

## NOVÉ VÝZKUMY V HORNINÁCH TĚŠÍNITOVÉ ASOCIACE: FLUORAPATIT SE ZVÝŠENÝMI OBSAHY SR A REE

New exploration of teschenite clan rocks: Sr and REE-rich fluorapatites

Jindřich Kynický<sup>1</sup>, Cheng Xu<sup>2</sup>, Aleš Bajer<sup>1</sup>, Pavel Samec<sup>3</sup>, Alena Kynická<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ústav geologie a pedologie, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova lesnická a zemědělská univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno; e-mail: csga@centrum.cz

<sup>2</sup>Laboratory of Materials of the Earth's Interior and Geofluid Processes, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; e-mail: xucheng1999@hotmail.com

<sup>3</sup>Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Brandýs nad Labem, pobočka Frýdek-Místek, 156 00 Frýdek-Místek; e-mail: Samec.Pavel@uhul.cz

<sup>4</sup>Slavia Cyborg, a.s., Palackého nám. 6, 613 00 Brno; e-mail: csga@centrum.cz

(25–11 Hlubočky, 25–12 Hranice, 25–13 Přerov, 25–14 Val. Meziříčí, 25–21 N. Jičín, 25–22 Frýdek-Místek, 25–23 Rožnov p. Radhoštěm, 25–24 Turzovka)

**Key words:** Apatite; rare earth elements, teschenite, solid inclusions, Czech Republic

### Abstract

Famous intrusive, sub-volcanic and extrusive alkaline rocks of teschenite province in Moravian-Silesian Beskydes are newly study in detail. The set of selected alkaline rocks is characterised by the unusually high volume of apatite (5–10 %). Four types (A1–A4) of the Sr- and REE-enriched fluorapatites were distinguish in these teschenites s.s. Rare unaltered type A1 contains melt inclusions and usually slightly altered type A2 which encloses wide solid inclusions are regarded as magmatic in origin; its remobilization along fractures gave type A3, which is followed by the youngest elongated and capillaceous type A4. On the basis of trace analysis of REE by LA-ICP-MS, chondrite-normalized spectra present different shapes, with a typical enrichment of LREE in magmatic types and metasomatic type A3. Younger type A4 is relatively depleted in all LREE, while its HREE profile is close to both magmatic and metasomatic older types A1–A3. The normalized spectrum of A1 and its melt inclusions have a symmetric shape, without Eu anomaly which is obvious (negative) in younger types A3 and A4.

### Úvod

Náš zájem o horniny těšínitové asociace započal v roce 2001 a průběžně pokračuje až do současnosti na 30 vybraných lokalitách. V tomto příspěvku se věnujeme výsledkům studia chemismu a mikrostruktur apatitu, který členíme do 4 samostatných skupin. Mikrostruktury a vzájemné vztahy mezi samostatnými skupinami apatitu byly studovány na leštěných výbrusových preparátech (PL, CL, SEM). Chemické složení apatitu bylo stanoveno na skenovacím elektronovém mikroskopu Cameca SX 100 v Ústavu geologických věd Přírodovědecké fakulty na Masarykově univerzitě. Detailní chemické analýzy (stopové prvky se zaměřením na REE) metodou LA-ICP-MS byly vyhotoveny na Ústavu chemie Přírodovědecké fakulty na Masarykově univerzitě.

### Názory na vznik apatitu v horninách těšínitové asociace

Názory na vznik apatitu jsou nejednotné. Již Pacák (1926) se domníval, že velká část apatitů je primárních, vznikající jako jedna z prvních fází magmatického procesu, menší část snad primárních alterovaných. Kostrovitý vývoj vysvětluje magmatickou korozi. S touto myšlenkou se však řada pozdějších autorů (např. Šmíd 1959, Kudělášková a kol. 1993 nebo Trundová 2004) neztotožňovala a považuje apatity za sekundární.

### Geologická situace na studovaných lokalitách

Studovaná oblast plutonických hornin se rozkládá sv. od Hranic na Moravě směrem k Českému Těšínu.

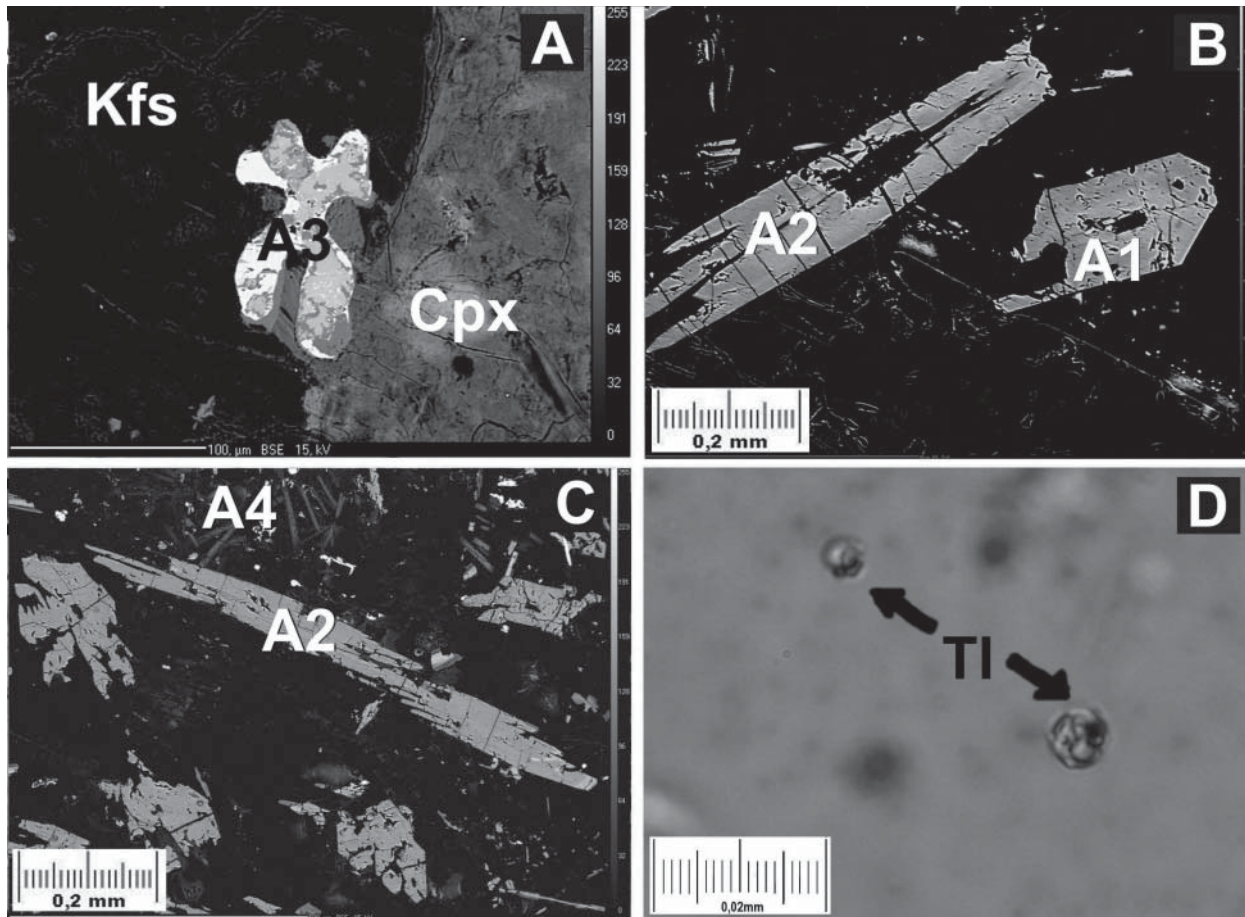
Geologicky patří do slezské jednotky. Magmatity tvoří v oblasti mírně zvlněný, členitý reliéf. Studované horniny byly odebírány z lomů a průzkumných rýh, tak aby byly vzorky orientovány vůči kontaktům. Na všech vzorkovaných lokalitách se jedná o tělesa ložních žil s velmi vysokým obsahem makroskopicky rozpoznatelného apatitu (i více než 5 obj. %).

### Petrologická charakteristika

Studované vzorky těšínitů mají bělošedou barvu s tmavými sloupečky pyroxenu a amfibolu s masivní strukturou. Nejčastější mikrostruktury jsou hypautomorfně zrnitá, porfyrická, ofitická a poikilitická. V minerální paragenезi hrají hlavní roli klinopyroxen blízký augitu, bazický plagioklas a v proměnlivém množství alkalické živce, olivín, amfiboly (augit, barkevikit, kaersutit), nefelín, biotit a zeolity. Všechny odebrané těšínity se vyznačují rovněž poměrně vysokým obsahem apatitu, který v extrémních případech dosahuje i více než 10 % (např. lokality Mořkov, Veřovice, Lichnov a Kozlovice).

### Apatit a jeho pozice

Apatity se podle pozice, automorfie a přítomnosti inkluzí dají rozčlenit do 4 základních skupin. Apatity první skupiny (A1) jsou automorfní a krátce sloupečkovité. A1 mají řadu dalších specifíků, např. ve vzorcích z lokality Hradiště vykazují oscilační zonálnost a přítomnost unikátních taveninových inkluzí (obr. 1 D). Jádra těchto apatitů jsou v CL jasně žlutá a směrem k okraji krystalů se střídají zóny s žlutou a fialovou luminiscencí.



Obr. 1: Reprezentativní mikrofotografie apatitu v horninách těšinitové asociace. A – Kostrovitý apatit (A3), SEM, FOV 0,3 mm, B – Automorfní krátce sloupečkovitý apatit (A1) a dlouze sloupečkovitý (A2), SEM, FOV 0,7 mm, C – krystaly apatitu (A2 a A4), SEM, FOV 0,75 mm, D – taveninové inkluze (TI) v apatitu (A1), PL, XN, FOV 0,065 mm. Cpx – klinopyroxen, Kfs – K-živce.

Fig. 1: Representative microphotographs of apatite in teschenite rock association. A – Skeletal apatite (A3), SEM, FOV 0,3 mm, B – Automorphic shortly elongated apatite (A1) and elongated apatite (A2), SEM, FOV 0,7 mm, C – Apatite crystals (A2 and A4), SEM, FOV 0,75 mm, D – Melt inclusions (TI) in apatite (A1), PL, XN, FOV 0,065 mm. Cpx – clinopyroxen, Kfs – K-feldspar.

Apatity druhé skupiny (A2) jsou charakteristické přítomností pevných inkluzí pyroxenu, amfibolu, biotitu, karbonátu a rudních minerálů. Na druhou stranu je tento apatit uzavírán ve všech primárních minerálech (zejména v pyroxenech, ale i amfibolech, biotitu a živcích), viz. obr. 1 B, v CL emitující fialové záření.

Apatity třetí skupiny (A3) jsou v horninách přítomny v růžencovitých a kostrovitých útvarech nebo v xenomorf-

ním omezení, viz obr. 1 A. Velmi často se účastní alterací apatitů A1 a A2. V tomto případě často pronikají a zatlačují vývojově starší apatit od okraje směrem do centra krystalů a to zejména difúzně podél mikrotrhlin.

Čtvrtou skupinu (A4) představuje sekundární dlouze sloupečkovitý až jehličkovitý apatit (obr. 1 C), který je prostorově vázán pouze na zóny alterace.

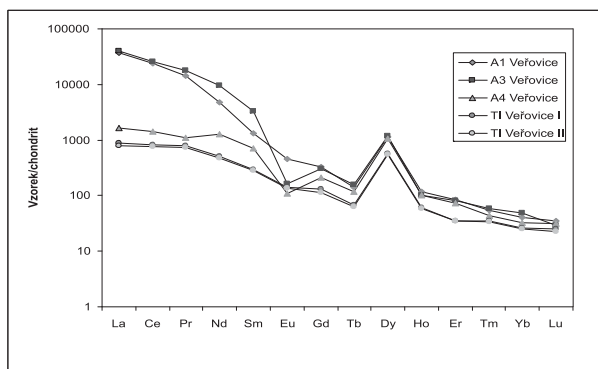
### Chemické složení apatitu

Chemické složení studovaného souboru apatitů je, s výjimkou nejmladších sekundárních apatitů (A4), výrazně odlišné od teoretického vzorce apatitu  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ . Deficitní je především obsah Ca (i pod 4,5 apfu) a méně i P.

Jak již bylo výše uvedeno, ve studovaném souboru hornin se vyskytují 4 odlišné skupiny apatitů, které se dají rovněž charakterizovat podle odlišného chemismu.

Apatity skupiny A1 jsou nejvíce nabožacené Sr i REE (5–15 hm. % SrO a 2–8 hm. % sumy REE).

Apatity skupiny A2 jsou rovněž výrazně nabožacené REE, ale mají ještě výrazněji zvýšené obsahy Sr (max. 18 hm. % SrO). Skupina A3 má mírně až středně zvýšené obsahy Sr a velmi výrazné nabožacení REE (max. 12 hm. % SrO a 9 hm. % sumy REE).



Obr. 2: Distribuce REE v apatitech a taveninových inkluzích (TI) normalizovaných chondritem podle Boytona (1984).

Fig. 2: Distribution of REE in apatite and melt inclusion (TI) sets normalized by chondrite of Boyton (1984).

(hm. %)	Apatit I	Apatit III	Apatit IV	TI I	TI II
CaO	42.70	41.22	54.08	51.47	52.23
Na <sub>2</sub> O	1.89	0.83	0.16	bd	bd
SrO	8.15	11.75	0.32	1.78	1.94
MgO	nd	nd	nd	0.26	0.32
MnO	0.03	0.06	0.05	0.35	0.29
FeO	0.39	0.37	0.30	0.56	0.69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	35.15	36.54	38.91	0.08	0.12
SiO <sub>2</sub>	2.50	0.51	0.48	0.18	0.12
ThO <sub>2</sub>	0.13	0.11	bd	bd	bd
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.96	1.15	0.07	bd	bd
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.51	1.82	0.18	bd	bd
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.14	0.23	bd	bd	bd
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.43	0.49	bd	bd	bd
F	5.74	6.07	5.47	bd	bd
Cl	bd	bd	0.29	bd	bd
<b>Total</b>	<b>99.71</b>	<b>101.15</b>	<b>100.30</b>	<b>54.68</b>	<b>55.71</b>
(ppm)					
Ba	35.11	25.54	23.38	47.22	58.01
Nb	0.12	0.12	0.16	6.39	5.44
Ta	0.02	0.05	0.04	0.09	0.07
Zr	16.22	13.66	10.14	13.42	16.51
Hf	0.03	0.05	0.13	0.08	0.11
La	11686.19	12507.50	516.14	272.77	245.43
Ce	19257.40	21130.43	1137.93	651.95	624.14
Pr	1757.88	2150.44	136.57	98.17	91.10
Nd	2894.11	5827.94	762.79	300.85	288.90
Sm	260.50	635.16	138.05	57.54	55.34
Eu	119.38	42.39	28.04	36.29	35.32
Gd	105.59	97.19	68.55	41.73	36.09
Tb	10.23	11.66	8.53	5.04	4.69
Dy	54.54	56.42	50.76	26.87	25.76
Ho	8.37	7.36	7.38	4.33	4.21
Er	17.68	16.97	15.57	7.44	7.38
Tm	1.74	1.87	1.40	1.12	1.09
Yb	8.43	10.08	6.83	5.51	5.21
Lu	1.13	0.94	1.02	0.82	0.72
La/Lu	1386.53	1240.58	75.53	49.54	47.12

Tab. 1: Chemické analýzy souboru studovaných apatitů a taveninových inkluzí (TI). Kombinace EPMA a LA-ICP-MS dat s uveřejněním průměrných hodnot z 15 analýz pro každou skupinu apatitu a TI v dílčím sloupci).

Tab. 1: Chemical microanalyses of apatite and TI set (combination of EPMA and LA-ICP-MS data, each column represent average of 15 analyzes for different apatite and TI group).

Skupina A4 má nejnížší obsahy Sr i REE (max. 0,35 hm. % SrO a 0,37 hm. % sumy REE).

Studium souboru apatitů s využitím laserové ablace poskytlo výsledky potřebné pro studium distribuce REE (viz obr. 2 a tab.1) a dalších petrogeneticky významných prvků. Distribuce REE normalizovaná chondritem (Boynton 1984) naznačuje výrazné obohacení LREE (La/Yb ≥ 1300) u skupiny primárních apatitů (A1). Vysokých hodnot a výrazné strmosti distribučních křivek dosahují i sekundární metasomatické apatity A3 (La/Yb > 1200), které však vykazují na rozdíl od skupiny A1 negativní Eu anomálii. Výraznou negativní Eu anomálii mají rovněž nejmladší hydrotermálně-metasomatické apatity A4 ochuzené zejména o LREE (La/Yb ≤ 100), viz plochý průběh křivky distribuce REE (obr. 2).

Maximální nabohacení i strmost křivky distribuce REE oproti chondritu (Boynton 1984) je patrná v případě sekundárních metasomatických apatitů A3. Velmi blízkých hodnot dosahuje i apatit podílející se na stavbě novotvořených zón podél trhlin ve vývojově starším apatitu první (A1) a druhé skupiny (A2).

**Pevné inkluze v apatitech těšinitů**

Pevné inkluze jsou přítomny pouze v primárních apatitech (A1 a A2). Vzhledem k povaze složení v nich lze rozlišit 2 typy inkluzí:

1) Pevné inkluze minerálů (PIM). Běžně pozorovaný typ, reprezentovaný nejvíce uzavřenými krystaly pyroxenu, amfibolu, biotitu, karbonátu a rudních minerálů. U řady PIM se nedá vyloučit výrazný vliv sekundárních procesů na chemismus konkrétních minerálů.

2) Taveninové inkluze (TI). Méně hojný typ, pozorovaný v cca 2 % apatitů (A1) z lokalit Veřovice a Nový Jičín – Hýlovec. TI mají kulovitý nebo protažený (oválný) tvar. Běžné rozměry TI dosahují zpravidla velikosti blízko 1–10 μm (max. až 80 μm). TI jsou ve většině případů homogenní a bezbarvé, vzácněji jsou v nich patrné samostatné krystaly a plyn, viz obr. 1D. Plyná fáze v inkluzích zaujímá max. 5–25 obj. % (v 90 % případů však chybí).

Velké TI (nad 30 μm) jsou rozmístěny na straně jedné nepravidelně blízko centrálních partií krystalů, na straně druhé menší inkluze pravidelněji rovněž v centrální části krystalu apatitu (protažené inkluze jsou orientovány ve směru osy z) nebo se nachází podél růstových zón apatitu (nepříliš výrazná oscilační zonálnost apatitu z Veřovic). Fázové složení TI kolísá, nicméně převládá karbonát blízký Sr bohatému kalcitu, viz tab.1. Nově byly objeveny i TI odpovídající chemicky odlišným (silikátovým) taveninám.

Detailní studium chemismu TI odhalilo zejména výrazné nabohacení Sr a REE (viz obr. 2 a tab. 1) oproti chondritu Boytona (1984).

**Závěr**

Studium apatitů v těšinitěch s.s. a je doprovázejících horninách má značný význam pro pochopení složité geneze těšinitů i minerálních asociací, které je budují a zejména pak jejich vztahu k dílčím procesům působícím na horniny těšinitové asociace v průběhu jejich vývoje.

Studovaný soubor apatitů vykazuje variace chemického složení od primárních apatitů (A1 a A2) s výrazně zvýšeným obsahem SrO, Na<sub>2</sub>O, REE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a SiO<sub>2</sub> až po apatit s nízkými obsahy SrO, Na<sub>2</sub>O, REE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a SiO<sub>2</sub> v případě sekundárních apatitů (A4). Zcela samostatnou skupinou jsou kostrovité apatity A3 s výrazně zvýšeným obsahem SrO a REE<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, vznikající alterací vývojově starších skupin apatitů A1 a A2. Nově byla objevena přítomnost primárních karbonátů a samostatného silikátového skla v TI indikující pravděpodobné odmišení několika typů velmi heterogenních tavenin (karbonátových a silikátových) v průběhu krystalizace apatitů skupiny A1.

**Poděkování**

Za kritickou revizi, která výrazně přispěla ke zlepšení kvality článku, děkujeme zejména Prof. M. Novákovi a Dr. A. Rečňíkovi.

**Literatura**

- Bonton, W. V. (1984): Cosmochemistry of the rare earth elements: meteoritic studies. – In: Hohenegger, L. (1861): Die geognostischen Verhältnisse der Nordkarpathen in Schlesien und den angrenzenden Theilen von Mähren und Galizien als Erläuterung zu der geognostischen Karte der Nordkarpathen. – Verl. Justus Perthes, s. 1–50, Gotha.
- Kudělásková, M. – Kudělásek, V. – Matýsek, D. (1993): Chemické a petrologické studium pikritových hornin z podbeskydské oblasti. – In: Sbor. Věd. Prací Vys. šk. Báň. v Ostravě, 39, 63–72. Ostrava.
- Pacák, O. (1926): Sopečné horniny na severním úpatí Beskyd moravských. – Česká akademie věd a umění, s. 188–189. Praha.
- Šmíd, B. (1962): Přehled geologie a petrografie hornin těšínitové asociace na severním úpatí Beskyd. – Geol. Práce, 63, 53–60. Bratislava.
- Trundová, A. (2004): Petrologická charakteristika těšínitů z vybraných lokalit Moravsko-slezských Beskyd. – MS, diplomová práce. Pff MU. Brno.