

Středoškolská odborná činnost

Obor č. 5 – Geologie a geografie

**Tektonická událost nedaleko
Řípce u Soběslavi a její
doprovodné alterační procesy**



Obr. 1: Tektonické zrcadlo, 17 cm. Foto JV.

Jakub Vácha

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

Kraj: Jihočeský

Konzultanti:

prof. RNDr. Milan Novák, CSc. a RNDr. Petr Rajlich, Ph.D., CSc.

Řípec 2018

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 zpřístupňování 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 12.4.2017

podpis:

Poděkování

Nejdříve bych chtěl poděkovat svým konzultantům prof. Milanu Novákovi, CSc. a Petru Rajlichovi, Ph.D., CSc. za rady, nápady, umožnění analýz a korektury.

Petru Rajlichovi, Ph.D., CSc. děkuji také za zapůjčení techniky k fotografování.

Kateřině Osterrothové, Ph.D. a Petru Gadasovi, Ph.D. děkuji za konzultace a provedení analýz.

Panu Pavlu Rozkošenému, Ivanu Rozkošnému, Ph.D. a firmě NIKON děkuji za umožnění a financování fotografování na mikroskopu NIKON SMZ 25.

Ing. Mgr. Jiřímu Zikešovi děkuji za fotografii křemene.

Práce byla financována ÚGV MU, ÚGMNZ UK a Gymnáziem Soběslav.

V neposlední řadě patří díky mé rodině a přítelkyni za trpělivost a podporu při práci.

Anotace

Pegmatit č. 8 („U Dubné“) nacházející se nedaleko Řípce u Soběslavi náleží mezi primitivní turmalínové pegmatity. Pegmatit je složen z několika zón: monominerální turmalínové, hrubozrnné, albitizované, středně zrnité, jemnozrnné a grafické.

Tektonická událost popsána v této práci vedla ke vzniku tektonického zlomu procházejícího tímto pegmatitem. Na linii zlomu se posunem horninových bloků vytvořilo turmalínové tektonické zrcadlo. Zároveň došlo k uvolnění K-bohatých fluid, které způsobily alteraci turmalínu na K-živec, muskovit a chlorit. Fluida zároveň způsobila albitizaci K-živce a vytvoření albitizované jednotky pegmatitu. V druhé alterační fázi došlo k tlakově-teplotní (PT) alteraci chloritu na Ti-chudý biotit (annit) a Mg-bohatý muskovit „fengit“. Více fázová alterace turmalín > (chlorit) >biotit (annit) +- „fengit“. doposud nebyla popsána.

Klíčová slova: mineralogie, Řípec, Soběslav, tektonická událost, tektonické zrcadlo, pegmatit, turmalín, alterace turmalínu, biotit, chlorit, zlom

Seznam použitých zkratek

apfu - atoms per formula unit (atomů na jednotku vzorce)

BSE - back-scattered-electrones (zpětně odražené elektrony)

IMA - International Mineralogical Association

K-živec - draselný živec

LCT - lithium-cesium-tantal

Ma - 1 000 000 let

NYF - nyob-yttrium-fluor-(REE)

P, T, PT, PTX - pressure (tlak), temperature (teplota), pressure-temperature, pressure-temperature-X

(L, H) REE - (light/lehké, heavy/těžké) rare-earth-elements (prvky vzácných zemin)

s.-j. - severo-jihní

ÚGV MU - Ústav geologických věd Masarykovy university

ÚGMNZ UK - Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů University Karlovy

X, XX - krystal, srostlice

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod | 7 |
| 1 Teoretický úvod | 8 |
| 1.1 Pegmatity a jejich minerály | 8 |
| 1.1.1 Klasifikace pegmatitů - granitické pegmatity | 8 |
| 1.1.2 Minerály pegmatitů | 8 |
| 1.1.3 Klasifikace turmalínů | 10 |
| 1.2 Alterace turmalínu | 10 |
| 2 Geologie a mineralogie lokality | 14 |
| 2.1 Geologie a geomorfologie oblasti | 14 |
| 2.2 Mineralogie oblasti | 14 |
| 2.3 Geologie a mineralogie pegmatitu č. 8 | 15 |
| 3 Metodika | 16 |
| 3.1 Sběr a příprava vzorků na měření | 16 |
| 3.2 Mikroanalýza materiálu | 16 |
| 3.2.1 Ramanova spektroskopie | 16 |
| 3.2.2 Elektronová mikrosonda | 16 |
| 3.2.3 Studium pod polarizačním mikroskopem | 17 |
| 3.3 Softwarová úprava a interpretace analytických dat | 17 |
| 3.4 Fotografování vzorků | 18 |
| 4 Výsledky | 19 |
| 4.1 Zóny pegmatitu | 19 |
| 4.2 Složení turmalínu | 21 |
| 4.3 Alterační procesy během události | 23 |
| 5 Diskuse | 25 |
| Závěr | 27 |
| Použitá literatura | 28 |
| Seznam tabulek | 32 |
| Seznam obrázků | 32 |

Úvod

Nález tektonických zrcadel nedaleko Řípce u Soběslavi (Vácha 2016a) byl jednou z prvních indicií potvrzující existenci předpokládaného tektonického zlomu (Tomas et al. 1990). Další indicií bylo objevení usměrněně deformovaných hornin v okolí nálezů. Finálním potvrzením jevu pak bylo studium turmalínů na lokalitě, které přineslo informace o existenci hydrotermálních alteračních jevů v turmalínech (Vácha 2017).

Hydrotermální alterace primárních magmatických turmalínů v pegmatitech je jev, při kterém dojde k přeměně turmalínu vlivem PT podmínek a působením sloučenin obsažených v hydrotermálním roztoku na jiné minerály. Turmalín patří mezi stabilní minerály, a proto nejsou jeho alterace velmi běžné. Na druhou stranu pestrost alterací ukazuje na široké možnosti jeho přeměny často striktně vázané na složení alteračních fluid a PT podmínky. Mezi nejčastější alterace turmalínu patří přeměna na chlority, muskovit, vzácněji například na pumpellyit (Prokop et al. nepublikováno). Alterační produkty mohou sloužit jako indikátor chemických a především PT podmínek za kterých k alteracím docházelo. To nám může pomoci zjistit charakter události a pokud jsou mezi alteračními produkty (nebo i mezi nově vzniklými produkty z fluid) minerály obsahující radioizotopy (např. monazit), je možné událost i datovat.

V primitivním turmalínovém pegmatitu č. 8 nedaleko Řípce u Soběslavi v Jihočeském kraji byla pozorována doposud nepopsaná alterace turmalínu na biotit, způsobená uvolněním fluid, byla pravděpodobně iniciována pohybem zlomu procházejícím tělesem, který způsobil i vznik turmalínových tektonických zrcadel (Vácha 2016a).

Pegmatit č. 8 je zonální těleso studované již Katzerem (1888), komplexní studium tělesa ale provedl až později Vácha (2017). Má jednoduchou mineralogickou stavbu, mezi horninotvorné minerály patří K-živec, křemen a albit, přítomen je také turmalín zastoupený několika druhy, monazit, zirkon a další akcesorické minerály.



Obr. 2: Minerální lineace turmalínu na pegmatitu č. 8, 22 cm. Nález dokazuje pohyb během krystalizační fáze pro primární turmalín. Foto JV.

1 Teoretický úvod

1.1 Pegmatity a jejich minerály

1.1.1 Klasifikace pegmatitů - 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 která má geologicko-environmentální pohled, tzn. uvažuje podmínky vzniku, uložení tělesa a především typickou mineralizaci (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 užívající 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 Minerály pegmatitů

Minerály v hornině se dělí podle hmotnostního podílu, který tvoří 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 vyvřeliny (mezi které patří i pegmatity) průměrně složeny z 31 % alkalickým živcem, 29,2 % plagioklasem a 12,4 % křemenem. Většina 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 můžou 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 jít např. v případě kontaminovaných pegmatitů o amfibol (Novák et al. 2013) a další minerály. Akcesorických

| 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, grandidierit, 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, trilitionit | Otov |
| | | | petalitový | petalit, beryl, trilitionit, elbait, polucit, amblygonit, montebrasit, manganocolumbit, kassiterit | Nová Ves |
| | | | lepidolitový | trilitionit, 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 | |
| Miarolitická | 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, trilitionit | není znám |
| | | petalitový | | petalit, beryl, trilitionit, elbait, polucit, amblygonit, montebrasit, manganocolumbit, manganotantalit, kassiterit | není znám |
| | | lepidolitový | | trilitionit, polyolithionit, elbait, beryl, amblygonit, spodumen, petalit | není znám |
| "Exotická" | | "primitivní" | "zádnědový" | záhněda, albit, K-živec, muskovit | Cyrilov, Píkárec |
| | | | aj. * | | Vlastějovice |
| | | "frakcionované" | | více frakcí | Příbyslavice, Verněřov |

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

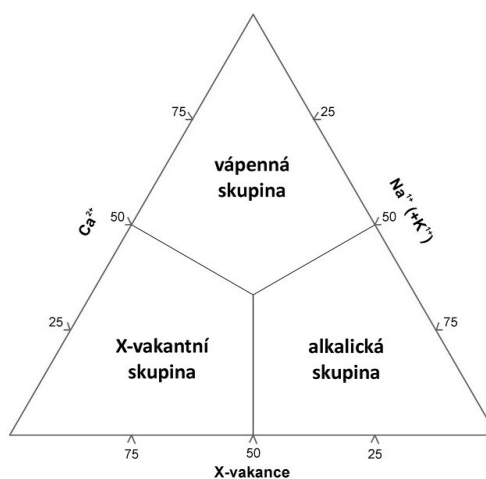
minerálů v pegmatitech je celá řada, typicky jde např. o zirkon, apatit, monazit, rutil, kasiterit, magnetit, korund, vzácněji minerály bismutu, aj. (Černý a Ercit 2005, Števková et al. 2012). Do této skupiny se ale také řadí velmi vzácné nerosty jako například nigerit-2N1S, tussionit, nebo milarit (Čech et al. 1978, Novák et al. 1999, Novák et al. 2017).

1.1.3 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 užívají předpony oxy- a fluor-.

Skupina turmalínů aktuálně obsahuje IMA uznaných 32 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 lunait-(OH), který je pouze krystalovou polymorfní skorylu (Mills a Groat 2008).



Obr. 3: Klasifikace turmalínů podle pozice X (Henry et al. 2011).

1.2 Alterace turmalínu

Turmalíny jsou minerály patřící mezi stabilní borosilikáty. PT podmínkami způsobené alterace nejsou známy, zatímco hydrotermální alterace turmalínu patří mezi studované jevy s vysokou vypovídací hodnotou (van Hinsberg et al. 2011).

Z pegmatitů na území Čech jsou popsány např. alterace turmalín > prehnit > chlorit + pumpellyit, turmalín >> muskovit + natrolit > +/- chlorit, turmalín > K-živec +/- titanit > muskovit + chlorit (Prokop et al. nepublikováno).

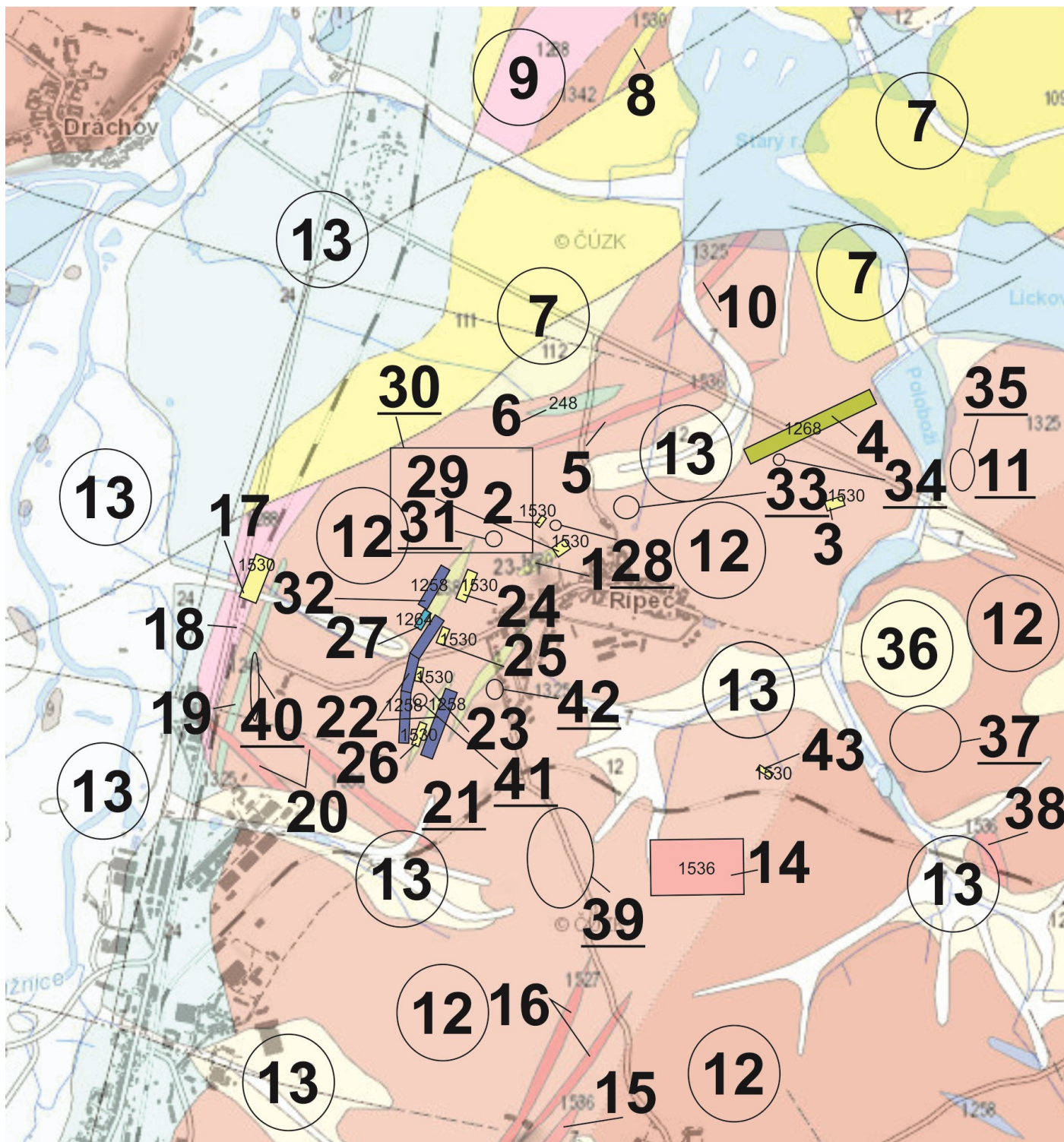
Prokop et al. (nepublikováno) pro tyto alterace publikují PT podmínky $P < 1 - 2$ kbar, $T 100 - 350^\circ C$ zjištěné pomocí chloritové geotermometrie.

| | (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).

Dále také zjišťují malou až nulovou aktivitu externích fluid, dle jejich závěru do reakcí na zkoumaných lokalitách vstupovala pouze fluida generovaná v posledních fázích krystalizace pegmatitu a z okolních hornin. Pozorována byla zvýšená aktivita reaktivních iontů ve fluidech (H, F, Cl, Ca, Na, Mg, K). Dle jejich závěrů jsou alkalická fluida nezbytná pro snížení stability a alteraci turmalínu.

Čopjaková et al. (2012) popisuje nahrazování turmalínu mladším Fe bohatším turmalínem.



| | | | | | |
|-------|------------------------|------|----------------------------|------|---|
| — | zlom zjištěný | 1325 | pararula až migmatit | 1530 | aplopegmatit, pegmatit |
| - - - | zlom násunový zjištěný | 1288 | ortorula | 106 | štěrkovité a písčité sedimenty se skulpturovanými vřtavinami |
| — | hranice zjištěná | 1268 | kvarcit, pararula | 113 | prokřemenělé jílovité pískovce až slepence, Fe-kvarcitu, na bázi jílovité písky a šedozelené písčité jíly |
| - - - | hranice pravděpodobná | 1342 | pararula | 112 | bazální slepence a pískovce, jíly, jílovité písky, pískovce, uhelné jílovce |
| | přechod litologický | 1536 | leukokrátlní žilné granity | 109 | štěrky, písky a jíly pestré, uhelné jíly, montmorilonitové jíly, diatomity |
| ■ | 1248 amfibolit | 1530 | aplopegmatit, pegmatit | 111 | jíly, jílovité písky, diatomitové jíly, diatomity |

Obr. 4: Mineralogicky zajímavá horninová tělesa (Vácha 2017) v geologické mapě 1:50000 a doprovodná legenda. Autor mapového podkladu: ČGS. Dostupné z <http://mapy.geology.cz/geocr_50/?center=-732277,-1142470&scale=15000>, kopírováno 1.10.2016.

2 Geologie a mineralogie lokality

2.1 Geologie a geomorfologie oblasti

Alterace (přeměna) turmalínu na slídy byla pozorována v pegmatitu č. 8 mezi obcemi Řípec a Soběslav popsáném Váchou (2017).

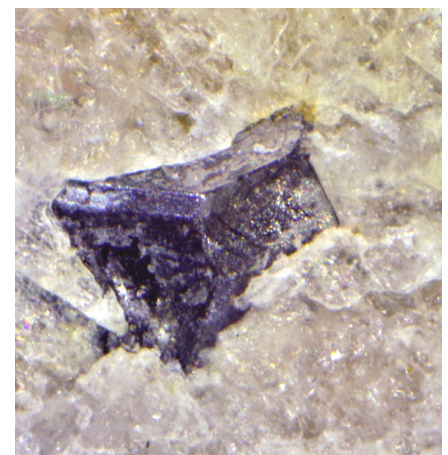
Obec Řípec se nachází asi 1 km severovýchodním směrem od Veselí nad Lužnicí, okres Tábor. Leží na vrchu Strážka (457 m. n. m.), geomorfologicky se jedná o Soběslavskou pahorkatinu náležící do Táborské pahorkatiny.

Z geologického hlediska se Řípec nachází v pestré okrajové části moldanubické skupiny s dominantním výskytem sillimanit-biotitických pararul s pestrými vložkami, především kvarcitů, amfibolitů, granitů, či pegmatitů. Méně častá jsou tělesa erlanu, mramoru, nebo křemenné žíly.

2.2 Mineralogie oblasti

Mineralogie Řípecka byla v minulosti bohatě zkoumána. Katzer (1888) popisuje nález nazelenalých a namodralých turmalínů, Bernard (1908) muskovit, Jezdinský (1922) těžbu křemene později lokalizovanou Váchou (2017). Dále jsou popsány například nálezy penninu a klinozoisitu (Ambrož 1935), rutilu (Bouška 1955), barevných turmalínů (Bouška a Dostál 1963), lithných pegmatitů (Virt 1991), sillimanitu (Welser 2003) a scheelitu a wollastonitu (Kadlec et al. 2016). Podrobně a komplexně se mineralogii oblasti věnuje Vácha (2016a, 2016b, 2017), který mj. vyvrací výskyt lithných pegmatitů analytickým přeurčením „elbaitů“ na andalusit, apatit a nelithné turmalíny.

Mezi nejzajímavější mineralogické nálezy v oblasti patří četné různorodé krystaly křemene a jeho odrůd (křišťál, záhněda, růženín), allanitu, monazitu, opálu, tremolitu a zirkonu (Vácha 2017). Pozoruhodné jsou také lemy modrých dravitických, skorylových a foititových turmalínů, nebo turmalínových tektonických zrcadel (Vácha 2017).



Obr. 5: Ilmenit, X 0,3 mm, těleso č. 23.
Foto JV.



Obr. 6: Křemen, XX 2,5 cm, těleso č. 14.
Foto: J. Zikeš.

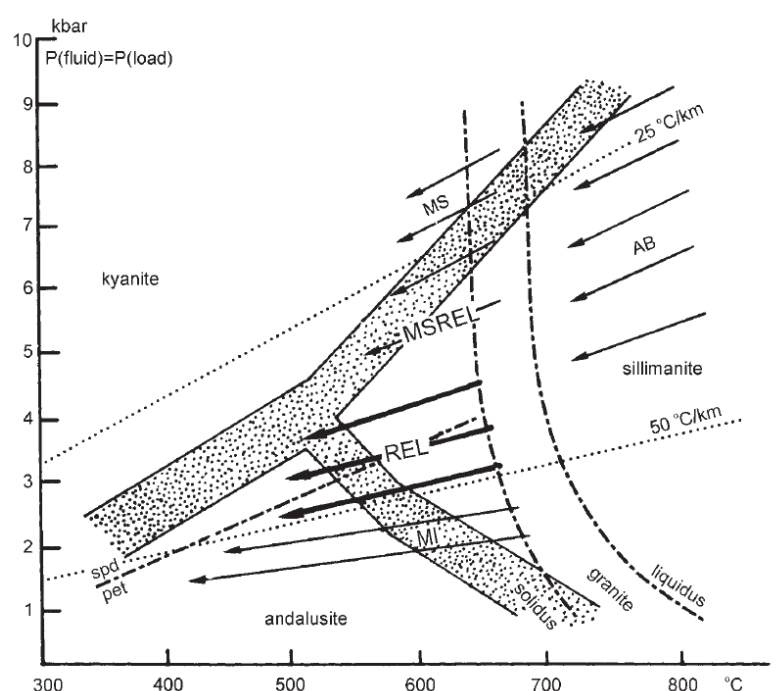
2.3 Geologie a mineralogie pegmatitu č. 8

Pegmatit č. 8, dříve také pojmenovaný „Dubná u Soběslavi“, nebo „U Dubné“ (Vácha 2016a, 2017), náleží dle klasifikace publikované Novákem (2005) do třídy REE pegmatitů, primitivního typu, turmalínového subtypu. V pegmatitu je vyčleněno několik zón které mohly být studovány pouze ve vyoraného materiálu a proto není známa jejich posloupnost. Pegmatit je uložen na rozhraní sillimanit-biotitické pararuly a ortoruly, částečně překryt jíly mydlovarského souvrství (Tomas et al. 1990). Mocnost pegmatitu odpovídá dle nalezených fragmentů 5-10 m. Pegmatit má vyvinutých několik zón studovaných z fragmentů.

Z minerálů je popsán křemen, K-živec, albit, muskovit, biotit, rutil, ilmenit, apatit, almandin, monazit, zirkon, turmalíny. Ramanovské studium granátu přineslo následující výsledky: 67,50% almandin, 13,40% pyrop, 16,80% spessartin, 2,25% andradit a 0,05% grosulár (výstup MIRAGEM).

Historicky se tělesu věnoval Katzer (1888), který uvádí zelené a modré turmalíny, které později revidují Bouška a Dostál (1963). Turmalíny mylně popisují jako verdelit a skoryl-indigolit (Vácha 2016a, 2016b, 2017).

Typickou mineralizací pro turmalínový subtyp je turmalín-apatit-ilmenit-granát, kterou pegmatit splňuje. Pro tento typ pegmatitů se uvažují podmínky vzniku P 2-3 kbar, T 650-450 °C, zvýšená aktivita B a P (vyšší výskyt turmalínu a apatitu) (Novák 2005, Novák et al. 2013). Podle Nováka et al. (1998) došlo ke vzniku těchto těles před ~338–332 Ma, těsně před granulitovou metamorfózou datovanou na ~347–340 Ma (Kotková 2007).



Obr. 7: P-T diagram podmínek vzniku pegmatitů jednotlivých tříd podle Černého a Ercita (2005).

3 Metodika

3.1 Sběr a příprava vzorků na měření

Zkoumaný materiál by sbírán na poli v letech 2014 - 2017. Vzorky určené ke studiu na elektronové mikrosondě byly naformátovány a odeslány do laboratoře URGA Olomouc, kde byly zhotoveny petrografické výbrusy. Na ÚGV MU v Brně byly poté pokoveny grafitem. Část vzorků byla studována nedestruktivními metodami a část vzorku byla uložena ve sbírce autora.



Obr. 8: Polní výkopy. Foto J.V.

Pro studium byly využity následující vzorky: č.2 - mikroskopicky zonální turmalín, č.5 - nazelenalý turmalín, č.11 - tektonické zrcadlo, č.12 - monominerální turmalínová partie, č.13 - makroskopicky zonální turmalín.

3.2 Mikroanalýza materiálu

3.2.1 Ramanova spektroskopie

Metoda funguje na principu laserové excitace elektronů do virtuálního stavu. Při návratu do původní energetické hladiny se namísto vyzáření světla o stejné vlnové délce, kterou byly elektrony excitovány, vyzáří Stokesovy nebo Antistokesovy fotony o jiné vlnové délce, které nesou analytickou informaci. Fotony jsou zachyceny Ramanovým spektrometrem.

Metodou bylo zkoumáno složkové složení granátu.

Vzorek byl zkoumán na ÚGMNZ UK pomocí spektroskopu Reninshaw In Via Raman Microscope s červeným laserem s vlnovou délkou 785 nm, výkon 10 - 100%. Doba excitace byla určena na 10 s, 5 akumulací. Spektroskop byl ovládán softwarem WiRE 2.0, analytička Kateřina Osterrothová, PhD. Spektrometr byl před použitím kalibrován přírodním diamantem.

3.2.2 Elektronová mikrosonda

Turmalíny, slídy a další minerály v výbrusech byly analyzovány elektronovou mikrosondou CAMECA SX 100 v laboratoři Elektronové mikroskopie a mikroanalýz Masarykovy University a ČGS v Brně. Operátorem mikrosondy byl Petr Gadas, Ph.D.

Měřeno bylo za následujícího nastavení: průměr svazku 5 μm , urychlovací napětí 15 kV,

proud svazku 10nA. Standardy byly až na výjimky použity přírodní: Na - albit ($K\alpha$), Si, Ca - wollastonit ($K\alpha$), Al, K - sanidin ($K\alpha$), Mg - pyrop ($K\alpha$), Cl, V - vanadinit ($K\alpha$), Ti - titanit ($K\alpha$), Ba - baryt ($L\alpha$), Cr - chromit ($K\alpha$), Fe - almandin ($K\alpha$), Mn - spessartin ($K\alpha$), Zn - gahnit ($K\alpha$), F - Topaz ($K\alpha$), Ni - syntetický olivín ($K\alpha$), Sr - syntetický celestýn ($L\alpha$), P - fluorapatit ($K\alpha$).

Jako sady nastavení byly použity: na turmalíny sada Turmalin_2017 a na slídy sada test_slidy 2017.

Analytická data jsem dále přepočtl pomocí klasické metody (Pouchou a Pichoir 1985) na koncentrace v apfu. Všechno železo je primárně uvažováno jako Fe^{2+} . Vzorce turmalínů byly normalizovány na 6 atomů Si. OH v turmalínech bylo dopočítáno na základě ideální stechiometrie ($B=3$, pozice $V=3$, pozice $W=1$). O bylo dopočítán pomocí oxidačních stavů změřených kationtů. Slídy byly normalizovány na 11 aniontů a obsazenost pozic určena dle standartní nomenklatury (Rieder et al. 1998).

3.2.3 Studium pod polarizačním mikroskopem

Vzorky výbrusů byly před pokovením studovány a fotografovány pod biologickým mikroskopem Olympus CX-40 s přidanými polarizátory. Metoda využívá jevu zhášení.

3.3 Softwarová úprava a interpretace analytických dat

Ramanova spektra byla editována a porovnávána v programu SpectraGryph s databází RRUFF. Při porovnávání spekter je třeba porovnávat hodnoty peaků na ose X, případně s jistou rezervou jejich Y sílu (většinou se peaky pouze dělí na weak (slabé), medium (střední), strong (silné) a shoulder (pásy=ramena o vyšší hodnotě).

Kalkulaci složkového poměru vzorku granátu jsem provedl programem MIRAGEM (Micro-Raman-Garnets Evaluation Method), což je plot fungující v programu MATLAB (Bersani et al. 2009).

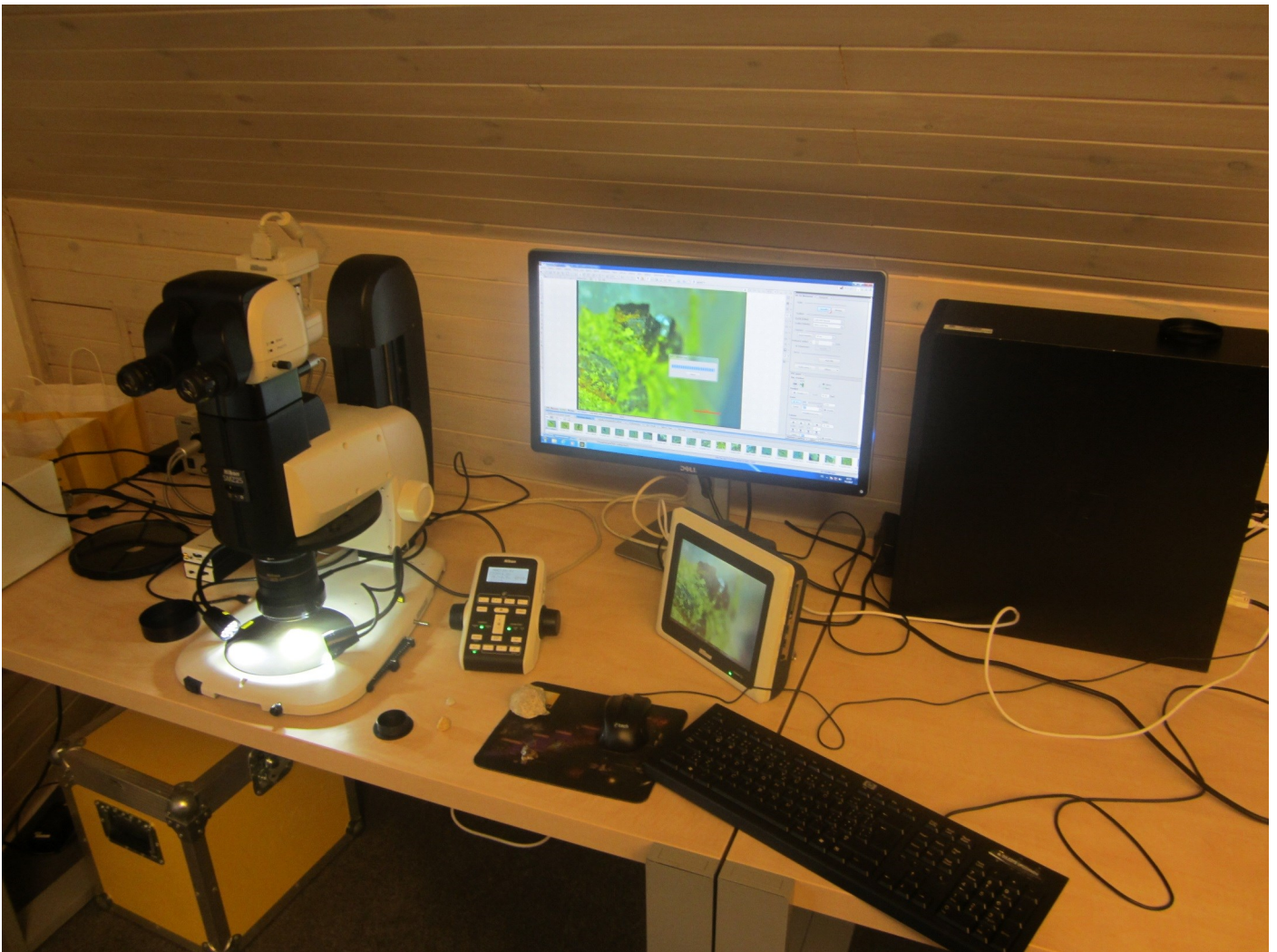
Klasifikační diagramy pro turmalín byly vynášeny v programech Triplot a MS Excel. Prostorové korektury objektů jsem prováděl v Corel DRAW X7.



Obr. 9: Elektronová mikrosonda CAMECA SX 100. Foto JV.

3.4 Fotografování vzorků

Materiál byl fotografován fotoaparáty Olympus PEN E-PL 7 a Canon ISUX 115 HS. Mikrofotografie byly pořízeny v laboratoři Nikon mikroskopem NIKON SMZ25 s motorizovanou Z osou umožňující skládání fotografií v programu NIS Elements. Na mikroskop byla namontována kamera DS-Fi2. Fotografie v BSE (zpětně odražených elektronech) byly pořízeny spolu při měření na elektronové mikrosondě.



Obr. 10: Motorizovaný mikroskop NIKON SMZ 25 se softwarem pro skládání fotografií na Z-ose. Foto JV.

4 Výsledky

4.1 Zóny pegmatitu

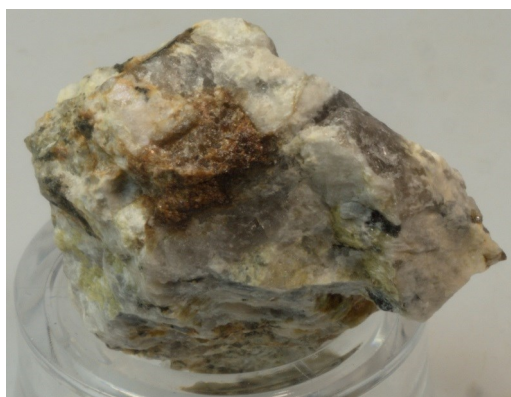
Na kontaktu pegmatitu s ortorulou je vytvořena 5+ cm mocná monominerální turmalínová zóna s pozorovanou vložkou drobně krystalovaného K-živce.

Akcesoricky se vyskytuje křemen, zirkon, K-živce, monazit. Jedná se o jednu ze dvou zón kde byla pozorována alterace turmalínu - (oxy-) dravitu na slídy. Na této zóně byl vytvořen tektonický zlom po kterém došlo k posunu a tvorbě estetických turmalínových tektonických zrcadel (až 25x25 cm). Na tuto zónu s největší pravděpodobností navazuje hrubozrnná křemenná zóna prorostlá turmalínem (X až 10 mm). Uvedená posloupnost byla vyvozena z reliktních hornin na tektonických zrcadlech.

Další texturní návaznost není jasná, na křemennou zónu by však mohla navazovat hrubozrnná jednotka křemen (X až 3 cm), albit, K-živce (X až 3 cm), muskovit (sericit) a 70mm XX zonálního turmalínu odpovídajícího vesměs oxy-skorylu. Ze zóny pochází i „nazelenalý“ turmalín s pozorovanou alterací slídkami. Tato zóna vykazuje mírný stupeň alterace turmalínů. Akcesoricky se vyskytuje muskovit, zirkon a rutil. Dle dokladového materiálu se zdá, že v této zóně jsou uzavřeny drobné zóny grafického srůstu K-živce a křemene.



Obr. 11: Ortorula z blízkosti pegmatitu č. 8. Foto JV.

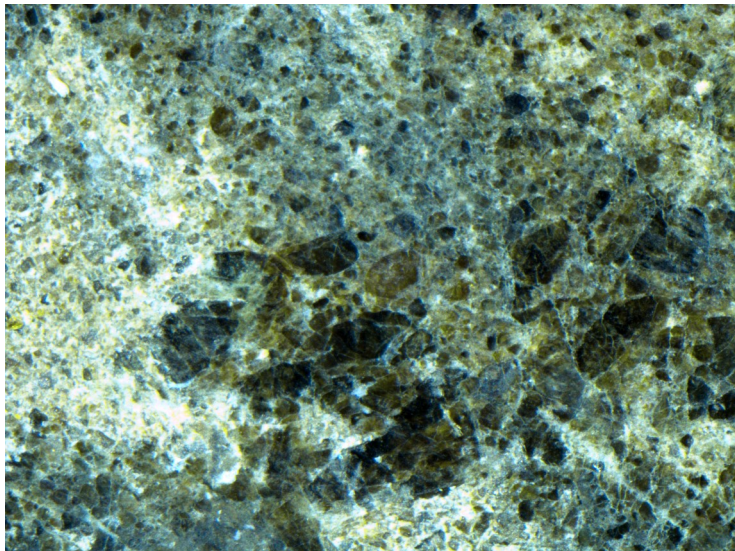


Obr. 12: Almandin X 4 mm, středně zrnitá K-živcová zóna. Foto JV.

Po této zóně následuje středně zrnitá zóna tvořená K-živcem, křemenem, turmalínem ((oxy-) skoryl, (oxy-) dravit a foitit), granátem (almandin), apatitem a ilmenitem. Turmalíny z této zóny vykazují makroskopickou zonálnost modré barvy. Na zónu navazuje ještě jemně krystalická zóna složená z K-živce, křemene a granátu (almandin). Ke středně zrnité zóně patrně náleží i nález 18mm lupenů muskovitu.



Obr. 13: Turmalínové tektonické zrcadlo ze smykové zóny, 20 cm. Foto JV.



Obr. 14: Detail předchozího, FOV 10 mm. Patrné je ohlazení částic na smykové ploše. Foto JV.



Obr. 15: Monominerální turmalínová zóna, 8cm. Foto JV.



Obr. 16: Alterovaný turmalín z albitové zóny, X 37 mm. Foto JV.



Obr. 17: Tektonicky polámaný turmalín z albitové zóny, XX 56 mm. Foto JV.



Obr. 18: Tektonicky ulomený turmalín ze středně zrnité K-živcové zóny, X 25 mm. Foto JV.

4.2 Složení turmalínu

K podrobnému studiu bylo vybráno pět vzorků turmalínu. Vzorek č. 11 (tektonické zrcadlo) a vzorek č. 12, oba z monominerální turmalínové zóny, vzorek č. 2 (mikroskopicky zonální turmalín) a č. 5 z pravděpodobně navazující albitové zóny a vzorek č. 13 (makroskopicky zonální turmalín) z nealterované vnitřní hrubozrnné zóny.

Na vzorku č. 12 (monominerální turmalínová zóna) bylo vybráno 5 bodů (A24 - A29). Studovány byly dva krystaly. První krystal (body A28 - A29) vykazuje chemickou zonálnost v BSE, vnější zóna má nižší poměr $Mg/(Mg+Fe)$, což značí skokový odnos Mg a přínos Fe během krystalizace turmalínu. Druhý krystal (body A23 - A25) je chemicky homogenní. Body byly klasifikovány jako (oxy-) dravit. Skokový odnos Mg mohl být způsoben iniciací krystalizace jiných minerálů, na jeho pozice se mohlo do turmalínu na jeho místo vázat méně reaktivní Fe. Na vzorku č. 11 (tektonické zrcadlo) byly všechny body (A 20 - A22) určeny jako (oxy-) dravit.

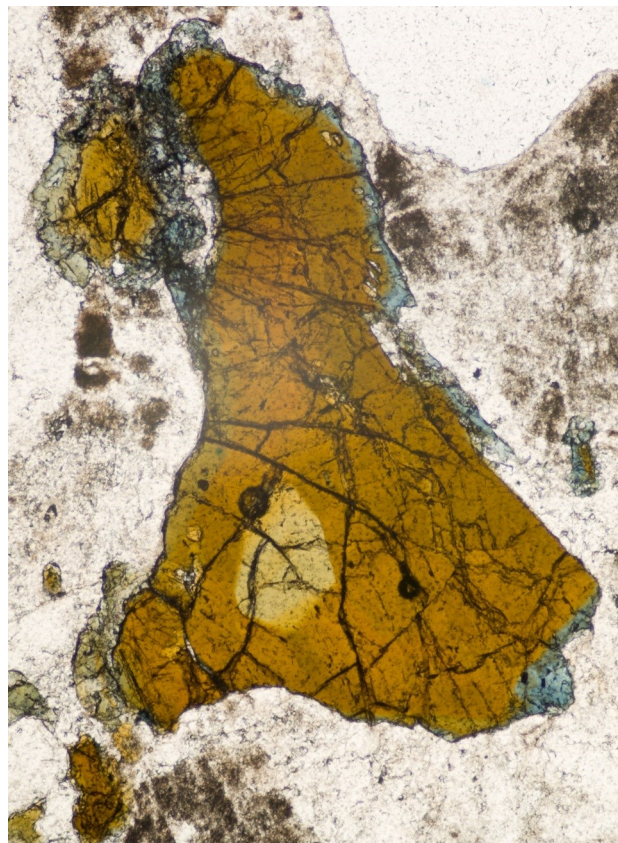
Vzorek č. 2 (mikroskopicky zonální turmalín) z alterované albitové zóny vykazuje četnou chemickou zonálnost. V turmalínu byly určeny body A37 - A48, které až na jedinou výjimku odpovídají (oxy-) skorylu. Optická zonálnost turmalínu je způsobená markantní fluktuací Ti, Fe, Mg a F. Pás procházející body A40 - A41 vykazuje výrazně snížené Mg a bod A46 pokles K o 0,1 apfu, což způsobilo jeho klasifikaci do foititové skupiny. Měřeny byly také body A49 - A50 umístěné na hydrotermálně vyplněné prasklině krystalem. Oba body odpovídají oxy-skorylu se značně kolísavým chemickým složením na mnoha pozicích, což indikuje komplikovanost alteračních reakcí, které probíhaly během krystalizace sekundárního turmalínu.

Vzorek alterovaného turmalínu (č. 5) pocházející z totožné jednotky byl měřen na třech bodech (A1 - A3), jedná se o oxy-skoryl se zvýšeným obsahem Mg.

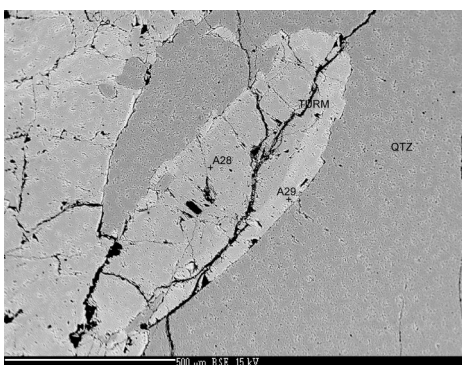
Makroskopicky zonální turmalín (vzorek č. 13) má vyvinuté 3 markantně chemicky variabilní zóny. Světle hnědé jádro (A10 - A11) se sníženým Na je X-vakantní foitit, tmavě hnědá okolní zóna (A12 - A13), jedná se o oxy-skoryl. Modré okrajové zóny (A14 - A16) vykazují vysoký Mn a jsou klasifikovány jako (oxy-) skoryl-dravit.



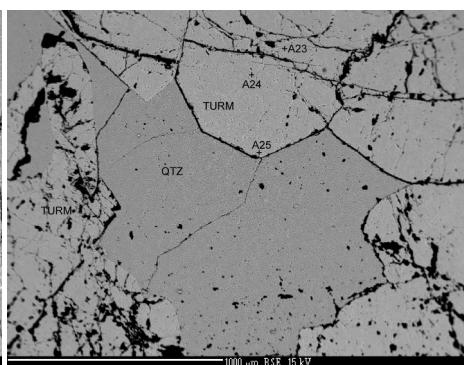
Obr. 19: Makroskopicky modře zonální turmalín hrubozrnné K-živcové zóny, FOV 5 mm. Foto JV.



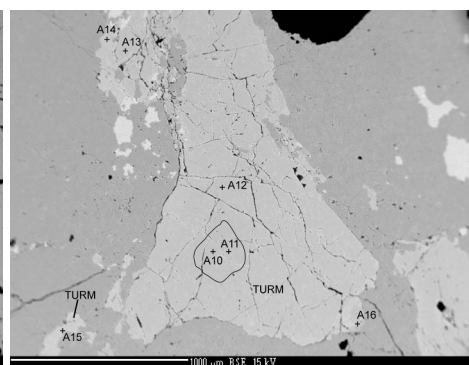
Obr. 20: Makroskopicky modře zonální turmalín hrubozrnné K-živcové zóny, FOV 2 mm. Foto JV.



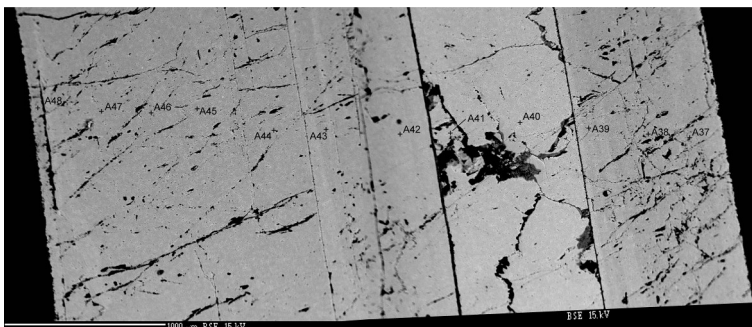
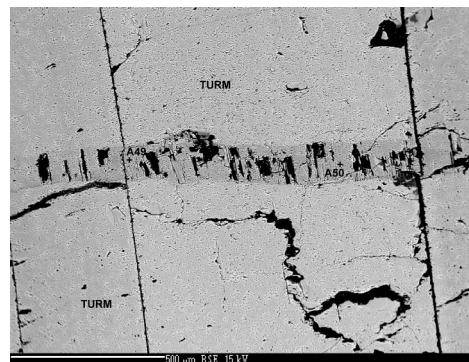
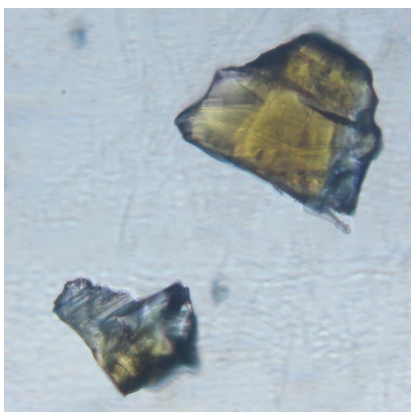
Obr. 21: Zonální turmalín v BSE. Foto JV.



Obr. 22: Turmalín monominerální zóny v BSE. Foto JV.



Obr. 23: Zonální turmalín K-živcové středně zrnité zóny (vzorek výše) v BSE. Foto JV.



Obr. 24 - 27: Mikroskopicky zonální turmalín albitové zóny. Vlevo nahoře ve viditelném světle, vlevo uprostřed v polarizačním mikroskopu, vpravo nahoře sekundární turmalín vyplňující prasklinu v BSE, dole zonální turmalín v BSE (totožný vzorek). Foto JV.

4.3 Alterační procesy během události

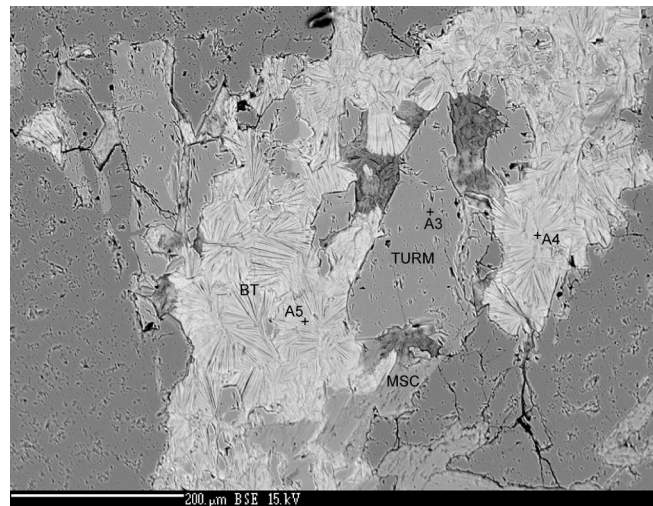
Ve výbrusech monominerální turmalínové zóny a hrubozrnné albitové zóny byl nalezen turmalín (oxy-skoryl) alterovaný na biotit (annit), který se v optickém mikroskopu a BSE snímcích jevil jako chlorit.

Turmalín se zjednodušeným vzorcem $(\text{Na}_{0,6} \square_{0,4})(\text{Fe Al Mg})_3 \text{Al}_6 (\text{Si}_6 \text{O}_{18}) (\text{BO}_3)_3 (\text{OH})_3 \text{O}$ byl postupně nahrazován až na finální produkty biotit (annit) se zjednodušeným vzorcem $(\text{K}_{0,5} \text{?}_{0,5}) (\text{Fe}_{1,5} \text{Al Mg}_{0,5}) \text{Al Si}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$ a Mg-bohatý muskovit (fengit) se zjednodušeným vzorcem $\text{K} (\text{Al}_1 (\text{Si, Al, Mg, Fe})_1)_2 \square \text{Al Si}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$.

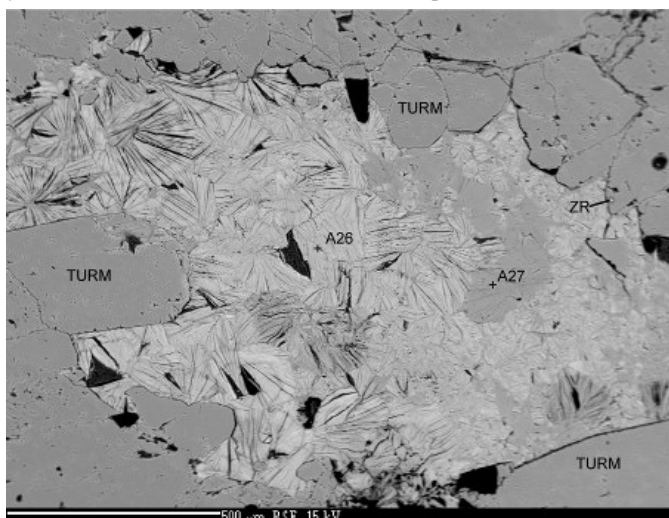
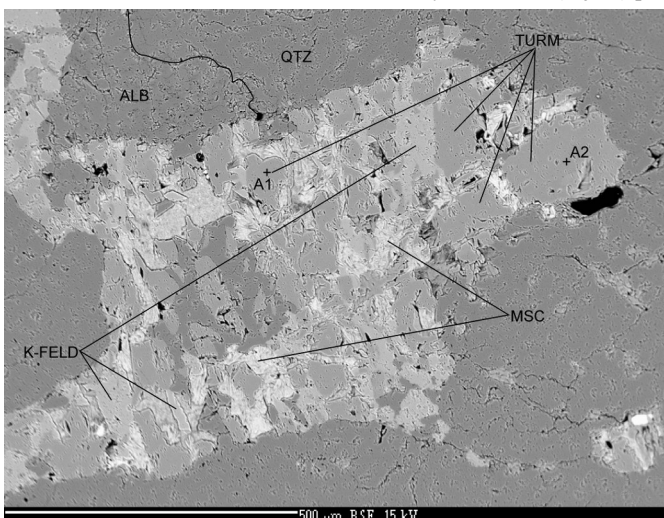
Přeměna probíhala postupně v několika kontinuálně navazujících krocích. Lze předpokládat, že po iniciaci pohybu horninové masy došlo k uvolnění alteračních hydrotermálních fluid. Turmalín je hydrotermálně alterován podle svého složení několika způsoby (Prokop et al. nepublikováno). Skoryl-dravit je alterován za přítomnosti K-bohatých fluid výlučně na chlorit (pravděpodobně chamosit) +-muskovit (Čopjaková et al. 2012). Podmínky této chloritizace byly studovány Prokopem et al. (nepublikováno) a Čopjakovou et al. (2012) a stanoveny na $T = 240 - 360 \text{ }^\circ\text{C}$, $P < 1-2 \text{ kbar}$.

V této fázi dochází k odnosu BO_3 v podobě H_3BO_3 , zároveň je uvolňuje Na, které způsobuje albitizaci živce (původně K-živec) v albitové jednotce. Tím dochází k nahrazení K za Na v živci a systém se obohacuje ještě více o K. Po přehlcení systému K dochází ke krystalizaci K-živce v určitých partiích po vyloužení turmalínu. H_4SiO_4 potřebná k tvorbě K-živce je v systému volně, jelikož nebyla plně využita po rozkladu turmalínu. Spolu s výše popsanými procesy během fluidní fáze vzniká o nově vykrystalizovaný monazit a rutil (Ti pochází z turmalínu).

V druhé (pravděpodobně nefluidní metamorfni) fázi dochází k nárůstu teploty a tlaku na $T < 550 \text{ }^\circ\text{C}$ a $P < 2,5 \text{ kbar}$ (Xianglin et al. 1998). To způsobuje alteraci chlorit + K-živec > Ti-chudý zelený biotit + muskovit (Xianglin et al. 1998). V tento moment biotit (annit) vlivem PT podmínek alteruje chlorit a vytváří po něm pseudomorfózy. Z důvodu přebytku Mg, K a dalších kovů v systému dochází souběžně ke krystalizaci Mg-bohatého muskovitu - fengitu (Carswell et al. 2003).

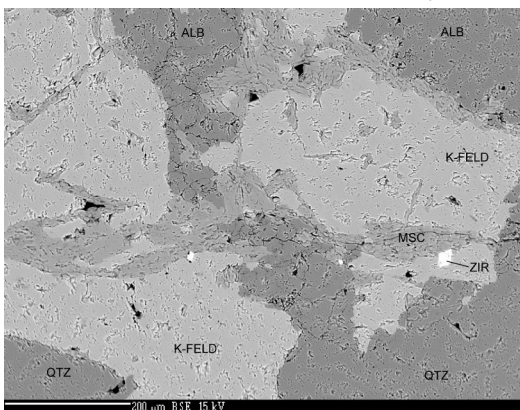
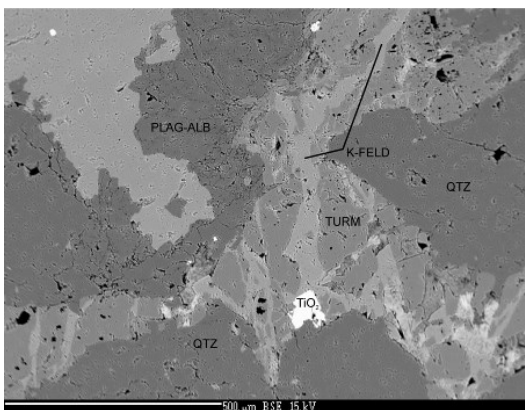


Obr. 28 a 29: Turmalín alterovaný chloritem (vějíře) přeměněným na biotit. Vlevo ve viditelném světle, vpravo v BSE. Foto JV.

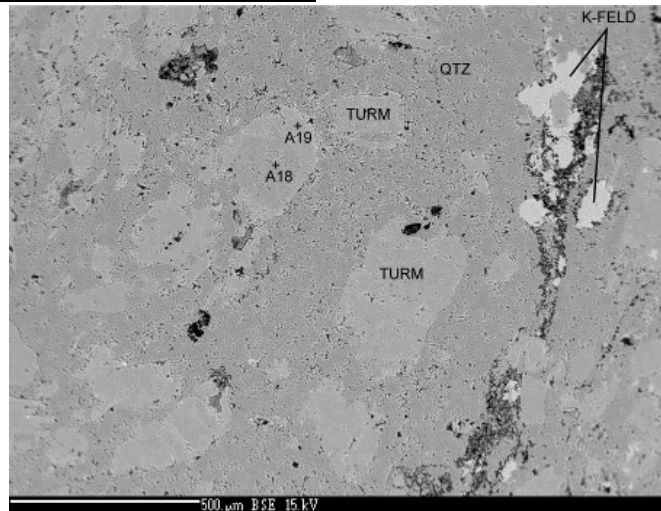
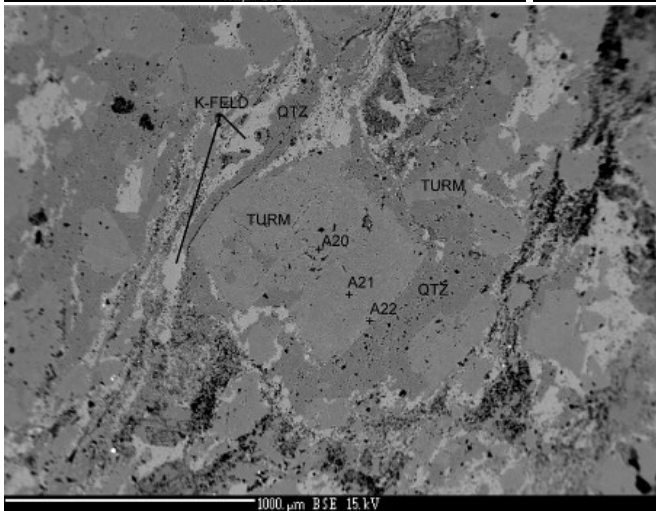


Obr. 30: Alterace turmalínu na K-FELD+MSC v BSE. Foto JV.

Obr. 31: Alterovaný turmalín v BSE, A27 - muskovit. Foto JV.



Obr. 32 a 33: Alterace turmalínu na K-živce, muskovit a rutil, v okolí patrná albitizace. BSE. Foto JV.



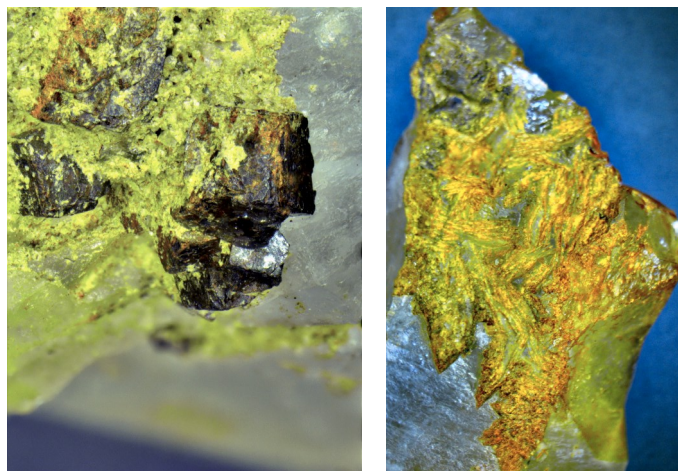
Obr. 34 a 35: Tektonické zrcadlo v BSE, patrný tok (uspořádání), ohlazení a trhání hmoty na smykové ploše. Foto JV.

5 Diskuze

Pás tektonických zlomů nalezených v okolí nivy Lužnice mezi Veselím n. L. a Soběslaví (s. -j. směr) (Tomas et al. 1990) zapříčinil pravděpodobně četné hydrotermální pochody v okolí. Vácha (2017) a Ambrož (1935) popisují nálezy hydrotermální alterační mineralizace z amfibolitu u Řípce. Během těchto pochodů mělo dojít k vyloužení části pegmatitu a jiných hornin a tvorbě nových minerálů (prehnit, klinozoisit, aj.). Lokalita Oswaldovy křemenné žíly popsaná Váchou (2016a, 2016b, 2017) je uložena v tektonicky narušeném bloku granitu, který prodělal i lokální mylonitizaci spojenou s uvolněním fluid s vysokým obsahem kyseliny křemičité, ze které vykryštovaly krystaly křemene. Ty byly později pro svou čistotu využívány i ve sklářském průmyslu (Jezdinský 1922, Vácha 2017). Spolu s křemeny vznikala i doprovodná sulfidicko-karbonátová mineralizace (pyrit, kalcit) (Vácha 2017). Na vrchu Strážka bylo nalezeno těleso ruly, které mohlo být alterované hydrotermální cestou na opál (Vácha 2016a, Vácha 2016b, Vácha 2017, Kadlec et al. 2016). Tyto jevy, spolu s procesy popsanými v této práci z pegmatitu č. 8, patří mezi nejmarkantnější důsledky tektonické činnosti v rámci Řípecka. Je možné, aby byly vyvolány jednou (případně sérií) událostí, a to vznikem výše popsaného pásu zlomů.

Z produktů alterací se zdá, že fluida vstupující do reakcí mají velmi odlišná složení, a proto pravděpodobně nepochází z externího zdroje. S největší pravděpodobností byla fluida uvolněna z okolních hornin.

Jistotu o souběžnosti uvedených procesů by přineslo datování nově vzniklých minerálů. Mezi nejsnáze a nejpřesněji datovatelné minerály ze zde nalezených produktů patří především monazit, jehož datování probíhá na základě izotopů U/Pb (Novák et al. 1998). Mnoho dalších minerálů lze datovat na základě poměru Ar^{40}/Ar^{39} (např. biotit (Kontak et al.



Obr. 36 a 37: Relikty sulfid-karbonátového zrudnění Oswaldových žil - pseudomorfózy limonitu po pyritu XX 3 mm, pseudomorfózy křemene po kalcitu X 7 mm. Foto JV.

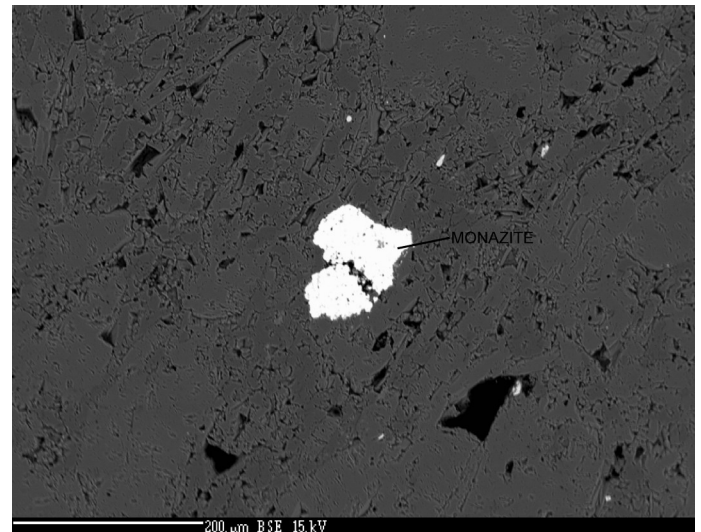
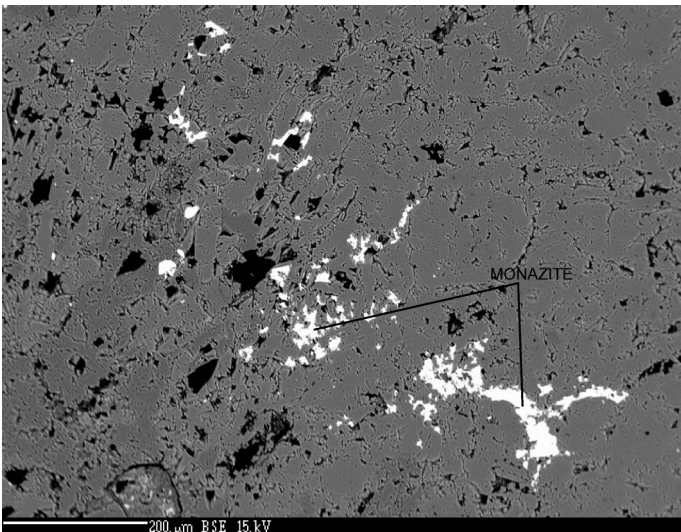


Obr. 38: Opál 90 x 70 x 30 mm, Strážka, Řípec. Foto JV.

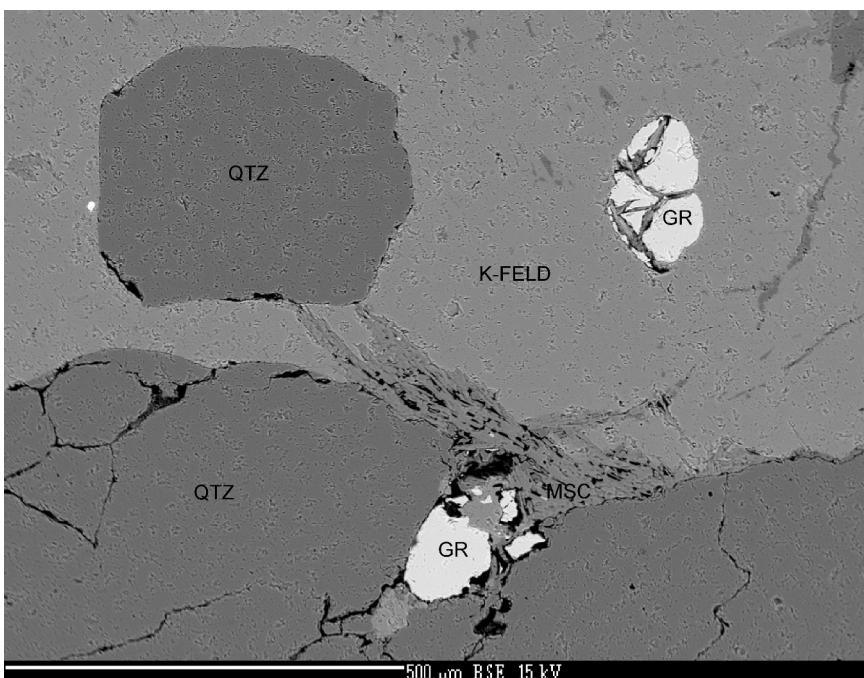
2002)).

Bohužel PT podmínky vzniku alteračních produktů v pegmatitu č. 8 bude velice obtížné zjistit, jelikož chloritová geotermometrie (Caritat et al. 1993) nelze využít pro plnou přeměnu chloritu na biotit. TIB (Titanium In Biotite) geotermometrii (Henry et al. 2005) nelze využít z důvodu velmi nízkého obsahu Ti v biotitu způsobeného podmínkami jeho vzniku. Geochronologická a geotermometrická data hydrotermálního turmalínu jsou podle Henryho et al. (1996) nepřesná, ale turmalín lze použít jako chemický indikátor přítomnosti prvků (bór aj.) ve fluidech.

PT(X) podmínky vzniku tektonických zrcadel nejsou doposud přesně objasněny, z dosavadních závěrů vyplývá, že vznik tektonického zrcadla uvolňuje teplotu v závislosti na hmotnosti horninové masy nad ním a rychlosti pohybu (Cunningham et al. 2007). Tyto teploty se podle publikovaných údajů mohou pohybovat od 77-115°C (Cunningham et al. 2007) až po extrémní hodnoty >1000°C ve větších hloubkách (Spray 1989).



Obr. 39 a 40: Hydrotermální monazit, který může být použit jako geochronoindikátor tektonické události, v BSE. Foto JV.



Obr. 41: Granát ze středně zrnité K-živcové zóny v BSE. Tektonická událost granát mechanicky narušila a praskliny materiálu byly vyplněny sekundárním muskovitem. Z toho je patrné, že granát může být použit jako geoindikátor pro magmatickou fázi vzniku pegmatitu. Foto JV.

Závěr

V práci je poprvé popsána doposud neznámá vícefázová alterace turmalínu skoryl-dravitové série na biotit (annit) a Mg-bohatý muskovit (fengit). Změřené údaje potvrzují exkluzivitu chloritické alterace turmalínu skoryl-dravitové série (Prokop et al. nepublikováno, Čopjaková et al. 2012). Turmalín je alterován K-bohatými fluidy na chlorit a uvolňuje do systému Na. To pravděpodobně vytlačuje K z K-živce a nahrazuje ho na Na-živec (albit). Po dalším obohacení systému K z K-živce dochází ke vzniku nového K-živce po vylouženém turmalínu. Zároveň dochází ke krystalizaci některých akcesorických minerálů. Dle publikovaných údajů tento proces probíhá při $T = 240 - 360 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Prokop et al. nepublikováno, Čopjaková et al. 2012). Poté dochází k nárůstu teploty a tlaku, čímž dochází k alterační reakci chlorit + K-živec > Ti-chudý zelený biotit (annit) + muskovit (fengit). Primitivní turmalínový pegmatit č. 8 studovaný Katzerem (1888), Bouškou a Dostálem (1963) a Váchou (2016a, 2016b, 2017) se nachází nedaleko Řípce u Soběslavi. Těleso vykazuje několik zón: monominerální turmalínovou, albitickou, hrubozrnnou, jemnozrnnou a grafickou. Z minerálů jsou zastoupeny různé turmalíny, křemen, K-živec, albit, muskovit, biotit (annit), monazit, rutil, apatit, granát, ilmenit a zirkon. Modré nelithné hydrotermální turmalíny skoryl-dravitové série byly kdysi považovány za elbait (Bouška a Dostál 1963), což bylo později přeурčeno (Vácha 2017).

Tektonická událost během které došlo ke vzniku zlomu vytvořila turmalínová tektonická zrcadla a uvolnila hydrotermální fluida alterující okrajové zóny pegmatitu.

Přesné PT(X) podmínky a datování události ze doposud nepodařilo určit.

Použitá literatura

- Ambrož V. (1935): Studie o krystaliniku mezi Hlubokou a Týnem nad Vltavou. - *Spisy vydávané Přírodovědeckou fakultou Karlovy University, č. 138, 1935.*
- Barth T. (1948): Oxygen in Rocks: A Basis for Petrographic Calculations. - *The Journal of Geology 56, no. 1 (Jan., 1948), 50-60.*
- Bernard A. J. (1908): Nerosty okolí Táborského. Tábor: Reálné gymnázium.
- Bersani D., Andò S., Vignola P., Moltifiori G., Marino I.-G., Lottici P. P., Diella V. (2009): Micro-Raman spectroscopy as a routine tool for garnet analysis. - *Spectrochim Acta A Mol Biomol. Spectrosc. 2009 Aug;73(3):484-91.*
- Bouška V. (1955): Naleziště rutilu v okolí Soběslavi a Veselí nad Lužnicí. - *Věstník ÚÚG, roč. XXX (1955), 173-180.*
- Bouška V. a Dostál J. (1963): Některé nové nálezy nerostů na Soběslavsku - Verdelit a skoryl-indigolit v pegmatitu z Dubné u Soběslavi. - *Časopis Národního muzea, ročník 132, s. 57 - 62. Praha.*
- Caritat P., Hutcheon I., Walshe J. (1993): Chlorite geothermometry: A review. - *Clays and Clay Minerals, 41, 2, 219-239.*
- Carswell D. a Compagnoni R. (2003): Ultrahigh Pressure Metamorphism. Min. Soc. of Great Britain and Ireland.
- Cunningham W. a Mann P. (2007): Tectonics of strike-slip restraining and releasing bends. - *Geol. Soc., London, Special publications, 290, 1-12.*
- Čech F., Rieder M., Novák F., Novotný 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. a Ercit T. (2005): The classification of granitic pegmatites revisited. - *The Can. Min., 43, 2005-2026.*
- Čopjaková R., Škoda R., Buriánek D. (2012): Hydrothermal alteration of tourmaline from tourmalinites in the Krkonoše Crystalline Unit, Bohemian Massif, Czech Republic. - *Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Series, Szeged, 7, 2012.*
- Henry D. a Dutrow B. (1996): Metamorphic tourmaline and its petrologic applications. -

Boron, 33, 503-557.

Henry D., Guidotti C., Thomson J. (2005): The Ti saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotite: Implications for Geothermometry and Ti-substitution Mechanisms. -*American Mineralogist*, 90, 316-328.

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.

Jezdinský B. (1922): Pamětní kniha obce Řípec 1922 - 1936. Ms. Depon. In. Archiv Třeboň.

Kadlec T., Vrtiška L., Vácha J. (2016): Výskyt erlánů a mramorů v okolí Řípce na Táborsku. Citováno 2.4.2017. Dostupné na <<http://www.mineralogist.cz/vyskyty-erlanu-a-mramoru-v-okoli-ripce-na-taborsku>>.

Katzer F. (1888): Einige Minerale von neuen Fundorten in Böhmen. –Turmalin von Straschin, Mnichowitz, Soběslau und Kuhrau, s. 410 - 415. Praha.

Kontak D. a Archibald D. (2002): Ar⁴⁰/Ar³⁹ dating of hydrothermal biotite from high-grade gold ore, Tangier gold deposit, Nova Scotia: Further evidence for 370 Ma gold metallogeny in the Meguma terrane. -*Economic geology*, 97, 319-328.

Kotková J. (2007): High-pressure granulites of the Bohemian Massif: recent advances and open questions. -*Journal of the Czech Geological Society*, 167, 347-360.

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>>.

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., Černý P., Kimbrough L., Taylor M., Ercit S. (1998): U-Pb ages of monazite from granitic pegmatites in the Moldanubian Zone and their geological implications. -*Acta Universitatis Carolinae. Geologica* 42: 309-310.
- 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., 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. (2005): Granitic pegmatites of the Bohemian Massif (Czech Republic); mineralogical, geochemical and regional classification and geological significance. -*Acta Mus. Moraviae*, 90, 3-75. Brno.
- Pouchou L. a Pichoir F. (1985): PAP (Z) procedure for improved quantitative microanalysis. *Microsc. Spectrosc. Electron.*, San Francisco Press, San Francisco, 104 - 106.
- Rieder M., Cavazzini G., D'yakonov Y., Frank-Kemenetskii V., Gottardi G., Guggenheim S., Koval' P., Müller G., Neiva A., Radoslovich E., Robert J.-L., Sassi F., Weiss Z., Wones D. (1998): Nomenclature of micas. -*The Canadian Mineralogist*, 36.
- Spray J. (1989): Slickenslide formation by surface melting during the mechanical excavation of rock. -*Journal of Structural Geology*, 11, 7, 895-905.
- 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.
- Tomas J., Horáková V., Klein V., Krásný J., Kušová J., Střída M., Šalanský K.. (1990): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25000 - 23-313 Soběslav. Praha: ÚÚG.
- Vácha J. (2016a): Mineralogie okolí Řípce u Soběslavi. Ms SOČ. 55 s.
- Vácha J. (2016b): Mineralogie okolí Řípce u Soběslavi. - *Minerál*, č. 3, r. 2016 (XXIV).
- Vácha J. (2017): Mineralogie Řípecka se zaměřením na granáty a turmalíny. Ms SOČ. 81 s.
- van Hinsberg J., Henry D., Marschall R. (2011): Tourmaline: an ideal indicator of its host environment. -*The Canadian Mineralogist*, 49, 137-152.
- 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>.

Virt R. (1991): Mineralogicky zajímavý pegmatit u obce Řípec. - *Sborník Jihočeského Muzea v Čes. Budějovicích, Přírodní Vědy*, 31, s. 126 – 127.

Welser P. (2003): Současný stav vybraných nalezišť nerostů v okolí Soběslavi a Veselí nad Lužnicí. - *Bull. min.-petr. odd. NM, Praha*, 11, 2003, 211-214.

Xianglin Q., Zhengdong Y., Halls (eds.) (1998): Precambrian Geology and Metamorphic Petrology: Proceedings of the 30th International Geological Congress, Volume 17.

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tab. 1: Klasifikace pegmatitů podle Černého et al. (2005) a Nováka (2005), upraveno. | 9 |
| Tab. 2: Oficiálně uznané druhy turmalínu (Mindat 2018). | 11 |

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obr. 1: Tektonické zrcadlo, 17 cm. Foto JV. | 1 |
| Obr. 2: Minerální lineace turmalínu na pegmatitu č. 8, 22 cm. Nález dokazuje pohyb během krystalizační fáze pro primární turmalín. Foto JV. | 7 |
| Obr. 3: Klasifikace turmalínů podle pozice X (Henry et al. 2011). | 10 |
| Obr. 4: Mineralogicky zajímavá horninová tělesa (Vácha 2017) v geologické mapě 1:50000 a doprovodná legenda. Autor mapového podkladu: ČGS. Dostupné z < http://mapy.geology.cz/geocr_50/?center=-732277,- 1142470&scale=15000 >, kopírováno 1.10.2016. | 13 |
| Obr. 5: Ilmenit, X 0,3 mm, těleso č. 23. Foto JV. | 14 |
| Obr. 6: Křemen, XX 2,5 cm, těleso č. 14. Foto: J. Zikeš. | 14 |
| Obr. 7: P-T diagram podmínek vzniku pegmatitů jednotlivých tříd podle Černého a Ercita (2005). | 15 |
| Obr. 8: Polní výkopy. Foto JV. | 16 |
| Obr. 9: Elektronová mikrosonda CAMECA SX 100. Foto JV. | 17 |
| Obr. 10: Motorizovaný mikroskop NIKON SMZ 25 se softwarem pro skládání fotografií na Z-ose. Foto JV. | 18 |
| Obr. 11: Ortorula z blízkosti pegmatitu č. 8. Foto JV. | 19 |
| Obr. 12: Almandin X 4 mm, středně zrnitá K-živcová zóna. Foto JV. | 19 |
| Obr. 15: Monominerální turmalínová zóna, 8cm. Foto JV. | 20 |
| Obr. 16: Alterovaný turmalín z albitové zóny, X 37 mm. Foto JV. | 20 |
| Obr. 17: Tektonicky polámaný turmalín z albitové zóny, XX 56 mm. Foto JV. | 20 |
| Obr. 18: Tektonicky ulomený turmalín ze středně zrnité K-živcové zóny, X 25 mm. Foto JV. | 20 |
| Obr. 19: Makroskopicky modře zonální turmalín hrubozrnné K-živcové zóny, FOV 5 mm. Foto JV. | 22 |
| Obr. 20: Makroskopicky modře zonální turmalín hrubozrnné K-živcové zóny, | |

| | |
|--|----|
| FOV 2 mm. Foto JV. | 22 |
| Obr. 21: Zonální turmalín v BSE. Foto JV. | 22 |
| Obr. 22: Turmalín monominerální zóny v BSE. Foto JV. | 22 |
| Obr. 23: Zonální turmalín K-živcové středně zrnité zóny (vzorek výše) v BSE. Foto JV. | 22 |
| Obr. 24 - 27: Mikroskopicky zonální turmalín albitové zóny. Vlevo nahoře ve viditelném světle, vlevo uprostřed v polarizačním mikroskopu, vpravo nahoře sekundární turmalín vyplňující prasklinu v BSE, dole zonální turmalín v BSE (totožný vzorek). Foto JV. | 22 |
| Obr. 28 a 29: Turmalín alterovaný chloritem (vějíře) přeměněným na biotit. Vlevo ve viditelném světle, vpravo v BSE. Foto JV. | 24 |
| Obr. 30: Alterace turmalínu na K-FELD+MSC v BSE. Foto JV. | 24 |
| Obr. 31: Alterovaný turmalín v BSE, A27 - muskovit. Foto JV. | 24 |
| Obr. 32 a 33: Alterace turmalínu na K-živec, muskovit a rutil, v okolí patrná albitizace. BSE. Foto JV. | 24 |
| Obr. 34 a 35: Tektonické zrcadlo v BSE, patrný tok (uspořádání), ohlazení a trhání hmoty na smykové ploše. Foto JV. | 24 |
| Obr. 36 a 37: Relikty sulfid-karbonátového zrudnění Oswaldových žil - pseudomorfózy limonitu po pyritu XX 3 mm, pseudomorfózy křemene po kalcitu X 7 mm. Foto JV. | 25 |
| Obr. 38: Opál 90 x70 x 30 mm, Strážka, Řípec. Foto JV. | 25 |
| Obr. 39 a 40: Hydrotermální monazit, který může být použit jako geochronoindikátor tektonické události, v BSE. Foto JV. | 26 |
| Obr. 41: Granát ze středně zrnité K-živcové zóny v BSE. Tektonická událost granát mechanicky narušila a praskliny materiálu byly vyplněny sekundárním muskovitem. Z toho je patrné, že granát může být použit jako geoindikátor pro magmatickou fázi vzniku pegmatitu. Foto JV. | 26 |