

<https://doi.org/10.46861/bmp.31.209>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Stellerit z Košťálova u Semil (Česká republika)

Stellerite from Košťálov near Semily (Czech Republic)

JAROMÍR TVRDÝ, LUBOŠ VRTIŠKA*, ZDENĚK DOLNÍČEK A RADANA MALÍKOVÁ

Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice;
*e-mail: lubos.vrtiska@nm.cz

TVRDÝ J, VRTIŠKA L, DOLNÍČEK Z, MALÍKOVÁ R (2023) Stellerit z Košťálova u Semil (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 32(2): 209-216 ISSN 2570-7337

Abstract

Stellerite was discovered in an active quarry at Košťálov near Semily (Liberec Region, Czech Republic). The mineral occurs on fractures of Paleozoic basaltic andesite in association with fluorapophyllite-(K), chabazite-Ca and calcite. Stellerite forms clear columnar striated crystals reaching 1.5 mm in size. Unit cell parameters derived from the powder X-ray data are: a 13.586(6) Å, b 18.204(7) Å, c 17.839(12) Å and V 4412(2) Å³. Chemical analyses gave the empirical formula $(\text{Ca}_{3.97}\text{Na}_{0.08}\text{K}_{0.03}\text{Sr}_{4.08})(\text{Si}_{28.22}\text{Al}_{7.69})\text{O}_{72} \cdot 28 \text{H}_2\text{O}$. Transparent colourless dipyrmidal and prismatic crystals of fluorapophyllite-(K) are up to 4 mm in size. The chemical analyses correspond to the empirical formula $\text{K}_{0.73}\text{Na}_{0.10}\text{Ca}_{3.98}(\text{Si}_{7.78}\text{Al}_{0.22})\text{O}_{20}(\text{F}_{0.94}\text{OH}_{0.06})\text{Sr}_{1.00} \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$. Chabazite-Ca with an empirical formula $(\text{Ca}_{1.34}\text{K}_{1.02}\text{Na}_{0.67}\text{Ba}_{0.10}\text{Sr}_{0.01})[\text{Al}_{3.22}\text{Si}_{8.44}\text{O}_{24}] \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ forms intergrowths of colourless rhombohedrons up to 6 mm in size. Chabazite-Ca contains very small, elongated inclusions of baryte. Calcite in groups of colourless to pale cream scalenohedral crystals up to 2 mm in size is the youngest mineral of the mineral assemblage. In the case of stellerite this is the first description within the Czech Republic, in the case of fluorapophyllite-(K) it is the first detailed characterization from the locality of Košťálov.

Key words: zeolite, stellerite, fluorapophyllite-(K), chabazite-Ca, powder X-ray diffraction data, unit-cell parameters, chemical composition, Košťálov, Czech Republic

Obdrženo 2. 10. 2023; přijato 27. 11. 2023

Úvod

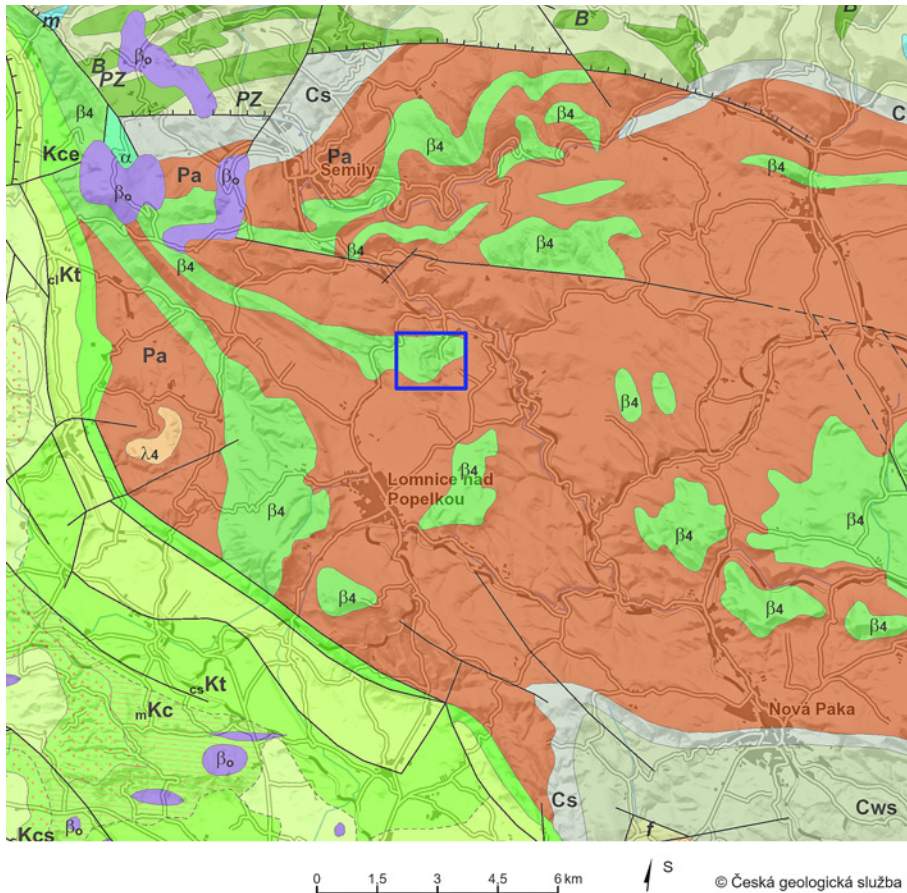
Stellerit je ortorombický zeolit řazený do podskupiny stilbitu. Z ostrova Mednyj v Komandorském souostroví v Beringově moři ho popsal Morozewitz (1909). Minerál nese jméno německého geografa a přírodovědce Georga Wilhelma Stellera (1709 - 1746), který se jako účastník druhé kamčatské expedice Vituse Beringa podílel na objevu Komandorských ostrovů. Totožný se stelleritem je epidesmin publikovaný o několik let později Rosickým a Thuguttem (1913). Pro podobnost se stilbitem, od něhož se liší zejména ortorombickou symetrií, byl stellerit jako samostatný minerální druh zpochybněn (např. Pabst 1939) a opětovně potvrzen (Erd et al. 1967). Blízký je i minerál barrerit, v jehož chemickém složení převažuje Na nad Ca (Passaglia, Pongiluppi 1974, 1975). Stellerit je relativně hojný zeolit známý na řadě světových lokalit, výskyt v rámci České republiky však dosud nebyl publikován. Novému nálezu tohoto minerálu na lokalitě Košťálov u Semil je věnována tato práce.

Geologická situace

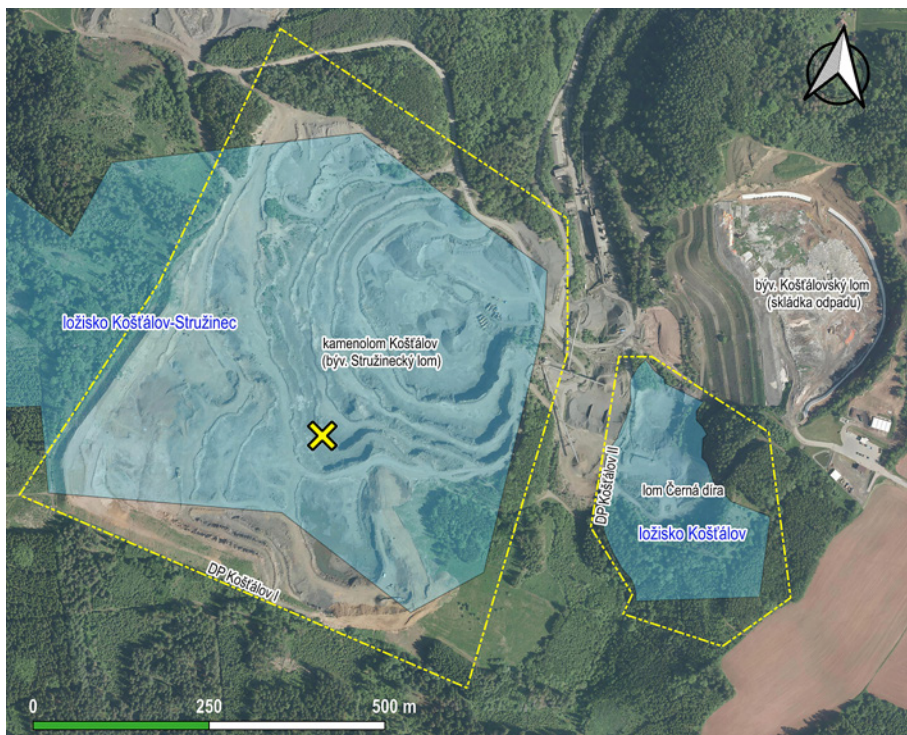
Kamenolom Košťálov se nachází cca 6 km jihovýchodně od centra Semil v Libereckém kraji. Území je součástí podkrkonošské pánve, která je vyplněna kontinentálními vulkanosedimentárními uloženinami permokarbonu a překryta svrchně permskými a mesozoickými sedimenty (Pešek 2004; Dostal et al. 2020). V pánvi proběhly dva vulkanické cykly. Během méně intenzivního staršího cyklu (cca 307 Ma) vznikly alkalicko-vápenaté

vulkanity převážně intermediálního složení (trachyandezity; Ulrych et al. 2003, 2006; Opluštil et al. 2016; Dostal et al. 2020). Hlavní sopečná aktivita druhého cyklu (cca 297 Ma) dala vzniknout výlevům a mělkým intruzím bazičtějších tholeiitických hornin, tradičně nazývaných *melafyry* (bazalty, bazaltické andezity a andezity), lokálně překrytých ignimbry a vzácně i ryolitovými lávami (obr. 1; Opluštil et al. 2016; Dostal et al. 2020).

Součástí mladšího vulkanického komplexu je i protáhlé vulkanické těleso, které se táhne v délce asi 10 km od svahu Kozákova přes Hořensko, Stružinec až k Libštátu. Těleso má zřetelně intruzivní charakter a je diskordantně uloženo v červených aleuropelitech a pískovcích spodního permu (Knotek, Bašta 1976). Jihozápadně od Košťálova se projevuje inverzním reliéfem s dílčími elevacemi Stránsko (515 m n. m.) a Chocholka (485 m n. m.), které jsou odděleny údolím Želešského potoka. Od roku 1922 je *melafyr* předmětem intenzivní těžby. Postupně zde vznikly tři kamenolomy (Hašlar, Čtyroký 1957). 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 produkci tak obstarává velký kamenolom na místě starého Stružineckého lomu na západním svahu Želechovského údolí. Zde je ve státní bilanci vedeno výhradní ložisko stavebního kamene Košťálov-Stružinec s dobývacím prostorem Košťálov I (obr. 2). Ložisko poskytuje kolem 300 tisíc m³ drcebného kameniva a lomového kamene ročně.



Obr. 1 Geologická pozice západní části podkrkonošské pánve mezi Semily a Novou Pakou: β_0 bazaltoidní neovulkanity, Kc-Kce-Kcs-Kt křídové sedimenty, Pa sedimenty permokarbonu, β_4 permokarbonské bazalty a bazaltické andezity, λ_4 permokarbonské rhyolity a dacity, Cs-Cws sedimenty svrchního karbonu, PZ paleozoikum slabě metamorfované, m mramory, α metaandezity, B amfibolity. Modrým rámečkem vyznačen rozsah obr. 2.



Obr. 2 Ložisková situace s vyznačením místa nálezu stelleritu. Zdroj: Česká geologická služba, mapový podklad ČÚZK.

Petrologická a mineralogická charakteristika

Hornina těžená v kamenolomu Košťálov je makroskopicky kompaktní, šedočerná až tmavě šedá, s více či méně patrnými drobnými lištami plagioklasu a pyroxenu. Textura je všesměrná až masivní. Lišty plagioklasu (cca 50 - 60 mod. %, složení *andezin* až *labradorit*) dosahují délky 0.3 - 0.6 mm u jemněji a až 1 - 3 mm u hruběji zrnitých typů. Lišty jsou obvykle albiticky lamelované. Pyroxeny (cca 20 - 30 mod. %) zastoupené především ve formě klinopyroxenu (*augitu*) tvoří zrna až tabulky o rozměrech 0.2 - 1 mm. Olivín, pokud je přítomen, dosahuje velikosti maximálně 1 mm a je obvykle přeměněn na hnědé fylosilikáty. Zbytek horniny bývá tvořen devitrifikovaným vulkanickým sklem, jehož součástí jsou velmi jemné krystality živce, pyroxenu a rudních minerálů. Rudní minerály (*titanomagnetit* a *ilmenit*) tvoří pod mikroskopem drobná zrnka až čtvercové průřezy o velikosti do 0.3 mm, případně jsou přítomny jako jemný pigment (B. Šreinová, úst. sděl. 2023). Podle Fediuka (in Pauliš, Malec 2010) jde o subalkalický (tholeiitický) bazalt. Chemickými analýzami uvedenými v závěrečné zprávě Knotka a Bašty (1976) odpovídá hornina obsahem Al_2O_3 v rozmezí 13.95 - 14.91 hm. % tholeiitům (12 - 16 %; Irvine, Baragar 1971; Philpotts, Ague 2009). V diagramu TAS (Le Maitre et al. 2002) padají průměry do pole bazaltického andezitu.

Přehled minerálů popsanych z košťálovských lomů uvádí Pauliš et al. (2020). Lokalita je proslulá nálezy pektolitu (Gotthard 1933, Kašpar 1941, Tuček 1965) a řady dalších minerálů na trhlinách *melafyru*. Dosud byly zjištěny prehnit, baryt, apofylit (*sensu lato* a hydroxyapofylit-(K)), stevensit (resp. diskreditovaný *hanušit*), kalcit a chalcodon; ze zeolitů jsou uváděny chabazit-Ca, heulandit-Ca, skolecit a thomsonit-Ca (Kratohvíl 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). Nově byl zjištěn výskyt juldolitu(-Fe²⁺) v asociaci s pektolitem, železem bohatým prehnitem, hematitem a pyritem (Vrtiška et al. 2023).

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 pořízeny na elektronovém skenovacím mikroskopu Hitachi S3700-N (Lenka Váchová, Národní muzeum, Praha).

Rentgenová prášková difrakční data stelleritu 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 nanášeny 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 HighScore Plus. Mřížkové parametry byly zpřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Celref (Laugier, Bochu 2011).

Chemické složení zeolitů bylo kvantitativně stanoveno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum Praha) za podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 5 nA, průměr svazku 5 μ m, standardy: albit (NaK α), sanidin (SiK α , AlK α , KK α), wollastonit (CaK α), baryt (BaL α), LiF (FK α), celestin (SrL β). Kvantitativně analyzovány byly i obsahy dalších prvků (Mn, Mg, P, Fe, Zn, S, Cs, Ca, Rb, Cl, N, Cu, Pb), u nich byly zjištěné hodnoty pod detekčním limitem. Získaná data byla korigována za použití algoritmu PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

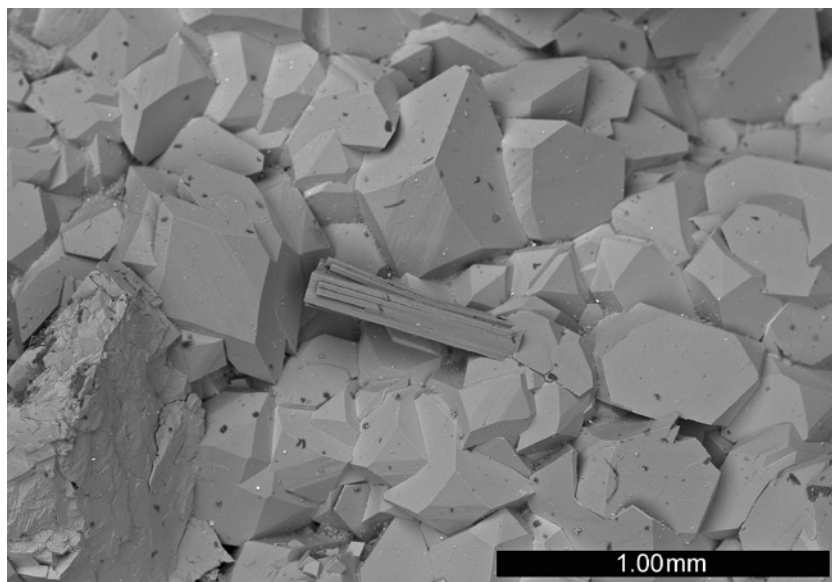
Obr. 5 Sloupcovitý krystal stelleritu na drúze dipyramidálních krystalů fluorapofylitu-K, lom Košťálov, šířka záběru 2.5 mm, BSE foto L. Váchová.



Obr. 3 Čiré dipyramidální krystaly fluorapofylitu-K (spodní část obrázku), na které nasedá srostlice romboedrických krystalů chabazitu-Ca, světle krémových sklenoedrů kalcitu a sloupcovitý krystal stelleritu, lom Košťálov, šířka záběru 3 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 4 Sloupcovitý čirý krystal stelleritu na drúze krystalů fluorapofylitu-K, lom Košťálov, šířka záběru 2 mm, foto L. Vrtiška.



Tabulka 1 Rentgenová prášková data stelleritu z Košťálova

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
0	2	0	9.084	100	9.102	0	6	0	3.033	6	3.034
2	2	2	4.642	1	4.647	1	5	3	3.028	9	3.027
0	4	0	4.549	2	4.551	0	10	0	1.8209	3	1.8204
1	3	3	4.050	10	4.054	6	6	0	1.8163	<1	1.8147
1	1	5	3.392	2	3.391	8	8	2	1.3449	<1	1.3454

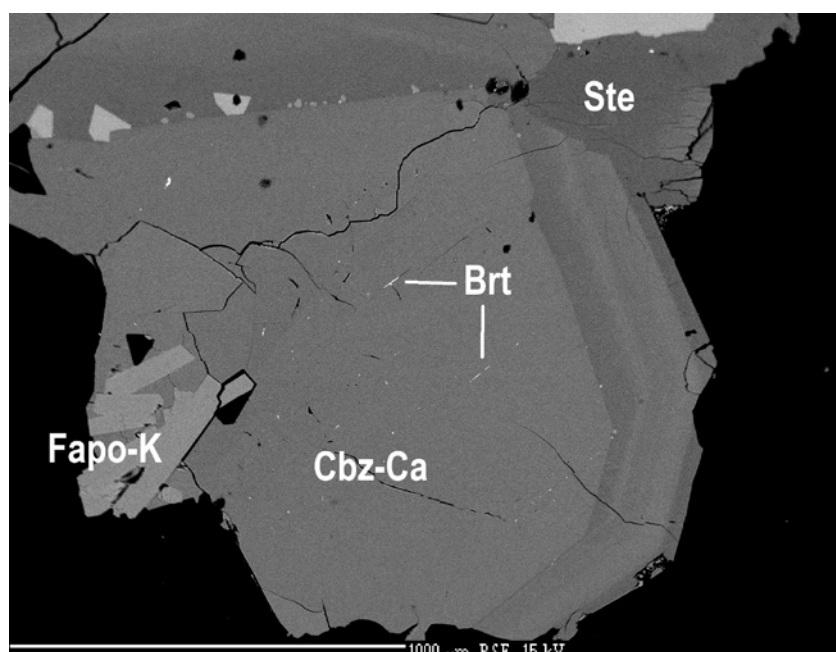
Tabulka 2 Parametry základní cely stelleritu (pro ortorombickou prostorovou grupu Fmmm).

	tato práce	Arletti et al. (2006)
<i>a</i> [Å]	13.586(6)	13.5947(4)
<i>b</i> [Å]	18.204(7)	18.1823(6)
<i>c</i> [Å]	17.839(12)	17.8335(3)
<i>V</i> [Å ³]	4412(2)	4408.1(3)

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

	Mean	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	60.33	59.95	61.84	58.93	58.90	60.64	61.00	61.02
Al ₂ O ₃	13.95	15.25	14.11	12.96	14.94	13.33	13.42	13.65
CaO	7.92	8.10	8.06	8.07	7.95	7.55	7.83	7.89
Na ₂ O	0.09	0.25	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.06
K ₂ O	0.06	0.10	0.03	0.04	0.08	0.10	0.05	0.00
H ₂ O*	17.95	18.17	18.34	17.43	17.85	17.84	17.97	18.04
Total	100.29	101.82	102.38	97.43	100.02	99.46	100.27	100.66
Si	28.219	27.697	28.309	28.392	27.705	28.537	28.492	28.403
Al	7.690	8.304	7.613	7.359	8.282	7.393	7.388	7.488
Ca	3.971	4.010	3.953	4.166	4.007	3.807	3.919	3.935
Na	0.079	0.224	0.000	0.000	0.274	0.000	0.000	0.054
K	0.034	0.059	0.018	0.025	0.048	0.060	0.030	0.000
H ₂ O	28	28	28	28	28	28	28	28
T _{Si}	0.79	0.77	0.79	0.79	0.77	0.79	0.79	0.79

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 72 kyslíků, * H₂O byla doložena na základě teoretického obsahu 28 molekul ve vzorci (Coombs et al. 1997).



Obr. 6 Krystaly fluorapofylitu-K (Fapo-K) v zonálním chabazitu-Ca (Cbz-Ca) v asociaci s mladším stelleritem (Ste), kalcitem (Cal) a barytem (Brt), šířka záběru 2 mm, BSE foto Z. Dolníček.

Charakterizace zjištěné mineralizace

Studovaný materiál byl nalezen v říjnu 2022 na 3. těžební etáži kame-nolomu Košťálov (WGS N 50°33.78', E 15°22.84'; obr. 2) a je uložen v mineralogické sbírce Národního muzea pod inventárními čísly P1N 117478 a P1N 117479. Zjištěné minerály narůstají na stěny tenkých puklin v bazaltickém andezitu. Na základě studia dostupných vzorků byla pozorována sukcese minerálů (od nejstaršího po nejmladší) fluorapofylit-(K) → chabazit-Ca → stellerit → kalcit (obr. 3, 6, 7).

Stellerit

Stellerit tvoří na vzorcích z Košťálova čiré sloupcovité krystaly a jejich srostlice o velikosti 0.5 až 1.5 mm. Krystaly jsou podélně rýhované, perleťově až skelně lesklé a nasedají na starší fluorapofylit-K a chabazit-Ca (obr. 3 - 5). Ve studované asociaci je nejvzácnějším a na první pohled nenápadným minerálem.

Rentgenová prášková data stelleritu z Košťálova (tab. 1) jsou blízká datům pro tento minerální druh. Zpřesněné parametry jeho základní cely (tab. 2) dobře odpovídají údajům, které pro stellerit uvádí Arletti et al. (2006).

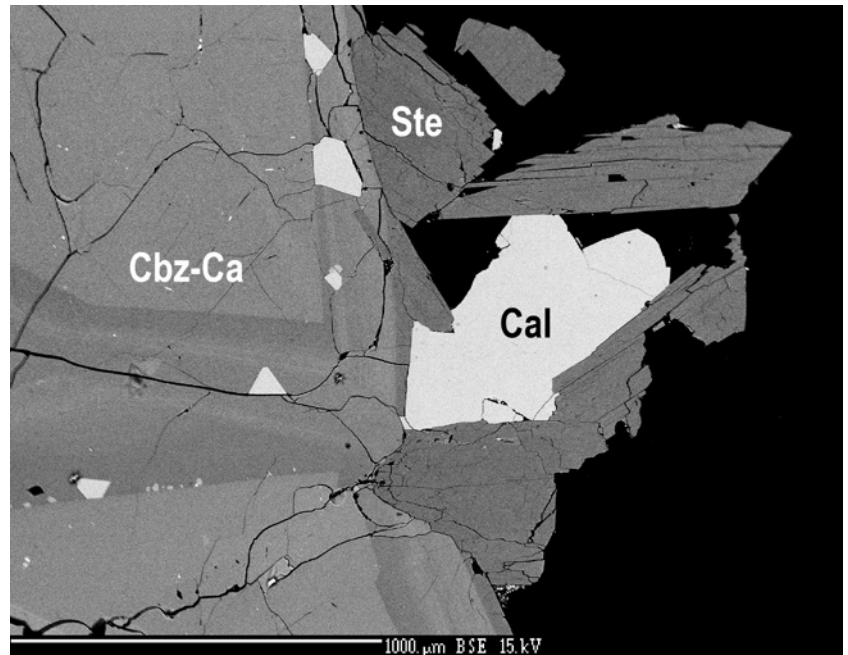
V BSE obraze se stellerit jeví jako homogenní (obr. 6 a 7). Při studiu chemického složení (tab. 3) byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Na a K. Obsahy Si jsou v rozsahu 27.70 - 28.54 apfu a Al 7.36 - 8.30 apfu. Obsahy Si a Al se tak přibližují poměru těchto prvků v ideálním vzorci stelleritu (Si 28 apfu, Al 8 apfu) a odlišují se od chemicky blízkého stilbitu-Ca, který má ideální zastoupení Al 27 apfu a Si 9 apfu. Hodnoty T_{Si} = Si/(Si+Al) od 0.77 do 0.79 spadají do intervalu uváděného pro tuto fázi (0.75 - 0.78; Coombs et al. 1997) a řadí studovaný minerál mezi tzv. kyselý zeolity (T_{Si} > 0.75; Gottardi 1978).

Vedle obsahu Ca (3.81 - 4.17 apfu) ukázaly některé analýzy přítomnost Na (do 0.27 apfu) a malou příměs K (do 0.06 apfu). Průměr sedmi bodových analýz při přepočtu na bázi 72 kyslíků odpovídá empirickému vzorci (Ca_{3.97}Na_{0.08}K_{0.03})_{Σ4.08}(Si_{28.22}Al_{7.69})O₇₂·28 H₂O.

Ortorombický stellerit a monoklinický stilbit-Ca jsou si značně podobné. Formální označení stellerit je omezeno na téměř stechiometrický vzorec Ca₄(Si₂₈Al₈)O₇₂·28 H₂O (např. Selbekk, Weisenberger

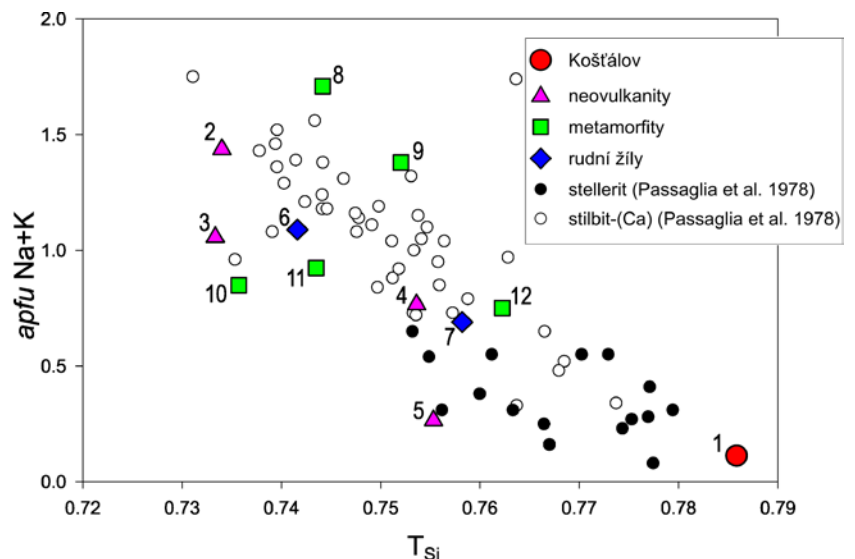
2005). Od stilbitu se stellerit odlišuje hlavně nízkým obsahem Na a vyšším obsahem Si. Přitom existuje téměř lineární korelace mezi obsahem Na^+ a velikostí úhlu β , což svědčí o plynulé změně symetrie bez fázového přechodu (Passaglia et al. 1978). Hraniční obsah $\text{Na}+\text{K}$ ve vzorcové jednotce stelleritu je v literatuře pojednáván nejednotně (Passaglia et al. 1978). Coombs et al. (1997) předpokládá minoritní zastoupení Na, K, Mg a Fe a do 0.2 apfu Na, studovaný stellerit z Košťálova má v průměru 0.11 (max. 0.32) apfu $\text{Na}+\text{K}$ na bázi 72 O.

Porovnání chemického složení stelleritu z Košťálova s vybranými publikovanými analýzami fází řady stellerit stilbit z různých horninových typů České republiky je uvedeno na obrázcích 8 a 9. V diagramu závislosti obsahu na parametru T_{Si} odpovídá většina těchto analýz stilbitu, vymyká se pouze fáze popsána jako

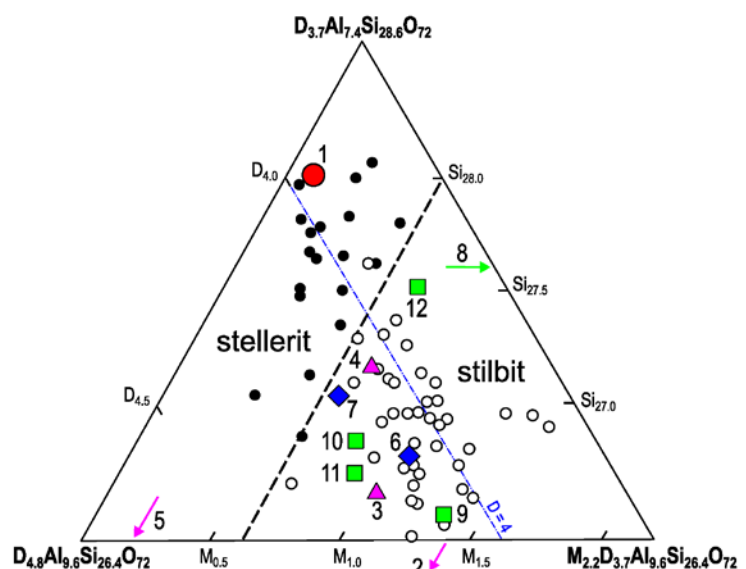


Obr. 7 Zonální chabazit-Ca (Cbz-Ca) v asociaci s mladším stelleritem (Ste) a kalcitem (Cal), šířka záběru 2 mm, BSE foto Z. Dolníček.

Obr. 8 Graf závislosti obsahu monovalentních kationtů (apfu na bázi 72 atomů O) na parametru T_{Si} v minerálech řady stilbit-stellerit. 1 studovaný vzorek (průměr 7 analýz), 2 Milířsko u Těchlovic (Pauliš et al. 2018), 3 Patevní vrch (Pauliš et al. 2019), 4 Okřešice (Pauliš et al. 2017), 5 Jehla u České Kamenice (Pauliš et al. 2015), 6 Křížanovice (Pauliš et al. 2014), 7 Dolní Rožínka-důl Jasan (průměr 3 analýz, Novák et al. 2023), 8 Markovice (Pauliš et al. 2011), 9 Oslavany (průměr 3 analýz, Toman et al. 2014), 10 Mirošov (průměr 2 analýz, Novák et al. 2023), 11 Pikárec (průměr 2 analýz, Novák et al. 2023), 12 Sobotín (Passaglia et al. 1978). Kroužky vyznačují průměty analýz souboru vzorků ze světových lokalit (plné stellerit, prázdné stilbit a heterogenní vzorky; Passaglia et al. 1978).



Obr. 9 Výřez trojúhelníkového diagramu $\text{Si}_{36}\text{O}_{72} - \text{D}_9\text{Al}_{18}\text{Si}_{18}\text{O}_{72} - \text{M}_{18}\text{Al}_{18}\text{Si}_{18}\text{O}_{72}$, $\text{D} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Sr} + \text{Ba}$, $\text{M} = \text{Na} + \text{K}$ (Passaglia et al. 1978). Vysvětlivky viz obr. 8. Data z práce Passaglia et al. (1978) byla nově přepočtena a zčásti se liší od původních hodnot. Šipkami vyznačeny vzorky padající mimo graf.



stilbit-Ca z trhlín tefritového aglutinátu a dutin trachybazaltu na vrchu Jehla u České Kamenice, ve které byl zjištěn anomální obsah Ca (Pauliš et al. 2015). Méně vypovídající je trojúhelníkový diagram na obr. 9, kde se průměty analýz v souladu s předpokladem (Passaglia et al. 1978) kumulují podél linie D = 4. Kromě vzorku z lokality Jehla v něm mimo ideální oblast padají analýzy Na-bohatého stilbitu-Ca z dutin camptonitu v Milířsku u Těchlovic (Pauliš et al. 2018) a K-bohaté fáze s baryem z trhlín amfibolitu v Markovicích u Čáslavi (Pauliš et al. 2011).

Tabulka 4 Chemické složení fluorapofylitu-(K) z Košťálova (hm. %).

	Mean	1	2	3
Na ₂ O	0.34	0.38	0.31	0.34
K ₂ O	3.72	3.78	3.83	3.54
CaO	24.27	24.42	24.07	24.32
SiO ₂	50.90	50.76	50.88	51.06
Al ₂ O ₃	1.20	1.25	1.28	1.07
F	1.95	1.98	1.76	2.10
H ₂ O*	15.75	15.70	15.86	15.69
F=-O	-0.82	-0.83	-0.74	-0.88
Total	97.31	97.44	97.24	97.23
Na	0.102	0.113	0.092	0.101
K	0.725	0.739	0.746	0.691
Ca	3.977	4.007	3.938	3.984
Si	7.784	7.774	7.770	7.807
Al	0.216	0.226	0.230	0.193
F	0.942	0.959	0.850	1.016
OH	0.064	0.041	0.150	0.000
H ₂ O	8	8	8	8

Empirický vzorec byl přepočten na bázi Si + Al = 8 *apfu*, * H₂O byla doložena na základě teoretického obsahu osmi molekul ve vzorci fluorapofylitu-(K) a na základě vyrovnání nábojové bilance.

Tabulka 5 Chemické složení chabazitu-Ca z Košťálova (hm. %).

	Mean	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	48.25	51.35	42.76	43.64	49.22	52.31	48.42	50.02
Al ₂ O ₃	15.56	14.76	14.38	15.31	16.54	15.37	16.46	16.10
CaO	7.13	6.87	7.32	7.64	7.22	6.69	7.10	7.10
K ₂ O	4.55	4.38	5.61	4.77	4.04	4.37	4.23	4.45
Na ₂ O	1.97	1.75	1.91	2.04	1.67	1.80	1.98	2.64
BaO	1.37	0.91	1.62	1.56	1.64	0.73	1.58	1.54
SrO	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.48
H ₂ O*	20.55	21.14	18.72	19.21	21.03	21.56	20.85	21.35
Total	99.52	101.16	92.32	94.17	101.36	102.83	101.15	103.68
Si	8.439	8.740	8.220	8.172	8.422	8.732	8.355	8.431
Al	3.215	2.961	3.258	3.379	3.336	3.024	3.347	3.198
Ca	1.344	1.253	1.508	1.533	1.324	1.197	1.313	1.282
K	1.024	0.951	1.376	1.140	0.882	0.931	0.931	0.957
Na	0.670	0.578	0.712	0.741	0.554	0.583	0.662	0.863
Ba	0.095	0.061	0.122	0.114	0.110	0.048	0.107	0.102
Sr	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.053	0.047
H ₂ O	12	12	12	12	12	12	12	12
T _{Si}	0.72	0.75	0.72	0.71	0.72	0.74	0.71	0.72

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 24 kyslíků, * H₂O byla doložena na základě teoretického obsahu 12 molekul uváděného pro minerály skupiny chabazitu (Coombs et al. 1997).

Doprovodné nerosty

Doprovodnými minerály stelleritu jsou na studovaných vzorcích fluorapofylit-(K), chabazit-Ca a kalcit. Vedle analýzy chemického složení (WDS) byly tyto minerály ověřeny pomocí Ramanovy spektroskopie a PXRD analýzy.

Fluorapofylit-(K) nebyl z Košťálova dosud podrobně studován. Tvóří čiré, perleťově až skelně lesklé, dipyramidální a prizmatické krystaly velikosti do 4 mm (obr. 3 - 5). Chemickou analýzou (tab. 4) byl zjištěn

ideální obsah Ca (3.94 - 4.01 *apfu*). Oproti ideálnímu složení má studovaný vzorek deficit K+Na (0.79 - 0.85 *apfu*), přičemž obsah K (0.69 - 0.74 *apfu*) výrazně převyšuje obsah Na (0.09 - 0.11 *apfu*). Nižší obsahy Si (7.77 - 7.81 *apfu*) jsou vyrovnány zvýšenými obsahy Al (0.19 - 0.23 *apfu*). Obsahy F (0.85 - 1.02 *apfu*) poukazují na částečné zastoupení OH (do 0.15 *pfu*). Průměr třech bodových analýz při přepočtu na bázi Si + Al = 8 *apfu* odpovídá empirickému vzorci $K_{0.73}Na_{0.10}Ca_{3.98}(Si_{7.78}Al_{0.22})_{\Sigma 8.00}O_{20}(F_{0.94}OH_{0.06})_{\Sigma 1.00} \cdot 8H_2O$.

Chabazit-Ca se vyskytuje v podobě srostlic čirých, skelně lesklých, romboedrických krystalů do velikosti 6 mm (obr. 3). V BSE obraze je výrazně zonální (obr. 6 a 7). Tato zonalita je způsobena nehomogenním poměrem Si/Al a variabilním zastoupením dalších zjištěných prvků (Ca, K, Na, Ba, Sr). Světlé zóny zpravidla obsahují více Ba. Ve studovaném chabazitu-Ca byly zjištěny obsahy Si v rozsahu 8.17 - 8.74 *apfu* a Al 2.96 - 3.38 *apfu* (tab. 5). Hodnoty $T_{Si} = Si/(Si+Al)$ se pohybují v rozmezí 0.71 - 0.75 a spadají do rozmezí uváděného pro tento zeolit (0.58 - 0.80; Coombs et al. 1997). Z výměnných prvků převažuje Ca (1.20 - 1.53 *apfu*) nad kolísavými obsahy K (0.88 - 1.38 *apfu*), Na (0.55 - 0.86 *apfu*), Ba (0.05 - 0.12 *apfu*) a minoritním Sr (do 0.53 *apfu*). Průměr sedmi bodových analýz při přepočtu na bázi 24 atomů kyslíku odpovídá empirickému vzorci $(Ca_{1.34}K_{1.02}Na_{0.67}Ba_{0.10}Sr_{0.01})_{\Sigma=3.14}[Al_{3.22}Si_{8.44}O_{24}] \cdot 12H_2O$. Chabazit-Ca obsahuje velmi drobné inkluze protáhlých tenkých agregátů barytu (obr. 6).

Kalcit je nejmladším minerálem studované asociace. Tvóří srostlice bílých až světle krémových skalenoedrických krystalů do velikosti 2 mm (obr. 3). Nejčastěji narůstá na fluorapofylit-K, vzácněji i na chabazit-Ca či stellerit.

Závěr

Během studia zeolitové mineralizace v činném kamenu u Košťálov u Semil byl nově zjištěn výskyt stelleritu. Stellerit se ve světě vyskytuje poměrně běžně spolu s dalšími zeolity v dutinách a trhlinách nejrůznějších hornin. V islandských geotermálních systémech se udává výskyt fází řady stilbit-stellerit v teplotním rozmezí ~70 až 150 °C, nejčastěji mezi 90 a 110 °C. Pro analcim a chabazit je zde teplota vzniku uváděna pod 70 °C. Teplotu vzniku trhlínových zeolitových asociací v rozmezí 150 - 50 °C považuje za reálnou Novák et al. (2023). S rostoucí hloubkou a teplotou se složení přechodných členů řady stilbit-stellerit posouvá ve prospěch stelleritu, který se tak vyskytuje v nejnižších zónách zeolitové mineralizace (Fridriksson et al. 2001; Selbekk, Weisenberger 2005). Naopak Morad et al. (1989) zjistil ve vzorcích hydrotermálně alterovaného granitu z impaktové struktury Siljan v centrálním Švédsku reliktu stilbitu ve stelleritu a považuje proto stilbit za starší, nahrazený stelleritem v souvislosti se změnami chemismu vodních fluid (nárůst aktivity Ca^{2+} a pokles aktivity Na^+ , K^+ , Sr^{2+} a Mg^{2+}) a nejspíš i jejich teploty.

V Košťálově vznikala zeolitová mineralizace ve specifickém horninovém prostředí s nepravidelnou puklinovou propustností, které mělo za následek opakovanou a nepravidelnou krystalizaci minerální výplně z cirkulujících mineralizovaných vod. Lze tedy očekávat, že minerální asociace a sukcese jejich krystalizace se budou měnit místo od místa. Významná role je připisována koncentraci oxidu uhličitého v roztocích, který tlumí vznik zeolitů ve prospěch kalcitu (při vyšších teplotách) a smektitu (při nižších teplotách; např. Fehér 2014). Kalcit je nejmladším minerálem i na studovaném vzorku z Košťálova, naopak fluorapofylit-(K) a chabazit-Ca jsou starší než stellerit.

Stellerit je často zaměňován se stilbitem-Ca, od kterého se odlišuje ortorombickou symetrií, vyšším poměrem Si:Al a nízkým obsahem Na a K (Passaglia et al. 1978). Zatímco stilbit-Ca je známý z řady lokalit v České republice, stellerit nebyl z našeho území dosud popsán. Lze předpokládat, že nález v Košťálově nebude ojedinělý a během podrobnějšího studia zeolitových asociací budou objeveny nové výskyty tohoto zajímavého a poněkud opomíjeného minerálu.

Poděkování

Autoři děkují ing. Lence Váchové za pořízení BSE fotografií, doc. Radku Škodovi, Ph.D. za cenné připomínky k interpretaci krystalochemických dat a Mgr. Janu Bubalovi za aktuální informace o lokalitě. Poděkování patří recenzentům ing. Petru Paulišovi a Mgr. Jiřímu Tomanovi, Ph.D., jejichž návrhy významně přispěly ke zvýšení kvality příspěvku. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 - cíl DKRVO 2019/2023 1.II.e).

Literatura

- ARLETTI R, MAZZUCATO E, VEZZALINI G (2006) Influence of dehydration kinetics on T-O-T bridge breaking in zeolite with framework type STI: The case of stellerite. *Am Mineral* 91: 628-634
- COOMBS DS, ALBERTI A, ARMBRUSTER T, ARTIOLI G, GALLI E, GRICE JD, LIEBAU F, MANDARINO JA, MINATO H, NICKEL EH, PASSAGLIA E, PEACOR DR, QUARTIERI S, RINALDI R, ROSS MI, 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
- 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
- ERD RC, EBERLEIN GD, PABST A (1967) Stellerite: a valid orthorhombic end member of a continuous series with monoclinic stilbite (abstr.). *Program Ann Meet Geol Soc Amer*: 58-59
- FAUST GT, HATHAWAY JC, MILLOT GA (1959) A restudy of stevensite and allied minerals. *Am Mineral* 44(3-4): 342-370
- FEHÉR B (2014) A szobi Csák-hegy zeolitjainak kristálykémiája (Crystal chemistry of zeolites of the Csák Hill, Szob, Börzsöny Mts., Hungary). In: *Az ásványok vonzásában. Tanulmányok a 60 éves Szakáll Sándor tiszteletére*. Herman Ottó Múzeum és Magyar Mineralofil Társaság, Miskolc: 45-73
- FRIDRIKSSON T, NEUHOFF PS, ARNÓRSSON S, BIRD DK (2001) Geological constraints on the thermodynamic properties of the stilbite-stellerite solid solution in low-grade metabasalts. *Geochim Cosmochim Acta* 65: 3993-4008
- GOTTARDI G (1978) Mineralogy and crystal chemistry of zeolites. In SAND LB, MUMPTON FA, Eds. *Natural zeolites, occurrence, properties, use*: 31-44. Pergamon Press, Oxford and New York
- GOTTHARD J (1933) Petrografická povaha melafýrů pokonokošských. *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
- IRVINE TN, BARAGAR WRA (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can J Earth Sci* 8: 523-548
- KAŠPAR J (1941) Pektolith ze Želechovského údolí u Libštátu. *Pektolith aus dem Želechov-Tal bei Liebstadtl*. *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 ze Želechovského údolí u Libštátu. *Sbor Muz Čes Raje Turnov* 4: 92-98
- KNOTEK Z, BAŠTA J (1976) Závěrečná zpráva úkolu Košťálov - východ 511 1383 506. Surovina: kámen (melafýr). *Geindustria, Praha*. MS ČGS, Geofond FZ005555
- KRATOCHVÍL J (1930) Minerální bohatství širokého Turnova. *Od Ještěda k Troskám* 9(1-2): 5-21

- LAUGIER J, BOCHU B (2011) LMGP-suite of programs for the interpretation of X-ray experiments. <http://www.ccp14.ac.uk/tutorial/lmgp/>; přístup duben 2011
- LE MAITRE RW (ED.), 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
- MORAD S, FILIPPIDIS A, ALDAHAN AA, COLLINI B, QUNCHANUM P (1989) Stellerite and Sr-containing stilbite in granitic rocks from the Siljan ring structure, central Sweden. Bull Geol Inst Univ Uppsala 12: 143-149
- MOROZEWICZ JA (1909) Über Stellerit, ein neues Zeolithmineral. Bull Intern Acad Sci Cracov 2: 344-359
- NOVÁK M, TOMAN J, ŠKODA R, ŠIKOLA D, MAZUCH J (2023) Review of zeolite mineralizations from the high-grade metamorphosed Strážek Unit, Moldanubian Zone, Czech Republic. J Geosci 68(2): 111-138
- 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
- PABST A (1939) The relation of stellerite and epidemine to stilbite. Min Mag 25: 271-276
- PASSAGLIA E, PONGILUPPI D (1974) Sodian stellerite from Capo Pula, Sardegna. Lithos 7: 69-73
- PASSAGLIA E, PONGILUPPI D (1975) Barrerite, a new natural zeolite. Min Mag 40: 208
- PASSAGLIA E, GALLI E, LEONI L, ROSSI G (1978) The crystal chemistry of stilbite and stellerite. Bull Minéral 101(3): 368-375
- PAULIŠ P, MALEC J (2010) Výskyt Cu-mineralizace v permiském melafyru od Košťálova u Semil (podkrkonošská pánev, Česká republika). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 18(2): 106-108
- PAULIŠ P, HEŘMÁNEK J, JEBAVÁ I, ZAHRADNÍČEK L (2011) Stilbit-Ca z amfibolitového kamenolomu Markovice u Čáslavi (Česká republika). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 19(1): 52-55
- PAULIŠ P, SEJKORA J, NOVÁK J, MALÍKOVÁ R (2014) Har-motom a stilbit-Ca z ložiska polymetalických rud Křižanovice v Železných horách (Česká republika). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 22(1): 68-73
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, JANEČEK O, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, POUR O, FEDIUK F (2015) Tschernichit, garronit-Ca a doprovodná zeolitová mineralizace z Jehly u České Kamenice (Česká republika). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 23(2): 147-170
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, SEJKORA J, RADOŇ M, VRTIŠKA L, MALÍKOVÁ R, FEDIUK F, POUR O (2017) Zeolitová mineralizace z Lískového vršku u Okřešic u České Lípy (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 25(2): 170-182
- PAULIŠ P, RADOŇ M, DVOŘÁK Z, SEJKORA J, VRTIŠKA L, MALÍKOVÁ R, DOLNÍČEK Z, FEDIUK F, POUR O (2018) Zeolitová mineralizace z Milířska u Těchlovic nad Labem (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 26(1): 102-113
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, SEJKORA J, VRTIŠKA L, MALÍKOVÁ R, FEDIUK F, POUR O (2019) Zeolitová mineralizace z Pastevního vrchu u Růžové u Děčína (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 27(2): 290-296
- PAULIŠ P, MALÝ J, MALÝ T, POUR O (2020) Nové nálezy 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 Rer Nat Bohem Occid, Geol Paleobiol 1: 1-188
- PHILPOTTS AR, AGUE JJ (2009) Principles of igneous and metamorphic petrology (2nd ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press 1-667
- POUCHOU JL, PICHOR F (1985) "PAP" (φρΖ) procedure for improved quantitative microanalysis. - In: Microbeam Analysis (J. T. Armstrong, ed.). San Francisco Press, San Francisco: 104-106
- ROSICKÝ V, THUGUTT SJ (1913) Epidesmin, ein neuer Zeolith. Spraw Tow Nauk Warsaw 6: 225-231
- SELBEKK RS, WEISENBERGER T (2005) Stellerite from the Hvalfjörður area, Iceland. Jökull 55: 49-52
- TOMAN J, SEJKORA J, HOUZAR S (2014) Revize zeolitů v alpské paragenezi z historické lokality Oslavany (Česká republika). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 22(1): 46-55
- 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
- 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
- ULRYCH J, PEŠEK J, ŠTĚPÁNKOVÁ-SVOBODOVÁ J, BOSÁK 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
- VRTIŠKA L, SEJKORA J, FILIP J, LOUN J, MALÍKOVÁ R (2023) Studium juldolomitu-(Fe²⁺) a Fe-bohatého prehnitu z lomu Košťálov (Česká republika) - EPMA a Mössbauerova spektroskopie. Konference Vyšná Boca, Slovensko, 24.-26. 5. 2023