

# Akcesorické minerály

**Prof. RNDr. M. Novák, CSc.  
Mgr. R. Čopjaková, PhD., Mgr. R. Škoda, PhD.)**

## Úvod

**Osnova přednášky:**

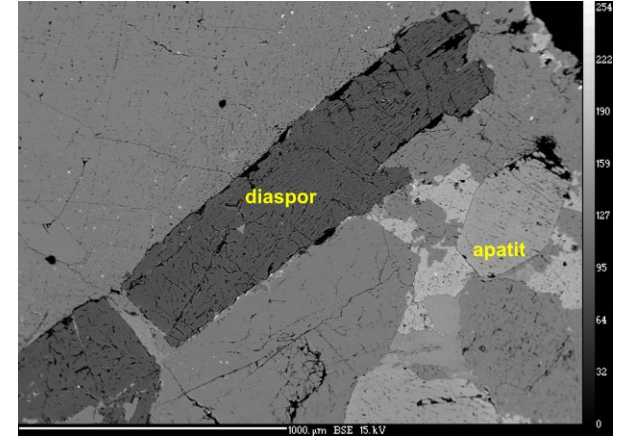
- 1. Definice (akcesorické minerály-AM, těžké minerály)**
- 2. Proč jsou v horninách AM?**
- 3. Význam studia AM**

# 1. Definice

- **Klasická definice akcesorického minerálu říká, že jde o minerál, který je přítomen v hornině v množství menším než 2 obj.%.**

**Tato definice je formální a využitelná pouze pro formální klasifikace hornin, z vědeckého hlediska nemá žádný význam především z těchto důvodů:**

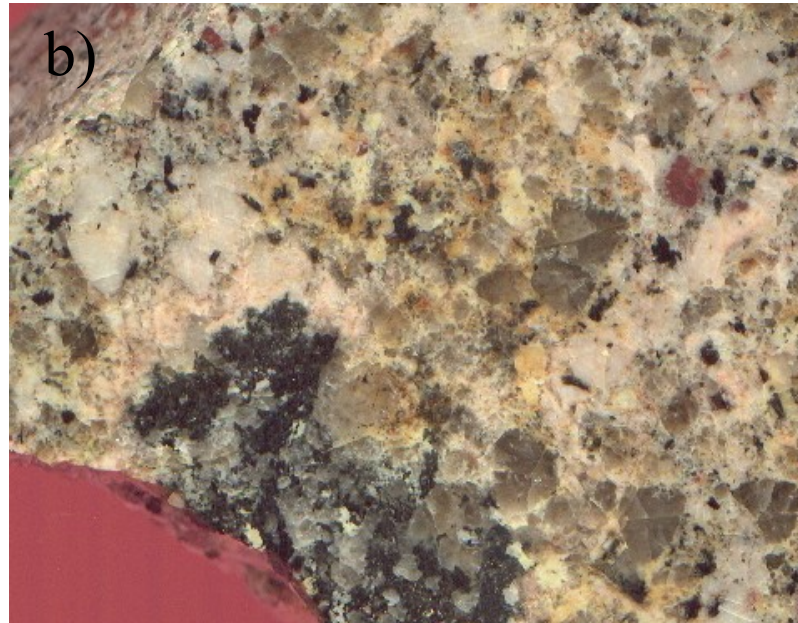
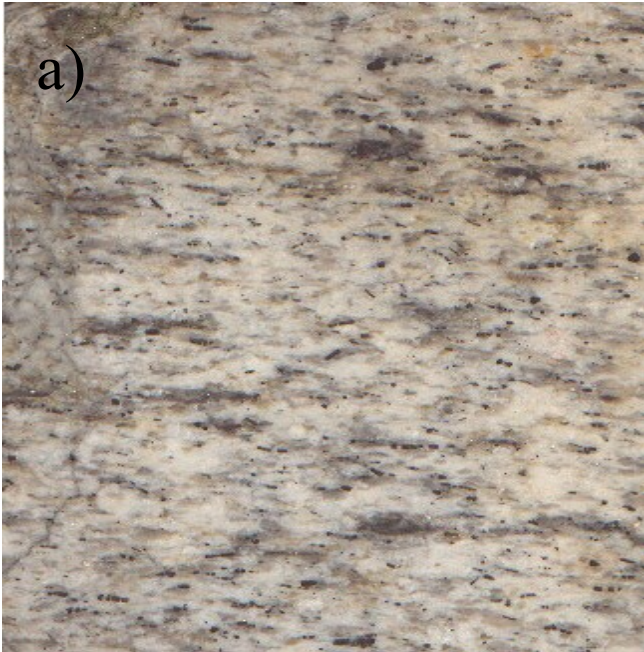
- **pro stanovení hranice na 2obj.% není žádný vědecky udržitelný důvod**
- **horniny jsou často nehomogenní a obsah jednotlivých minerálů kolísá, a to často i v rámci jednoho výbrusu, proto může obsah sledovaného minerálu kolísat od akcesorického po vedlejší množství**
- **jen vzácně známe modální složení horniny, takže hranici 2% platnou pro akcesorické minerály spíše odhadujeme**



**Vlastějovice**

# 1. Definice

## Příklady 2 odlišných výskytů turmalínu

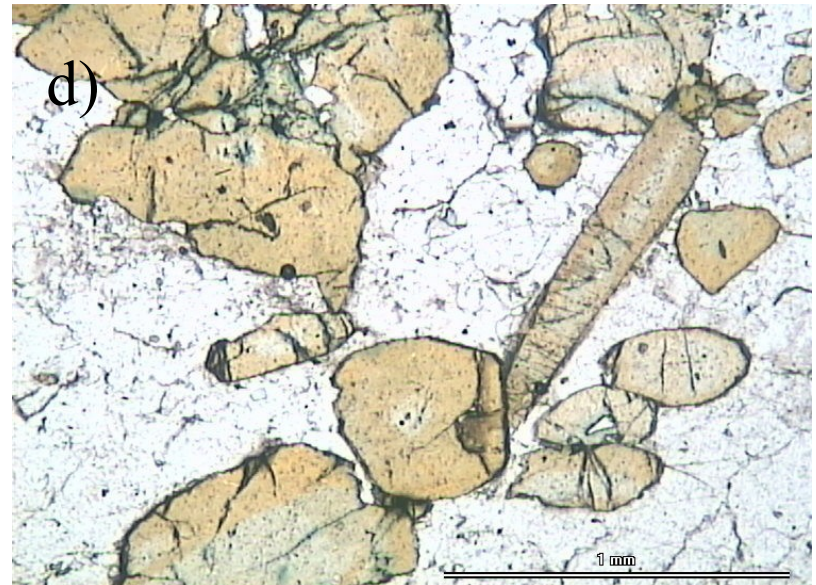
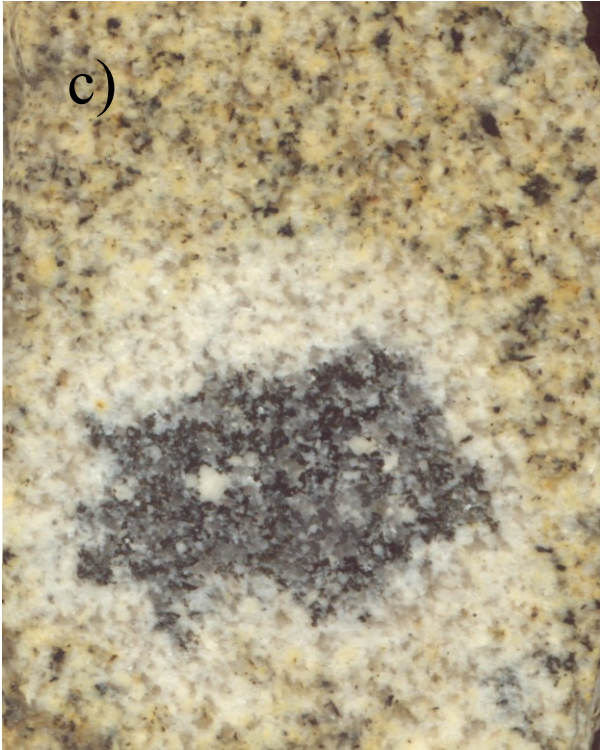


a) **typický akcesorický minerál**

b) **partie s vyšší koncentrací turmalínu, kdy je jeho množství výrazně vyšší než 2 obj.%.**

# 1. Definice

## Příklady 2 výskytů turmalínu



**c) turmalínová nodule, kdy je jeho množství výrazně vyšší než 2 obj.%**

**d) partie s turmalínem, kdy je jeho množství výrazně vyšší než 2 obj.%.**



# 1. Definice

- **Upřesňující definice**

- **Akcesorické minerály (AM) – accessory minerals - jsou takové minerály, které jsou v hornině přítomny v malém množství (hranici je možno si stanovit individuálně a řádně zdůvodnit, ale asi by neměla být vyšší než asi 5 obj.%, ale mohou být koncentrovány v různých útvarech).**

**Dále je důležité, aby AM vznikaly v hornině během stejného procesu jako hlavní horninotvorné minerály, resp. neměly by být mladší, např. zeolity nebo chlority. Na druhé straně mezi ně řadíme starší AM, např. oválné zirkony v magmatitech, které jsou reliktem z původní tavené horniny a jsou starší než všechny nebo většina horninotvorných minerálů v dané hornině.**

- **Těžké minerály (TM) – heavy minerals - minerály klastických sedimentárních hornin (zpevněných i nezpevněných), většinou přítomné pouze v akcesorickém množství, které jsou mechanicky a chemicky odolné tzv. refraktorní. Mezi TM patří jak většina typických AM, tak některé běžné horninotvorné minerály (amfiboly, pyroxeny).**

# 1. Definice

- **V čem jsou akcesorické minerály tak důležité ve srovnání s běžnými horninotvornými minerály?**
- Některé horninotvorné minerály jsou chemicky i strukturně natolik monotónní a jejich pole stability je tak velké, že neposkytují další důležité informace běžně používanými metodami. Typický příklad je křemen.
- Další minerály jsou chemicky relativně jednoduché (např. pyroxeny, olivín) a kromě hlavních geochemických poměrů, např. Fe/Mg popř. odmíšené lamely v pyroxenu neposkytují další důležité informace běžně používanými metodami.
- Složení jiných minerálů je natolik komplikované nebo jsou velmi nehomogenní nebo podléhají alteracím (olivíny, živce, amfiboly, slídy), takže jejich využití není často jednoduché.
- Využití moderních metod jako je CL, studium fluidních inkluzí, LA-ICP-MS, Ramanovská spektroskopie, SIMS a řada dalších u těchto minerálů ale může dát zajímavé informace, takže i běžné horninotvorné minerály **je nutné!! studovat detailně**. Ale některé z uvedených metod nejsou často jednoduše přístupné.
- **Nejlépe je studovat obojí, horninotvorné i akcesorické minerály.**

## **2. Proč jsou v horninách přítomny některé minerály pouze nebo většinou v akcesorickém množství?**

**Hlavními důvody jsou**

- 1. obsahují jako dominantní chemické prvky, které jsou v hornině přítomny jen malém množství, většinou se jedná o tzv. inkompatibilní prvky, které nevstupují do hlavních horninotvorných minerálů. Do AM ale někdy vstupují i kompatibilní prvky.**

**Příklady: inkompatibilní**

- REE (rare earth elements) + La, Y, Sc**

**Hlavní minerály: xenotim-(Y), monazit-(Ce), allanit-(Ce)**

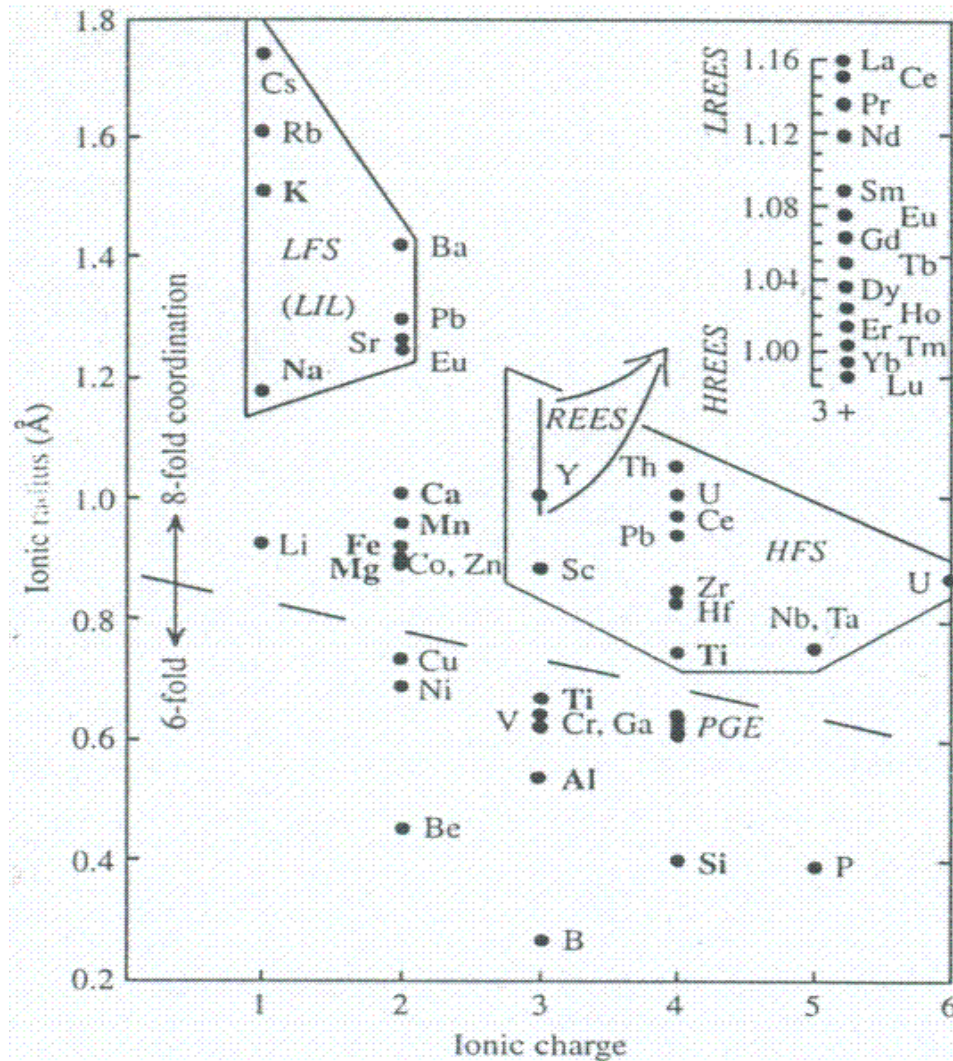
**Minoritní minerály: další vzácnější minerály ze skupiny monazitu a allanitu**

- HFSE (high field strength elements) – Zr, Hf, U, Th, Nb, Ta, Ti, Sn, W**

**Hlavní minerály: zirkon, rutil, titanit, ilmenit**

**Minoritní minerály: wolframit, scheelit, kasiterit, columbit-tantalit, mikrolit-pyrochlor, thorit, coffinit, hafnon**

## 2. Proč jsou v horninách přítomny některé minerály pouze nebo většinou v akcesorickém množství?





## 2. Proč jsou v horninách přítomny některé minerály pouze nebo většinou v akcesorickém množství?

- PGE (platinum group element) – Pt, Ru, Pd, Os

**Minerály: platina, iridium**

- lehké prvky – B, Be, Li

**Hlavní minerály: turmalíny**

**Minoritní minerály: dumortierit, beryl, fenakit, Li-slídy, grandidierit, boralsilit, werdingit, kornerupin, boráty**

### Více kompatibilní prvky

- prvky vystupující jako aniony v nízkých koncentracích – S, P, As, F, Cl

**Hlavní minerály: apatit, pyrit, pyrhotin**

**Minoritní minerály: baryt, topaz, skapolit, foidy, sulfidy**

- LFSE nebo také LIL (large-ion elements) – Rb, Cs, Ba, Sr, Pb

**Minerály: pollucit, celsian**

## **2. Proč jsou v horninách přítomny některé minerály pouze nebo většinou v akcesorickém množství?**

**2. Dalším ale méně častým důvodem je malé pole stability určitého minerálu v PT podmínkách (např. velmi vysoký tlak) často v kombinaci se zvýšenou aktivitou některé ze složek, obsažené v minerálu (např. vysoký oxidační stupeň). Tyto minerály často obsahují zcela běžné prvky – Ca, Mn, Mg, Fe, Al, Zn – staurolit, granáty, andalusit, sillimanit, kyanit, cordierit, spinel, gahnit, magnetit, hematit aj. V tomto případě je za pouze akcesorické množství těchto minerálů v horninách odpovědná např.:**

- přítomnost andalusitu  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  (a také sillimanitu, kyanitu) je ovlivňována poměrem alkálie/Al, tzv. ASI indexem, tlakem a teplotou.**
- diaspor  $\text{AlOOH}$  má poměrně úzké pole stability v PT diagramu a vyžaduje nízkou aktivitu Si a alkálií.**
- korund  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ukazuje na vysoký obsah Al a nízkou aktivitu Si, alkálií a  $\text{H}_2\text{O}$ .**

## 2. Proč jsou v horninách přítomny některé minerály pouze nebo většinou v akcesorickém množství?

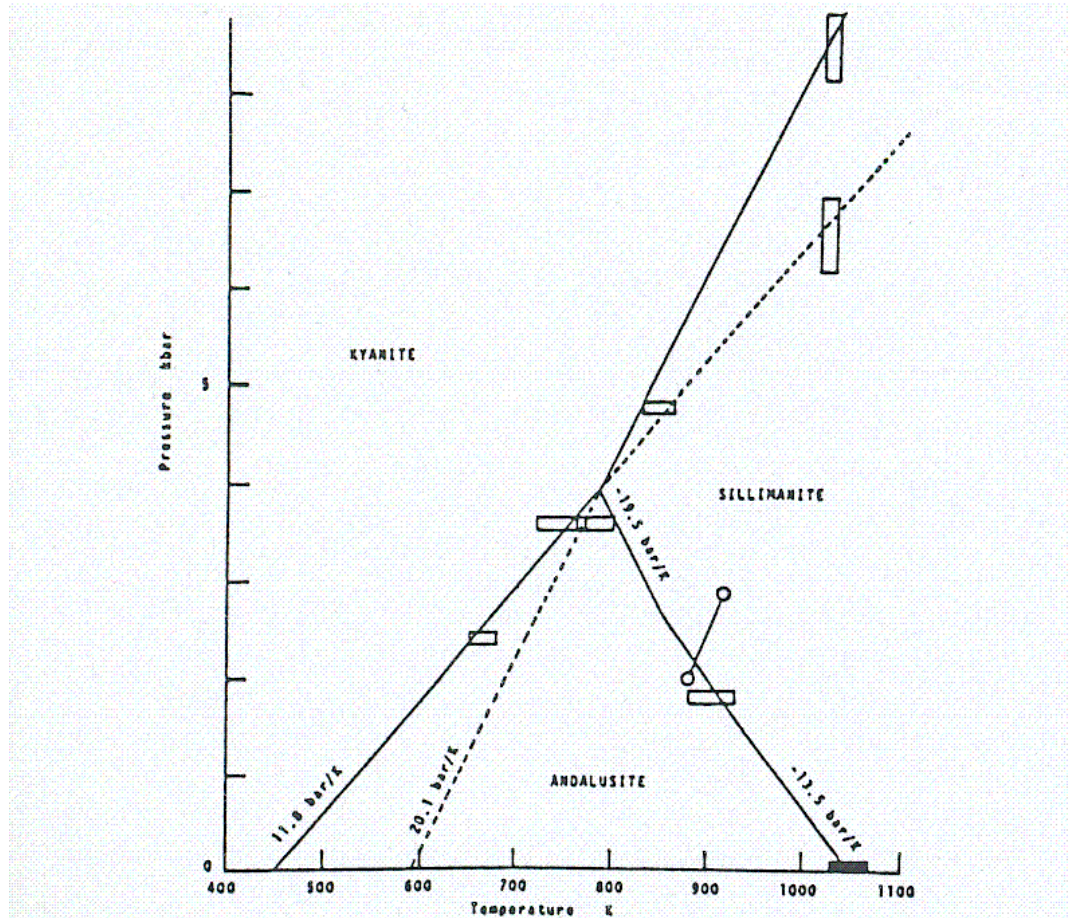
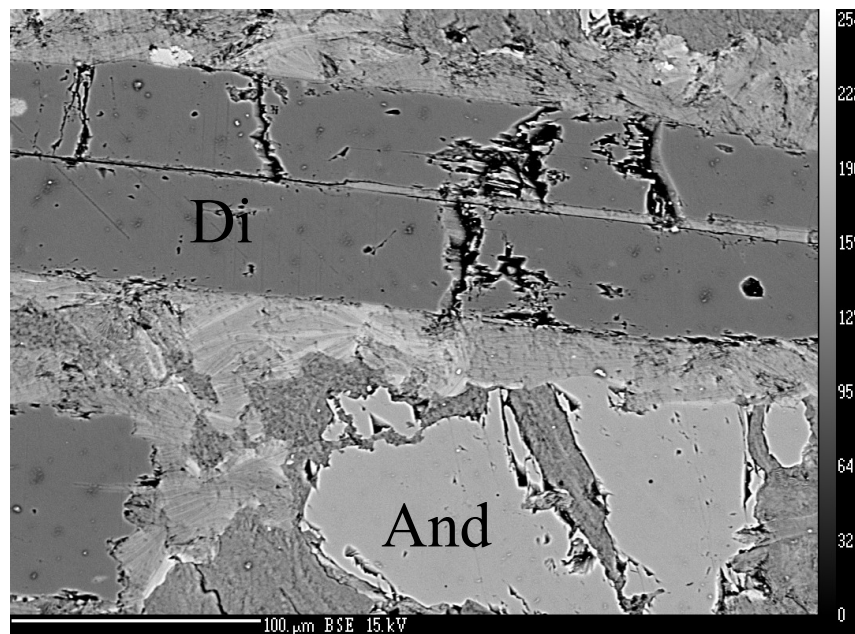
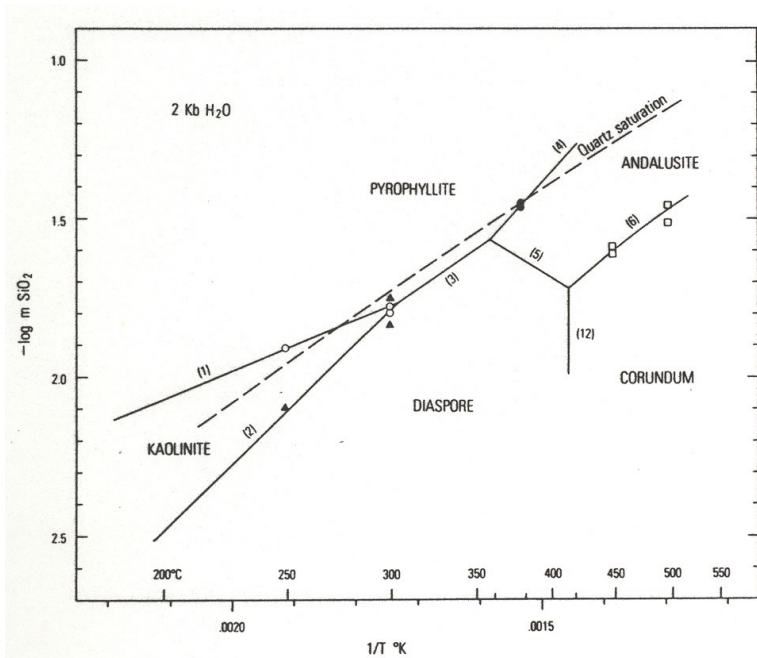


Figure 3.37. Phase equilibrium diagram showing experimental brackets for the  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  equilibria (rectangles) and the univariant equilibria computed with the Clapeyron equation using entropies derived from the heat capacity measurements of Robie and Hemingway (1984). (From Robie and Hemingway, 1984, Fig. 5).

## 2. Proč jsou v horninách přítomny některé minerály pouze nebo většinou v akcesorickém množství?



**Diaspor, andaluzit a sekundární pyrofyilit + illit**

## 2. Proč jsou v horninách přítomny některé minerály pouze nebo většinou v akcesorickém množství?

- Gahnit  $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$  odráží zvýšenou koncentraci prvku (Zn) v hornině, který ale není vázán v dostatečném množství např. v biotitu nebo ve staurolitu.
- Staurolit vyžaduje vysoký poměr Al/Si.
- topaz  $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2$  peraluminické složení horniny a vysokou aktivitu F
- stišovit, coesit –  $\text{SiO}_2$  a diamant – C extrémně vysoký tlak
- yoderit  $(\text{Mg},\text{Al},\text{Fe}^{3+})_8\text{Si}_4(\text{O},\text{OH})_{20}$  vysoký tlak v kombinaci s vysokým oxidačním stupněm
- Grandidierit, werdingit, boralsilit (borosilikáty s vysokým poměrem Al/Si + Mg,Fe) – vysokou aktivitu B při velmi nízké aktivitě  $\text{H}_2\text{O}$
- **Velké množství nějakého AM v hornině ukazuje na extrémně vhodné podmínky pro jeho vznik, které jsou také velmi důležitou geologickou informací.**



# 3. Význam studia AM

Význam AM neustále roste a lze je využít např. pro:

- radiometrické datování (zirkon, monazit, granát, titanit, allanit, rutil), pro reálné interpretace je nutno ale studované minerály detailně studovat (alterace, vztah k jiným minerálům)

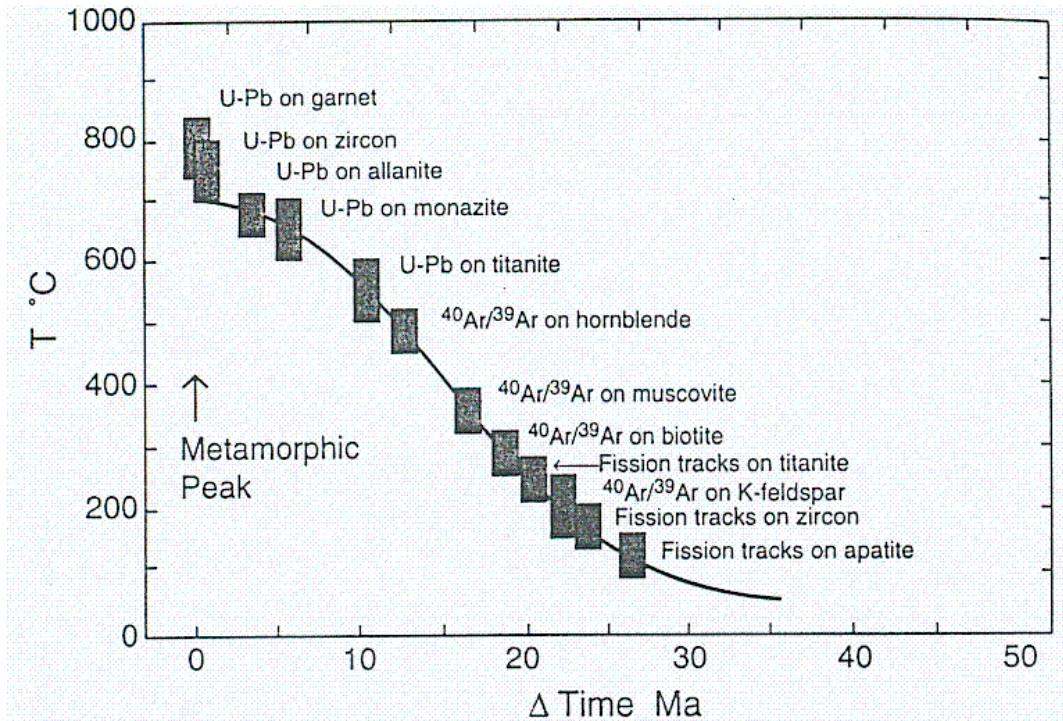


Figure 20-12. A hypothetical temperature-time plot showing the array of different thermochronometers that may be used to constrain the T-t history of an area.

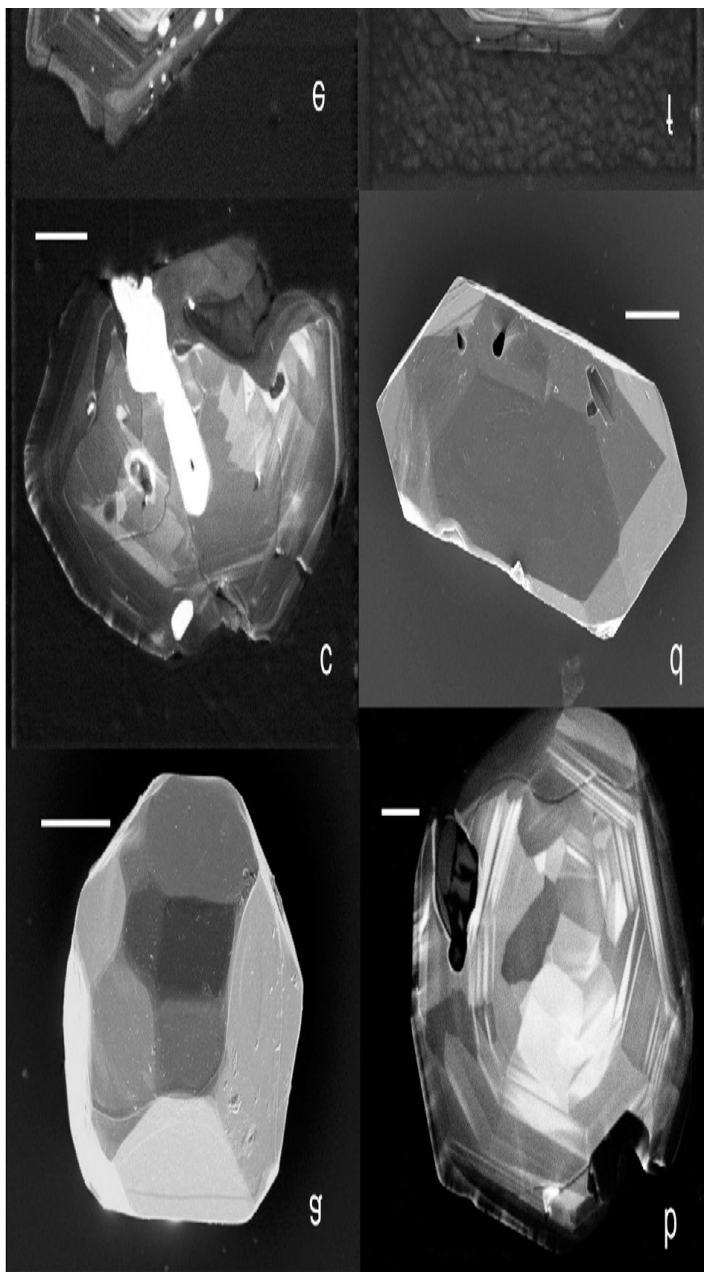
### 3. Význam studia AM



**Zirkon**

### 3. Význam studia AM

Zirkon z durbachitů jihlavského a třebíčského masívu, Kotková et al. (2009), příklad U/Pb datování zirkonu





### 3. Význam studia AM



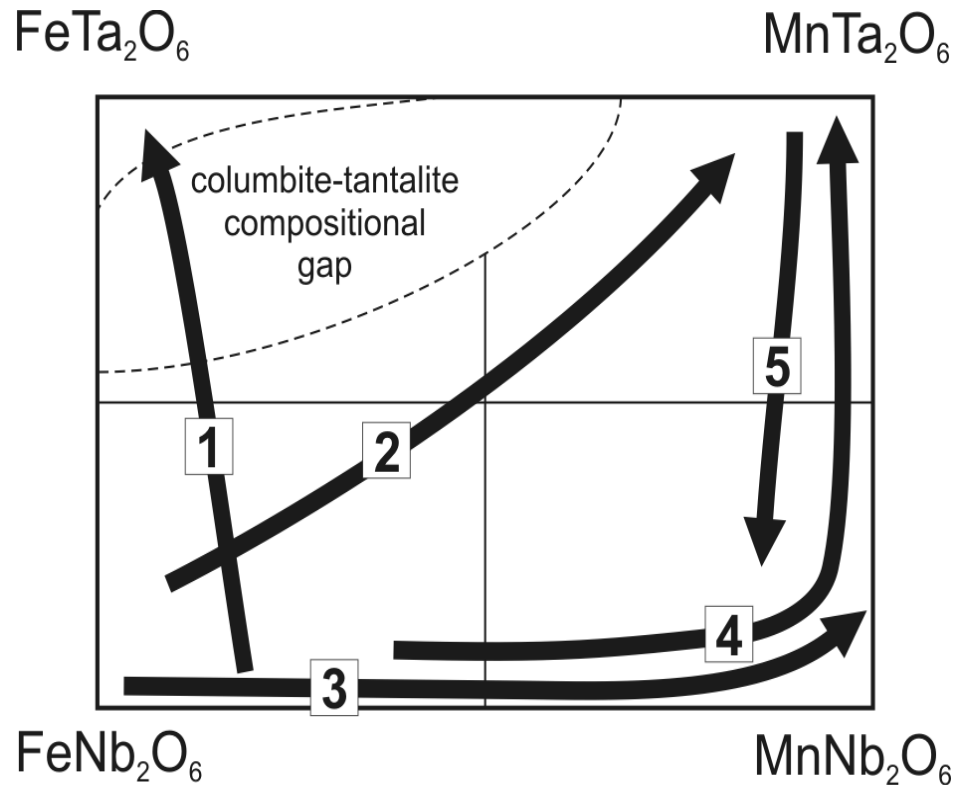
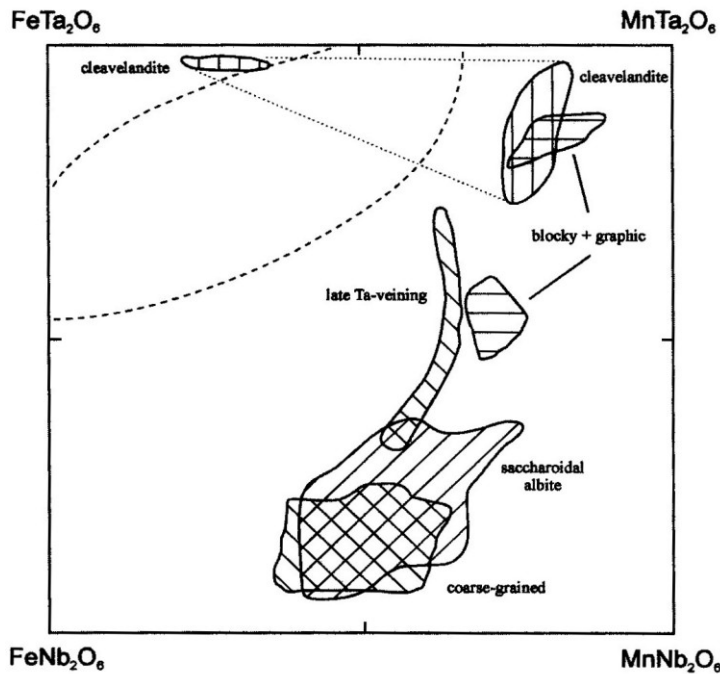
**Allanit**



**Monazit**

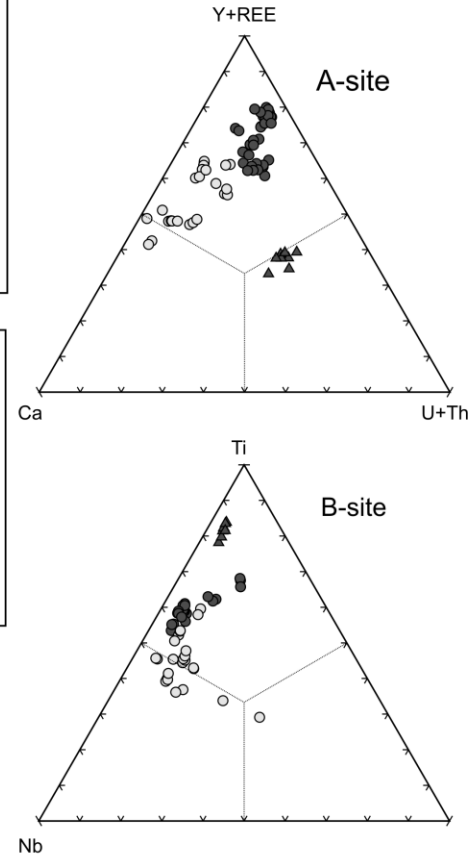
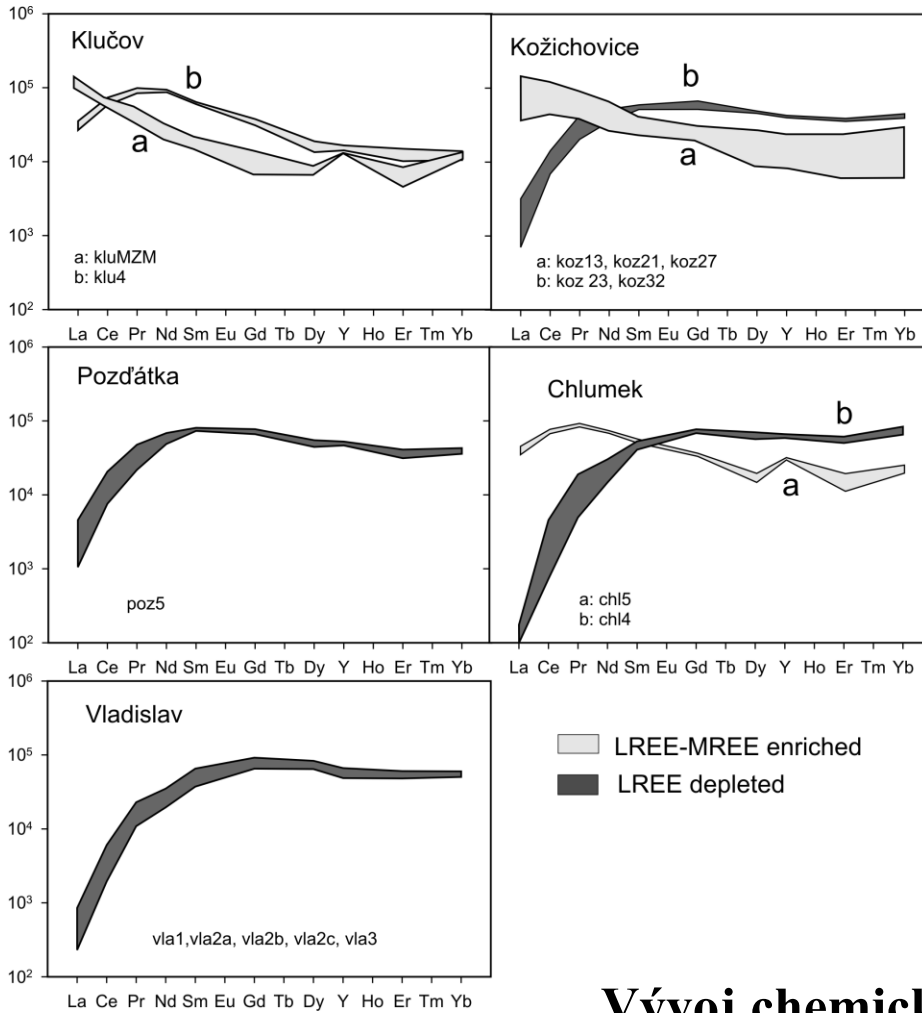
### 3. Význam studia AM

- geochemické interpretace, např. stupeň frakcionace - poměr některých prvků v AM, např., Nb/Ta, Zr/Hf, Y,HREE/LREE



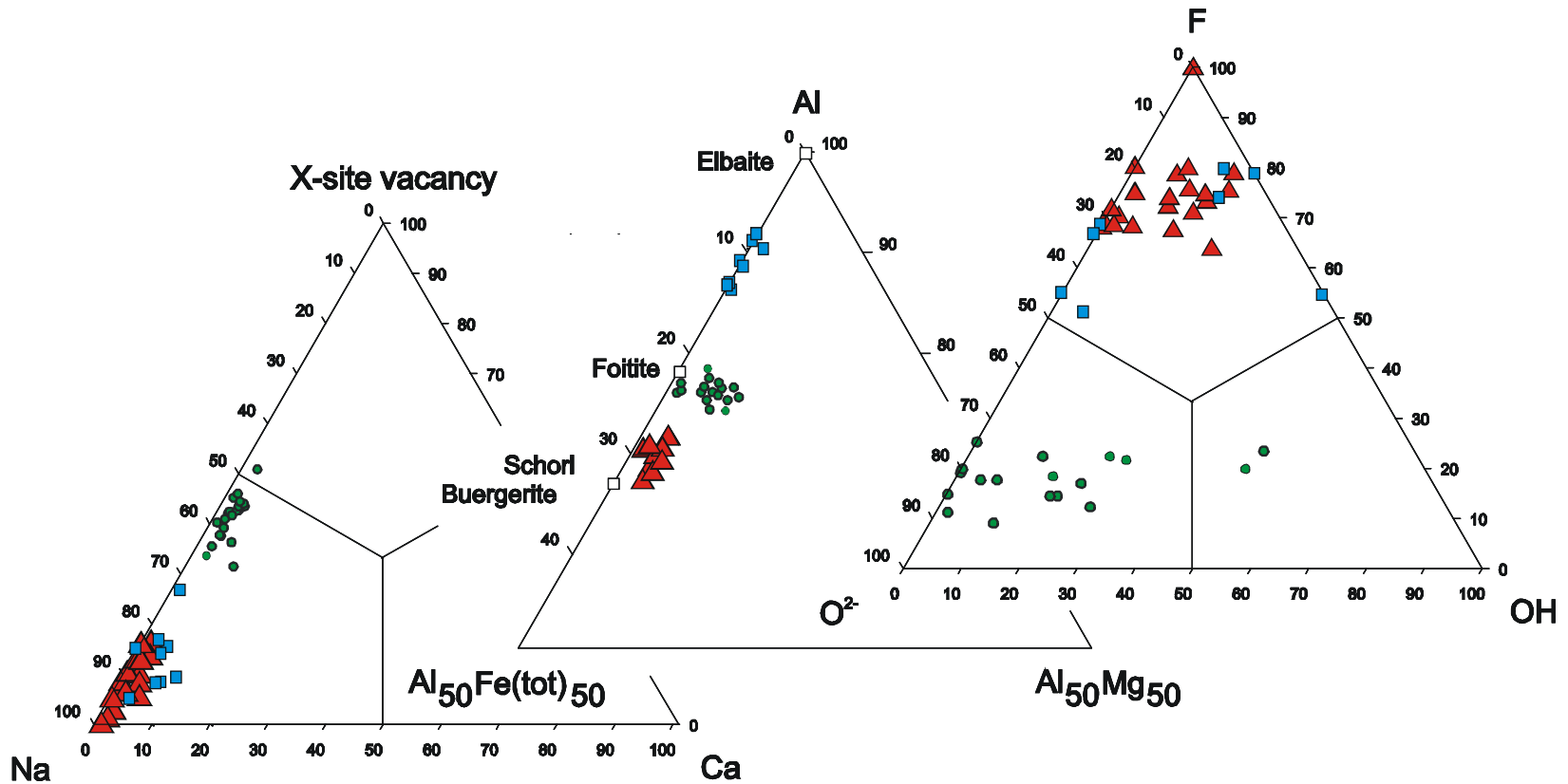


# 3. Význam studia AM



**Vývoj chemického složení Y,REE,Nb,Ta,Ti-oxidů,  
 Škoda a Novák (2007)**

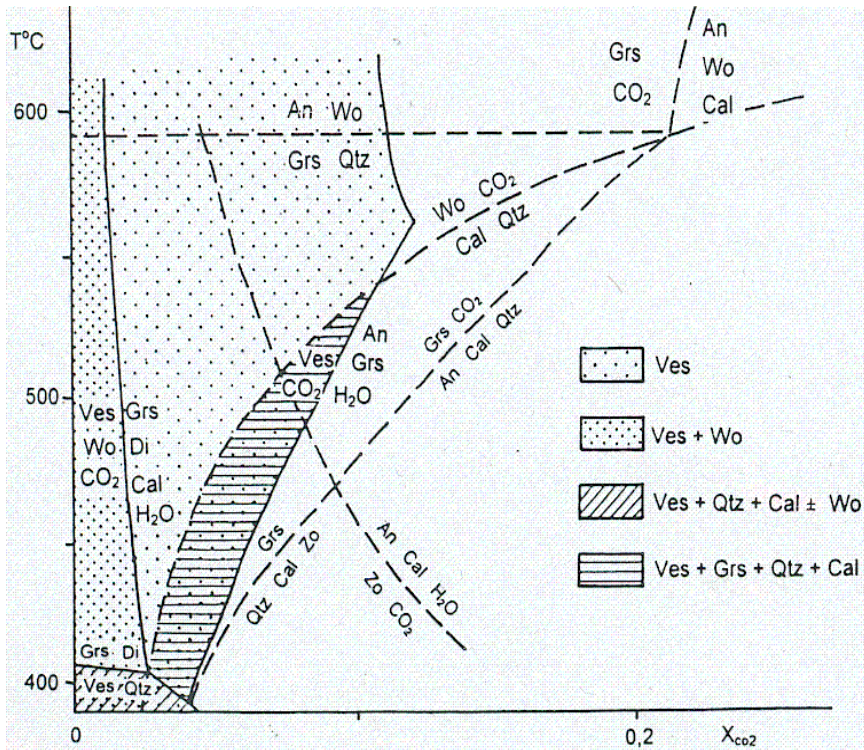
# 3. Význam studia AM



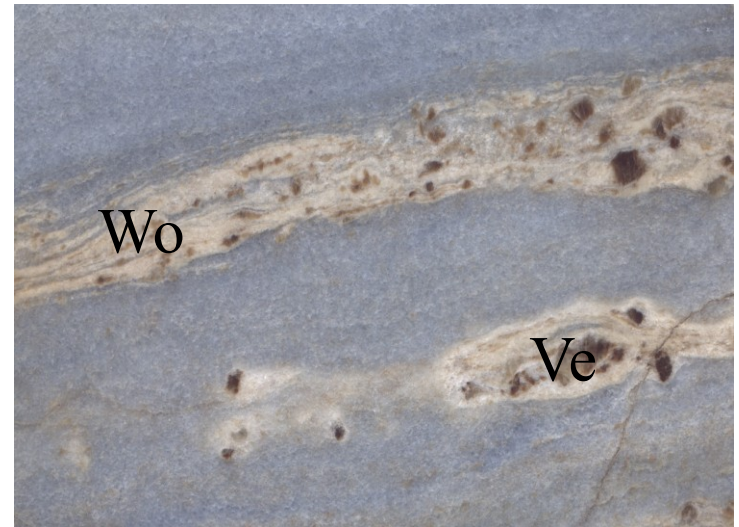
Chemické složení turmalínu z různých granitických hornin

# 3. Význam studia AM

- odhad PTX podmínek vzniku minerálních asociací – staurolit, cordierit,  $Al_2SiO_5$  modifikace, topaz, vesuvian, aj.



Obr. 1. Schematický T - X<sub>CO2</sub> diagram vybraných reakcí v systému CMAS-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> při P<sub>fluid</sub> = P<sub>celk.</sub> = 200 MPa (upraveno podle Valleyho et al. 1985 a Labotky et al. 1988)  
 Fig. 1. Schematic T - X<sub>CO2</sub> diagram showing selected reactions in the system CMAS-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> at P<sub>fluid</sub> = P<sub>total</sub> = 200 MPa (modified from Valley et al. 1985 and Labotka et al. 1988).

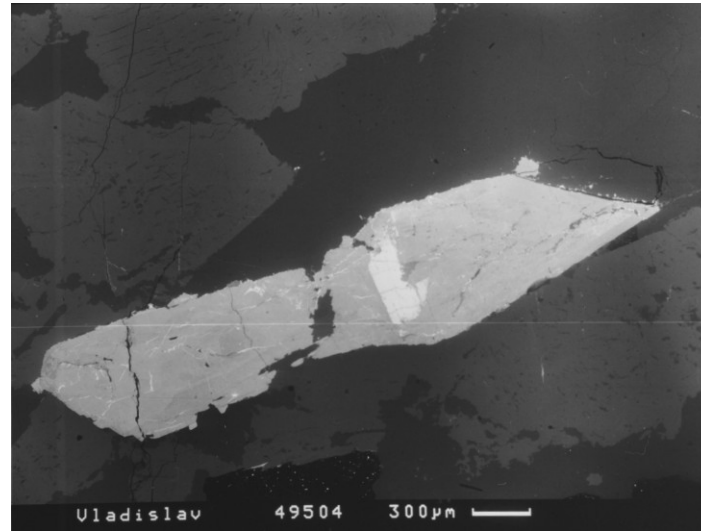


**Kalcitický mramor s wollastonitem a vesuvianem, Nedvědice**

### 3. Význam studia AM

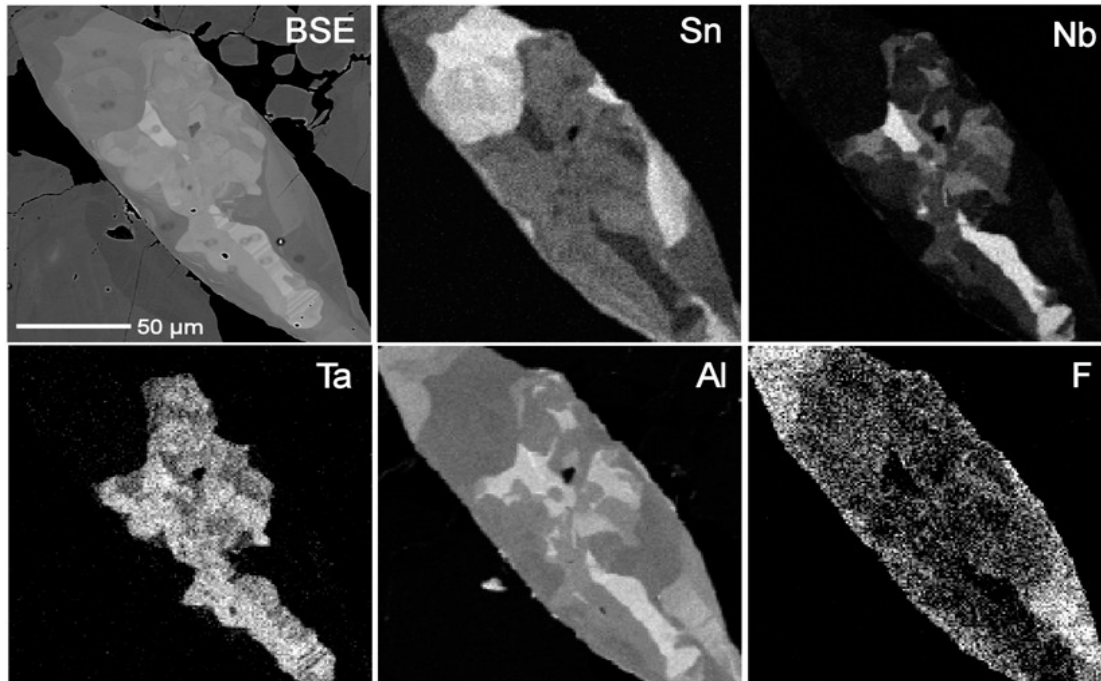
- **oxidační stupeň –  
magnetit/ilmenit  
allanit/monazit**

**Allanit s inkluzí monazitu**



- **aktivita některých stopových nebo podřadných prvků – P, F, As, Ba, Cl aj.**
- **provenienční studie sedimentů – na základě minerálních asociací a chemického složení minerálů lze zjistit poměrně spolehlivě snosové oblasti**
- **zralost sedimentů – minerální asociace a opracování zrna slouží pro odhad zralosti sedimentu**

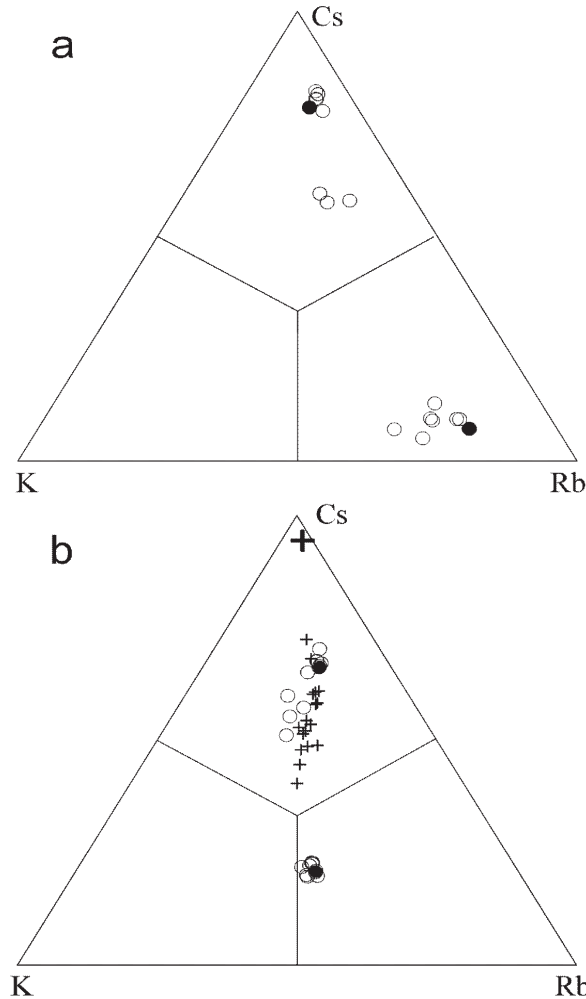
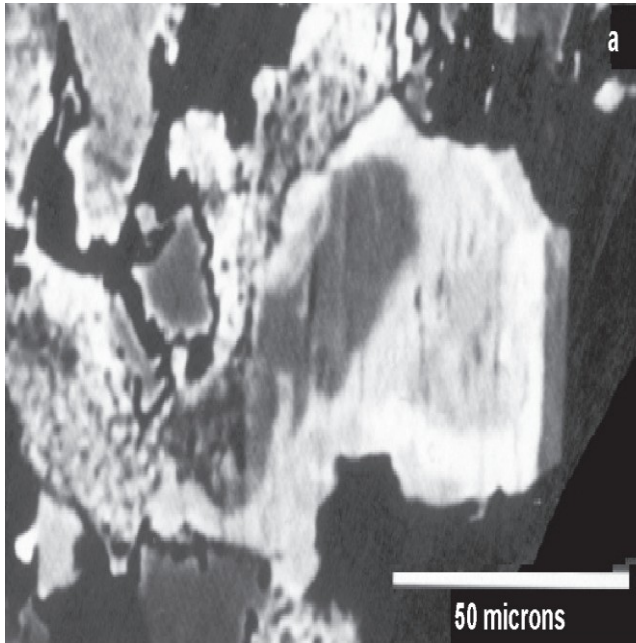
### 3. Význam studia AM



**Distribuce jednotlivých prvků v titanitu, Písek; Cempírek et al. (2008).**



### 3. Význam studia AM



Cs,Rb-bohaté slídy z pegmatitu Red Cross Lake, Manitoba, Černý et al. (2003).

# Přehled přednášek

- 1. Skupina turmalínu a další borosilikáty (dumortierit) - Novák**
- 2. Minerály Nb, Ta, W, Sn (columbit-tantalit, Nb,Ta-rutil, pyrochlor-mikrolit, tapiolit, wolframit, kasiterit, scheelit, Nb,Ta-titanit) - Novák**
- 3. Hliníkem bohaté silikáty -  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  modifikace, staurolit, chloritoid, safírín - Novák**
- 4. Beryl a další Be-minerály - Novák**
- 5. Těžké minerály - Čopjaková**
- 6. Skupina granátu - Čopjaková**
- 7. Spinelidy - Čopjaková**
- 8. Minerály Ti – rutil, ilmenit, titanit - Škoda**
- 9. Minerály REE – monazit, xenotim, allanit, Y,REE-oxidy - Škoda**
- 10. Zirkon - Škoda**
- 11. Apatit a další primární fosfáty – Škoda**