nově zjištěnými minerály jsou andradit a datolit, kterým je věnován tento článek.

Metodika výzkumu

Barevné mikrofotografie 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. Fotografie minerálů ve zpětně rozptýlených elektronech (BSE) byly zhotoveny na elektronovém skenovacím mikroskopu Hitachi S3700-N (Lenka Váchová, Národní muzeum, Praha).



Obr. 1 Geologická pozice západní části podkrkonošské pánve mezi Semily a Novou Pakou: β_o bazaltoidní neovulkanity, Kc-Kce-Kcs-Kt křídové sedimenty, Pa sedimenty permokarbonu, β_4 permokarbonské bazalty a bazaltické andezity, λ_4 permokarbonské ryolity a dacity, Cs-Cws sedimenty svrchního karbonu, PZ paleozoikum slabě metamorfované, m mramory, a metaandezity, B amfibolity. Modrým rámečkem vyznačena oblast obr. 2.

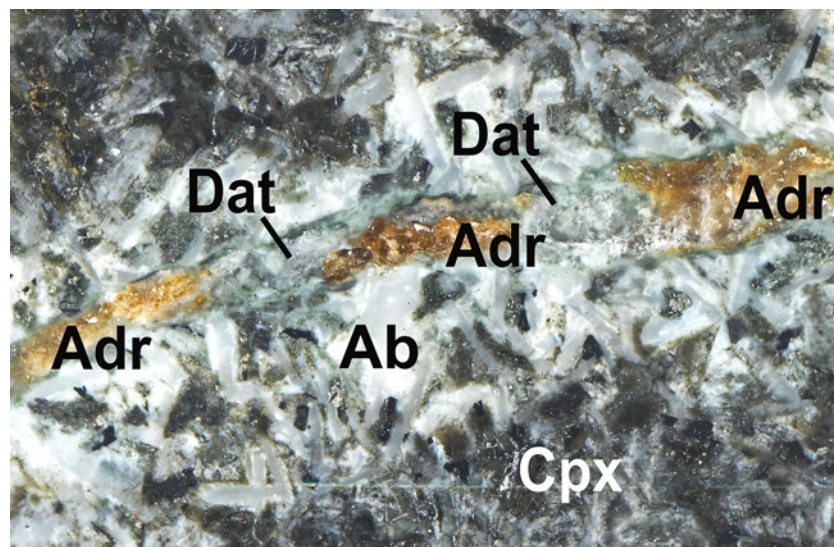


Obr. 2 Ložisková situace s vyznačením místa popisovaného nálezu. Zdroj: Česká geologická služba. Mapový podklad Google © 2024 CNES / Airbus, Landsat, Maxar Technologies.

Rentgenová prášková difrakční data datolitu byla získána pomocí difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s polovodičovým pozičně citlivým detektorem LynxEye za užití CuK α záření (40 kV, 40 mA). Práškové preparáty byly nanoseny v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku a následně pak byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.01°, načítací čas 8 s/krok detektoru, celkový čas experimentu cca 15 hod.). Pozice jednotlivých difrakčních maxim byly popsány profilovou funkcí Pseudo-Voigt a upřesněny profilovým fitováním v programu High-Score Plus. Mřížkové parametry byly zpřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Celref (Laugier, Bochu 2011).

Chemické složení minerálů bylo kvantitativně stanoveno pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha) za těchto podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 20 nA, průměr svazku 0.9 μ m pro granáty a napětí 15 kV, proud 10 nA, průměr svazku 3 μ m pro datolit. Použité standardy: albit (NaK α), almandin (SiK α , AlK α , FeK α), apatit (PK α), diopsid (MgK α), LiF (FK α), rodonit (MnK α), Sn (SnL α), TiO $_2$ (TiK α), vanadinit (VK α), wollastonit (CaK α). Kvantitativně analyzovány byly i obsahy dalších prvků (Cr, Zn, Ni, Y, Zr, U, Rb, K, Cl, Pb, Ba, Cu, Co, N, Sb, Cs), u nich byly zjištěny hodnoty pod detekčním limitem. Získaná data byla korigována za použití algoritmu PAP (Pouchou, Pichoir 1985). Jelikož tato metoda neumožňuje stanovit obsah bóru, byl následně datolit potvrzen pomocí Ramanovy spektroskopie a práškové RTG difrakce.

Ramanovo spektrum datolitu bylo pořízeno na disperzním spektrometru DXR (Thermo Scientific) spojeném s konfokálním mikroskopem Olympus (Národní muzeum, Praha). Podmínky měření: zvětšení objektivu 100 \times , použitý laser 532 nm, doba expozice 1 s, celkový počet expozic 500, nastavený výkon laseru 10 mW, použitá apertura 50 μ m pinhole, velikost měřené stopy 0.7 μ m. Spektrometr byl kalibrován pomocí softwarově řízené procedury za využití emisních linií



Obr. 3 Průřez datolit (Dat) - andraditovou (Adr) žilkou lemovanou rekrystalizovaným albitem (Ab) a tmavě zeleným klinopyroxenem (Cpx) v bazaltickém andezitu z Košťálova. Šířka záběru 15 mm. Foto L. Vrtiška.

neonu (kalibrace vlnočtu), Ramanových pásů polystyrenu (kalibrace frekvence laseru) a standardizovaného zdroje bílého světla (kalibrace intenzity). Zpracování spektra bylo provedeno pomocí software Omnic 9 (Thermo Scientific).

Studovaný materiál

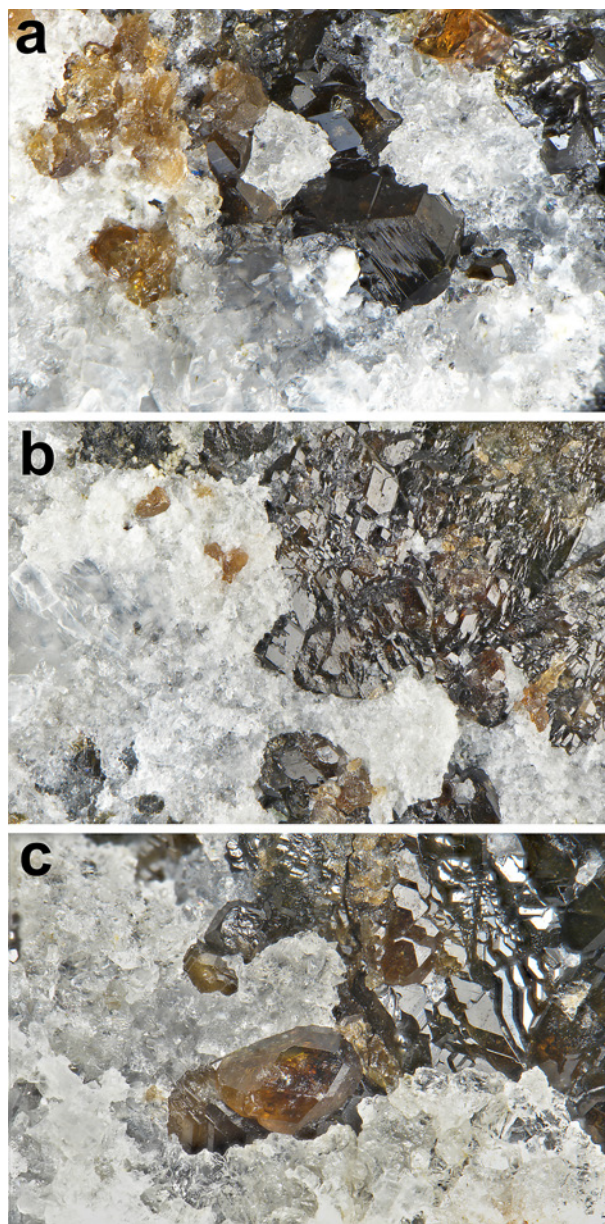
Studovaný materiál našel jeden z autorů (ZDV) v srpnu 2022 na 4. těžební etáži kamenolomu Košťálov (WGS 50°33'45"N, 15°22'51"E; obr. 2). Popisované minerály tvoří nepravidelnou výplň tenké (několik mm) žilky v bazaltickém andezitu, který je do vzdálenosti 1 - 3 mm postižen hydrotermální přeměnou projevující se úbytkem tmavých horninotvorných minerálů na úkor lištovitých krystalů albitu, novotvořenými krystaly klinopyroxenu (diopsidu) a přítomností apatitu a titanitu (obr. 3). Dokladový materiál je uložen v mineralogické sbírce Národního muzea a v Muzeu Českého ráje v Turnově.

Datolit

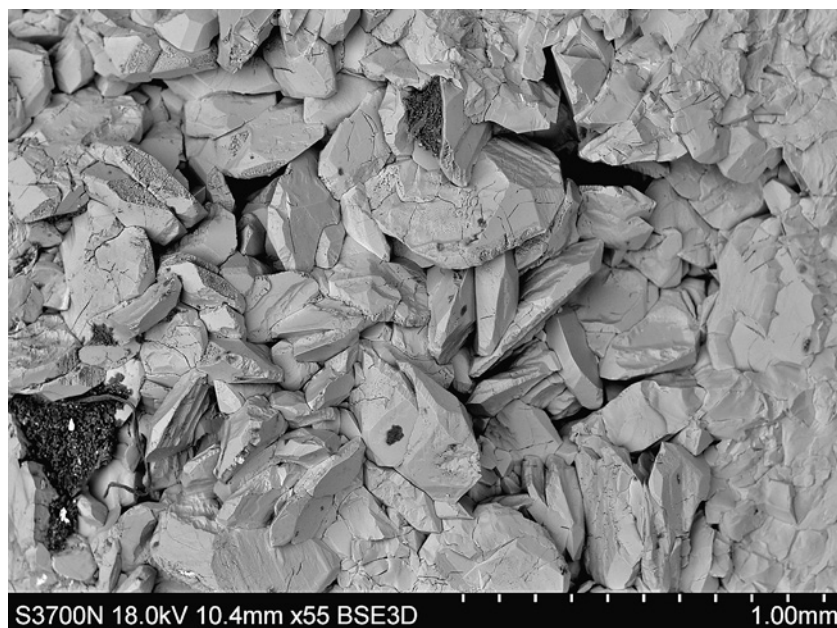
Datolit je na studovaných vzorcích velmi nenápadným minerálem. Tvoří krystalickou výplň žilky, která je zřetelně mladší nežli andradit a vyplňuje trhliny v jeho krystalech (obr. 4a-c). V drobných dutinách lze pozorovat čiré, skelně lesklé, nízce prizmatické, čočkovité krystaly o velikosti do 0.6 mm (obr. 5), doprovázené mladším bílým až čirým, na povrchu matným kalcitem, jehož romboedrické krystaly nepřesahují velikost 0.5 mm.

Rentgenová prášková data datolitu z Košťálova (tab. 1) odpovídají údajům publikovaným pro tento minerální druh. Zpřesněné parametry jeho základní cely (tab. 2) se dobře shodují s publikovanými údaji uvedenými v práci Foita et al. (1973). Datolit byl ověřen také pomocí Ramanovy spektroskopie. Získané spektrum se velmi dobře shoduje se spektrem datolitu R050136 z databáze RRUFF z lokality Charcas v Mexiku (obr. 6).

V BSE obraze se datolit jeví jako homogenní s nepravidelnými relikty křemene o velikosti desítek mikrometrů (obr. 7). Kromě obsažů Ca a Si odpovídajících téměř ideálním obsahům těchto prvků v datolitu byly při studiu chemického složení (tab. 3) zjištěny také minoritní obsahy Fe^{2+} (do 0.005 *apfu*), Al (do 0.004 *apfu*) a F (do 0.019 *apfu*). Empirický vzorec datolitu (průměr 10 bodových analýz) je $\text{Ca}_{1.00}\text{B}_{1.03}(\text{SiO}_{2.97}\text{OH}_{0.99}\text{F}_{0.01})$.



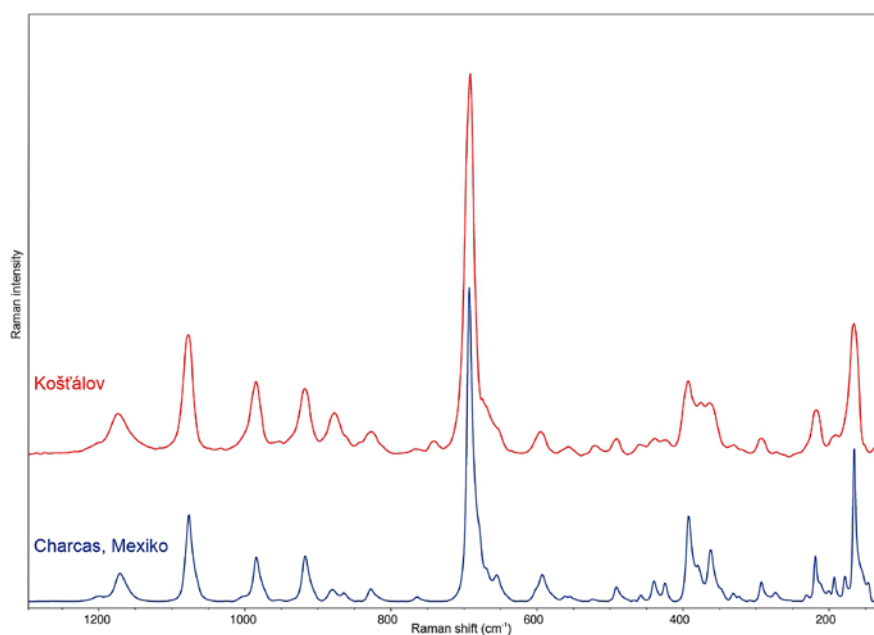
Obr. 4 Medově hnědý andradit porůstáný bělavým datolitem na trhlíně bazaltického andezitu z Košťálova. Šířka záběru 9 mm (a), 8 mm (b) a 3.5 mm (c). Foto L. Vrtiška.



Obr. 5 Krystaly datolitu z Košťálova. Šířka záběru 2.1 mm. BSE foto L. Váchová.

Tabulka 1 Rentgenová prášková data datolitu z Košťálova

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>
0	1	1	5.977	1	5.971	-1	0	4	2.1592	8	2.1609	-1	3	4	1.6439	13	1.6450
1	0	0	4.840	19	4.832	-1	1	4	2.0773	6	2.0788	2	3	2	1.6418	17	1.6417
-1	1	1	3.761	68	3.764	-1	3	2	2.0371	2	2.0381	-1	2	5	1.6214	2	1.6223
1	0	2	3.409	50	3.399	-2	2	1	1.9972	11	1.9977	3	0	0	1.6120	1	1.6105
-1	1	2	3.118	100	3.121	2	2	1	1.9949	16	1.9929	0	0	6	1.6057	<1	1.6051
1	2	0	2.991	55	2.989	0	3	3	1.9911	11	1.9904	-2	2	4	1.5593	3	1.5607
-1	2	1	2.858	67	2.859	0	4	0	1.9027	2	1.9027	3	0	2	1.5250	5	1.5242
-1	1	3	2.527	17	2.530	-2	1	3	1.8765	11	1.8770	-3	1	2	1.5001	3	1.5005
1	1	3	2.522	43	2.515	2	2	2	1.8742	10	1.8740	0	2	6	1.4793	1	1.4789
0	2	3	2.4540	2	2.4537	1	2	4	1.8704	12	1.8712	-3	2	1	1.4659	2	1.4673
0	0	4	2.4093	5	2.4076	1	4	0	1.7704	12	1.7704	-1	5	1	1.4364	2	1.4360
0	1	4	2.2971	12	2.2955	0	3	4	1.7452	2	1.7464	2	4	2	1.4268	2	1.4258
1	3	0	2.2461	27	2.2461	-2	3	1	1.7225	3	1.7228	-1	2	6	1.4169	2	1.4167
-1	3	1	2.1910	31	2.1890	0	2	5	1.7193	5	1.7185	3	3	0	1.3609	2	1.3597
1	3	1	2.1852	23	2.1858	-1	4	2	1.6629	7	1.6630	-3	3	1	1.3464	2	1.3474
-2	0	2	2.1639	3	2.1653	-2	3	2	1.6457	11	1.6470						



Obr. 6 Porovnání Ramanových spekter datolitu z Košťálova a naleziště Charcas v Mexiku (data-báze RRUFF R050136).

Tabulka 2 Parametry základní cely datolitu pro monoklinickou prostorovou grupu P2₁/c

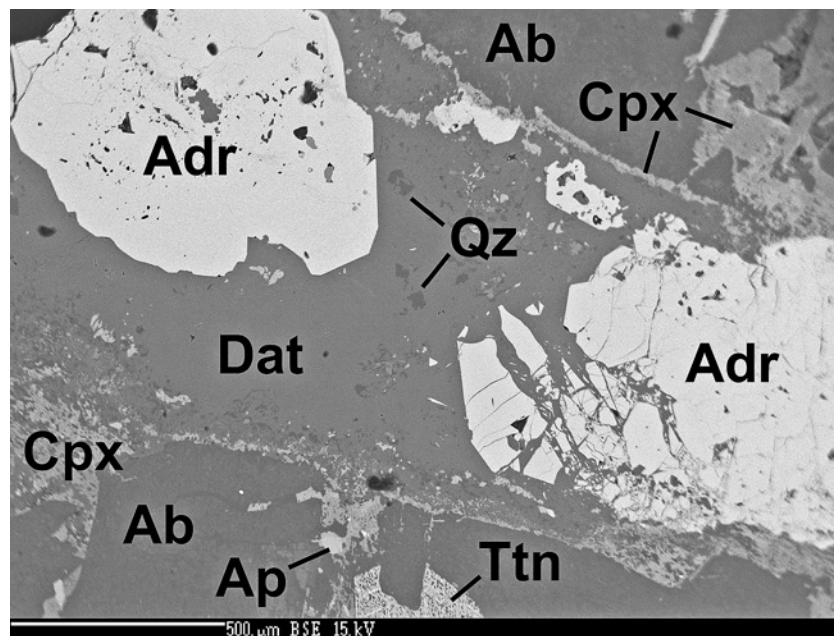
	Košťálov (tato práce)	Foit et al. (1973)
a [Å]	4.8317(11)	4.832(4)
b [Å]	7.610(2)	7.608(4)
c [Å]	9.631(2)	9.636(8)
β [°]	90.42(3)	90.40(7)
V [Å ³]	354.14(2)	354.23

Tabulka 3 Chemické složení datolitu z Košťálova (hm. %)

	Mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CaO	34.92	35.20	34.94	34.88	34.85	34.89	35.12	35.01	34.50	34.70	35.07
FeO	0.05	0.19	0.24	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B ₂ O ₃ *	22.24	22.80	22.87	21.74	22.11	22.30	22.08	22.24	22.08	21.77	22.41
Al ₂ O ₃	0.06	0.00	0.00	0.05	0.14	0.14	0.00	0.04	0.07	0.05	0.11
SiO ₂	36.46	36.41	35.82	37.30	36.37	36.12	37.16	36.60	35.74	36.74	36.35
F	0.14	0.19	0.00	0.21	0.22	0.18	0.00	0.19	0.00	0.21	0.18
H ₂ O**	5.55	5.58	5.64	5.51	5.49	5.52	5.64	5.53	5.54	5.47	5.54
F=-O	-0.06	-0.08	0.00	-0.09	-0.09	-0.08	0.00	-0.08	0.00	-0.09	-0.08
Total	99.36	100.29	99.51	99.69	99.09	99.07	100.00	99.53	97.93	98.85	99.58
Ca	0.999	0.996	0.995	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Fe	0.001	0.004	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B	1.025	1.039	1.049	1.002	1.022	1.030	1.013	1.023	1.031	1.011	1.029
Al	0.002	0.000	0.000	0.002	0.004	0.004	0.000	0.001	0.002	0.002	0.003
Si	0.973	0.961	0.952	0.996	0.974	0.966	0.987	0.976	0.967	0.988	0.967
F	0.012	0.016	0.000	0.018	0.019	0.015	0.000	0.016	0.000	0.018	0.015
OH	0.989	0.983	1.000	0.982	0.981	0.985	1.000	0.984	1.000	0.982	0.984

Hodnoty *apfu* vypočteny na bázi Ca+Fe = 1 *apfu*; * obsahy B dopočteny na bázi Si+B+Al = 2 *apfu*; **obsahy vody dopočteny na bázi OH+F = 1 *pfu*.

Obr. 7 BSE snímek datolít-andraditové žilky v bazaltickém andezitu z Košťálova. *Dat* datolít, *Adr* andradit, *Ab* albit, *Qz* křemen, *Cpx* klinopyroxen, *Ap* apatit, *Ttn* titanit. Foto Z. Dolníček.



Andradit

Vápenato-železitý granát andradit tvoří nejčastěji medově hnědé až tmavě zelené krystaly o velikosti do 1.5 mm a jejich subparalelně-stupňovité srůsty se silným skelným leskem. Převažujícím krystalovým tvarem je romboický dodekaedr, občas otupený minoritně vyvinutými plochami tetragon-trioktaedru (obr. 4).

Chemické složení granátu z Košťálova je uvedeno v tabulce 4. Z tabulky vyplývá zvýšené zastoupení grosulárové složky (13 - 27 mol. % *Gr*s) v úzké vnější růstové

zóně (*Adr* II na obr. 8) andraditových krystalů (68 - 83 mol. % *Adr*). Pro tuto zónu je také charakteristická přítomnost malých obsahů almandinové (1.7 - 3.2 mol. % *Alm*), schorlomitové (0.3 - 0.8 mol. % *Slo*), fluorokatoitové (0.8 - 1.1 mol. % *F-Kto*), spessartinové (0.4 - 0.5 mol. % *Sps*) a goldmanitové (0.3 - 0.5 mol. % *Glm*) komponenty. Průměr tří bodových analýz při přepočtu na bázi 12 atomů kyslíku a 5 kationtů v pozicích X+Y odpovídá empirickému vzorci $\text{Adr II} = (\text{Ca}_{2.91}\text{Fe}^{2+}_{0.07}\text{Mn}_{0.01}\text{Fe}^{3+}_{0.01}\text{Al}_{0.43}\text{Ti}_{0.01}\text{V}_{0.01})_{2.00}(\text{SiO}_4)_{2.98}\text{F}_{0.04}$. Objemově dominantní vnitřní

jádro (I) je tvořeno téměř čistým andraditem (93 - 99 mol. % Adr) s malými příměsemi grosulárove (0.5 - 5.6 mol. % Grs), fluorokatoitové (max. 1.4 mol. % F-Kto), spessartionové (0.1 - 0.4 mol. % Sps) a toturitové (max. 0.3 mol. % Tot) složky. Průměr třinácti bodových analýz při přepočtu na bázi 12 atomů kyslíku a 5 kationtů v pozicích X+Y odpovídá empirickému vzorci ADR I = $(Ca_{3.01}Mn_{0.01})_{3.02}(Fe^{3+}_{1.95}Al_{0.02})_{1.97}(SiO_4)_{3.06}F_{0.03}$.

Podíl grosulárove molekuly ve vnější andraditové zóně granátu z Košťálova je zřejmý z grafu na obr. 9. Analýzy jsou doplněny o data z lomu Bučník u Komně (Dolníček, Krobot 2013) a z analogického výskytu granátu ve vulkanitech ze skotské lokality Loanhead, kde se kromě krémového, žlutého až hnědého andraditu vyskytl bezbarvý, bílý až nažloutlý grosulár (Livingstone 1989).

Diskuse

Datolit je charakteristickým nerostem nízkoteplotních (cca 100 - 200 °C) hydrotermálních mineralizací vázaných na magmatické intruze (zejména bazické), kde je nejčastěji doprovázen prehnitem, chloritem, kalcitem a také albitem, apofylitem, analcitem a pektolitem. Dalším typem výskytu jsou vysokoteplotní (cca 220 - 420 °C) skarnové asociace. Vznik datolitu je podmíněn alkalickým prostředím (pH 8.0 - 8.5) s nízkým obsahem CO₂ a zvýšenou koncentrací bóru, vápníku a křemíku. Naopak prostředí fluid s nižším pH (6.3 - 8.0) a sníženým obsahem Ca²⁺ podporuje krystalizaci danburitu (např. Eugster, Wise 1963; Yang, Rosenberg 1995; Włodyka et al. 1998). Studie Zaccarini et al. (2008) zaměřená na výskyt datolitu

Tabulka 4 Chemické složení vnitřní (I) a vnější zóny (II) granátu z Košťálova. Obsahy oxidů a fluoru v hm. %, hodnoty apfu a rozpočet železa jsou vypočítány na základ 12 atomů kyslíku a 5 oktaedricky koordinovaných atomů (X+Y), obsahy koncových členů v mol. %. b.d. - pod mezí stanovitelnosti

Analýza	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zóna	II	II	II	I/II	I	I	I	I	I	I
SiO ₂	37.22	36.44	36.65	36.61	35.91	36.50	36.28	36.45	35.80	36.19
P ₂ O ₅	0.02	b.d.	0.03	0.02	b.d.	b.d.	b.d.	0.02	0.03	0.04
TiO ₂	0.25	0.24	0.09	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
SnO ₂	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.10	0.09	0.19	b.d.	b.d.	0.20
Al ₂ O ₃	6.23	4.72	3.23	2.62	0.39	0.35	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
V ₂ O ₃	0.13	0.10	0.14	0.12	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Fe ₂ O ₃	22.52	25.42	27.14	28.18	30.61	30.86	30.72	30.73	31.03	31.05
FeO	1.04	1.45	0.80	0.75	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
MnO	0.21	0.17	0.17	0.17	0.18	0.15	0.08	0.05	0.13	0.15
MgO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
CaO	33.45	33.68	33.41	33.42	33.19	33.05	33.40	33.37	33.31	33.27
Na ₂ O	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
F	0.17	0.12	0.17	0.22	0.14	0.16	b.d.	0.15	0.21	b.d.
F=-O	-0.07	-0.05	-0.07	-0.09	-0.06	-0.07	0.00	-0.06	-0.09	0.00
Celkem	101.17	102.29	101.76	102.02	100.46	101.09	100.67	100.71	100.42	100.90
Si ⁴⁺	3.027	2.920	3.003	3.002	3.030	3.082	3.072	3.093	3.026	3.055
P ⁵⁺	0.001	b.d.	0.002	0.001	b.d.	b.d.	b.d.	0.001	0.002	0.003
Σ T	3.029	2.920	3.005	3.004	3.030	3.082	3.072	3.094	3.028	3.058
Ti ⁴⁺	0.015	0.014	0.006	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Sn ⁴⁺	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.003	0.003	0.006	b.d.	b.d.	0.007
Al ³⁺	0.597	0.446	0.312	0.253	0.039	0.035	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
V ³⁺	0.008	0.006	0.009	0.008	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Fe ³⁺	1.379	1.533	1.673	1.739	1.944	1.961	1.957	1.962	1.974	1.973
Fe ²⁺	0.071	0.097	0.055	0.051	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Mn ²⁺	0.014	0.012	0.012	0.012	0.013	0.011	0.006	0.004	0.009	0.011
Mg ²⁺	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ca ²⁺	2.915	2.892	2.933	2.937	3.001	2.990	3.030	3.034	3.017	3.010
Na ⁺	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Σ X+Y	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
F ⁻	0.044	0.030	0.044	0.057	0.037	0.043	0.000	0.040	0.056	0.000
Adr	68.2	75.9	83.4	87.0	97.0	97.9	97.6	98.1	98.7	98.3
Grs	26.7	18.7	12.5	9.1	1.9	0.6	3.1	2.0	0.5	1.7
F-Kto	1.1	0.8	1.1	1.4	0.9	1.1	0.0	1.0	1.4	0.0
Alm	2.4	3.2	1.8	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sps	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.1	0.3	0.4
Slo	0.8	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Glm	0.4	0.3	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tot	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.0	0.0	0.3
Prp	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Celkem	100.0	100.0	100.0	100.0	100.5	100.0	101.2	101.3	100.9	100.7

v bazaltech ofiolitů italských severních Apenin ukázala, že zdrojem matečních fluid je buď modifikovaná mořská voda cirkulující oceánskou kůrou, anebo vodné roztoky uvolněné během diagenese přímo v ofiolitových sériích; podle obsahu stopových prvků a charakteru fluidních inkluzí je pravděpodobnější druhá varianta. Obdobně Kiss et al. (2012) spojují vznik asociace datolitu s prehnitem, křemenem, kalcitem a albitem na trhlinách čedičových hornin v pohoří Bükk (Maďarsko) s projevy velmi nízkého stupně alpské metamorfózy při teplotě 160 - 210 °C a tlaku 0.6 - 1.1 kbar. Teplotu krystalizace datolitu 160 - 250 °C uvažuje také Rinaldi et al. (2010).

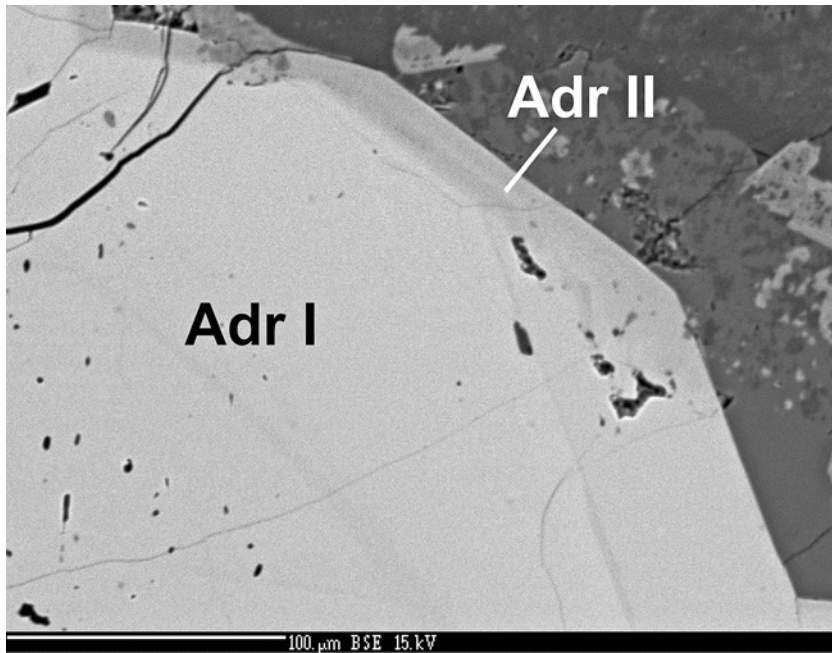
Obdobné podmínky lze předpokládat i pro vznik datolitu ve vulkanických horninách na území České republiky. Jde o výskyty na puklinách paleozoických paleobazaltů v Malé Chuchli a Radotíně (Praha) a v kontaktních rohových v Lišticích u Berouna (Strnad 1961), jakož i v

alterovaných křídových těšínitech a v jejich exokontaktu (zde spolu s grosulárem) v širším okolí Frýdku-Místku (Kudělásek et al. 1987; Matýsek 1988, 1993; Matýsek et al. 2018). Z kontaktně metamorfovaných pískovců v sousedství neogenní trachyandezitové intruze v Komni u Uherského Brodu uvádí Ulmanová (2015) datolit z kalcitové žilky s granáty, křemenem, kalcitem, epidotem a laumontitem.

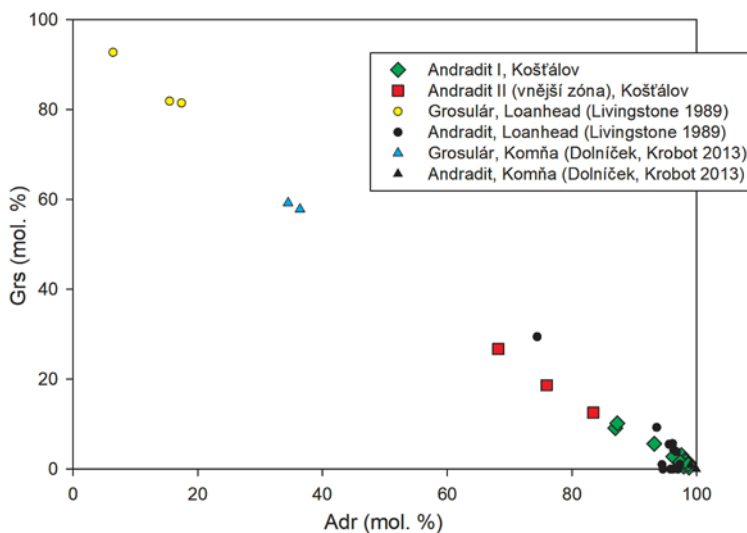
Literární údaje o nízkoteplotním vzniku granátu nejsou oproti datolitu tak časté. Easton et al. (1977) popisují výskyty nízkoteplotního (cca 170 °C) andraditu a grosuláru (*hydrogrosuláru*) z mořských sedimentů ovlivněných hydrotermální metasomatózou v blízkosti bazaltoidních intruzí. Z ostrova Mull ve Skotsku je uváděn grosulár v asociaci se skolecitem a vzácně i s chabazitem a thomsonitem (McLintock 1915). Novější nálezy krystalovaného granátu pocházejí z mandlovcových dutin v čedičové

Tabulka 4 Pokračování

Analýza	11	12	13	14	15	16	17	18	Mean	Mean
Zóna	I	I	I	I/II	I	I	I	I	I	II
SiO ₂	36.40	36.14	36.21	37.10	36.39	36.30	35.90	36.30	36.21	36.76
P ₂ O ₅	0.04	b.d.	0.03	0.06	b.d.	0.03	b.d.	0.02	0.02	0.01
TiO ₂	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.00	0.16
SnO ₂	b.d.	0.16	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.06	0.00
Al ₂ O ₃	0.15	0.42	0.49	2.59	1.32	b.d.	b.d.	b.d.	0.24	4.52
V ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.00	0.12
Fe ₂ O ₃	31.04	30.50	30.64	27.85	29.58	31.01	31.02	30.91	30.75	25.37
FeO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.00	1.08
MnO	0.12	0.11	0.12	0.12	0.11	0.10	0.08	0.07	0.11	0.18
MgO	b.d.	b.d.	b.d.	0.24	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.00	0.00
CaO	33.14	33.44	33.11	33.19	33.42	33.31	33.13	33.26	33.26	33.52
Na ₂ O	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.09	b.d.	0.01	0.00
F	b.d.	0.17	0.14	0.19	0.17	0.20	0.16	0.16	0.13	0.17
F=-O	0.00	-0.07	-0.06	-0.08	-0.07	-0.08	-0.07	-0.07	-0.05	-0.07
Celkem	100.89	100.87	100.68	101.26	100.92	100.87	100.31	100.65	100.73	101.83
Si ⁴⁺	3.077	3.040	3.058	3.090	3.047	3.070	3.038	3.078	3.059	2.983
P ⁵⁺	0.003	b.d.	0.002	0.004	b.d.	0.002	b.d.	0.001	0.001	0.001
Σ T	3.080	3.040	3.060	3.094	3.047	3.073	3.038	3.080	3.060	2.984
Ti ⁴⁺	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.000	0.010
Sn ⁴⁺	b.d.	0.005	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.002	0.000
Al ³⁺	0.015	0.042	0.049	0.254	0.130	b.d.	b.d.	b.d.	0.024	0.433
V ³⁺	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.000	0.008
Fe ³⁺	1.975	1.931	1.947	1.746	1.864	1.974	1.975	1.973	1.954	1.550
Fe ²⁺	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.000	0.073
Mn ²⁺	0.009	0.008	0.009	0.008	0.008	0.007	0.006	0.005	0.008	0.013
Mg ²⁺	b.d.	b.d.	b.d.	0.030	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.000	0.000
Ca ²⁺	3.002	3.014	2.996	2.962	2.998	3.019	3.004	3.022	3.011	2.914
Na ⁺	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.015	b.d.	0.000	0.000
Σ X+Y	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	4.999	5.000
F ⁻	0.000	0.045	0.037	0.050	0.045	0.054	0.043	0.043	0.034	0.044
Adr	98.7	96.3	97.3	87.3	93.2	98.7	98.8	98.6	97.6	77.0
Grs	1.3	2.8	1.6	10.2	5.6	0.6	0.3	1.0	1.8	18.2
F-Kto	0.0	1.1	0.9	1.3	1.1	1.3	1.1	1.1	0.9	1.1
Alm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4
Sps	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4
Slo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
Glm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
Tot	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Prp	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Celkem	100.3	100.7	100.1	100.0	100.2	100.9	100.3	100.9	100.6	100.0



Obr. 8 BSE snímek andraditu z Košťálova s dobře patrnou vnitřní (Adr I) a vnější zónou (Adr II). Foto Z. Dolníček.



Obr. 9 Variace v obsahu grosulárové a andraditové složky v granátu z Košťálova v porovnání s údaji z lokalit Komňa v ČR (Dolníček, Krobot 2013) a Loanhead ve Skotsku (Livingstone 1989).

hornině na lokalitě Loanhead u městečka Beith cca 20 km od Glasgowa rovněž ve Skotsku (Mindat 2024). Granát je doprovázen epidotem, analcimem, thomsonitem a kalcitem a jeho variabilní složení se odráží v různých barevných odstínech. Livingstone (1989) předpokládá, že vznikl z Na-Al-Si-Ca-Fe-bohatých fluid a následně při teplotách pravděpodobně výrazně nižších než 300 °C vykrytalizoval kalcit a/nebo hematit. Poněkud odlišný je skarnový výskyt datolitu a granátu andraditového a grosulárového složení v xenolitech dioritového porfyritu (porfyrického andezitu) v lomu Maglovec ve Vyšné Šebastové u Prešova (Đuđa et al. 2001; Peterec, Košuth 2018). V již zmíněné Komni byla v kalcitových žilkách vyplňujících pukliny kontaktně přeměněných pískovců nalezena několik milimetrů velká krystalická zrna andraditu s grosulárovým lemem (Dolníček, Krobot 2013).

V případě andraditu z Košťálova je možné předpokládat, že zatímco nejobemnější vnitřní zóna krystalových jedinců ukazuje na nezanedbatelný obsah fluóru a cínu ve zdrojových roztocích, tenká vnější zóna s relativně zvýšeným obsahem titanu, vanadu a nejspíše i hliníku a

manganu odráží buď změnu teploty fluid a/nebo částečnou změnu chemismu prostředí způsobenou rozkladem horninotvorných minerálů. Obdobný vývoj chemismu granátu směrem ke zvyšování obsahu grosulárové složky byl pozorován na řadě lokalit (např. Livingstone 1989; Dolníček, Krobot 2013; tato práce) a ukazuje na analogický vývoj podmínek vzniku hydrotermálních granátů andradit-grosulárového složení v prostředí vulkanických hornin.

Závěr

Na rozdíl od většiny dosud popisovaných trhlinových minerálů je pro vznik asociace datolitu s granátem v Košťálově nutno předpokládat postmagmatické hydrotermální roztoky o teplotě v rozmezí cca 160 - 400 °C. Podmínky vzniku a geochemický charakter nerostotvorného prostředí lze zčásti přirovnat k minerální asociaci alpských žil a jim podobných asociací typu C (Bernard 1981; Fišera 2000). Ta se vyznačuje vysokým obsahem Ca a je charakteristická pro výplně trhlin v amfibolitech a amfibolických rulách a břidlicích, skarnech a dioritech až gabrech (Bernard 1981). Ve smyslu klasického dělení

trhlinové mineralizace v Košťálově (Kašpar 1941) ji lze zařadit do křemenného (andradit) až pektolitového stadia (datolit). V analogických výskytech v New Jersey, jimiž byl Kašpar (1941) inspirován, jde o křemennou a po ní následující prehnitovou periodu (Schaller 1932).

Oba popisované nerosty, andradit a datolit, nebyly dosud v Košťálově nalezeny ve sběratelsky atraktivních ukázkách, čímž unikaly pozornosti mineralogů. Lze předpokládat, že v podobně nenápadné formě se na lokalitě vyskytují i další minerální fáze čekající na svoje objevení.

Poděkování

Autoři děkují Mgr. Janu Bubalovi za poskytnutí cených informací o lokalitě a Ing. Lence Váchové za zhotovení BSE fotografií. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 - cíl DKRVO 2024-2028/1.II.a).

Literatura

- BERNARD JH (1981) Minerály alpských žil a jim podobných asociací. In Bernard JH (ed) Mineralogie Československa (2. vydání): 405-419. Vyd Academia Praha
- DOLNÍČEK Z, KROBOT J (2013) Žilná granát-kalcitová mineralizace v kontaktně metamorfovaných pískovcích z Bučnicku u Komni (bělokarpatská jednotka). Geol výzk Mor Slez 20: 85-88
- DOSTAL J, SHELLNUTT JG, ULRYCH J (2020) Petrogenesis of post-collisional Late Paleozoic volcanic rocks of the Bohemian Massif (Central Europe): Isotopic variations of the lithospheric mantle related to Variscan orogeny. Lithos 354-355: 105331
- ĐUĐA R, KOTULÁK P, LEVENDOVSKÝ S (2001) Maglovec, Vechec, Fintice a Slanec - mineralogicky nejbohatší lomy na Slovensku. Minerál 9(4): 288-293
- EASTON AJ, HAMILTON D, KEMPE DRC, SHEPPARD SMF (1977) Low-temperature metasomatic garnets in marine sediments. Phil Trans R Soc Lond A 286: 253-271
- EUGSTER HP, WISE WS (1963) Synthesis and stability of datolite and danburite. Schweiz Mineral Petrogr Mitt 43: 135-152
- FAUST GT, HATHAWAY JC, MILLOT GA (1959) A restudy of stevensite and allied minerals. Am Mineral 44(3-4): 342-370
- FIŠERA M (2000) Alpská parageneze - klasifikace, typy a naleziště v České republice. Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz 8: 23-40
- FOIT FF JR., PHILLIPS MW, GIBBS GV (1973) A refinement of the crystal structure of datolite, $\text{CaBSiO}_4(\text{OH})$. Am Mineral 58: 909-914
- GOTTHARD J (1933) Petrografická povaha melafýrů pokrkonoských. Arch přírodověd Výzk Čech 18(2): 1-65
- HAŠLAR O, ČTYROKÝ V (1957) Průzkum melafýru Košťálov - 1957, stav k 31.10.1956. Nerudný průzkum, Brno. MS ČGS, Geofond FZ001974
- KAŠPAR J (1941) Pektolith z Želechovského údolí u Libštátu. Pektolith aus dem Želechov-Tal bei Liebstdatl. Zpr Geol Úst Čechy Mor 17: 42-49
- KAŠPAR J (1942) Hanušit, nový nerost. Chem Listy 36(6): 78-81
- KAŠPAR P, ŘÍDKOŠIL T, RAJLICH P, ULRYCH J (2010) Pektolit z Želechovského údolí u Libštátu. Sbor Muz Čes Raje Turnov 4: 92-98
- KISS G, MOLNÁR F, ZACCARINI F (2012) Fluid inclusion studies in datolite of low grade metamorphic origin from a Jurassic pillow basalt series in northeastern Hungary. Cent Eur J Geosci 4(2): 261-274
- KNOTEK Z, BAŠTA J (1976) Závěrečná zpráva úkolu Košťálov - východ 511 1383 506. Surovina: kámen (melafýr). Geoindustria, Praha. MS ČGS FZ005555
- KRATOCHVÍL J (1930) Minerální bohatství širokého Turnova. Od Ještěda k Troskám 9(1-2): 5-21
- KUDĚLÁSEK V, MATÝSEK D, KLIKA Z (1987) Výskyty datolitu v oblasti hornin těšinitové asociace. Čas Mineral Geol 32(2): 169-175
- LAUGIER J, BOCHU B (2011) LMGP-suite of programs for the interpretation of X-ray experiments. - Přístup 25. 4. 2011 na adrese <http://www.ccp14.ac.uk/tutorial/lmgp>
- LE MAITRE RW (editor), STRECKEISEN A, ZANETTIN B, LE BAS MJ, BONIN B, BATEMAN P, BELLINI G, DUDEK A, EFREMOVA S, KELLER J, LAMERE J, SABINE PA, SCHMID R, SORENSEN H, WOOLLEY AR (2002) Igneous Rocks: A classification and glossary of terms, recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press 1-252
- LIVINGSTONE A (1989) Low-temperature, hydrothermal garnet associated with zeolites, from basalt lavas near Beith, Ayrshire. Mineral Mag 53: 125-129
- MATÝSEK D (1988) Kontaktní metamorfismus hornin těšinitové asociace. Čas Slez Muz, Vědy přír 37: 77-86
- MATÝSEK D (1993) Kontaktní metamorfóza spojená s intruzí hornin těšinitové asociace na lokalitě Krmelín. Acta Mus Moraviae, Sci Nat 77: 29-39
- MATÝSEK D, JIRÁSEK J, SKUPIEN P, THOMSON SN (2018) The Žermanice sill: new insights into the mineralogy, petrology, age, and origin of the teschenite association rocks in the Western Carpathians, Czech Republic. Int J Earth Sci 107: 2553-2574
- McLINTOCK WFP (1915) On the zeolites and associated minerals from the Tertiary lavas around Ben More, Mull. Trans Roy Soc Edinburgh 51: 1-33
- MINDAT (2024) Loanhead Quarry, Beith, North Ayrshire, Scotland, UK. Dostupné 19.05.2024 z <https://www.mindat.org/loc-3035.html>
- OPLUŠTIL S, SCHMITZ M, KACHLÍK V, ŠTAMBERG S (2016) Re-assessment of lithostratigraphy, biostratigraphy and volcanic activity of the Late Paleozoic Intra-Sudetic, Krkonoše-Piedmont and Mnichovo Hradiště basins (Czech Republic) based on new U-Pb CA-ID-TIMS ages. Bull Geosci 91(2): 399-432
- PAULIŠ P, MALEC J (2010) Výskyt Cu-mineralizace v permském melafýru od Košťálova u Semil (podkrkonoská pánev, Česká republika). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 18(2): 106-108
- PAULIŠ P, MALÝ J, MALÝ T, POUR O (2020) Nové nálezu minerálů v kamenolomu v Košťálově u Semil. Minerál 27(4): 296-299
- PEŠEK J (2004) Late Paleozoic limnic basis and coal deposits of the Czech Republic. Folia Mus Rerum Nat Bohemiae Occid, Geol et Paleobiol 1: 1-188
- PETEREC D, KOŠUTH M (2018) Minerály zeolitové skupiny v xenolitech z lomu Maglovec. Esemestník 7(2): 76-78
- POUCHOU JL, PICOIR F (1985) "PAP" (φρΖ) procedure for improved quantitative microanalysis. - In: Microbeam Analysis (J. T. Armstrong, ed.). San Francisco Press, San Francisco: 104-106

- RINALDI R, GATTA GD, ANGEL RJ (2010) Crystal chemistry and low-temperature behavior of datolite: A single-crystal X-ray diffraction study. *Am Mineral* 95: 1413-1421
- SCHALLER WT (1932) The crystal cavities of the New Jersey zeolite region. *Geol Survey Bull* 832: 1-136
- STRNAD J (1961) Datolitové rohovce - surovina boru. *Čas Mineral Geol* 6(2):157-160
- TUČEK K (1943) Nové nálezy nerostů I. *Věst Král Čes Spol Nauk, Tř. mat-přírod* 6: 1-32
- TUČEK K (1965) O nálezech pektolitu v Čechách a na Moravě. *Čas Nár Muz (Praha) Odd přírodověd* 134: 105-110
- TVRDÝ J, VRTIŠKA L, DOLNÍČEK Z, MALÍKOVÁ R (2023) Stellerit z Košťálova u Semil (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 32(2): 209-216
- ULMANOVÁ J (2015) Podmínky vzniku vybraných mineralizací z lomu Bučník u Komní. *Bakalářská práce, PřF UPOL, Olomouc*: 1-68
- ULRYCH J, PEŠEK J, ŠTĚPÁNKOVÁ-SVOBODOVÁ J, BOŠÁK P, LOYD FE, VON SECKENDORF V, LANG M, NOVÁK JK (2006) Permo-Carboniferous volcanism in late Variscan continental basins of the Bohemian Massif (Czech Republic): geochemical characteristic. *Chem Erde-Geochem* 66(1): 37-56
- ULRYCH J, ŠTĚPÁNKOVÁ J, NOVÁK JK, PIVEC E, PROUZA V (2003) Volcanic activity in Late Variscan basins of northern Bohemia: petrological and geochemical constraints. *Slovak Geol Mag* 33: 219-235
- VRTIŠKA L, SEJKORA J, FILIP J, LOUN J, MALÍKOVÁ R (2023) Studium julgolditu-(Fe²⁺) a Fe-bohatého prehnitu z lomu Košťálov (Česká republika) - EPMA a Mössbauerova spektroskopie. *Konference Vyšná Boca, Slovensko, 24.-26. 5. 2023*
- WŁODYKA R, KAPUSTA R, GALUSKIN E (1998) Datolite from the environs of Cieszyn and Bielsko-Biała in the Polish Carpathians (the type area of teschenite association). *Arch Mineral* 51: 273-286
- YANG W, ROSENBERG PE (1995) The free energy of formation of datolite. *Am Mineral* 80: 576-584
- ZACCARINI F, MORALES-RUANO S, SCACCHETTI M, GARUTI G, HEIDE K (2008) Investigation of datolite CaB-SiO₄(OH) from basalts in the Northern Apennines ophiolites (Italy): Genetic implications. *Chem Erde* 68: 265-277