

# **Mineralogie granitických pegmatitů I**

**Prof. RNDr. Milan Novák, CSc.**

# Granitické pegmatity

Existuje několik definicí od různých autorů, které více či méně zvýrazňují texturní, mineralogické a/nebo geochemické rysy pegmatitů. Jako granitické pegmatity označujeme

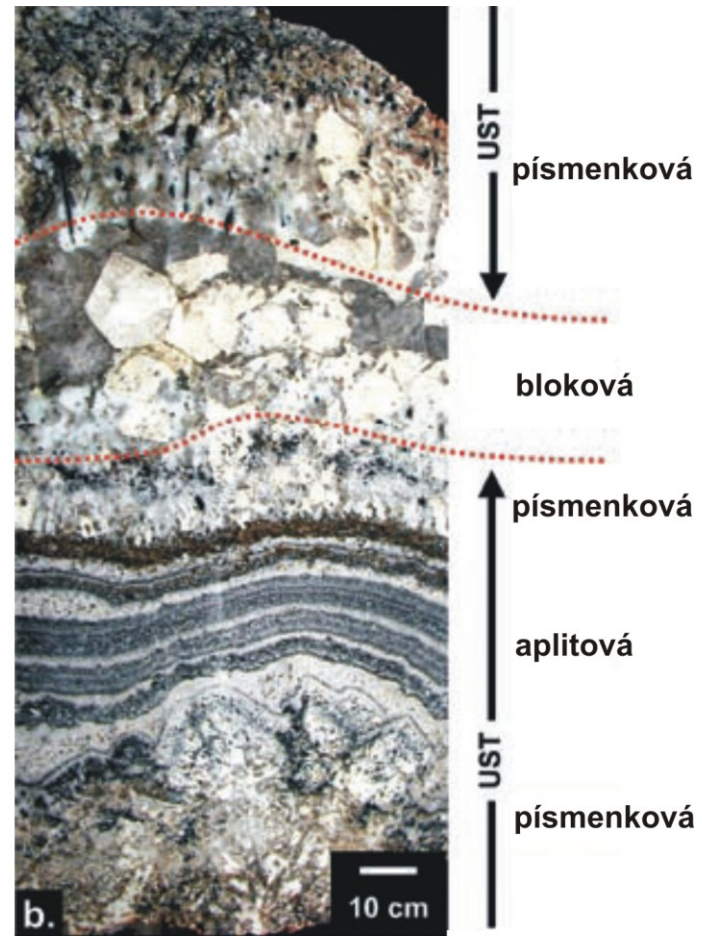
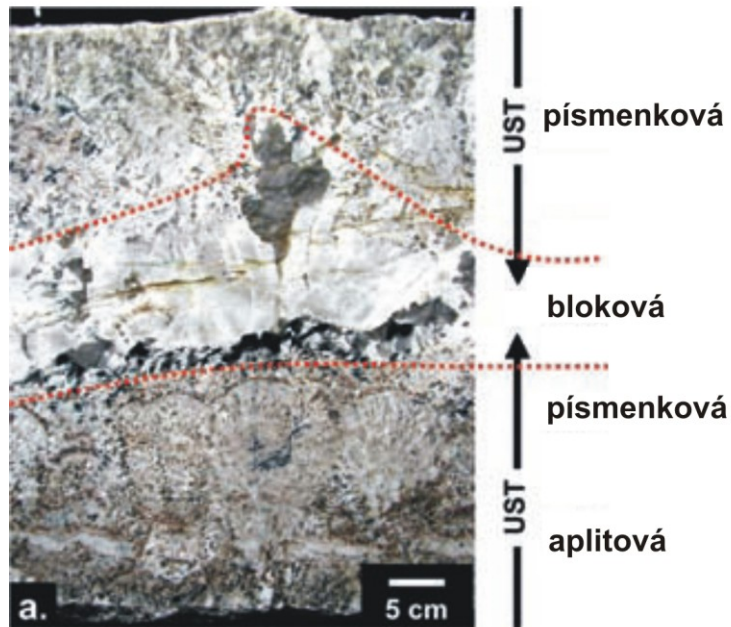
- magmatické horniny (všechny nebo téměř všechny minerály pegmatitů vznikly utuhnutím ze silikátové taveniny), jejichž celkové složení (celého tělesa) je blízké granitu
- typickým znakem je zonální stavba pegmatitových těles, především těch více frakcionovaných (jen vzácně jsou pegmatity téměř homogenní)
- charakteristická je také přítomnost pegmatitových textur (např. grafické srůsty křemene a K-živce případně křemene a jiných minerálů, velké krystaly minerálů o objemu až několik m<sup>3</sup>; viz. termín **Texturní diferenciacce**).
- pegmatity tvoří spíše malá (maximálně zhruba 100 m mocná, většinou pouze několik m), převážně žilná tělesa (mohou mít také čočkovitý i zcela nepravidelný tvar)
- jako nejvíce frakcionované členy vývoje magmatických komplexů se ve složení granitických pegmatitů uplatňují ve větší míře tzv. inkompatibilní (litofilní) prvky a obsahují řadu vzácných v jiných horninách téměř neznámých minerálů (viz. termín **Geochemická frakcionace**).

# Granitické pegmatity

Základními faktory pro vznik pegmatitů jsou:

1. Granitická tavenina s vysokým obsahem H<sub>2</sub>O a dalších volatilních komponent (B, F, P, Li).
2. Výrazné podchlazení pegmatitové taveniny (asi 700-600 °C), která proniká do hornin asi o 200 °C ale i více chladnějších.

# Granitické pegmatity – stavba pegmatitových těles



# Granitické pegmatity – stavba pegmatitových těles

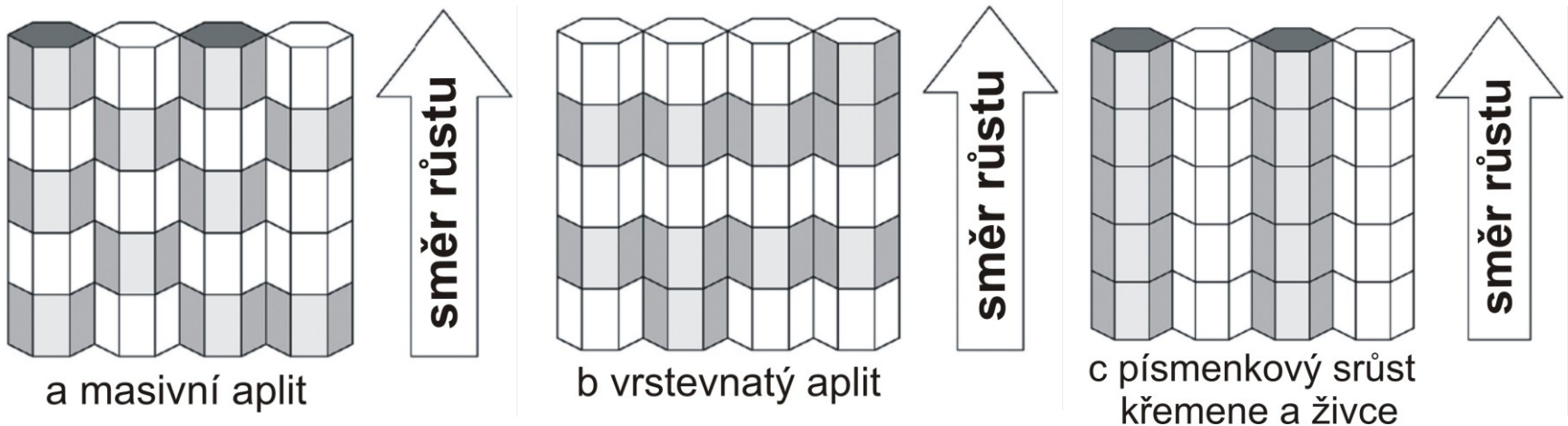
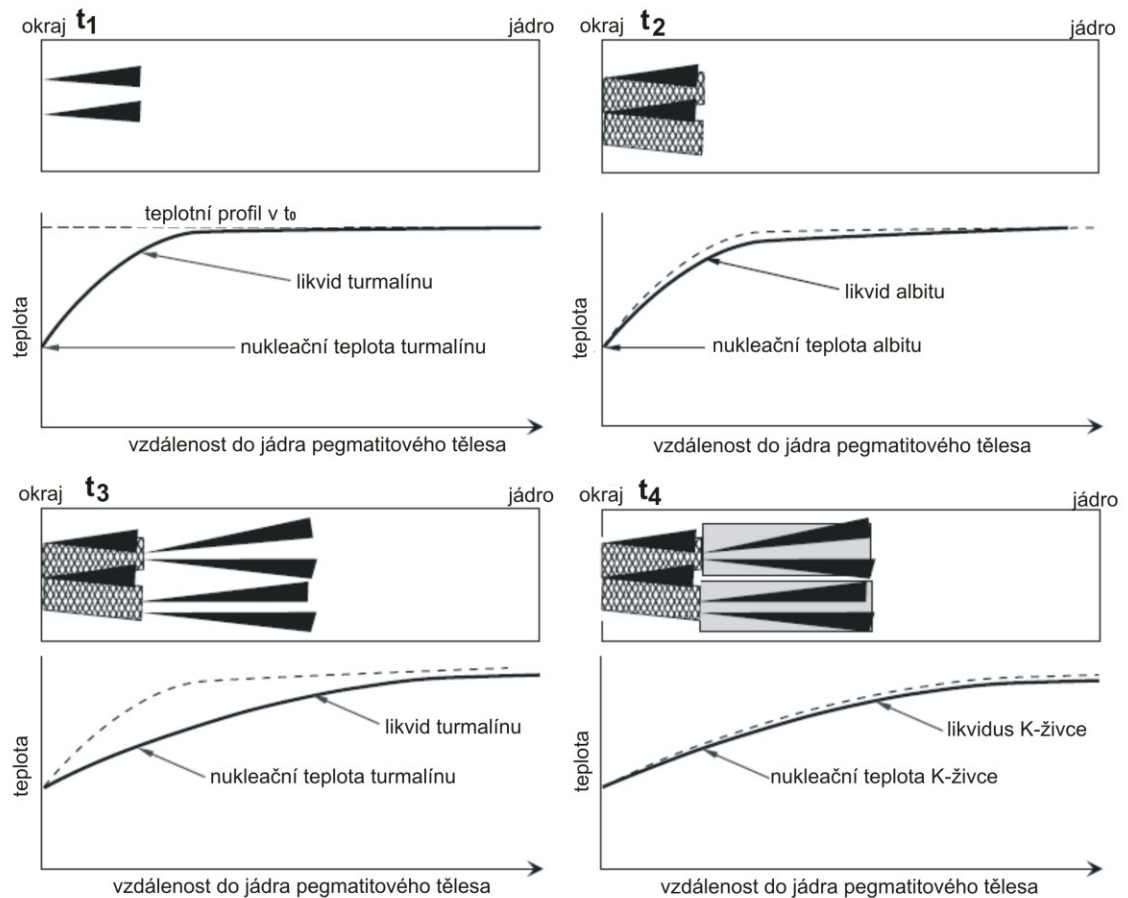


Schéma tří forem posloupného, dovnitř směřovaného růstu krystalů. Ve všech případech krystalizace probíhá hlavně ve znázorněném směru, se zanedbatelným bočním růstem krystalů následkem pomalé difúze Al a Si. Na obr. (a) i (b) reprezentuje každý hexagonální blok jeden krystal. Na obr. (c) znamenají jednotlivé hexagonální bloky postupné přírůstky krystalů křemene a alkalického živce.

# Granitické pegmatity – stavba pegmatitových těles

Krystalizace pegmatitu začíná s růstem turmalínu v čase  $t_1$  a je brzy následována krystalizací albitu v čase  $t_2$  do prostoru mezi krystaly turmalínu. Po určité přestávce, kdy teplota čela krystalizace klesne na teplotu heterogenní nukleace turmalínu, začne turmalín znovu růst z čela krystalizace směrem do středu tabule a krátce po tom začne kolem turmalínu růst K-živec. Po těchto epizodách růstu následuje nová generace krystalů v čase  $t_5$ .



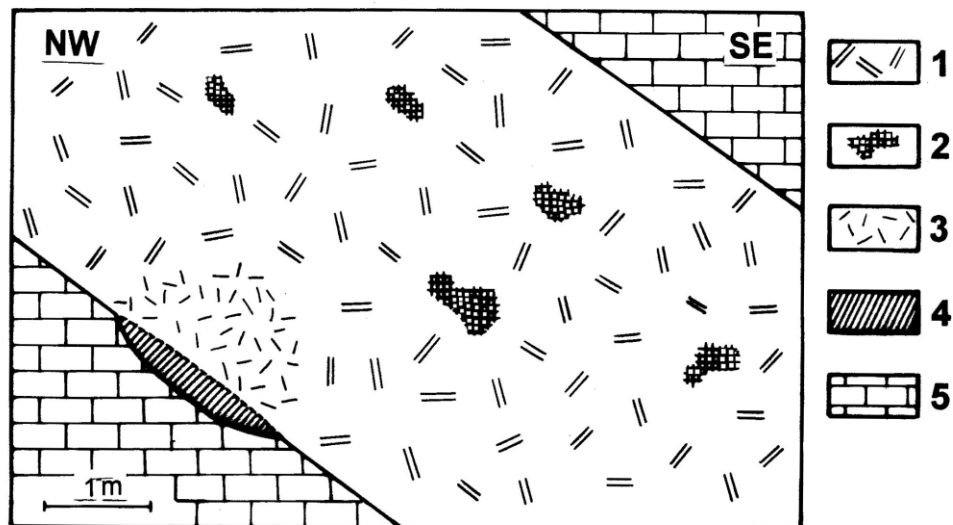
# Granitické pegmatity – stavba pegmatitových těles



Vlastějovice (Novák a Hyršl 1992)

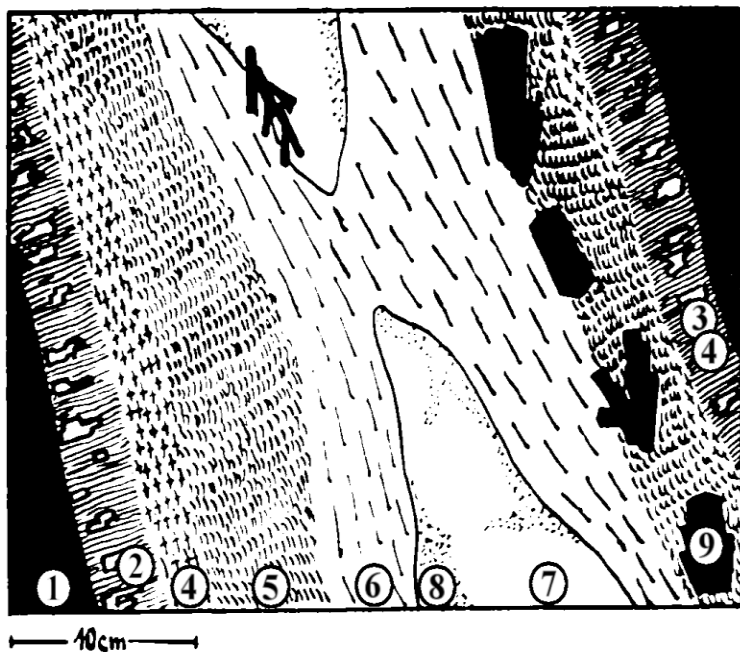
- 1
- 2
- 3
- 4

Bližná I (Novák et al. 1997)

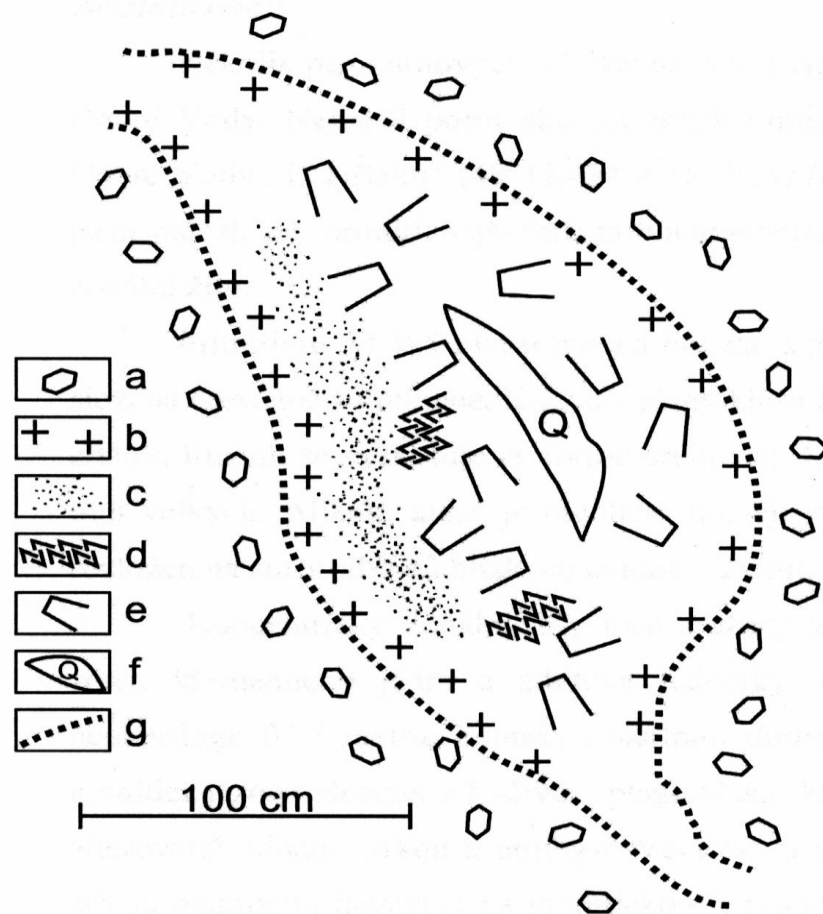


- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

# Granitické pegmatity – stavba pegmatitových těles



Drahonín, Černý (1956)

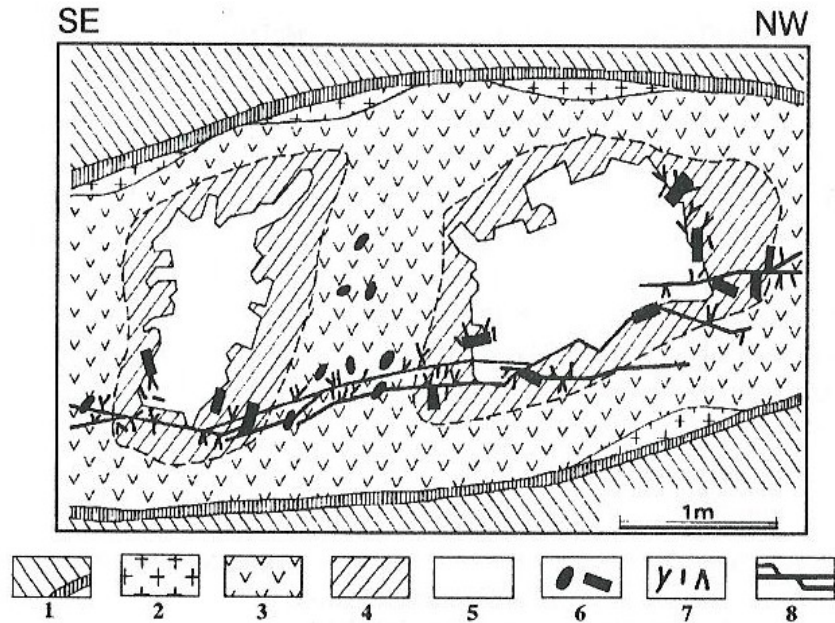


Vladislav, Škoda (2002)



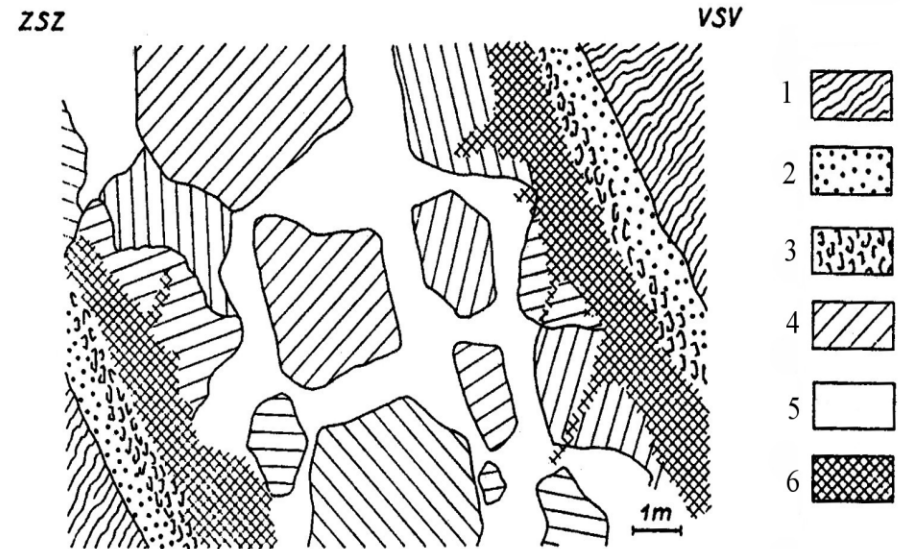
# Granitické pegmatity – stavba pegmatitových těles

Věžná I, Černý (1965)



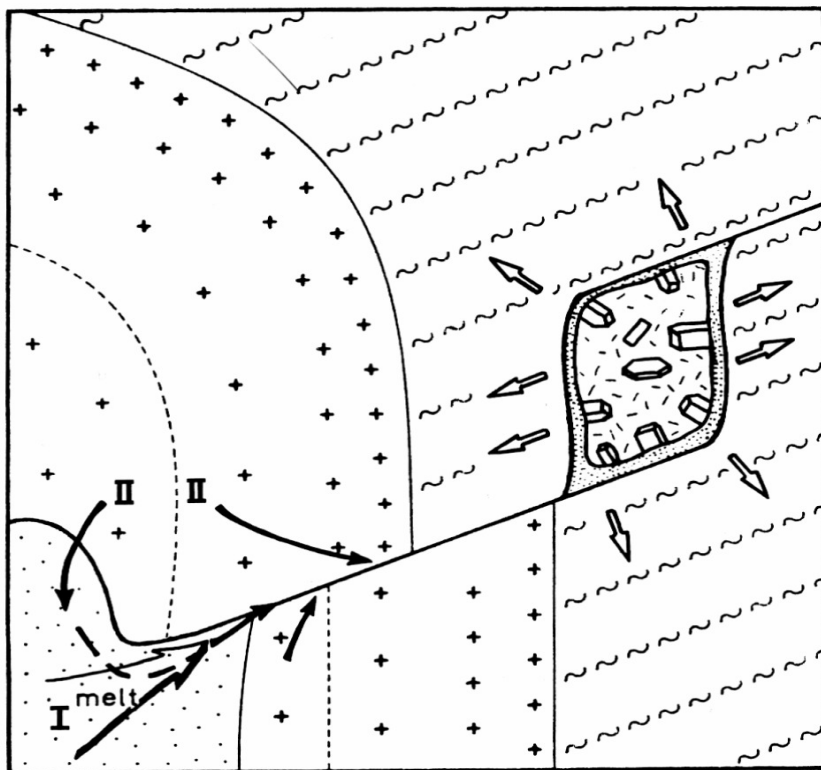
- 1 - serpentinite with anthophyllite, tremolite-actinolite and phlogopite rim
- 2 - granitic border zone
- 3 - graphic wall zone
- 4 - intermediate blocky zone
- 5 - quartz core
- 6 - graphic intergrowths of cordierite + quartz and tourmaline + quartz (ellipses) and anhedral to euhedral beryllian cordierite (rectangles)
- 7 - niobian rutile and beryl
- 8 - fractures

Figure 7 Subvertical section through a typical zoned segment of the Věžná I pegmatite (modified from Černý and Povondra 1967)

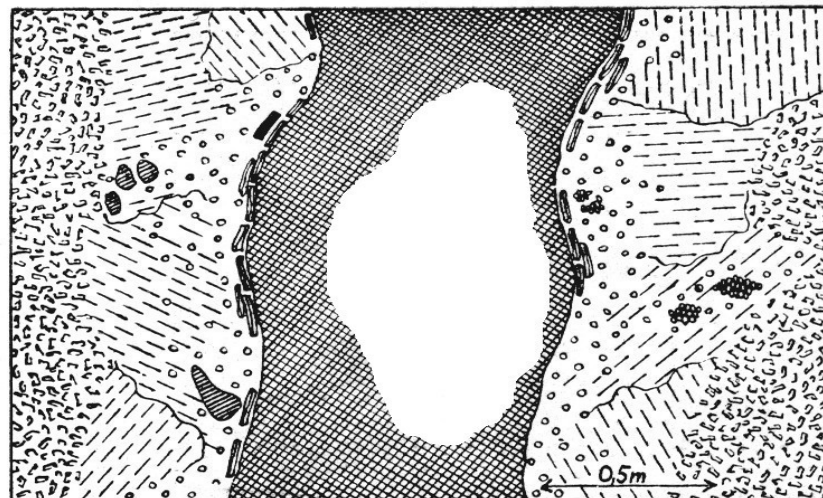


Dolní Bory, Staněk (1954)

# Granitické pegmatity – stavba pegmatitových těles



Moeller (1989)



VSV		ZJZ	
	pís. pegmatit		K-živec
	muskovit		křemen
	cordierit		albit, zona
	biotit		turmalin

Dolní Bory, Staněk (1954)

# Granitické pegmatity – stavba pegmatitových těles

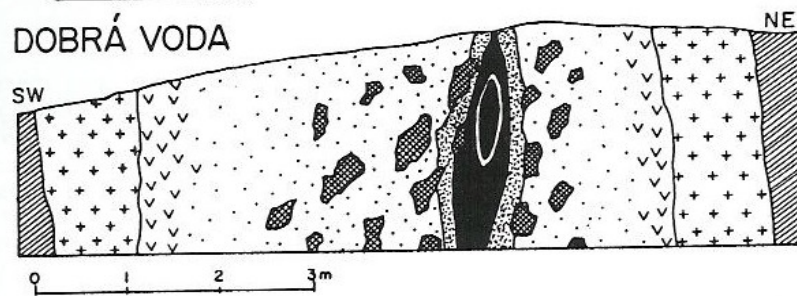
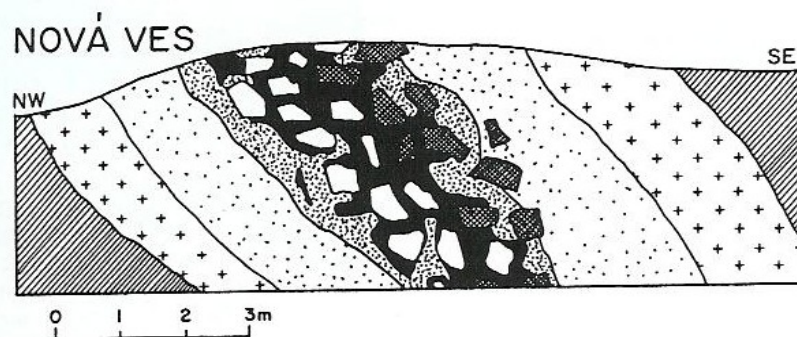
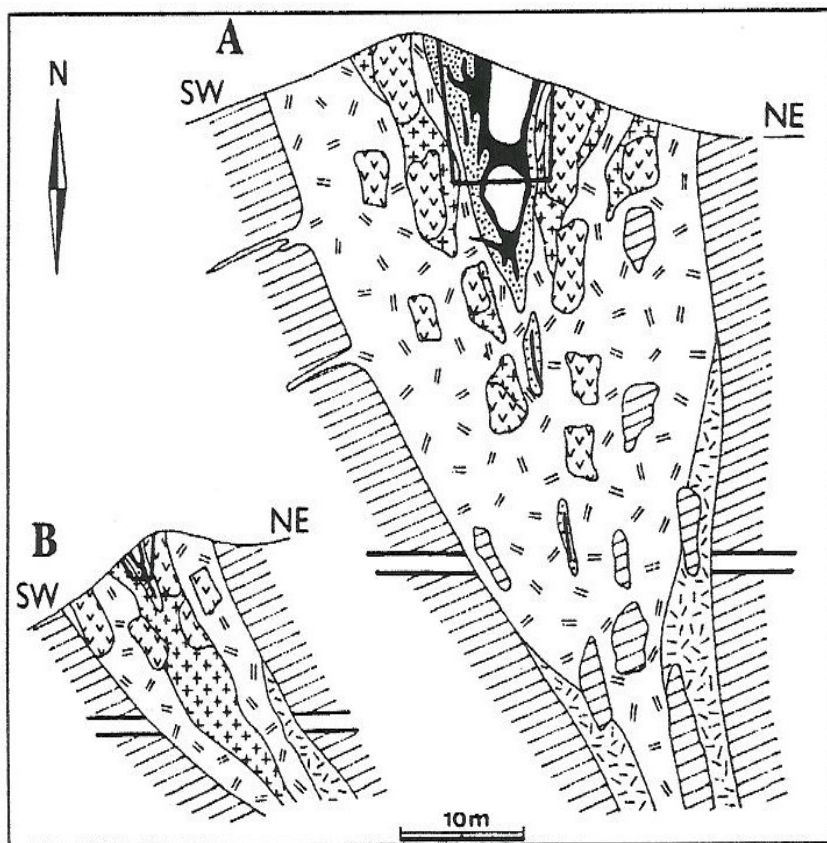
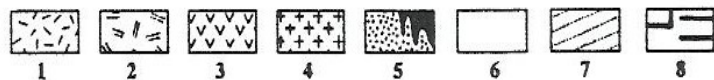


FIG. 2. Sections across the Nová Ves and Dobrá Voda pegmatites. Crosses: fine- to medium-grained granitic unit; check marks: graphic unit, open stipple: coarse-grained albite – quartz – tourmaline – mica unit, cross-hatched: blocky K-feldspar, white: blocky petalite, dense stipple pattern: albite-rich unit, black: lepidolite unit, subdivided into an outer and inner part at Dobrá Voda.

Nová Ves, Grym (1975)

Dobrá Voda (Staněk 1965)



Rožná, Sekanina (1946)

# Granitické pegmatity – stavba pegmatitových těles

Maršíkov, Scheibengraben Novák et al. (2003)

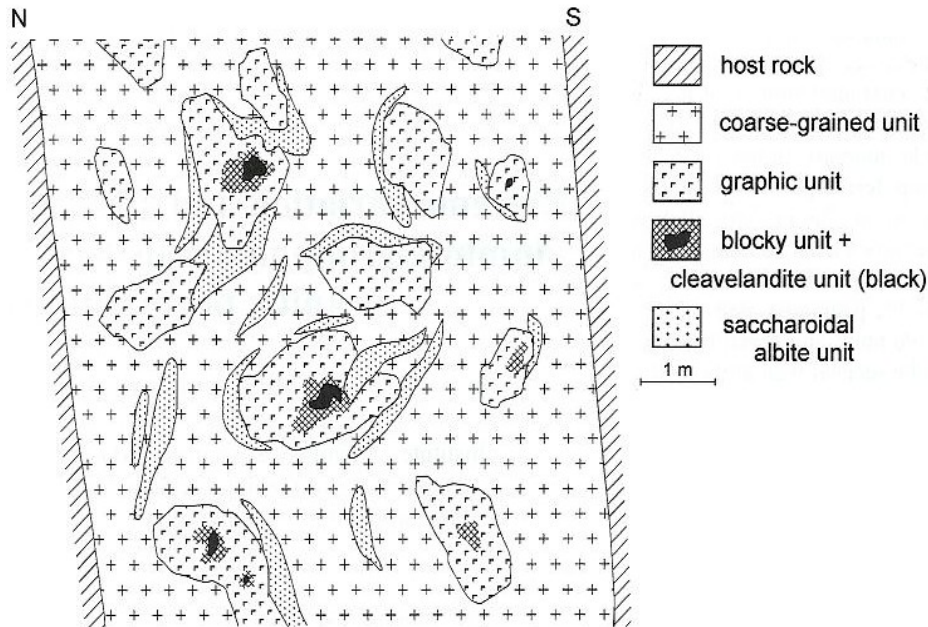
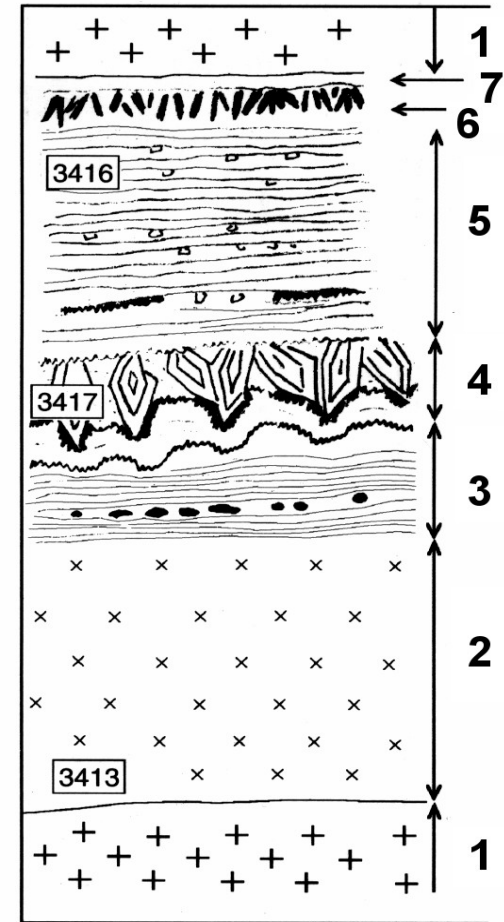


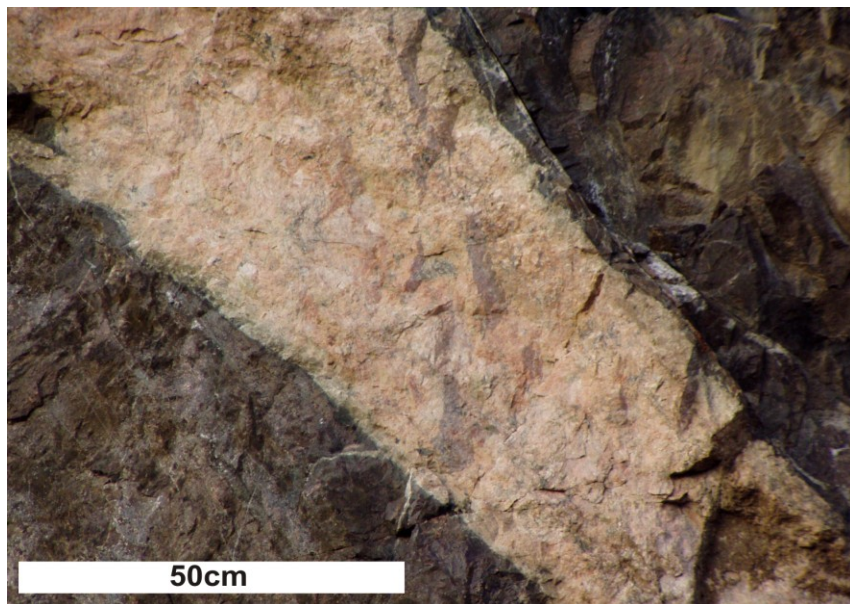
Fig. 2. Idealized cross-section through the Scheibengraben pegmatite.



Podlesí, Breiter (1998)

# Granitické pegmatity – stavba pegmatitových těles

Vlastějovice



Strzegom

# Granitické pegmatity – stavba pegmatitových těles

Strzegom



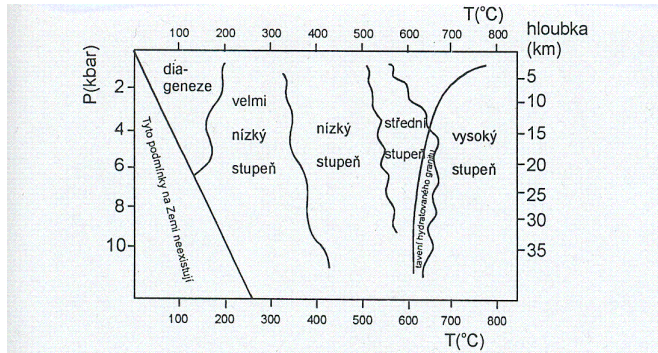
# Granitické pegmatity

## Procesy produkující granitické taveniny

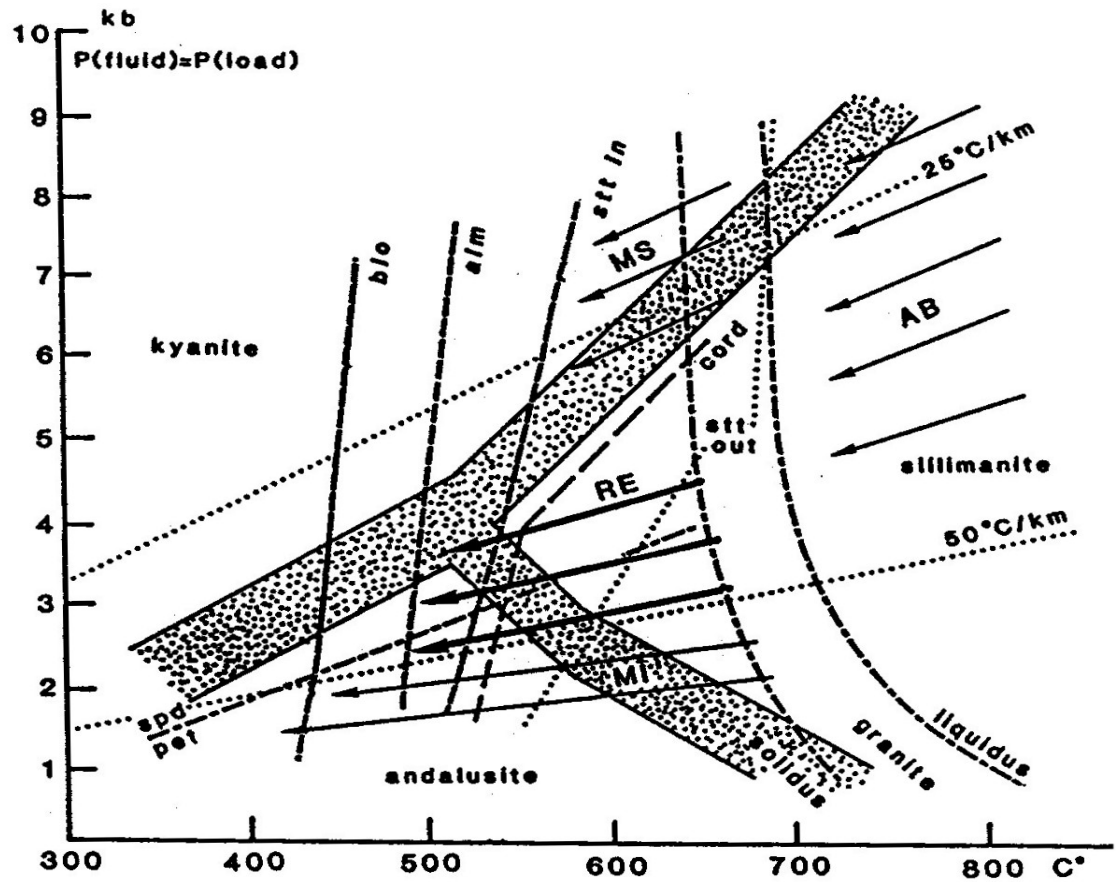
Podle původu taveniny můžeme pegmatity rozdělit do dvou hlavních skupin:

- (i) pegmatitová tavenina je produktem diferenciacce a frakcionace granitické taveniny (magmatogenní pegmatit). Svým vznikem i složením jsou magmatogenní pegmatity příbuzné pegmatoidním granitům, od nichž jsou často odvozeny, u nás např. Čertovy kameny u Jeseníku nebo Příbyslavice u Čáslavi, a dále vysokoteplotním žilným ložiskům Sn, popř. W a Mo a greisenům (např. amblygonitový žilník s kasiteritem z Vernéřova u Aše).
- (ii) pegmatitová tavenina je produktem natavení (metamorfogenní pegmatit) jiné horniny (hlavně metapelitů) a k procesům diferenciacce a frakcionace zde nedošlo vůbec nebo jen v malé míře. Některé metamorfogenní pegmatity jsou blízké metatektům v migmatitech (např. cordieritem bohaté hrubozrnné partie metatektu v Horních Borech) nebo i vysokoteplotní alpské paragenezi (např. primitivní „pegmatitové“ žíly s hojným křemenem, s andalusitem, turmalínem, chloritem, muskovitem a karbonáty z Horních Borů).

# Granitické pegmatity



Obr. 1-1. Schematický PT (tlak, teplota) diagram s vyznačením polí pro stupně metamorfózy a diagenézi. V diagramu je také vyznačena křivka tavení hydratovaného granitu a pole podmínek, které na Zemi neexistují.



Černý (1991)



# Granitické pegmatity – texturní diferenciaci

## Procesy probíhají při vzniku pegmatitů

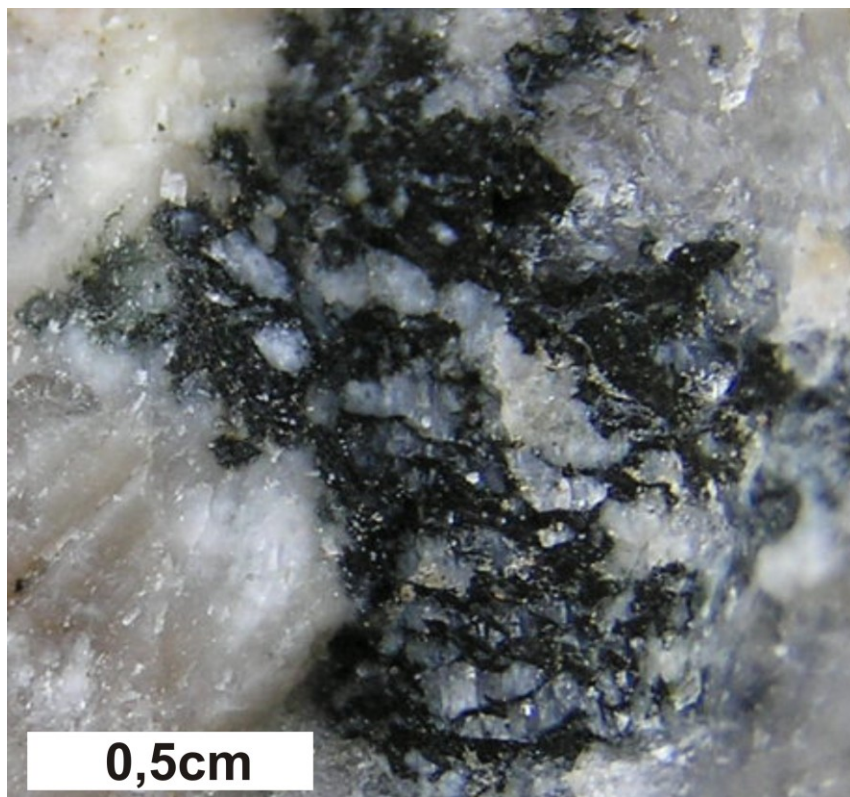
- Při vzniku pegmatitů se uplatňují dva hlavní procesy (lépe komplexy procesů): texturní diferenciaci (stavba, textury) a geochemická frakcionace (chemické složení)
- *Texturní diferenciaci* – typickým znakem většiny granitických pegmatitů (hlavně magmatogenních ale vzácně i metamorfogenních) je zonální stavba. Ta je produktem texturní diferenciaci, kdy během krystalizace vznikají postupně jednotlivé jednotky (zóny) s odlišnou texturou, velikostí zrna i mineralogickým (chemickým) složením. Tyto jednotky mohou tvořit jasně definovatelné a souvislé zóny (hlavně granitická jednotka nebo křemenné jádro) nebo jen nepravidelné partie i značných rozměrů (např. albitová nebo lepidolitová jednotka). Termín jednotka je obecnější než termín zóna, která nám už jasně definuje způsob vystupování v pegmatitovém tělese. Příkladem je zonálnost běžně vyvinutá od okraje do středu na pegmatitových žilách:

# Granitické pegmatity – texturní diferenciacie

- **granitická zóna (velikost zrna ~ 0,1-2 cm, křemen + K-živce + kyselý plagioklas + biotit ± muskovit)**
  - **grafická zóna (velikost zrna ~ 0,5-5 cm, křemen + K-živce)**
  - **bloková zóna (velikost zrna až několik m, K-živce)**
  - **křemenné jádro.**
- 
- **Ve více diferencovaných pegmatitech se objevují také**
  - **albitová jednotka jako jasně definovaná zóna nebo jen partie, ale někdy i značných rozměrů,**
  - **lepidolitová jednotka popř. blokový spodumen nebo blokový petalit většinou situované mezi blokovým K-živcem (zóna blokového K-živce) a křemenným jádrem.**

# Granitické pegmatity – texturní diferenciacce

Grafické textury

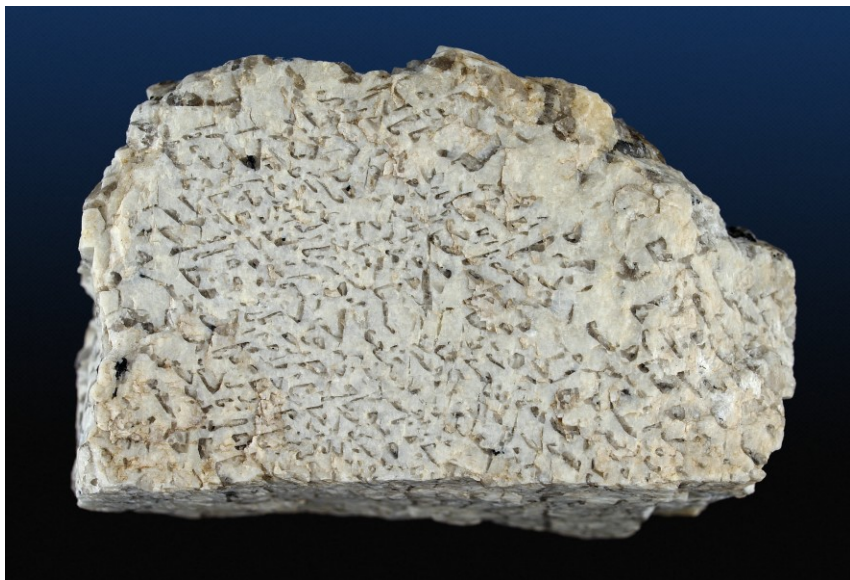


Turmalín+křemen Vlastějovice



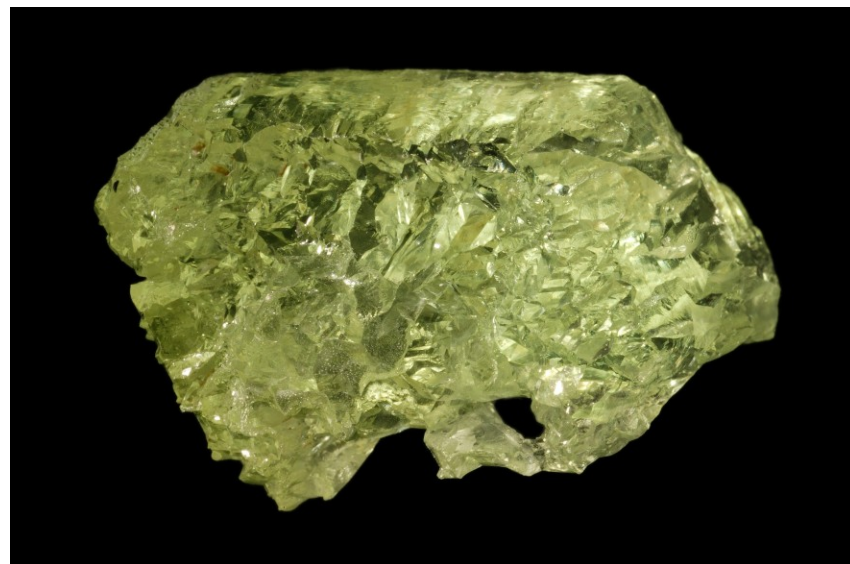
Spessartin+křemen Bližná II

# Granitické pegmatity – texturní diferenciacce



Grafický pegmatit, Písek

Krystal berylu, Písek



# Granitické pegmatity – texturní diferenciacie



Obrovské krystaly turmalínu,  
Aqua Santa, Brazílie

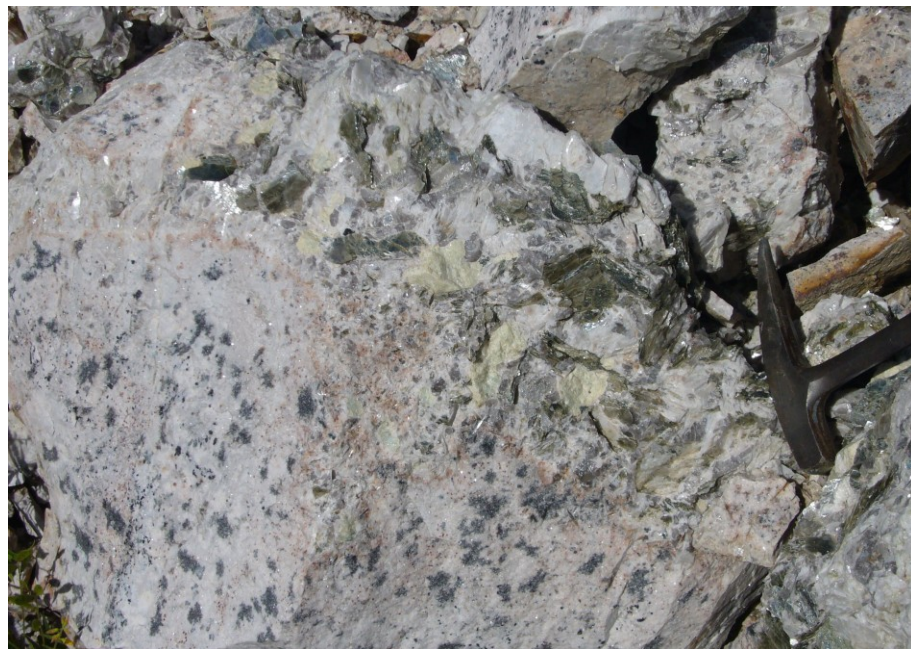


Obrovský krystal berylu (asi 3 m),  
Assuncao, Portugalsko

# Granitické pegmatity – texturní diferenciacce



San Luis, různé texturní jednotky



# Granitické pegmatity – texturní diferenciacce



Andalusit Dolní Bory



K-živec Vlastějovice

# Granitické pegmatity – texturní diferenciacie

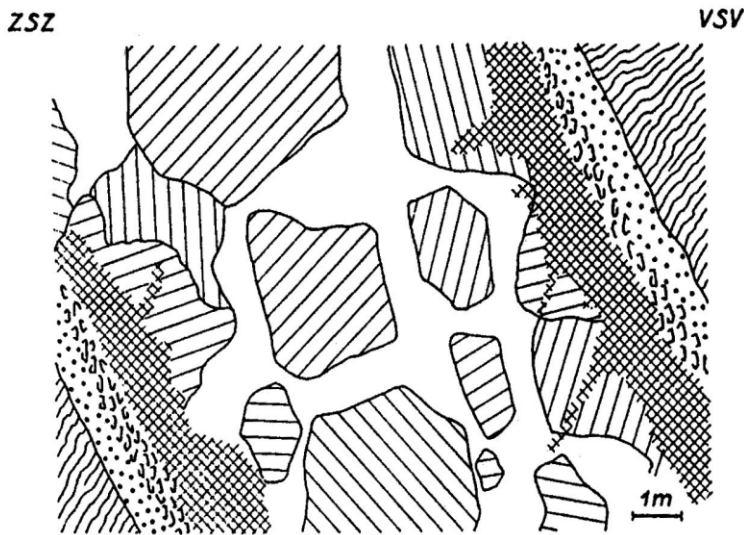
Blokový K-živec a petalit  
Covas Barroso



Krystal elbaitu do dutiny, Pakistan



# Granitické pegmatity – texturní diferenciacie



Dolní Bory,  
Staněk (1954)

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

Maršíkov, Scheibengraben  
Novák et al. (2003)

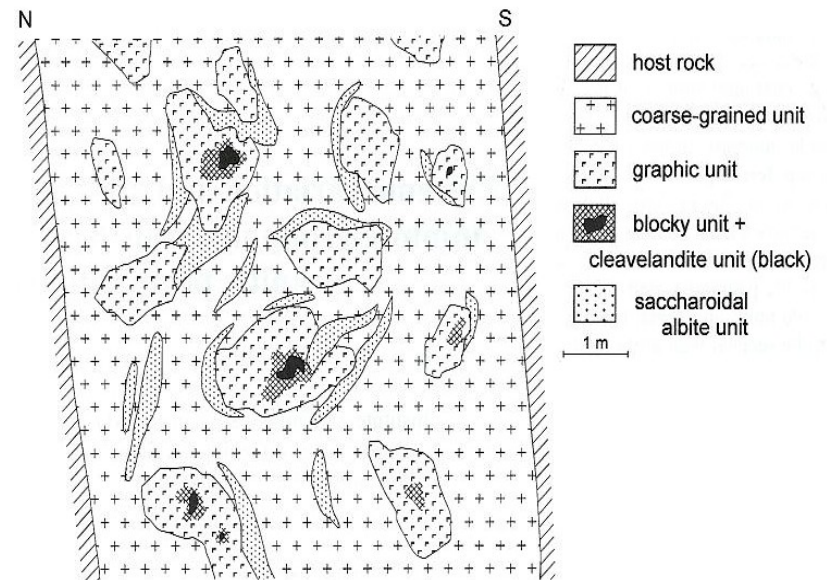


Fig. 2. Idealized cross-section through the Scheibengraben pegmatite.

- host rock
- coarse-grained unit
- graphic unit
- blocky unit + cleavelandite unit (black)
- saccharoidal albite unit

# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace

**Geochemická frakcionace** – během frakční krystalizace v taveninách dochází ke koncentraci některých prvků (bývají označovány jako inkompatibilní) v závěrečných fázích krystalizace. Tento vývoj lze velmi dobře dokumentovat poměry vybraných prvků, např. K/Rb, K/Cs, Fe/Mn, Mg/Fe, Al/Ga, Zr/Hf, Nb/Ta a řada dalších, které se s nárůstem frakcionace snižují, (často se používají také jiné poměry Ta/(Ta+Nb), Mn/(Mn+Fe) aj.), a dále také zvýšenou koncentrací některých prvků, např. Li, Be, Sn, Ta, Rb a Cs. Stupeň frakcionace se odráží jak ve vzniku nových fází, např. Be-minerálů (beryl, hambergit, fenakit aj.), Li-minerálů (trifylín, lepidolit, petalit, spodumen, elbait, amblygonit-montebrazit), Cs-minerálů (polucit), tak ve změně chemického složení u jednotlivých skupin minerálů s nárůstem stupně frakcionace,

# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace

slídy: biotit → muskovit → trilithionit → polyolithionit,

granáty: almandin → spessartin,

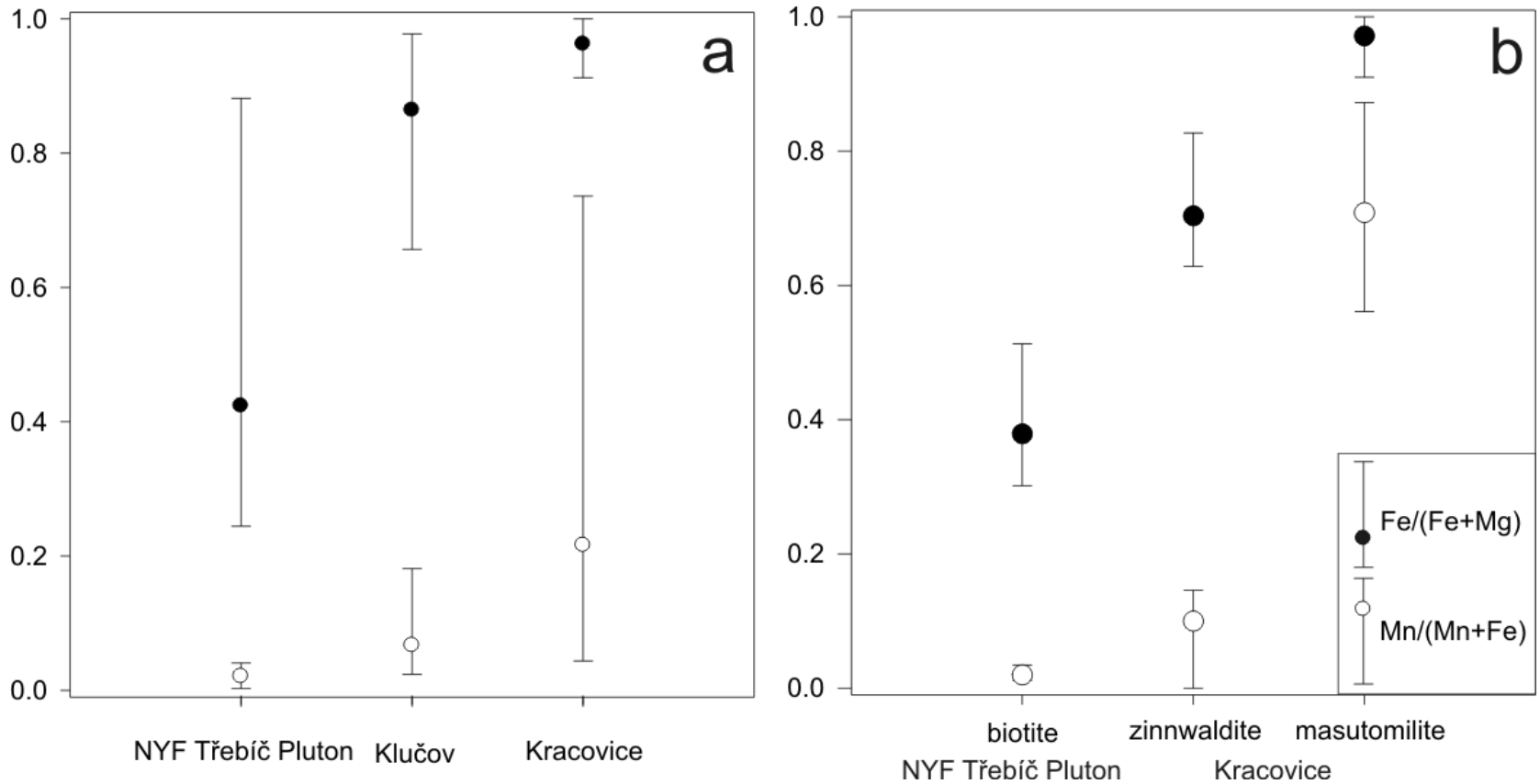
columbit-tantalit: ferrocolumbit → manganocolumbit →  
manganotantalit,

turmalíny: dravit → skoryl (foitit) → elbait → rossmanit.

- Právě v granitických pegmatitech (magmatogenních) byly popsány nejvyšší stupně frakcionace v magmatických horninách a také výrazný nárůst frakcionace v měřítku několika m (v rámci pegmatitového tělesa) nebo jen několika mm (v rámci jednoho zrna).

# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace

## Slídy, pegmatity - Třebíčský pluton



# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace

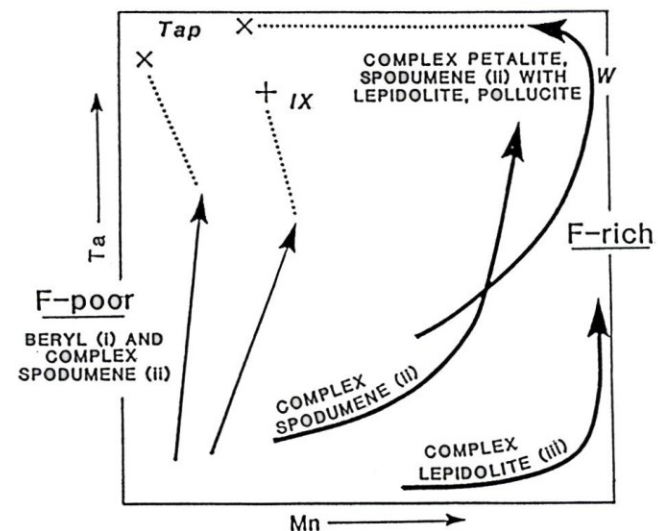
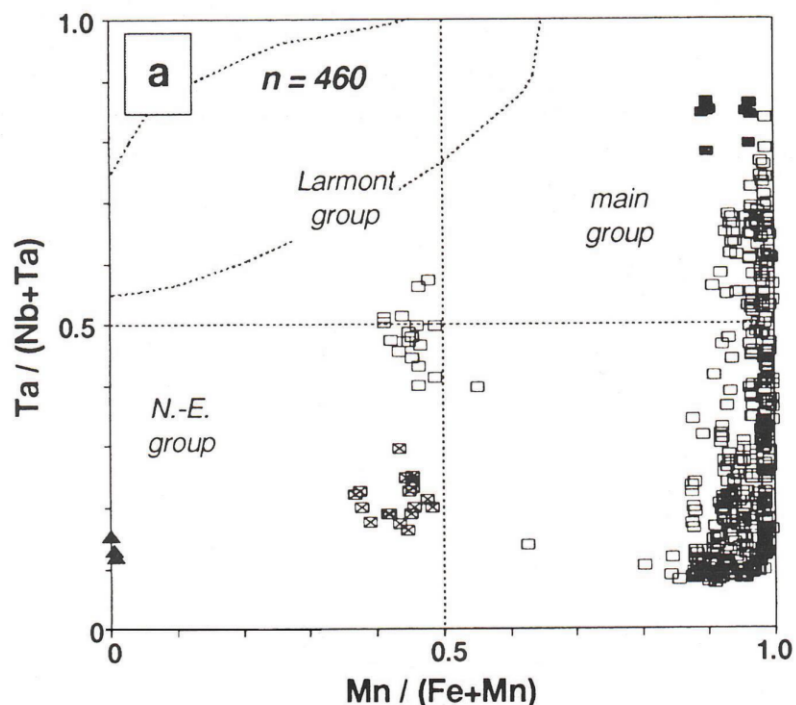
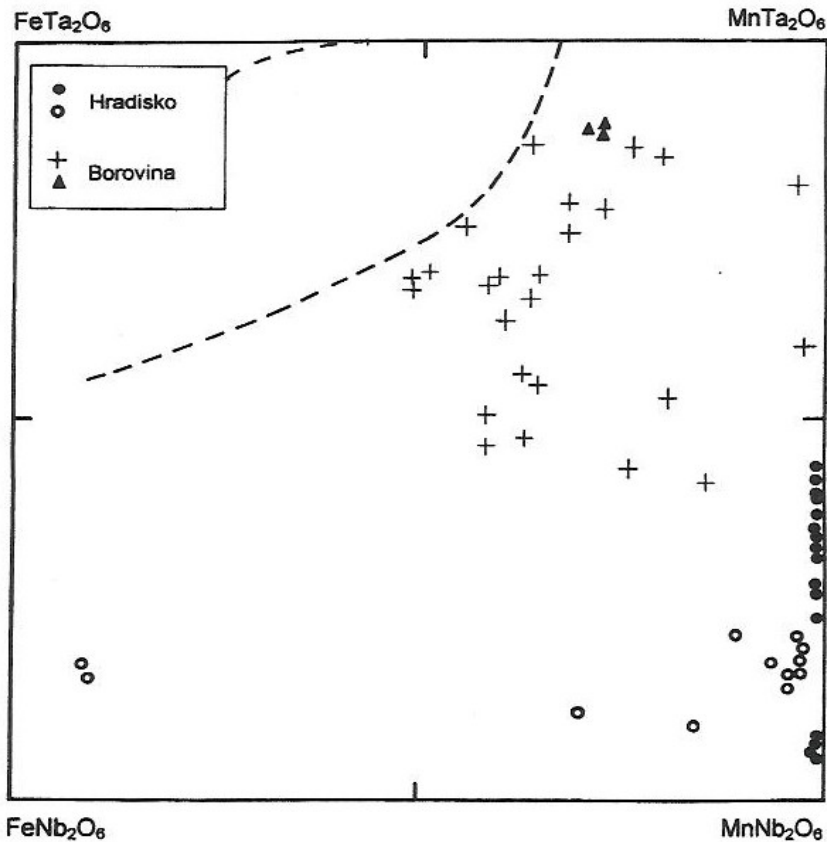
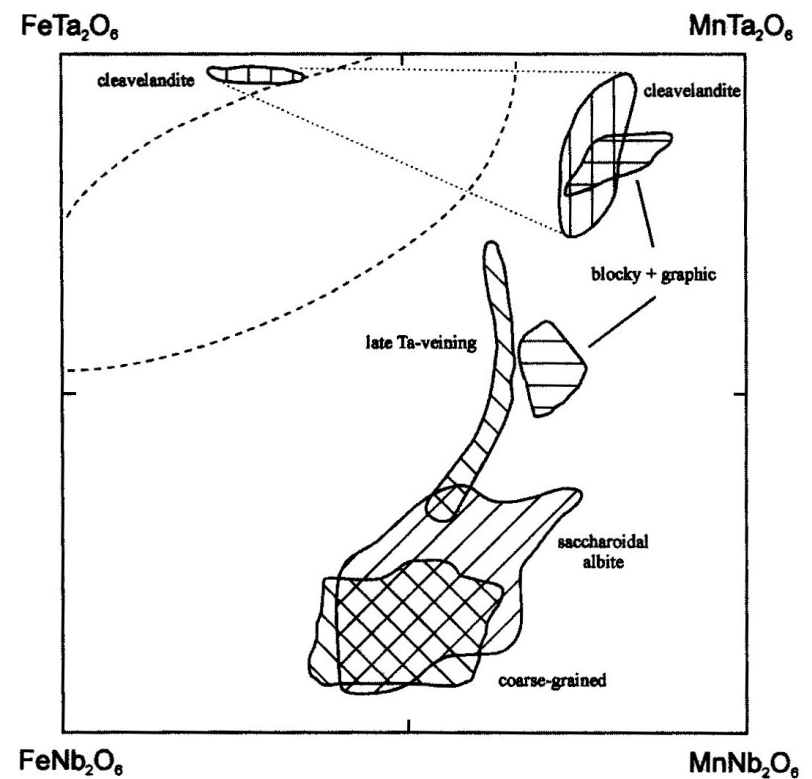


Fig. 18 General fractionation trends of columbite-tantalite and related phases in the columbite quadrilateral (atomic ratios). Tap - tantalite; IX - ixiolite; W - wodginite. Mineral assemblages and compositions are distinctly influenced by the activity of fluorine. Based on data of Černý and Ercit (1985 and unpublished).

# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace

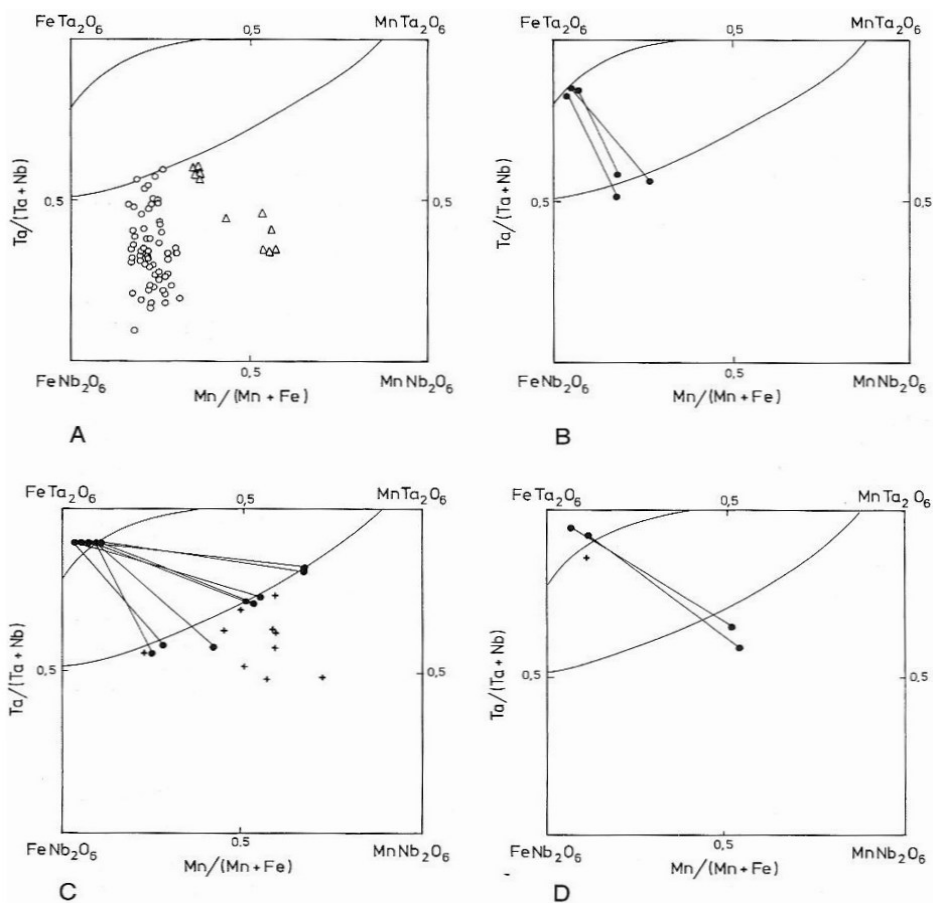


Rožná, Novák a Černý (2000)



Maršíkov, Scheibengraben  
Novák et al. (2003)

# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace



Moravany nad Váhom, Novák et al. (2000)

# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace

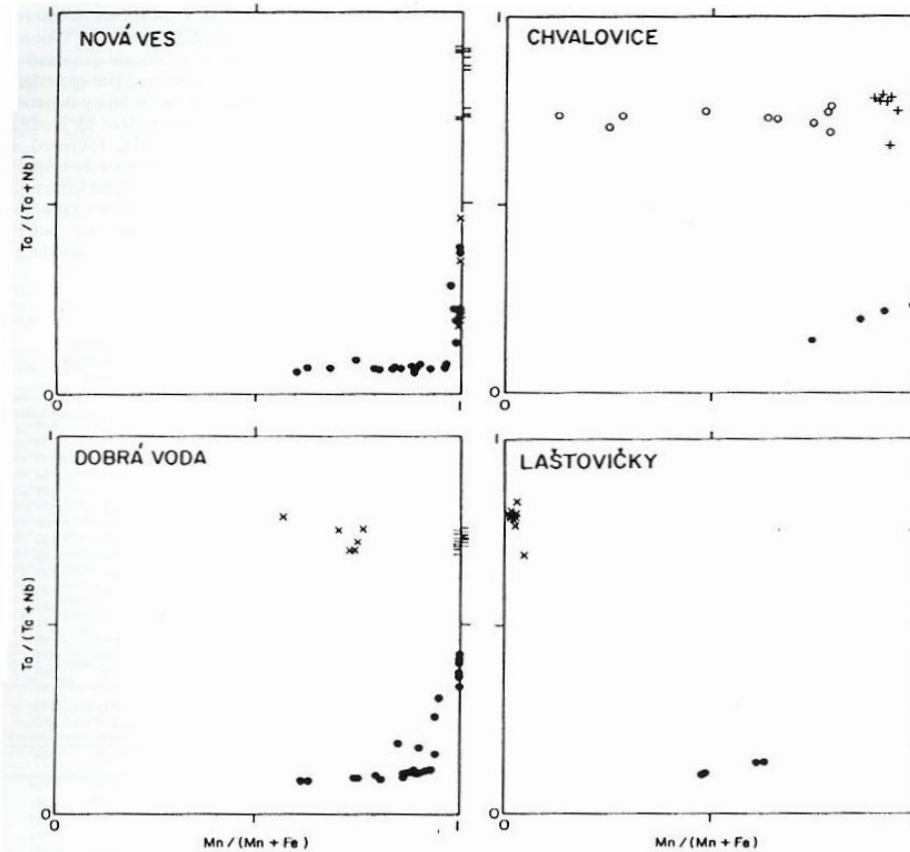
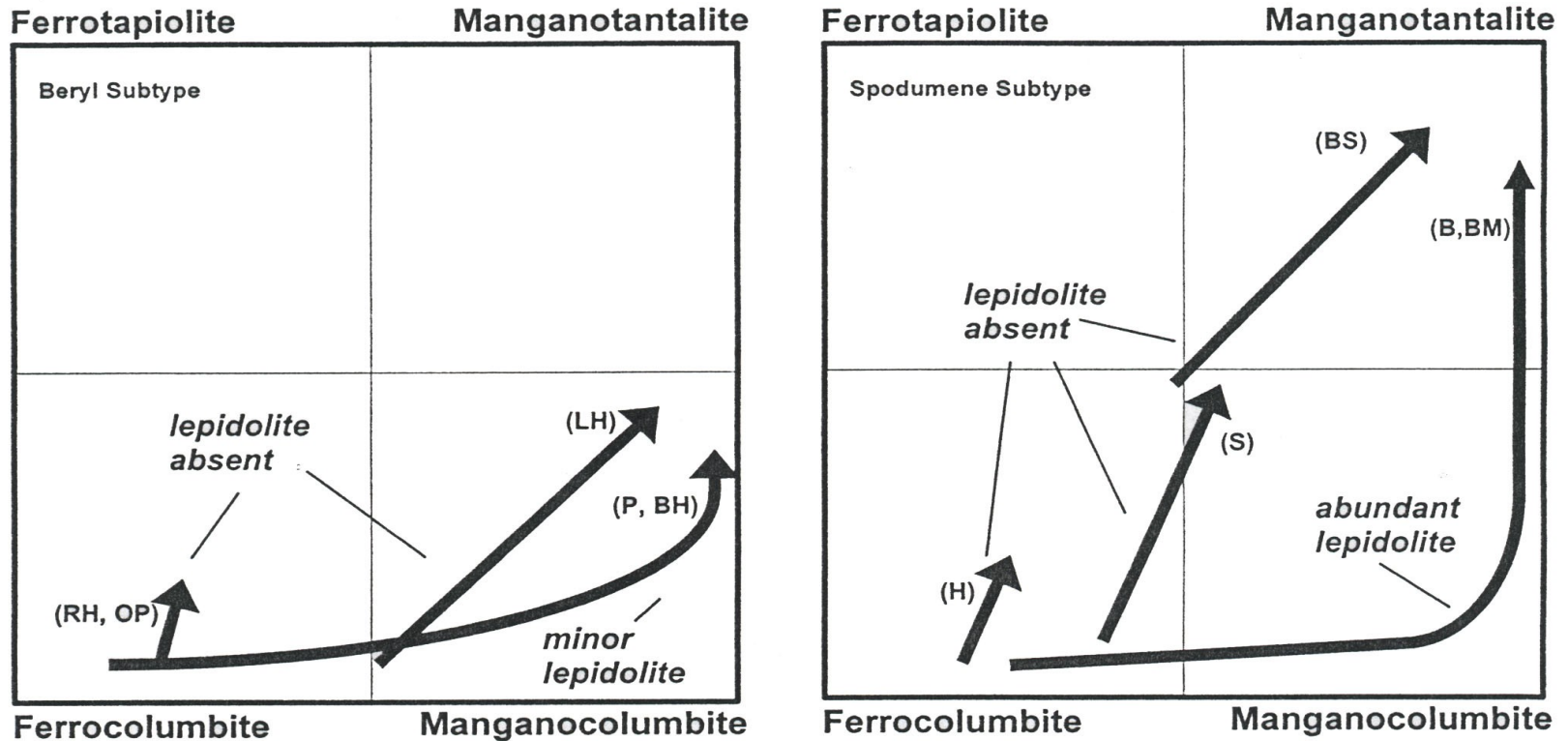


Fig. 4. Compositions of primary and secondary Nb,Ta-oxide minerals in the columbite quadrilateral. Horizontal dashes along the manganous side of the diagram mark only the  $Ta/(Ta + Nb)$  value, and are not related to the  $Mn/(Mn + Fe)$  scale. Symbols: ● primary columbite–tantalite, ○ secondary manganotantalite to ferrotantalite, × secondary manganocolumbite – manganotantalite (secondary ferrotapiolite at Laštovičky), + secondary manganotantalite, † primary stibiotantalite (primary microlite at Nová Ves, primary rynersonite at Chvalovice), † secondary microlite (stibiomicrolite at Laštovičky).

Novák a Černý (1998)



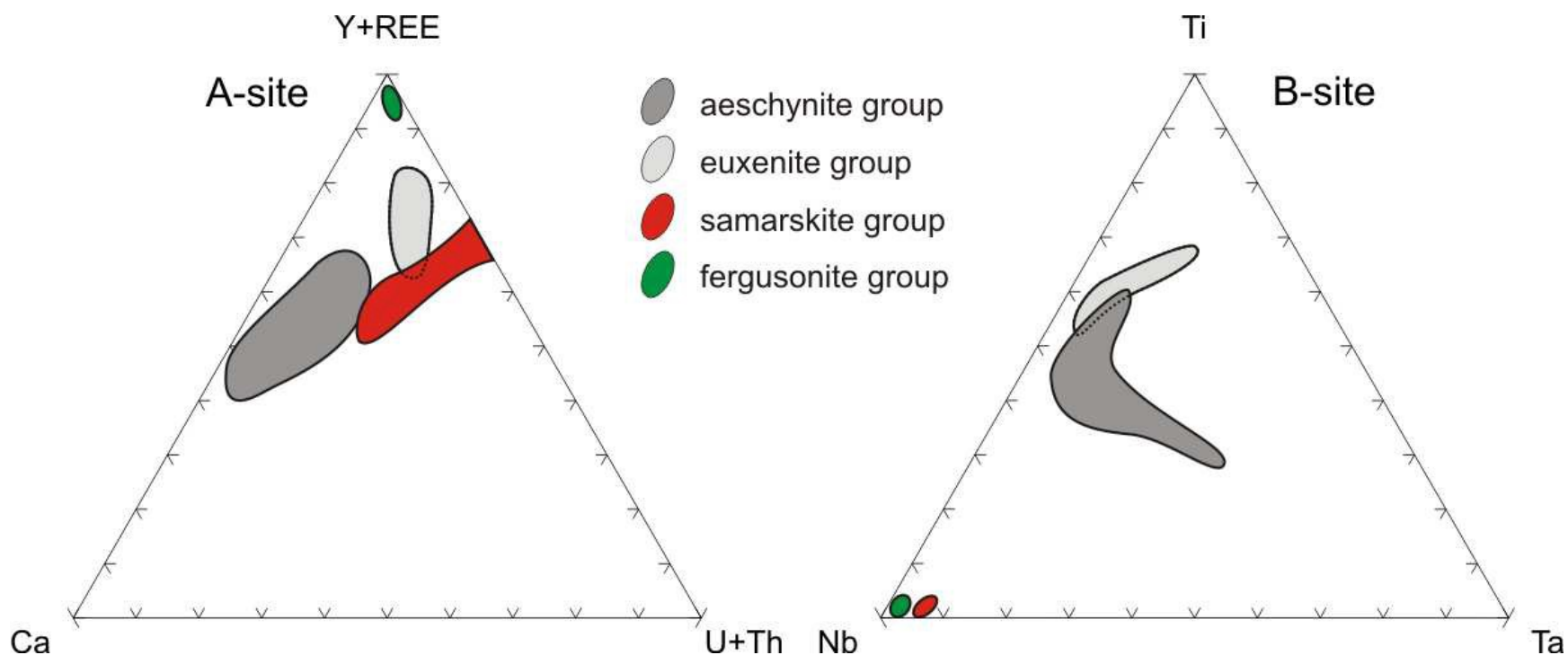
# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace



Maine, Wise et al. (2004)

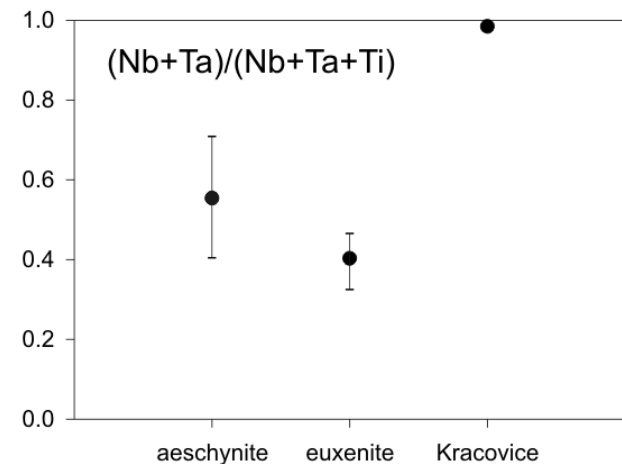
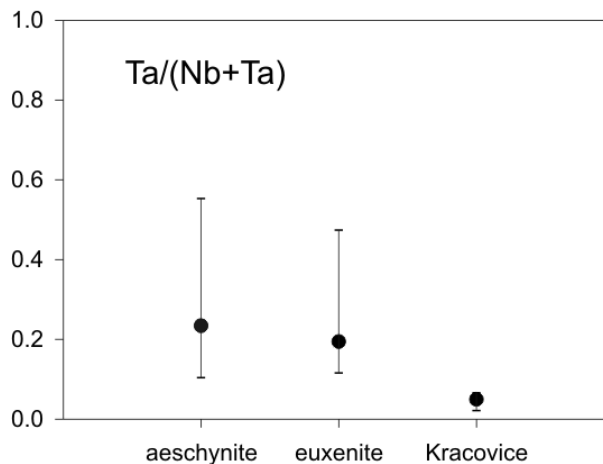
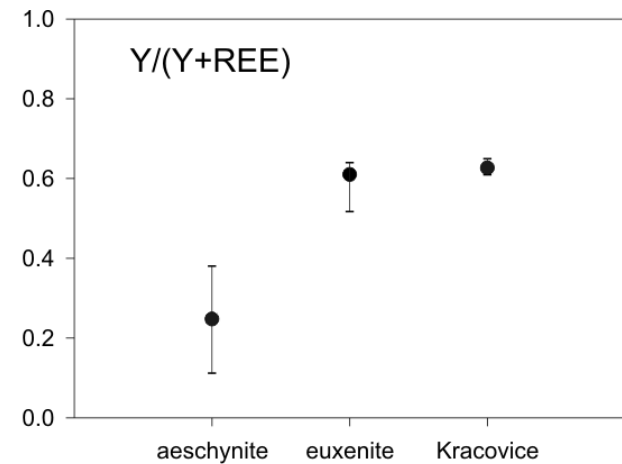
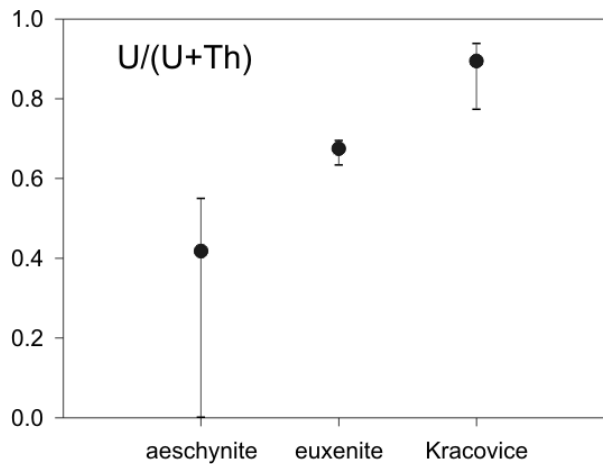
# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace

Y,REE,Nb,Ta,Ti-oxidy, pegmatity Třebíčský pluton



# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace

## Y,REE,Nb,Ta,Ti-oxidy, pegmatity Třebíčský pluton



# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace

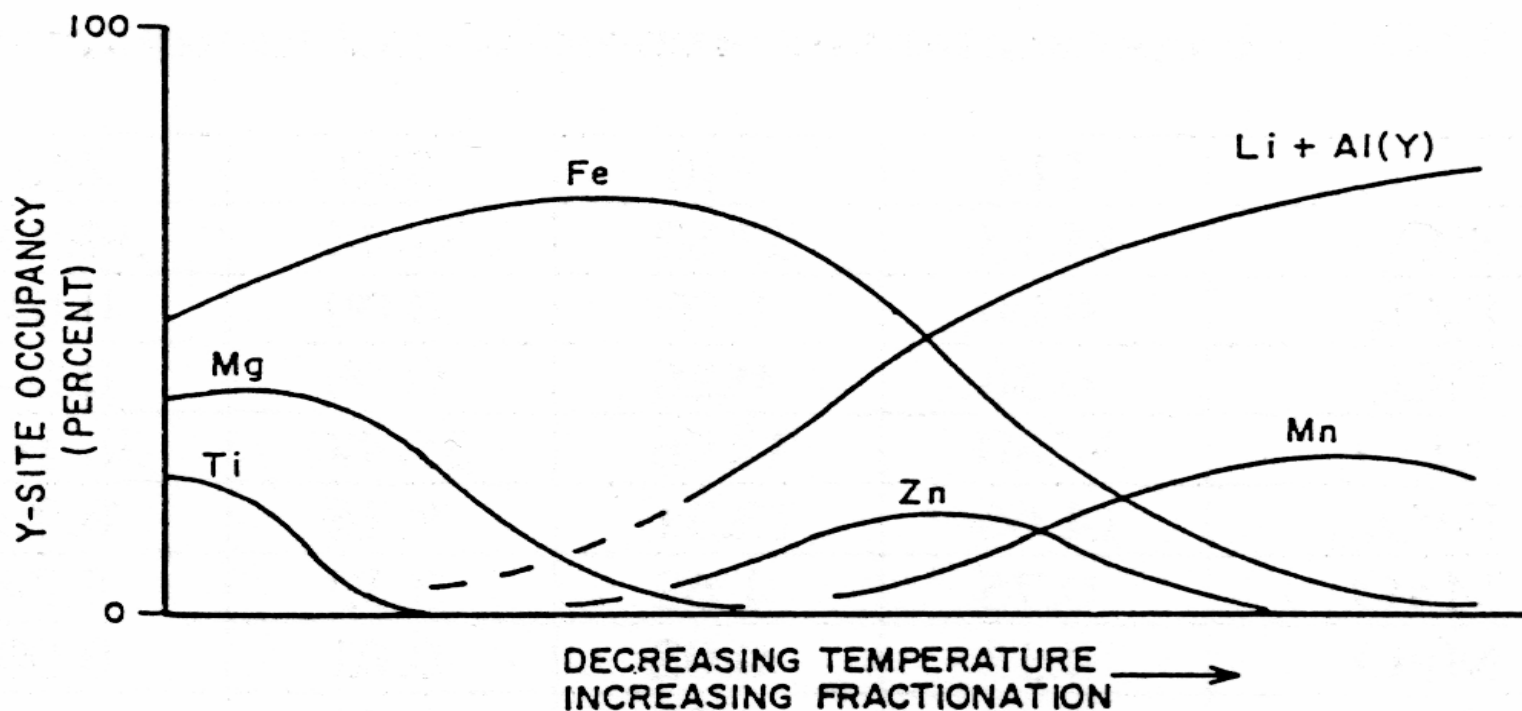


Fig. 6. Schematic illustration of ideal covariation of Y-site cations of tourmaline in response to decreasing temperature and increasing fractionation of melt (Jolliff *et al.* 1986).

# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace

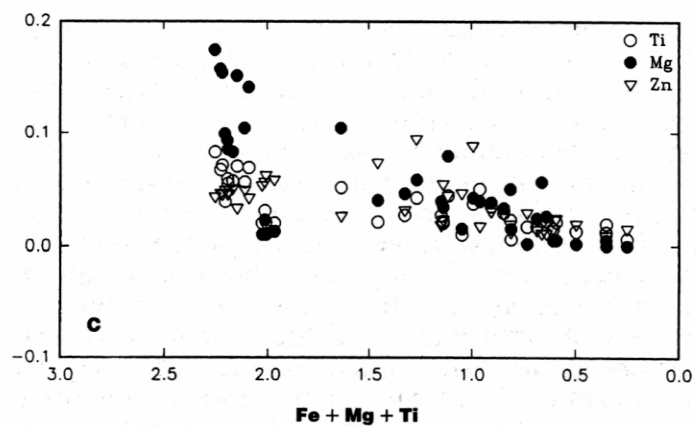
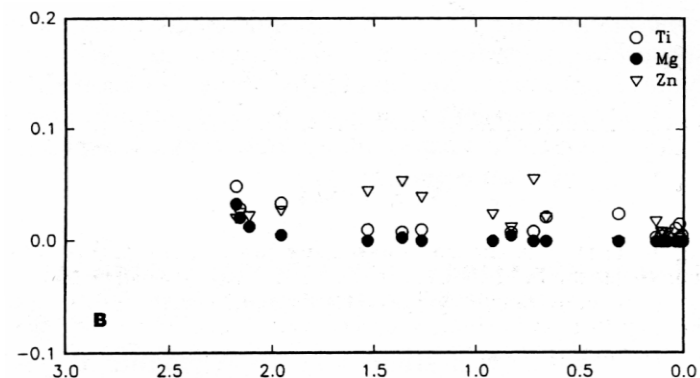
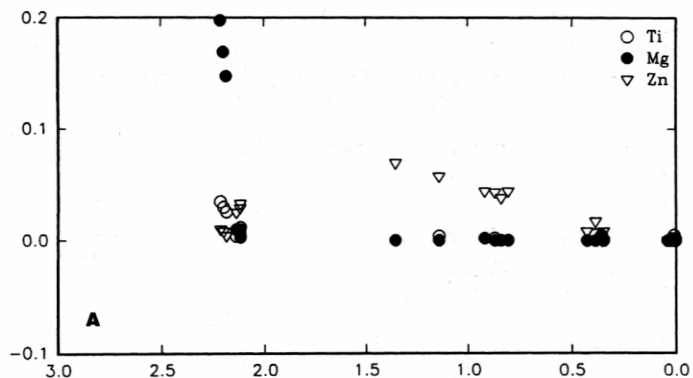


Fig. 2. Variation in concentrations of Ti, Mg and Zn per formula unit versus the FMT index. A - Lastovičky, B - Pikárec, C - Kravice.

# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace

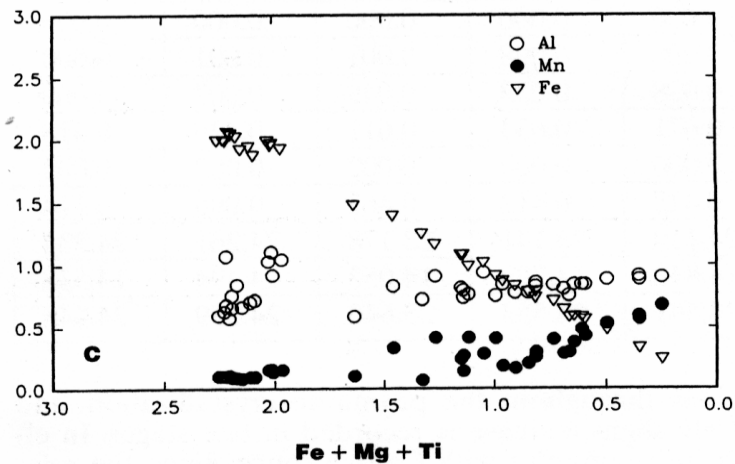
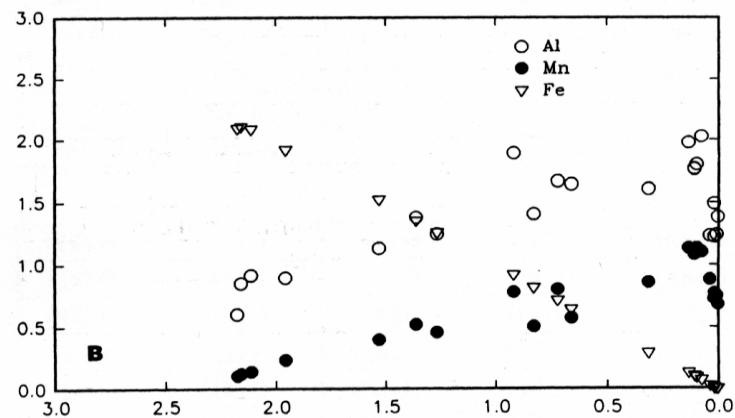
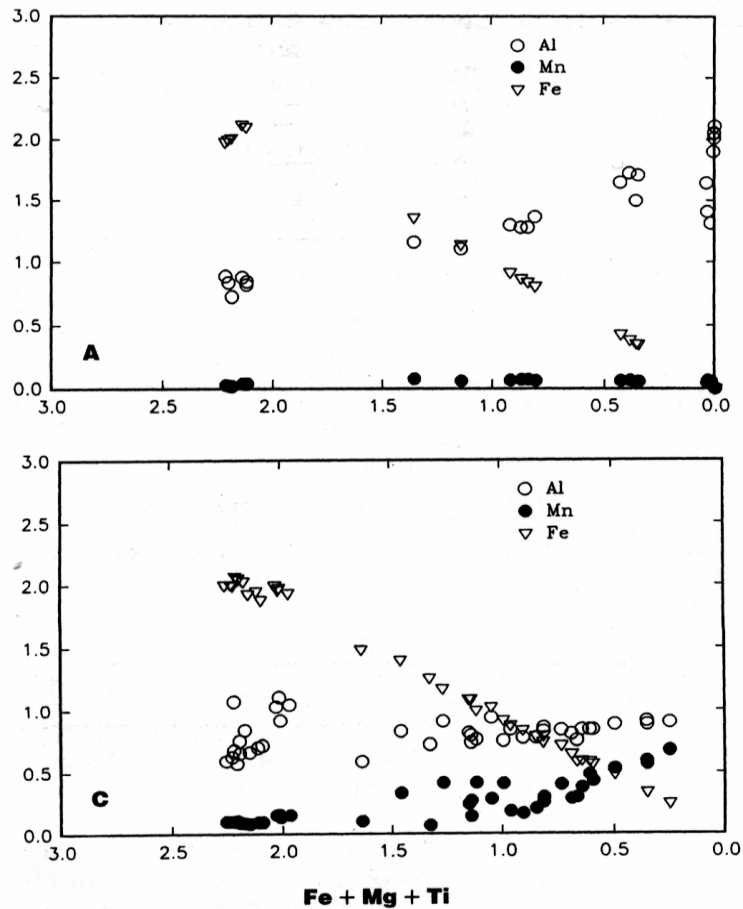


Fig. 3. Variation in concentrations of Fe, Mn, and Al per formula unit versus the FMT index. The same localities as in Fig. 2. Triangles (Fe) below imaginary line connecting sum (Fe + Mg + Ti) = 0 and sum Y-cations = 3 indicate Mg and Ti amount, increased particularly in early stages.

# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace

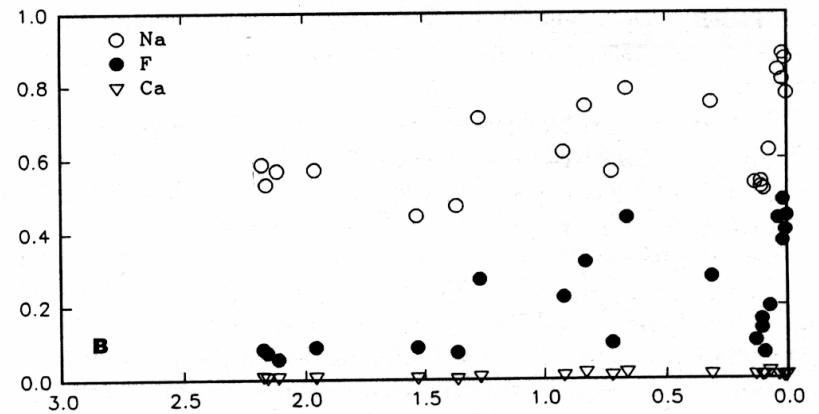
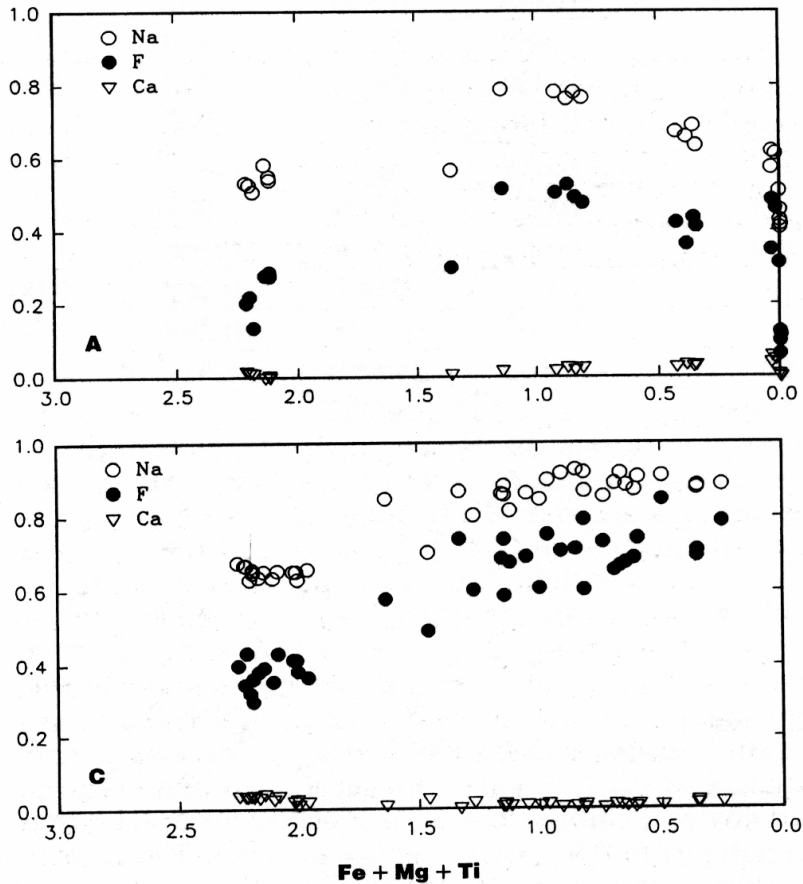
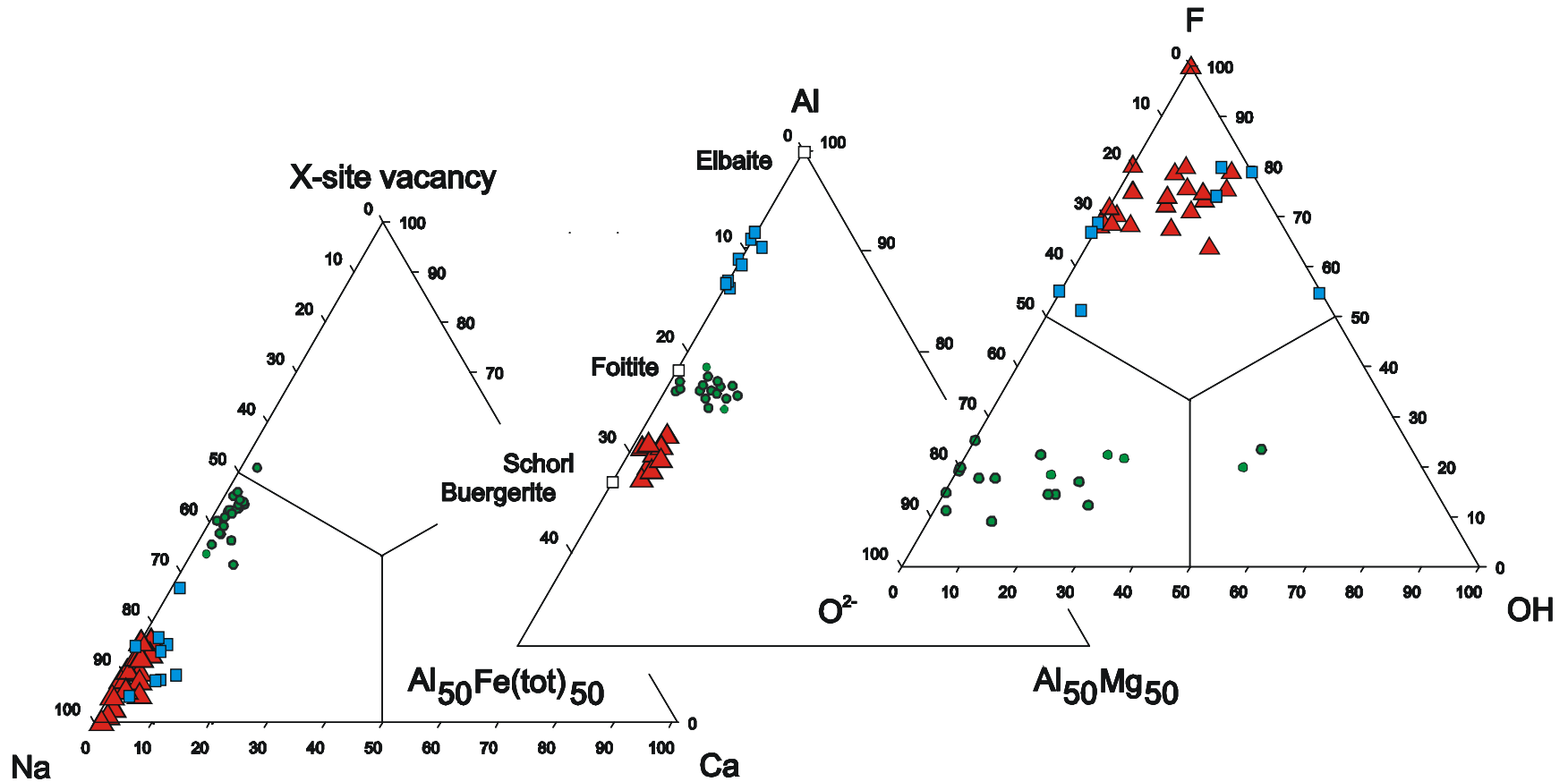


Fig. 4. Variation in concentrations of Na, Ca and F per formula unit versus the FMT index. The same localities as in Fig. 2.

# Granitické pegmatity – geochemická frakcionace





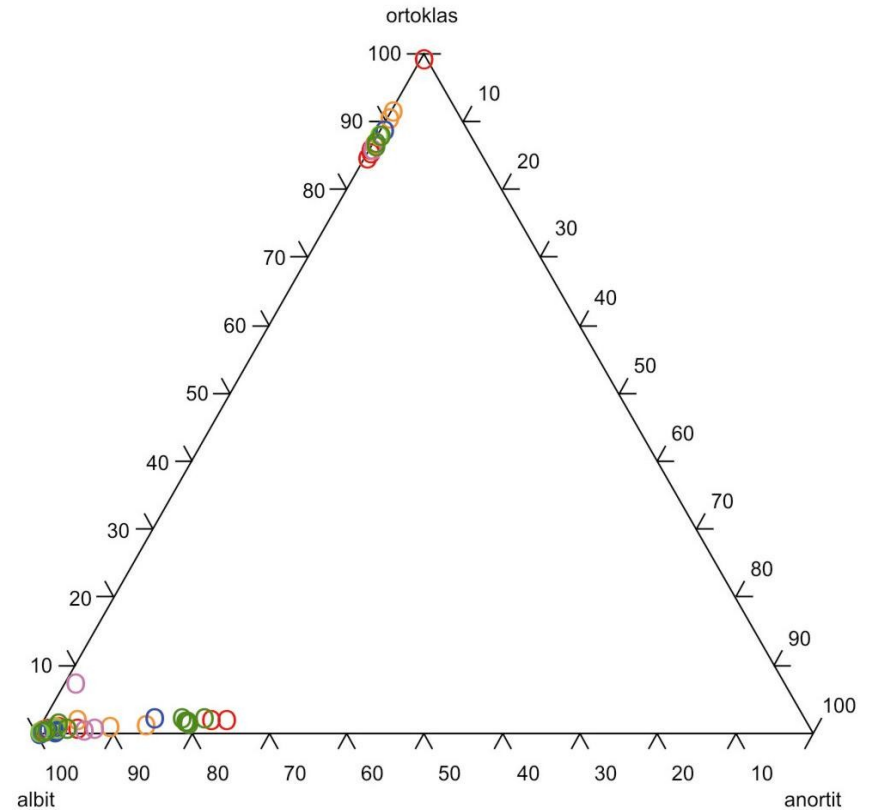
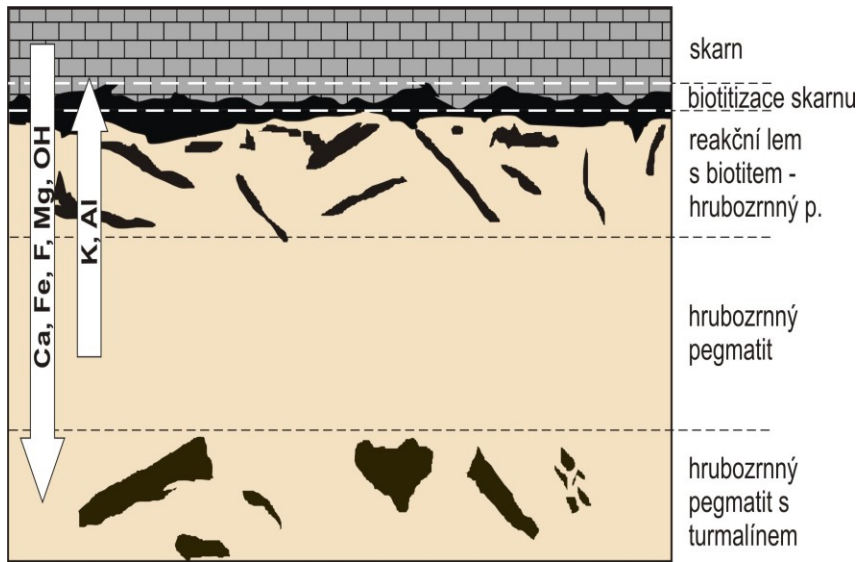
# Granitické pegmatity - kontaminace

Dalšími procesy (lépe komplexy procesů) probíhajícími ve větší či menší míře v granitických pegmatitech jsou také kontaminace a desilikace.

**Kontaminace** – proces, při němž dochází k přínosu látek z okolních hornin do pegmatitu. Charakterickým rysem je přítomnost takových chemických látek, resp. minerálů, které tyto látky obsahují a které nemohou být produktem běžné frakcionace granitické taveniny. Typickým příkladem jsou např. pegmatity pronikající serpentinity, které jsou obohaceny Mg (obsahují např. hojný cordierit, dravit nebo biotit bohatý Mg), nebo pegmatity pronikající Fe-skarny, které jsou obohaceny Fe (obsahují Fe-bohaté amfiboly a pyroxeny nebo epidot). Vlastní proces kontaminace je ale jen velmi málo prozkoumaný. Nevíme přesně, ve kterých fázích vývoje pegmatitu a jakými mechanismy dochází ke kontaminaci. Protože se ukazuje, že hlavní část krystalizace více frakcionovaných granitických pegmatitů probíhá v uzavřeném nebo téměř uzavřeném systému, zdá se, že ke kontaminaci dochází především během pohybu pegmatitové taveniny od zdroje na místo krystalizace a/nebo okamžitě po umístění taveniny do hostitelské horniny. Jakmile vznikne okrajová pegmatitová zóna, proces kontaminace se zastaví zhruba až do konce primární krystalizace z taveniny, potom se systém znovu otevře přínosu látek.

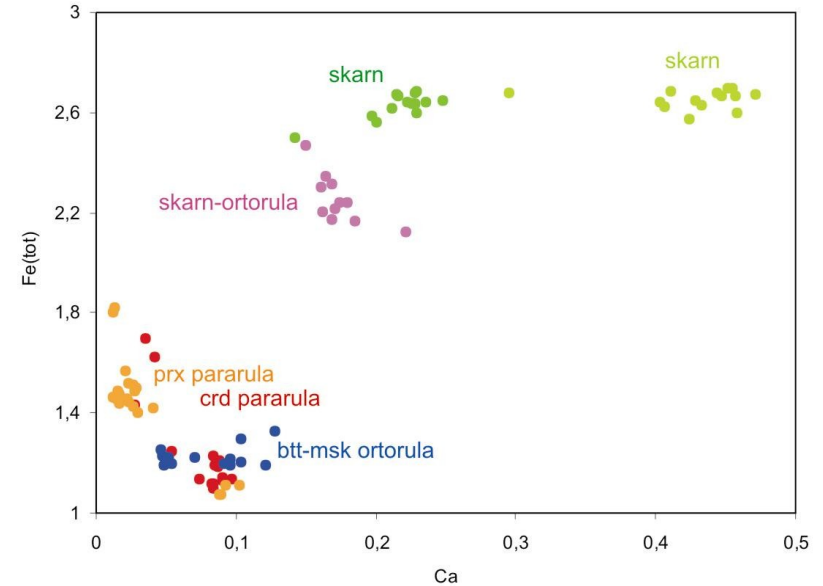
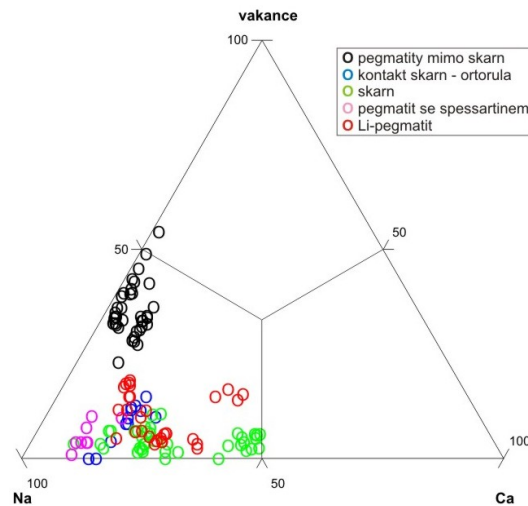
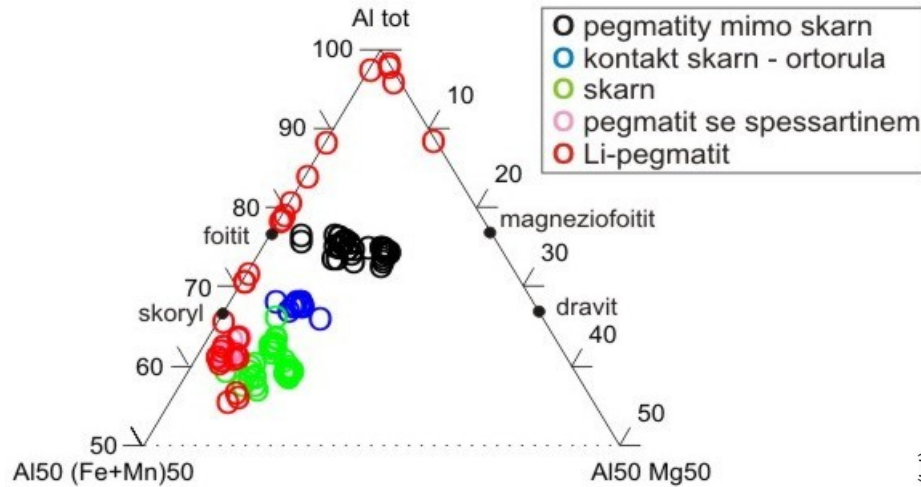
# Granitické pegmatity - kontaminace

## Vlastějovice



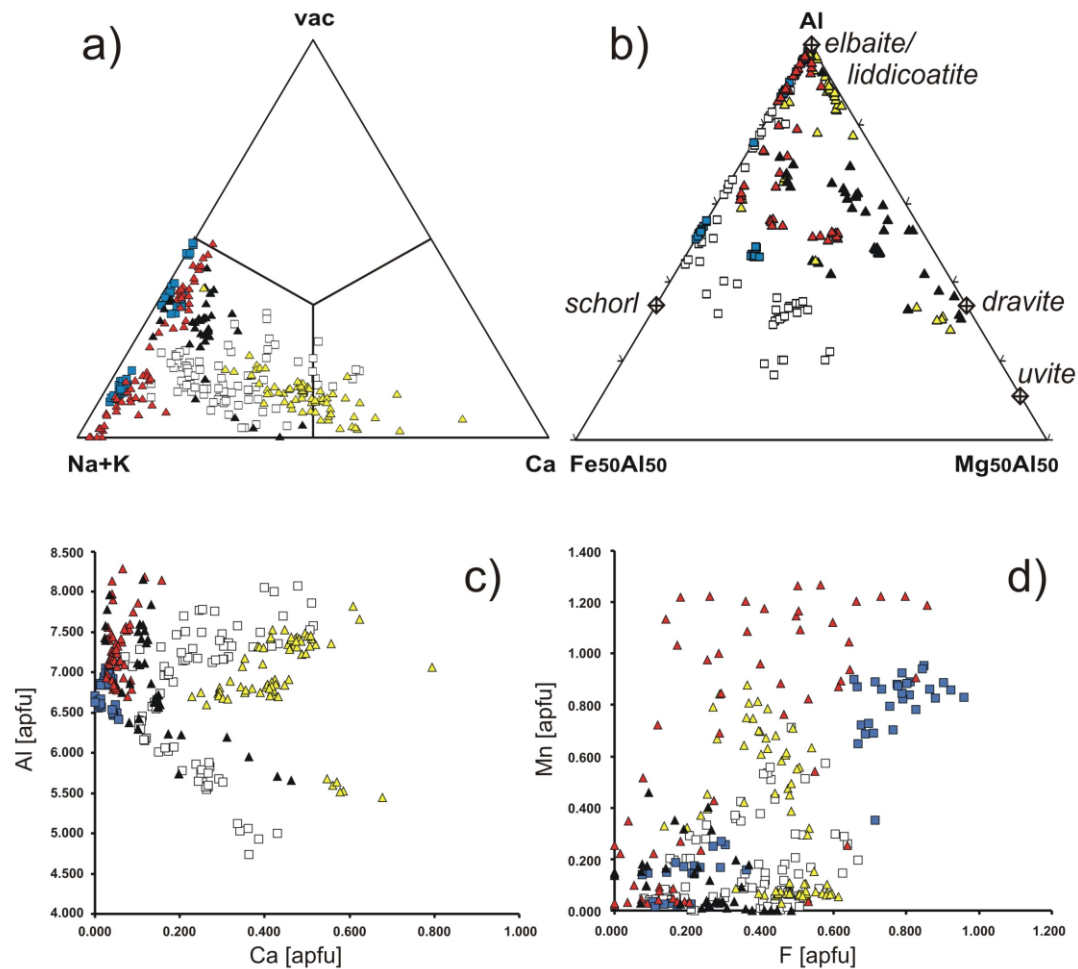
# Granitické pegmatity – kontaminace

## Vlastějovice



# Granitické pegmatity – kontaminace

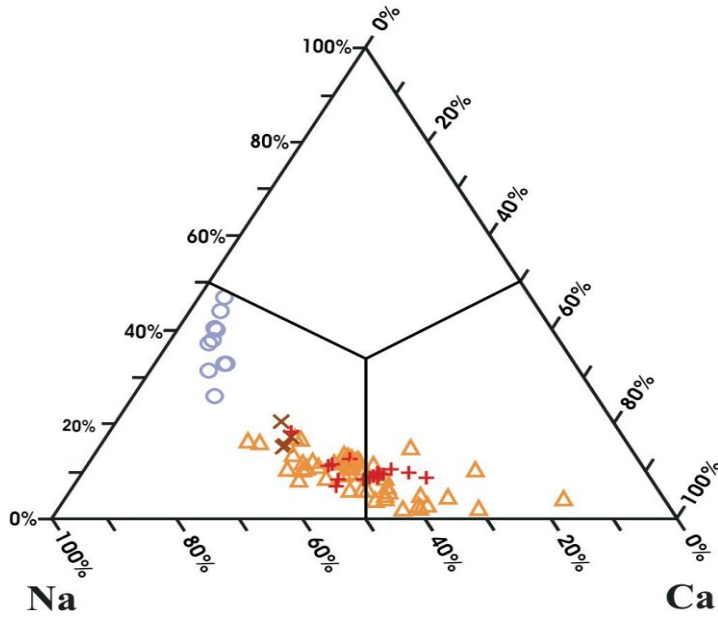
Bližná I, II, Řečice, Ctidružice



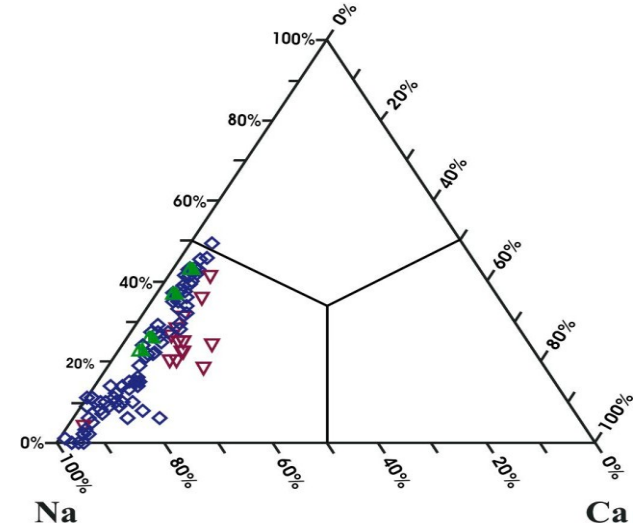
# Granitické pegmatity – kontaminace

## Bližná I a II

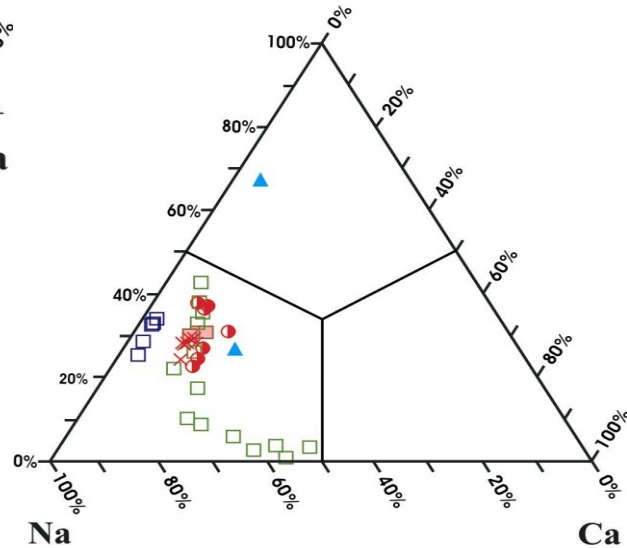
X-vakance



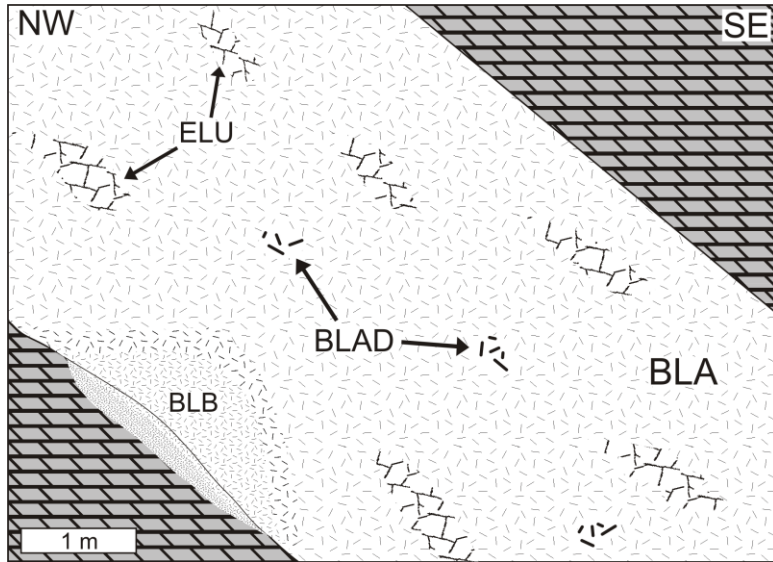
X-vakance



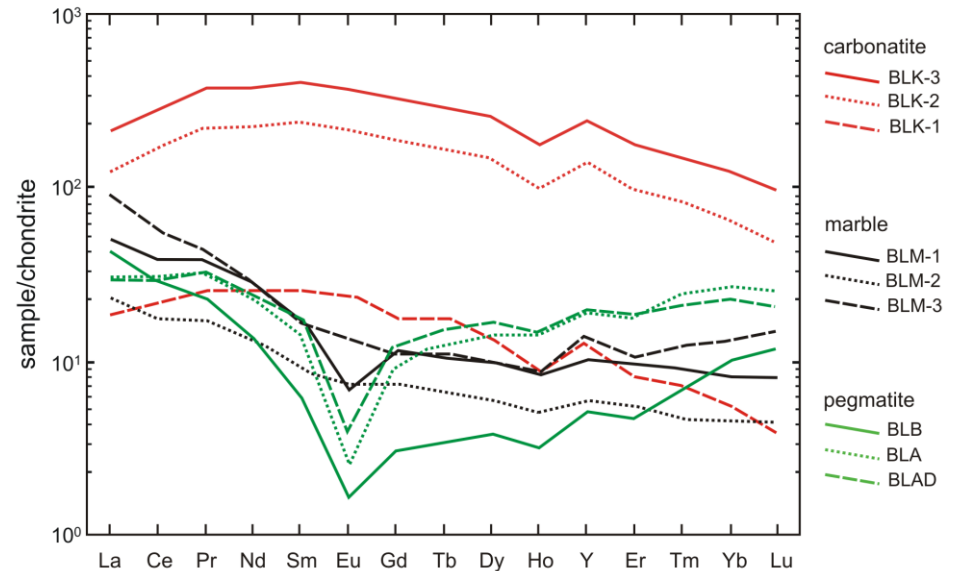
X-vakance



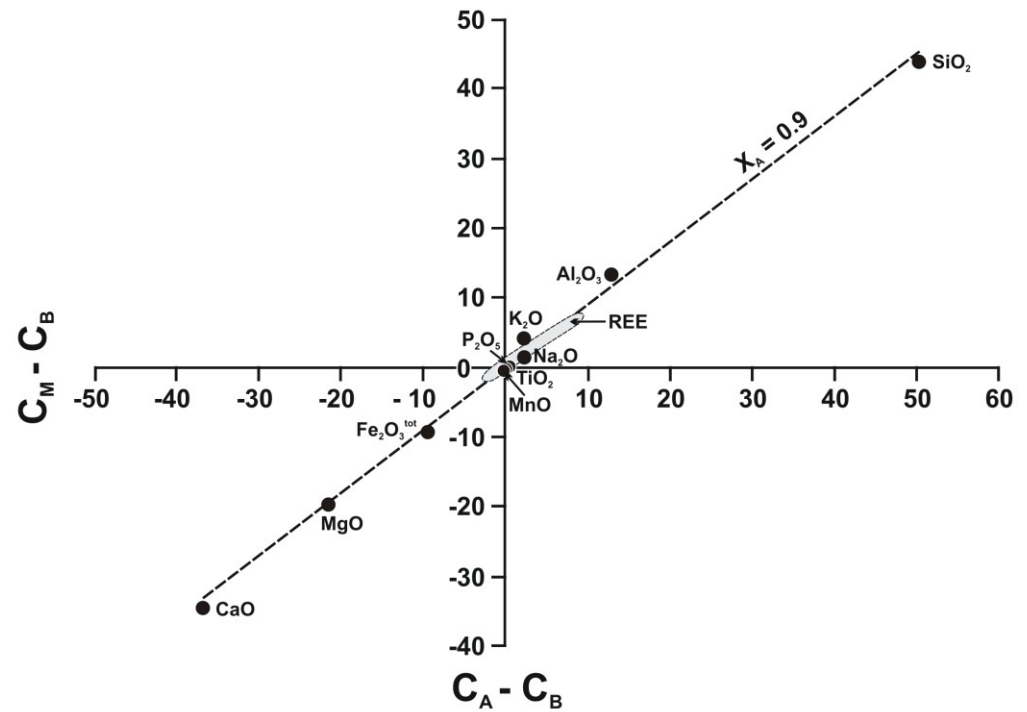
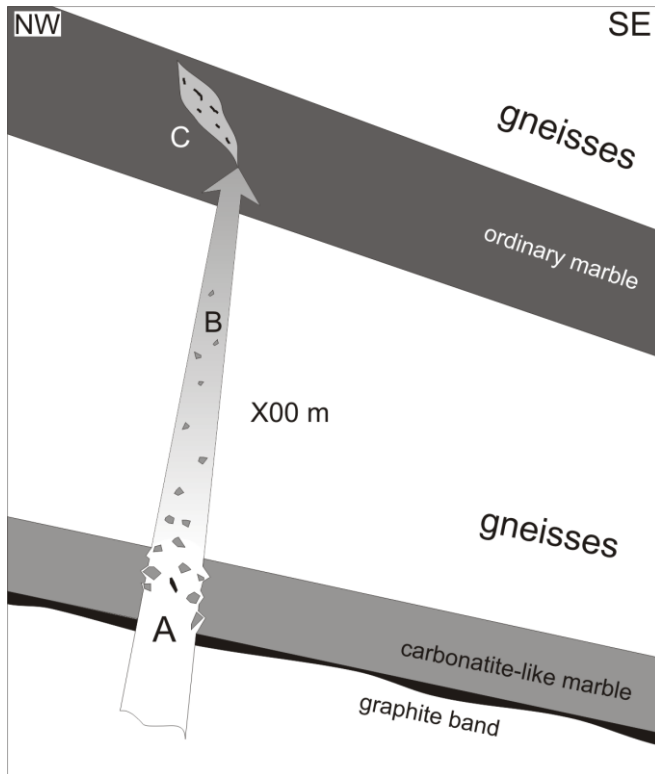
# Granitické pegmatity – kontaminace



## Bližná I



# Granitické pegmatity – kontaminace



# Shrnutí

1. Procesy produkující pegmatitové taveniny
  - a) Frakcionace mateřských granitů
  - b) Nízkoprocentní natavení hornin
  
2. Základními faktory pro vznik pegmatitů jsou:
  - a) Granitická tavenina s vysokým obsahem H<sub>2</sub>O a dalších volatilních komponent (B, F, P, Li).
  - b) Výrazné podchlazení pegmatitové taveniny (asi 700-600 °C), která proniká do hornin asi o 200 °C ale i více chladnějších.
  
3. Procesy probíhající v pegmatitech
  - a) Texturní diferenciacce
  - b) Geochemická frakcionace
  
4. Vliv složení mateřského granitu
  
5. Vliv kontaminace