

# Minerálne inklúzie v beryle, živcoch a kremeni z granitového pegmatitu Moravany nad Váhom - Striebornica (Považský Inovec, západné Slovensko): chemické zloženie a genetické aspekty

## Mineral inclusions in beryl, feldspars and quartz from the Moravany nad Váhom, Striebornica granitic pegmatite (Považský Inovec Mts., western Slovakia): composition and genetic aspects

PAVEL UHER A DANIEL OZDÍN

*Katedra mineralógie a petrológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava, Slovenská republika; puher@fns.uniba.sk*

UHER P., OZDÍN D. (2011): Minerálne inklúzie v beryle, živcoch a kremeni z granitového pegmatitu Moravany nad Váhom - Striebornica (Považský Inovec, západné Slovensko): chemické zloženie a genetické aspekty. - *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **19/2**, 130-137. ISSN 1211-0329.

### Abstract

Numerous microscopic inclusions of cassiterite, ferrotapiolite (?), „hydroxycalciumicrolite“, gahnite, magnetite, fluorapatite, barite, pyrite, sphalerite, galena, muscovite, and bertrandite or phenakite occur in coarse-grained beryl, microcline, albite and quartz from the core zone of the Moravany nad Váhom, Striebornica granitic pegmatite (western Slovakia). Anhedral cassiterite inclusions reveal near end-member composition (0.2 - 0.3 wt. %  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\leq 0.06$  wt. %  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ). Widespread gahnite inclusions in beryl contain high iron concentrations (14 to 18 wt. % FeO, 37 to 47 mol. % of hercynite), unusual for pegmatite environment. Uranian „hydroxycalciumicrolite“ (7 - 9 wt. %  $\text{UO}_2$ ) forms zonal crystals in quartz-microlite veinlets in beryl. Fluorapatite inclusions locally contain thin zones enriched in strontium (~2.3 wt. % SrO), whereas barite is usually Sr-rich (~3 to 6 wt. % SrO). The mineral inclusions originated from primary magmatic crystallization (gahnite, magnetite, fluorapatite, ferrotapiolite?, possibly barite and sulphide minerals) to hydrothermal stage of the pegmatite origin (cassiterite, bertrandite or phenakite, „hydroxycalciumicrolite“, possibly barite and sulphide minerals).

**Key words:** *inclusions, cassiterite, gahnite, „hydroxycalciumicrolite“, barite, fluorapatite, beryl, granitic pegmatite, Moravany nad Váhom, Slovakia*

### Úvod

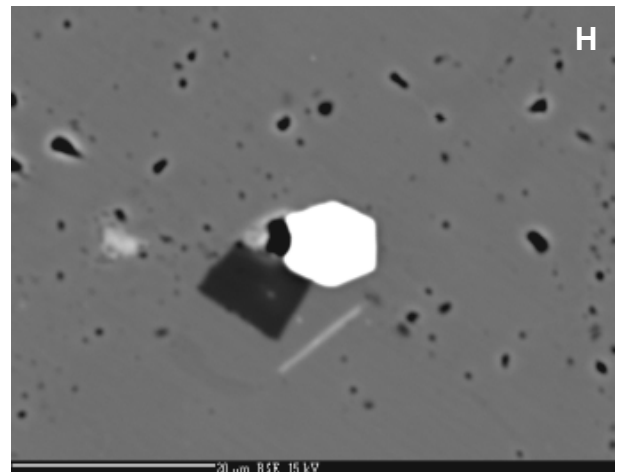
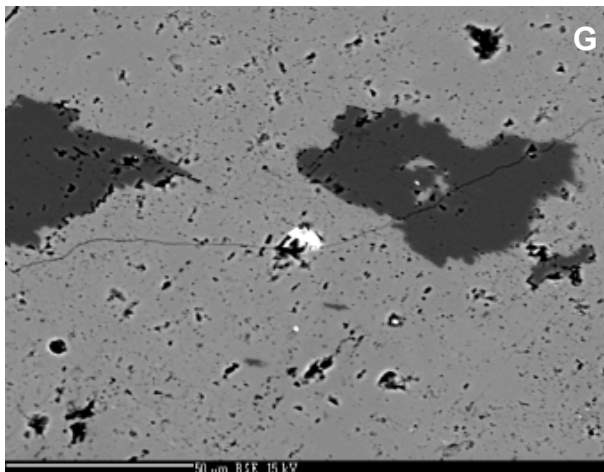
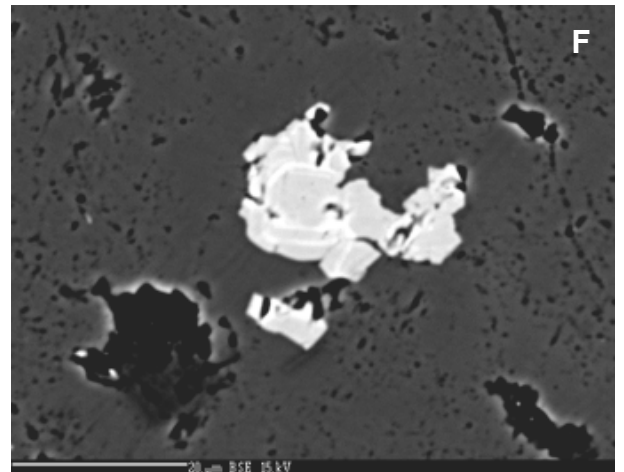
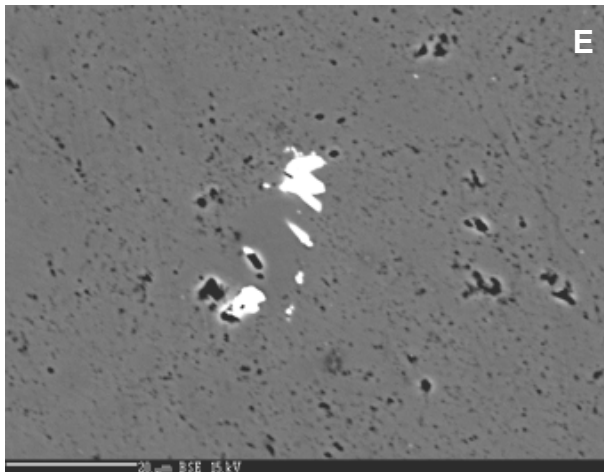
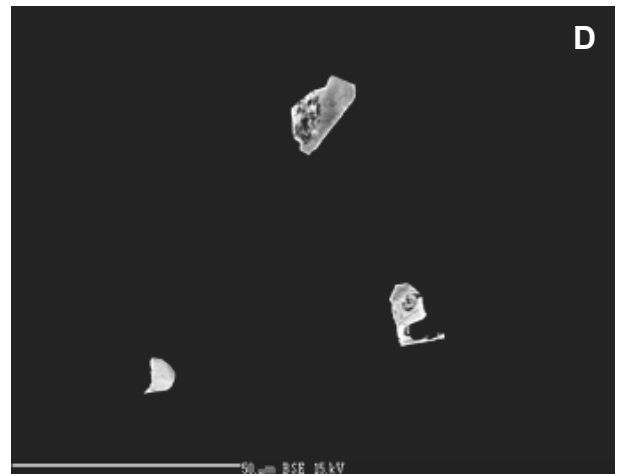
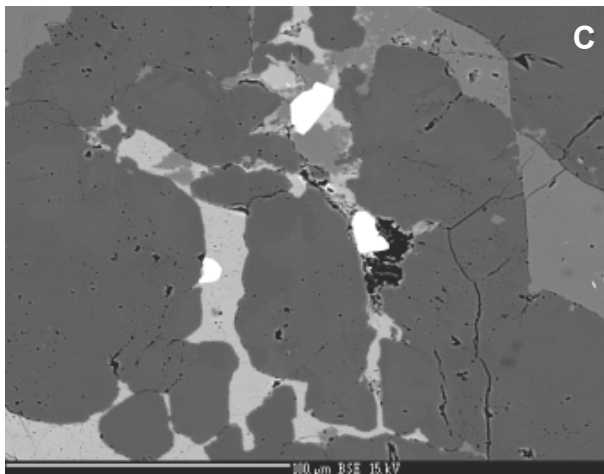
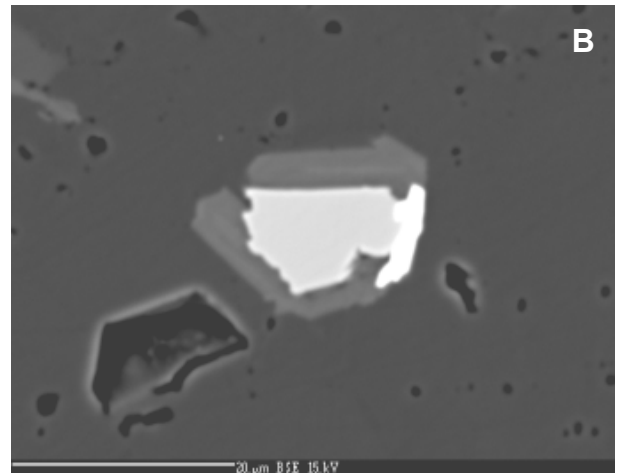
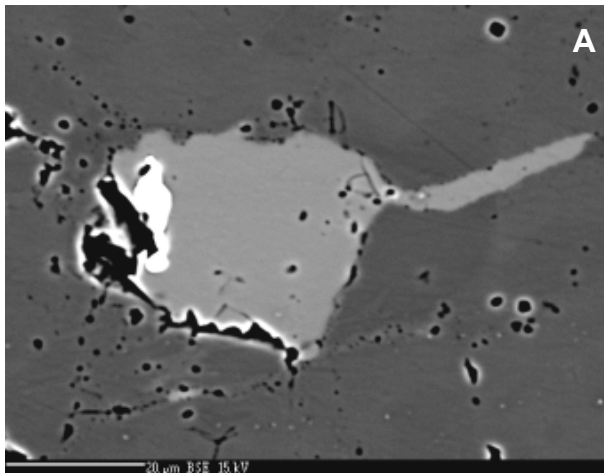
Granitový pegmatit Moravany nad Váhom - Striebornica pri Piešťanoch (západné Slovensko) patrí medzi geochemicky najfrakcionovanejšie a mineralogicky najpestrejšie pegmatitové telesá v predalpínskom kryštaliniku Západných Karpát (Uher, Broska 1989, 1995; Uher 1991, 1992, 2000, 2002; Uher et al. 1994; Novák et al. 2000). Pri detailnom mineralogickom výskume tohto pegmatitu boli zistené v hrubokryštalickom beryle, mikrokline, albite a kremeni početné mikroskopické inklúzie viacerých minerálov. V našom príspevku prinášame ich základnú mineralogickú charakteristiku a možnú genézu v rámci magmatickej až hydrotermálnej evolúcie pegmatitu Moravany nad Váhom - Striebornica.

### Lokalizácia, geologická a mineralogická charakteristika pegmatitu Moravany nad Váhom

Granitový pegmatit sa nachádza na lesnom hrebeni Striebornica, približne 2.5 km na VJV od okraja obce Moravany nad Váhom a cca 4 km v. od mesta Piešťany v pohorí Považský Inovec na západnom Slovensku. Pegmatitové teleso vystupuje na kontakte hercýnskych biotitických granodioritov bojníanskeho masívu a okolitých pararúl spodnopaleozoického veku (Uher, Broska 1989; Uher 1991).

Pegmatitové teleso tvorí pravú žilu až šošovku smeru ZSZ - VJV, s predpokladanou dĺžkou 100 - 150 m a maximálnou hrúbkou 8 - 10 m (Uher, Broska 1989; Uher - nepubl. údaje). Pegmatit je zonálny s výrazne vyvinu-

**Obr. 1A-H.** BSE mikrofotografie inklúzií v pegmatite Moravany nad Váhom: A - kasiterit (biely) v kremeni (svetlosivý) a beryle (tmavosivý); B - gahnit (svetlosivý v strede), okrajoch čiastočne zatláčaný sfaleritom (biely) a muskovitom (stredne sivý) v beryle (tmavosivý); C - „hydroxycalciumicrolit“ (biely) v K-živci (svetlosivý), kremeni (stredne sivý) a prevládajúcom beryle (tmavosivý); D - ako C, viditeľná vnútorná zonalita „hydroxycalciumicrolitu“; E - barit (biely) v kremeni; F - fluórapatit (svetlosivý) s tenkou koncentrickou zónou, obohatenou Sr (biela) v K-živci (tmavosivý); G - ferrotapiolit? (biely) v K-živci (svetlosivý) v asociácii s albitom (tmavosivý); H - pyrit (biely) v asociácii s bertranditom, resp. fenakitom (čierny s obdĺžnikovým prierezom) a muskovitom (sivá lamela) v beryle (sivý).



tou hrubokryštalickou kremeňovo-živcovo-muskovitovou zónou, zónou blokového mikroklínu (lokálne s grafickým prerastaním kremeňa a K-živca) a mohutným kremenným jadrom, pričom je lokálne silne albitizovaný (cukrovitý albit, cleavelandit).

Hlavnými minerálmi moravianskeho pegmatitu sú kremeň, K-živec (mikroklín), albit a muskovit, na kontakte blokového mikroklínu a kremenného jadra je lokálne bežný beryl a granát (almandín-spessartín), v akcesorickom množstve sa vyskytuje gahnit, zirkón, uraninit, fluóropatit, monazit-(Ce), pyrit, sfalerit a Nb-Ta oxidy - ferocolumbit, ferotantalit, manganocolumbit, manganotantalit, ferotapiolit, fersmit, ako aj minerály skupiny pyrochlóru (Uher 1991, 1992, 2000, 2002; Uher et al. 1994; Uher, Broska 1995; Novák et al. 2000; Chudík, Uher 2009).

### Metodika

Minerály boli identifikované a analyzované vo vzorkách leštených výbrusov pomocou elektrónovej mikrosopy Cameca SX-100 na pracovisku Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Bratislave. Bodové analýzy minerálov boli získané vlnovo-disperznou metódou (WDS) pri urýchľovacom napätí 15 kV, prúde elektrónového zväzku 20 nA, priemere elektrónového lúča 1 - 3  $\mu\text{m}$ , čase merania na píku 10 - 20 s. Boli využité prírodné a syntetické štandardy. Údaje sa korigovali procedúrou PAP. Kompozície minerálov boli získané mikrofotografiami v režime spätne rozptylených elektrónov (BSE).

### Výsledky

Minerálne inklúzie boli študované v hrubokryštalickom beryle, kremeni, K-živci (mikroklíne) a albite na kontakte zóny blokového mikroklínu a kremeňa (kremenného jadra). Beryl tvorí svetlozelené, prizmatické kryštály s hexagonálnym obmedzením, zväčša 2 až 15 cm dlhé; ide o bežný beryl s nízkymi obsahmi Na, Cs a Li (Uher et al. 2010). Kremeň je blokový, masívny, biely až svetlosivý, tvoriaci xenomorfné agregáty bez idiomorfného kryštalového obmedzenia. Albit a K-živec (mikroklín) sa prerastajú s kremeňom, resp. tvoria v ňom mladšie nepravidelné žilky. Lokálne je prítomný drobnokryštalický muskovit.

**Kasiterit** ( $\text{SnO}_2$ ) vytvára vzácne, xenomorfné obmedzené, 3 až 15  $\mu\text{m}$  inklúzie v beryle, K-živci a kremeni, resp. v asociáciách s muskovitom a kremeňom v beryle (obr. 1A). Chemicky sa kasiterit blíži koncovému členu, obsahuje len malé množstvá izomorfných prímiesí: 0.2 - 0.3 hm. %  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\leq 0.06$  hm. %  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\leq 0.08$  hm. %  $\text{FeO}$  a  $\leq 0.15$  hm. %  $\text{MgO}$  (tab. 1).

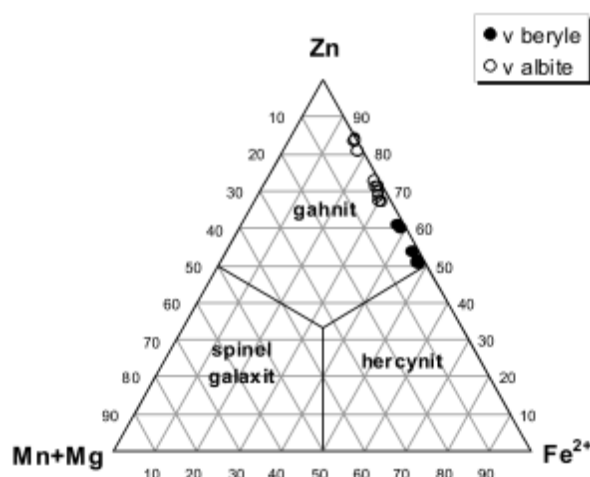
**Gahnit** ( $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$ ) patrí medzi najčastejšie sa vyskytujúce inklúzie v beryle, lokálne je uzavretý v kremeni. Gahnit tvorí idiomorfne až hypidiomorfne obmedzené kryštály, lokálne v asociácii s pravdepodobne mladším sfaleritom a muskovitom (obr. 1B). Pre chemické zloženie gahnitu sú charakteristické relatívne vysoké obsahy Fe (14 - 18 hm. %  $\text{FeO}$ , 0.35 - 0.45 Fe *apfu*), čo zodpovedá 37 až 47 mol. % hercynitovej molekuly ( $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ ); obsahy Fe

**Tabuľka 1** Chemické zloženie inklúzií kasiteritu v beryle a kremeni z pegmatitu Moravy nad Váhom (hm. %)

	1	2	3
$\text{WO}_3$	0.00	0.09	0.00
$\text{Nb}_2\text{O}_5$	0.23	0.33	0.30
$\text{Ta}_2\text{O}_5$	0.00	0.06	0.00
$\text{SnO}_2$	98.04	96.53	96.82
$\text{FeO}$	0.04	0.07	0.08
$\text{MnO}$	0.05	0.00	0.04
$\text{ZnO}$	0.00	0.10	0.04
$\text{MgO}$	0.15	0.10	0.08
$\text{CaO}$	0.04	0.08	0.03
Suma	98.55	97.36	97.39
Vzorci normalizované na 2 atómy kyslíka			
W	0.000	0.001	0.000
Nb	0.003	0.004	0.003
Ta	0.000	0.000	0.000
Sn	0.992	0.989	0.992
Fe	0.001	0.002	0.002
Mn	0.001	0.000	0.001
Zn	0.000	0.002	0.001
Mg	0.006	0.004	0.003
Ca	0.001	0.002	0.001
Suma kat.	1.004	1.004	1.003

**Tabuľka 2** Chemické zloženie inklúzií gahnitu v beryle z pegmatitu Moravy nad Váhom (hm. %)

	1 stred	1 okraj	2 stred	3 stred	4 stred	4 okraj
$\text{SiO}_2$	0.05	0.13	0.05	0.08	0.09	0.13
$\text{Al}_2\text{O}_3$	56.52	57.15	56.93	57.76	56.96	56.82
$\text{V}_2\text{O}_3$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\text{FeO}$	14.68	14.08	17.85	16.88	18.02	17.76
$\text{MnO}$	0.34	0.41	0.43	0.43	0.44	0.49
$\text{ZnO}$	26.15	26.20	21.88	23.35	21.92	21.98
$\text{MgO}$	0.10	0.15	0.14	0.13	0.14	0.14
Suma	97.84	98.12	97.28	98.63	97.61	97.35
Vzorci normalizované na 4 atómy kyslíka a nábojovú bilanciu						
Si	0.002	0.004	0.002	0.002	0.003	0.004
Al	2.018	2.026	2.027	2.029	2.023	2.022
V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
$\text{Fe}^{3+}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Suma B	2.020	2.030	2.029	2.031	2.027	2.027
$\text{Fe}^{2+}$	0.372	0.354	0.451	0.421	0.454	0.449
Mn	0.009	0.010	0.011	0.011	0.011	0.013
Zn	0.585	0.582	0.488	0.514	0.488	0.490
Mg	0.005	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006
Suma A	0.971	0.953	0.956	0.952	0.959	0.958
Suma kat.	2.991	2.983	2.985	2.983	2.986	2.985
Zn/(Zn+Fe)	0.61	0.62	0.52	0.55	0.52	0.52
Zn/Fe	1.57	1.64	1.08	1.22	1.07	1.09
$\text{ZnAl}_2\text{O}_4$ %	60.25	61.07	51.05	53.99	50.89	51.15
$\text{FeAl}_2\text{O}_4$ %	38.31	37.15	47.18	44.22	47.34	46.87
$\text{MnAl}_2\text{O}_4$ %	0.93	1.05	1.15	1.16	1.15	1.36
$\text{MgAl}_2\text{O}_4$ %	0.51	0.73	0.63	0.63	0.63	0.63
Obsahy Ti, Cr, Ni a Ca sú pod medzou detekcie.						



Obr. 2. Klasifikačný diagram gahnitu (atómové obsahy) z inklúzií v beryle porovnaní s gahnitom z albitizovaných partí pegmatitu Moravany nad Váhom (Uher 1992, 2004).

sú vyššie, ako v gahnite z cukrovitého albitu a cleavelanditu z moravianskeho pegmatitu (Uher 1992, 2004) (tab. 2, obr. 2). Obsahy Mn dosahujú 0.3 - 0.5 hm. % (okolo 0.01 Mn *apfu*), obsahy Mg sú nízke (0.10 - 0.15 hm. % MgO, 0.005 - 0.007 Mg *apfu*). Koncentrácie ostatných prvkov sú okolo medze detekcie alebo pod ňou (Ti, V, Cr, Ni, Ca). Výpočet nábojovej bilancie indikuje železo len v podobe Fe<sup>2+</sup>. Chemická zonalita kryštálov gahnitu je nepatrná, v dvoch meračných kryštáloch sa prejavil len veľmi jemný nárast pomeru Zn/Fe, resp. mierny pokles obsahu Fe (tab. 2). Distribúcia Zn, Fe, Mn a Mg v gahnite z inklúzií v beryle indikuje substitúciu (Fe,Mn)Zn<sub>1</sub> bez substitučného vzťahu medzi Mg a ostatnými prvkami, na rozdiel od gahnitu z albitizovaných častí moravianskeho pegmatitu, kde existuje substitúcia (Fe,Mn,Mg)Zn<sub>1</sub> (obr. 3).

„Hydroxykalciumikrolit“ [(Ca,Na)(Ta,Nb,Ti)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(OH,F)] bol identifikovaný v podobe 7 - 20 μm veľkých idiomorfnych až hypidiomorfnych inklúzií v asociácií s K-živcom a kremeňom v beryle (obr. 1C). Minerál prejavuje nepravidelnú zonalitu v BSE kompozíciách, spôsobenú zrejme variáciami koncentrácií Nb, Ta, U a Ca (obr. 1D). Jeho chemické zloženie zodpovedá členu skupiny mikrolitu s dominantným zastúpením Ta nad Nb a Ti v pozícií B, Ca nad Na, U a ostatnými kationmi v pozícií A, ako aj OH > F, O v pozícií X, čo minerál umožňuje klasifikovať ako „hydroxykalciumikrolit“ v súlade so súčasne platnou klasifikáciou (Atencio et al. 2010) (obr. 4A-B). Pomer Ta/(Ta+Nb) je pomerne vysoký a kolíše v intervale 0.76 - 0.91, pomer F/(F+OH) dosahuje hodnoty 0.13 až 0.15; charakteristické sú zvýšené obsahy uránu (3.5 - 4.2 hm. % UO<sub>2</sub>, 0.14 - 0.17 U *apfu*; tab. 3). Podobné chemické zloženie má aj „hydroxykalciumikrolit“, zatlačajúci primárne magmatický columbit-tantalit z albitizovaných partí pegmatitu Moravany nad Váhom - Striebornica, ktorý v niektorých prípadoch tiež obsahuje zvýše-

Tabuľka 3 Chemické zloženie inklúzií „hydroxykalciumikrolitu“ v K-živci, kremeňi a beryle z pegmatitu Moravany nad Váhom (hm. %)

	1	2	3	4	5
WO <sub>3</sub>	0.13	0.18	0.00	0.12	0.14
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.75	10.51	8.25	4.25	8.99
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	63.09	55.15	58.19	63.64	56.67
TiO <sub>2</sub>	3.58	4.21	3.71	3.50	3.73
UO <sub>2</sub>	6.90	8.52	7.10	7.01	7.67
FeO	0.10	0.20	0.06	0.20	0.16
MnO	0.29	0.27	0.30	0.29	0.38
CaO	13.82	13.41	13.67	13.11	14.28
SnO	0.22	0.32	0.24	0.32	0.29
Na <sub>2</sub> O	1.12	0.90	1.12	0.98	1.03
H <sub>2</sub> O *	1.39	1.48	1.42	1.42	1.45
F	0.49	0.51	0.53	0.46	0.46
O=F	-0.21	-0.21	-0.22	-0.19	-0.19
Suma	94.67	95.45	94.37	95.11	95.06
Vzorce normalizované na B = 2 kationy a OH+F = 1 anión					
W	0.003	0.004	0.000	0.003	0.003
Nb	0.157	0.414	0.334	0.176	0.364
Ta	1.590	1.306	1.416	1.581	1.381
Ti	0.250	0.276	0.250	0.240	0.251
Suma B	2.000	2.000	2.000	2.000	1.999
U	0.142	0.165	0.141	0.143	0.153
Fe	0.008	0.015	0.004	0.015	0.012
Mn	0.023	0.020	0.023	0.022	0.029
Ca	1.372	1.251	1.311	1.283	1.371
Sn	0.009	0.012	0.010	0.013	0.012
Na	0.201	0.152	0.194	0.174	0.179
Suma A	1.755	1.615	1.683	1.650	1.756
Vakancia A	0.245	0.385	0.317	0.350	0.244
OH	0.856	0.860	0.850	0.867	0.870
F	0.144	0.140	0.150	0.133	0.130
Suma X	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
O	6.174	6.068	6.103	6.087	6.195
Ta/(Ta+Nb)	0.910	0.759	0.809	0.900	0.791

\* Obsahy H<sub>2</sub>O počítané ako ekvivalent OH+F = 1 anión na vzorcovú jednotku. Obsahy Th, Zr, Sc, Y, Sb, Zn, Mg, Sr a Pb sú pod medzou detekcie.

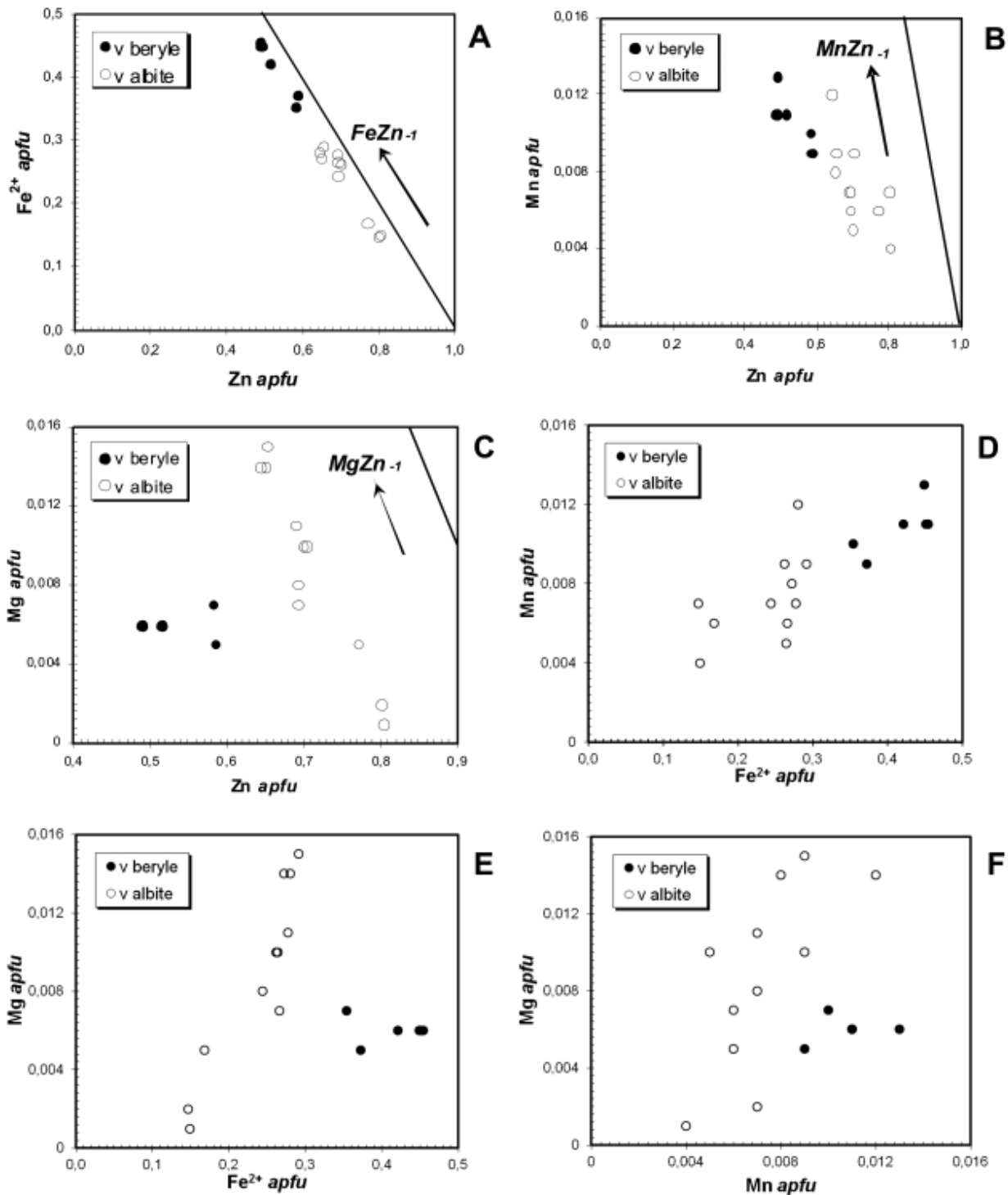
né koncentrácie U (Uher et al. 1994; Uher, Broska 1995; Chudík, Uher 2009; obr. 4).

**Barit** ( $\text{BaSO}_4$ ) tvorí xenomorfné, 1 - 10  $\mu\text{m}$  veľké inklúzie v kremeni (obr. 1E) a K-živci, lokálne sa prerastá s fluórapatitom. Chemické zloženie baritu je charakteristické zvýšenými obsahmi Sr (2.8 - 6.0 hm. % SrO, 0.07 - 0.14 Sr *apfu*; tab. 4).

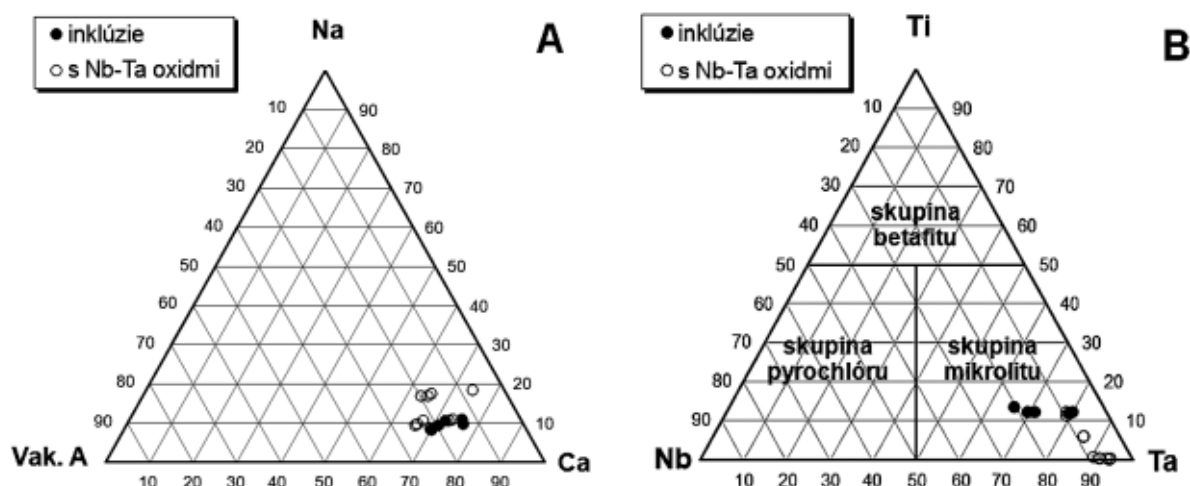
**Fluórapatit** [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ] sa nachádza v podobe xenomorfných, 5 - 40  $\mu\text{m}$  veľkých inklúzií v K-živci (obr.

1F). Vyznačuje sa vysokým obsahom F ( $\sim 1$  *apfu*), mierne zvýšenými hodnotami Mn (0.2 - 0.8 hm. % MnO) a lokálne aj tenkými koncentrickými zónami, obohatenými Sr (2.4 hm. % SrO, 0.12 Sr *apfu*; obr. 1F, tab. 5).

Z ostatných minerálnych inklúzií boli v beryle, živcoch a kremeni zaznamenané pomocou prvkových spektier na elektrónovej mikrosonde aj sfalerit, galenit, pyrit, magnetit, ferotapiolit (?) a Be-silikát, pravdepodobne bertrandit alebo fenakit (obr. 1G-H, tab. 6).



Obr. 3A-F. Substitučné diagramy gahnitu z inklúzií v beryle porovnaní s gahnitom z albitizovaných partií pegmatitu Moravany nad Váhom.



Obr. 4A-B. Klasifikačné diagramy „hydroxykalciumikrolitu“ z inklúzií v K-živci, kremeni a beryle v porovnaní s „hydroxykalciumikrolitom“, zatlačajúcim primárne Nb-Ta oxidy v pegmatite Moravany nad Váhom (Uher et al. 1994; Uher, Broska 1995; Chudík, Uher 2009).

Tabuľka 4 Chemické zloženie inklúzií baritu v kremeni a K-živci z pegmatitu Moravany nad Váhom (hm. %)

	1	2
SO <sub>3</sub>	31.82	33.13
CaO	0.00	0.04
SrO	2.82	6.03
BaO	64.40	56.74
Suma	99.04	95.94
Vzorce normalizované na 4 atómy kyslíka		
S	0.970	0.991
Ca	0.000	0.002
Sr	0.066	0.139
Ba	1.025	0.886
Suma M	1.091	1.027
Suma kat.	2.061	2.018

## Diskusia

Horninotvorné minerály granitového pegmatitu Moravany nad Váhom - Striebornica, najmä beryl, obsahujú hojné minerálne inklúzie, ktoré dokumentujú jeho magmatické až postmagmatické štádium. Aj keď doteraz bol študovaný len obmedzený počet vzoriek horninotvorných minerálov, predpokladáme systematický výskyt minerálnych inklúzií v beryle, živcoch a kremeni z pegmatitu Moravany nad Váhom. Analogické inklúzie minerálov [xenotím-(Yb), Hf a U obohatený zirkón, Nb-Ta rutil, Nb-Ta ilmenit (?), betafit (?), a ďalšie Ti-Fe-Nb-Ta oxidy, kasiterit, ferberit, sfalerit, pyrit, anhydrit a Sr-bohatý barit] boli zistené v beryle I a II v metasomaticky alterovaných granitoch a greisenoch masívu Šerlovaja gora v Zabajkalsku, Rusko (Łodziński, Michalik 2004). Kým inklúzie Nb-Ta minerálov, xenotím a Hf obohatený zirkón sa nachádzajú v beryle I a sú geneticky spojené s magmatickým procesom, ostatné inklúzie boli zistené v beryle II a predpokladá sa ich vznik v súvislosti s pôsobením mladších rudonosných

Tabuľka 5 Chemické zloženie inklúzií fluórapatitu v K-živci z pegmatitu Moravany nad Váhom (hm. %)

	1	2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	41.84	41.18
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.03
SiO <sub>2</sub>	0.17	0.18
MnO	0.78	0.17
CaO	54.92	52.95
SrO	0.05	2.36
H <sub>2</sub> O *	0.00	0.04
F	3.91	3.61
O=F	-1.65	-1.52
Suma	100.08	99.00
Vzorce normalizované na 13 aniónov		
P	2.982	2.989
As	0.003	0.001
Si	0.014	0.015
Suma T	2.999	3.005
Mn	0.056	0.012
Ca	4.953	4.864
Sr	0.002	0.117
Suma M	5.011	4.993
OH	0.000	0.021
F	1.041	0.979
Suma X	1.041	1.000
O	11.959	12.021

\* Obsahy H<sub>2</sub>O počítané ako ekvivalent OH+F = 1 anión na vzorcovú jednotku.

Obsahy S, Th, U, Y, REE, Ba, Pb, Na a Cl sú pod medzou detekcie.

**Tabuľka 6** Súhrnná tabuľka distribúcie minerálnych inklúzií v beryle, K-živci, albite a kremeni z pegmatitu Moravy nad Váhom. X - inklúzia je prítomná v danom mineráli.

	beryl	K-živec	albit	kremeň
sfalerit	X	X		
galenit	X			
pyrit	X		X	
kasiterit	X	X		X
gahnit	X			X
magnetit		X		
ferotapiolit (?)		X	X	
„hydroxykalciumikrolit“	X	X		X
barit		X		X
fluórapatit		X		
bertrandit/fenakit (?)	X			

fluid (Łodziński, Michalik 2004). Inklúzie kremeňa, muskovitu, živcov, granátu, apatitu, gahnitu a columbitu-tantalitu boli identifikované v beryle z granitových pegmatitov z poľských a českých Sudetov (Łodziński 2007). Drobné inklúzie gahnitu, sfaleritu (?), kremeňa a muskovitu boli pozorované aj v beryle z pegmatitu Švábsky vrch v Bratislave - Dúbravke (Uher et al. 2010).

Unikátne sú vysoké obsahy Fe v inklúziách gahnitu z moravianskeho pegmatitu (14 - 18 hm. % FeO, 0.35 - 0.45 Fe *apfu*, 37 až 47 mol. % hercynitovej molekuly), ktoré sú jednoznačne vyššie ako obsahy Fe v gahnite z albitizovaných častí tohto telesa (Uher 1992, 2004; obr. 2). Takéto obsahy železa prevyšujú doteraz známe koncentrácie z pegmatitových gahnitov (~1 až 12 hm. % FeO; Batchelor, Kinnaird 1984; Tindle, Breaks 1998; Uher 2004; Soares et al. 2007). Vysokým obsahom Fe (obyčajne nad 20 mol. % hercynitovej molekuly) sa naopak vyznačujú gahnity z metamorfovaných hornín, ktoré však majú zväčša aj zvýšené obsahy Mg (napr. Heimann et al. 2005). Podobný železom bohatý a Mg, Mn chudobný gahnit (s 52 - 66 mol. % gahnitovej, 32 - 45 mol. % hercynitovej, 1.3 - 2.6 mol. % spinelovej a 0.4 - 1.0 mol. % galaxitovej molekuly) v asociácii s chryzoberylom bol však nedávno opísaný z peraluminóznych, fosforom obohatených leukogranitov Belvis de Monroy z batolitu Montes de Toledo v Španielsku (Merino et al. 2010). Predpokladá sa, že pomer Zn/Fe, resp. (Zn+Mn)/Al vs. (Fe+Mg)/Al v gahnite generálne stúpa so stupňom frakcionácie materského pegmatitu (Batchelor, Kinnaird 1984; Soares et al. 2007) a súčasne pomer Zn/(Zn+Fe) v metamorfnom gahnite stúpa s poklesom teploty (Spry 1987). Vysoké obsahy Fe a nižšie pomery Zn/Fe, resp. Zn/(Zn+Fe), (Zn+Mn)/Al v inklúziách gahnitu v beryle môžu teda poukazovať na jeho skorší vznik, nižší stupeň frakcionácie a vyššiu teplotu vzniku oproti gahnitu z albitizovaných partií moravianskeho pegmatitu. Navyše idiomorfny vývoj gahnitových inklúzií v beryle indikuje jeho primárne magmatický vznik z pegmatitovej taveniny, súčasne s berylom. V postmagmatickom štádiu bol zrejme gahnit lokálne atakovaný hydrotermálnymi fluidami za vzniku sfaleritu a muskovitu (obr. 1B). Podobne bližšie neštudované inklúzie magnetitu a Fe-Ta oxidickej fázy (zrejme ferotapiolit) možno priradiť k primárne magmatickému štádiu vzniku pegmatitu.

Inklúzie fluórapatitu, lokálne s pravidelnými zónami obohatenými Sr, ako aj magnetitu a ferotapiolitu (?) pravdepodobne tiež vznikli spolu s okolitým K-živcom

(mikroklinom) v magmatickom štádiu. Vyšší obsah Sr spôsobuje zrejme fakt, že fluórapatit je jedna z mála vhodných fáz pre umiestnenie Sr. Naproti tomu inklúzie sulfidických minerálov (galenit, sfalerit, pyrit), kasiteritu, „hydroxykalciumikrolitu“, baritu a bertranditu (alebo fenakit?) by mohli byť produktami pôsobenia mladších, zrejme postmagmatických (hydrotermálnych) fluid, ktoré alterovali primárny beryl. Genéza Sr obohateného baritu a časti sulfidov však môže byť aj primárne magmatická a relatívne vysokoteplotná, ako dokumentuje príklad inklúzií primárne magmatického baritu v klinopyroxéne z vysoko-draselných dacitov z pohoria Rodopy v Bulharsku (Marchev 1991), alebo kvapkovitých inklúzií stronciového baritu (s 3 - 15 hm. % SrO), pyrotitu a chalkopyritu z megakrystov augitu v bazaltových tufov pri Szentbékállá (Bakoňsko-Balatonská vrchovina, Maďarsko; Török et al. 2003).

## Záver

V horninotvorných mineráloch vzácno-prvkového granitového pegmatitu Moravy nad Váhom - Striebornica (beryl, živec, kremeň) boli identifikované početné inklúzie akcesorických minerálov (tab. 6), ktoré dokumentujú jeho magmatickú až hydrotermálnu evolúciu. Minerálne a chemické zloženie minerálov, tvoriacich inklúzie poukazuje na lokálne chemické zloženie taveniny, resp. fluid pri kryštalizácii, resp. rekryštalizácii a alterácii horninotvorných minerálov. Presnejšie genetické podmienky vzniku minerálov inklúzií a ich hostiteľov však môže poskytnúť až nadväzujúci výskum (napr. štúdium fluidných inklúzií, Ti termometria kremeňa a pod.).

## PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0557-06. Autori ďakujú Igorovi Broskovi a Radkovi Škodovi za kritické posúdenie rukopisu.

## Literatúra

- Atencio D., Andrade M. B., Christy A. G., Gieré R., Kartashov P.M. (2010): The pyrochlore supergroup of minerals: nomenclature. - *Can. Mineral.* **48**, 673-698.
- Batchelor R. A., Kinnaird J. A. (1984): Gahnite compositions compared. - *Mineral. Mag.* **48**, 425-429.
- Heimann A., Spry P. G., Teale, G. S. (2005): Zincian spinel associated with metamorphosed Proterozoic base-metal sulfide occurrences, Colorado: a re-evaluation of gahnite composition as a guide in exploration. - *Can. Mineral.* **43**, 601-622.
- Chudík P., Uher P. (2009): Minerály skupiny pyrochlóru z granitových pegmatitov Západných Karpát: variácie chemického zloženia a substitučné mechanizmy. - *Mineralia Slov.* **41**, 159-168.
- Łodziński M. (2007): Studium mineralogiczne berili z Sudetów polskich i czeskich. - 1-179, Wydawnictwo Oddziału Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- Łodziński M., Michalik M. (2004): Mineral inclusions in beryl from Sherlovaya Gora (Chitinskaya Oblast, Russia). - *Pol. Towarz. Mineral. Práce Spec.* **24**, 271-274.

- Marchev P. (1991): Primary barite in high-K dacite from the eastern Rhodope, Bulgaria. - *Eur. J. Mineral.* **3**, 1005-1008.
- Merino E., Villaseca C., Pérez-Soba C., Orejana D. (2010): First occurrence of gahnite and chrysoberyl in an Iberian Hercynian pluton: the Belvís de Monroy granite (NE Cáceres, Spain). - *Rev. Soc. Esp. Mineral.* **13**, 159-160.
- Novák M., Uher P., Černý P., Siman P. (2000): Compositional variations in ferrotapiolite+tantalite pairs from the beryl-columbite pegmatite at Moravany nad Váhom, Slovakia. - *Mineral. Petrol.* **69**, 295-306.
- Soares D. R., Beurlen H., Ferreira A. C. M., Da-Silva M. R. R. (2007): Chemical composition of gahnite and degree of pegmatitic fractionation in the Borborema pegmatitic province, northeastern Brazil. - *Anais Acad. Brazil. Ciências* **79**, 395-404.
- Spry P. G. (1987): Compositional zoning of zincian spinel. - *Can. Mineral.* **25**, 97-104.
- Tindle A. G., Breaks F. W. (1998): Oxide minerals of the Separation Rapids rare-element granitic pegmatite group, northwestern Ontario. - *Can. Mineral.* **36**, 609-635.
- Török K., Bali E., Szabó Cs., Szakál J. A. (2003): Sr-barite droplets associated with sulfide blebs in clinopyroxene megacrysts from basaltic tuff (Szentbékállá, western Hungary). - *Lithos* **66**, 275-289.
- Uher P. (1991): Be-Nb-Ta granitic pegmatites - a new type of rare-element mineralization in the Western Carpathians. - *Geol. Carpath.* **42**, 331-339.
- Uher P. (1992): Vzácnoprvková Be-Nb-Ta mineralizácia v granitových pegmatitoch Západných Karpát. - 1-180, Manuskript, Kand. diz. práca, Geologický ústav SAV, Bratislava.
- Uher P. (2000): Minerály granitových pegmatitov Slovenska - súčasný stav poznatkov. - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **8**, 170-180.
- Uher P. (2002): Minerály pegmatitu Moravany nad Váhom - Striebornica pri Piešťanoch. - *Minerál* **10**, 344-348.
- Uher P. (2004): Gahnit z granitových pegmatitov tatrika (Slovensko). - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **12**, 202-205.
- Uher P., Broska I. (1989): Muskovitický pegmatit s obsahom minerálov vzácných prvkov pri Moravanoch nad Váhom (Považský Inovec). - *Mineralia Slov.* **21**, 163-173.
- Uher P., Broska I. (1995): Pegmatites in two suites of Variscan orogenic rocks (Western Carpathians, Slovakia). - *Mineral. Petrol.* **55**, 27-36.
- Uher P., Černý P., Novák M., Siman P. (1994): Niobium-tantalum minerals from granitic pegmatites in the Malé Karpaty, Považský Inovec and Žiar Mountains, Western Carpathians, Slovakia. - *Mineralia Slov.* **26**, 157-164.
- Uher P., Chudík P., Bačík P., Vaculovič T., Galiová M. (2010): Beryl composition and evolution trends: an example from granitic pegmatites of the beryl-columbite subtype, Western Carpathians, Slovakia. - *J. Geosci.* **55**, 69-80.