MASARYKOVA UNIVERZITA Přírodovědecká fakulta Ústav geologických věd

Diplomová práce

Brno 2015

Hana Kupská





Studium dutinových pegmatitů Českomoravské vrchoviny na příkladu pegmatitu u Strážku, strážecké moldanubikum

Diplomová práce

Hana Kupská

Vedoucí práce: Mgr. Petr Gadas, Ph.D.

Brno 2015

Bibliografický záznam

Autor:	Hana Kupská, Bc.
	Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita
	Ústav geologických věd
Název práce:	Studium dutinových pegmatitů Českomoravské vrchoviny na příkladu pegmatitu u Strážku, strážecké moldanubikum
Studijní program:	Geologie
Studijní obor:	Geologie
Vedoucí práce:	Mgr. Petr Gadas, Ph.D.
Akademický rok:	2014/2015
Počet stran:	55
Klíčová slova:	Granitický pegmatit; dutinový pegmatit; živce; slídy; turmalíny; granáty; optická mikroskopie; elektronová mikrosonda; strážecké moldanubikum; Českomoravská vrchovina; Strážek

Bibliographic entry

Author:	Hana Kupská, Bc.
	Faculty of Science, Masaryk University
	Department of geology
Title of thesis:	Study of pegmatites with pockets from the Českomoravská Highland - case study of pegmatite from Strážek, Strážek Moldanubicum
Degree programme:	Geology
Field of study:	Geology
Supervisor:	Mgr. Petr Gadas, Ph.D.
Academic year:	2014/2015
Number of pages:	55
Keywords:	Granitic pegmatite; pocket pegmatite; feldspars; micas; tourmalines; garnets; optical microscopy; electron microprobe; Strážek Moldanubicum; Českomoravská Highland; Strážek



Masarykova univerzita



Přírodovědecká fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	0 0	Hana Kupská
Studijní program	8 0	Geologie
Studijní obor	0 0	Geologie

Ředitel Ústavu geologických věd PřF MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje diplomovou práci s tématem:

Studium dutinových pegmatitů Českomoravské vrchoviny na příkladu pegmatitu u Strážku, strážecké moldanubikum

Study of pegmatites with pockets from the Českomoravská Highland - case study of pegmatite from Strážek, Strážek Moldanubicum

Zásady pro vypracování: Českomoravská vysočina, zejména v oblasti strážeckého moldanubika je již po dlouhou dobu známa výskyty dutinových pegmatitů. Většinou drobné žíly s jednoduchým minerálním obsahem (křemen, K-živec, plagioklas, biotit, muskovit, turmalín aj.) jsou charakteristické výskyty četných dutin s krystaly uvedených minerálů. I přes svou popularitu zejména mezi sběrateli minerálů nebyly doposud plně vědecky zhodnoceny, především po stránce petrologické a geochemické stejně jako ve vztahu k okolním horninám rulového charakteru. Podobně nebyla dosud objasněna otázka způsobu vzniku těchto pegmatitů. Úkolem studenta bude v rámci komplexního studia tohoto typu pegmatitů (teréní výzkum, petrograficko-mineralogický výzkum, studium zonality pegmatitů, změn v chemickém složení minerálů od okrajů do centra žil ad.) odborně zpracovat výsledky všech etap výzkumu. Výsledkem diplomové práce by mělo být nastínění možných způsobů vzniku a vývoje těchto pegmatitů (anatektický nebo jiný).

Doporučená literatura:

GADAS, Petr, Milan NOVÁK, Jan FILIP a Josef STANĚK. Zoned foitite schor dravite magnesiofoitite crystals from pockets in anatectic pegmatites of the Moldanubian Zone, Czech Republic. Asociación Geológica Argentina, 2011, roč. 14, č. 1, s. 87-90. ISSN 0328-2767.

Vedoucí diplomové práce Datum zadání diplomové práce Datum odevzdání diplomové práce : 30. dubna 2015

: Mgr. Petr Gadas, Ph.D.

: 31. října 2013, změněno 15.10.2014

V Brně dne 5.11.2014

Přírodověd čký jakulta 31501 ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VI Kotlářská 2. 61137 Brno doc. RNDr. Josef Zeman, CSc. ředitel Ústavu geologických věd PřF MU

Zadání diplomové práce převzal dne:

13.11.2014

Podpis studenta:

Hann Kuppen'

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá mineralogií a petrologií dutinového pegmatitu u Strážku, který proniká biotitickou rulou s cordieritem. V rešeršní části jsou shrnuty geologické poměry strážeckého moldanubika, rozdělení a názory na vznik granitických pegmatitů. Dále pak byly charakterizovány dutinové pegmatity a jejich výskyty na Českomoravské vrchovině. Praktická část je zaměřena na makroskopickou a mikroskopickou charakteristiku minerálů studovaného pegmatitu. Pozornost je věnována zejména živcům, slídám, turmalínům a granátům, u kterých bylo stanoveno jejich chemické složení. Následně byl tento pegmatit porovnán s jinými záhnědovými pegmatity Českomoravské vrchoviny. Z výsledků vyplývá, že studovaný pegmatit se vyznačuje jednoduchou asociací minerálů: Křemen-záhněda, K-živec, albit, turmalín, muskovit, granát. Dále je pak charakteristický úzkým vztahem k okolním horninám (konkordantní uložení, navazující chemické složení plagioklasů), primitivním složením turmalínů, hojným výskytem granátu v dutinách, absencí mateřského granitu. Strážecký pegmatit tak svým charakterem odpovídá jiným záhnědovým (anatektickým) pegmatitům strážeckého moldanubika, avšak liší se přítomností granátu.

Abstract

This thesis deals with mineralogy and petrology of the pegmatite with pockets from Strážek, which intruded the biotite gneiss with cordierite. The research part of thesis sumarizes geological situation of Strážek Moldanubicum, classification and opinion of genesis of granitic pegmatites. In the next part of this work were characterized pegmatites with pockets and their occurences in Českomoravská Highland. Practical part deals with macroscopic and microscopic describtion of minerals of studied pegmatite. The attention is focused on feldspars, micas, tourmalines and garnets, which were chemically determined. Subsequently was the pegmatite compared with another pegmatite sis characterized by simple chemical composition of minerals: Smoke quartz, feldspar, tourmaline, muscovite, garnet. This pegmatite is typical for geological and petrographic features between pegmatite and gneiss (concordant relationship, follow up to chemical composition of the plagioclase), simple compound of tourmalines, abundant occurrence of garnets in pockets, absence of plutonic source. Pegmatite from Strážek fits into another (anatectic) pegmatites with smoke quartzes in Strážek Moldanubicum, but differs in present of garnet.

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat Mgr. Petru Gadasovi, Ph.D. za odborné vedení práce, připomínky a cenné rady a zejména za jeho vstřícnost. Děkuji Mgr. Vladimíru Hrazdilovi za umožnění studia vzorků, uložených v depozitářích MZM v Brně. Také bych chtěla poděkovat rodině, Peti, Nohavici, Camfrlině a mému příteli za veškerou pomoc a podporu během studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně. Veškerou literaturu a ostatní prameny, z nichž jsem při přípravě práce čerpala, řádně cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

Brno 14. května 2015

.....

Hana Kupská

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. PŘEHLED LITERÁRNÍCH ÚDAJŮ	10
2.1 Vymezení studované oblasti	10
2.1.1 Geomorfologie	10
2.1.2 Strážecké moldanubikum	11
2.1.2.1 Regionálně-geologická charakteristika	11
2.1.2.2 Horninové typy strážeckého moldanubika	13
2.1.2.3 Tektonika strážeckého moldanubika	13
2.2 Granitické pegmatity	14
2.2.1 Geneze	15
2.2.2 Klasifikace	19
2.3 Dutinové pegmatity strážeckého moldanubika	21
2.3.1 Příklady výskytů dutinových pegmatitů strážeckého moldanubika	
3. METODIKA	27
3.1 Terénní výzkum	27
3.2 Laboratorní výzkum	
3.2.1 Optická mikroskopie	
3.2.2 Elektronová mikroskopie a mikrosonda	
4. VÝSLEDKY	29
4.1 Biotitická rula	29
4.1.1 Minerály ruly	29
4.2 Pegmatit	
4.2.1 Minerály pegmatitu	
5. DISKUZE	44
6. ZÁVĚR	50
7. POUŽITÁ LITERATURA	51
O, FRILOTI	

1. ÚVOD

Pegmatity jsou magmatické horniny vzniklé utuhnutím ze silikátové taveniny. Složením jsou velmi podobné granitům, tvoří tělesa obvykle menších rozměrů, většinou žíly, hnízda či nepravidelná tělesa. Typickým znakem pegmatitových těles je zonální stavba. Nejčastější minerály jsou živce, křemen, slídy, ale mohou se v nich objevovat i minerály obsahující vzácnější prvky např. berylium, lithium, cesium, cín apod.

Českomoravská vysočina je známá výskytem dutinových pegmatitů. Zejména ve strážeckém moldanubiku se vyskytují dutinové pegmatity s jednoduchým minerálním obsahem bez lithné mineralizace. Ty vytvářejí tělesa spíše menších rozměrů, ale velmi rozmanitých tvarů, od žilných po formy čočkovité. Často jsou v nich dutiny vyplněné krystaly minerálů, jako jsou živce, křemen (nejčastěji záhnědy), turmalíny, muskovit, apatit, granát, vzácnější minerály v nich zpravidla chybí. Dutinové pegmatity strážeckého moldanubika nebyly dosud plně vědecky zhodnoceny i přes svou popularitu zejména mezi sběrateli minerálů. Většina autorů se zabývala pouze popisem jednotlivých minerálů, zcela výjimečně popisem celé parageneze, geologické pozice pegmatitu nebo petrografických poměrů.

V této práci byl pomocí optické mikroskopie a elektronové mikrosondy studován dutinový pegmatit ze Strážku, který je intrudován do biotitické ruly s cordieritem. Studovaný pegmatit je zajímavý přítomností granátu, čímž se liší od jiných podobných dutinových pegmatitů strážeckého moldanubika. Má diplomová práce je zaměřená na petrografický popis pegmatitu, chemickou charakteristiku zájmových minerálů-živců, slíd, granátů, turmalínů a na vznik tohoto pegmatitu.

2 PŘEHLED LITERÁRNÍCH ÚDAJŮ

2.1 Vymezení studované oblasti

2.1.1 Geomorfologie

Studovaná oblast spadá pod Českomoravskou vysočinu a nachází se asi 700 m jihozápadně od kostela v obci Strážek, GPS souřadnice: 49.4386814N, 16.1860939E (obr. 1).



vyznačena zájmová lokalita (zdroj: mapy.geology.cz 2015).

Českomoravská vysočina je členitým územím s rozdílným reliéfem mezi centrálními a okrajovými částmi. Od centrálních částí klesá reliéf směrem k západu i k východu, snižování reliéfu je stupňovité (centrální části mají charakter vrchovin, okrajové pahorkatin). Na obvodu přechází v plošiny vzniklé abrazí křídového a neogenního moře. Střední nadmořská výška je asi 512 m. Nejvyšším vrchem je Javořice 837 m. n. m. (Demek et al. 2006).

2.1.2 Strážecké moldanubikum

2.1.2.1 Regionálně geologická charakteristika

Z geologického hlediska náleží zájmová oblast ke strážeckému moldanubiku. Na severu je strážecké moldanubikum omezeno železnohorským krystalinikem, na východě svrateckým krystalinikem. Na jihovýchodě je omezeno bítešským zlomem, zatímco jižní až jihozápadní hranici strážeckého moldanubika tvoří severovýchodní okraj třebíčského plutonu. Strážecké moldanubikum je na západě formálně vymezeno přibyslavskou mylonitovou zónou (obr. 2) (Stárková et al. 1993).

Strážecké moldanubikum je charakterizováno jako katazonálně metamorfovaný sedimentárně-vulkanogenní komplex hornin, postižený předpaleozoickou a variskou metamorfózou (Mrázek 1991). Tajčmanová et al. (2006) označili strážecké moldanubikum za hlubší části (spodní a střední kůru) variského orogenního pásma v polyfázovém HT-HP a HT-LP vývoji.

Ve strážeckém moldanubiku se nacházejí minerální asociace, které odpovídají nižší amfibolitové facii, místy až facii granulitové. Zbývající území odpovídá spíše regionální metamorfóze při nižším tlaku a vyšší teplotě (vznik biotitu, sillimanitu, cordieritu). Ve strážeckém moldanubiku klesá intenzita metamorfózy směrem k severovýchodu (Mísař et al. 1983). Metamorfní podmínky vývoje strážeckého moldanubika byly v případě výše-tlaké minerální asociace v granulitech (granát-kyanit) odhadnuty na P=1,8 GPa a T=850 °C. Nízkotlaká re-ekvilibrace během relativně mladších deformačních událostí probíhala v podmínkách P=0,35-0,45 GPa a T=680-720 °C (Tajčmanová et al. 2006).

V příkrovové stavbě moldanubika je většinou rozlišován nejsvrchnější gfölský příkrov a podložní drosendorfský a ogstrongský příkrov. Podle Schulmanna et al. (2005) je strážecké moldanubikum součástí nejsvrchnějího gfölského příkrovu, avšak značné rozšíření cordieritických rul, migmatitů a vložkových hornin naznačuje možnost, že část této jednotky náleží k podložním příkrovům.

11



Obr. 2: Geologická mapa strážeckého moldanubika (převzato od Stárkové et al. 1993). Vysvětlivky: 1-biotitické pararuly, 2- biotitické migmatity (arterity), 3-biotitické migmatity s kyanitem, 4-biotitické migmatity s cordieritem, 5-perlové ruly, 6-leukokratní migmatity (granitizované ruly), 7-cordieritické rohovce, 8-amfibolity, 9-erlany, krystalické vápence, 10-granulity, 11-serpentinity, 12-dvojslídné granity, 13-durbachity, 14-amfibolicko-pyroxenické metadiority, 15-aplity, 16-mylonity a ultramylonity, 17-dvojslídné svory svrateckého krystalinika, 18-dvojslídné migmatity (svratecké ortoruly), 19-zlomy ověřené, předpokládané, 20-foliace, 21-linie geologického řezu.

2.1.2.2 Horninové typy strážeckého moldanubika

Strážecké moldanubikum je tvořeno hlavně cordierit-biotitickými rulami a migmatity, biotitickými a amfibol-biotitickými, často migmatitizovanými rulami s vložkami amfibolitů, erlanových rul, dolomitických vápenců a gföhlskými rulami. Dalšími horninami jsou granulity a granulitové ruly, které jsou doprovázeny čočkami ultrabazik, serpentinitů, pyroxenitů a eklogitů (Owen a Dostál 1996). Nejznámější je v této oblasti borský granulitový masiv, který je zde uložen konformně v granátických, popřípadě cordieritických rulách a tvoří zde rozsáhlé čočkovitě protáhlé těleso (Stárková et al. 1993). Migmatitizované cordierit-biotitické ruly jsou tvořeny paragenezí Crd+Bt+Pg+Kfs+Qtz (Zrůstek, 1973). Pararuly, ve kterých cordierit chybí, jsou tvořeny minerální asociací Bt+Pg+Kfs+Qtz=Grt±Sill±Amph. Amfibolity jsou typické asociací Amph+Pg+Grt±Bt±Qtz±Ttn a velmi často přecházejí do amfibol-biotitických a erlánových rul. Erlánové ruly tvoří skupinu hornin velmi variabilní minerální asociace Cpx+Qtz+Kfs+Pg±Grt±Amph±Fo±Bt±Cal±Ttn. Gföhlské ruly jsou typické hrubozrnnými, často perthitickými živci. Leukosom je tvořen křemenem a živci, melanosom vrstvičkami bohatšími biotitem, případně sillimanitem.

Granulity a granulitové ruly jsou tvořeny minerální paragenezí Grt+Ky+Bt+Pg-+Kfs+Qtz. Velmi často v nich dochází k sillimanitizaci kyanitu za vzniku minerální asociace Grt+Sill+Bt+Pg+Kfs+Qtz (Tajčmanová et al. 2006).

Intruzivní magmatické horniny nejsou v této části moldanubika příliš hojné. Nachází se zde metadiority, durbachity, které představují melanokrátní porfyrické typy syenitoidů až granitoidů. Dále zde vystupují dvojslídné a biotitické granity buď jako intruze nebo jako granity metasomatického typu (Zrůstek 1967). Z žilných kyselých hornin jsou zde typické pegmatity, které pronikají zejména rulami, migmatity a méně i granulity (Staněk 1981). Dále se zde vyskytují aplity a aplitické granitoidy. Tyto žilné horniny vystupují zejména na jihovýchodě strážeckého moldanubika (Stárková et al. 1993).

2.1.2.3 Tektonika strážeckého moldanubika

Centrální část strážeckého moldanubika je typická plochými antiklinálními a synklinálními strukturami, okrajové části jsou charakteristické úzkými, vzpřímenými izoklinálními vrásami různých směrů (Zrůstek et al. 1977). Tajčmanová et al. (2006) rozlišují ve východní oblasti strážeckého moldanubika dva typy struktur: starší, subvertikální foliace S1 směru S-J a lineace směru J-JV. Tato stavba (D1) je výsledek stlačení v podmínkách spodní kůry. Mladší planární

systém S2 je orientován v JZ směru a starší systém S1 protíná pod tupým úhlem. Tato mladší stavba (D2) představuje přechod z podmínek výzdvihu hornin spodní kůry do kompresního režimu plochého násunu hornin strážeckého moldanubika na horniny svrateckého krystalinika při vysokých teplotách a ve svrchněkorových podmínkách v období 345-340 mil. let (Schulmann et al. 2005). V období 340-338 mil. let byly horniny strážeckého moldanubika postiženy duktilní synorogenní extenzí SZ směru (Štipská a Schulman 1995). V průběhu postkolizního vývoje přecházejí vysokoteplotní duktilně deformované zóny mylonitů často do polokřehkých až křehkých kataklastických deformací transtenzních a transkurentních zlomů. Ve východní části strážeckého moldanubika jsou tyto polokřehké a křehké struktury prezentovány zónami mylonitů a kataklazitů směru S-J až SSZ-JJV s úklonem k Z až ZJZ. Tyto zóny jsou souhlasné nebo protínají pod ostrým úhlem převládající foliaci S1 (Venera 1997).

2.2 Granitické pegmatity

Pegmatity mají důležitý ekonomický význam, mohou být zdrojem surovin pro keramický, sklářský, elektrotechnický i chemický průmysl. Jsou zdrojem informací o vzniku a vývoji magmatických hornin, vzniklých v pozdních stádiích magmatického procesu nebo naopak o procesech spojených s anatexí metamorfovaných hornin (London 2008).

Granitické pegmatity jsou definovány jako vyvřelé horniny, vzniklé utuhnutím ze silikátové taveniny. Složením jsou velmi podobné granitům, ale na rozdíl od nich tvoří tělesa menších rozměrů, většinou žíly, suky či nepravidelná tělesa (Novák 2008). Pegmatity jsou typické extrémně hrubozrnnou stavbou, variabilní zrnitostí, kdy se velikost zrn obecně zvětšuje od okraje do centra pegmatitového tělesa, často ostrou hranicí minerálních asociací, grafickými srůsty křemene a živců nebo přítomností kostrovitých či jinak skeletálně vyvinutých krystalů (London 2008).

Skládají se tedy hlavně ze živců a křemene, ale mohou se v nich vyskytovat v menším množství také slídy-nejčastěji muskovit, charakteristickým minerálem je také turmalín nebo granáty. Ve více frakcionovaných pegmatitových tělesech se vyskytují i vzácnější minerály např. beryl, minerály řady columbit-tantalit, pollucit, spodumen, lepidolit, petalit, trifylín, amblygonit aj. (London 2008).

2.2.1 Geneze

První názory na vznik pegmatitů pochází již z 19. století. De Beaumont (1847, In Staněk 1959) a Hitchcock (1883, In Staněk 1959) patřili mezi první zastánce magmatogenního původu pegmatitů. V nejobecnější formě podal názor na vznik pegmatitů ze specifické magmatické taveniny Rogger (1890, In Staněk 1959). Podle něj jsou pegmatity produkty dlouhotrvající frakcionované krystalizace specifické taveniny (v uzavřeném systému) tzv. pegmatitového magmatu, které se vytvořilo jako diferenciát magmatu granitického, které však bylo obohaceno ve srovnání s mateřským magmatem větším množstvím rozpuštěných těkavých komponent. Tuto teorii později přijal také Fresman (1931, In Staněk 1959). Dále tuto hypotézu podporovali také např. Vlasov (1951, 1952, 1955, 1956, In Staněk 1959), Beus (1951, 1954, In Staněk 1959), avšak připouštěli ve větší míře metasomatické projevy při vzniku běžnějších i vzácnějších minerálů.

Později vznikla hypotéza o vzniku pegmatitů metasomatickými pochody a to působením 2 procesů. V počátečních stádiích rozkrystalizováním pegmatitového magmatu, v pozdějších stádiích z postmagmatických, z hloubky přicházejících roztoků, se v pevných horninách projevovala silně metasomatóza. Metasomatické projevy byly dopovázeny přínosem velkého množství látek do žil a odnosem z nich. Hess (1933, In Staněk 1959), Schaller (1925, In Staněk 1959), Landes (1925, 1928, 1933, 1937, In Staněk 1959). Podle Qirkeho a Kremerse (1943, In Staněk 1959) vznikly pegmatity jen z hydroterm.

Koržinskij (1937, 1953, In Staněk 1959) byl zastáncem teorie o vzniku pegmatitů postmagmatickým překrystalizováním obyčejných magmatických hornin a v pozdějších fázích jejich metasomatickým překrystalizováním. Zavarickij (1947, In Staněk 1959) dospěl k závěru, že pegmatitové magma vůbec neexistuje a pegmatity vznikly jen překrystalizováním v uzavřeném systému.

V současné době jsou populární dvě teorie vzniku pegmatitů. První teorie vysvětluje pegmatity jako produkty natavení (metamorfogenní pegmatity) jiné horniny (hlavně metapelitů) a k procesům diferenciace a frakcionace zde nedošlo vůbec nebo jen v malé míře. Některé metamorfogenní pegmatity jsou blízké metatektům v migmatitech nebo i vysokoteplotní alpské paragenezi (Novák 2005). Zastánci této hypotézy uvádí tři faktory, které jejich domněnku potvrzují. Prvním faktorem je komplikovaný vztah chemického složení mezi vysoce vyvinutými pegmatity a jejich primitivními a zároveň pravděpodobnými plutonickými zdroji (např. Stewart 1978; Norton and Redden 1990, In London 2005). Druhým znakem je tendence některých pegmatitových těles odrážet chemické složení své hostitelské horniny a to zejména hlavních

15

prvků (např. Stugard 1958, Novák et al. 1999, In London 2005), i když v tomto případě jde většinou o taveniny kontaminované z okolí. Třetím faktorem je častá izolace menších pegmatitových žil od jakéhokoli známého plutonického zdroje (např. Simmons et al. 1995, 1996, In London 2005).

Zastánci druhé teorie, která má v dnešní době větší podporu, vysvětlují pegmatity jako produkty pokročilé frakční krystalizace granitických magmat (magmatogenní pegmatity) a upozorňují na zřetelné korelace v trendech obohacení stopovými prvky u pegmatitů a zdrojových granitů (např. O'Connor et al. 1991, In London 2005).

Během krystalizace pegmatitů dochází k texturní diferenciaci a geochemické frakcionaci pegmatitů, což jsou nejvýznamnější procesy, které se podílejí na vzniku a vývoji pegmatitů. Produktem texturní diferenciace je zonální stavba, kde postupně vznikají jednotlivé jednotky (zóny) s odlišnou texturou, velikostí zrna i mineralogickým složením (obr. 3) (Novák 2005).

Ve vnější části pegmatitového tělesa se nachází granitická zóna jako tenký lem, (jen několik cm), který obklopuje pegmatitové těleso a je v kontaktu s mateřskou horninou (London 2008). Typická je jemnozrnná stavba (velikost zrn ~ 0,1-2 cm) zóny s obsahem křemene, K-živce, kyselého plagioklasu, biotitu, muskovitu (Novák 2005). Směrem do centra pegmatitového tělesa se pak nachází hrubozrnnější (velikost zrn ~ 0,5-5cm) a mocnější (do ~ 1 m) okrajová část charakteristická grafickými srůsty křemene a živců. Přechodná část je nejvýrazněji vyvinutá část pegmatitového tělesa a zahrnuje blokovou zónu, která je typická velkými krystaly minerálů (velikost zrna až několik m) zejména K-živce. Vnitřní část pegmatitového tělesa tvoří jádro, charakteristické přítomností zejména křemene, ale může obsahovat také např. K-živec, albit nebo další minerály (London 2008).

Ve více diferencovaných pegmatitech se může objevovat také albitová jednotka, lepidolitová jednotka popř. blokový spodumen nebo blokový petalit většinou uložené mezi blokovým K-živcem a křemenným jádrem (Novák 2005).

16



Obr. 3: Zonální stavba pegmatitu (zdroj: Elements.geoscienceworld.org 2014).

Ve finálních fázích krystalizace dochází v taveninách při frakční krystalizaci ke koncentraci inkompatibilních prvků. Tento vývoj lze velmi dobře charakterizovat poměry vybraných prvků, které se s nárůstem frakcionace snižují např. K/Rb, K/Cs, Fe/Mn, Mg/Fe, Al/Ga, Zr/ Hf, Nb/Ta aj. a také zvýšenou koncentrací některých prvků, např. Li, Be, Sn, Ta, Rb a Cs. Stupeň frakcionace se projevuje vznikem nových fází, např. Be-minerálů, Li-minerálů, Cs-minerálů, ale také změnou chemického složení. Právě v granitických pegmatitech (magmatogenních) byly popsány nejvyšší stupně frakcionace, zatímco v metamorfogenních pegmatitech je stupeň frakcionace velmi nízký (obr. 4).

Geochemická frakcionace a texturní diferenciace spolu většinou úzce souvisí, i když vysoký stupeň texturní diferenciace nemusí nutně souviset s vysokým stupněm frakcionace a naopak.



Obr. 4: Chemický vývoj pegmatitů při narůstající frakcionaci. Ve směru šipky je vyvinutější zonálnost, roste obsah vzácných prvků a zvyšuje se míra zatlačování primární asociace minerálů (metasomatóza) (London 2008).

Většina tavenin, které formují pegmatity, jsou rychle krystalizující taveniny, jejichž krystalizaci pohání kinetické působení vlivem podchlazení (London 2009), obvykle se jedná o jednoduchá granitická média nasycená H₂O, jejichž viskozity jsou téměř stejné jako u granitických tavenin. Nejnovější model viskozity granitických tavenin bohatých H₂O (6-12 hm% H₂O) naznačuje, že by se viskozity pegmatitů měly řádově pohybovat mezi 103 až 105 Pa.s za teploty ~ 700 °C v závislosti na obsahu vody. Prvky, na které jsou pegmatitové taveniny neobvykle bohaté, včetně Li a B, mohou viskozitu silikátových tavenin dále snižovat (Whittington et al. 2009).

Podle Nabeleka (2009) teploty vzniku pegmatitových těles jsou ovlivněny obsahem mobilních "těkavých" komponent H₂O, B, F a P. Rozpětí teplot krystalizace jednotlivých pegmatitových těles může být mimořádně velké od ~ 700 °C do ~ 400 °C.

Odhadovaná doba tuhnutí pegmatitů se u metrových těles pohybuje řádově ve dnech, v případě těles, jejichž velikost se pohybuje v rámci desítek metrů, až několik let. Tuhnutí pegmatitových žil také závisí na teplotě okolních hornin (Simmons et al. 2008).

2.2.2 Klasifikace

Zařazení pegmatitů do určitých tříd je velmi komplikované kvůli jejich extrémní různorodosti strukturně-textruních vlastností, minerálnímu a chemickému složení, jejich odlišným vztahům k mateřskému granitu a procesům metamorfózy. V současnosti existuje kolem 40 klasifikací granitických pegmatitů, založených na různých kritériích a jejich kombinacích (Zagorsky et al. 2003). Nejčastěji se používá klasifikace granitických pegmatitů Černého (1991), kde se rozdělují do 4 tříd (na základě P, T podmínek vzniku v prostředí jejich hostitelských hornin) (London 2008):

1) Třída abysálních pegmatitů

Tyto pegmatity jsou typické pro horniny vyššího metamorfního stupně. Vznikají především v horninách vyšší granulitové až amfibolitové facie (obr. 5). Z hlediska mineralogického a texturního složení jsou jednoduché a vytváří spíše menší tělesa, souhlasně probíhající s metamorfní stavbou okolních hornin. Vznikly metamorfními pochody, hlavně metapelitických hornin. V těchto pegmatitech se mohou vyskytovat vedle křemene, slíd, draselného živce a plagioklasu také allanit, zirkon, uraninit, thorit, turmalín, korund, rutil, granát a případně další akcesorické minerály (Novák 2005).

2) Pegmatity muskovitové třídy

Svým mineralogickým i texturním složením jsou složitější než abysální pegmatity. Vznikají v horninách amfibolitové facie, zejména v rulách a svorech, za relativně vyšších tlaků metamorfózy (typ Barrow; P ~ 8-5 kbar, T ~ 650-580 °C) (obr. 5). Tvoří spíše velká tělesa se zonální stavbou a jen výjimečně obsahují dutiny. Vztah k mateřské hornině je většinou nejasný. Obsahují kromě křemene a živce také muskovit, který bývá velmi hojný, dále akcesorické minerály např. granát, turmalín, biotit a apatit (Novák 2005).

3) Pegmatity třídy vzácných prvků

Pegmatity vystupují především v metamorfovaných horninách amfibolitové facie až facie zelených břidlic, které vznikají v prostředí nižších tlaků než muskovitové pegmatity (P ~ 4-2 kbar, T ~ 650-450 °C; typ Abukuma) (obr. 5), vzácně pronikají granity. Tvoří drobná i obrovská tělesa (mocnost kolem 100 m, délka až 2 km) většinou s komplikovanou vnitřní stavbou. Tělesa pronikají okolními horninami většinou diskordantně, vzácně jsou konkordantní nebo jsou uložena přímo v mateřských granitoidech, často je ale vztah k mateřským granitoidům nejasný. Mohou obsahovat dutiny. Mineralogicky jsou velmi pestré, typickými minerály jsou vedle

křemene, K-živce a albitu např. beryl, spodumen, lepidolit, petalit, elbait, andalusit, trifylín, triplit, amblygonit-montebrasit, apatit, zirkon, REE-minerály, topaz, cordierit, andalusit, polucit, kasiterit, columbit-tantalit a dále obsahují širokou škálu akcesorických minerálů včetně sekundárních produktů hydrotermálních alterací a zvětrávání (např. primárních Fe, Mn, Mg, Ca, Li-fosfátů, cordieritu aj.) (Novák 2005).

4) Pegmatity miarolitické třídy

Pro tyto pegmatity je typická přítomnost primárních dutin. Vznikají relativně v mělkých hloubkách (P ~ 2-1 kbar) (obr. 5). Texturně, jsou většinou jednodušší než pegmatity třídy vzácných prvků. Pegmatitová tělesa jsou často uložena přímo v mateřských granitoidech nebo v jejich těsné blízkosti. Mineralogicky jsou také většinou jednodušší než pegmatity vzácných prků, typické minerály jsou vedle K-živce, albitu a křemene např. muskovit, Li-slídy, beryl, topaz, granát, turmalín, fluorit, zeolity a chlority. Přítomnost primárních dutin není jediným kritériem pro zařazení pegmatitu do třídy miarolitických pegmatitů, protože dutiny jsou přítomny v zásadě v pegmatitech všech tříd, i když v podstatně menším množství. Rozhodujícími faktory pro zařazení do této třídy jsou: přítomnost hojných primárních dutin, úzký prostorový a geochemický vztah k mateřské hornině (většinou jsou uloženy přímo v granitu, netvoří ostře oddělené žíly a mají postupný kontakt), relativně nízký tlak při jejich vzniku. Protože je odhad tlaku často komplikovaný, není možné spolehlivě odlišit miarolitické pegmatity a pegmatity vzácných prvků s hojnými dutinami. (Novák 2005).

Pegmatity vzácných prvků a miarolitické pegmatity jsou rozděleny do tří skupin nazvaných podle počátečních písmen hlavních prvků určujících jejich geochemické složení: NYF (typické prvky Nb, Y, F), LCT (typické prvky Li, Cs, Ta) a mixed skupina obsahuje stejné geochemické rysy jako LCT a NYF skupina, s více či méně výraznou převahou jedné z nich (Zagorsky et al. 2003).

Novák (2005) charakterizuje pro oblast Českého masivu navíc třídu subabysálních pegmatitů, které jsou stavbou, velikostí, zčásti i minerálními asociacemi podobné abysálním pegmatitům, ale na rozdíl od nich vznikly utuhnutím v menší hloubce za nižších tlaků. Jsou charakteristické přítomností nízkotlakých minerálů, jako jsou andalusit, cordierit-sekaninait, sillimanit, metamorfním stupněm okolních hornin, který odpovídá vyšší amfibolitové facii (typ Abukuma; P ~ 5-2 kbar, T ~ 750-650 °C) (obr. 5). Jejich rozlišení od abysálních pegmatitů je velmi těžké a také nelze vyloučit, že část pegmatitů nemá anatektický původ, ale tavenina byla odvozena od granitoidních hornin (Novák 2005).

Také u třídy vzácných prvků vyčleňuje nový typ-primitivní se subtypy: andaluzitový, turmalínový a fosfátový.

Díky vysoké mineralogické i texturní variabilitě je každý pegmatit vlastně originál, proto zařazení pegmatitů do určitých tříd může být komplikované a někdy mohou být přiřazeny do dvou tříd současně (Novák 2005).



Obr. 5: P-T diagram zobrazující horninové prostředí pegmatitových populací. AB - abysální třída, MSmuskovitová třída, RE-třída vzácných prvků, MI-miarolitická třída (Černý et al. 2005).

2.3 Dutinové pegmatity strážeckého moldanubika

Tento typ pegmatitů nebyl dosud plně vědecky zhodnocen, i přes svou popularitu zejména mezi sběrateli minerálů. Většina autorů se zabývá pouze popisem jednotlivých minerálů, zcela výjimečně popisem celé parageneze, geologické pozice pegmatitu nebo petrografických poměrů. První zmínky o pegmatitech v oblasti strážeckého moldanubika pocházejí již z 18. století, kdy např. Estner (1795) popsal nálezy "smolně zbarvených" kamenů (skorylu) v okolí Žďárského kláštera. V 19. století byly minerály z dutinových pegmatitů stručně popsány např. Hruschkou (1826), Kolenatim (1854) a Dvorským (1898). Později se výskyty a podrobným studiem minerálů z těchto pegmatitů věnovali např. Slavík (1901, 1903, 1904) a Ulrich (1922, 1923). Na výzkumy těchto autorů pak navázal ve svých Nerostech moravských pegmatitů Sekanina (1928). Milata (1936) studoval dvojčatné srůsty albitu z pegmatitu od Bobrůvky. Turmalíny

západomoravských pegmatitů se věnovali např. Rosický (1937). Minerály pegmatitu z hornoborského lomu poprvé popsal Weber (1944), z této lokality jsou známé také výzkumy Sekaniny (1945). Názory na vznik pegmatitů shrnul ve své práci Staněk (1959), kde také vypracoval přehled dosavadních výzkumů moravských pegmatitů. Výskyty většího množství minerálů z pegmatitů strážeckého moldanubika stručně popisuje s citací příslušné literatury Burkart (1953). Přibližně stejného charakteru jsou registrace nálezů nových minerálů vydané Kruťou (1966). Petrografiií a tektonikou pegmatitů z Bobrůvky se věnovali Hájek a Staňková (1970). Do Bernardovy knihy "Minerály České republiky" přispěl statí o minerálech pegmatitů Staněk (1981), kde tyto horniny geneticky rozdělil. Později vydává Staněk (1983, 1986) detailnější práce dutinových pegmatitů a jejich minerálů. Ilmenit z pegmatitů strážeckého moldanubika popsal Novák a Jilemnická (1988). Tomuto typu hornin z Českomoravské vysočiny a jejich minerálům zejména z drahokamového hlediska se věnovali Mrázek a Rejl (1991, 2010).

V současné době jsou tyto pegmatity charakterizovány jako horniny obsahující křemen, plagioklas, K-živec, biotit, muskovit a akcesorické minerály jako jsou turmalín, fluorapatit, cordierit, andalusit, dumortierit, almandin (Novák et al. 2004). Typickým znakem těchto pegmatitů je přítomnost dutin s krystaly záhněd, albitu, K-živce, muskovitu, turmalínu, apatitu nebo i granátu a také vysoká aktivita B, mírně zvýšená aktivita P a nízká aktivita F (Novák 2005). Studované horniny patří nejspíše do abysální popř. subabysální skupiny, jednoznačně nezapadají do výše uvedené klasifikace, vzhledem k jejich primitivní stavbě, minerálnímu a celkovému chemickému složení (Novák 2005). Dutinové pegmatity vytváří nepravidelné žíly, čočky, konkordantně, ale i diskordantně uložené v okolních horninách, o mocnostech většinou v prvních decimetrech. Žíly těchto pegmatitů můžou být buď velmi jednoduché, kdy krystaly záhněd, živců, slíd, turmalínu a často apatitu narůstají na úzkou zónu složených z křemene, živců a případně biotitu, muskovitu, nebo symetricky zonální (Novák 2005). V nich jsou od okraje vyvinuty (obr. 6) (Gadas et al. 2012a):

- granitická jednotka: plagioklas, křemen, K-živec ±biotit±muskovit
- písmenková jednotka: K-živec, křemen ±muskovit±biotit
- bloková jednotka: K-živec, křemen ±muskovit±albit±turmalín±andalusit±sekaninait
- někdy je přítomno křemenné jádro: křemen, turmalín



Obr. 6: Idealizovaný řez žilou pegmatitu Znětínek. A) migmatitizovaná biotit-silimanitická pararula, b) kontaktní turmalín, c) granitická jednotka, d) grafická jednotka, e) bloková jednotka, f) turmalín, g) krystaly křemene, albit, h) křemen, albit, muskovit (Gadas et al. 2012b).

Vzhledem k úzkým texturním vztahům k okolím metamorfovaným horninám a absenci možných mateřských granitů v místech jejich výskytu, vznikly tyto pegmatity pravděpodobně částečným natavením (anatexí) migmatitických biotiticko-sillimanitických rul, což je typický znak metamorfogenních pegmatitů. Přítomnost andalusitu a cordieritu ukazuje, že toto natavení proběhlo za nižších tlaků (\leq 3,5 kbar) (Novák 2005).

Dutiny o objemu několika desítek dm³ se vyskytují nejčastěji v křemenném jádru, v blokové jednotce, nebo na jejich hranici. Mohou mít asymetrickou výplň s dokonale vyvinutými krystaly křemene, které vyrůstají do prostoru (záhněda, citrín, křišťál) v asociaci s albitem, nebo lze nalézt krystaly K-živce, na něj narůstající albit, muskovit, bezbarvý nebo našedlý křemen a turmalín. Z akcesorických minerálů se v dutinách vyskytuje apatit a velmi ojediněle granát, brookit, anatas, rutil (Gadas et al. 2012a). Dutina bývá vyplněná načervenalým nebo šedavým jílem spolu s jemně šupinovitým, světle žlutozeleným hydromuskovitem, který často pokrývá i minerály (Staněk 1999). Většinou ale dutina není zachována v původním tvaru a vývoji, je zborcená a často vlivem zvětrávání se nachází už jen izolované krystaly nebo úlomky (Gadas et al. 2012a).

Dutiny pegmatitů mohly vznikat buď při plynulém růstu minerálů, kdy během krystalizace vznikly vhodné podmínky pro oddělení fluidní fáze od magmatické taveniny a to v tektonicky klidném prostředí. Tento typ dutin bývá větších rozměrů a nejvíce rozšířený. Nebo mohly dutiny vzniknout v konečných fázích krystalizace pegmatitů a to vyloužením některých částí žil vlivem působení korozivních fluid. Tyto dutiny pak dosahují menších rozměrů a obsahují nízkoteplotní minerály (Němec 1992).

Fišerová a Dolníček (2014) studovali fluidní systémy v záhnědách z dutinových pegmatitů na dvou lokalitách v okolí Krásněvsi. Ukazuje se komplikované vícefázové složení těchto fluid s převažujícím H₂O a CO₂, s podílem NaCl, N₂ a NH₄, FeCl₂ a MgCl₂. Na vzniku záhnědových pegmatitů mělo vliv více typů fluid, starší vysokoteplotní nízkosalinní, s homogenizační teplotou Th=241-364 °C a mladší nízkoteplotní (Th=118-171 °C). Na druhé lokalitě se mísily 2 typy středně salinních fluid s Th=163-374 °C a Th=89-194 °C. Složení fluid se podobá složení fluid z tamních křišťálů pocházejících z deluviofluviálních sedimentů (Halavínová a Přichystal 2008).

V poslední době studovali stopové prvky v křemeni z pegmatitu u Znětínku Breiter et al. (2014). V grafické a blokové zóně jsou obsahy prvků z křemene např. Al, Ti, Li, Ge, B, Rb, Sn, Mn, a Fe srovnatelné s beryl-columbitovým pegmatitem z Věžné a lepidolitovým pegmatitem z Rožné. Obsahy prvků např. Al, Ti, Li, Ge, B, Rb, Sn, Mn, a Fe z křemene v grafické a blokové zóně jsou křemeny (záhnědy) z dutin, jak primární tak především křemen vznikající rozpadem K-živce, mají obsahy všech prvků výrazně nižší.

Nejznámější oblast dutinových pegmatitů leží na území Českomoravské vrchoviny, zhruba v oblasti mezi Žďárem nad Sázavou-Rudolcem-Křižanovem-Věžnou a je zřejmá vazba na centrální část studované oblasti, zejména na výskyty pararul s relativně menším zastoupením dalších horninových typů, a relativně nižším zastoupením migmatitizovaných rul (obr. 7). Výchozů zájmových hornin je velmi omezené množství, většinou jsou nalézány na polích jako úlomky, nebo izolované krystaly minerálů.

24



Obr. 7: Geologická mapa nejvýznamnějších výskytů dutinových pegmatitů (Gadas et al. 2014).

2.3.1 Příklady výskytů dutinových pegmatitů strážeckého moldanubika

Velmi známou lokalitou je Bobrůvka a pegmatity zde vystupují severovýchodně od vesnice. Nachází se zde množství drobných žil, avšak přímé výchozy chybí. V dutinách se vyskytují kromě albitu, také muskovit, turmalín, apatit, záhněda, brookit a anatas (Hájek et al. 1970). Západně od Cyrilova nebo také jižně od vesnice se nachází menší dutinový pegmatit, který poskytuje krystaly živců a turmalínu (Hrazdil et al. 1999). Krystaly záhněd, křišťálu i skorylu byly hojně nalézány roztroušené na polích vyvětralé z blízkých pegmatitů v okolí Suků, Rousměrova a Skleného nad Oslavou. Krystaly albitu, skorylu, záhnědy a až 1 dm velké krystaly ortoklasu, zpravidla karlovarsky zdvojčatěné, poskytl dutinový pegmatit u Dolní Bobrové. Tento typ pegmatitů s albitem, záhnědou a skorylem v dutinách, byl nalezen také v malém lomu mezi Pikárcem a Moravcem (Staněk 1981). Krátce sloupcovité, trojboké, oboustranně ukončené krystaly skorylu jsou známé také z Meziboří u Strážku. U Dolní Libochové se vyskytly v pegmatitů až 1 dm velké ortoklasy s orientovaně narostlým albitem (Staněk 1981). Menší žíly těchto pegmatitů lze nalézt také v lomu u Horních Borů, nejčastěji s krystaly živců, skorylu, muskovitu nebo cordieritu (Sekanina 1945). Další výskyt tohoto typu pegmatitu je z oblasti Kněževsi, z rulového lomu.

Pegmatit poskytl krystaly křišťálu, záhnědy, muskovitu, ortoklasu, skorylu. Pegmatity z okolí Radostína nebo v okolí Věžné obsahují krystaly albitu, apatitu, křišťálu, záhnědy, muskovitu, ortoklasu, skorylu (Staněk 1959). Málo mocné žíly tohoto typu horniny, jen několik dm mocné, s jednoduchým složením vyskytující se v rulách jsou známé také ze Strážku, kde je na rozdíl od ostatních dutinových pegmatitů běžným minerálem v dutině granát (Gadas et al. 2014). V okolí Vídně se nachází asi 1 m mocná žíla pegmatitu, bez vzácnějších minerálů. Byl zde nalezen jemně jehličkovitý až plstnatý skoryl v křemeni (Sekanina 1928). U Znětínku byly nalezeny tenké žíly studované horniny bohaté na krystaly záhněd, skorylu, muskovitu, cordieritu, živce, křišťálu, citrínu. Hypoparalení srůsty, ale i jednotlivě ukončené krystaly skorylu poskytl pegmatit z Netína, kde se kromě toho našly také krystaly albitu, záhnědy, muskovitu. V okolí Zahradiště byl nalezen také pegmatit jednoduchého složení (Běluša 1999) (obr. 7).

3. METODIKA

V praktické části diplomové práce byl uskutečněný terénní výzkum z lokality u Strážku a byly odebrané horninové vzorky pegmatitu a ruly. Odebrané vzorky pegmatitu a vzorky minerálů z depozitářů Moravského zemského muzea byly následně popsány makroskopicky. Poté byl proveden laboratorní výzkum, který spočíval v optické mikroskopii celkem 7 leštěných výbrusů z různých texturně-mineralogicky odlišných jednotek pegmatitu, dále podrobně studovaných prostřednictvím elektronové mikrosondy.

3.1 Terénní výzkum

Vzorky pegmatitu byly odebrány z lokality, která se nachází v zalesněném svahu asi 700 m jihozápadně od kostela v obci Strážek (obr. 1). Z geologického hlediska spadá zájmová oblast do strážeckého moldanubika. Nachází se zde zhruba 100 m dlouhá a asi 3 m mocná žíla pegmatitu, která je zde v přímém kontaktu s okolními metamorfovanými horninami (pararula, rula) (obr. 8). Lokalita je rozkopaná od sběratelů minerálů a ve svahu můžeme nalézt úlomky jednotlivých jednotek pegmatitu a izolované krystaly minerálů.



Obr. 8: Geologická mapa okolí Strážku, žlutě je vyznačená zájmová lokalita (zdroj: mapy.geology.cz 2015).

3.2 Laboratorní výzkum

3.2.1 Optická mikroskopie

Pro pozorování v optickém polarizačním mikroskopu bylo zhotoveno celkem 7 leštěných výbrusů, které byly postupně zpracovány s využitím optického mikroskopu Olympus BX51 tak, že byly studovány a identifikovány hlavní a vedlejší horninotvorné minerály a některé akcesorické fáze. Všechny výbrusy byly naskenovány na skenovacím zařízení NIKON Coolscan V, a to jak v procházejícím nepolarizovaném světle, tak s použitím polarizačních folií.

3.2.2 Elektronová mikroskopie a mikrosonda

Vybrané vzorky hornin a minerálů-rula, živce, slídy turmalíny a granáty byly studovány pomocí elektronového mikroskopu Cameca SX100 na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně. Analýzy provedl vedoucí práce Mgr. Petr Gadas, Ph.D. Měření bylo provedeno ve vlnově disperzním režimu (WDS). Chemické složení minerálů bylo měřeno za těchto podmínek: urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 10 nA o průměru svazku ~ 2-5 µm. Syntetické a dobře definované přírodní minerály pak byly použity jako standardy: sanidin (Si, Al, K) albit (Na), olivín (Mg), andradit (Ca, Fe), rhodonit (Mn), amfibol (Ti), chromit (Cr), topaz (F) a ZnS (Zn).

Analýzy byly přepočteny v programu Microsoft Excel podle následujících principů:

- živce byly přepočteny na sumu 8 kyslíků
- slídy byly přepočteny na sumu 11 aniontů s předpokladem OH+F=2
- turmalíny byly přepočteny na sumu 31 aniontů na základě ideálního vzorce XY₃Z₆T₆O₁₈(BO₃)₃V₃W, kde X = Na, Ca, K, vakance, Y = Fe, Mg, Mn, Ti, Al a V, Z = Al a Mg; T = Si a Al; B = B = 3 apfu; V + W = OH + F = 4 (Novák et al. 2004) a Fe_{tot} = FeO
- granáty byly přepočteny na sumu 12 aniontů na základě ideálního vzorce A₃B₂T₃O₁₂
 za předpokladu Fe_{tot} = FeO

Výsledky byly následně graficky zpracovány v programech Triplot a CorelDraw.

4. VÝSLEDKY

4.1 Biotitická rula

Biotitická rula je v přímém kontaktu s pegmatitem (obr. 9 a). Jemnozrnná až středně zrnitá hornina má hnědočernou barvu a z makroskopicky pozorovaných minerálů v této rule převažuje křemen, plagioklas, biotit a muskovit. V hornině jsou pravděpodobné pseudomorfózy po automorfně omezných krystalech cordieritu, tvořené sekundárními fylosilikáty (smektity?) (obr. 9 b), tudíž jde nejspíše o biotitickou rulu s cordieritem.



Obr. 9: a) Granitická jednotka (horní část) na kontaktu s rulou, velikost vzorku 10 x 7 cm. b) BSE snímek minerálů z ruly, měřítko=1 mm, šipka vyznačuje pseudomorfózu po cordieritu.

4.1.1 Minerály ruly

Živce

Plagioklasy mají nažloutlou barvu se skelným leskem. Mikroskopicky tvoří xenomorfní až hypautomorfní zrna o velikosti ~ 1-2 mm, v BSE obraze jsou homogenní (obr. 9 a, b). Plagioklasy odpovídají složením oligoklasu s obsahem An_{28-29} (obr. 10, tab. 1).

K-živce se v rule vyskytují jako vedlejší minerály se složením mírně obohaceným o albitovou složku Ab₁₁₋₁₂ (obr. 10, tab. 1).



Obr. 10: Projekce chemických analýz K-živců a plagioklasů z ruly.

Slídy

Slídy jsou hojně zastoupenými minerály ruly. Většina slíd odpovídá svým složením siderofylitu s poměrem Mg/(Mg+Fe_{tot}) od 0,39 do 0,41 apfu (hodnoty Al=1,68-1,74 apfu) (obr. 11, tab. 11). Zrna jsou hypautomorfně omezená, mají černou barvu se skelným leskem o velikosti do 2 mm (obr. 9 a, b). Obsahy F jsou nízké, do 0,09 apfu.

Méně hojný muskovit má našedlou barvu s perleťovým leskem a v rule tvoří nejčastěji lupínky do velikosti ~ 1 mm.



Obr. 11: Projekce chemických analýz biotitu z ruly v závislosti na poměru Mg/(Mg+Fe_{tot}) a Al [apfu].

Křemen

Křemen je v rule šedý až bílý, téměř průsvitný s matným leskem. Tvoří xenomorfně omezená zrna do velikosti 3 mm (obr. 9 b).

Akcesorické minerály

Zirkon a **monazit** tvoří izometrická zrna s hypautomorfním omezením do 0,1 mm. **Pyrit** má formu nepravidelných zrn o velikosti do 0,05 mm. Nejméně zastoupeným akcesorickým minerálem je **rutil** s izometrickými zrny do velikosti 0,1 mm.

4.2 Pegmatit

Studovaný dutinový pegmatit je světlá nehomogenní hornina, která intruduje do biotitické ruly s cordieritem. Jedná se o asi 100 m dlouhou a zhruba 3 m mocnou symetricky zonální pegmatitovou žílu. Od kontaktu s rulou směrem k centrální části pegmatitu se mění zrnitost od středné zrnité až po hrubozrnnou a byly zde rozlišeny následující jednotky: granitická jednotka, ve které se nachází zrna o velikosti 1-2 cm. Je tvořená křemenem, plagioklasy, K-živcem a biotitem (obr. 12 a, b).



Obr. 12: a) Granitická jednotka (vlevo) na kontaktu s rulou (vpravo), PPL, velikost spodní hrany je cca 2,5 cm. b) BSE snímek minerálů z granitické jednotky, měřítko=1 mm.

Následuje grafická jednotka, která obsahuje křemen, K-živec, plagioklasy, turmalín (obr. 13 a, b). Bloková jednotka je charakteristická obsahem křemene a K-živce, kterým prorůstá černý turmalín (obr. 13 c, d).



Obr. 13: a) Kontakt grafické (vlevo) a blokové jednotky (vpravo) z optického mikroskopu, PPL. Velikost spodní hrany je cca 2,5 cm. b) BSE snímek minerálů z grafické jednotky, měřítko=1 mm. c) Žilka turmalín+křemen v blokovém K-živci, velikost vzorku 10 x 8 cm. d) BSE snímek minerálů z blokové jednotky, měřítko=1 mm.

Centrální část je pak tvořena křemenným jádrem s turmalínem (obr. 14 a, b, c). V křemenném jádru a v blokové jednotce se vyskytují dutiny o velikosti 1-15 cm (obr. 14 d). Do prostoru zde vyrůstají dokonale vyvinuté krystaly křemene (záhněda) v asociaci s K-živcem, albitem, muskovitem, granátem a turmalínem. Akcesoricky se v dutinách objevuje apatit (obr. 29).



Obr. 14: a) Turmalín v křemenném jádru, velikost vzorku 5 x 5 cm. b) Turmalín z optického mikroskopu v řezu kolmém k ose c, PPL. Šířka záběru cca 2,5 cm. c) BSE snímek turmalínu s biotitem v žilce, měřítko=0,5 mm. d) Dutina o velikosti cca 2 x 1 cm s drobnými krystalky albitu a muskovitu.

4.2.1 Minerály pegmatitu

Živce

Plagioklasy jsou nejvíce zastoupenými minerály pegmatitu. Makroskopicky mají bílou až našedlou barvu se skelným leskem (obr. 15). V granitické zóně jsou zrna plagioklasu



Obr. 15: Živec, velikost vzorku 10 x 5 cm.

hypautomorfní do velikosti zhruba 3 mm, zatímco v grafické a blokové jednotce tvoří až 1 cm velké krystaly. Podél štěpných trhlin je v plagioklasu charakteristická albitizace projevující se novotvořeným albitem (obr. 12 b) i seritizace se vznikem šupinkatého muskovitu. Z hlediska chemického složení kolísá zastoupení plagioklasů od albitu po oligoklas s obsahem An₀₋₂₅ (obr. 16, tab. 2-4). Analýzy s An₀₋₃ odpovídají mladým plagioklasům vzniklým při albitizaci (obr. 16, tab. 2-4). Bazicita plagioklasů postupně postupně klesá ve směru od okrajové granitické jednotky po plagioklasy v jednotce blokové (obr. 16).

K-živec má bílou až narůžovělou barvu se skelným leskem. Tvoří xenomorfně omezená zrna o velikosti ~ 2 mm v granitické a grafické jednotce, zatímco v blokové jednotce se vyskytují až 10 cm velké krystaly K-živce. Často je zde přítomný jako perthitický K-živec a je zatlačován sekundárním turmalínem (obr. 13 b, d). Směrem k jádru pegmatitu se zastoupení K-živce zvyšuje, a z hlediska chemického složení odpovídá K-živci, který je mírně obohacený o albitovou složku (Ab₄₋₁₅-obr. 16, tab. 2-4). Na K-živec v dutinách často narůstá albit, muskovit, křemen, turmalín a granát.



Obr. 16: Projekce chemických analýz K-živců a plagioklasů z granitické, grafické a blokové jednotky.

Křemen

Křemen je našedlý, téměř průsvitný s matným leskem. Je přítomný ve všech jednotkách pegmatitu. V granitické jednotce se velikost zrn křemene pohybuje kolem 1 cm, v písmenkové jednotce vytváří orientované grafické srůsty s K-živcem. V blokové jednotce tvoří až 5 cm velká zrna. V jádru pegmatitu dosahují masy křemene až 15 cm. V dutině bývá křemen



Obr. 17: Záhněda, velikost vzorku 9 x 6 cm.

v různých odstínech hnědé-záhněda. Tvoří se zde nízce až dlouze sloupcovité krystaly s výrazně vyvinutými prizmaty zakončené romboedry. Sloupcovité krystaly záhněd v dutině narůstají šikmo nebo kolmo k podložkám tvořenými živci (obr. 17).

Turmalíny

Turmalín je běžným minerálem v dutinách pegmatitu. Má silný skelný lesk a černou barvu (obr. 18), v tenkých řezech lze pozorovat barvy nejčastěji v odstínech hnědé až žlutohnědé, jádra pak mají našedlé nebo modravé odstíny (obr. 14 b). sloupcovité až čočkovité Tvoří krystaly. V granitické až po blokovou jednotku se vyskytují krystaly o velikosti ~ 2 mm. V křemenném jádru a dutinách mají velikost až 10 cm. Ve studovaném pegmatitu byly zjištěny dvě generace turmalínů, primární a sekundární.



Obr. 18: Turmalín z dutiny, velikost vzorku 8 x 7 cm.

Primární turmalíny tvoří více čí méně automorfně omezené krystaly. Z hlediska chemického složení se v granitické jednotce pohybují hodnoty Na+K primárních turmalínů v rozmezí od 0,57 do 0,65 apfu (X-pozice je vakantní od 0,28-0,37 apfu), zatímco poměr $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)=0,45-0,59$ apfu (obr. 19, 20, tab. 5).



Obr. 19: Projekce chemických analýz primárních turmalínů v ternárním diagramu obsazené X-pozice.



Obr. 20: Projekce chemických analýz primárních turmalínů v závislosti na poměru $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ a vakance [apfu].

Primární turmalíny v granitické jednotce tak odpovídají svým složením dravitu až skorylu (obr. 20). V grafické jednotce spadají primární turmalíny do pole skorylu s poměrem $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ v rozmezí od 0,55 do 0,75 apfu. Hodnoty Na+K jsou v této jednotce 0,34-0,51 apfu (X-pozice je vakantní od 0,34-0,51 apfu) (obr. 19, 20, tab. 6). Bloková jednotka je typická primárními turmalíny se složením skoryl až foitit s poměrem $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)=0,67-0,69$ apfu. X-pozice primárních turmalínu v blokové jednotce je vakantní od 0,30-0,38 apfu a Na+K=0,56-0,63 apfu (obr. 19, 20, tab. 7). V křemenném jádru kolísá poměr $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ primárních turmalínů od 0,79-0,82 apfu a Na+K se pohybují v hodnotách 0,46-0,56 apfu s X-pozicí vakantní od 0,40 do 0,52 apfu. V této části pegmatitu se jedná o primární turmalíny se složením skoryl-foitit (obr. 19, 20, tab. 8). Primární turmalíny v dutině mají X-pozici vakantní v rozmezí od 0,48-0,59 apfu, zatímco Na+K=0,40-0,50 apfu. V dutině odpovídají svým složením skorylu až foititu (obr. 17, 18, tab. 9). Na základě diagramu Fe-Mg-Al odpovídají primární turmalíny ze všech jednotek foititu, v případě granitické jednotky foititu až magnesio-foititu (obr. 21).



Obr. 21: Projekce chemických analýz primárních turmalínů v ternárním diagramu Feto, Mg a Al.

Sekundární turmalíny vytváří žilky, lemy, zatlačují K-živce a plagioklasy. Tato generace turmalínů byla zjištěna z granitické, grafické a blokové jednotky. V granitické jednotce se pohybuje obsah Na+K sekundárních turmalínů od 0,51 do 0,63 apfu, X-pozice je vakantní od 0,28 do 0,45 apfu. Poměr $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ sekundárních turmalínů v této jednotce odpovídá hodnotám v rozmezí 0,45-0,52 apfu (obr. 22, 23, tab. 5). X-pozice vakantní od 0,26 do 0,45 apfu

s Na+K=0,52-0,67 apfu je typická pro sekundární turmalíny v grafické jednotce. Zde je poměr $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ sekundárních turmalínů od 0,54-0,64 apfu (obr. 22, 23, tab. 6). V blokové jednotce se vyskytují sekundární turmalíny s poměrem $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ v rozmezí od 0,57-0,60 apfu, přičemž Na+K=0,50-0,63 apfu (X-pozice vakantní od 0,31 do 0,47 apfu) (obr. 22, 23, tab. 7). Sekundární turmalíny v granitické, grafické a blokové jednotce svým složením (v závislosti na poměru $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ a vakance) odpovídají skorylu, zatímco vzhledem k diagramu Fe-Mg-Al odpovídají složení foititu (obr. 22, 23).

V primárních i v sekundárních turmalínech byla zjištěna okrajová zóna, která je mírně obohacená o Ca, Mg a Ti (tab. 5-9).



Obr. 22: Projekce chemických analýz sekundárních turmalínů v ternárním diagramu obsazené X-pozice (dole). Projekce chemických analýz sekundárních turmalínů v ternárním diagramu Fe_{tot} , Mg a Al (nahoře).



Obr. 23: Projekce chemických analýz sekundárních turmalínů v závislosti na poměru $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ a vakance [apfu].

Granáty

Granáty tvoří buď izolované krystaly, ale často i jejich skupiny Velikost hnědých nebo červených krystalů je většinou do 5 mm, někdy můžou dosáhnout velikosti až 2 cm. Tvoří krystaly tvaru tetragontrioktaedru s matnými až skelně lesklými plochami, většinou neprůhledné, vzácněji průsvitné. Ve studovaném pegmatitu se granáty vyskytují pouze v dutinách



Obr. 24: Granát. Foto: Radek Kummer, šířka záběru 4 mm.

společně s albitem, záhnědou, muskovitem a turmalínem, mimo dutiny nebyly zjištěny (obr. 24). Granáty jsou zonální a jejich složení kolísá kolem hranice almandin₄₄₋₆₅-spesartin₂₉₋₅₄ (obr. 25, 26 tab. 13). Okraje krystalů granátu jsou mírně obohacené o Mg, Ca, Fe²⁺, zatímco jádra granátů o Sc, Ti a Mn (obr. 25, tab. 13).



Obr. 25: Změna chemického složení v rámci profilu jedním krystalem granátu z dutiny coby obsahy jednotlivých prvků (apfu).



Obr. 26: Ternární diagram almandin-spesartin-ostatní.

Slídy

Slídy jsou běžnými minerály v pegmatitu, ale objemově jsou podřadné. V granitické a grafické jednotce odpovídají svým složením siderofylitu, který vytváří černé, tabulkovité krystaly o velikosti do 1 mm (obr. 27). Obsah Al v siderofylitu granitické jednotky je 1,67 apfu a poměr Mg/(Mg+Fe_{tot}) pak 0,37 apfu, zatímco v grafické jednotce odpovídá tato slída složení Al=2,92 apfu a poměru Mg/(Mg+Fe_{tot})=0,35 apfu (obr. 28, tab. 11).



Obr. 27: Biotit z granitické jednotky, velikost vzorku 3 x 3 cm.



Obr. 28: Projekce chemických analýz biotitu v závislosti na poměru $Mg/(Mg+Fe_{tot})$ a Al [apfu].

V pegmatitu byly také zjištěny ojedinělé, silně chloritizované lupínky biotitu (tab. 12). V turmalínech křemenného jádra se vyskytuje biotit ve formě žilek nebo jako "červíkovitý" biotit v dutině (obr. 14 b, c)

Muskovit je minimálně zastoupen v granitické a grafické jednotce, ve kterých tvoří lupínky do velikosti ~ 1 mm (tab. 12). Nejvíce je zastoupen v dutinách blokové jednotky a křemenného jádra, kde tvoří tence až tlustě tabulkovité krystaly o velikosti od 0,5 cm do 2 cm narůstající na krystaly živců, křemene a turmalínu (obr. 14 d). Má našedlou barvu s perleťovým leskem.

Akcesorické minerály

Apatit má bělavou barvu a tvoří sloupcovité krystaly do 1 cm. V blokové jednotce se vyskytují ojedinělá zrna, avšak nejčastěji se vyskytuje v dutině, kde narůstá na živce (obr. 29).

Zirkon tvoří izometrická zrna s hypautomorfním omezením do 0,1 mm. V grafické jednotce srůstá s xenotimem.

Monazit se vyskytuje v grafické jednotce o velikosti do 50 µm. Byl zjištěn také ze žilky albitu a turmalínu, kde proniká K-živcem Th-Ca bohatý monazit.



Obr. 29: Apatit, velikost krystalu cca 1 cm.

Xenotim byl zjištěn z blokové a grafické jednotky, kde tvoří ojedinělá zrna do 0,1 mm.

Pyrit vytváří v grafické jednotce lem kolem zrn xenotimu.

Rutil je nejméně zastoupeným akcesorickým minerálem, tvoří izometrická zrna do 0,1 mm.

Na základě orientační EDX analýzy při studiu na elektronové mikrosondě byly identifikované jako akcesorické minerály kromě uvedených ještě Sb-As fáze z křemenného jádra spolu s löllingitem do velikosti 100 µm, ryzí Bi do 50 µm. Vzácně byl zjištěn blíže nespecifikovaný Ca-Th fosfát.

5. DISKUZE

Zájmovými minerály z dutinového pegmatitu u Strážku byly živce, slídy, granáty a turmalíny.

Chemické složení plagioklasů se pohybuje od albitu po oligoklas. Vývoj plagioklasů plynule navazuje na složení z okolní ruly, ve směru od kontaktu s rulou k jádru bazicita plagioklasu klesá, nejkyselejší jsou plagioklasy z blokové jednotky. Sodnovápenaté živce, které odpovídají svým složením albitům, jsou nejspíše mladé plagioklasy, vzniklé při albitizaci. Složení K-živce se v jednotlivých jednotkách nijak výrazně nemění. Ve studovaném pegmatitu jsou více zastoupené plagioklasy než K-živce (obr. 30).



Obr. 30: Projekce chemických analýz K-živců a plagioklasů z ruly, granitické, grafické a blokové jednotky.

Složení slíd z ruly, granitické a grafické jednotky odpovídá siderofylitu (obr. 31), v grafické jednotce má siderofylit oproti rule a granitické jednotce nižší obsah Mg a Fe²⁺ (tab. 11). Z grafické jednoty byl analyzován také muskovit, který obsahuje poněkud více Ti, Fe²⁺, Mn, Mg než muskovit z dutiny (tab. 12)



Obr. 31: Projekce chemických analýz biotitu v závislosti na poměru $Mg/(Mg+Fe_{tot})$ a Al [apfu].

Granáty z pegmatitu u Strážku byly zjištěny pouze v dutinách a odpovídají svým složením almandinu až spesartinu, kdy okraje krystalů granátu odpovídají spíše almandinu, zatímco jádra spesartinu (obr. 25, 26). Okraje krystalů granátu jsou mírně obohacené Mg, Ca, Fe^{2+} , zatímco směrem k jádru se jejich obsah snižuje. Opačný vývoj má Mn a stopové prvky jako jsou Sc a Ti, kdy se směrem k jádru zvyšuje obsah těchto prvků (obr. 25).

Byly zjištěny turmalíny dvou generací a to primární, jejichž krystaly byly omezeny více či méně automorfně a sekundární, které tvořily žilky, lemy a zatlačovaly živce. U primárních turmalínů klesá obsah Na+K, Ca a Mg od okrajů do centra pegmatitu, zatímco od granitické jednotky k dutině roste obsah Fe^{2+} , Al (obr. 32 a, b). Podle Fe-Mg-Al diagramu odpovídají primární turmalíny nejblíže Na-bohatému foititu (obr. 32 b). Ve směru od granitické jednotky k dutině narůstají hodnoty poměru $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$, vakance a většina primárních turmalínů tak podle této závisloti odpovídají skorylu (obr. 32 c). Sekundární turmalíny byly zjištěny z granitické, grafické a blokové jednotky a mají nižší obsah vakance, ale vyšší obsahy Na+K než u primárních turmalínů (obr. 32 a). Obsahy Fe^{2+} , Mg a Al se u sekundárních turmalínů nijak výrazně neměnní a podle Fe-Mg-Al diagramu odpovídají podobně jako u primárních turmalínů spíše foititu (obr. 32 b). Poměr $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ a vakance se u sekundárních turmalínů nemění tak výrazně jako u primárních turmalínů a odpovídají svým složením, stejně jako většina primárních turmalínů, skorylu (obr. 32 c). Na primárních i sekundárních turmalínech je přítomna okrajová zóna mírně obohacená o Mg, Ti, Ca. Tyto turmalíny mají tedy jednoduché chemické složení.



Obr. 32: Porovnání primárních a sekundárních turmalínů Strážeckého pegmatitu. A) Projekce chemických analýz primárních a sekundárních turmalínů v ternárním diagramu obsazené X-pozice. B) Projekce chemických analýz primárních a sekundárních turmalínů v ternárním diagramu Fe_{tot}, Mg a Al. C) Projekce chemických analýz primárních a sekundárních turmalínů v závislosti na poměru $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ a vakance [apfu].

Studované primární turmalíny byly porovnány s turmalíny z dutin jiných podobných pegmatitů a muskovitových žil strážeckého moldanubika (obr. 33). Turmalíny z pegmatitu u Strážku jsou svým složením shodné s jinými turmalíny z dutin podobných typů pegmatitů. Vykazují pokles ve vakantní X-pozici, Al a mírné zvýšení obsahu Ca ve směru od jádra k okrajím turmalínů Podobný vývoj mají turmalíny ze Strážku, které jsou navíc mírně obohacené o draslík a dochází u nich také ke snížení vakance s Al a zvýšení obsahu Ca ve směru od dutiny ke granitické jednotce (obr. 33 e, f). Podle Fe-Mg-Al diagramu spadají zóny srovnávaných turmalínů také do pole foititu (obr. 33 f). Hodnoty Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) zón porovnávaných turmalínů se zvyšují od okraje směrem k jádru, stejně jako u turmalínů ze studovaného pegmatitu, kde se zvyšují tyto hodnoty od granitické jednotky k dutině. Vzhledem k poměrům Fetot/(Fetot+Mg) a vakance spadají jádra srovnávaných turmalínů jak do pole skorylu a dravitu, tak do pole foititu a magnesio-foititu, zatímco přechodná zóna a okraje do pole skorylu, dravitu a foititu (obr. 33 a-d). Vývoj těchto závislostí ve studovaných turmalínech je nejvíce podobný vývoji přechodné zóny porovnávaných turmalínů, zatímco nejméně okrajové zóně, která není tak variabilní v poměru Fetot/(Fetot+Mg), avšak většina studovaných turmalínů spadá do pole skorylu, stejně jako většina jednotlivých zón porovnávaných turmalínů (obr. 33 a-d). Minerály se mohou v dutinách vyskytovat také v muskovitových žilách vyplňujících trhliny a poruchy metamorfních hornin strážeckého moldanubika. Tyto žíly jsou často v blízké asociaci s jednoduchými dutinovými pegmatity nebo byly nalezeny přímo v nich. Chemické složení turmalínů z muskovitových žil odpovídá z hlediska diagramu Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) a vakance složením dravitu, výjimečně až magnesio-foititu s výraznou variabilitou v X-pozici. Podle Fe-Mg-Al diagramu spadají do pole magnesio-foititu. Tudíž se už tolik nepodobají turmalínům z pegmatitu, pouze okraje turmalínů z porovnávaných pegmatitů a turmalíny z granitické jednotky mají podobné složení (obr. 33 d-f).



Obr. 33: Porovnání primárních turmalínů ze studovaného pegmatitu s turmalíny z dutin jiných podobných pegmatitů a muskovitových žil strážeckého moldanubika. 1 = jádra turmalínů z dutin jiných podobných pegmatitů, <math>2 = přechodná zóna turmalínů z dutin jiných podobných pegmatitů, 3 = okraje turmalínů z dutin jiných podobných pegmatitů, 4, 5 = turmalíny z muskovitových žil (Gadas et al. 2012). A)-d)=Projekce chemických analýz primárních turmalínů ze studovaného pegmatitu a turmalínů z dutin jiných podobných pegmatitů v závislosti na poměru $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ a vakance [apfu]. E)=Projekce chemických analýz primárních turmalínů ze studovaného pegmatitu a turmalínů z dutin jiných podobných pegmatitů v závislosti na poměru $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ a vakance [apfu]. E)=Projekce chemických analýz primárních turmalínů ze studovaného pegmatitu a turmalínů z dutin jiných pegmatitů v ternárním diagramu obsazené X-pozice, f)= v ternárním diagramu Fe_{tob} Mg a Al.

Studovaný pegmatit ze Strážku je charakteristický jednoduchým minerálním složením a vztahem k okolní hornině (konkordantní uložení, přímý kontakt s rulou), od ostatních podobných pegmatitů strážeckého moldanubika se liší přítomností granátu, který je znám zatím jen z ojedinělých výskytů ve strážeckém moldanubiku. Dalším typickým znakem je vývoj plagioklasů, které plynule navazují na složení plagioklasů z okolní ruly. Turmalíny mají relativně primitivní chemické složení (nízký obsah Li, Mn, F), ale poměrně variabilní Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) vývoj, což je charakteristické spíše pro Al bohaté metamorfované horniny, než pro granitické pegmatity (Novák, 2005) a tudíž je tento znak typický pro anatektické pegmatity. Na druhou stranu vývoj turmalínů v samotném pegmatitu již odpovídá běžnému frakcionačnímu trendu (pokles poměru Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) ve směru od centra k okraji pegmatitu). Avšak i zde je přítomna na turmalínech okrajová zóna mírně obohacená o Mg, Ti, Ca což také odpovídá již studovaným anatektickým dutinovým pegmatitům. Podobně je tomu tak i u granátů, kde se také vyskytuje obohacená okrajová zóna na výše uvedené prvky. Takže jak sekundární turmalíny, tak okrajová zóna turmalínů z křemenného jádra, z dutin a pravděpodobně také okrajová zóna granátů, bude již hydrotermálního původu, tzn., že krystalizace proběhla po utuhnutí taveniny pegmatitu a došlo k otevření systému, kdy Ca a Mg přišlo z okolí. Podobně je tomu tak i u porovnávaných turmalínů z pegmatitů a muskovitových žil. Jádra i přechodné zóny krystalů naznačují změny v médiu, a to přechod od magmatogenního typu jader, k hydrotermálnímu stadiu, což je typické pro okraje turmalínů z pegmatitů a z muskovitových žil. Jádra tedy vznikala pravděpodobně v uzavřeném systému, zatímco okraje krystalizovaly v otevřeném systému z fluid, jejichž složení bylo částečně ovlivněno okolními horninami (zvýšený obsah Ca, Mg) (Gadas et al. 2012).

Studovaný pegmatit ze Strážku tak na základě výše uvedených znaků odpovídá podle Nováka (2005) jiným záhnědovým (anatektickým) pegmatitům strážeckého moldanubika, které krystalizovaly pravděpodobně za nižšího celkového tlaku, v menších hloubkách, v podmínkách vyšší amfibolitové facie. Z hlediska přítomnosti dutin je zde také možný vztah k miarolitovým typům pegmatitů, avšak vzhledem k charakteru studovaného pegmatitu (absence mateřského granitu, přímý kontakt s rulou, konkordantní uložení, difúzní kontakt) nepatří k miarolitovým typům pegmatitů podle klasifikace Černého a Ercita (2005), kde je společným znakem pouze přítomnost dutin. Zájmový pegmatit ze Strážku tak představuje specifický a i celosvětově ojedinělý typ anatektických dutinových pegmatitů.

6. ZÁVĚR

Dutinové pegmatity nebyly dosud plně vědecky zhodnoceny, i přes svou popularitu zejména mezi sběrateli minerálů. Většina autorů se zabývala pouze popisem jednotlivých minerálů, zcela výjimečně popisem celé parageneze, geologické pozice pegmatitu nebo petrografických poměrů.

V této práci byl pomocí optické mikroskopie a elektronové mikrosondy studován dutinový pegmatit ze Strážku, který je intrudován do biotitické ruly s cordieritem. Zájmovými minerály z tohoto pegmatitu byly živce, slídy, granáty a turmalíny. Chemické složení plagioklasů kolísalo od albitu po oligoklas, zatímco složení K-živců se víceméně neměnilo. Většina slíd z tohoto pegmatitu odpovídalo složením siderofylitu a v případě granátů almandinu až spesartinu. Turmalíny zde byly přítomny ve dvojí generaci a to primární a sekundární, kdy krystaly primárních turmalínů byly omezeny automorfně, zatímco sekundární tvořily žilky, lemy a zatlačovaly živce. Obě generace spadaly z hlediska diagramu Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) a vakance nejvíce do pole skorylu a dle Fetot-Mg-Al do pole foititu. Primární turmalíny byly následně porovnány s turmalíny z jiných podobných typů pegmatitů a muskovitových žil strážeckého moldanubika. Většina studovaných turmalínů spadala podle diagramu Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) a vakance do pole skorylu, stejně jako většina jednotlivých zón porovnávaných turmalínů. Oproti tomu chemické složení turmalínů z muskovitových žil odpovídalo z hlediska závislostí Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) a vakance složením dravitu, výjimečně až magnesio-foititu s výraznou variabilitou v X-pozici.

Zájmový pegmatit ze Strážku se tedy vyznačuje jednoduchou asociací minerálů: křemen-záhněda, K-živec, albit, turmalín, muskovit, granát. Dále je pak charakteristický úzkým vztahem k okolním horninám (konkordantní uložení, navazující chemické složení plagioklasů), primitivním složením turmalínů, hojným výskytem granátu v dutinách, absencí mateřského granitu. Strážecký pegmatit tak svým charakterem odpovídá jiným záhnědovým (anatektickým) pegmatitům strážeckého moldanubika, avšak liší se přítomností granátu.

7. POUŽITÁ LITERATURA

Běluša, J. (1999): Kouzlo záhněd. — Čas. Minerál, 7, 1, 8-15.

Breiter K., Ackerman, L., Ďurišová, J. et al. (2014): Trace element composition of quartz from pegmatites of different types: A case study from the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif (Czech Republic). — Mineral Magazine, 78, *703-722*.

Burkart, E. (1953): Moravské nerosty a jejich literatura. — Nakladatelství Československé akademie věd.

Černý, P. (1991): Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. — Geoscience Canada, 18, 2, *49–67*.

Černý, P., Ercit, T. S. (2005): The classification of granitic pegmatites revisited. — The Canadian mineralogist, 43, 2005-2026.

Demek, J., Balatka, B., Cibulková, P. et al. (2006): Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny, 2. vydání. — Agentura ochrany přírody a krajiny ČR.

Dvorský, F. (1898): O předních nalezištích nerostů na západní Moravě. — Annales Musei Franciscae, *91-106*.

Estner, abbé (1797): Versuch einer Mineralogie für Anfänger u. Liebhaber. — Wien, Oehler, J. G., I Bd. 1794, II/1 Bd. 1796, II/2 Bd.

Fišerová, R., Dolníček, Z. (2014): Fluidní systémy v záhnědách z dutinových pegmatitů od Krásněvsi (strážecké moldanubikum). — Bull. Mineralog. - petrol. Odd. Národního muzea.

Gadas, P., Novák, M., Staněk, J. (2012a): Dutinové turmalíny pegmatitů a muskovitických žil strážeckého moldanubika. — Čas. Minerál, 20, 5, *410-415*.

Gadas, P., Novák, M., Staněk, J. et al. (2012b): Compositional evolution of zoned turnaline crystals from pockets in commnom pegmatites of the moladanubium zone, Czech Republic. — The Canadian mineralogist, 50, 895-912.

Gadas, P., Hrazdil, V., Novák, M., et al. (2014): Minerály dutin jednoduchých pegmatitů a je doprovázejících muskovitových žil strážeckého moldanubika, Česká republika. — Acta Musei Moraviae, Sci. Geol., 99, 2, 49-71.

Halavínová, M., Přichystal, A. (2008): Fluid inclusion characteristics of rock crystal sources from the Bohemian-Moravian Highlands. In: Přichystal A., Krmíček L., Halavínová M., (eds.):
Petroarchaeology in the Czech Republic and Poland at the beginning of the 21st century, 67-73.
Ústav geologických věd PřF MU a Moravské zemské muzeum.

Hájek, J., Staňková, J. (1970): Drobná tektonika a petrografie pegmatitů z Bobrůvky u Velkého Meziříčí. — Vlast. Sbor. Vysočiny, 6, *33-43*.

Hrazdil, V., Konečný, P. (1999): Skoryl-dravit z pegmatitů strážeckého moldanubika. — Čas. Minerál, 7, 4, *304-306*.

Hruschka, W. (1826): Vorkommen einiger mährischen Fossilien. — Mittheilungen d. k. k. m. schl. Gesell.

Kolenati, F. A. (1854): Die Mineralien Mährens und Osterr. Schlesiens. — Brünn.

Kruťa, T. (1966): Moravské nerosty a jejich literatura 1940–1965. — Moravské museum.

London, D. (2005): Granitic pegmatites: an assessment of current concepts and directions for the future. — Lithos, 80, 281 - 303.

London, D. (2008): Pegmatites. — The Canadian mineralogist, special publication 10.

London, D. (2009): The origin of primary textures in granitic pegmatites. — The Canadian mineralogist, 47, 4, 697-724.

Milata, F. (1936): Albit z Bobrůvky (u Vel. Meziříčí) a od Písku ("U Obrázku"). Příroda, 29, 1-5.

Mísař, Z., Dudek, A., Havlena, V. et al. (1983): Geologie ČSSR I. Český masív. — Statní pedagogické nakladatelství.

Mrázek, I., Rejl, L. (1991): Drahé kameny Českomoravské vrchoviny. — Muzejní a vlastivědná společnost.

Mrázek, I., Rejl, L. (2010): Drahé kameny Moravy a Slezska. — Nakl. Aventinum.

Nabelek P., Whittington A. G., Sirbescu C. (2009): The role H_2O in rapid emplacement and crystallization of granite pegmatites: resolving the paradox of large crystals in highly undercooled melts. — Contrib. Mineral. Petrol., 3, *313-325*.

Němec, D. (1992): Pegmatity s drúzovými dutinami západomoravského krystalinika. — Přírod. Sbor. Západomorav. Muz. Třebíč, 18, *13-22*.

Novák, M. (2005): Granitické pegmatity Českého masivu (Česká republika); mineralogická, geochemická a regionální klasifikace a geologický význam. — Acta Mus. Moraviae. Sci. geol., 90, 3-74.

Novák, M., Povondra, P., Selway, J. B. (2004): Schorl-oxy-schorl to dravite tourmaline from granitic pegmatites; examples from the Moldanubicum, Czech Republic. — Eur. J. Mineral., 16, *323-333*.

Novák, M., Jilemnická, L. (1988): Ilmenite from pegmatites of Western Moravia. — Čas. Mineral. geol., 33, 411-417.

Owen, J. V., Dostál, J. (1996): Prograde metamorphism and decompression of the Gföhl gneiss, Czech Republic. — Lithos, 38, *259*—*270*.

Rosický, V. (1937): O výskytu turmalínu v horninách. — Čas. Vlast. Spol. mus. v Olomouci, 50, 13-23.

Sekanina, J. (1928): Nerosty moravských pegmatitů. — Moravské zemské muzeum.

Sekanina, J. (1945): Pneumatolyticko-hydrotermální nerostné žíly u Horních Borů. — SbKPT, 4, 8*1*-87.

Slavík, F. (1901): Mineralogické zprávy ze západní Moravy. — Rozpravy České akademie věd a umění (II. třída), 10, 8, *1-10*.

Schulmann, K., Kröner, A., Hegner, E. et al. (2005): Chronological contraints on the preorogenic history, burial and exhumation of deep-seated rocks along the eastern margin of the Variscan orogen, Bohemian Massif, Czech Republic. — Amer. J. Sci., 205, 407-448.

Simmons, W. B., Weber, K. L. (2008): Pegmatite genesis state of the art. — Eur. J. Mineral., 20, 421-438.

Slavík, F. (1903): Příspěvky k nerostopisu moravskému. – Čas. Matice moravské, 27, 46.

Slavík, F. (1904): Mineralogické zprávy ze západní Moravy II. Turmalin z Cyrilova u Vel. Meziříčí. — Rozpravy České akademie věd a umění (II. třída), 13, 35, *1-10*.

Svoboda, J., Beneš, K., Dudek, A. et al. (1964): Regionální geologie ČSSR. Díl I. Český masív. Svazek 1. Krystalinikum. — Nakladatelství Československé akademie věd.

Staněk, J. (1959): Problematika pegmatitového procesu a přehled výzkumů moravských pegmatitů. — Disertační práce.

Staněk, J. (1981): Pegmatity Moravy. In Bernard, J. H. a kol.: Mineralogie Československa. — Československá akademie věd.

Staněk, J. (1983): Drahé kameny moravských pegmatitů. — Hornická Příbram ve vědě a technice, 131-137.

Staněk, J. (1986): Paragenezis mineralov miarolovych pegmatitov Zapadnoj Moravii, Čechoslovakija. — Proceedings of the General Meeting of IMA, Varna 1982, *403-410*.

Staněk, J. (1999): Záhnědy z dutinových pegmatitů západní Moravy. — Čas. Minerál, 7, 1, 16-18.

Stárková, I., Veselá, M., Moupic, Z. et al. (1993): Příspěvky k problematice západomoravského krystalinika. — In Přichystal, A., et al.: Geologie Moravy a Slezska, *15-30*.

Štípská, P., Schulmann, K. (1995): Inverted metamorphic zonation in a basement-derived nappe sequeence, eastern margin of the Bohemian Massif. — Geol. J., 30, *385-413*.

Tajčmanová, L., Konopásek, J., Schulmann, K. (2006): Thermal evolution of orogenic lower crust during exhumation within a thickened Moldanubian root of Variscan belt of Central Europe. — J. metamorphic Geol. 24, *119-134*.

Ulrich, F. (1922): Brookit z Bobrůvky. – Rozpravy České akademie věd a umění (II. třída), 31, 8, *1-4*.

Ulrich, F. (1923): Poznámky k mineralogii západní Moravy. — Čas. Morav. zem. muzea, 20/21, *184-188*.

Venera, Z. (1997): Geologické, petrologické a strukturní poměry ložiska Rožná. In: Kříbek, B (ed.): Strukturní, hydrogeologické a geochmické zhodnocení horninového prostředí ložiska Rožná s ohledem na uložení odkalištních vod. — MS archiv GEAM Dolní Rožínka.

Weber, A. (1944): Nerosty z nového lomu u Horních Borů. — Vesmír, 22, 109-111.

Whittington, A. G., Bouhifd, M. A., Rochet, P. (2009): The viskosity of hydrous NaAlSi₃O₈ and granitic melts: configurational entropy models. — Am. Mineral., 94, *1-16*.

Zagorsky, V. Ye., Makagon, V. M., Shmakin, B. M. (2003): Systematics of granitic pegmatites. — Russian Geology and Geophysics, 44, 5, 422-435.

Zrůstek, V. (1967): Geologie širšího okolí Nového Města na Moravě. — Rigorózní práce.

Zrůstek, V. (1973): Prognózní ocenění ČSSR na uran, oblast č. 22 – žďárské moldanubikum. Geologická stava a perspektivy rozšíření uranu v oblasti žďársko-strážeckého moldanubika. – MS archiv, o. z. GEAM Dolní Rožínka.

Zrůstek, V. (1977): Geologická zpráva a perspektivy výskytu uranu ve východní části moldanubika. – MS archiv, o. z. GEAM Dolní Rožínka.

Elements.geoscienceworld.org, (2014): Zonální stavba pegmatitu [obrázek]. — Online: http://elements.geoscienceworld.org/content/8/4/257/F5.large.jpg, 21. 8. 2014.

Mapy. geology. cz (2015): Topografická mapa 1 : 15 000. — Online: http://mapy.geology.cz/geocr_50/, 12. 3. 2015.

Mapy. geology. cz (2015): Geologická mapa 1 : 15 000. — Online: http://mapy.geology.cz/geocr_50/, 12. 3. 2015.

granitická jednotka rula 1/1. 2/1. 3/1. 4/1. 5/1. 6/1. 10/1. 11/1. 12/1. 13/1. 14/1. 15/1. 16/1. 17/1. 21/1. 22/1. č.analýzy 0,09 0,00 0,08 0,10 0,11 0,16 P₂O₅ wt. % 0,00 0,00 0,08 0,00 0,00 0,06 0,00 0,07 0,00 0,00 60,98 60,24 61,03 64,14 60,71 63,13 SiO₂ 61,59 60,78 61,04 60,79 66,93 64,29 63,62 63,65 61,60 62,45 24,76 24,53 24,57 24,41 18,83 18,59 Al_2O_3 24,01 23,87 18,61 18,77 18,52 23,72 22,98 23,85 23,57 20,12 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 Fe₂O₃ 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,11 0,00 0,00 6,02 5,84 0,00 0,00 6,14 5,93 5,07 CaO 4,93 5,14 4,96 0,05 0,00 0,00 4,23 5,40 0,71 0,00 0,00 0,00 0,00 0,79 1,05 0,00 BaO 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,28 0,27 0,52 0,00 7,97 8,16 8,04 8,18 1,17 1,30 Na₂O 8,37 11,35 1,53 0,43 8,20 8,79 8,37 8,37 8,47 1,70 0,24 0,30 0,25 14,72 14,62 0,36 K₂O 14,46 14,39 16,07 0,34 0,53 0,45 0,54 0,30 0,08 0,54 0,10 0,08 0,08 0,00 0,08 0,00 Rb₂O 0,08 0,10 0,08 0,00 0,11 0,00 0,00 0,00 0,07 0,13 100,10 99,93 99,32 99,89 99,76 98,85 Total 99,82 98,63 99,12 98,10 99,30 99,28 98,75 99,37 99,22 98,91 0,000 0,003 0,004 0,004 0,006 0,003 0,003 P apfu 0,000 0,000 0,003 0,000 0,000 0,003 0,000 0,000 0,000 2,699 2,714 2,699 2,716 2,972 2,963 Si 2,743 2,736 2,737 2,748 2,954 2,982 2,970 2,975 2,755 2,794 1,286 1,297 1,280 1,028 1,028 1,297 Al³⁺ 1,252 1,274 1,261 1,256 1,047 1,017 1,033 1,020 1,250 1,211 0,000 0,000 0,000 0,000 0,000 0,000 Fe²⁺ 0,000 0,000 0,000 0,000 0,000 0,000 0,000 0,004 0,000 0,000 0,292 0,283 0,289 0,279 0,000 0,000 Ca 0,258 0,238 0,247 0,240 0,034 0,003 0,000 0,000 0,243 0,203 0,000 0,000 0,000 0,000 0,014 0,019 0,000 Ва 0,000 0,000 0,000 0,000 0,005 0,005 0,010 0,000 0,000 0,704 0,698 0,705 0,105 0,118 0,687 Na 0.723 0,730 0,728 0.743 0.971 0.137 0,154 0,039 0.711 0,763 0,021 0,014 0,017 0,014 0,870 0,875 К 0,030 0,026 0,031 0,856 0,857 0,958 0,031 0,020 0,018 0,004 0,002 0,003 0,002 0,002 0,000 0,000 Rb 0,002 0,003 0,002 0,000 0,003 0,000 0,000 0,000 0,002 0,004 68,7 69,5 70,6 10,8 70,4 11,9 Ab mol. % 71,5 73,5 72,4 74,2 96,2 13,8 15,2 3,9 72,2 77,4 29,2 28,3 28,8 27,9 0,0 0,0 An 25,5 23,9 24,6 24,0 24,7 20,6 3,3 0,3 0,0 0,0 1,7 2,1 1,4 1,4 89,2 88,1 Kfs 3,0 3,1 1,8 84,8 2,0 2,6 0,4 86,0 96,1 3,1

Tab. 1: Mikrosondové analýzy a přepočty živců z ruly.

č.analýzy

P₂O₅ wt. %

SiO₂

 AI_2O_3

 Fe_2O_3

CaO

BaO

Na₂O

 K_2O

Rb₂O

Total

P apfu

Si

Al³⁺

Fe²⁺

Ca

Ва

Na

Κ

Rb

Ab mol. %

An

Kfs

Tab. 2: Mikrosondové analýzy a přepočty živců z granitické jednotky.

		8	rafická jedr	notka						bld	oková jedn	otka			
č.analýzy	52/1.5	9/1.6	0/1. 6	1/1. 63	3/1.	č.analýzy	30/1. 31/:	1. 32	!/1. 33	3/1. 34	/1. 35	/1. 38	3/1.42	/1.46	/1.
P ₂ O ₅ wt. %	0,20	0,14	0,17	0,11	0,38	P ₂ O ₅ wt. %	0,10	0,08	0,14	0,13	0,19	0,10	0,06	0,12	0,10
SiO ₂	64,30	64,99	65,03	68,81	64,17	SiO ₂	64,32	64,59	67,61	66,57	66,06	64,92	63,79	64,63	63,94
۵l ₂ O ₃	18,62	21,76	21,98	19,56	18,69	AI ₂ O ₃	18,41	18,48	20,48	20,03	21,00	21,96	22,39	21,34	21,97
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	00'0	0),00	0,04	Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	00'0	00'0	00′0	0,00	00'0	00′0	00'0
caO	00'0	2,58	2,71	0,11	00'0	CaO	00'0	0,00	0,59	0,65	1,72	2,44	3,21	2,16	2,88
BaO	0,00	00'0	00'0	00'0	00'0	BaO	0,00	0,00	0,00	00'0	00'0	0,00	00'0	00′0	00'0
Na ₂ O	1,41	9,73	9'76	11,58	1,32	Na ₂ O	1,25	1,35	11,47	11,27	10,75	10,41	9,42	10,07	9,73
K ₂ 0	14,81	0,66	0,74	0,19	14,83	K ₂ O	14,75	15,05	0,14	0,13	0,22	0,27	0,55	0,33	0,48
Rb ₂ O	0,00	0,11	0,07	0,13	00'0	Rb_2O	0,00	0,00	0,10	0,10	0,13	0,11	0,10	0,12	0,10
Fotal	99,33	96'66	100,47	100,50	99,44	Total	98,82	99,55	100,53	98,88	100,06	100,21	99,53	98,78	99,20
o apfu	0,008	0,005	0,006	0,004	0,015	P apfu	0,004	0,003	0,005	0,005	0,007	0,004	0,002	0,005	0,004
2	2,978	2,866	2,856	2,993	2,968	Si	2,992	2,988	2,946	2,949	2,902	2,857	2,831	2,879	2,845
۹۱ ³⁺	1,016	1,131	1,138	1,003	1,019	Al ³⁺	1,009	1,008	1,052	1,046	1,087	1,139	1,171	1,120	1,152
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	000'0	0,002	Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,122	0,127	0,005	0,000	Ca	0,000	0,000	0,028	0,031	0,081	0,115	0,153	0, 103	0,137
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,126	0,832	0,831	0,977	0,119	Na	0,113	0,121	0,969	0,968	0,916	0,888	0,811	0,870	0,839
×	0,875	0,037	0,042	0,011	0,875	×	0,875	0,888	0,008	0,008	0,012	0,015	0,031	0,019	0,027
Rb	0,000	0,003	0,002	0,004	0,000	Rb	0,000	0,000	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003
Ab mol. %	12,6	84,0	83,1	98,4	11,9	Ab mol. %	11,4	12,0	96,5	96,2	90,8	87,2	81,5	87,7	83,6
An	0'0	12,3	12,7	0,5	0,0	An	0'0	0'0	2,7	3,1	8,0	11,3	15,3	10,4	13,7
Kfs	87,4	3,7	4,2	1,1	88,1	Kfs	88,6	88,0	0,8	0,7	1,2	1,5	3,2	1,9	2,7
Tab. 3 : A	Aikrosonu	łové an	alýzy a p	ňepočty	_	Tab. 4: N	Aikrosondo	vé analý	zy a pře	spočty ži	vců z bl	okové je	ednotky.		

Tab. 3: Mikrosondové analýzy a přepočty živců z grafické jednotky.

2 uvyzy a přepočty ž.

	1		grannicka	Гјешнотка					
č.analýzy	18/1.	19/1.	20/1.	24/1.	25/1.	26 / 1 .	27/1.	28/1.	29/1.
SiO ₂ wt. %	35,33	35,50	35,28	34,72	35,06	35,31	35,80	35,11	35,44
TiO ₂	0,61	0,34	0,82	0,94	0,81	0,97	0,49	0,73	0,82
AI_2O_3	34,23	35,03	34,13	34,50	34,53	33,86	34,75	34,63	34,30
FeO	8,48	8,00	7,98	7,49	7,74	7,63	7,53	9,19	8,03
MnO	0,00	0,14	0,00	0,06	0,09	0,00	0,10	0,09	0,12
MgO	4,36	4,25	4,92	5,10	5,00	5,32	4,93	3,57	4,55
CaO	0,39	0,24	0,52	0,51	0,43	0,53	0,41	0,39	0,45
Na ₂ O	1,75	1,59	1,98	1,91	2,03	1,93	1,88	1,76	1,87
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,06	0,00	0,00
F	0,19	0,09	0,17	0,15	0,09	0,17	0,10	0,12	0,11
$B_2O_3^*$	10,48	10,53	10,54	10,51	10,56	10,55	10,63	10,48	10,54
H ₂ O*	3,53	3,59	3,56	3,56	3,60	3,56	3,62	3,56	3,59
O=F	-0,08	-0,04	-0,07	-0,06	-0,04	-0,07	-0,04	-0,05	-0,05
Total	99,27	99,26	99,83	99,42	99,90	99,80	100,25	99,58	99,77
Si apfu	5,857	5,862	5,816	5,740	5,772	5,817	5,855	5,822	5,841
^{IV} AI	0,143	0,138	0,184	0,260	0,228	0,183	0,145	0,178	0,159
В	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
7									
² AI	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
×									
'AI	0,544	0,679	0,447	0,463	0,472	0,391	0,553	0,590	0,504
Ti = 2+	0,076	0,042	0,102	0,117	0,100	0,120	0,060	0,091	0,102
Fe ^r '	1,176	1,105	1,100	1,036	1,066	1,051	1,030	1,274	1,107
Mg	1,077	1,046	1,209	1,257	1,227	1,307	1,202	0,883	1,118
Mn	0,000	0,020	0,000	0,008	0,013	0,000	0,014	0,013	0,017
0.	0.000	0.040	0.000	0.000	0.070	0.004	0.070	0.000	0.070
Ca	0,069	0,042	0,092	0,090	0,076	0,094	0,072	0,069	0,079
Na	0,562	0,509	0,633	0,612	0,648	0,616	0,596	0,566	0,598
ĸ	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,008	0,013	0,000	0,000
vac	0,369	0,449	0,275	0,290	0,276	0,282	0,319	0,365	0,323
	3,900	3,953	3,911	3,922	3,953	3,911	3,948	3,937	3,943
F	0,100	0,047	0,089	0,078	0,047	0,089	0,052	0,063	0,057

granitická jednotka

Tab. 5: Mikrosondové analýzy a přepočty turmalínů z granitické jednotky.

				ß	rafická jedi	notka								
č.analýzy	48 / 1 . 46	9/1. 5	0/1.5	1/1. 5:	3/1. 5-	4/1. 55	5/1. 56	11. 57	7/1. 58	/1.62	./1.64	./1. 65	66.	/1.
SiO2 wt. %	35,92	35,98	35,72	36,63	36,11	34,93	35,1	34,68	35,71	35,53	35,74	35,06	35,42	35,64
TIO ₂	0,48	0,55	0,64	0,25	0,21	0,77	0,94	0,99	1,04	0,98	0,84	0,95	1,03	1,12
AI ₂ O ₃	34,68	34,92	34,56	35,09	35,38	34,24	34,86	34,01	33,7	34,21	32,94	34,01	34,25	33,22
FeO	9,69	9,74	10,22	8,81	10,97	11,95	9,4	11,13	9,26	9,52	9,54	11,06	10,32	9,95
MnO	0,08	0,13	0,15	0,18	0,22	0,22	0,12	0,16	0,11	0,11	0,16	0,17	0,13	0,11
MgO	3,56	3,65	3,25	3,73	2,36	2,22	3,77	2,77	4,25	3,98	4,55	2,63	3,38	4,26
CaO	0,32	0,35	0,4	0,17	0,12	0,32	0,29	0,38	0,44	0,38	0,47	0,33	0,39	0,44
Na ₂ O	1,93	1,81	1,83	1,61	1,45	1,69	1,78	1,84	1,8	1,87	1,99	1,84	1,83	2,06
K ₂ O	0	0	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0	0,05	0	0,06	0,04	0,05	0,05
Ц	0.13	0.11	0.12	0.14	0.08	0.14	0.17	0.18	0.15	0.16	0.23	0.16	0.12	0.16
B,O,*	10.61	10.67	10.59	10.68	10.61	10.43	10.56	10.41	10.57	10.59	10.52	10.44	10.57	10.57
, °с, Ч	3.6	3,63	3.6	3.62	3.62	3.53	3.56	3.51	3.58	3.58	3.52	3.53	3.59	3.57
ЦЩС	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.03	-0.06	-0.07	-0.08	-0.06	-0.07	- 1	-0.07	-0.05	-0.07
Total	100.94	101.49	101.06	100.9	101.13	100.44	100.53	99,98	100.59	100.83	100.47	100.15	101.02	101.08
	-		201	2000		- - -	00,000	000	20,000	200		2		201
Si apfu	5,884	5,863	5,864	5,962	5,917	5,820	5,776	5,790	5,872	5,834	5,903	5,837	5,826	5,862
INAI	0,116	0,137	0,136	0,038	0,083	0,180	0,224	0,210	0,128	0, 166	0,097	0,163	0,174	0,138
В	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
١٩	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
[∨] AI	0,579	0,570	0,550	0,693	0,749	0,543	0,536	0,482	0,404	0,454	0,315	0,511	0,466	0,302
Ħ	0,059	0,067	0,079	0,031	0,026	0,096	0,116	0,124	0,129	0,121	0,104	0,119	0,127	0,139
Fe ²⁺	1,327	1,327	1,403	1,199	1,503	1,665	1,294	1,554	1,274	1,307	1,318	1,540	1,420	1,369
Mg	0,869	0,887	0,795	0,905	0,576	0,551	0,925	0,689	1,042	0,974	1,120	0,653	0,829	1,045
Mn	0,011	0,018	0,021	0,025	0,031	0,031	0,017	0,023	0,015	0,015	0,022	0,024	0,018	0,015
Ca Ca	0.056	0.061	020.0	0.030	0.021	0.057	0.051	0.068	0.078	0.067	0.083	0.059	0.069	0.078
Na Na	0.613	0.572	0.582	0.508	0 461	0.546	0.568	0.596	0.574	0.595	0.637	0 594	0.584	0.657
	0,000	0.000	0.008	0.010	0.008	0.011	0.010	0.000	0.010	0.000	0.013	0.008	0.010	0.010
vac	0,331	0,367	0,340	0,452	0,510	0,386	0,371	0,336	0,338	0,338	0,267	0,339	0,337	0,255
НО	3,933	3,943	3,938	3,928	3,959	3,926	3,912	3,905	3,922	3,917	3,880	3,916	3,938	3,917
ц	0,067	0,057	0,062	0,072	0,041	0,074	0,088	0,095	0,078	0,083	0,120	0,084	0,062	0,083

•

Tab. 6: Mikrosondové analýzy a přepočty turmalínů z grafické jednotky.

			bloková j	ednotka				
č.analýzy	36/1.	37/1.	39/1.	40/1.	41/1.	43/1.	44/1.	45/1.
SiO ₂ wt. %	35,52	35,32	34,48	34,66	35,67	35,07	35,32	35,13
TiO ₂	0,69	0,44	0,86	0,83	0,74	0,71	0,23	0,55
AI_2O_3	33,88	35,06	34,12	33,97	34,56	33,41	35,06	34,93
FeO	9,89	9,27	10,72	10,90	10,75	11,39	9,16	9,23
MnO	0,12	0,08	0,12	0,20	0,21	0,13	0,09	0,09
MgO	4,11	3,85	2,74	2,97	2,87	3,11	3,47	3,80
CaO	0,40	0,34	0,35	0,44	0,34	0,39	0,17	0,34
Na ₂ O	1,98	1,87	1,69	1,93	1,83	1,80	1,54	1,98
K ₂ O	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,16	0,14	0,13	0,20	0,14	0,16	0,07	0,09
$B_2O_3^*$	10,56	10,57	10,34	10,41	10,58	10,41	10,47	10,54
H ₂ O*	3,57	3,58	3,51	3,50	3,58	3,51	3,58	3,59
O=F	-0,07	-0,06	-0,05	-0,08	-0,06	-0,07	-0,03	-0,04
Total	100,81	100,52	99,05	99,92	101,21	100,02	99,13	100,24
Si apfu	5,848	5,806	5,795	5,789	5,860	5,857	5,865	5,793
™AI	0,152	0,194	0,205	0,211	0,140	0,143	0,135	0,207
В	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
^z Al	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
v								
'AI	0,422	0,598	0,554	0,476	0,551	0,433	0,726	0,581
Ti	0,085	0,054	0,109	0,104	0,091	0,089	0,029	0,068
Fe²⁺	1,362	1,274	1,507	1,523	1,477	1,591	1,272	1,273
Mg	1,009	0,943	0,687	0,740	0,703	0,774	0,859	0,934
Mn	0,017	0,011	0,017	0,028	0,029	0,018	0,013	0,013
Ca	0,071	0,060	0,063	0,079	0,060	0,070	0,030	0,060
Na	0,632	0,596	0,551	0,625	0,583	0,583	0,496	0,633
ĸ	0,000	0,010	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
vac	0,297	0,334	0,375	0,296	0,357	0,347	0,474	0,307
он г	3,917	3,927	3,931	3,894	3,927	3,915	3,963	3,953
F	0,083	0,073	0,069	0,106	0,073	0,085	0,037	0,047

Tab. 7: Mikrosondové analýzy a přepočty turmalínů z blokové jednotky.

				křemen	né jádro				
č.analýzy	69/1.	70/1.	71/1.	72/1.	73/1.	74/1.	76/1.	77/1.	78/1.
SiO ₂ wt. %	35,88	35,85	34,95	35,22	35,03	34,72	35,95	35,15	34,81
TiO ₂	0,19	0,19	0,24	0,24	0,44	0,58	0,2	0,66	0,63
AI_2O_3	35,24	35,41	35,58	35,62	34,75	34,66	35,65	34,63	35,01
FeO	11,13	11,1	10,89	11,11	11,76	11,92	11,03	11,32	12,01
MnO	0,16	0,14	0,13	0,12	0,17	0,15	0,16	0,11	0,16
MgO	1,66	1,68	1,69	1,67	1,71	1,62	1,65	1,78	1,51
CaO	0,11	0,1	0,11	0,13	0,21	0,23	0,1	0,26	0,25
Na ₂ O	1,44	1,48	1,46	1,43	1,68	1,52	1,47	1,57	1,68
K ₂ O	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,07
F	0,06	0	0,07	0,1	0,08	0,12	0,06	0,11	0,16
$B_2O_3^*$	10,49	10,5	10,39	10,44	10,4	10,34	10,54	10,39	10,42
H ₂ O*	3,59	3,62	3,55	3,55	3,55	3,51	3,61	3,53	3,52
O=F	-0,03	0	-0,03	-0,04	-0,03	-0,05	-0,03	-0,05	-0,07
Total	99,98	100,07	99,03	99,59	99,74	99,33	100,39	99,47	100,16
Si apfu	5,947	5,933	5,848	5,863	5,857	5,834	5,928	5,877	5,808
™AI	0,053	0,067	0,152	0,137	0,143	0,166	0,072	0,123	0,192
В	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
_									
^z Al	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
~									
'AI	0,831	0,840	0,864	0,851	0,704	0,697	0,856	0,701	0,693
Ti	0,024	0,024	0,030	0,030	0,055	0,073	0,025	0,083	0,079
Fe ²⁺	1,543	1,536	1,524	1,547	1,644	1,675	1,521	1,583	1,676
Mg	0,410	0,415	0,422	0,414	0,426	0,406	0,406	0,444	0,376
Mn	0,022	0,020	0,018	0,017	0,024	0,021	0,022	0,016	0,023
Ca	0,020	0,018	0,020	0,023	0,038	0,041	0,018	0,047	0,045
Na	0,463	0,475	0,474	0,462	0,545	0,495	0,470	0,509	0,544
К	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015
vac	0,504	0,507	0,506	0,515	0,417	0,464	0,512	0,444	0,396
он	3,969	4,000	3,963	3,947	3,958	3,936	3,969	3,942	3,916
F	0,031	0,000	0,037	0,053	0,042	0,064	0,031	0,058	0,084

Tab. 8: Mikrosondové analýzy a přepočty turmalínů z křemenného jádra.

F	1				dutina				
č.analýzy	79/1.	80/1.	81/1.	82/1.	83/1.	84/1.	85/1.	86 / 1 .	87/1.
SiO ₂ wt. %	35,42	35,38	34,79	34,67	35,08	34,85	34,93	34,72	35,2
TiO ₂	0,24	0,24	0,41	0,75	0,41	0,58	0,25	0,24	0,25
AI_2O_3	35,53	35,43	35,15	34,72	35,62	35,03	35,56	35,36	35,76
FeO	13,19	13,24	12,87	13,29	12,84	13,39	13,19	13,1	13,2
MnO	0,34	0,35	0,37	0,35	0,37	0,4	0,34	0,33	0,29
MgO	0,58	0,53	0,65	0,48	0,45	0,38	0,56	0,55	0,5
CaO	0,07	0,05	0,08	0,09	0,06	0,11	0,06	0,06	0,07
Na ₂ O	1,3	1,25	1,47	1,5	1,31	1,49	1,35	1,32	1,31
K ₂ O	0	0	0	0,07	0	0	0	0	0
F	0,15	0,12	0,15	0,16	0,15	0,15	0,12	0,11	0,16
$B_2O_3^*$	10,47	10,44	10,35	10,33	10,41	10,37	10,4	10,34	10,45
H_2O^*	3,54	3,55	3,5	3,49	3,52	3,51	3,53	3,51	3,53
O=F	-0,06	-0,05	-0,06	-0,07	-0,06	-0,06	-0,05	-0,05	-0,07
Total	100,76	100,53	99,73	99,83	100,16	100,19	100,24	99,59	100,66
Si apfu	5,882	5,889	5,842	5,835	5,854	5,841	5,836	5,838	5,852
™AI	0,118	0,111	0,158	0,165	0,146	0,159	0,164	0,162	0,148
В	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
ZAI	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
~									
[°] AI	0,836	0,840	0,799	0,722	0,860	0,761	0,839	0,845	0,859
Ti	0,030	0,030	0,052	0,095	0,051	0,073	0,031	0,030	0,031
Fe ²⁺	1,832	1,843	1,807	1,871	1,792	1,877	1,843	1,842	1,835
Mg	0,144	0,132	0,163	0,120	0,112	0,095	0,139	0,138	0,124
Mn	0,048	0,049	0,053	0,050	0,052	0,057	0,048	0,047	0,041
Ca	0,012	0,009	0,014	0,016	0,011	0,020	0,011	0,011	0,012
Na	0,419	0,403	0,479	0,489	0,424	0,484	0,437	0,430	0,422
к	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
vac	0,569	0,588	0,507	0,480	0,565	0,496	0,552	0,559	0,566
OH _	3,921	3,937	3,920	3,915	3,921	3,920	3,937	3,942	3,916
F	0,079	0,063	0,080	0,085	0,079	0,080	0,063	0,058	0,084

Tab. 9: Mikrosondové analýzy a přepočty turmalínů z dutiny.

č.analýzy	96 / 1 .	97/1.	98/1.	99 / 1 .	100/1.	101 / 1 .	102 / 1 .	103 / 1 .	104 / 1 .
SiO ₂ wt. %	35,18	34,44	34,89	35,05	34,64	34,16	34,16	35,12	35,81
TiO ₂	0,23	0,79	1,04	0,22	0,75	0,89	0,23	0,98	0,98
Al ₂ O ₃	35,48	35,04	33,38	35,08	34,82	35,38	35,75	33,43	33,75
FeO	12,74	13,13	9,04	12,98	13,21	12,89	13,26	9,51	9,3
MnO	0,35	0,32	0,15	0,35	0,4	0,36	0,37	0,1	0,09
MgO	0,69	0,76	4,17	0,47	0,56	0,63	0,33	3,96	3,96
CaO	0,05	0,1	0,27	0,07	0,08	0,13	0,07	0,24	0,23
Na ₂ O	1,4	1,52	1,84	1,29	1,54	1,71	1,36	2,02	2,05
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0,1	0,16	0,22	0,12	0,17	0,17	0,15	0,2	0,19
$B_2O_3^{*}$	10,42	10,36	10,38	10,33	10,34	10,36	10,3	10,43	10,55
H_2O^*	3,55	3,5	3,48	3,51	3,49	3,49	3,48	3,5	3,55
O=F	-0,04	-0,07	-0,09	-0,05	-0,07	-0,07	-0,06	-0,08	-0,08
Total	100,14	100,05	98,77	99,42	99,93	100,1	99,4	99,4	100,38
Si <i>apfu</i>	5,871	5,780	5,842	5,897	5,822	5,731	5,766	5,855	5,898
^{IV} AI	0,129	0,220	0,158	0,103	0,178	0,269	0,234	0,145	0,102
В	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
7									
² AI	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Y									
'Al	0,849	0,711	0,429	0,853	0,720	0,727	0,878	0,423	0,449
Ti = 2+	0,029	0,100	0,131	0,028	0,095	0,112	0,029	0,123	0,121
Fe	1,778	1,843	1,266	1,826	1,857	1,809	1,872	1,326	1,281
Mg	0,172	0,190	1,041	0,118	0,140	0,158	0,083	0,984	0,972
IVIN	0,049	0,045	0,021	0,050	0,057	0,051	0,053	0,014	0,013
C-2	0.000	0.019	0.049	0.012	0.014	0 0 2 2	0.012	0.042	0.044
Na	0,009	0,018	0,048	0,013	0,014	0,023	0,013	0,043	0,041
K	0,455	0,490	0,597	0,421	0,502	0,000	0,440	0,003	0,000
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	3 0/7	0,407 3 015	0,000 3 881	2 036	0,404	0,4∠1 3.010	3 020	0,304 3 805	3 001
	0.052	0.005	0 1 1 6	0,900	0,000	0,000	0,920	0,090 0,105	0,000
F	3,947 0,053	0,085	3,884 0,116	3,936 0,064	0,090	0,090	3,920 0,080	3,895 0,105	0,099

Tab. 10: Mikrosondové analýzy a přepočty turmalínů z žilky albitu a turmalínu pronikající blokovým Kživcem a křemenem.

		rula		granitická jednotka	grafická jednotka
č. analýzy	7/1.	8/1.	9/1.	23/1.	68/1.
P ₂ O ₅ wt.%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO ₂	35,36	34,82	34,35	37,30	33,25
TiO ₂	2,85	2,78	2,65	2,93	3,21
AI_2O_3	18,52	18,34	18,93	18,43	18,23
Cr2O3	0,051	0	0	0	0,00
FeO	20,20	20,42	20,64	19,21	23,00
MnO	0,46	0,44	0,48	0,66	0,81
MgO	7,83	7,64	7,44	6,20	5,36
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,17	0,16	0,10	0,22	0,12
K₂O	9,18	9,23	9,35	9,06	9,26
CI	0,04	0,05	0,05	0,14	0,44
F	0,34	0,37	0,37	0,33	0,26
H ₂ O*	3,72	3,66	3,66	3,72	3,52
O=-F	-0,14	-0,16	-0,16	-0,14	-0,01
Total	98,56	97,76	97,86	98,05	97,44
P apfu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Si	2,724	2,714	2,680	2,860	3,043
Ті	0,165	0,163	0,156	0,169	0,000
Al ³⁺	1.681	1.685	1.741	1.665	2.921
Cr	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	1.302	1.331	1.347	1.232	0.021
Са	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,030	0,029	0,032	0,043	0,000
Mg	0,899	0,888	0,865	0,709	0,011
Na	0.025	0.024	0.016	0.033	0.056
К	0.902	0.918	0.930	0.887	0.945
	0,002	0,010	0,000	0,007	5,5 15
Cl	0,005	0,006	0,006	0,018	0,000
F	0,082	0,092	0,091	0,080	0,017
ОН	1,913	1,902	1,903	1,902	1,983

Tab. 11: Mikrosondové analýzy a přepočty biotitu z ruly, granitické a grafické jednotky.

č. analýzy	67/1.	75 / 1 .	28/1.	29/1.	30/1.
P ₂ O ₅ <i>wt.%</i>	0,00	0,54	0,08	0,00	0,00
SiO ₂	45,18	24,98	45,45	45,69	47,19
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,05	0,12
Al ₂ O ₃	36,80	12,14	36,85	37,21	33,45
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	0,37	38,52	0,59	0,42	2,30
MnO	0,00	0,35	0,00	0,00	0,11
MgO	0,11	2,36	0,00	0,00	0,53
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
Na ₂ O	0,43	0,22	0,58	0,47	0,17
K ₂ O	11,00	3,26	10,60	10,91	10,66
CI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,08	0,00	0,08	0,11	0,11
H₂O*	4,41	3,78	4,43	4,45	4,40
O=-F	0,00	0,00	-0,03	-0,05	-0,05
Total	98,39	86,15	98,62	99,25	99,06
P apfu	0,000	0,036	0,005	0,000	0,000
Si	2,660	1,979	3,048	3,046	3,174
Ті	0,193	0,000	0,000	0,002	0,006
Al ³⁺	1,719	1,133	2,912	2,924	2,651
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	1,539	2,552	0,033	0,024	0,129
Ca	0,000	0,035	0,000	0,000	0,004
Mn	0,055	0,023	0,000	0,000	0,006
Mg	0,639	0,278	0,000	0,000	0,053
Na	0,018	0,034	0,075	0,060	0,023
К	0,945	0,329	0,907	0,928	0,915
CI	0.060	0.000	0,000	0,000	0,000
F	0,065	0,000	0,017	0,023	0,024
ОН	1,876	2,000	1,983	1,977	1,976

grafická. jednotka-muskovit křemenné jádro-biotit dutina-muskovit

Tab. 12: Mikrosondové analýzy a přepočty muskovitu z grafické jednotky a dutiny a biotitu z křemenného jádra.

č. analýzy	11/1.	12/1.	13/1.	14/1.	15/1.	16/1.	17/1.	18/1.	19/1.	20/1.	21/1.	22/1.	23/1.	24/1.	25/1.
P ₂ O ₅ <i>wt.%</i>	0,06	0,09	0,12	0,19	0,13	0,20	0,14	0,18	0,23	0,17	0,19	0,18	0,09	0,09	0,07
SiO ₂	36,64	36,41	36,36	36,11	35,93	35,68	35,98	36,02	36,14	36,25	36,24	36,23	36,42	36,51	36,65
TiO ₂	0,00	0,12	0,18	0,25	0,28	0,28	0,30	0,30	0,27	0,26	0,23	0,22	0,14	0,10	0,00
Al ₂ O ₃	20,26	20,38	20,18	20,02	20,08	20,29	20,03	20,06	20,22	20,13	20,11	20,11	20,06	20,41	20,45
Sc ₂ O ₃	0,05	0,03	0,06	0,04	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,09	0,04	0,05	0,00	0,05	0,04
FeO	28,67	26,15	22,13	19,48	19,54	19,30	19,26	19,31	19,33	19,37	19,47	20,26	24,31	27,06	28,40
MnO	12,45	14,98	20,37	23,14	23,39	23,13	23,01	23,16	23,13	23,02	23,10	21,88	17,30	14,03	12,90
MgO	0,91	1,13	0,43	0,14	0,12	0,12	0,14	0,10	0,12	0,12	0,15	0,23	0,87	1,17	0,93
CaO	0,19	0,30	0,15	0,09	0,10	0,11	0,11	0,07	0,11	0,12	0,09	0,10	0,31	0,27	0,20
Total	99,24	99,58	99,97	99,46	99,67	99,19	99,06	99,32	99,65	99,53	99,62	99,26	99,49	99,68	99,63
P apfu	0.004	0.006	0.008	0.013	0.009	0.014	0.010	0.013	0.016	0.012	0.013	0.013	0.006	0.006	0.005
Si	3,024	2,996	2,998	2,996	2,981	2,969	2,995	2,991	2,988	3,001	2,999	3,004	3,008	3,000	3,014
^{IV} AI	0,003	0,009	0,015	0,018	0,025	0,025	0,026	0,026	0,024	0,023	0,018	0,017	0,009	0,010	0,003
^B AI	1,971	1,977	1,961	1,958	1,963	1,989	1,965	1,964	1,970	1,963	1,961	1,965	1,953	1,976	1,982
Ті	0,000	0,007	0,011	0,016	0,017	0,017	0,019	0,019	0,017	0,016	0,015	0,014	0,009	0,006	0,000
Sc	0,003	0,002	0,004	0,003	0,007	0,007	0,008	0,008	0,007	0,006	0,003	0,003	0,000	0,004	0,003
AE0 ²⁺	1 070	1 800	1 5 2 6	1 251	1 256	1 2/2	1 2/1	1 2/1	1 226	1 2/1	1 2/17	1 405	1 670	1 850	1 052
Mn	0.870	1 044	1 / 23	1,551	1,550	1 630	1 623	1,541	1,550	1 61/	1 610	1 5 3 7	1 210	0.976	0.800
Μσ	0,070	0 1 2 0	0.053	0.017	0.015	0.015	0.017	0.013	0.015	0.015	0 010	0.028	0 107	0,370	0,033
Ca	0.017	0.026	0.014	0.008	0.009	0.009	0.009	0.006	0.010	0.011	0.008	0.009	0.027	0.023	0.018
	0,017	0,020	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,011	0,000	0,000	0,027	0,020	0,010
prp <i>mol.%</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
sps	29,0	34,8	47,4	54,2	54,8	54,3	54,1	54,3	54,0	53,8	54,0	51,2	40,3	32,5	30,0
grs	0,6	0,9	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,9	0,8	0,6
alm	66,0	60,0	50,9	45,0	45,2	44,8	44,7	44,7	44,5	44,7	44,9	46,8	56,0	62,0	65,1
Ti-grt	0,0	0,4	0,5	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,4	0,3	0,0
Sc-grt	0,2	0,1	0,2	0,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,0	0,2	0,1

Tab. 13: Mikrosondové analýzy a přepočty granátů.