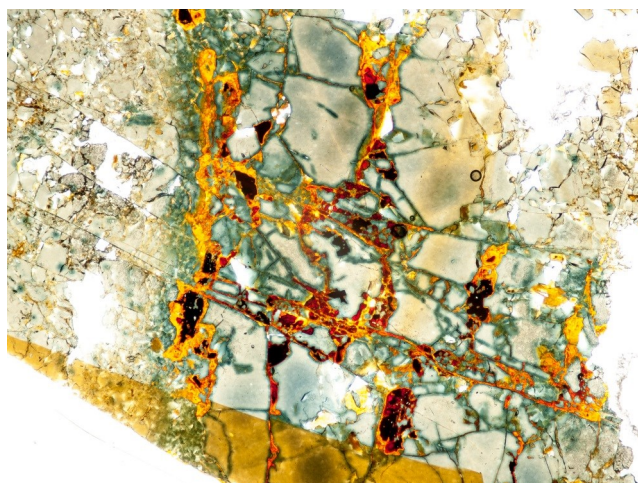


Středoškolská odborná činnost

Obor č. 5 – Geologie, geografie

Pegmatit Černá I: mineralogie a evoluce chemismu turmalínu



Jakub Vácha

Škola: Gymnázium Soběslav, Dr. E Beneše 449/II, Soběslav, 392 11

Kraj: Jihočeský

Řípec 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné. Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Řípci dne 11. 4. 2019

podpis:

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval svému školiteli, prof. RNDr. Milanu Novákovi, CSc., za jeho rady, návrhy a připomínky, poskytnutý materiál ke studiu a umožnění práce na PŘF MU.

Doc. Mgr. Janu Cempírkovi, Ph.D. děkuji za vysvětlení a pomoc s kalkulacemi krystalochemických vzorců turmalínů obsahujících lithium.

Mgr. Petru Gadasovi, Ph.D. a především Doc. Mgr. Radku Škodovi, Ph.D. děkuji za konzultace chemismu a vztahů mezi jednotlivými fázemi během analýz na elektronové mikrosondě, provedení analýz a zhotovení BSE snímků materiálu.

Za analýzu Bi-fáze na Ramanově spektroskopu děkuji Doc. Mgr. Radku Škodovi, Ph.D.

Ing. Jaroslavu Cíchovi děkuji za pořízení fotografií (bohužel zatím neprostudovaných) akcesorických fází a poskytnutí materiálu k analýze.

Ing. Jitce Rutkayové, Ph.D. děkuji za umožnění fotografování na mikroskopu Nikon SMZ 25 na ZF JU.

Za poskytnutí diplomové práce týkající-se pegmatitu Bližná II děkuji Mgr. Ing. Petru Černému.

RNDr. Petru Rajlichovi, Ph.D., CSc. děkuji za pomoc s ostřením.

Petru Třebínovi a Tomáši Urzedovskému děkuji za poskytnutí informací a materiálu.

Za vynesení PCA diagramu chemismu turmalínu děkuji Mgr. Jiřímu Hadravovi.

V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a přítelkyni za toleranci nedostatku mého volného času a pracovního vytížení.

Výzkum byl finančně či materiálně podpořen Masarykovou universitou, Jihočeským muzeem a Gymnáziem Soběslav.

Anotace

V oblasti Černé v Pošumaví jsou známé čtyři lithné pegmatity (Bližná I, Bližná II, Černá I, Černá II). Všechna zmiňovaná tělesa náležejí k elbaitovému subtypu pegmatitů, v nichž je hlavním nosičem Li elbait. Všechna tělesa se kromě vizuální podobnosti podobají i chemismem minerálů v nich obsažených. Zdrojová tavenina pro všechna tělesa má tedy pravděpodobně stejný původ. Markantní odlišnost mineralogie tělesa Bližná I je způsobená silnou kontaminací Ca z mramoru, který je pegmatitem penetrován.

Pegmatit Černá I má vyvinutých celkem pět strukturních jednotek (biotitickou, granitickou, blokovou, grafickou a blokovou křemennou). Vývoj chemismu turmalínu sleduje trend Ca-dravit-skoryl → skoryl → Mn-Li-skoryl → Fe-tsilaisit-elbait → tsilaisit-elbait → elbait → Ca-fluor-elbait. Trend vývoje turmalínu blokové jednotky (skoryl → Ca-fluor-elbait) pegmatitu Černá I a dalších těles lithných pegmatitů více, či méně, obohacených Mn je totožný a je možné generalizovat ho na trend skoryl → tsilaisit/elbait → elbait → liddicoatit. Tsilaisit/elbaitový člen evoluční řady má v případě dostatku Mn v tavenině tendenci posunu směrem k tsilaisitovému členu za neustálého snižování obsahu Fe v turmalínu. Následně dochází k snižování obsahu Mn při konstantním Fe = 0 a substituci za LiAl. Primární dravit v kontaktní zóně pegmatitu je alterován Ca-Fe-Mg bohatými fluidy na sekundární dravit obohacený o zmíněné prvky.

Klíčová slova: mineralogie, pegmatit, Černá I, turmalín, tsilaisit, elbait

Seznam použitých zkratek

apfu - atoms per formula unit (atomů na jednotku vzorce)
BSE - back scattered electrons (zpětně odražené elektrony)
PCA - Principal factor analysis (analýza hlavních komponent)
LCT - lithium-cesium-tantal
NYF - niob-yttrium-fluor
REE - rare earth elements (prvky vzácných zemin)
LREE - light REE (lehké REE)
HREE - heavy REE (těžké REE)
ČR - Česká republika
IMA - International mineralogical association
ZJZ - západo-jiho-západ
VSV - východo-severo-východ
SZ - severo-západ
JV - jiho-východ
ČGS - Česká geologická služba
ÚGV MU - Ústav geologických věd Masarykovy university
PřF MU - Přírodovědecká fakulta Masarykovy university
ZF JU - Zemědělská fakulta Jihočeské university

Zkratky pro minerály použité v BSE snímcích:

ab - albit	tit/ttn - titanit
all - allanit	tu - turmalín
apa - apatit	urn - uraninit
cas - kasiterit	zrn - zirkon
clm - columbit	
fsp - ferrisepiolit	
gra - grayit	
hem - hematit	
chl - chlorit	
kfs - K-živec	
lim - limonit	
mnz - monazit	
msc - muskovit	
pcl - pyrochlor	
qz - křemen	
rut - rutil	

Obsah

Úvod	8
1 Pegmatity a jejich minerály	9
1.1 Klasifikace pegmatitů	9
1.1.1 Granitické pegmatity	9
1.1.2 Elbaitový subtyp	9
1.2 Minerály pegmatitů	9
1.3 Klasifikace turmalínů	9
2 Geologie oblasti	10
2.1 Pegmatit Bližná I	11
2.2 Pegmatit Bližná II	11
2.3 Pegmatit Černá I	11
2.4 Pegmatit Černá II	12
3 Metodika	13
3.1 Použitý materiál	13
3.2 Fotografování vzorků	13
3.3 Analýzy na elektronové mikrosondě	13
3.4 Ramanova spektroskopie	13
3.5 Výpočty chemických vzorců studovaných fází	13
4 Výsledky	17
4.1 Strukturní jednotky pegmatitu	17
4.1.1 Biotitická jednotka	17
4.1.2 Granitická jednotka	17
4.1.3 Kontaktní zóna	17
4.1.4 Blokovaná jednotka	17
4.1.5 Grafická zóna a křemenné jádro	17
4.2 Minerály pegmatitového tělesa	19
4.2.1 Živce	19
4.2.2 Křemen	19
4.2.3 Turmalín	19
4.2.4 Slídy	20
4.2.5 Apatit	21
4.2.6 Titanit	22
4.2.7 Allanit	22
4.2.8 Monazit	23
4.2.9 Zirkon	23
4.2.10 Pyrit	23

4.2.11 Galenit.....	23
4.2.12 Rutil	23
4.2.13 Columbit.....	24
4.2.14 Kasiterit	24
4.2.15 Hematit	24
4.2.16 Limonit	24
4.2.17 Uraninit	24
4.2.18 Pyrochlor	25
4.2.19 Problematické minerální fáze a domény	25
4.2.20 Neověřené minerály	27
4.3 Doplnkové analýzy z dalších pegmatitových těles v lomu Černá.....	27
5 Diskuse	29
5.1 Mineralogická podobnost Li-pegmatitů v oblasti Černá v Pošumaví.....	29
5.2 Distribuce a chování Ca v Li-pegmatitech v okolí Černé	29
5.3 Evoluce chemismu turmalínu v pegmatitu Černá I.....	29
5.4 Evoluce turmalínu vzniklého z Mn-bohaté taveniny	30
5.5 U-Th fáze pegmatitu Černá I a jejich nestabilita	33
5.6 Alterační procesy v pegmatitu Černá I.....	33
6 Závěr.....	34
Použitá literatura	35
Seznam obrázků a tabulek	37
Seznam příloh.....	38

Úvod

Obec Černá v Pošumaví leží v Jihočeském kraji, okres Český Krumlov. Geologické podloží zde tvoří biotitická pararula, ve které jsou uloženy četné vložky erlanů, pegmatitů, mramorů a dalších hornin (Zikeš et al. 2016). Oblast je známá těžbou grafitu především v dole Václav u Bližné (Cícha 2016a). Zdejší lithné elbaitové pegmatity Bližná I, II a Černá I, II jsou již přes dvacet let předmětem výzkumu a ze zdejších lokalit jsou publikovány výsledky celosvětového významu (Novák et al. 1999). Během mineralogického zkoumání těles byly objeveny vzácné minerály jako je thortveitit (Černý 2004), parisit-(Ce) (Novák et al. 2012), bastnaesit-(Ce) (Novák 2009), nebo ojediněle-se vyskytující turmalíny liddicoatit (Novák et al. 1999) a olenit (Černý 2004). Na pegmatitech Bližná I a II byla poprvé na světě popsána mísitelnost elbaitu a dravitu (Novák et al. 1999). Pegmatit Bližná I patří jako jedno z mála známých těles do skupiny tzv. „mixed“ pegmatitů vykazující znaky LCT i NYF (Novák et al. 2012).

Cílem této práce je podrobně popsat mineralogii pegmatitového tělesa Černá I, které doposud nebylo kompletně zkoumáno. Z pegmatitu je doposud známo 11 minerálních druhů zahrnující horninotvorný křemen, K-živec, albit, oligoklas, dále cleavelandit, beryl, zirkon, biotit, muskovit, bismut a/nebo bismutit a z turmalínů pravděpodobně skoryl a elbait (Novák 2011, Černý 2004, Novák et al. 2016a). Kromě mineralogie tělesa si práce klade za cíl podrobně popsat jednotlivé minerální fáze turmalínu a vývoj jeho chemismu včetně popisu jeho alterací.

1 Pegmatity a jejich minerály

1.1 Klasifikace pegmatitů

1.1.1 Granitické pegmatity

Granitické pegmatity je možné klasifikovat podle několika hledisek. Obecně jsou používána hlediska dvě. Tím základním dělením je klasifikace pomocí tříd, podtříd, typů a podtypů pegmatitů geologicko-environmentální pohled, tzn. podmínky vzniku, uložení tělesa a především typickou mineralizací (Černý et al. 2005, Novák 2005). Toto dělení je pro jeho komplexnost a přehlednost uvedeno níže v tabulce. Druhou běžně používanou klasifikací je dělení petrogenetické užívaní vztah těles k mateřským horninám a především jejich chemismu. Podle petrogenetického dělení pegmatity dělíme na rodiny (families) LCT (lithium-cesium-tantal), NYF (niob-yttrium-fluor-REE) a vzácný „mixed“ typ vykazující znaky obou zmíněných (Černý et al. 2005, Novák et al. 2012). Pro rodinu NYF je typická zvýšená aktivita Nb>Ta, Ti, Y, Sc, REE, Zr, U, Th, F a jejich mateřskými tělesy jsou homogenní i diferenciované granity (Černý et al. 2005). Rodina LCT je výrazně obohacena Li, Rb, Cs, Be, Sn, Ta>Nb, B, P a F, jejich mateřskými tělesy jsou zpravidla silně frakcionované granity (Černý et al. 2005). „Mixed“ rodina je poměrně vzácným fenoménem vykazujícím znaky jak NYF tak LCT pegmatitů. Typickým příkladem je pegmatit Kracovice (Novák et al. 2012). Mixed pegmatit může vzniknout i kontaminací LCT taveniny, jako se tomu stalo např. v Bližné (Novák et al. 2012).

1.1.2 Elbaitový subtyp

Elbaitový subtyp komplexních REE pegmatitů byl popsán Novákem et al. (1995), jelikož jimi studované pegmatity z oblasti moldanubika (Řečice aj.) neodpovídaly žádnému ze subtypů publikovaných v soudobé klasifikaci pegmatitů (Černý 1991), která neuvažovala elbait jako majoritní nosič Li (Novák et al. 1995). Pegmatit elbaitového subtypu vykazuje typicky symetrickou zonálnost, vnější zóna je zpravidla tvořena křemenem, plagioklasem, K-živcem a biotitem, středová grafická zóna K-živcem a křemenem. Ostatní zóny buďto prostupují celým tělesem (albitová zóna), nebo tvoří izolované partie až zóny (K-živec bloková, skorylem obohacená,...) (Novák et al. 1995). Subtyp je typický naprostou absencí muskovitu. Elbait se zpravidla vyskytuje ve vnitřní albitové zóně a je jediným nebo převládajícím nosičem Li, lepidolit není zastoupen ve velkém množství a platí vztah polylithionit > trilithionit (Novák et al. 1995).

1.2 Minerály pegmatitů

Minerály v hornině se dělí podle hmotnostního podílu na hlavní (100-6 %), vedlejší (5-1 %) a akcesorické (>1 %) (Vávra a Losos 2013). Toto dělení je specifické pro každé konkrétní těleso. Podle Bartha (1948) jsou vyvěřeliny (včetně pegmatitů) průměrně složeny z 31 % alkalickým živcem, 29,2 % plagioklasem a 12,4 % křemenem. Většina granitoidních pegmatitových těles je tvořena K-živcem, křemenem a slídou (muskovit, lepidolit,..) jakožto hlavními minerály (Novák 2005). Vzácně může být K-živec nahrazen jinými živci buďto primárně (např. petalitový subtyp), nebo i sekundárně (alterace) (Novák 2005). Mezi vedlejší minerály pegmatitů mohou podle okolností někdy patřit např. výše zmiňované slídy, naprosto typicky se však jedná o turmalíny, granáty, beryl a další minerály závislé na typu a subtypu pegmatitu (Černý a Ercit 2005), ojediněle může být např. v případech kontaminovaných pegmatitů vedlejším nerostem amfibol (Novák et al. 2013). Akcesorických minerálů v pegmatitech je celá řada, typicky jde např. o zirkon, apatit, monazit, rutil, kasiterit, magnetit, korund, vzácněji minerály bismutu, aj. (Černý a Ercit 2005, Števko et al. 2012). Do této skupiny se ale také řadí velmi vzácné nerosty jako například nigerit-2N1S, tussionit, nebo milarit (Čech et al. 1978, Novák et al. 1999, Novák et al. 2017).

1.3 Klasifikace turmalínů

Turmalíny jsou složité sloučeniny, jejichž obecný chemický vzorec můžeme vyjádřit jako $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)_3V_3W$ (Henry a Novák et al., 2011). Pro klasifikaci jsou klíčové pozice X, Y, Z a W, kdy nejběžněji platí $X = Na^{1+}, Ca^{2+}, K^{1+}$ a vakance, $Y = Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Al^{3+}, Li^{1+}$ a Cr^{3+} , $Z = Al^{3+}, Fe^{3+}, Mg^{2+}$ a Cr^{3+} a $W = O^{2-}, OH^{1-}$ a F^{1-} . Pro další pozice většinou platí $T = Si^{4+}, Al^{3+}$ a B^{3+} a $V = O^{2-}$ a OH^{1-} (Henry et al. 2011). Podle převládající obsazenosti pozice X je turmalín klasifikován do alkalické, vápenné, nebo X-vakantní skupiny. V rámci skupiny pak klasifikujeme podle pozic Y a Z (případně i T a V) na jednotlivé druhy. Nakonec je použita pozice W, která určuje předponu názvu. Pro OH se ponechává kořenový název a pro O a F se užívá předpony oxy- a fluor.

Skupina turmalínů aktuálně obsahuje IMA uznaných 31 minerálních druhů, dalších cca 6 sloučenin je považováno za možné nové druhy, ale ještě nebyly IMA schváleny (Mindat.org 2018). Naprostou výjimkou oproti výše uvedené klasifikaci je uznaný turmalín luinait-(OH), který je pouze krystalovou polymorfou skorylu (Mills a Groat 2008).

Třída/Class	Podtřída/Subclass	Typ/Type	Subtyp/Subtype	Typické minerály	Příklady těles (ČR)
Abysální	HREE			Y-Nb oxidy, uraninit, zirkon, (allanit)	
	LREE			allanit, monazit, (uraninit, thorit)	
	uranová			uraninit, thorit, zirkon, (allanit)	
	bor-berylivá		"dumorthieritový"	dumorthierit, grandierit, chrysoberyl, safírín	Běstvina, Kuklík
"Subabysální"	-	-	cordieritový	cordierit, turmalín (dravit, skoryl), biotit	Horní Bory, Vanov
			turmalínový	turmalín (dravit, skoryl), apatit, cordierit	Věžná, Vémyslice
			andalusitový	andalusit, apatit, turmalín	Kojetice, Kaplice
Muskovitová	-	-	-	muskovit, biotit, almanid-spessartin, (kyanit)	Vidly, Bělá pod Pradědem
Muskovitová - REE	vzácných zemin			muskovit, samarskit, monazit, beryl, granát	Beroun, Nezdice
	lithné			beryl, kassiterit, columbit, lepidolit, (spodumen)	Otov, Poběžovice
REE		"primitivní"	turmalínový	turmalín (skoryl, foitit), apatit, ilmenit, granát	Myšenec, Strážek
			andalusitový	andalusit, turmalín, ilmenit, muskovit	Dolní Bory, Čejov
			fosfátový	triplit, trifylín, turmalín, ixiolit	Cyrilov, Rousměrov
	vzácných zemin	REE	allanit-monazitový	allanit, fluorit, monazit, zirkon, rutil, ilmenit	Žulová
			euxenitový	euxenit, monazit, zirkon, xenotim, ilmenit, rutil	Vladislav, Třebíč
			gadolinitový	gadolinit, fergusonit, samarskit, zirkon, fluorit	Vepice, Žulová
	lithné	berylivý	beryl-columbitový	beryl, columbit, tantalit, Nb-rutil	Drahonín, Rudolfov
			beryl-columbit-fosfátový	beryl, columbit-tantalit, trifylín, triplit	Otov, Cyrilov
		komplexní	spodumenový	spodumen, beryl, tantalit, amblygonit, montebrasit, kassiterit, trilithionit	Otov
			petalitový	petalit, beryl, trilithionit, elbait, polucit, amblygonit, montebrasit, manganocolumbit, kassiterit	Nová Ves
			lepidolitový	trilithionit, polyolithionit, elbait, beryl, amblygonit, spodumen, petalit	Rožná, Dobrá Voda
			elbaitový	elbait, liddicoatit, beryl, polyolithionit, hambergit, kassiterit, danburit, rhodizit, petalit	Řečice, Bližná, Černá
			amblygonitový	amblygonit, montebrasit, beryl, tantalit, apatit, columbit	není znám
		albit-spodumenový		spodumen, kassiterit, beryl, tantalit, apatit, columbit	
		albitový		tantalit, beryl, kassiterit	
Miarolická	vzácných zemin	topaz-berylivý		topaz, zinnwaldit, beryl, fluorit	není znám
		gadolinit-fergusonitový		gadolinit, fergusonit, samarskit, zirkon, fluorit	není znám
	lithné	beryl-topazový		beryl, topaz	není znám
			spodumenový	spodumen, beryl, tantalit, amblygonit, montebrasit, kassiterit, trilithionit	není znám
			petalitový	petalit, beryl, trilithionit, elbait, polucit, amblygonit, montebrasit, manganocolumbit, manganotantalit, kassiterit	není znám
			lepidolitový	trilithionit, polyolithionit, elbait, beryl, amblygonit, spodumen, petalit	není znám
"Exotická"		"primitivní"	"zádnědový"	záhněda, albit, K-živec, muskovit	Cyrilov, Pikárec
			aj. *		Vlastějovice
		"frakcionované"		více frakcí	Přibyslavice, Verněřov

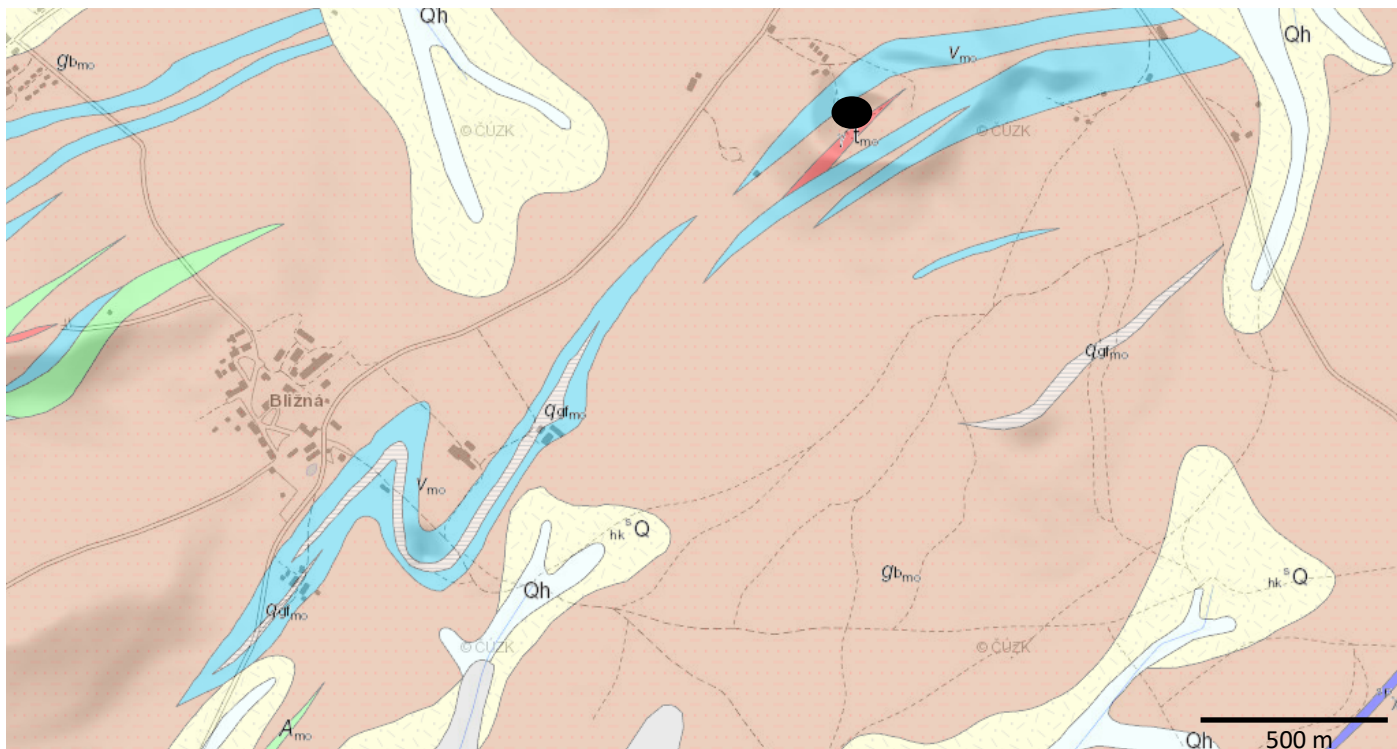
Tab. 1: Klasifikace pegmatitů podle Černého et al. (2005) a Nováka (2005), upraveno.

	(X)	(Y ₃)	(Z ₆)	T ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	V ₃	W
olenit	Na	Al ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	O ₃	(OH)
chrom-alumino-povondrait	Na	Cr ₃	Al ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
oxy-chrom-dravit	Na	Cr ₃	Cr ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
luinait-(OH)	Na	Fe ²⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
skoryl	Na	Fe ²⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
fluor-skoryl	Na	Fe ²⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
oxy-skoryl	Na	Fe ²⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
bosiit	Na	Fe ³⁺ ₃	Al ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
fluor-buergerit	Na	Fe ³⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	O ₃	F
povondrait	Na	Fe ³⁺ ₃	Fe ³⁺ ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
elbait	Na	Li _{1,5} Al _{1,5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
fluor-elbait	Na	Li _{1,5} Al _{1,5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
darrellhenryit	Na	LiAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
dravit	Na	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
fluor-dravit	Na	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
oxy-dravit	Na	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
tsilaisit	Na	Mn ²⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
fluor-tsilaisit	Na	Mn ²⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
vanadio-oxy-dravit	Na	V ₃	Al ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
vanadio-oxy-chrom-dravit	Na	V ₃	Cr ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
oxy-vanad-dravit	Na	V ₃	V ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
maruyamait	K	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
lucchesiit	Ca	Fe ²⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
feruvit	Ca	Fe ²⁺ ₃	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
adachiit	Ca	Fe ₃	Al ₆	Si ₅ AlO ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
fluor-liddicoatit	Ca	Li ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
fluor-uvit	Ca	Mg ₃	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
rossmanit	□	LiAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
foitit	□	Fe ²⁺ ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
oxy-foitit	□	Fe ²⁺ ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
magnesio-foitit	□	Mg ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)

Tab. 2: Oficiálně uznané druhy turmalínu (Mindat 2018).

2 Geologie oblasti

Oblast Černá v Pošumaví náleží do pestré českokrumlovské skupiny jihočeského moldanubika (Müller et al. 1995). V oblasti dominuje biotitická až sillimanit-biotitická pararula s četnými vložkami erlanů, kvarcitů, amfibolitů, pegmatitů a mramorů různé mocnosti (Zikeš et al. 2016). Na některé z nich bývá vázán grafit který byl v minulosti těžen např. v dole Václav poblíž Bližné (Cícha 2016a). Z geologického hlediska patří mezi nejvýznamnější tělesa dolomit-kalcitického až kalcit-dolomitického mramoru tvořící pás v ZJZ-VSV směru na který je vázaná početná mineralizace (Houzar et al. 2016). Ve zdejších karbonátových horninách také došlo ke zformování doposud plně neprozkoumaného systému jeskyní a dalších krasových jevů (Cícha 2016b). V oblasti je známo několik pegmatitů jednak primitivních (Černý 2004), ale především i lithných (Novák 2011, Šarbach 1993, Novák et al. 2016a). Objevují se i spekulace o výskytu záhnědových pegmatitů (Novák et al. 2016b). Prostorová souvislost pegmatitů byla poprvé řešena Novákem (2002), který definuje pegmatitovou oblast Černá v Pošumaví. Musil (2015) dává do souvislosti známé elbaitové pegmatity v jižních Čechách (oblast Černá v P., Dolní Třebonín, Rudolfov) a uvažuje o vztahu k pásu zlomů a tektonických poruch v SZ-JV směru.



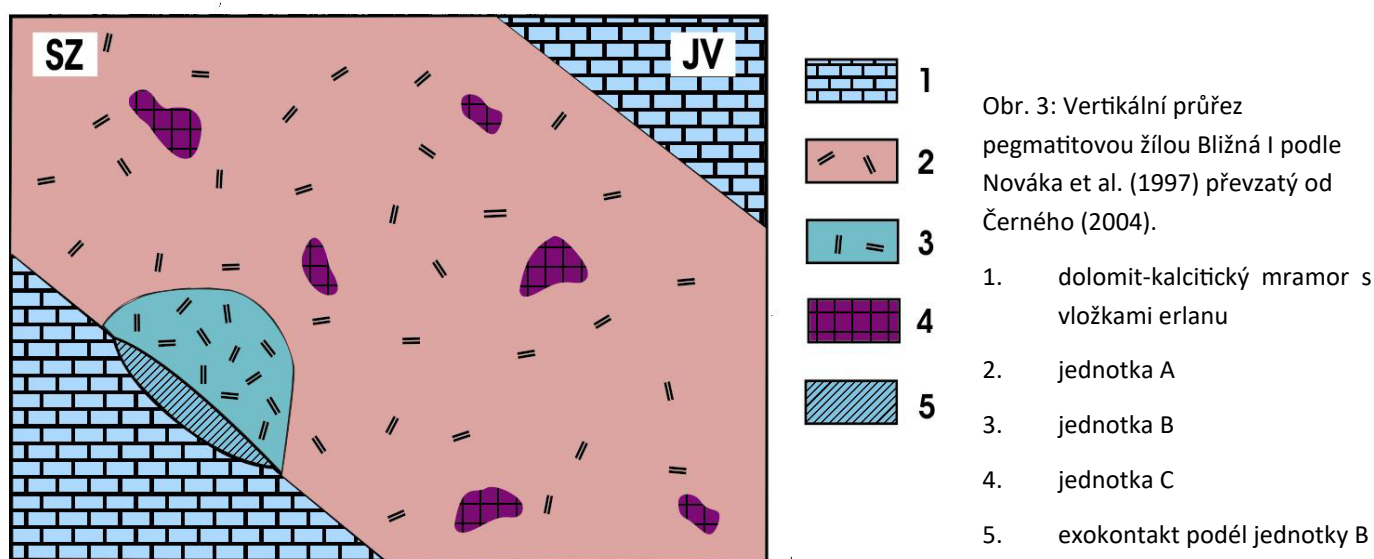
	A_{mo}	amfibolit
	Qh	splachové hlinitopísčité sedimenty
	G_s	amfibol-biotitická ortorula (světlícká ortorula)
	$^{or} Qh$	organické sedimenty: rašeliny
	V_{mo}	mramor
	gb_{mo}	biotitická a sillimanit-biotitická pararula
	$hk^s Q$	svahové hlinitokamenité a kamenitohlinité sedimenty
	$^{sp} C_{ma}$	spessartit
	e_{ma}	erlan, erlanová rula
	qgf_{mo}	grafitický kvarcit
	g^t_{ma}	turmalín-muskovitický granit
	q_{ma}	kvarcit, muskovitický kvarcit

Obr. 1 a 2: Geologická mapa okolí Bližné a Černé v Pošumaví a její legenda. Značka určuje pozici lomu Černá. Mapa dostupná online z: http://mapy.geology.cz/geocr_25/?center=-787201,-1190148&scale=15000. Převzato 9. 4. 2019.

2.1 Pegmatit Bližná I

Pegmatit byl objeven v roce 1991 při průzkumné ražbě v grafitovém dolu Václav. Šarbach (1993) popisuje pronikání až 20 m mocného tělesa mramorem až vápniťým erlanem. Pegmatit údajně obsahoval uzavřeniny v podobě až 2m bloků mramoru. Z minerálů je popisován horninotvorný křemen a živec, skoryl, rubelit (až 4 cm), indigolit, dravit, titanit a rentgenometricky ověřený diopsid. Zajímavá je zmínka o zonálních turmalínech.

Turmalínům z tohoto pegmatitu byla později věnována větší pozornost především ze strany Nováka et al. (1999), jejichž zásluhou bylo z této lokality poprvé popsáno mísení elbaitu a dravitu. Z lokality také nově popisují vzácný turmalín liddicoatit a dále minerály uvit, oligoklas-andezin, datolit, zirkon, bastnaesit-(Ce), hydroxylbastnaesit-(Ce), allanit-(Ce), apatit, mikrolit-pyrochlor, axinit-(Mn), axinit-(Mg), albit, kalcit, fluorit a pyrit. Podrobněji popisují také jednotlivé zóny pegmatitu, které ale často netvoří jasné hranice ani nejsou nijak souměrné (Novák et al. 1999). Ve studiu turmalínů z lokality později pokračoval Macek (2012, 2016), který uvádí že pegmatit kromě primární kontaminace média okolními mramory prodělal i sekundární kontaminaci, která se projevuje zvýšenými hodnotami Mg v sekundárních turmalínech v pegmatitu. Později bylo v materiálu nalezeno ještě několik druhů turmalínů, které nebyly v době původní studie popsány, Konkrétně se jedná o fluor-dravit a fluor-elbait (Novák et al. 2016a). Pegmatit náleží do vzácné „mixed“ skupiny (Novák et al. 2012).



Černý (2004) zmiňuje, že až 7cm bílé diopsidy jsou často zatlačovány tremolitem. Bastnaesitu-(Ce) se později ještě krátce věnuje Novák (2009). Novák et al. (2012) z pegmatitu nově popisují parisit-(Ce), epidot, monazit, grafit a scheelit. V souhrnu dat o zdejších pegmatitech publikují Novák et al. (2016a) ještě nález několika akcesorických minerálů - stillwellitu, bismutu a „Mn-oxidů“.

2.2 Pegmatit Bližná II

Asi 6 m mocný pegmatit Bližná II byl objeven v roce 1997 v komíně K15 dolu Václav (Novák 2011). Z vědeckého hlediska ze žílou zabýval doposud jenom Černý (2004), který kromě podrobné mineralogie popisuje i druhý výchoz tohoto pegmatitu na povrchu.

Černý (2004) z pegmatitu popisuje křemen, K-živec, albit, andezín, mikroklin, cleavelandit, grafit, spessartin, apatit, růžový dumorthierit, rutil, Nb-rutil, columbit-(Mn), axinit-(Mn), chlorit, kassiterit, zirkon, vzácný thortveitit, monazit, xenotim, pyrit, laumontit, z turmalínů dravit, skoryl, elbait a vzácný olenit. Na rozdíl od Bližné I obsahuje Bližná II i muskovit jakožto součást muskovitické jednotky (Černý 2004). Novák et al. (2016a) popisují z žíly ještě nontronit.

Pegmatit vykazuje nižší úroveň kontaminace Ca než Bližná I (Novák 2011).

2.3 Pegmatit Černá I

Pegmatit o mocnosti 1,5 m objevený M. Novákem a S. Houzarem byl odkryt v letech 1997-1999 v činném lomu Na Vápenném vrchu (Černá v Pošumaví) (Novák 2011) v severní stěně 2. etáže (Novák et al. 2016a). Novák (2011) těleso popisuje jako

nepravidelný žilník subhorizontálně uložený v biotické rule. V naduřelých partiích pegmatitu se nacházely zonální až 20cm turmalíny (pravděpodobně skoryl-elbait) černé, špinavě zelené, zelené a růžové barvy v asociaci s cleavelanditem (Novák 2011). Horninotvornými minerály jsou křemen, K-živce, albit a oligoklas (Novák et al. 2016a). Akcesoricky byl nalezen bismut a zirkon, dále je uváděn také beryl (Novák 2011). Novák (pers. comm. in Černý 2004) uvádí možný bismutit a vzácně primární muskovit. Novák et al. (2016a) dále uvádějí výskyt biotitu, v primitivních částech pegmatitu. Těleso nebylo doposud vědecky zpracováno.

2.4 Pegmatit Černá II

Několik metrů od místa nálezce pegmatitu Černá I byl v roce 2014 nalezen druhý lithný pegmatit Černá II (Novák et al. 2016a). Ve jméně nálezce se jediné dva dostupné zdroje neshodují, podle Zikeše (2015) byl nálezcem on sám, podle Nováka et al. (2016a) byl nálezcem pegmatitu M. Musil. Asi 1 m mocné těleso vykazuje jasnou částečně i symetrickou zonálnost s vývojem od kontaktních, přes granitické, grafickou a i blokovou jednotku (Novák et al. 2016a).

Zikeš (2015) popisuje bez jakýchkoliv genetických spojitostí nález cleavelanditu, elbaitu, vzácně lepidolitu, apatitu, možného berylu a „dalších, nejspíše vzácných kovových a metamiktních smolně lesklých minerálů“.

Novák et al. (2016a) popisují horninotvorný křemen, mikroklin, albit, oligoklas, cleavelandit, dravit, dumorthierit, elbait, axinit-(Fe), ilmenorutil (Nb-rutil), zirkon, bavenit, lepidolit, biotit, muskovit, skoryl, beryl, epidot a columbit-(Mn).

Třebín (2017) z pegmatitu popisuje nález vzácného růžového berylu - morganitu ověřeného rentgenometricky (pers. comm.).

3 Metodika

3.1 Použitý materiál

Materiál použitý při výzkumu byl nasbírán M. Novákem a S. Houzarem v roce 1997 při objevení pegmatitu Černá I. Dodatečně ještě budou studovány akcesorické fáze nasbírané J. Cíchou v témže roce. Z materiálu byl vybrán typický materiál pro kontakt pegmatitu z okolní rulou, primitivní jednotka pegmatitu, bloková jednotka pegmatitu a poté jednotlivé akcesorické fáze pro studium přítomných minerálů.

Výbrusy z materiálu zhotovila brusírna Masarykovy Univerzity (J. Povolný a P. Zaunstöck), před analýzou byly pokoveny čistým uhlíkem. Celkem byly zhotoveny 4 výbrusy - Ce1-1 (primitivní jednotka), Ce1-3 (kontakt s okolní horninou), Ce1-3a (černý turmalín Li-jednotky) a Ce1-3b (zelený turmalín Li-jednotky).

3.2 Fotografování vzorků

BSE snímky byly pořízeny operátory elektronové mikrosondy (R. Škoda, J. Haifler, P. Gadas) na přístroji Cameca SX100.

Mikroskopické snímky leštěných výbrusů byly foceny s a bez polarizátoru fotoaparátem Olympus PEN-F připojeným k mikroskopu Olympus se zvětšením 10x; 5-20x.

Leštěné výbrusy byly skenovány skenerem na diapositivu na ÚGV MU.

Mikroskopické snímky 3D objektů skládané podle Z-osy byly pořízeny na mikroskopu Nikon SZM 25 na ZF JU.

Makroskopické vzorky byly fotografovány fotoaparátem Canon Isux 115 HS.

3.3 Analýzy na elektronové mikrosondě

Leštěné výbrusy (Ce1-1, Ce1-3, Ce1-3a, Ce1-3b) byly studovány na elektronové mikrosondě Cameca SX100 ve sdílené laboratoři ČGS a ÚGV MU. Operátory byli P. Gadas, J. Haifler a R. Škoda.

Analyzační podmínky byly následující: 15keV, 10 nA, svazek 5 μm pro turmalín, slídu, živec; 15keV, 10 nA, svazek 8 μm pro apatit; 15keV, 20 nA, svazek 3 μm pro zirkon, allanit/epidot; 15keV, 10 nA, svazek 2 μm pro titanit; 15keV, 20 nA, svazek 2 μm pro columbit, rutil, uraninit; 15keV, 20 nA, svazek 5 μm pro Bi-fáze; 15keV, 4 nA, svazek 8 μm pro body B79 a B80; 15keV, 4 nA, svazek 4 μm pro U-silikáty.

Jako standardy byly pro následující prvky použity přírodní minerály a syntetické sloučeniny: Na (Albit A), Ta (CrTa₂O₆), Al (gahnite, sanidin), Zn (gahnite), Nb (Columbit_lvigut), Pb (Vanadinit), U (U), Ca (wollastonit), Sn (Sn), Ti (Anatas Hardangervida, Titanit), Fe (hematit, almandin, andradite), Mn (Mn₂SiO₄, Spessartin), K (ortoklas, sanidin), F (Topaz), Mg (Mg₂SiO₄, olivin), Th (CaTh(PO₄)₂), Si (andradite, Andalusit, sanidin, Titanit), Sc (ScVO₄), Y (YAG), Sb (Sb), W (ZnWO₄), V (ScVO₄, Vanadinit), Cr (chromit), P (apatite), Ni (Ni₂SiO₄), Bi (Bi), Sr (SrSO₄), Hf (Hf), S (SrSO₄), Gd (GdPO₄), Dy (DyPO₄), Er (ErPO₄), Yb (YbPO₄), Pr (PrPO₄), Cl (Vanadinit), La (LaPO₄), Ce (CePO₄), Nd (NdPO₄), As (Lammerite), Zr (zirkon), Sm (SmPO₄), Tb (TbPO₄), Ho (HoPO₄), Eu (EuPO₄), Tm (TmPO₄), Lu (LuPO₄), Ba (baryt), Cu (Lammerite), Co (Co) a Zr (zirkon, ZrO₂, zr).

3.4 Ramanova spektroskopie

Pro identifikaci vybraných fází s neidentifikovatelným/komplikovaným chemismem byla použita jako doplňková identifikační metoda Ramanova spektroskopie na ÚGV MU. Operátorem spektroskopu byl R. Škoda.

3.5 Výpočty chemických vzorců studovaných fází

Analytický výstup z elektronové mikrosondy byl normalizován na koncentrace jednotlivých prvků v apfu, hodnoty pod detekčními limity nebyly použity. Veškeré Fe je uvažováno jako Fe²⁺, není-li uvedeno jinak.

Vzorci jednotlivých fází byly normalizovány na počet aniontů: 16 pro živec, 12 pro columbit, 4 pro rutil a uraninit, nebo na počet Si ve vzorci: 1 pro zirkon (Si+P), 3 pro allanit. Vzorci apatitu byly normalizovány na Si+P=3, hodnoty F v analýze jsou nadhodnocené, jelikož F má tendenci difundovat vzhůru do analyzované hmoty (k elektronům produkovaným elektronovým dělem mikrosondy). Vzorci biotitu byly normalizovány na 11 aniontů, strukturální pozice T byla doplněna Al na Si+Al=4. Vzorec

chloritu byl normalizován na 14 aniontů a pozice T byla doplněna obdobně jako u biotitu. Výpočet axinitu je normalizovaný na 31 aniontů, B je uvažováno ideálně jako B=1. Analýza titanitu je normalizovaná na 10 aniontů, veškeré Fe je uvažováno jako Fe³⁺. Vzorec pyrochloru je normalizován na Ta+Ti+Nb+Zr+Fe³⁺+Al+Si=2, veškeré Fe je uvažováno jako Fe³⁺, strukturní pozice A je doplněna do sumy 1 pomocí vakance/H₂O, pozice Z je zaplněná anionty O²⁻ a (OH)¹⁻ na sumu 6 a odpovídající počet zbývajících aniontů po zaplnění ostatních aniontových pozic O²⁻ podle ideálního vzorce.

Vzorci turmalínů byly normalizovány na 6 Si, nebo 15 XYZ (vybírán byl nižší z normalizačních faktorů). Všechno Fe bylo uvažováno jako Fe²⁺. Li v turmalínech je dopočteno jako doplnění pozic XYZ do sumy 15. Z toho důvodu nebylo při výpočtech možné uvažovat výskyt oxy- turmalínů, jelikož O²⁻ okupující pozici W je dopočítáváno z celkového náboje kationtů (resp. přítomnost O²⁻ svědčí o zvýšeném obsahu kationtů v mřížce, ten je O²⁻ vyvažován). Oxy- turmalíny bylo možné identifikovat u turmalínů doplňkově analyzovaných z primitivního pegmatitu bez aktivity Li.

Diagramy evoluce chemismu turmalínů byly vynášeny v programu SigmaPlot 14.0.

Analýza hlavních komponent (PCA) byla vynesena v programu R Mgr. Jiřím Hadravou.

4 Výsledky práce

4.1 Strukturní jednotky pegmatitu

4.1.1 Biotitická jednotka

Černý (2004) uvádí, že žilník pegmatitu Černá I dosahuje délky až prvních desítek metrů. Až na několikametrové zduření s vyvinutou zonálností pegmatit dosahuje mocnosti několika decimetrů (mimo zduřené oblasti) a je tvořen pouze biotitickou jednotkou. Tato jednotka je tvořena zrny živce a křemene do 1 cm a lupeny chloritizovaného biotitu do 1,5 cm.

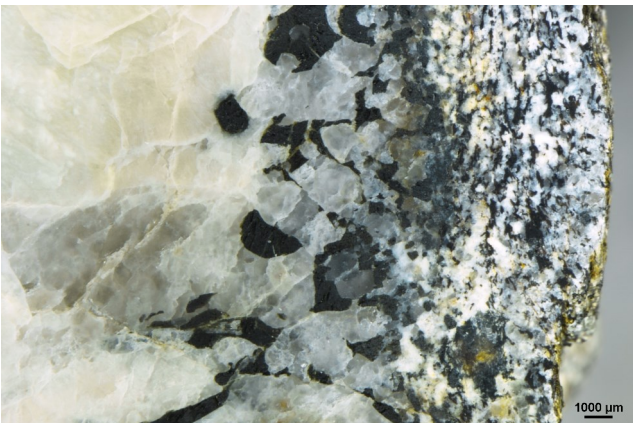
4.1.2 Granitická jednotka

Granitická jednotka se vyskytuje v místě zduření pegmatitu (viz. Obr. 6) a dosahuje mocnosti 1 m. Je tvořena křemenem a albitem (var. oligoklas), dále v akcesorickém množství apatitem, černohnědým turmalínem, titanitem, allanitem, biotitem, chloritem, monazitem, pyritem, rutilem a galenitem.

4.1.3 Kontaktní zóna

Kontaktní zóna pegmatitu je vyvinutá podél celé granitické a blokové jednotky, materiál z kontaktu biotitické jednotky a okolní horniny se nedochoval. Na kontaktu ruly a granitické jednotky je vyvinutá velmi bohatá turmalinizace pegmatitu, okolní rula je často natavená a dochází i k oddělení natavených částí a tvorbě rulových xenolitů v pegmatitu. Zóna postižená turmalinizací dosahuje mocnosti 5 cm. Na kontaktu s blokovou jednotkou má turmalinizovaná zóna mnohem menší mocnost, ta dosahuje 1-2 cm. Turmalín v obou případech narůstá na okolní rulu a dále je volně rozptýlený v pegmatitová hmotě kontaktní zóny.

Z mineralogického hlediska je kontaktní zóna prakticky totožná s granitickou jednotkou, jediným rozdílem je absence galenitu a rutilu (možná pouze nepodchycenými v malém množství studovaného materiálu) a naopak přítomnost limonitu, zirkonu a muskovitu (obdobně jako u předchozího možná nebyly podchycené v materiálu granitické jednotky). Živce v kontaktní zóně vykazují silnou sericitizaci.



Obr. 4: Kontakt pararuly a blokové jednotky pegmatitu. Foto: autor.



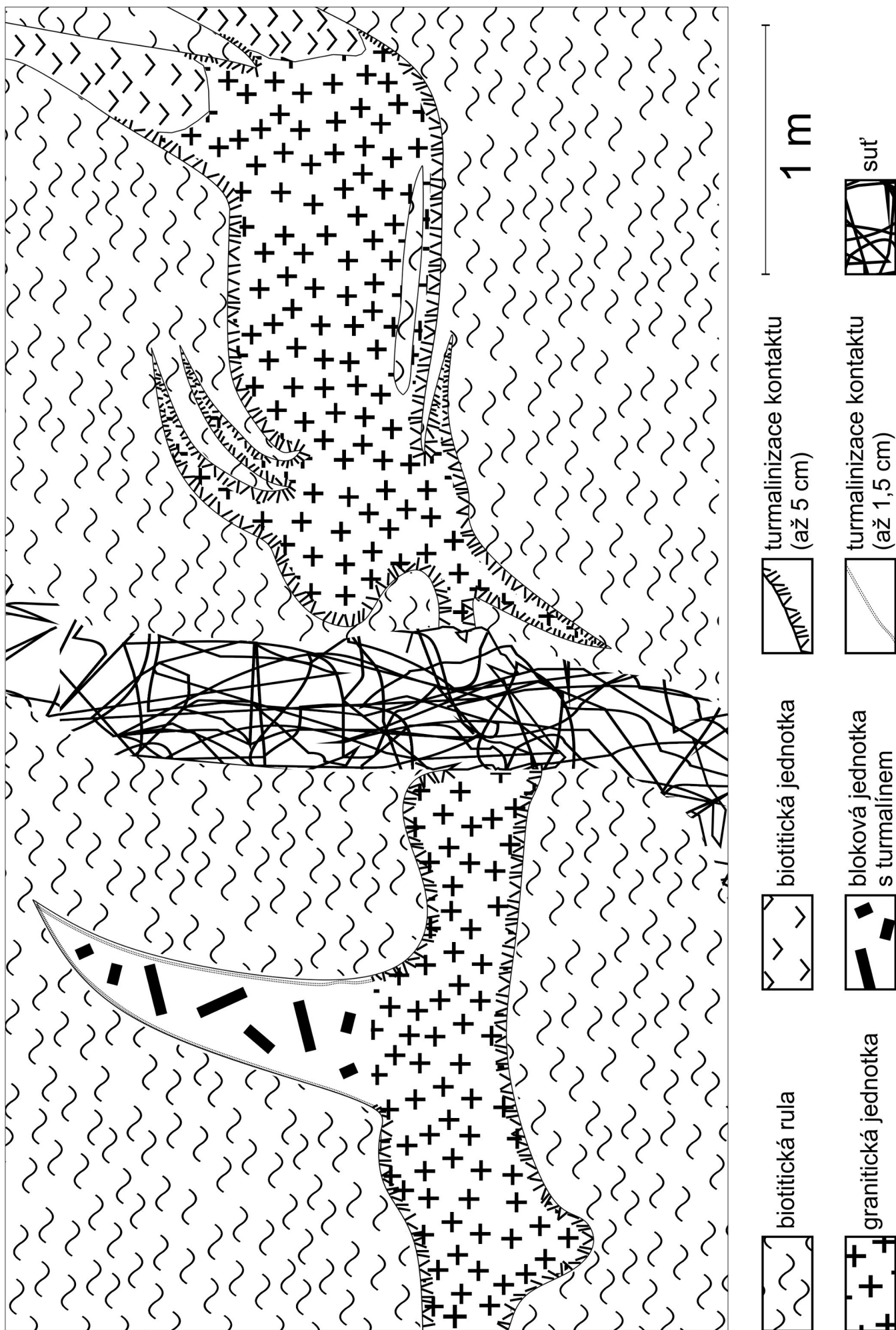
Obr. 5: Komplikovaná kontaktní zóna. Šířka vzorku cca 30 cm. Foto: autor.

4.1.4 Bloková jednotka

Bloková jednotka byla vytvořena v největším odžilku vycházejícím z granitické zóny. Je tvořena majoritně nazelenalo-namodralým albitem (var. oligoklas - cleavelandit) tvořícím krystaly až několik dm veliké, dále v menší míře křemenem, lithnými i nelithnými turmalíny a pestrou škálou akcesorických minerálů nesoucí prvky jako je U, Th, Bi, Hf, Pb, Sn, REE aj. Z minerálů obsažených v jednotkách zmíněných výše nebyl zastížen pouze galenit.

4.1.5 Grafická zóna a křemenné jádro

Podle Černého (2004) byla v pegmatitu vytvořena grafická zóna a křemenná jádra uzavřená v blokové jednotce. Materiál z těchto jednotek se mi nepodařilo dohledat a tudíž nebyl studován. Tyto jednotky však bývají minerálně extrémně chudé, často jsou složeny pouze z křemene, v případě grafické jednotky přistupuje živce, někdy turmalín a vzácně další akcesorie.



Obr. 6: Rekonstrukce profilu pegmatitu Černá I vytvořená podle poznámek a skici Nováka (2011).

4.2 Minerály pegmatitového tělesa

4.2.1 Živce

Hrubozrnná granitická jednotka je tvořena až decimetrovými zrny K-živce a křemene. K-živce tvoří perthitické srůsty s albitem. Empirický vzorec K-živce byl stanoven na základě jednoho analytického bodu v granitické jednotce (B43) na $(K_{0,85} Na_{0,1})_{\Sigma 0,95} Al_{0,94} Si_{2,86} O_8$. Velmi nízký obsah fosforu (pod detekčním limitem) poukazuje na střední až nízký tlak během krystalizace živců.

V blokové jednotce pegmatitu je K-živce zastoupen jako jeden z vedlejších minerálů. Horninotvorným minerálem je modrozelený až bělavý albit (oligoklas) - „cleavelandit“. Empirický vzorec albitu stanovený na základě analytických bodů B33 a B34 umístěných v blokové jednotce odpovídá $(Na_{0,75} Ca_{0,23} K_{0,03})_{\Sigma 1,01} Al_{1,22} (Si_{2,77} P_{0,01})_{\Sigma 2,78} O_8$.

Biotitická jednotka je tvořena až 20mm zrny K-živce.

4.2.2 Křemen

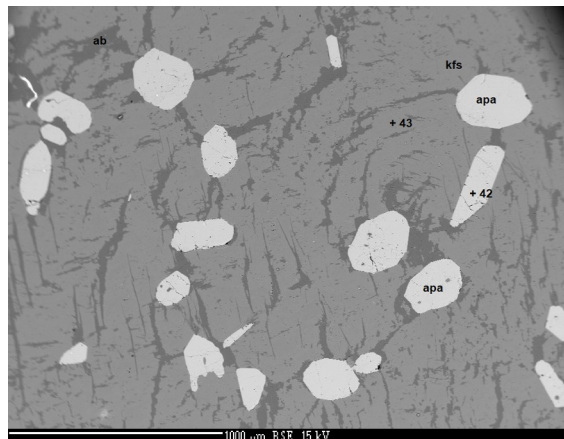
Křemen je přítomen ve všech strukturních jednotkách pegmatitu jakožto magmatický horninotvorný minerál. V hrubozrnné granitické jednotce tvoří zrna obdobné velikosti jako K-živce. Dále se v granitické jednotce křemen vyskytuje i v podobě hydrotermálních žilek o mocnosti do 150 μm prostupující primární magmatický turmalín a K-živce.

Monominerální křemenná jádra se pravděpodobně vyskytla jako uzavřeniny v blokové jednotce.

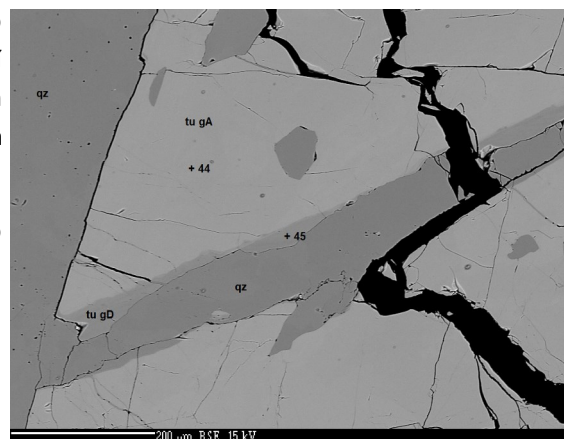
4.2.3 Turmalín

Turmalín granitické jednotky tvoří až několikacentimetrové černé krystaly. Turmalín se v BSE jeví výrazně zonální, přičemž je možné v primitivních turmalínech vyčlenit 4 přírůstkové zóny s rozdílným chemismem a relativně ostrými přechody. Jádro (gA) má relativně vysokou hladinu Fe (1,5 - 1,2 apfu) a nízký Mg (1,3 - 1,7 apfu). Z hlediska klasifikace přechází mezi skorylem a dravitem. Přírůstková zóna gB sleduje trend zvyšování obsahu Mg (1,8 - 1,9 apfu) v turmalínu na úkor Fe (1,0 apfu). Zóna gC mocná pouze několik μm má abnormální skokově změněný chemismus s výrazně sníženým obsahem Fe (0,3 apfu), což může být vysvětleno jeho odběrem z taveniny při krystalizaci jiných Fe-bohatých fází. Deficit Fe na pozici Y dorovnává Mg (2,4 apfu) a částečně i Al (Al_{tot} 6,2 apfu vs. Al_{tot} 5,9 apfu u ostatních zón). Poslední zóna (gD) pak dále sleduje trend chemismu nastavený zónami gA a gB se snižujícím-se Fe (0,7 - 0,9 apfu) a rostoucím Mg (1,8 - 2,1 apfu). Všechny zóny vykazují kontaminaci 0,1 - 0,2 apfu Ca. Vývoj turmalínu směrem od jádra tedy sleduje trend skoryl-dravit → dravit.

Turmalín kontaktní zóny (kA) sousedící s blokovou (Li-bohatou) jednotkou se opticky jeví být černohnědý, tvoří až 2cm krystaly nebo grafické srůsty s křemenem. Na řezu je možné rozlišit nepravidelnou optickou zonálnost primárního turmalínu přecházející od modrošedé do hnědé, rozdíl chemismu a tím pádem i BSE zonálnost je ale minimální. Turmalín je dravitický s obsahem Mg (1,4 - 1,6 apfu) převažujícím nad Fe (0,9 - 1,1 apfu). Na pozici Y začíná částečně vstupovat Al (Al_{tot} 6,4 apfu) a pravděpodobně i v malém množství Li (0,1 - 0,2 apfu). Stejně jako turmalín granitické jednotky vykazuje turmalín kontaktní zóny kontaminaci Ca (0,2 apfu), hodnoty F jsou ale nízké (0,1 apfu). Primární turmalín (kA) je alterovaný sekundárním hydrotermálním turmalínem (kB), opticky i BSE rozlišitelným, se zvýšeným obsahem Fe (1,3 - 1,4 apfu), Mg (1,7 - 1,8 apfu) a Ca (0,3 apfu), Al_{tot} je sniženo na 5,9 - 6 apfu, Li



Obr. 7: Perthitický živce s apatitem v BSE, kontaktní zóna. Foto: operátor mikrosondy.



Obr. 8: Křemen vyplňující prasklinu v turmalínu v BSE, granitická jednotka. Foto: operátor mikrosondy.



Obr. 9: Lithný turmalín s manganatým lemem, bloková jednotka. FOV 5,5 cm. Foto: J. Cícha.

nevstupuje vůbec. Z hlediska klasifikace je i sekundární turmalín dravit. Alterace primárního turmalínu souvisí pravděpodobně s fluidy chloritizujícími biotit. Praskliny procházející oběma typy turmalínu jsou vyplněny titanitem vzniklým po uvolnění Ti z biotitu.

Turmalíny blokové jednotky tvoří černé sloupce o velikosti až několika cm lemované tenkou růžovou zónou a až 20cm krystaly barevných turmalínů. Barevné turmalíny jsou hnědo-zelené a lemované také růžovou zónou o mocnosti až 1 mm. Černý turmalín je opticky i BSE zonální. Jádru je tvořené nepravidelnými zónami bA (hnědá, skoryl) a bB (modrošedá, foitit) a je lemována několik mm silnou vrstvou hnědé zóny bC (skoryl) a tenkou zónou růžového turmalínu bD (Li bohatý tsilaisit). Pozice X je u zón bA - bD okupovaná Na (0,6 - 0,5 apfu), případně vakantní. Turmalín vykazuje téměř nulovou kontaminaci Ca (< 0,03 apfu). Hodnoty Mg jsou také těsně nad mezí detekce, Fe směrem od středu klesá (2,0 - 1,6 apfu) a je vyvažováno Mn (0,1 - 0,2 apfu), do turmalínu začíná s Mn vstupovat i Li (0,0 - 0,3 apfu). Růžová zóna bD má odlišný chemismus - Mn 1,0 apfu, Li 0,6 apfu a Fe 0,2 apfu. Vývoj chemismu turmalínu sleduje trend (skoryl) → foitit → tsilaisit-elbait.

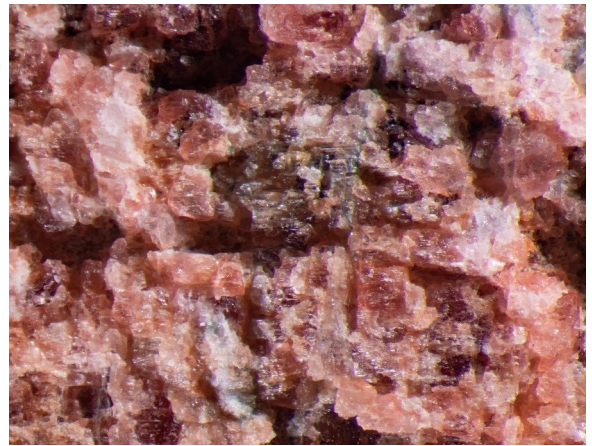
Krystaly barevných turmalínů jsou silně rozpraskané a makroskopicky zonální. Jádro tvoří špinavě zelený turmalín (bE), který je lemovaný tenkou zónou růžového turmalínu (bF). Růžová zóna vstupuje okolo prasklin a nedokonalostí i do zeleného turmalínu. V BSE se turmalín jeví být velmi nehomogenní, v některých místech jsou vytvořené plynulé přechody chemismu mezi zónami bE a bF, jinde je hranice relativně ostrá. Na několika menších krystalech barevných turmalínů byl pozorován skokový přechod mezi zónami bE a bF s vytvořenou mezizónou (bG). Z hlediska chemismu dochází v průběhu evoluce turmalínu k postupnému snižování obsahu Fe pod hranici 0,03 apfu. Aktivita Mg v barevných turmalínech je téměř nulová. Deficit Fe je dorovnáván nejprve Mn a Li (+- Mn = Li), po dosažení Fe = +0 začíná klesat i obsah Mn téměř k nule a pozice Y je okupována téměř exkluzivně Li. Množství F v turmalínu roste lineárně s narůstajícím Na. Růžový turmalín vykazuje na rozdíl od zeleného mírnou kontaminaci Ca (0,1 vs. 0,0 apfu), což pozitivně koreluje s obsahem Li v turmalínu. Vnější růžová zóna odpovídá fluor-elbaitu. Vývoj chemismu barevných turmalínů navazuje na trend černých turmalínů a tvoří řadu tsilaisit-elbait → elbait → (liddicoatit).

4.2.4 Slídy

Nejvyšší zastoupení mají slídy v biotitické jednotce pegmatitu, kde je minerál ze skupiny biotitu až chloritu jednou z vedlejších fází. Ve všech ostatních jednotkách jsou slídy pouze akcesoriemi. Většina biotitu v pegmatitu Černá I byla alterována (pravděpodobně hydrotermální cestou) na minerál ze skupiny chloritu.

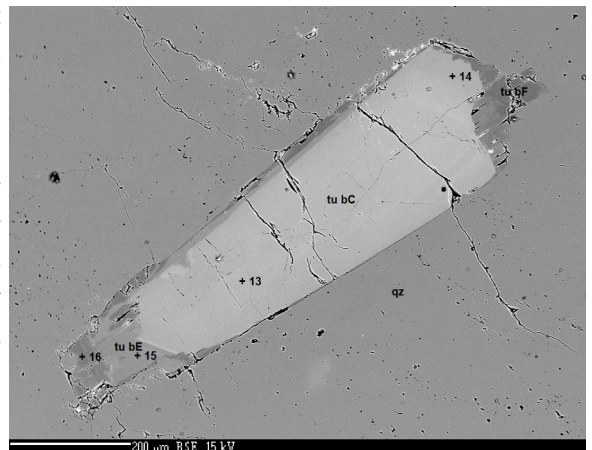
V biotitické jednotce tvoří biotit-chlorit až 15mm černo-hnědé až nazelenalé šupinaté agregáty. Biotit studovaný ve vzorku granitické jednotky je téměř úplně chloritizovaný a prorůstá ho sekundární titanit, rutil, monazit a allanit (zdroj Ti a REE z biotitu) vzniklý při chloritizaci. Velmi vzácně se v granitické jednotce dochovaly reliktů původního biotitu. V kontaktní zóně tvoří alterovaný biotit-chlorit obdobné srůsty s titanitem. V blokové jednotce byl biotit nalezen v jediném místě v podobě tenké vrstvy nasedající na krystal turmalínu.

Krystalochemický vzorec chloritu byl stanoven analytickým bodem (B28) v kontaktní zóně pegmatitu jako $(K_{0,02}Ca_{0,01})_{20,03}(Fe^{2+}_{2,35}Mg_{2,16}Al_{0,32}Mn_{0,03})_{24,86}Al((Al_{1,11}Si_{2,89})_{24}O_{10})((OH)_{7,94}F_{0,03})_{27,97}$. Toto stanovení vzorce je ale pravděpodobně zatíženo množstvím chyb, jelikož několik proměnných neidentifikovatelných pomocí použitých analytických metod bylo uvažováno jako

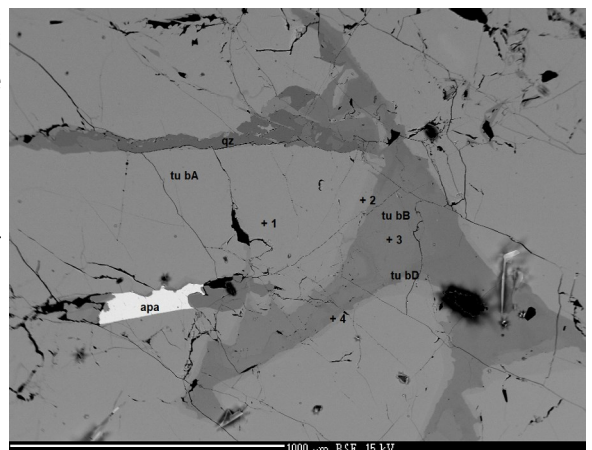


Obr. 10: Růžový Mn-Li bohatý, mechanicky porušený turmalín, bloková jednotka.

FOV 3,4 mm. Foto: J. Cícha.



Obr. 11: Třígenerační turmalín v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.

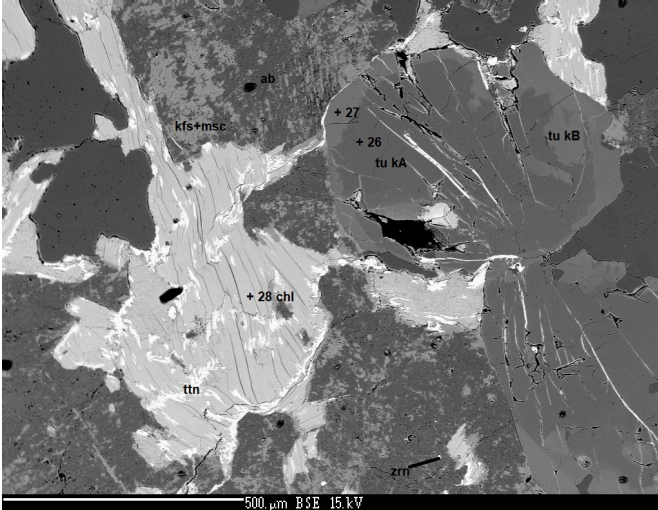


Obr. 12: Vývoj chemismu turmalínu zobrazený v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.

ideální podle publikované nomenklatury (viz. Výpočty chemických vzorců studovaných fází). Chlorit odpovídající vykalkulovanému krystalochemickému vzorci odpovídá orthochamositu.

Vzorec biotitu byl určen na základě dvou analytických bodů (B31 a B32), obdobně jako v případě chloritu, v kontaktní zóně pegmatitu a odpovídá $(K_{0,91}Na_{0,01})_{\Sigma 0,92}(Fe^{2+}_{1,29}Mg_{1,07}Al_{0,24}Ti_{0,19}Mn_{0,01})_{\Sigma 2,81}(Al_{1,29}Si_{2,71})_{\Sigma 4}O_{10}(OH)_{1,74}$.

Pravděpodobně primární muskovit tvoří vzácně až 6mm nazelenalé lupeny v granitické jednotce pegmatitu. V kontaktní zóně tvoří muskovit mozaikovitě srůsty z K-živcem jako produkt hydrotermální alterace plagioklasu (albitu), jehož reliktů jsou převažující složkou směsi. Chemické složení muskovitu studováno nebylo.



Obr. 13: Chloritizovaný biotit se sekundárním titanitem v BSE, kontaktní zóna. Foto: operátor mikrosondy.

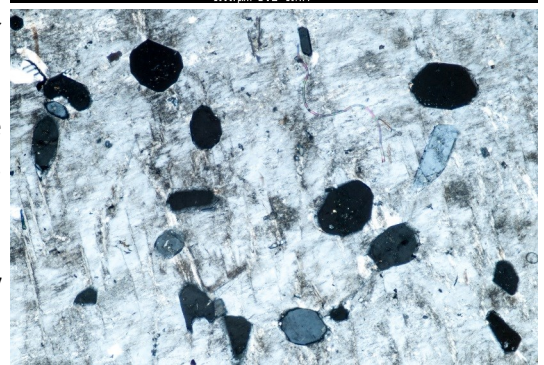
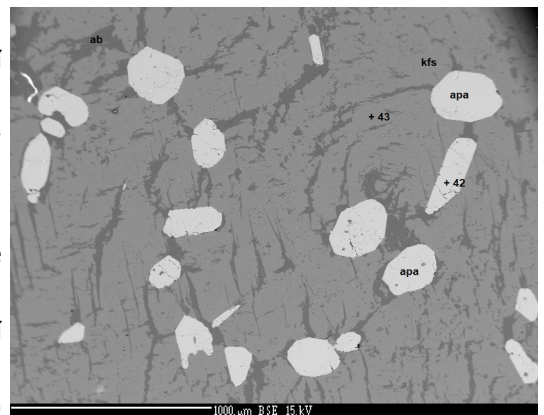


Obr. 14: Biotit (hnědá) částečně alterovaný na chlorit (nazelenalá), kontaktní zóna. FOV 2 mm. Foto: autor.

4.2.5 Apatit

Minerál ze skupiny apatitu je přítomný ve všech studovaných jednotkách pegmatitu. V kontaktní zóně jsou vyvinuté hojně až 600 μm automorfní krystaly primárního apatitu. V jedné ze studovaných částí výbrusu apatit můžeme považovat i za horninotvorný minerál spolu s perthitickými srůsty K-živce s albitem. To může být způsobeno mj. kontaminací taveniny Ca. Četné sekundární inkluze v krystalech apatitu jsou tvořené monazitem a pyritem. V granitické jednotce apatit tvoří vzácněji krystaly do 200 μm. Častější je v podobě sekundárních agregátů ve slídách a výplní trhlin v živcích. V blokové jednotce tvoří apatit automorfní krystaly do 200 μm. Sekundární apatit tvoří xenomorfní agregáty do 500 μm uzavřené v křemeni a albitu, nebo turmalínu. Ve výbrusu 3b byl zachycen srůst sekundárního apatitu s rutilem. Primární 70 μm krystal apatitu je v blokové jednotce obrůstán i neidentifikovanou fází odpovídající chemismu ferrisepiolitu (viz. 4.2.19).

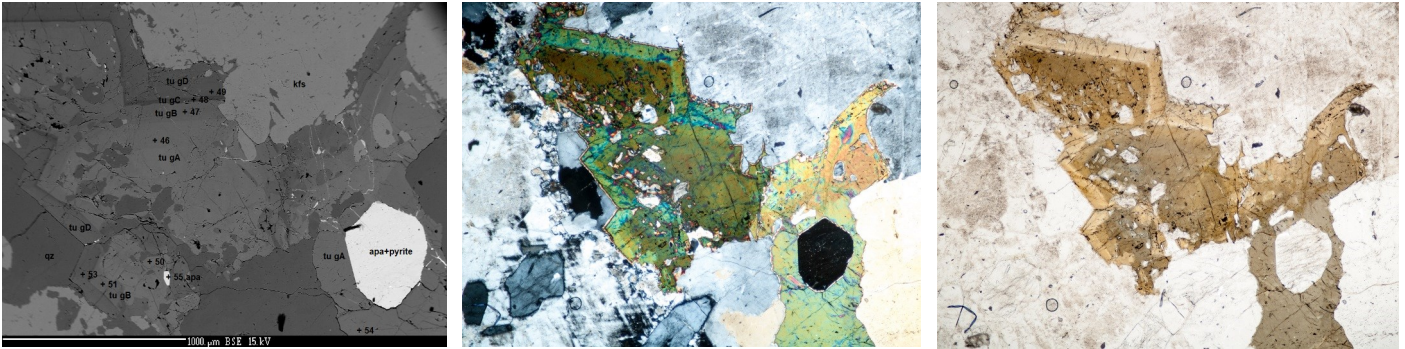
Empirický vzorec primárního apatitu z kontaktní zóny stanovený na základě dvou analytických bodů (B42 a B55) odpovídá $(Ca_{4,96}Mn_{0,03}Na_{0,02})_{\Sigma 5,01}(PO_{3,99})_3F$. Primární apatit blokové jednotky vykazuje výrazně zvýšený Ca (5,25 a 5,37 apfu) a F (1,21 a 1,44 apfu). Jeho vzorec byl stanoven na základě dvou analytických bodů (B11 a B17) na $(Ca_{5,31}Mn_{0,08}Na_{0,01})_{\Sigma 5,41}(PO_4)_3F_{1,32}$. Zvýšený obsah Ca může být způsoben faktem, že apatit je jedním z mála nosičů Ca v blokové jednotce. Obsahy křemíku a chlóru byly na všech analytických bodech nad detekčním limitem, ale po zaokrouhlení byly ze vzorce eliminovány. Poslední strukturálně-chemická pozice ve vzorci apatitu může být okupována anionty Cl^{-} , F^{-} a $(OH)^{-}$. Hodnoty obsahu fluoru ve všech analýzách jsou mírně nadhodnocené, jelikož tento prvek vykazuje tendenci difundovat



Obr. 15 a 16: Apatit v perthitickém živci v BSE (nahore) a v polarizovaném světle (dole), kontaktní zóna. Foto: operátor mikrosondy a autor.

vzhůru do analyzované hmoty během jejího ostřelování elektrony. Pozice je tedy reálně doplněna částečně i OH^{-} ionty, které není možné pomocí použité technologie identifikovat. I přes tuto skutečnost je ale obsah F majoritní na poslední pozici

v krystalochemickém vzorci a všechny analyzované fáze jsou klasifikovány jako fluorapatit. Sekundární apatit studován podrobněji nebyl.

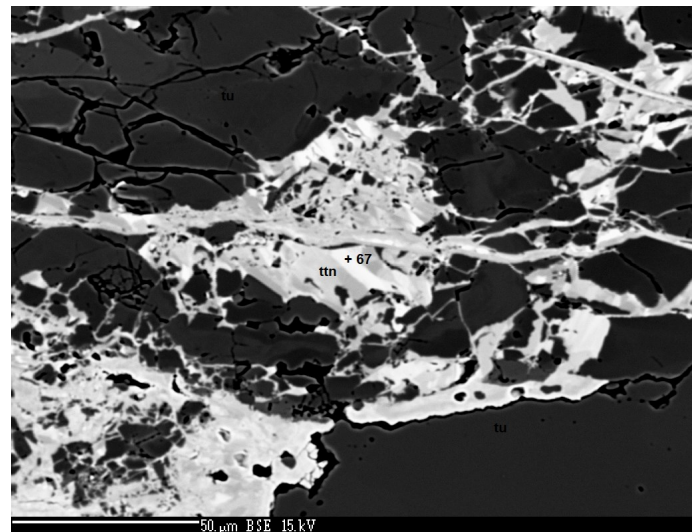
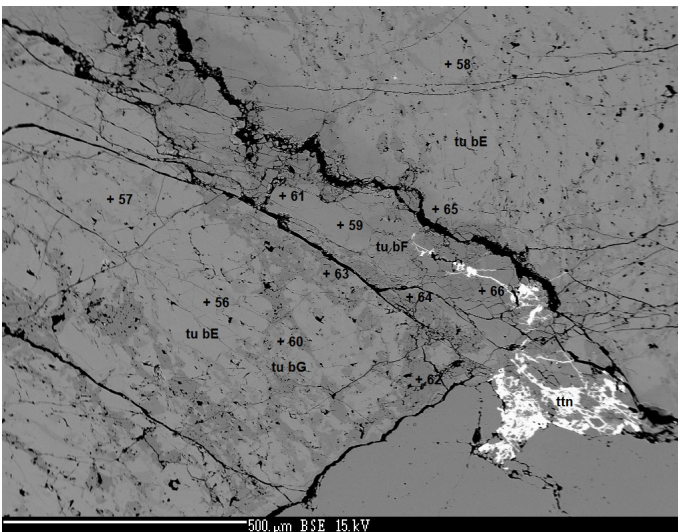


Obr. 17, 18 a 19: Apatit uzavřený v zonálním turmalínu v BSE (vlevo), polarizovaném světle (uprostřed) a ve viditelném světle (vpravo), granitická jednotka. Foto: operátor mikrosondy a autor.

4.2.6 Titanit

Sekundární titanit byl zaznamenán v granitické i v blokové jednotce pegmatitu, stejně jako v jeho kontaktní zóně. Vytváří až 300 μ m, často zonální, agregáty po alteraci biotitu a turmalínu. V primitivní jednotce také intimně srůstá s chloritem po biotitu a rutilem. V blokové jednotce byl zachycen srůst s rutilem, pyrochlorem, zirkonem a kasseritem uzavřený v křemeni.

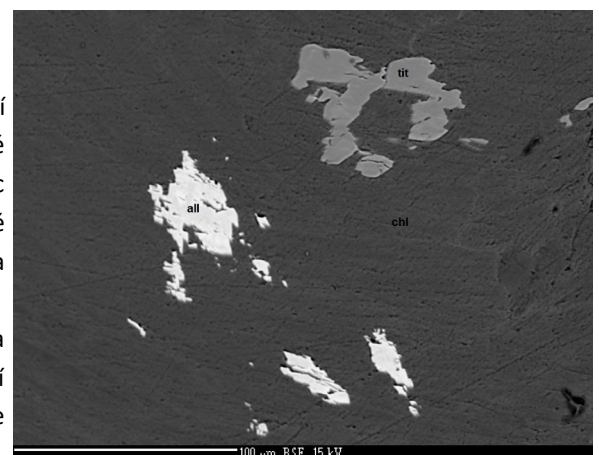
Empirický vzorec titanitu stanovený analytickým bodem B67 umístěným do BSE světlé (vyšší Fe) zóny sekundárního titanitu pronikajícího turmalínem odpovídá $(Ca_{1,03}Sc_{0,03})_{\Sigma 1,05}(Ti_{0,65}Al_{0,31}Fe^{3+}_{0,01})_{\Sigma 0,97}(Si_{1,03}O_4)(O_{0,86}F_{0,28})_{\Sigma 1,14}$. Zvýšený obsah Ti pravděpodobně pochází z titanitem bohatého alterovaného biotitu.



Obr. 20 a 21: Sekundární titanit vyplňující praskliny v zonálním Li-Mn turmalínu v BSE, bloková jednotka. Celkový pohled (vlevo) a detail (vpravo). Foto: operátor mikrosondy.

4.2.7 Allanit

Minerál skupiny allanitu tvoří agregáty do 50 μ m vzniklé hydrotermální cestou. Agregáty byly nalezeny v chloritizovaném biotitu granitické jednotky a v turmalínu v kontaktní zóně pegmatitu. Chemický vzorec allanitu byl stanoven na relativně homogenním agregátu v kontaktní zóně jedním analytickým bodem (B22). Vzorec odpovídá $Ca(Ca_{0,41}Ce_{0,24}La_{0,11}Nd_{0,09}Y_{0,03})_{\Sigma 0,88}(Al_{2,12}Fe^{3+}_{0,79}Mg_{0,01})_{\Sigma 2,93}(Si_2O_7)(SiO_4)O((OH)_{0,97}F_{0,05})_{\Sigma 1,01}$. Strukturální pozice M2 ve vzorci je okupována majoritně Ca s rozdílem 0,05 apfu oproti REE, jedná se tedy o fázi úzce hraničící s polem REE bohatého epidotu. Z důvodu převahy Ca na této pozici je fáze je klasifikována jako Ca bohatý allanit-(Ce).



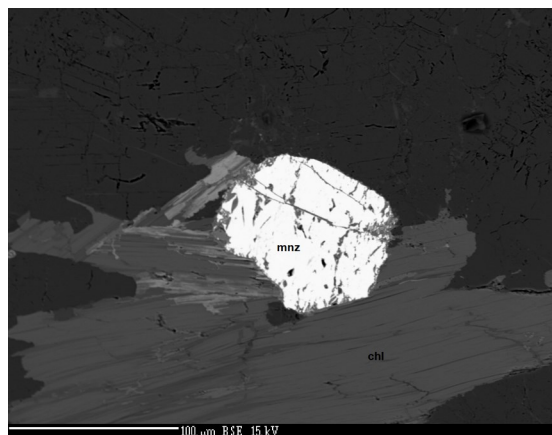
Obr. 22: Allanit v BSE, granitická jednotka. Foto: operátor mikrosondy.

4.2.8 Monazit

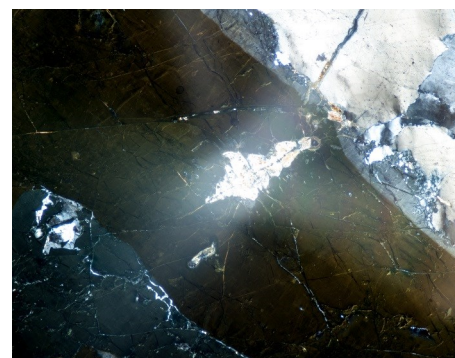
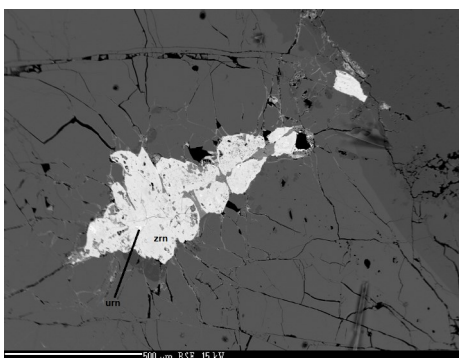
Metamiktzní zrna a agregáty monazitu do 100 µm se vyskytují v granitické jednotce a kontaktní zóně tělesa. Ve všech pozorovaných případech srůstá monazit s chloritizovaným biotitem, v jednom případě je dále doprovázen i rutilem a galenitem. Zdá se, že některá zrna monazitu by mohla být magmatického původu. ED analýza ukázala jakožto majoritně zastoupené prvky studovaných fází Ce a P, proto je minerál jako nejběžnější člen ze skupiny monazitu, monazit-(Ce).

4.2.9 Zirkon

V kontaktní zóně pegmatitu tvoří zirkon automorfní zrna do velikosti 30 µm. V blokové jednotce pegmatitu se vyskytuje v podobě až 800 µm velkých silně metamiktzních automorfních krystalů. Metamiktizací zirkonu došlo k vytvoření husté radiální sítě dilatačních trhlin. V jednom případě zirkon zarůstá do turmalínu a jsou v něm uzavřena max. 5µm zrna uraninitu, v druhém případě intimně srůstá s pyrochlorem, titanitem, kasiteritem a rutilem. Třetí zaznamenané zrnko je zarostlé v turmalínu.



Obr. 23: Monazit v BSE, kontaktní zóna. Foto: operátor mikrosondy.



Obr. 24, 25 a 26: Zirkon uzavřený v zonálním turmalínu s drobnými inkluzemi uraninitu v BSE (vlevo), polarizovaném světle (vpravo) a ve viditelném světle (uprostřed), bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy a autor.

Chemické složení zirkonu bylo analyzováno ve dvou analytických bodech v kontaktní zóně (B35) a blokové jednotce (B12). Nízký obsah Hf v obou zirkonech (0,03 a 0,01 apfu) svědčí o nízké míře frakcionace studovaného tělesa (Uher et al. 1998). Zirkon kontaktní zóny odpovídá $(Zr_{0,97}Hf_{0,01})_{\Sigma 0,98}(SiO_{3,96})$ a je tudíž prakticky koncovým členem. Oproti tomu zirkon blokové jednotky je bohatý na příměsi REE a dalších prvků. Jeho vzorec odpovídá $(Zr_{0,90}Fe_{0,15}Y_{0,10}Ca_{0,08}Al_{0,03}Hf_{0,03}Nb_{0,02}Sc_{0,02}Yb_{0,02}Dy_{0,01}Pb_{0,01}U_{0,01})_{\Sigma 1,42}((Si_{0,97}P_{0,03})_{\Sigma 1}(O_{4,45}F_{0,03})_{\Sigma 4,48})$.

4.2.10 Pyrit

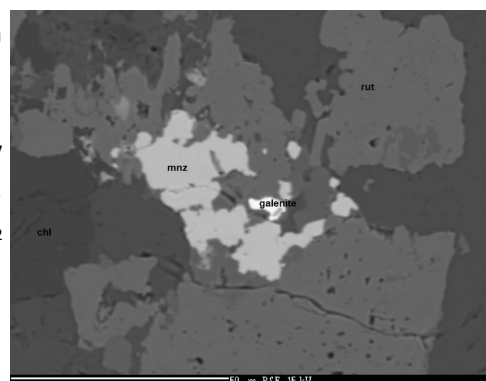
Hydrotermální pyrit se vyskytuje v granitické jednotce a kontaktní zóně pegmatitu. V granitické zóně vytváří drobné agregáty a žilky v primárním apatitu. V kontaktní zóně alteruje na limonit. Makroskopicky byl pyrit nalezen v materiálu z blokové jednotky.

4.2.11 Galenit

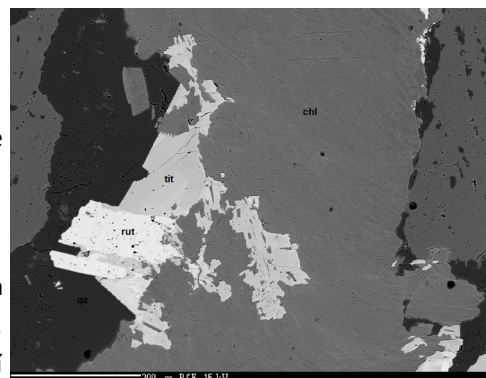
Galenit byl zachycen v podobě jediného zrna o velikosti cca 5 µm v granitické jednotce. Tvoří zde srůst spolu s chloritem, monazitem a rutilem.

4.2.12 Rutil

Zrna rutilu (případně jiné TiO_2 fáze) o velikosti prvních stovek µm byla zastížena v granitické jednotce ve srůstu s chloritem, titanitem, monazitem a galenitem. V blokové jednotce bylo nalezeno 500µm zrnko tohoto minerálu srůstající s apatitem, pyrochlorem, titanitem, kasiteritem a zirkonem uzavřené v křemeni. Zrnko vykazuje mírnou nepravidelnou BSE zonálnost způsobenou nepatrnou



Obr. 27: Galenit a monazit v BSE, granitická jednotka. Foto: operátor mikrosondy.



Obr. 28: Rutil a titanit v BSE, granitická jednotka. Foto: operátor mikrosondy.

fluktuací obsahu Mn, Al, Nb a Sn zastupující Ti. Chemický vzorec rutilu byl stanoven dvěma analytickými body (B73 a B74) umístěnými do rozdílných BSE zón výše zmíněného zrna a odpovídá $(\text{Ti}_{0,90}\text{Al}_{0,03}\text{Nb}_{0,03}\text{Sn}_{0,02}\text{Mn}_{0,01}\text{Ta}_{0,01})_{\Sigma 1}\text{O}_2$.

4.2.13 Columbit

Původně 500 μm zrno primárního columbitu vrůstá do křemene blokové jednotky a je částečně nahrazeno sekundárním limonitem. Druhé nalezené zrno o stejné velikosti uzavřené v turmalínu bylo také nalezeno v blokové jednotce. Chemismus minerálu ze skupiny columbitu byl určen dvěma analytickými body - B71 (uzavřené v turmalínu) a B72 (uzavřené v křemenu). Obě zrna jsou chemicky velmi podobná, rozdíly obsahu některých prvků (Mn, Ta, Nb, W, Sc) se pohybují v řádu 0,0x apfu. Chemický vzorec odpovídá $\text{Mn}_{0,97}(\text{Nb}_{1,68}\text{Ta}_{0,16}\text{Ti}_{0,14}\text{Sc}_{0,05}\text{W}_{0,02}\text{Si}_{0,01})_{\Sigma 2,07}\text{O}_6$ a fáze proto podle platné nomenklatury odpovídá columbitu-(Mn).



Obr. 29: Columbit-(Mn), bloková jednotka. FOV 3,4 mm.
Foto: J. Cícha.



Obr. 30: Columbit-(Mn) a další minerály v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.

4.2.14 Kasiterit

Automorfní zrna kasiteritu do 100 μm vrůstají do turmalínu a křemene v blokové jednotce. Jedno z nalezených zrn srůstá s rutilem, pyrochlorem, zirkonem a titanem.

4.2.15 Hematit

Relikt původního xenomorfního zrna apatitu o velikosti 150 μm byl nalezen v silně nadrceném turmalínu blokové jednotky. Hematit je alterovaný vrstevnatým limonitem.

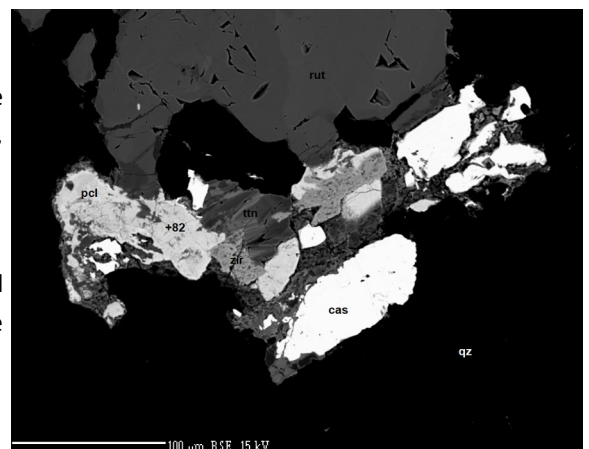
4.2.16 Limonit

Nepravidelné agregáty limonitu vznikají v kontaktní zóně a blokové jednotce jako alterační produkt po přeměně pyritu, hematitu a columbitu.

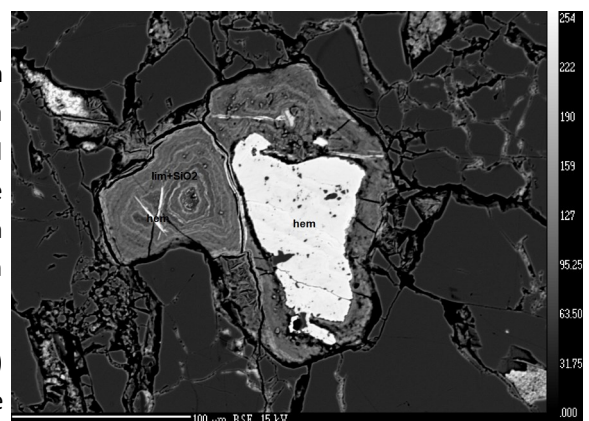
4.2.17 Uraninit

Uraninit byl zastížen relativně hojně v podobě až 150 μm automorfních zrn uzavřených v křemenu v blokové jednotce pegmatitu. Působením alfa záření rozrušuje strukturu okolního křemene, který se za působení fluid mění na minerál odpovídající chemismem ferrisepiolitu. Zároveň rozrušuje svou vlastní strukturu a vytváří ji přístupnější pro vodu, vzniká hydratovaný UO_2 . Drobné uzavřeniny uraninitu jsou obsaženy i v zirkonech blokové jednotky.

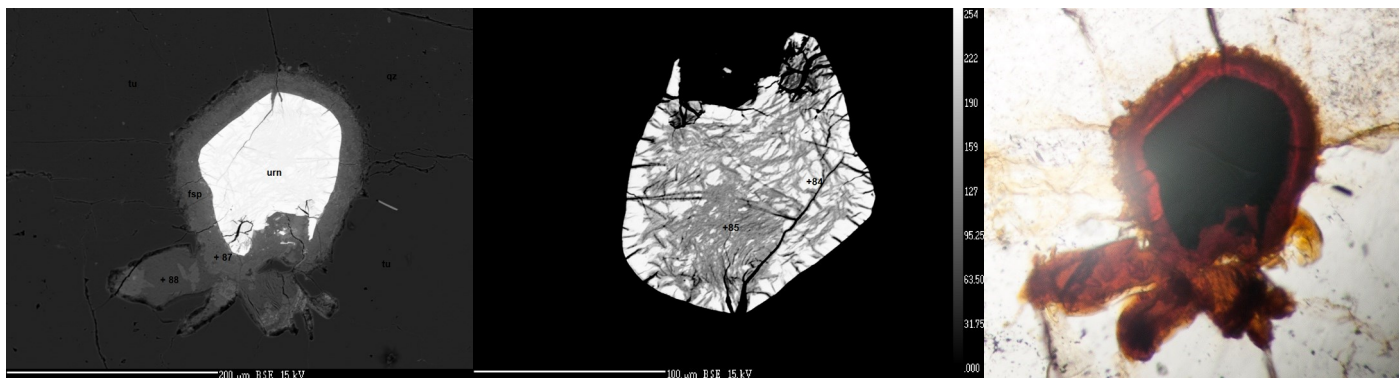
Chemismus uraninitu určený dvěma analytickými body (B84 a B85) odpovídá $(\text{U}_{0,91}\text{Pb}_{0,05}\text{Th}_{0,05}\text{Ca}_{0,02}\text{Si}_{0,02}\text{Fe}_{0,01}\text{Y}_{0,01})_{\Sigma 1,07}\text{O}_2$. Vodu obsaženou ve fázích nebylo možné analyzovat. Paradoxně fáze lehčí v BSE vykazuje vyšší obsah U oproti homogenní nealterované fázi.



Obr. 31: Kasiterit a pyrochlor v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.



Obr. 32: Hematit a limonit v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.



Obr. 33, 34 a 35: Uraninit s okolní zónou rozbitého turmalínu tvořenou ferrisepiolitem v BSE (vlevo) a ve viditelném světle (vpravo), bloková jednotka. Prostřední BSE obrázek ukazuje heterogenitu vlastního uraninitu. Foto: operátor mikrosondy a autor.

4.2.18 Pyrochlor

Až 100 μm xenomorfní zrna minerálu ze skupiny pyrochloru byla nalezena v turmalínu blokové jednotky. Zrna se vyskytují buďto izolovaně, nebo ve srůstu s rutilem, titanem, zirkonem a kasiteritem. Izolované zrno vykazuje oproti druhému analyzovanému zrnu nižší obsah Ca (0,3 vs. 0,5 apfu) a Nb (1,0 vs. 1,2 apfu), naopak vyšší je obsah Bi (0,2 vs. 0,1 apfu). Bi v pyrochloru pochází pravděpodobně ze stejného zdroje jako Bi pro nedalekou heterogenní Bi-směs. Chemismus fáze byl stanoven analytickými body (B81 a B82) a odpovídá $(\text{H}_2\text{O}/\square_{1,36}\text{Ca}_{0,41}\text{Bi}_{0,14}\text{Pb}_{0,05}\text{Y}_{0,02}\text{Mn}_{0,01}\text{Sc}_{0,01})_{\Sigma 2,00}(\text{Nb}_{1,10}\text{Fe}^{3+}_{0,33}\text{Si}_{0,28}\text{Ti}_{0,13}\text{Ta}_{0,11}\text{Al}_{0,02}\text{Zr}_{0,02})_{\Sigma 2,00}(\text{O}_{4,27}(\text{OH})_{1,73})_{\Sigma 6,00}(\text{F}_{0,03}(\text{H}_2\text{O})_n)$. Vzhledem k tomu, že obsah vody ve fázi nebyl stanoven je fázi možné zařadit pouze jako hydrokenopyrochlor ($A = \square_2$), nebo hydropyrochlor ($A = (\text{H}_2\text{O}, \square)_2$).

4.2.19 Problematické minerální fáze a domény

V blokové jednotce pegmatitového tělesa bylo nalezeno několik rozdílných, většinou silně heterogenních, minerálních fází obsahujících těžké prvky jako je Bi, U a Th, jejichž radioaktivita způsobila rozpad těchto domén. Fáze jsou silně alterované a velmi špatně analyzovatelné.

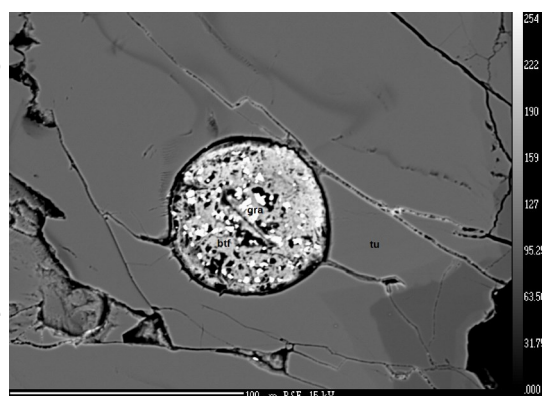
Neidentifikovaná fáze č. 1 (nebo spíše její relikty) tvoří cirkulární, silně heterogenní doménu o velikosti cca 70 μm uzavřenou v primárním turmalínu. ED analýza reliktvů primární fáze odhalila majoritní zastoupení Th, Ca, Pb a P. Kvůli velikosti reliktvů nebylo možné zhotovit kvantitativní analýzu fáze, ale chemismus odpovídá jedinému popsanému minerálnímu druhu - fosfátu grayitu.

Neidentifikovaná fáze č. 1 alteruje za přistoupení Pb a (pravděpodobně) H_2O na neidentifikovanou fázi č. 2.

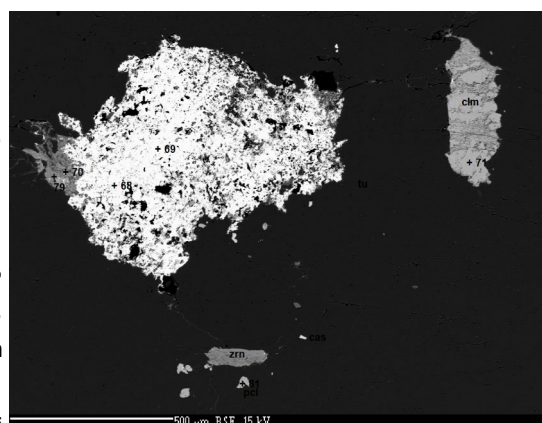
Analytické body B68 a B69 reprezentují heterogenní amorfni směs tvořenou téměř úplně bismutem (nebo jeho oxidy/hydroxidy/karbonáty), obohacenou Pb a F. Celá doména je uzavřena v primárním turmalínu a má velikost 800 μm . Fáze byla analyzována na Ramanově spektroskopu a výsledné spektrum bylo fluorescenční a celá fáze je tedy pravděpodobně amorfni..

Neidentifikovaná fáze č. 3 je reprezentovaná analytickými body B70, B79 a B80. Chemismus této Si-Fe-Bi fáze (B79, B80) odpovídá 34,6 % SiO_2 , 31,7 % Fe_2O_3 , 21,0 % Bi_2O_3 a dále minoritně (> 2,5 %) PbO, Al_2O_3 , MgO, CaO, K_2O , Na_2O a F. Bod B70 poukazuje na vysokou heterogenitu domény, je umístěn v opticky i BSE totožné části zrna jako B79. Kromě mírně zvýšeného obsahu určitých kationtů je v B70 Bi_2O_3 (0,0 %) substituován MgO (19,5 %). Fázi se nepodařilo přiřadit k žádnému popsanému minerálnímu druhu a pravděpodobně se jedná o amorfni směs.

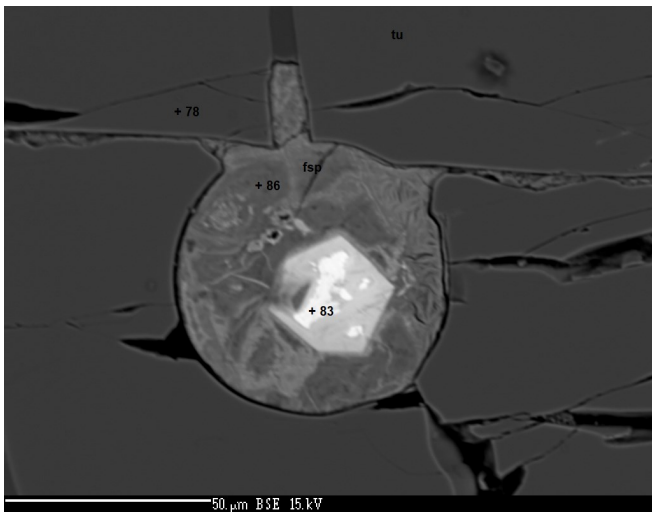
Silně alterovaná doména neidentifikované fáze č. 4, reprezentovaná bodem B83, tvoří (tvořila) šestiboký krystal uzavřený v turmalínu. Alfa částice této



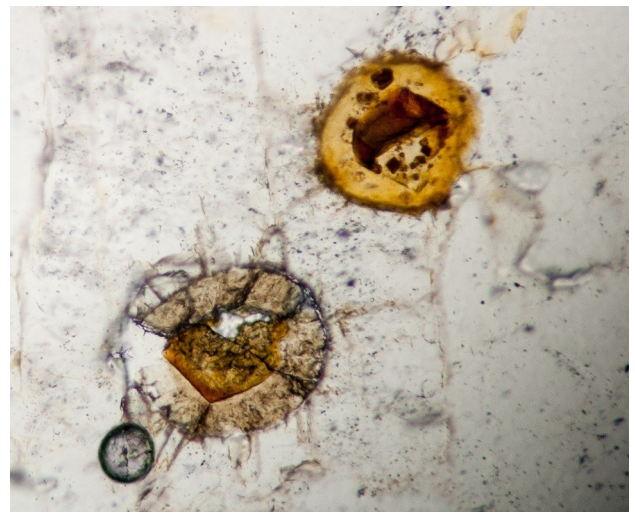
Obr. 36: Neidentifikovaná fáze č. 1 a č. 2 v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.



Obr. 37: Neidentifikované Bi-fáze (největší zrno) v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.



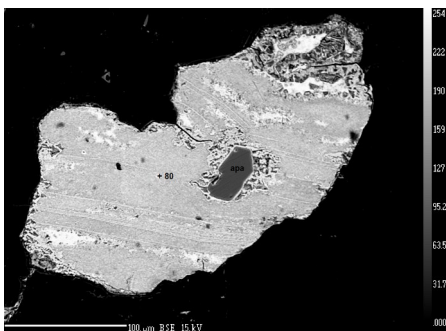
Obr. 38: Neidentifikovaná fáze č. 4 a minerál odpovídající chemismu ferrisepiolitu v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.



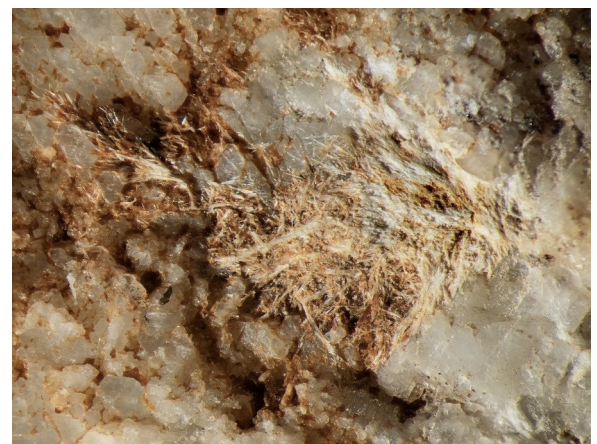
Obr. 39: Neidentifikovaná fáze č. 4 a minerál odpovídající chemismu ferrisepiolitu, bloková jednotka. Fáze v BSE a viditelném světle mají stejnou velikost. Foto: autor.

fáze okolní turmalín bombardovaly a porušily jeho krystalovou strukturu. Fáze s přibližným chemismem Si-Fe-U má následující chemické složení: FeO 43,5 %, UO₂ 17,9 %, SiO₂ 12,6 %, ThO₂ 4,67 %, PbO 3,2 % a stopově (> 2 %) P₂O₅ a CaO. Analyzována byla nejtěžší (nejzachovalejší) zóna alterované fáze a nepodařilo se identifikovat korespondující minerální druh. Pravděpodobně se jedná o směs.

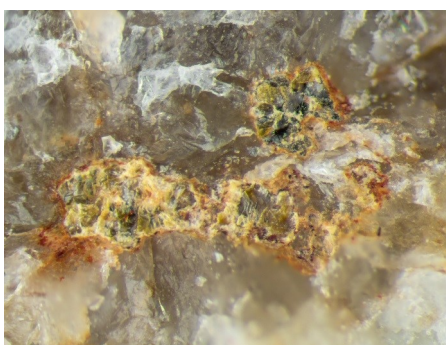
Analytické body B86, B87 a B88 reprezentují heterogenní agregát fáze vzniklé rozpadem turmalínu způsobeným působením alfa záření radioaktivních minerálů (uraninit, neidentifikovaná fáze č. 4). Chemismus fáze odpovídá přibližně minerálu ferrisepiolitu, hodnoty jednotlivých oxidů jsou Fe₂O₃ 39,3 %, SiO₂ 39,3 %, PbO 4,4 %, Al₂O₃ 3,0 % a minoritně (> 2 %) MgO, CaO, K₂O, Na₂O a F.



Obr. 40: Neidentifikovaná Bi-fáze s uzavřeným apatitem v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.



Obr. 43: Neidentifikovaný silikát. FOV 7 mm. Foto: J. Cícha.



Obr. 41 a 42: Neidentifikované REE fáze, bloková jednotka. FOV 2,4 mm (horní) a 3,3 mm (spodní). Foto: J. Cícha.



Obr. 44: Neidentifikovaná REE fáze (pravděpodobně monazit). FOV 3,3 mm. Foto: J. Cícha.

4.2.20 Neověřené minerály

V literatuře je popsáno několik minerálů z pegmatitu Černá I, které byly určeny makroskopicky a následným studiem se je nepodařilo ověřit.

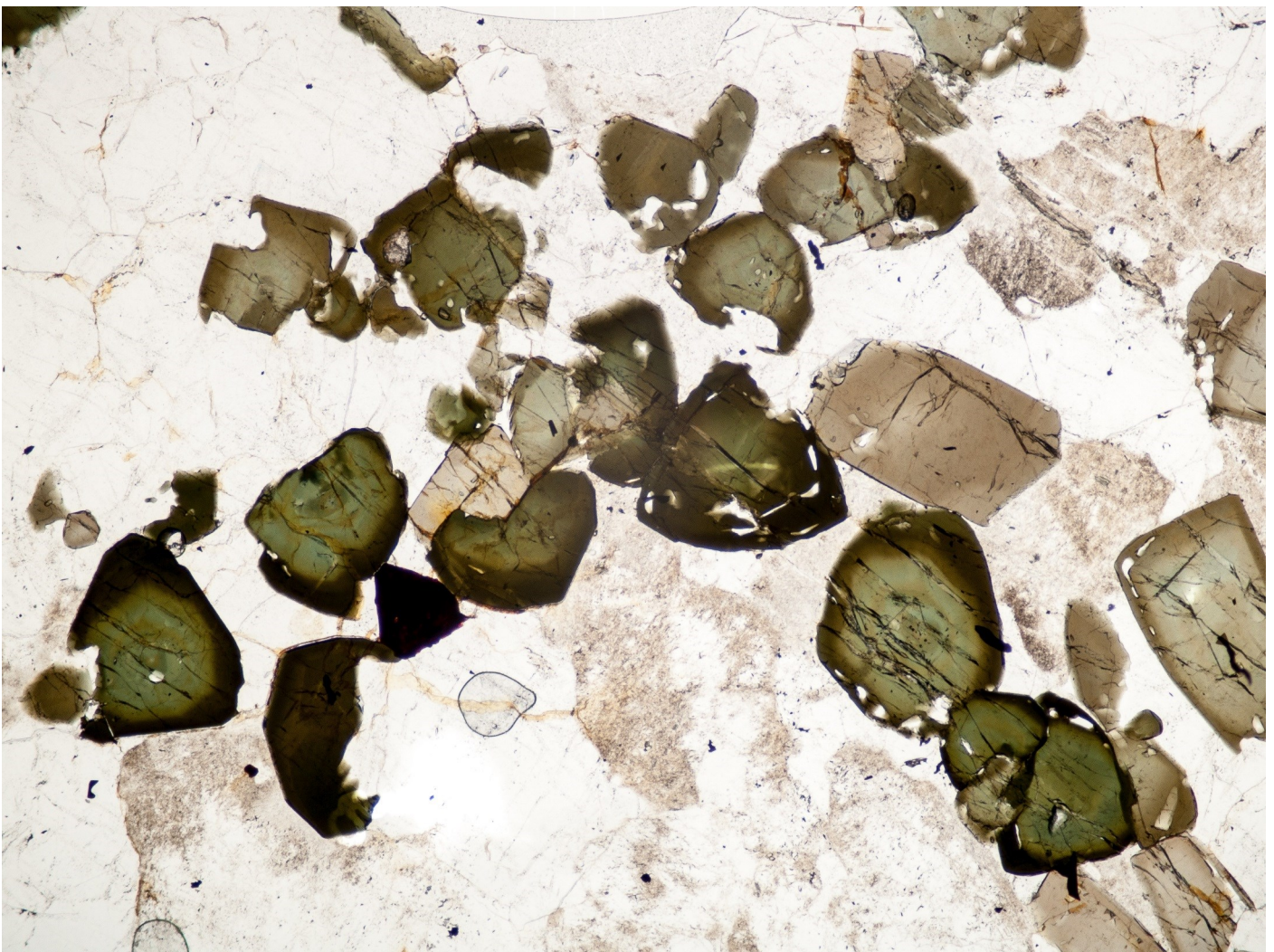
Novák (2011) a Novák et al. (2016a) zmiňují z pegmatitu nález ryzího bismutu a berylu. Novák (pers. comm. in Černý 2004) popisuje beryl a bismutit. Beryl mohl být pravděpodobně zaměněn za apatit, který je velmi hojný v kontaktní zóně. Jeho výskyt je nepravděpodobný, jelikož nebyla zjištěna žádná aktivita berylia v pegmatitu. Bi-fáze bylo možné makroskopicky zaměnit např. za galenit, ale vzhledem ke zvýšené aktivitě Bi (Bi-amorfní směs v blokové jednotce) je výskyt těchto fází možný.

4.3 Doplnkové analýzy z dalších pegmatitových těles v lomu Černá

V rámci probíhajícího výzkumu byly spolu s fázemi z lithného pegmatitu Černá I analyzovány dvě další fáze.

První z fází je béžová vrstva (0,5 mm) částečně lemuující lithný turmalín v cleavelanditu z pegmatitu Černá II. Tato fáze s chemismem $\text{Ca}_{1,58}(\text{Mn}_{1,40}\text{Fe}^{2+}_{0,05})_{\Sigma 1,45}\text{Al}_{1,95}\text{BSi}_{4,03}\text{O}_{15}((\text{OH})_{0,96}\text{F}_{0,03})_{\Sigma 0,99}$ byla klasifikována v analytickém bodě B77 jako axinit-(Mn).

Druhá z fází je černo-hnědý turmalín z nově odstřeleného primitivního pegmatitu na spodní etáži lomu. Chemismus turmalínu stanovený ze dvou analytických bodů (B75 a B76) odpovídá $(\text{Na}_{0,58}\square_{0,23}\text{Ca}_{0,17}\text{K}_{0,01})_{\Sigma 1,00}(\text{Mg}_{1,54}\text{Al}_{0,94}\text{Fe}_{0,82}\text{Ti}_{0,12})_{\Sigma 3,42}\text{Al}_{6,00}(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3((\text{OH})_{1,94}\text{O}_{1,06})_{\Sigma 3,00}(\text{O}_{0,90}\text{F}_{0,10})_{\Sigma 1,00}$. Turmalín je tedy klasifikován jako oxy-dravit.



Obr. 45: Zonální dravit, kontaktní zóna. FOV 4 mm. Foto: autor.

Minerál	Bližná I	Bližná II	Černá I	Černá II
křemen	x	x	x	x
K-živec	x	x	x	x
albit (oligoklas)	x	x	x	x
biotit			x	x
chlorit			<u>x</u>	
muskovit		x	x	x
lepidolit				x
skoryl	x	x	x	x
dravit	x	x	<u>x</u>	x
uvit	x			
foitit			<u>x</u>	
elbait	x	x	x	x
fluor-elbait			<u>x</u>	
fluor-liddicoatit	x			
olenit		x		
tsilaisit			<u>x</u>	
axinit-(Mn)	x	x		<u>x</u>
axinit-(Mg)	x			
axinit-(Fe)				x
datolit	x			
dumortierit		x		x
beryl			x	x
bavenit				x
diopsid	x			
tremolit	x			
andezin	x			
titanit	x	x	<u>x</u>	
epidot	x			x
kalcit	x			
fluorit	x			
allanit	x		<u>x</u>	
bastnaesit	x			
parisit	x			
stillwellit	x			
thortveitit		x		
monazit	x	x	<u>x</u>	
spessartin		x		
zirkon	x	x	x	x
fluorapatit	x	x	x	x
columbit-(Mn)		x	<u>x</u>	x
rutil		x	<u>x</u>	x
pyrochlor	x			
hydro/hydrokenopyrochlor			<u>x</u>	
kasiterit		x	<u>x</u>	
scheelit	x			
bismutit			x	
bismut	x		x	
pyrit	x		<u>x</u>	
grafit	x			
nontronit		x		
laumontit		x		
Mn-oxidy	x			
galenit			<u>x</u>	
limonit			<u>x</u>	
hematit			<u>x</u>	
uraninit			<u>x</u>	

Tab. 3: Minerály lithných pegmatitů v okolí Černé v Pošumaví. Tučně jsou minerály zaznamenané během studia, podtržené jsou doposud nepopsané výskyty z jednotlivých těles.

5 Diskuse

5.1 Mineralogická podobnost Li-pegmatitů v oblasti Černá v Pošumaví

Souvislost jednotlivých lithných pegmatitů v oblasti Černé v Pošumaví je již delší dobu diskutovanou neznámou. Žíly byly do souvislosti dávány především na základě vzájemného prostorového uspořádání (malá vzdálenost) a vizuální podobnosti materiálu. Blokovaná jednotka všech těles je tvořena zelenomodrým cleavelanditem, barevné turmalíny se jeví být makroskopicky podobné a pro všechny pegmatity z této oblasti je také typické nízké až nulové zastoupení granátů a slíd.

Z mineralogického (a geochemického) hlediska jsou si pegmatity také podobné. Kromě zvýšené aktivity Li a Mn vstupujících do turmalínu v pegmatitech Bližná I, Bližná II a Černá I (pegmatit Černá II nebyl doposud analyticky zpracován) existuje i relativně vysoká podobnost v chemismu akcesorických fází. Vzhledem k celkovému objemu jednotlivých akcesorií není možné porovnávat mezi tělesy jednotlivé minerální druhy, ty vznikají z prvků dostupných ve svém okolí a vzhledem k určité heterogenitě taveniny se poměr jednotlivých vzácně zastoupených prvků může markantně lišit. Proto dochází ke vzniku rozdílných minerálních fází, které ale mají generálně totožný chemismus. Jedná se o minerály prvků jako je Be (bavenit, beryl), Ce a La (stillwellit-(Ce), parisit-(Ce)), Sc (thortveitit), nebo karbonátovou skupinu (CO₃)²⁻ (kalcit, bastnäsit-(Ce), parisit-(Ce)). Tyto prvky se tak kvůli jejich nízkým obsahům v tavenině nekonztrují do určitého místa aby mohlo dojít ke tvorbě jednodušších minerálních fází, ale často vstupují ve velmi malém množství do jiných minerálů jako je např. v Černé I nalezený hydro/hydrokeno-pyrochlor. Obecně je ale možné konstatovat, že aktivita těchto vzácných prvků je ve všech lithných pegmatitech v oblasti Černá v Pošumaví, podobná.

5.2 Distribuce a chování Ca v Li-pegmatitech v okolí Černé

Markantní odlišností ostatních žil od pegmatitu Bližná I je míra kontaminace Ca. Pegmatit Bližná I je uložen v mramoru (Černý 2004) a proto vykazuje výrazně vyšší míru kontaminace Ca, než ostatní tělesa uložená v rule (Černý 2004, Novák 2011), což způsobilo pravděpodobně nejmarkantnější mineralogický rozdíl mezi zmiňovanými žilami. Mezi Ca-bohaté minerály exkluzivní pro žílu Bližná I patří např. uvit, fluor-liddicoatit, datolit, diopsid, tremolit, aj. (Novák et al. 2016a). Hlavním nositelem Ca v pegmatitu Bližná II je podle Černého (2004) magmatický apatit a laumontit vzniklý z reziduálních roztoků. Pegmatit Černá I vykazuje nižší kontaminaci Ca, která se projevuje především na kontaktní zóně pegmatitu v podobě kontaminace dravitického turmalínu (až 0,3 apfu) a abnormálního vzniku fluorapatitu ve velkém množství. Zbylé Ca poté vstupuje do turmalínu granitické jednotky (0,2 - 0,1 apfu). V průběhu evoluce turmalínu skoryl až elbait-tsilaisitové série Ca nevstupuje vůbec, jeho residuum se zapojuje až v poslední fázi krystalizace turmalínu kdy vstupuje do Mn-chudého fluor-elbaitu. Zvýšená aktivita Ca pak nastupuje při krystalizaci albitu (cleavelanditu) s obsahem Ca okolo 0,2 apfu a v akcesorických, často sekundárních, fázích, jako je allanit, titanit a pyrochlor.

5.3 Evoluce chemismu turmalínu v pegmatitu Černá I

Turmalín na kontaktu blokové jednotky a okolní pararuly vykazuje vysoké hodnoty Mg (1,4 - 1,8 apfu) dominantního na pozici Y, hodnoty Fe jsou mírně nižší (0,9 - 1,4 apfu). Turmalín vykazuje relativně vysokou míru kontaminace Ca (až 0,3 apfu), obsah F je relativně nízký (0,0 - 0,2 apfu). Obsah Li v turmalínu je na rozdíl od pegmatitu Bližná I (Novák et al. 1999) velmi nízký (0,0 - 0,2 apfu). Vysoká míra kontaminace pegmatitu Bližná I způsobená jeho penetrací skrz mramorové těleso se projevila mj. i na kontaktu pegmatitu s okolním mramorem (Novák et al. 1999). Na rozdíl od pegmatitu Černá I se na kontaktu tělesa Bližná I vyvinul Ca-turmalín uvit (s vysokým obsahem Na na pozici X). Vysoká míra kontaminace taveniny pegmatitu Bližná I vápníkem také pravděpodobně zpřístupnila krystalovou mřížku turmalínu pro Li a na rozdíl od pegmatitu Černá I se turmalín na kontaktu tělesa Bližná I vyvinul od uvitu (Ca-turmalín), přes Ca-bohatý dravitový člen, Ca-Mg-bohatý elbait až k liddicoatitu (Ca-turmalín) (Novák et al. 1999). Na kontaktu pegmatitu Černá I byl vývoj chemismu turmalínu podstatně jednodušší, jelikož nízké obsahy Ca v tavenině nebyly dostatečné pro markantní obohacení turmalínu Li, které se do nich téměř nenavázalo. Hodnoty Ca v primárním dravitu dosahují pouze 0,1 - 0,2 apfu, Li 0,1 apfu, Mn nevstupuje vůbec. Sekundární hydrotermální dravit krystalizoval z Ca-bohatších fluid (0,3 apfu v turmalínu), ale kalkulované Li je prakticky nulové.

Turmalín granitické jednotky je dravitický (Mg 1,5 - 2,4 apfu), s výrazným zastoupením skorylové komponenty (0,3 - 1,5 apfu), do které vzácně přechází. Obohacení Ca se pohybuje mezi 0,1 a 0,3 apfu, hodnoty F dosahují 0,3 apfu. Aktivita Mn a Li je nulová.

Turmalín v blokové jednotce je z počátku Fe bohatý (až 2,0 apfu), obsah Fe během evoluce turmalínu ale klesá na úkor Mn=Li.

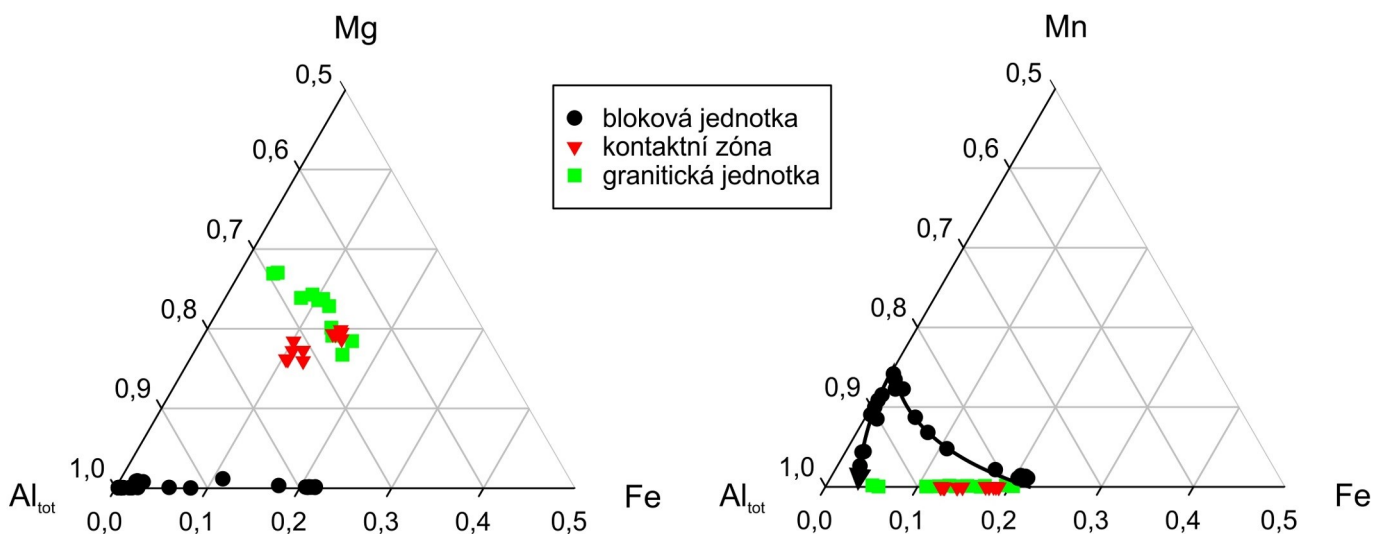
Fe-bohaté turmalíny jsou Na-bohaté a odpovídají skorylu, vzácně přecházejícímu do foititu. Následná evoluce chemismu pokračuje snižováním hodnoty Fe na nulu, tvoří se turmalín s chemismem tsilaisit-elbait. Kontaminace Ca je nulová, hodnoty F rostou lineárně s nárůstem obsahu Na. Trend chemismu řady tsilaisit-elbait (s nulovým obsahem Fe a Mg) se obrací ve směru Mn-bohatý elbait a Mn-chudý fluor-elbait. Při nejvyšších hodnotách obsahu Li a F začíná do turmalínu prudce vstupovat Ca a jeho hodnoty dosahují až 0,3 apfu. Velmi podobný trend popisuje Novák et al. (1999) z pegmatitu Bližná I. Hlavním rozdílem oproti evoluci v pegmatitu Bližná I je absence vysokého obsahu Ca a Mg-obohaceného turmalínu krystalizujícího mezi skorylem a elbaitem. Mg-obohacený turmalín vznikl na pegmatitu Bližná I z důvodu obohacení taveniny Mg uvolněného z kalcit-dolomitického mramoru (Novák et al. 1999). Podobně jako u pegmatitu Bližná I (pomineme-li abnormální kontaminaci Ca a Mg) sleduje tedy turmalín v pegmatitu Černá I evoluční trend skoryl-elbait → Mn-bohatý elbait (v Černé I až Li-bohatý tsilaisit) → elbait → (liddicoatit). V pegmatitu Bližná I popisují Novák et al. (1999) vznik Mn-liddicoatitu (způsobený obohacením Ca) a až poté liddicoatitu-elbaitu. Obdobný trend (Na-skoryl → Mn-elbait → liddicoatit → Ca-F-elbait/liddicoatit) popisuje i Selway (1999) jako obecný trend vývoje turmalínu v elbaitovém subtypu pegmatitu.

5.4 Evoluce turmalínu vzniklého z Mn-bohaté taveniny

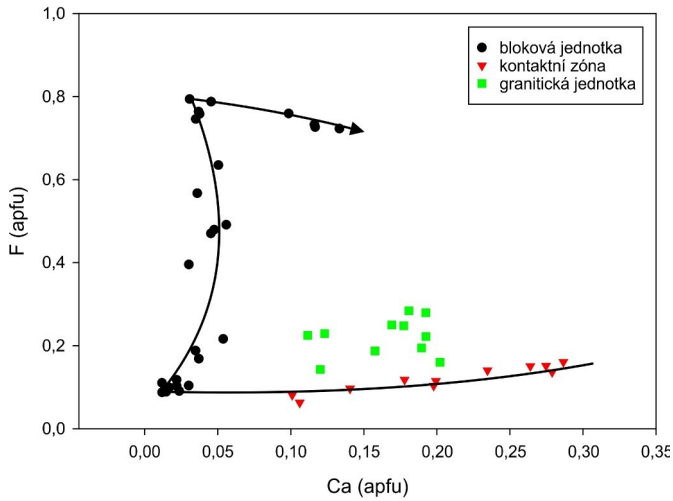
Poměr Mn:Li substituující Fe v turmalínu se zdá být závislý na míře kontaminace taveniny Mn. Turmalín krystalizující z Mn-bohaté taveniny má tendenci vyvíjet se obecně od skorylu (Fe) k tsilaisitu (Mn) - elbaitu (Li). Získaná a publikovaná data naznačují, že obsah Fe lineárně klesá s narůstajícím Mn a pozice Y je doplňována Li. U Mn-bohatých pegmatitů s turmalíny klasifikovanými jako tsilaisit a fluor-tsilaisit jsou publikovány obsahy Mn a 2Li v poměru 1,3 : 1,1 (Bosi et al. 2012, 2015). Pro relativně Mn-bohatý pegmatit Černá I byla získána data s poměrem Mn : 2Li odpovídající 1,2 : 1,3 apfu. Novák et al. (1999) publikují z Bližné I poměr Mn : 2Li odpovídající 0,7 : 2,4 apfu, Burns et al. (1994) 0,8 : 2,0 apfu (Zambie), Skřápková (2018) 0,3 : 2,0 (Lhenice) pro Mn-chudé pegmatity.

Celkem byly mezi analýzami z pegmatitu Černá I identifikovány 3 analytické body odpovídající pravděpodobně tsilaisitu. Nejistota klasifikace je způsobena hned několika faktory, které mají svůj původ v použité analytické metodě a pozdějších kalkulacích. Při výpočtech krystalochemických vzorců turmalínů je kromě běžných předpokladů, jako je $Si = 6$, nebo $Fe = Fe^{2+}$, také dopočítáván obsah Li. Jelikož není jeho obsah jasně stanoven a není uvažována přítomnost iontů jako je Fe^{3+} a B^{4+} , není možné s jistotou turmalín obsahující Li, klasifikovat. Přesné určení turmalínu komplikuje i fakt, že všechny analyzované body leží těsně na hranici pole tsilaisitu a elbaitu. Určení bodů navíc vychází z předpokladu publikovaného v nomenklatuře pro skupinu turmalínů (Henry et al. 2011), že obsah 2Li v turmalínu, pro jeho klasifikaci jako elbait, musí být vyšší než 50 % pozice Y.

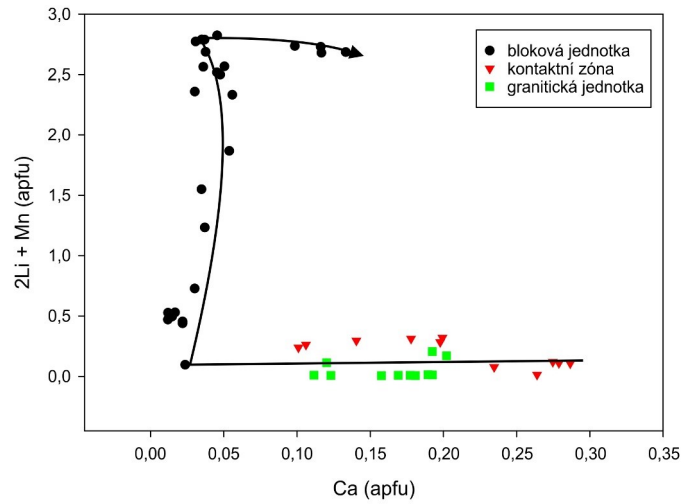
V pegmatitu Černá II se kontaminace Mn projevila i při pravděpodobném deficitu Al, při kterém nemohl vznikat turmalín. Z Ca-Mn-B bohaté taveniny vykrytalizoval axinit-Mn, zaznamenaný např. i Černým (2004) v pegmatitu Bližná II. Axinit-Mn také mohl vzniknout během hydrotermálních procesů alterujících turmalín a uvolňujících B.



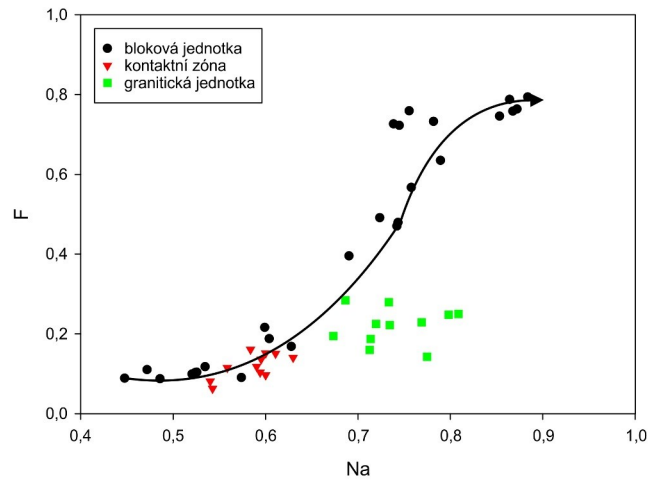
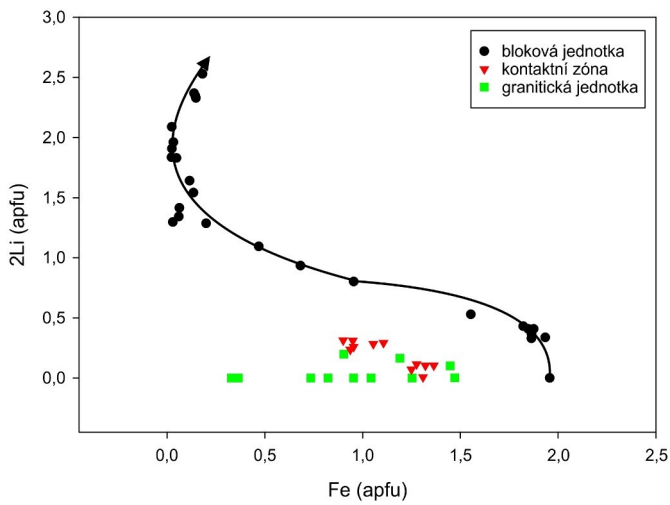
Obr. 46: Vývojový trend Al, Fe, Mg a Mn v turmalínu. Na rozdíl od pegmatitu Bližná I nedochází k mísení dravitických a elbaitických členů.



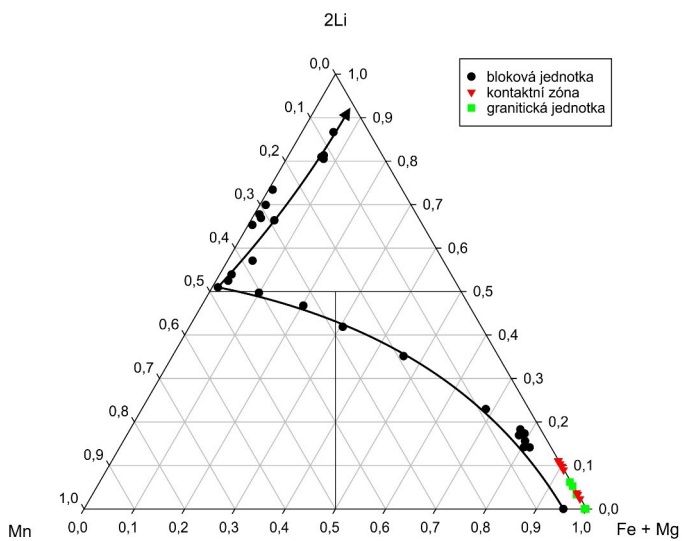
Obr. 47: Vývoj Ca vs. F v turmalínu. Při vysokých hodnotách F dochází ke skokové kontaminaci residuálním Ca.



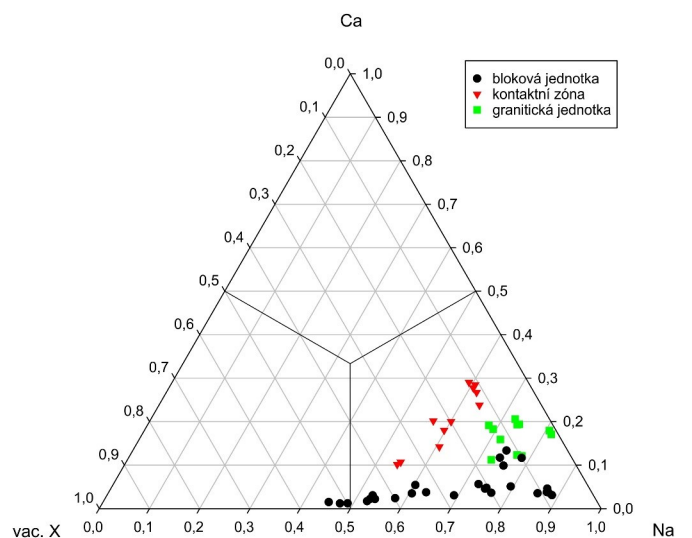
Obr. 48: Vývoj Ca vs. 2Li + Mn v turmalínu. Při vysokých hodnotách Li a Mn dochází ke skokové kontaminaci Ca.



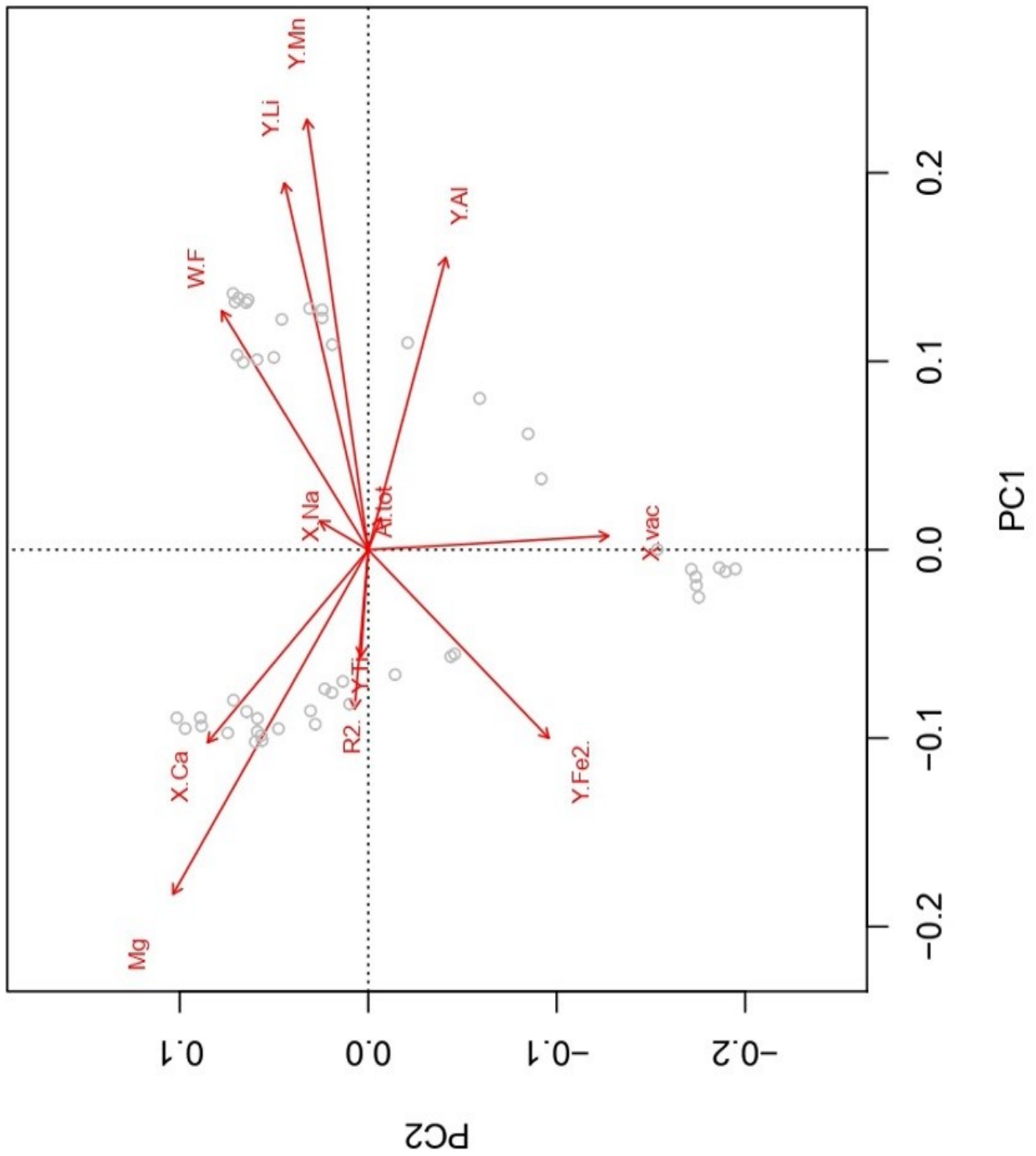
Obr. 49 a 50: Vývoj 2Li vs. Fe v turmalínu vytvářející podobný trend jako vývoj Na vs. F.



Obr. 51: Vývoj chemismu pozice Y v turmalínu. Pro turmalíny blokované jednotky platí $Mg = 0$. Rozdělení na jednotlivá pole vizualizuje klasifikaci analyzovaných turmalínů (Li - elbait, Mn - tsilaisit, Fe + Mg - skoryl, dravit, foitit).



Obr. 52: Vývoj chemismu pozice X v turmalínu. Patrná je kontaminace turmalínu kontaktní zóny vápníkem.



Obr. 53: PCA chemismu turmalínů v pegmatitu Černá I. Pozoruhdná je absence jakékoliv korelace vakantnosti pozice X a obsazení dalších pozic jednotlivými ionty.

5.5 U-Th fáze pegmatitu Černá I a jejich nestabilita

V pegmatitu Černá I byly zaznamenány 3 akcesorické minerální fáze s obsahem U nebo Th nad mezí detekce. Ve stopovém množství je U obsažen v zirkonech (max. 0,04 apfu). Naopak významnou složku tvoří U v uraninitu (U 0,9 apfu, Th 0,05 apfu) a neznámé Fe-Si-U fázi (U 0,6 apfu, Th 0,2 apfu). Drobné inkluze uraninitu jsou uzavřeny v primárních zirkonech.

Klasifikace fází obsahujících radioizotopy je značně problematická, jelikož tyto fáze podléhají silné alteraci hydrotermálními fluidy. Alfa částice bombardují okolní materiál i mřížku samotné fáze, která se stává nestabilní, heterogenní a postupně amorfni. To umožňuje prvkům uvolněným z porušeného prostředí a především prvkům dopraveným externími fluidy vstupovat do často heterogenní fáze, kterou poté není možné jednoznačně klasifikovat.

V případě uraninitu ze studovaného tělesa došlo v podstatě pouze ke kontaminaci vodou vázanou podél sítě prasklin v doménách. Alfa částice bombardující okolní turmalín vytvořili v okolí uraninitu heterogenní hmotu, ve které došlo k mobilizaci určitých prvků. Totožný jev nastal v případě Fe-Si-U fáze, chemismus okolního turmalínu a sekundární hmoty je velmi podobný. Fe-Si-U fázi se nepodařilo přiřadit k žádnému popsanému minerálnímu druhu, ale pravděpodobně se jedná o alterovaný primární minerál uranu.

Foitit o chemismu $(\square_{0,53}\text{Na}_{0,45}\text{Ca}_{0,2})_{\Sigma 1}(\text{Fe}^{2+}_{1,85}\text{Al}_{0,77}\text{Li}_{0,20}\text{Mn}_{0,09}\text{Ti}_{0,06}\text{Zn}_{0,02}\text{Mg}_{0,01})_{\Sigma 3}\text{Al}_6((\text{Si}_{5,82}\text{Al}_{0,18}\text{P}_{0,01})_{\Sigma 6}\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3((\text{OH})_{0,91}\text{F}_{0,09})_{\Sigma 1}$ je bombardován alfa částicemi uranu a thoria (z uraninitu a neznámého Fe-Si-U minerálu) za vzniku heterogenní směsi odpovídající chemismu ferrisepiolitu. Chemismus „ferrisepiolitové“ fáze nápadně koresponduje s chemismem turmalínu: hodnoty Fe jsou dominantní nad Mg (Fe_2O_3 39,3 %, MgO 1,6 %), vysoký je i obsah Si (SiO_2 39,3 %). Naprosto odlišný je ale poměr Na:Ca:K (Na_2O 1,4 %, CaO 0,08 % a K_2O 0,02 % u turmalínu vs. 0,1 %, 1,36 % a 0,5 % u „ferrisepiolitu“). Markantní je také odnos F (0,17 % F u turmalínu vs. 0,08 %), B (9,92 % B_2O_3 u turmalínu vs. 0 %) a Al (35,45 % Al_2O_3 vs. 3,02 %) z turmalínu. Z uraninitu a Fe-Si-U fáze vstupuje do „ferrisepiolitu“ Pb.

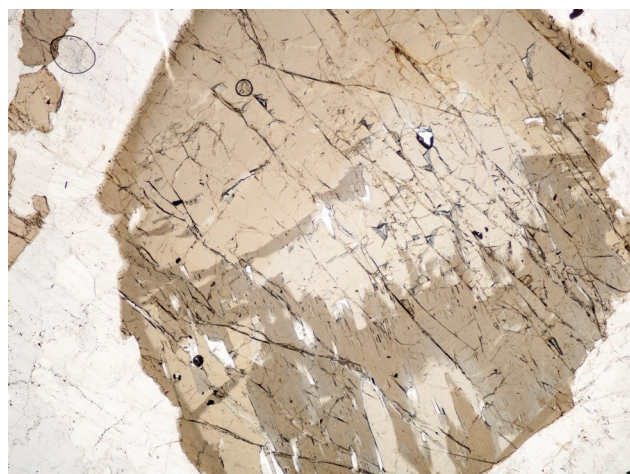
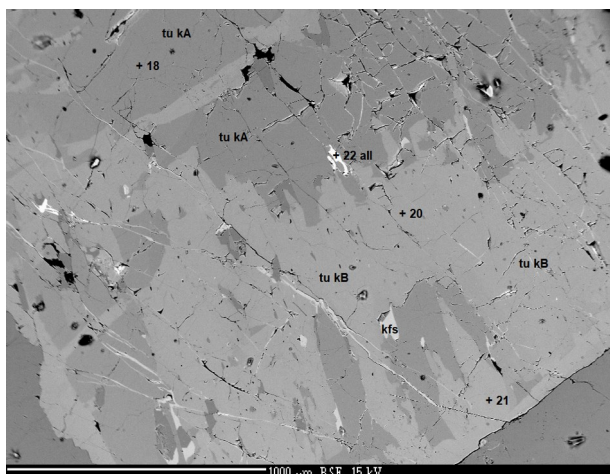
5.6 Alterační procesy v pegmatitu Černá I

Hydrotermální fluidy vstupující do pegmatitu způsobila alteraci dravitického turmalínu v kontaktní zóně pegmatitu. Dravit je nahrazován dravitem druhé generace o podobném chemismu. Mezi nejmarkantnější změny chemismu patří nárůst kontaminace turmalínu Ca o 0,1 apfu, pokles aktivity lithia z 0,2 na 0,1 apfu (pravděpodobně na nulu, pouze dopočítáno), pokles hodnot Al o 0,5 apfu a nárůst Fe (+ 0,3 apfu) a Mg (+ 0,2 apfu) vyrovnávající deficit pozice Y.

Hydrotermální alterací je také poznamenána valná většina biotitu v pegmatitu, která byla přeměněna na orthochamosit o chemismu $(\text{K}_{0,02}\text{Ca}_{0,01})_{\Sigma 0,03}(\text{Fe}^{2+}_{2,35}\text{Mg}_{2,16}\text{Al}_{0,32}\text{Mn}_{0,03})_{\Sigma 4,86}\text{Al}((\text{Al}_{1,11}\text{Si}_{2,89})_{\Sigma 4}\text{O}_{10})((\text{OH})_{7,94}\text{F}_{0,03})_{\Sigma 7,97}$. Při chloritizaci biotitu dochází k charakteristickému odnosu K (původně 0,91 apfu) a Ti (původně 0,19 apfu) (Parry et al. 1982) a obohacení Fe (z 1,29 apfu) a Mg (z 1,07 apfu).

Hydrotermální fluida alterující biotit, dravit i U-fáze tedy byla obohacena o Ca, Fe a Mg. Ti vyvázaný z biotitu vykrytalizoval spolu s nově přineseným Ca v podobně titanitu vyplňujícího žilky v lithných turmalínech blokové jednotky. Zároveň došlo pravděpodobně k odnosu většinou lehkých prvků (B, F, K, Li, Al) z pegmatitu.

Lithné turmalíny nejsou nahrazeny jiným nerostem ani generací, ale pouze mechanicky nadrceny a částečně rozpuštěny.



Obr. 52 a 53: Primární dravit kontaktní zóny nahrazený sekundárním dravitem v BSE (vlevo) a viditelném světle (vpravo).

FOV mikroskopického snímku 4 mm. Foto: operátor mikrosondy a autor.

6 Závěr

V oblasti Černé v Pošumaví byly v posledních třech dekadách objeveny celkem čtyři lithné pegmatity. Dva v grafitovém dole Václav (Bližná I, Bližná II) a dva v lomu Černá (Černá I, Černá II). Všechna zmiňovaná tělesa náležejí k elbaitovému subtypu pegmatitů, v nichž je hlavním nosičem Li elbait.

Všechna zmíněná tělesa se kromě vizuální podobnosti materiálu podobají i z geochemického (mineralogického) hlediska. Rozdíly v akcesorických minerálech jednotlivých pegmatitů jsou způsobené nehomogenitou distribuce prvků obsažených ve stopovém množství, jejich chemismus je ale velmi podobný. Zdrojová tavenina pro všechna tělesa má tedy pravděpodobně stejný původ. Markantní odlišnost mineralogie tělesa Bližná I je způsobená silnou kontaminací Ca z mramoru, který je pegmatitem penetrován.

Pegmatit Černá I má vyvinutých celkem pět strukturních jednotek. Zonace pegmatitu je částečně nepravidelná. Části žíly s malou mocností jsou tvořené biotitickou (křemen-živec-chloritizovaný biotit) a granitickou (křemen-živec-skoryl až dravit) jednotkou. V naduřelé části pegmatitu se prakticky přímo na kontaktní zóně začíná vyvíjet bloková jednotka (albit-turmalín-křemen). V blokové jednotce pak jsou uzavřené drobné grafické a blokové křemenné zóny.

Vývoj chemismu turmalínu sleduje trend Ca-dravit-skoryl → skoryl → Mn-Li-skoryl → Fe-tsilaisit-elbait → tsilaisit-elbait → elbait → Ca-fluor-elbait. Trend vývoje turmalínu blokové jednotky (skoryl → Ca-fluor-elbait) pegmatitu Černá I a dalších těles lithných pegmatitů více, či méně, obohacených Mn je totožný a je možné generalizovat ho na trend skoryl → tsilaisit/elbait → elbait → liddicoatit. Tsilaisit/elbaitový člen evoluční řady má v případě dostatku Mn v tavenině tendenci posunu směrem k tsilaisitovému členu za neustálého snižování obsahu Fe v turmalínu. Při dosažení hladiny Fe = 0 je zároveň dosaženo maximální míry vstupu Mn do turmalínu. Následně dochází k snižování obsahu Mn při konstantním Fe = 0 a substituci za LiAl. Mísitelnost dravitové a elbaitové složky (která nebyla v pegmatitu Černá I zastížena) publikovaná z pegmatitu Bližná I (Novák et al. 1999) je tedy s největší pravděpodobností způsobena extrémní kontaminací Ca, jehož vstup do turmalínu zpřístupňuje krystalovou mřížku pro snazší zapojení Li.

Primární dravit v kontaktní zóně pegmatitu je alterován Ca-Fe-Mg bohatými fluidy na sekundární dravit obohacený o zmíněné prvky. Fluida zároveň alterují primární biotit na minerál ze skupiny chloritu, přičemž dochází k masivnímu odnosu K, Ti a Al. Ti reaguje spolu s Ca-bohatým fluidem a vázaný v titanitu vyplňuje praskliny v elbaitu blokové jednotky. Lehké prvky (jako je B, Li, F) vyvázané z primárního turmalínu nejsou v pegmatitu pravděpodobně recyklovány.

Použitá literatura

- Barth T. (1948): Oxygen in Rocks: A Basis for Petrographic Calculations. - The Journal of Geology 56, no. 1 (Jan., 1948), 50-60.
- Bosi F., Andreozzi G. B., Agrosi G. a Scandale E. (2015): Fluor-tsilaisite, NaMn₃Al₆(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃F, a new tourmaline from San Piero in Campo (Elba, Italy) and new data on tsilaisitic tourmaline from the holotype specimen locality. Mineralogical Magazine, 79 (1).
- Bosi F., Skogby H., Agrosi G. a Scandale E. (2012) Tsilaisite, NaMn₃Al₆(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃OH, a new mineral species of the tourmaline supergroup from Grotta d'Oggi, San Pietro in Campo, island of Elba, Italy. American Mineralogist, 97 (5-6).
- Burns P. C., MacDonald D. J. a Hawthorne F. C. (1994): The crystal chemistry of manganese-bearing elbaite. The Canadian Mineralogist, 32(1), 31-41.
- Cícha J. (2016a): Historie grafitových dolů u Černé v Pošumaví. -Minerál, SPECIÁL 2016, 13-26.
- Cícha J. (2016b): Krasové jevy mezi Černou v Pošumaví a Bližnou. -Minerál, SPECIÁL 2016, 95-108.
- Čech F., Rieder M., Novák F., Novotny J. (1978): Accessory nigerite in a granite from Central Bohemia, Czechoslovakia. - Neu. Jb. Mineral., Mh., 337-346.
- Čech F., Rieder M., Novák F., Novotny J. (1978): Accessory nigerite in a granite from Central Bohemia, Czechoslovakia. - Neu. Jb. Mineral., Mh., 337-346.
- Černý P. (1991): Rare element granitic pegmatites, part 1. Anatomy and internal classification of pegmatite deposits. - Geosci Canada 18, 49-67.
- Černý P. (2004): Vliv kontaminace z okolních hornin na chemické složení turmalínů granitických pegmatitů v okolí Černé v pošumaví. -MS diplomová práce, PŘF UK Praha.
- Černý P. a Ercit T. (2005): The classification of granitic pegmatites revisited. - The Can. Min. , 43, 2005-2026.
- Henry D., Novák M., Hawthorne F., Ertl A., Dutrow B., Uher P. a Pezzotta F. (2011): Nomenclature of the tourmaline-supergroup minerals. - American Mineralogist, 96, 895–913.
- Houzar S., Novák M. a Radková P. (2016): Minerály metakarbonátových hornin z okolí Černé v Pošumaví. -Minerál, SPECIÁL 2016, 13-26.
- Macek I. (2012): Pozdní turmalíny a neobvyklý vývoj jejich chemického složení v granitických pegmatitech Českého masívu. -MS diplomová práce, PŘF MU, Brno.
- Macek I. (2014): Studium chemismu pozdních turmalínů z granitických pegmatitů a jejich vztah ke složení okolních hornin. -MS rigorózní práce, PŘF MU, Brno.
- Mills J. a Groat A. (2008): New minerals related to tourmaline and possible implications on nomenclature. - M&M6 (6th Museums & Mineralogy) Conference, Golden, Colorado, USA, 29.
- Mindat.org (2018): Tourmaline. [online]. [cit. 3.2.2018]. Dostupné z: <https://www.mindat.org/min-4003.html>
- Müller V., Brunnerová Z., Burda J., Drábková E., Gütlerová P., Kodým O., Líbalová J., Pačesková E. a Tomášek M. (1995): List 32-23 Český Krumlov. -Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50 000, 30.
- Musil L. (2015): Distribuce granitických pegmatitů s Li-minerály v oblasti jižních Čech. -MS bakalářská práce, PŘF MU, Brno.
- Novák M. (2002): Přehled lithných pegmatitů na území Čech. -Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha), 10, 166-170.
- Novák M. (2009): Bastnaesit-(Ce) z grafitového dolu v Bližné u Černé v Pošumaví. -Minerál, XVII., 4, 320-321.
- Novák M. (2011): Historie objevů a vědeckého zpracování lithných pegmatitů v okolí Bližné a Černé v Pošumaví. -Minerál, 19, 1, 3-8.
- Novák M. a Povondra P. (1995): Elbaite pegmatites in the Moldanubicum: a new subtype of the rare-element class. - Mineralogy and Petrology (1995) 55, 159-176.

- Novák M. a Zikeš J. (2016b): Vyskytují se v okolí Černé v Pošumaví záhnědové pegmatity?. -Minerál, SPECIÁL 2016, 80-81.
- Novák M., Cícha J., Čopjaková R., Škoda R. a Galiová Vašinová M. (2017): Milarite-group minerals from the NYF pegmatite Velká skála, Písek district, Czech Republic: sole carriers of Be from the magmatic to hydrothermal stage. -European Journal of Mineralogy (2017) 29 (4): 755-766.
- Novák M., Černý P., Cooper M., Hawthorne F., Ottolini L., Xu Z. a Liang J. (1999): Boron-bearing 2M 1 polyolithionite and 2M (sub 1+) 1M boromuscovite from an elbaite pegmatite at Recice, western Moravia, Czech Republic. - European Journal of Mineralogy (1999) 11 (4): 669-678.
- Novák M., Kadlec T. a Gadas P. (2013): Geological position, mineral assemblages and contamination of granitic pegmatites in the Moldanubian Zone, Czech Republic; examples from the Vlastějovice region. - Journal of Geosciences, 58, 21-47.
- Novák M., Selway B., Korbel P., Šarbach M. (1997). Bližná near Černá v Pošumaví, Elbaite subtype pegmatite penetrating marble with exomorphic tourmaline. In Novák M., Selway J.B. (eds) *Field trip guidebook, Int. Symp. on Tourmaline, Tourmaline 1997*, Nové Město na Moravě, June 1997, 55-70.
- Novák M., Selway J., Černý P., Hawthorne F. a Ottolini L. (1999): Tourmaline of the elbaite-dravite series from an elbaite-subtype pegmatite at Bližná, southern Bohemia, Czech Republic. -Eur. J. Mineral., 1999, 11, 557-568.
- Novák M., Škoda R., Gadas P., Krmíček L. a Černý P. (2012): CONTRASTING ORIGINS OF THE MIXED (NYF + LCT) SIGNATURE IN GRANITIC PEGMATITES, WITH EXAMPLES FROM THE MOLDANUBIAN ZONE, CZECH REPUBLIC. -The Canadian Mineralogist, 50, 1077-1094.
- Novák M., Welser P., Zikeš J., Musil M., Malek O. a Cícha J. (2016a): Granitické Li-pegmatity v okolí Černé v Pošumaví. -Minerál, SPECIÁL 2016, 64-79.
- Novák, M. (2005): Granitic pegmatites of the Bohemian Massif (Czech Republic); mineralogical, geochemical and regional classification and geological significance. - Acta Mus. Moraviae, 90, 3-75. Brno.
- Parry W. T. a Downey L. M. (1982): Geochemistry of hydrothermal chlorite replacing igneous biotite. Clays and Clay Minerals, 30(2), 81-90.
- Selway J. B. (1999): Compositional evolution of tourmaline in granitic pegmatites. -MS disertační práce. Depon. in University of Manitoba.
- Skřápková L. (2018): Mineralogie minerálů skupiny turmalínu v Li-pegmatitu Lhenice. -MS bakalářská práce. Depon. in Masarykova universita.
- Šarbach M. (1993): Nález rubelitu a indigolitu na dole Bližná. -Journ. Czech. Geol. Soc, 38, 243.
- Števkó M., Uher. P a Ozdín D. (2012):Bizmut a jeho alteračné produkty: akcesorické minerály granitového pegmatitu berylového typu na lokalite Bratislava - Švábsky vrch (Malé Karpaty, Slovensko). - Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 20, 2, 2012.
- Třebín P. (2017): Historie 2017. [online]. [cit. 20.2.2018]. Dostupné z: <http://www.minerally-petra-trebina.estranky.cz/clanky/historie-2017.html>
- Uher P. a Černý P. (1998): Zircon in Hercynian granitic pegmatites of the Western Carpathians, Slovakia. Geologica Carpathica, 49, 261-270.
- Vávra V. a Losos Z. (2013): Optické vlastnosti horninotvorných minerálů. In Učebnice mineralogie. [online]. [cit. 3.2.2018]. Dostupné z: http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_4_3_optika/kap_8_horninotvorne.htm
- Zikeš J. (2015): Nový Li pegmatit z Černé. [online]. [cit. 20.2.2018]. Dostupné z: <http://www.minerally.org/archivni-clanek/191>
- Zikeš J. a Welser P. (2016): Černá v Pošumaví a okolí. -Minerál, SPECIÁL 2016, 3-12. Zikeš J. a Welser P. (2016): Černá v Pošumaví a okolí. -Minerál, SPECIÁL 2016, 3-12.

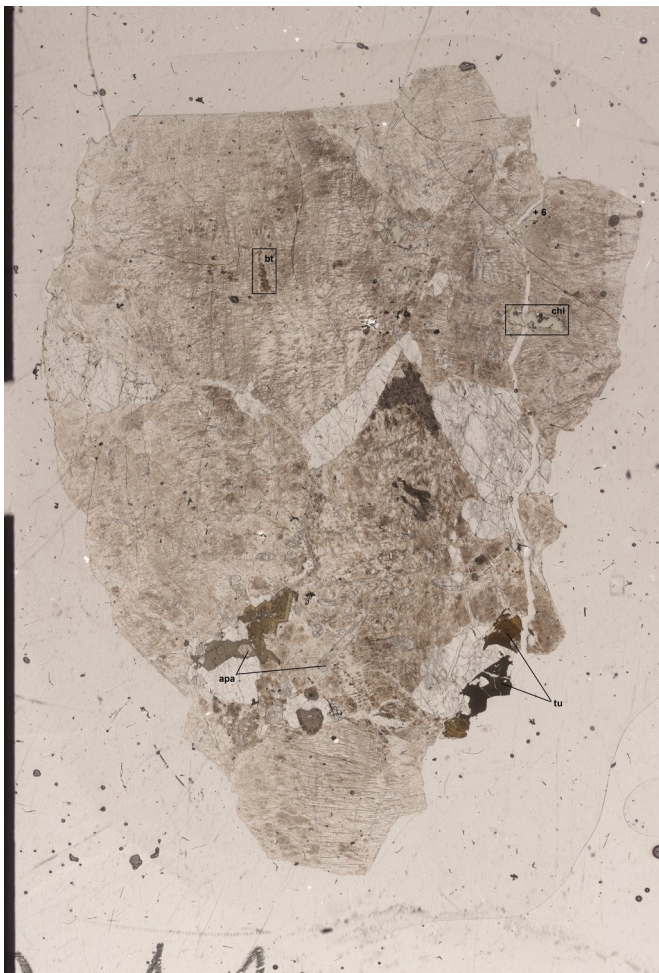
Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 a 2: Geologická mapa okolí Bližné a Černé v Pošumaví a její legenda. Značka určuje pozici lomu Černá. Mapa dostupná online z: http://mapy.geology.cz/geocr_25/?center=-78720 1,-1190148&scale=15000 . Převzato 9. 4. 2019.	12
Obr. 3: Vertikální průřez pegmatitovou žílou Bližná I podle Nováka et al. (1997) převzatý od Černého (2004).	13
Obr. 4: Kontakt pararuly a blokové jednotky pegmatitu. Foto: autor.	17
Obr. 5: Komplikovaná kontaktní zóna. Šířka vzorku cca 30 cm. Foto: autor.	17
Obr. 6: Rekonstrukce profilu pegmatitu Černá I vytvořená podle poznámek a skici Nováka (2011).	18
Obr. 7: Perthitický živec s apatitem v BSE, kontaktní zóna. Foto: operátor mikrosondy.	19
Obr. 8: Křemen vyplňující prasklinu v turmalínu v BSE, granitická jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	19
Obr. 9: Lithný turmalín s manganatým lemem, bloková jednotka. FOV 5,5 cm. Foto: J. Cícha.	19
Obr. 10: Růžový Mn-Li bohatý, mechanicky porušený turmalín, bloková jednotka. FOV 3,4 mm. Foto: J. Cícha.	20
Obr. 11: Třígenerační turmalín v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	20
Obr. 12: Vývoj chemismu turmalínu zobrazený v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	20
Obr. 13: Chloritizovaný biotit se sekundárním titanitem v BSE, kontaktní zóna. Foto: operátor mikrosondy.	21
Obr. 14: Biotit (hnědá) částečně altervaný na chlorit (nazelenalá), kontaktní zóna. FOV 2 mm. Foto: autor.	21
Obr. 15 a 16: Apatit v perthitickém živci v BSE (nahore) a v polarizovaném světle (dole), kontaktní zóna. Foto: operátor mikrosondy a autor.	21
Obr. 17, 18 a 19: Apatit uzavřený v zonálním turmalínu v BSE (vlevo), polarizovaném světle (uprostřed) a ve viditelném světle (vpravo), granitická jednotka. Foto: operátor mikrosondy a autor.	22
Obr. 20 a 21: Sekundární titanit vyplňující praskliny v zonálním Li-Mn turmalínu v BSE, bloková jednotka. Celkový pohled (vlevo) a detail (vpravo). Foto: operátor mikrosondy.	22
Obr. 22: Allanit v BSE, granitická jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	22
Obr. 23: Monazit v BSE, kontaktní zóna. Foto: operátor mikrosondy.	23
Obr. 24, 25 a 26: Zirkon uzavřený v zonálním turmalínu s drobnými inkluzemi uraninitu v BSE (vlevo), polarizovaném světle (vpravo) a ve viditelném světle (uprostřed), bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy a autor.	23
Obr. 27: Galenit a monazit v BSE, granitická jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	23
Obr. 28: Rutil a titanit v BSE, granitická jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	23
Obr. 29: Columbit-(Mn), bloková jednotka. FOV 3,4 mm. Foto: J. Cícha.	24
Obr. 30: Columbit-(Mn) a další minerály v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	24
Obr. 31: Kasiterit a pyrochlor v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	24
Obr. 32: Hematit a limonit v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	24
Obr. 33, 34 a 35: Uraninit s okolní zónou rozbitého turmalínu tvořenou ferrisepiolitem v BSE (vlevo) a ve viditelném světle (vpravo), bloková jednotka. Prostřední BSE obrázek ukazuje heterogenitu vlastního uraninitu. Foto: operátor mikrosondy a autor.	25
Obr. 36: Neidentifikovaná fáze č. 1 a č. 2 v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	26
Obr. 37: Neidentifikované Bi-fáze (největší zrno) v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	26
Obr. 38: Neidentifikovaná fáze č. 4 a minerál odpovídající chemismu ferrisepiolitu v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	27

Obr. 39: Neidentifikovaná fáze č. 4 a minerál odpovídající chemismu ferrisepiolitu, bloková jednotka. Fáze v BSE a viditelném světle mají stejnou velikost. Foto: autor.	27
Obr. 40: Neidentifikovaná Bi-fáze s uzavřeným apatitem v BSE, bloková jednotka. Foto: operátor mikrosondy.	28
Obr. 41 a 42: Neidentifikované REE fáze, bloková jednotka. FOV 2,4 mm (horní) a 3,3 mm (spodní). Foto: J. Cícha. ..	28
Obr. 43: Neidentifikovaný silikát. FOV 7 mm. Foto: J. Cícha.	28
Obr. 44: Neidentifikovaná REE fáze (pravděpodobně monazit). FOV 3,3 mm. Foto: J. Cícha.	28
Obr. 45: Zonální dravit, kontaktní zóna. FOV 4 mm. Foto: autor.	29
Obr. 46: Vývojový trend Al, Fe, Mg a Mn v turmalínu. Na rozdíl od pegmatitu Bližná I nedochází k mísení dravitických a elbaitických členů.	30
Obr. 47: Vývoj Ca vs. F v turmalínu. Při vysokých hodnotách F dochází ke skokové kontaminaci residuálním Ca.	31
Obr. 48: Vývoj Ca vs. 2Li + Mn v turmalínu. Při vysokých hodnotách Li a Mn dochází ke skokové kontaminaci Ca.	31
Obr. 49 a 50: Vývoj 2Li vs. Fe v turmalínu vytvářející podobný trend jako vývoj Na vs. F.	31
Obr. 51: Vývoj chemismu pozice Y v turmalínu. Pro turmalíny blokové jednotky platí $Mg = 0$. Rozdělení na jednotlivá pole vizualizuje klasifikaci analyzovaných turmalínů (Li - elbait, Mn - tsilaisit, Fe + Mg - skoryl, dravit, foitit).	31
Obr. 52: Vývoj chemismu pozice X v turmalínu. Patrná je kontaminace turmalínu kontaktní zóny vápníkem.	31
Obr. 53: PCA chemismu turmalínů v pegmatitu Černá I. Pozoruhodná je absence jakékoliv korelace vakantnosti pozice X a obsazení dalších pozic jednotlivými ionty.	32
Obr. 52 a 53: Primární dravit kontaktní zóny nahrazený sekundárním dravitem v BSE (vlevo) a viditelném světle (vpravo). FOV mikroskopického snímku 4 mm. Foto: operátor mikrosondy a autor.	33
Tab. 1: Klasifikace pegmatitů podle Černého et al. (2005) a Nováka (2005), upraveno.	10
Tab. 2: Oficiálně uznané druhy turmalínu (Mindat 2018).	10
Tab. 3: Minerály lithných pegmatitů v okolí Černé v Pošumaví. Tučně jsou minerály zaznamenané během studia, podtržené jsou doposud nepopsané výskyty z jednotlivých těles.	28

Seznam příloh

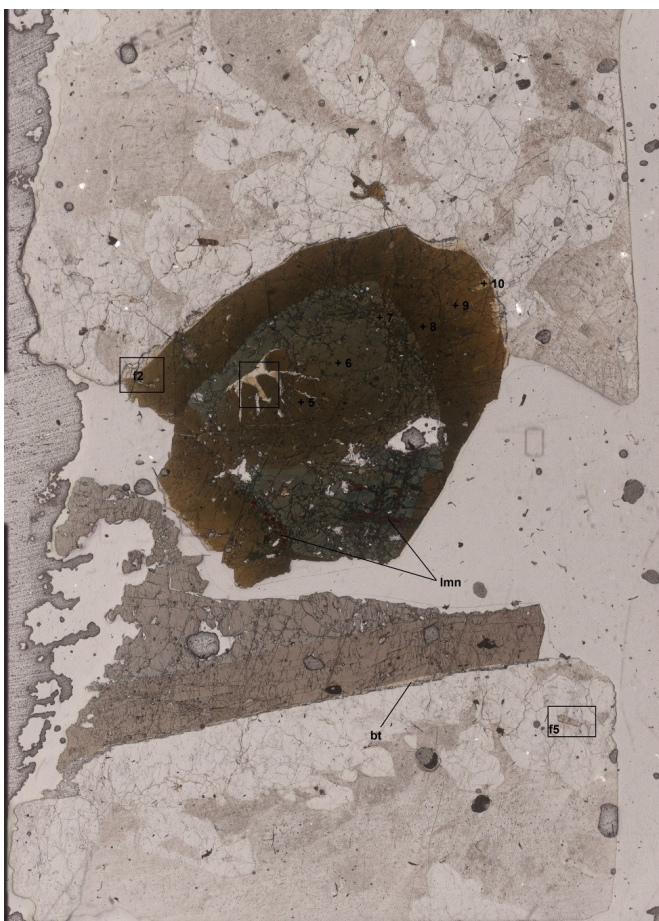
Obr. p1: Scan výbrusu Ce1-1 (granitická jednotka). Foto: autor.	39
Obr. p2: Scan výbrusu Ce1-3 (kontaktní zóna). Foto: autor.	39
Obr. p3: Scan výbrusu Ce1-3a (bloková jednotka). Foto: autor.	39
Obr. p4: Scan výbrusu Ce1-3b (bloková jednotka). Foto: autor.	39



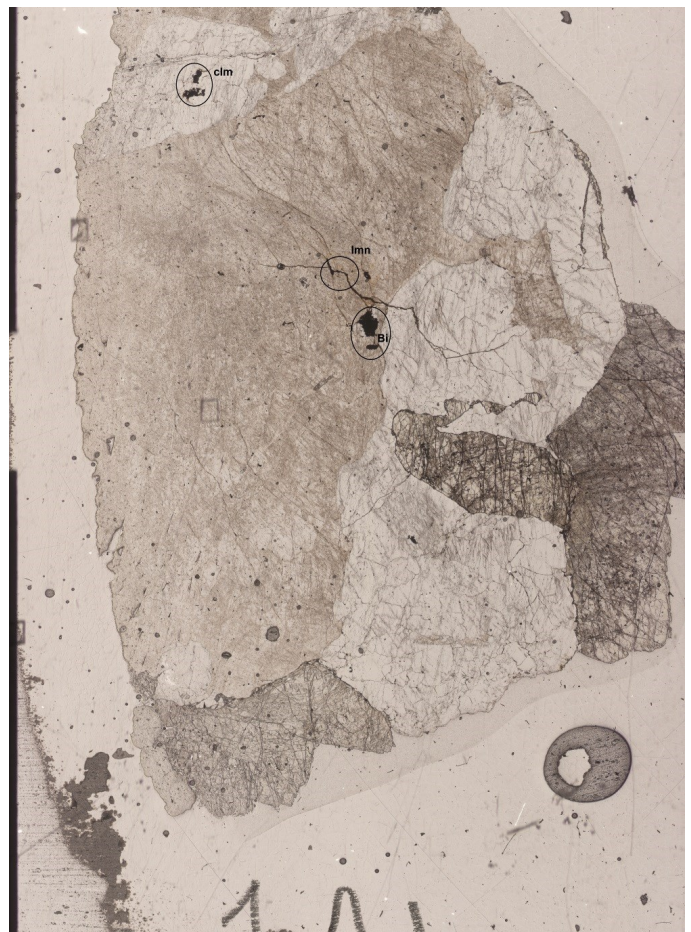
Obr. p1: Scan výbrusu Ce1-1 (granitická jednotka). Foto: autor.



Obr. p2: Scan výbrusu Ce1-3 (kontaktní zóna). Foto: autor.



Obr. p3: Scan výbrusu Ce1-3a (bloková jednotka). Foto: autor.



Obr. p4: Scan výbrusu Ce1-3b (bloková jednotka). Foto: autor.