

# Struktura přednášky

## Úvod - REE

### Monazit $\text{LREEPO}_4$ - monoklinický

- Krystalochemie monazitu
- Přepočítání chemických analýz monazitu a grafické zpracování
- CHIME datování monazitu
- Monazit v magmatických horninách
- Monazit v metamorfovaných horninách
- Monazit v sedimentárních horninách

### Rhabdofán $\text{LREEPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ - hexagonální

### Allanit - monoklinický

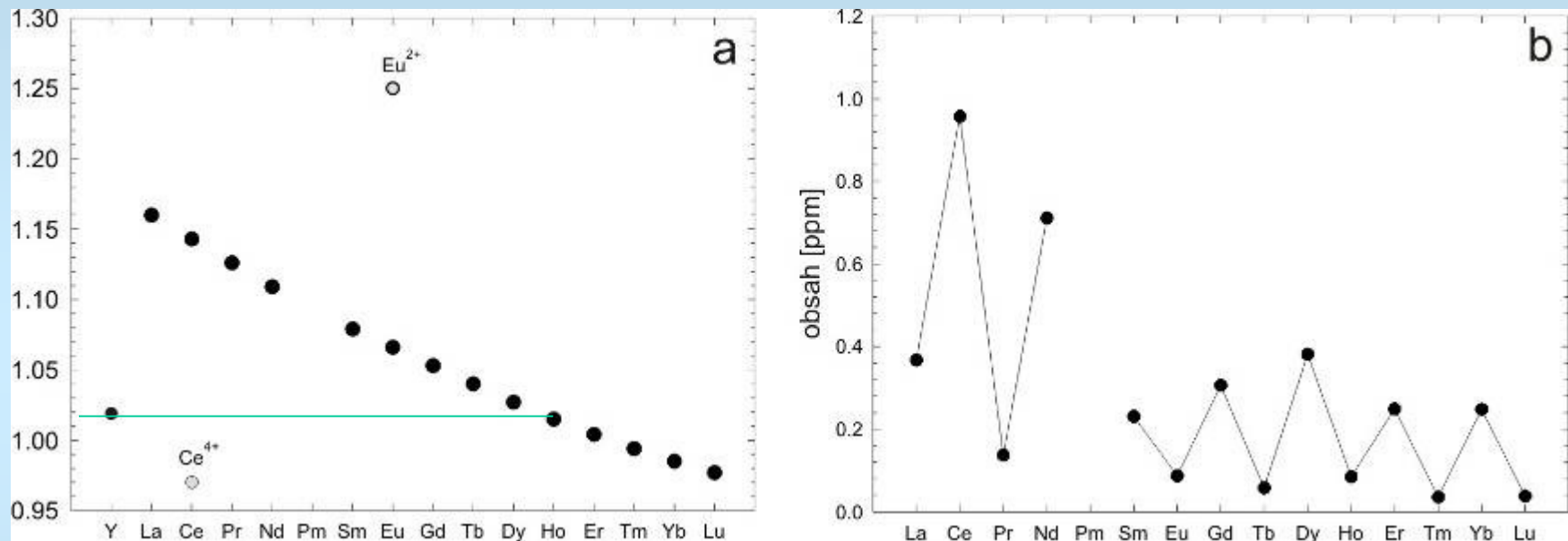
- Krystalochemie a vlastnosti allanitu

# Prvky vzácných zemin - REE

- Lanthanoidy - prvky vzácných zemin (REE, Rare Earth Elements) jsou geochemicky významnou skupinou prvků.
- „Pravé“ vzácné zeminy - Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb a Lu
- K „pravým“ vzácným zeminám jsou často vzhledem ke svým podobným chemickým vlastnostem a podobné elektronové konfiguraci (s výjimkou 4f slupek) přiřazovány také La, Y a někdy i Sc
- V odborné geologické literatuře termín REE obvykle zahrnuje lanthanoidy společně s La.
- Převažující valence REE je  $\text{Ln}^{3+}$ , ovšem Ce a Eu se vyskytují i v oxidačním stavu  $\text{Ce}^{4+}$  a  $\text{Eu}^{2+}$
- Poměr  $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$  a  $\text{Eu}^{2+}/\text{Eu}^{3+}$  závisí na oxidačně-redukčním potenciálu prostředí
- Rozměry a náboj umožňují  $\text{Eu}^{2+}$  vstup do struktury plagioklasu, jenž lze vyjádřit homovalentní substitucí  $\text{Eu}^{2+}(\text{Ca}^{2+})_{-1}$
- Při analýze celkového složení horniny se toto chování projeví jako negativní/pozitivní europiová anomálie
- Velikost  $\text{Ce}^{4+}$  je blízká Lu, což způsobuje vstup  $\text{Ce}^{4+}$  do minerálů upřednostňujících HREE - např. v zirkonu, jehož struktura preferuje vstup HREE a Y, může projevit pozitivní cerová anomálie

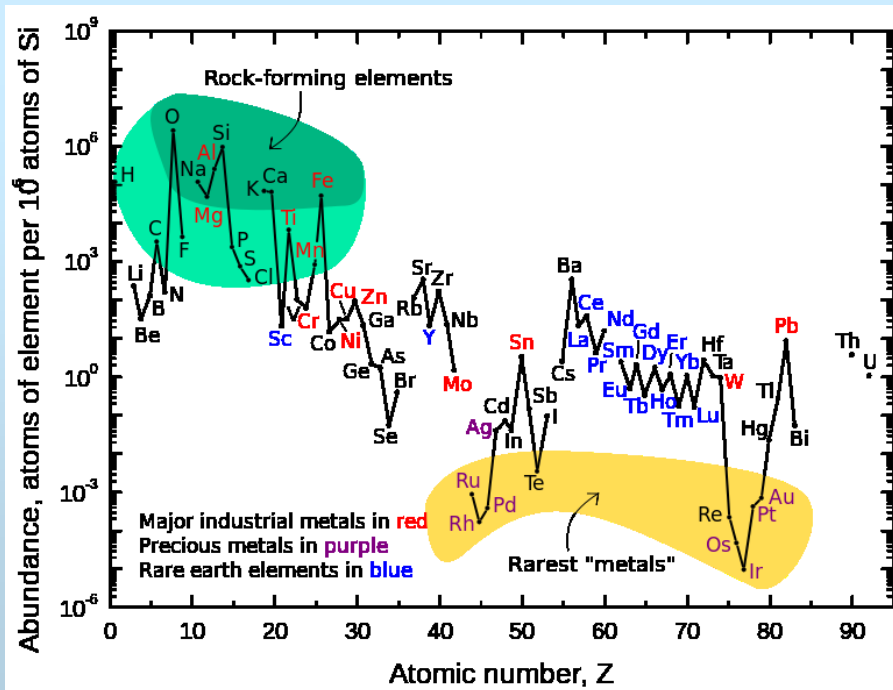
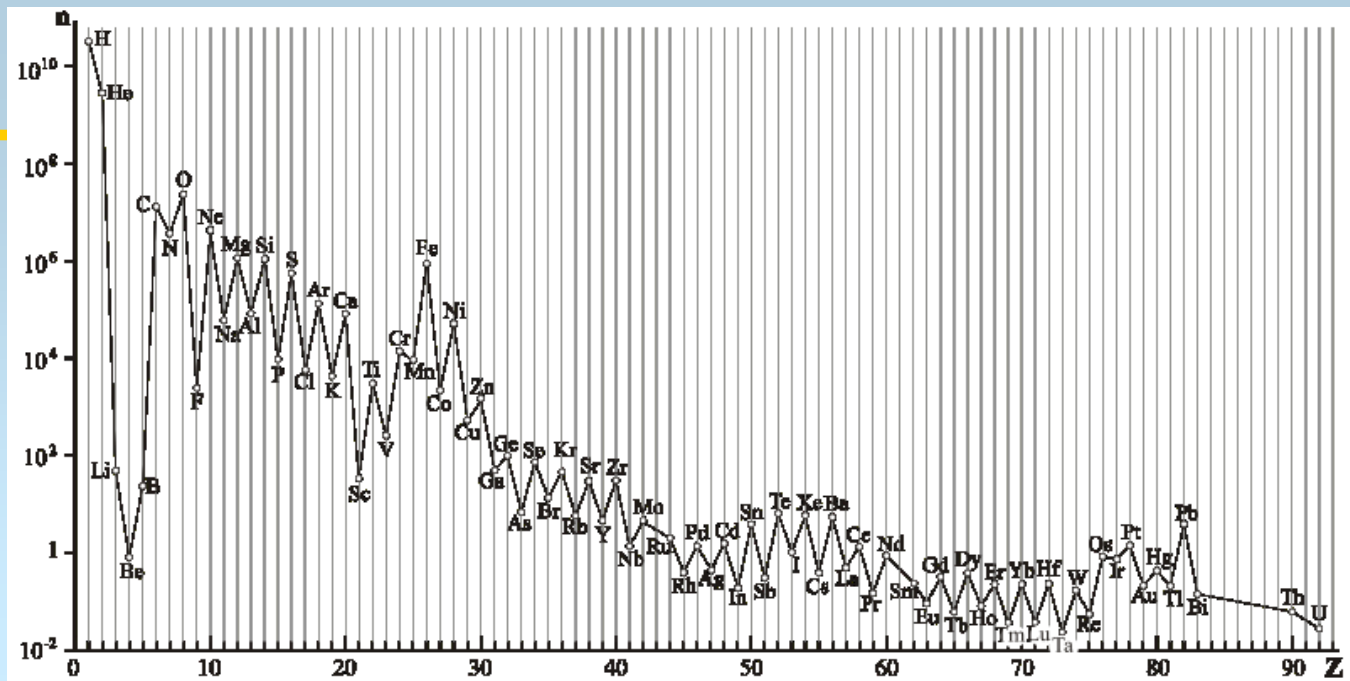
# Prvky vzácných zemin - REE

Na základě rostoucí atomové hmotnosti se REE obvykle dělí na 2 skupiny (LREE La-Gd a HREE Tb-Lu) nebo na 3 skupiny (LREE La-Nd, MREE Sm-Ho a HREE Er-Lu) Henderson (1996).



Iontový poloměr plynule klesá od  $\text{La}^{3+}$  k  $\text{Lu}^{3+}$  (a), tzv. lanthanoidová kontrakce. Iontový poloměr  $\text{Y}^{3+}$  dosahuje největší shody s  $\text{Ho}^{3+}$  a  $\text{Dy}^{3+}$ .

Oscilace koncentrací jednotlivých vzácných zemin (b) vysvětluje Oddo-Harkinsův efekt, tj. větší produkce a stabilita prvků se sudým atomovým číslem při nukleosyntéze. Abychom odstranili vliv tohoto jevu a zpřehlednili grafické výstupy, provádíme normalizaci obsahů REE chondritem.



# Prvky vzácných zemin - REE

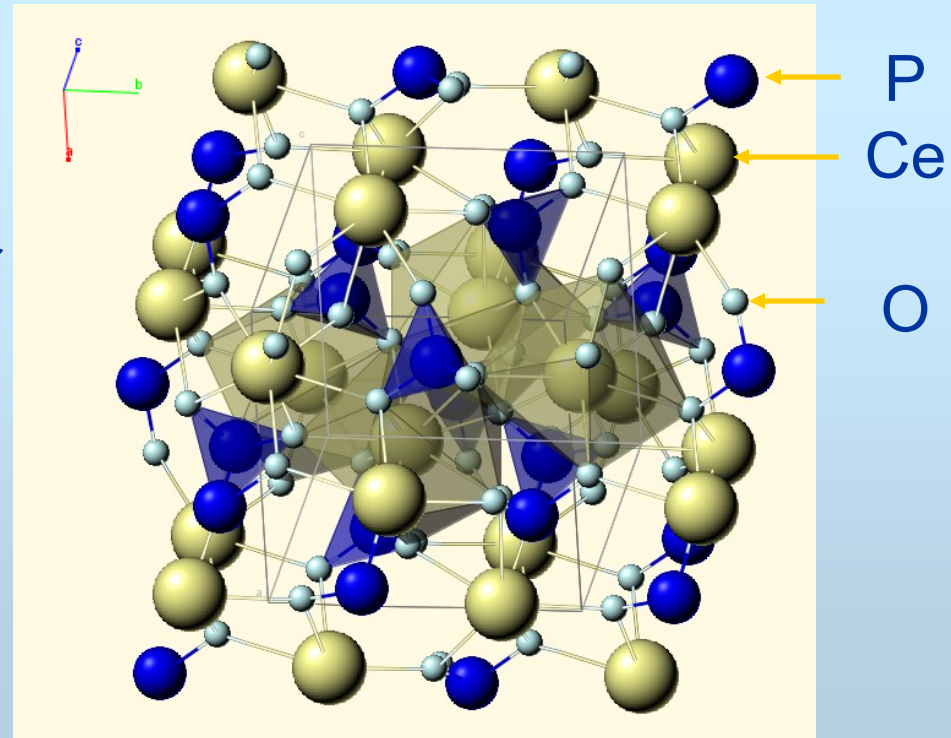
- Hlavní faktor určující chemické vlastnosti všech prvků je jejich elektronová konfigurace. Obsazování vnitřních orbitalů namísto vnějších způsobuje značnou uniformitu v chování REE.
- Rozdělení prvků mezi jednotlivé koexistující minerály je především funkcí iontového poloměru.
- Množství, které do minerálu vstoupí, závisí na míře shody velikosti daného iontu s velikostí koordinačního polyedru ve struktuře minerálu.
- Na základě strukturních vlastností některé minerály preferují vstup LREE (monazit-(Ce), allanit-(Ce)),  
MREE (apatit, titanit)  
HREE (xenotim-(Y), fergusonit-(Y)).
- Vzhledem k mnohem vyšším obsahům Y než MREE a HREE v korových horninách je Y u minerálů preferujících MREE a HREE téměř vždy převažující prvek (Gramaccioli et al. 1999).

# Monazit - proč je monazit intenzivně studovaný?

- Monazit je jedním z hlavních nositelů LREE v kontinentální kůře
- Je to běžný akcesorický minerál v kyselých magmatických horninách (S-typové granity), v metamorfovaných horninách, i jako detritický v sedimentárních horninách
- Možnost datování monazitu - CHIME - relativně rychlé a levné
- Možné využití keramiky s monazitovou strukturou pro uložení radioaktivního odpadu

# Struktura monazitu

- **monazit** - monoklinický fosfát LREE  
- strukturní vzorec **LREEPO<sub>4</sub>**
- V přírodě jsou známé monazity s dominancí La, Ce, Nd a Sm, přičemž nejhojnější je monazit-(Ce)
- Ve struktuře se střídají izolované **tetraedry PO<sub>4</sub>** propojené přes **polyedry REEO<sub>9</sub>**. Atomy kyslíku jsou koordinovány dvěma atomy REE a jedním atomem P (Ni et al. 1995).
- Krystalochemické vlastnosti monazitu jsou v posledních letech intenzívně studovány, vzhledem k možnému využití keramiky s monazitovou strukturou pro uložení radioaktivního odpadu Krauskopf 1986, Boatner a Sales 1988

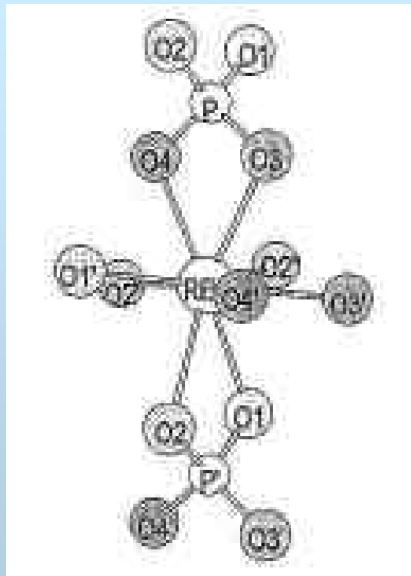


# Struktura monazitu

- Struktura monazitu upřednostňuje vstup větších REE (La-Gd), naopak xenotim s tetragonální strukturou zirkonového typu upřednostňuje vstup menších REE (Tb-Lu, + Y)

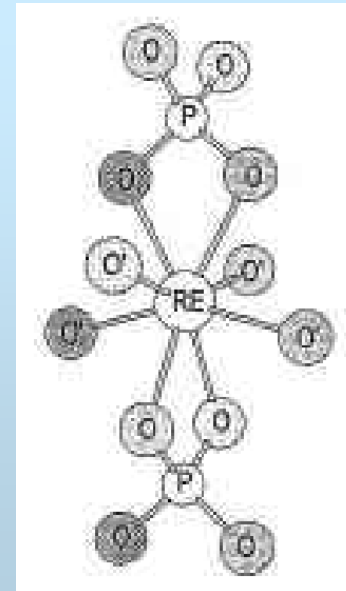
## Monazit

Monoklinický  
struktura monazitového typu  
 $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 103-104^\circ$ ,  $\gamma = 90^\circ$   
prostorová grupa  $P2_1/n$   
 $REO_9$  polyedr



## Xenotim

Tetragonální  
struktura zirkonového typu  
 $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 90^\circ$ ,  $\gamma = 90^\circ$   
prostorová grupa  $I4_1/amd$   
 $REO_8$  polyedr





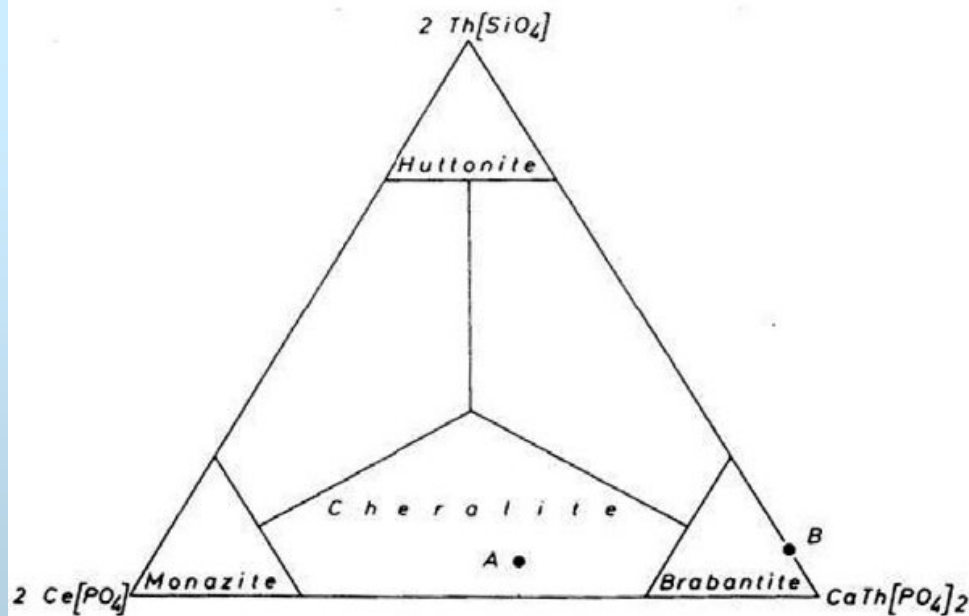
# Izostrukturní minerály

- Monazit-(Ce):  $CePO_4$
- Monazit-(La):  $LaPO_4$
- Monazit-(Nd):  $NdPO_4$
- Monazit-(Sm):  $SmPO_4$
- Huttonit:  $ThSiO_4$
- Cheralit:  $CaTh(PO_4)_2$
- Gasparit-(Ce):  $CeAsO_4$

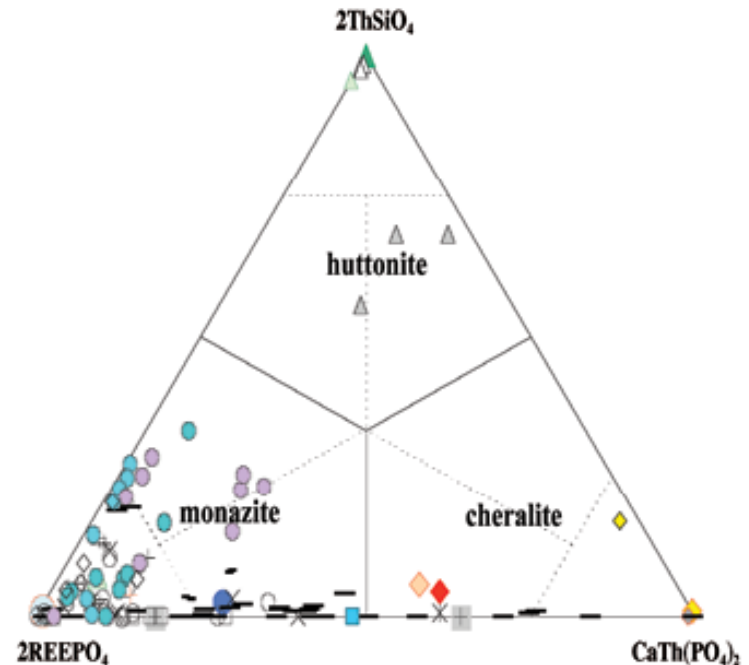
# MONAZIT - CHEMICKÉ SLOŽENÍ

- Podíl jednotlivých REE je závislý na podmínkách vzniku a chemickém složení horniny
- Vstup HREE a Y do monazitu roste s rostoucí teplotou jeho vzniku (van Emden 1997)
- Monazit často obsahuje několik procent Th, U, Ca a Si
- Th a U vstupují do struktury monazitu cheralitovou substitucí  $\text{CaThREE}_{-2}$ , či huttonitovou substitucí  $\text{ThSiREE}_{-1}\text{P}_{-1}$

Klasifikační diagram pro systém  $2\text{REEPO}_4 - \text{CaTh}(\text{PO}_4)_2 - 2\text{ThSiO}_4$

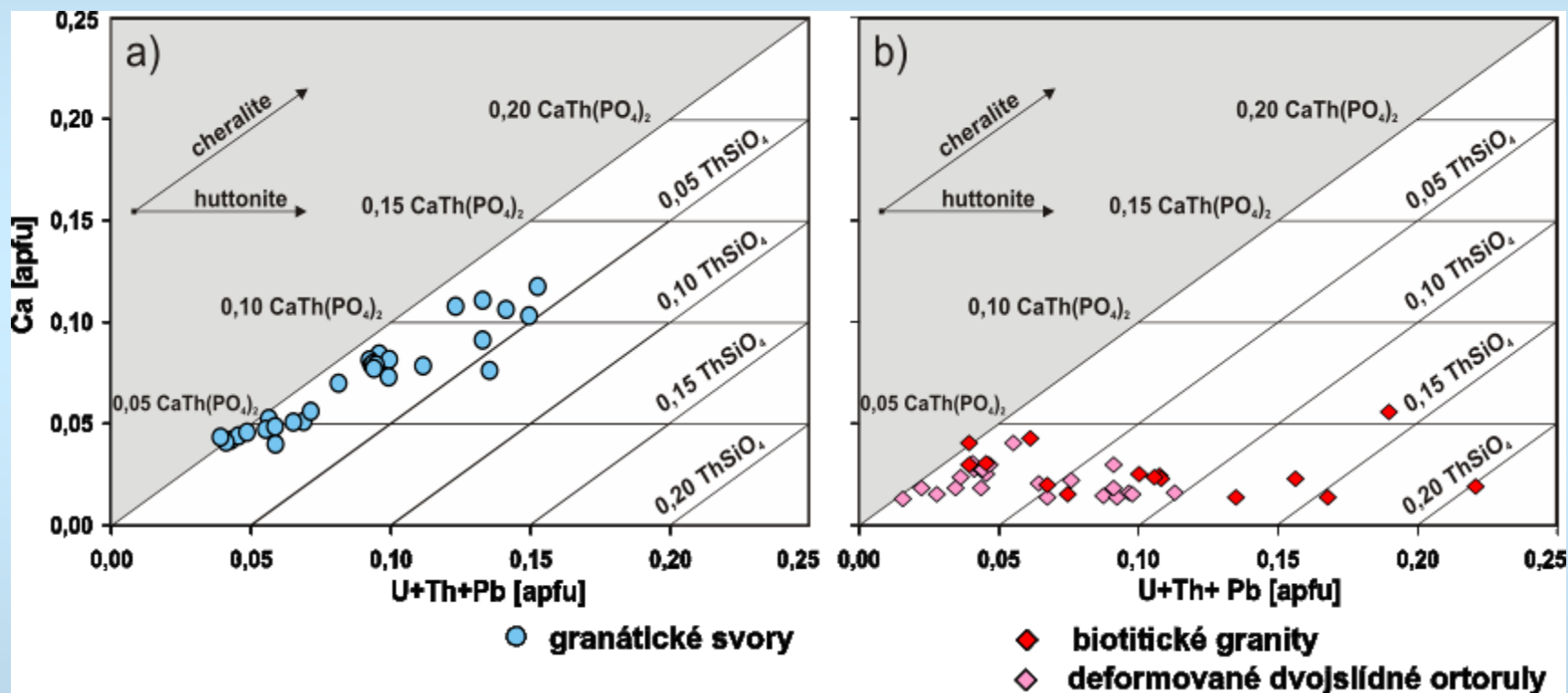


verze podle Bowie a Horne (1953)



nová klasifikace podle Linthout (2007)

- V řadě monazit - cheralit velmi dobrá mísitelnost
- Další možné znázornění vstupu cheralitové a huttonitové komponenty do monazitu



Vstup cheralitové a huttonitové komponenty do monazitu z vybraných typů valounů račických slepenců

# Monazit

- Popsán i vstup některých jiných prvků do struktury monazitu - As, V, S...
- As - gasparitovou substitucí  $As^{5+}P^{5+}_{-1}$  (Ondrejka a Uher 2005)  
gasparit  $LREEAsO_4$
- S - klinoanhydritovou substitucí  $Ca^{2+}S^{6+}LREE^{3+}_{-1}P^{5+}_{-1}$  (Tracy 2004, Ondrejka Uher 2005) anhydrit  $CaSO_4$
- Je popsán vstup Sr do struktury monazitu (až 10 hm.% SrO) - Uher P (ústní sdělení)
- Přepočet chemických analýz monazitu na 4O  
P-pozice: P, Si, As, S  
REE-pozice: REE, Th, U, Pb, Ca

někdy dopočet lichých HREE např. Tb\*, Ho\*, Tm\*, Lu\* - z tvaru normalizované křivky REE v monazitu chondritem - těch REE, které se neanalyzují EMP

# Monazit

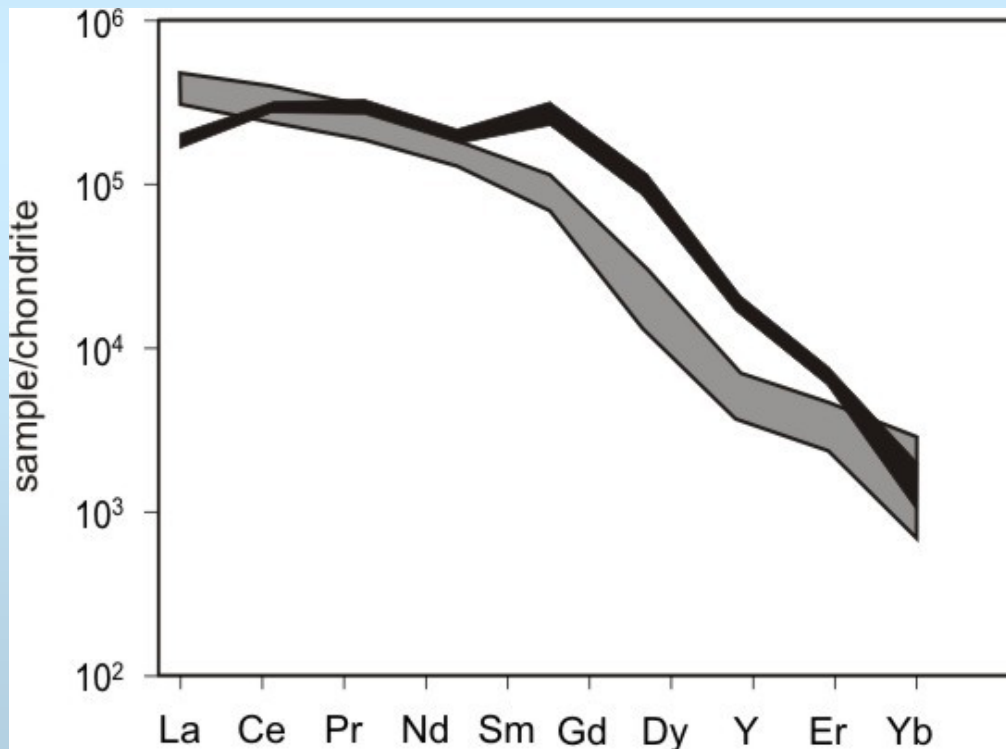
## REE v monazitech - grafické zobrazení

La, Ce, Pr, Nd, Sm, **Eu**, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb a Lu

Normalizace REE v monazitu chondritem

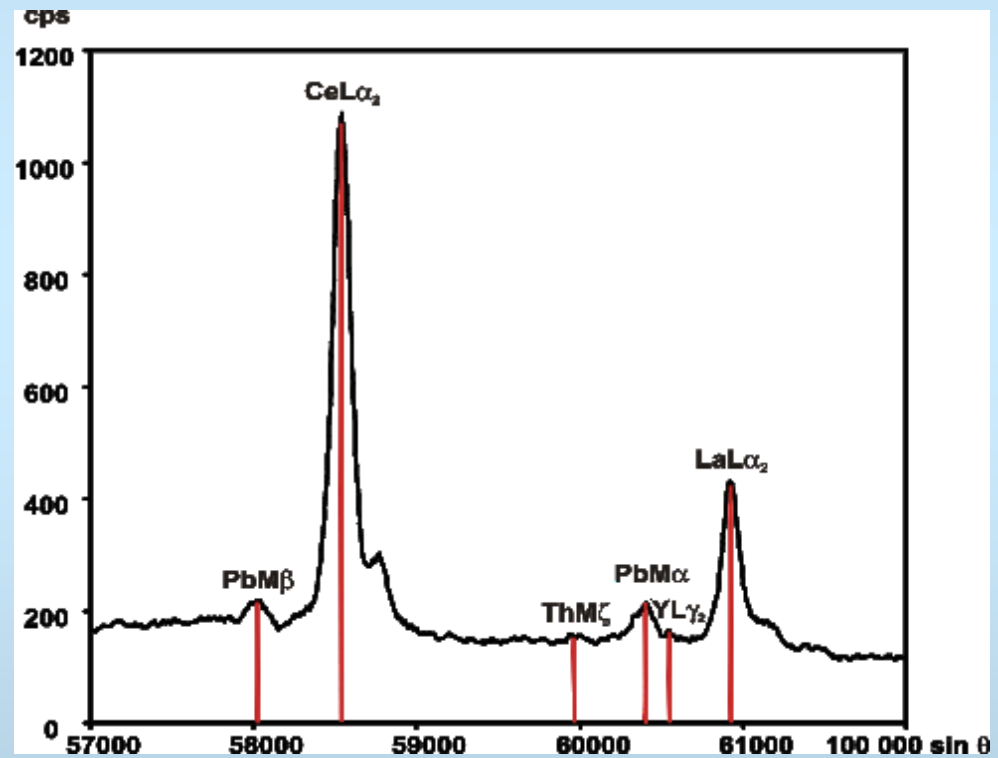
Eu je obvykle pod mezí detekce EMP

Černá křivka - monazit s tzv. tetrádovým efektem - nejlépe patrný na tzv. první tetrádě (La, Ce, Pr, Nd)



# CHIME DATOVÁNÍ MONAZITU

- **C**hemical Th-U-total Pb **I**sochron **M**ethod
- založeno na obsahu U, Th a Pb v monazitu za předpokladu, že monazit neobsahuje žádné nebo jen nepatrné množství neradiogenního Pb (Parrish 1990).
- Vzhledem k tomu, že analytická čára Pb  $M\alpha$  je částečně ovlivněná interferencí s čárou Y  $L\gamma_2$  a čárami Th  $M\zeta_1$  a Th  $\zeta_2$ , bylo potřeba provést korekci na interferenci Y a Th na obsah Pb stanoveného na čáře  $M\alpha$ .
- Analytická přesnost stanovení Pb na čáře  $M\alpha$  je i po korekci na tyto interference vyšší, než analytická přesnost dosažitelná při použití čáry Pb  $M\beta$ , kde k žádné interferenci nedochází.



# CHIME DATOVÁNÍ MONAZITU

## ➤ Analytické podmínky

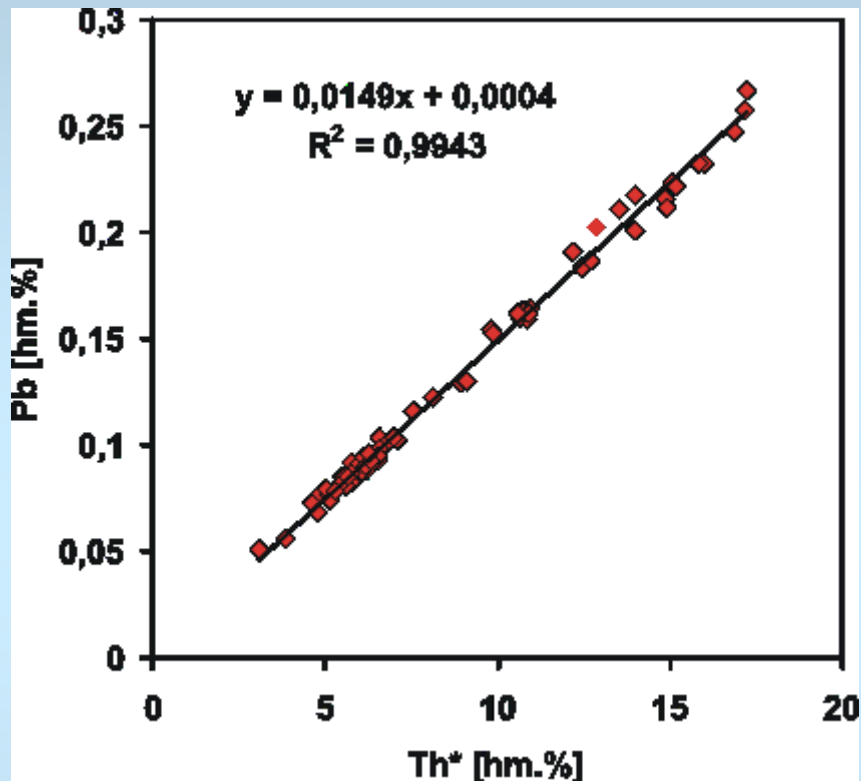
urychlovací napětí 15 kV,  
proud svazku 80-200 nA,  
velikost svazku <1-10  $\mu\text{m}$

U - U  $M\beta$  čára (t 60 s, det. limit 270 ppm)

Th -  $M\alpha$  čára (t 40 s, det. limit 250 ppm)

Pb -  $M\alpha$  čára (t 240 s, det. limit 130 ppm)

# CHIME DATOVÁNÍ MONAZITU



Isochrona Th\*-Pb pro detritické monazity viséského stáří

- Homogenita dat je ověřována pomocí konstrukce isochron Th\*-Pb, která pomůže odhalit, zda zkoumaná hornina (ne)obsahuje monazity dvojího stáří.
- Th\* je součet naměřeného obsahu Th a teoretického Th, které by vyprodukovalo stejné množství Pb jako stanovený obsah U.
- Tímto jsou zohledněny rozdílné rozpadové konstanty pro  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  a  $^{235}\text{U}$ , tudíž vzorky stejného stáří musí ležet na jedné přímce, která prochází počátkem souřadnicového systému.



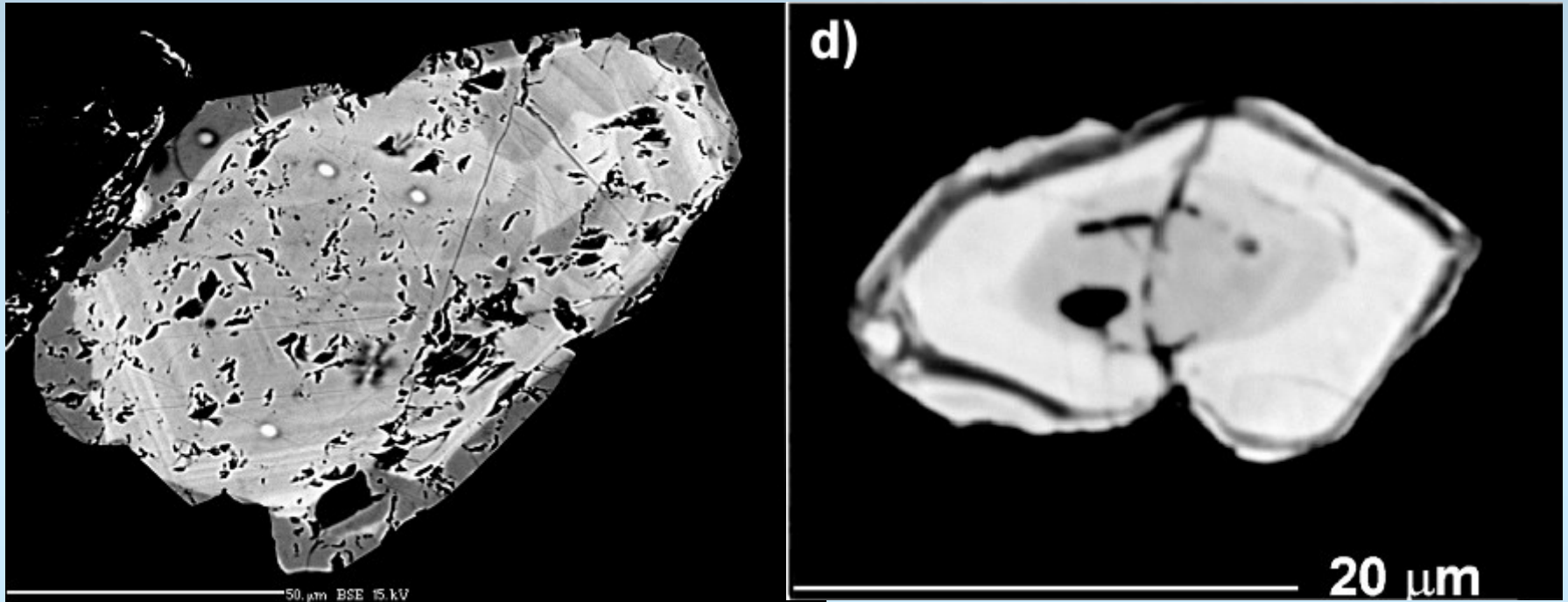
# Monazit v magmatických horninách

- Běžný akcesorický minerál granitických pegmatitů, aplitů i granitů, granodioritů, tonalitů

## Granity

- Typický zejména pro S-typové granity (častěji huttonitová substituce)
- Méně běžný v I-typových granitech (častěji cheralitová substituce)
- Neplatí obecně - např. moldanubické S-typové granity obvykle s cheralitovou komponentou

# Monazit v magmatických horninách



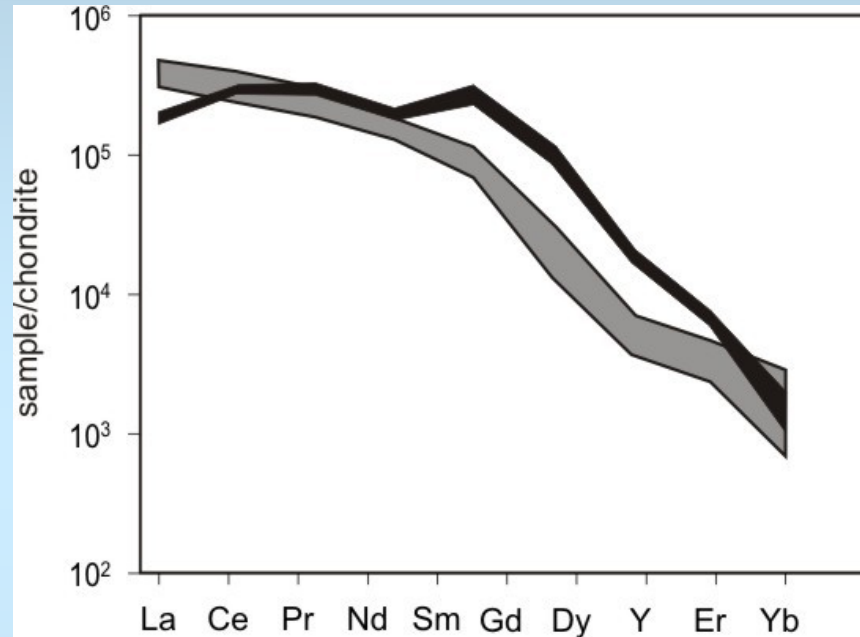
Často bez magmatické zonálnosti

Ale běžná i oscilační zonálnost (zonálnost nejčastěji souvisí s kolísáním obsahu Th případně U)

Zrno nalevo - tmavý lem při okraji monazitu souvisí s pozdější metasomatózou granitu fluidy

# Monazit v magmatických horninách

## Normalizované obsahy REE v monazitu



Šedé pole - běžné S a I typové granitoidní horniny

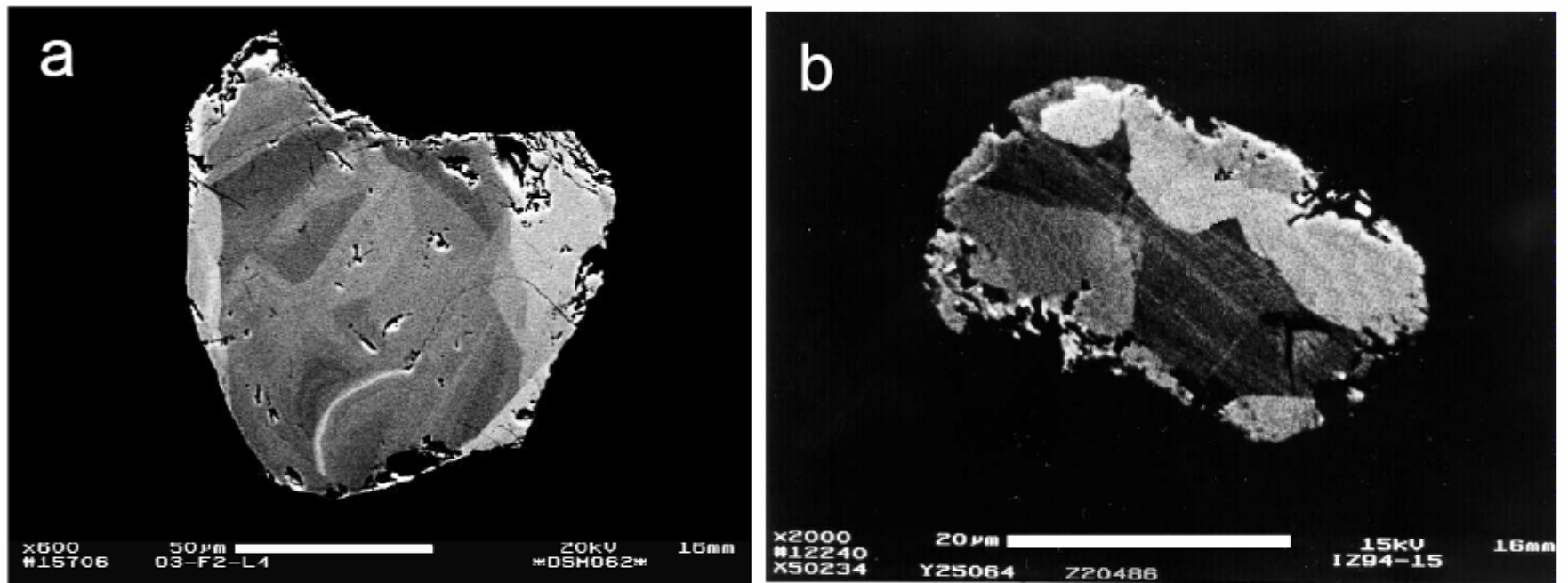
Černé pole - monazit z některých vysoce frakcionovaných hornin (pegmatity, aplity) - v moldanubiku např. v NYF pegmatitech

# Monazit v metamorfovaných horninách

- V metamorfovaných horninách může vznikat v širokém rozmezí PT podmínek od facie zelených břidlic až po granulitovou facii (až do 800°C a 6 kbarů) (Watt 1995, Bingen et al. 1996, Lanzirotti a Hanson 1996, Forster et al. 2002).
- Cabella et al. (2001) našli novotvořený monazit již v metapelitech metamorfovaných v podmínkách pumpelleyit-aktinolitové facie (300-350°C a 3-4 kbar).

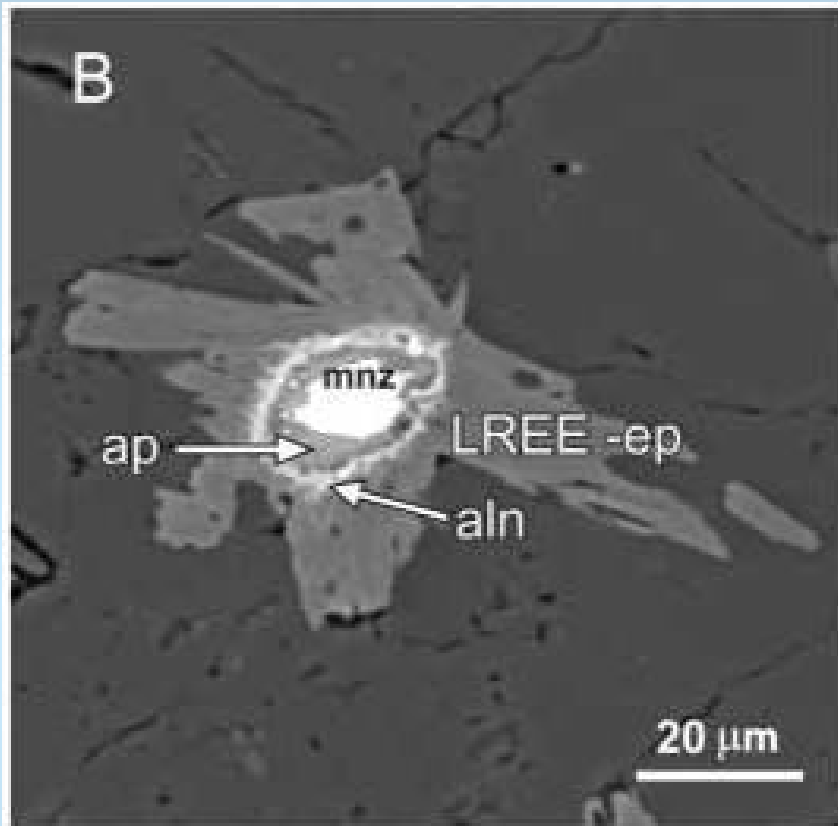
# Monazit v metamorfovaných horninách

## Monazit v horninách granulitové facie

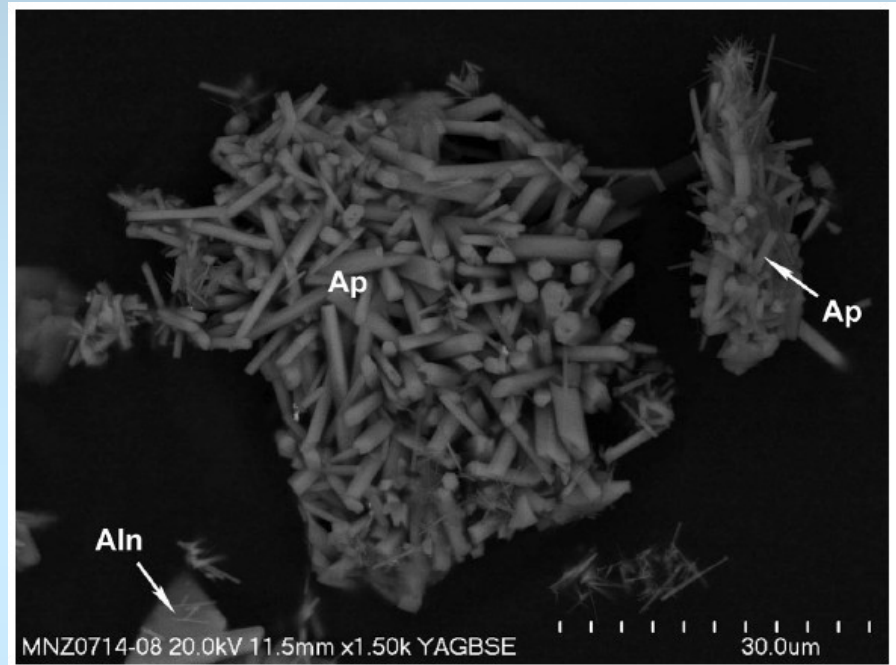


**Figure 1.** Metasomatised monazite from (a) a granulite-facies tonalite, Tamil Nadu,, S. India (Hansen and Harlov, 2007) and (b) a granulite-facies metabasite, Val Strona area, Ivrea-Verbano, N. Italy (Harlov and Förster, 2002).

# Monazit v metamorfovaných horninách



Monazit a produkty jeho rozpadu působením fluid během metamorfózy. Monazit (mnz) je nahrazovaný apatitem (ap), allanitem (aln) a epidotom obohaceným na LREE (ep), (Broska 2003)



Výsledky experimentů - působení fluid různého chemismu na monazit při 500°C a 4,5 kbar (Budzdyn a Harlov 2008)

Význam orientovaného růstu apatitu pro migraci REE skrze hexagonální dutiny ve struktuře apatitu??? - (Broska 2008)

# Monazit v sedimentárních horninách

---

# STABILITA MONAZITU V SEDIMENTÁRNÍM PROSTŘEDÍ

US Gulf Coast (Milliken 1988)	North Sea (Morton, Hallsworth 1999)
apatit, chloritoid, <b>monazit</b> , spinelidy	apatit, <b>monazit</b> , spinelidy
TiO <sub>2</sub> minerály, turmalin, zirkon	TiO <sub>2</sub> minerály, turmalin, zirkon
	chloritoid
granát	granát 3 500 m
	staurolit 2 400 m
	kyanit 1 800 m
titanit	titanit 1 400 m
epidot	epidot 1 100 m
kyanit	
Ca amfibol	Ca amfibol 600 m
	andalusit, sillimanit
pyroxen	pyroxen
	olivín

stabilní



nestabilní

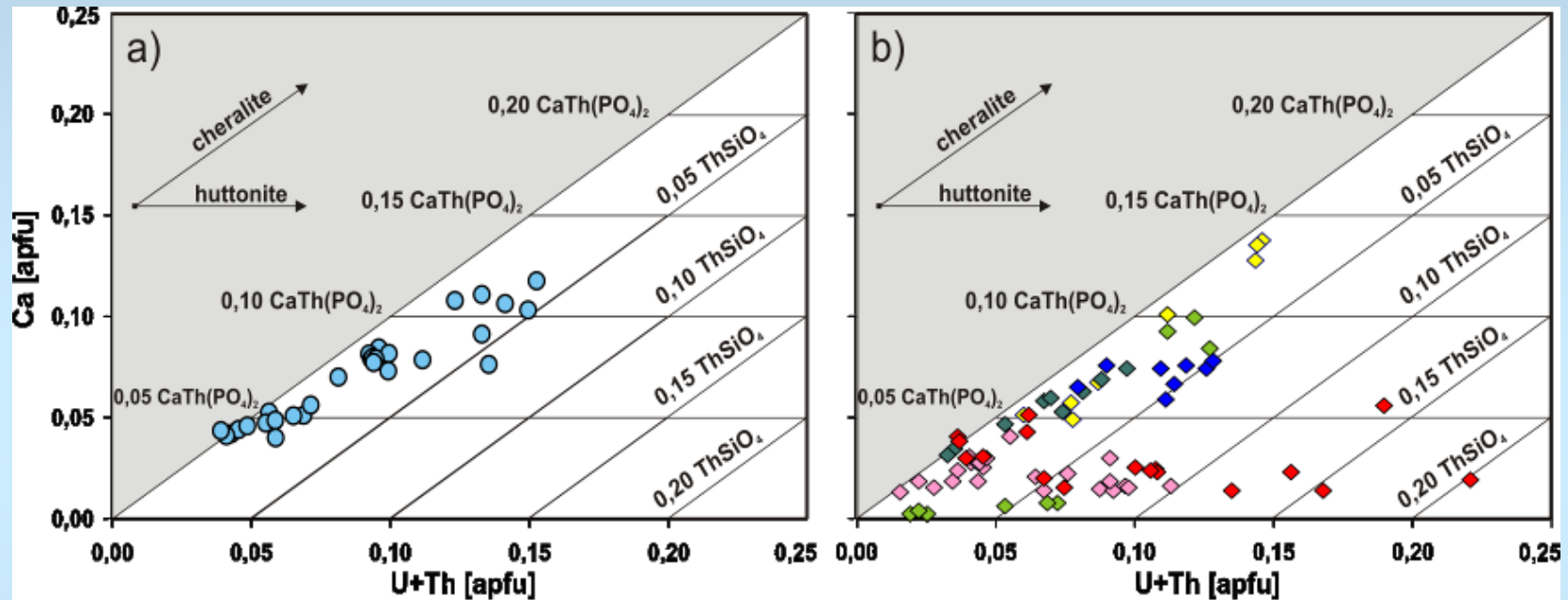
Stabilita TM při diagenézi sedimentů, u některých minerálů je uvedena hloubka vymizení z ATM

Nízkoteplotní hydrotermální alterace monazitu během diagenéze diskutovali (Mathieu et al. 2001). Popsali alterace monazitu na Th-OH-Si fáze působením nízkoteplotních fluid 140 C a 1 kbar bohatých Cl.



# Monazit v sedimentárních horninách

Problém malé velikosti monazitu ve zdrojových horninách



● detritické monazity viséského stáří

Monazity z valounů

◆ aplity

◆ biotitické granity

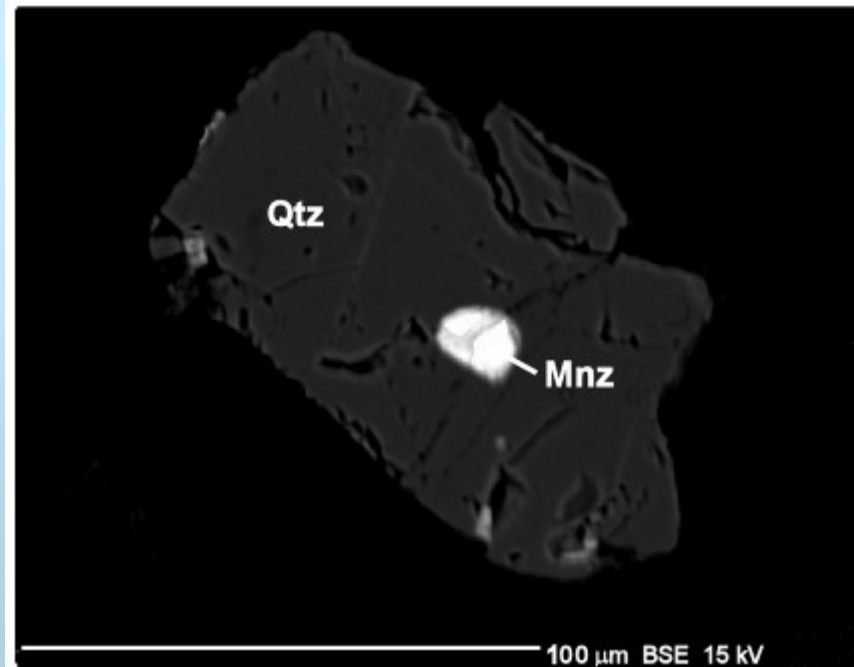
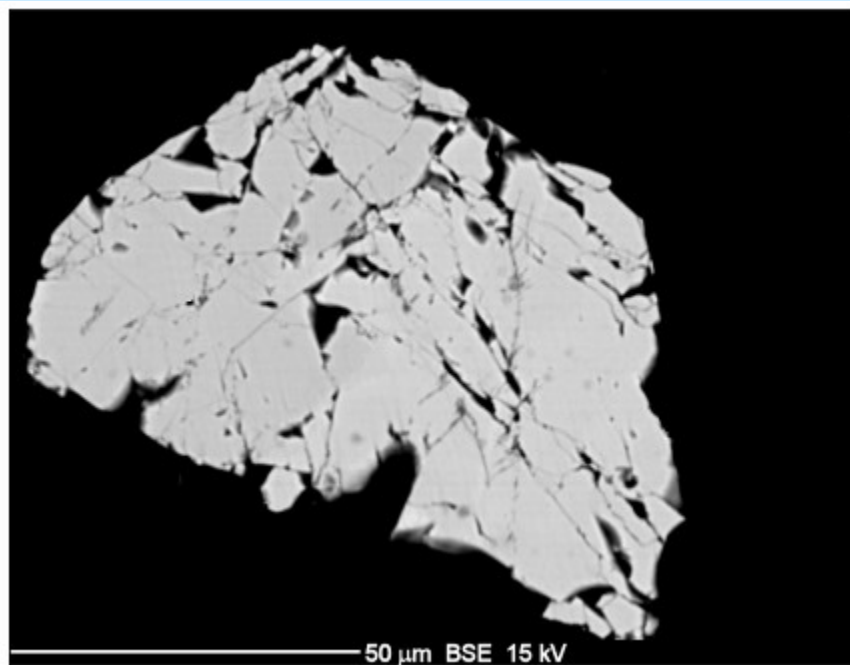
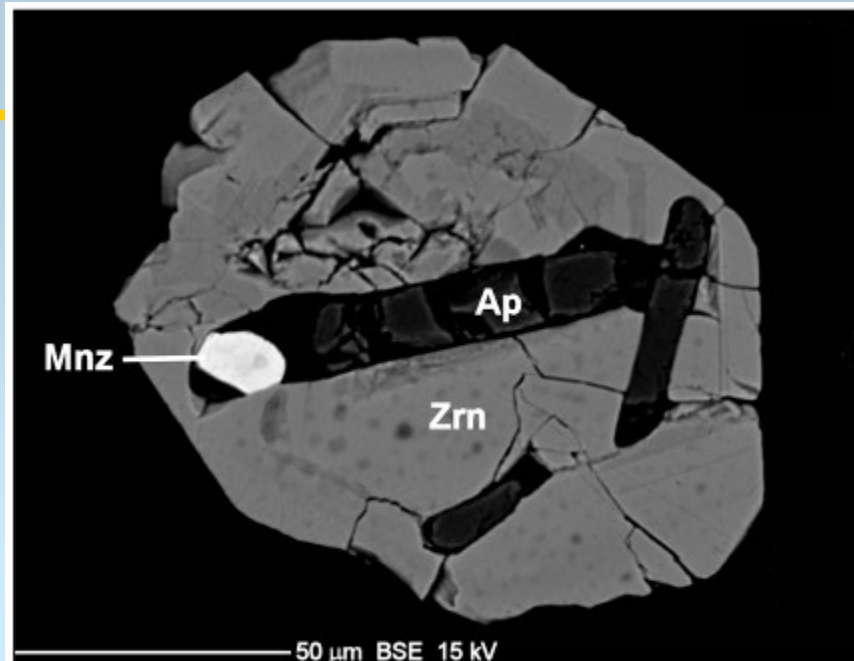
◆ deformované dvojslídne ortoruly

◆ dvojslídne ortoruly

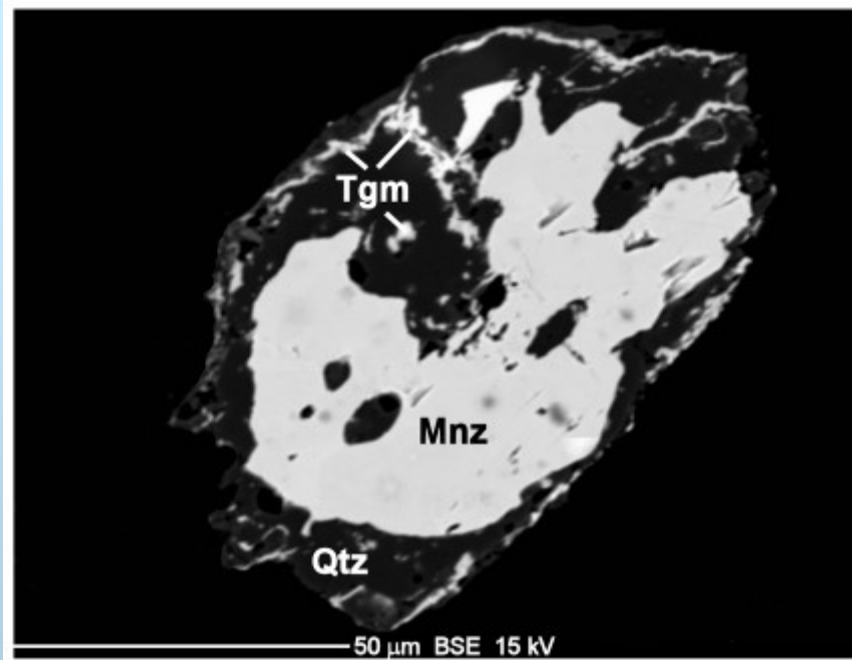
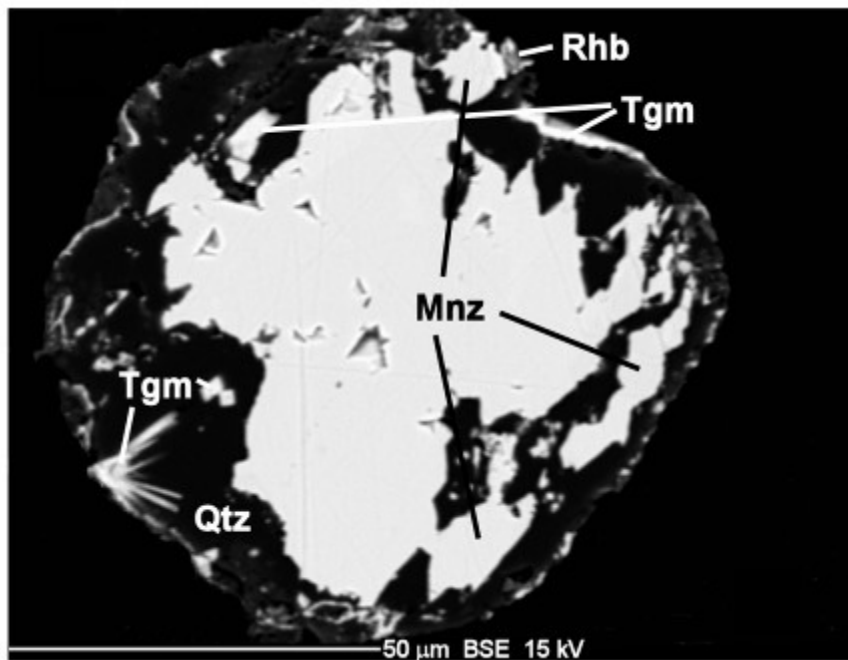
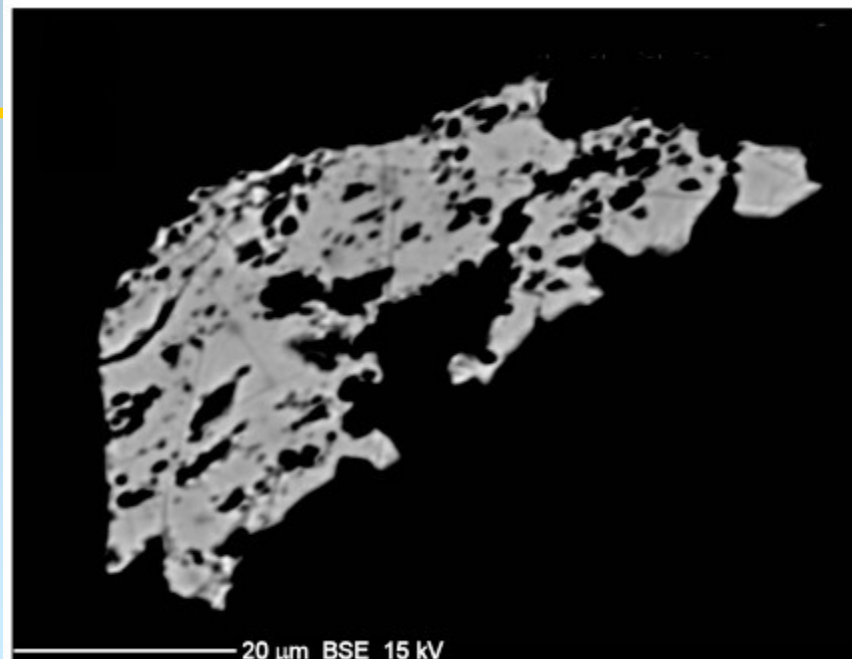
◆ biotitické ortoruly

◆ dvojslídne svory

nealterovaný detritický monazit  
v BSE obraze

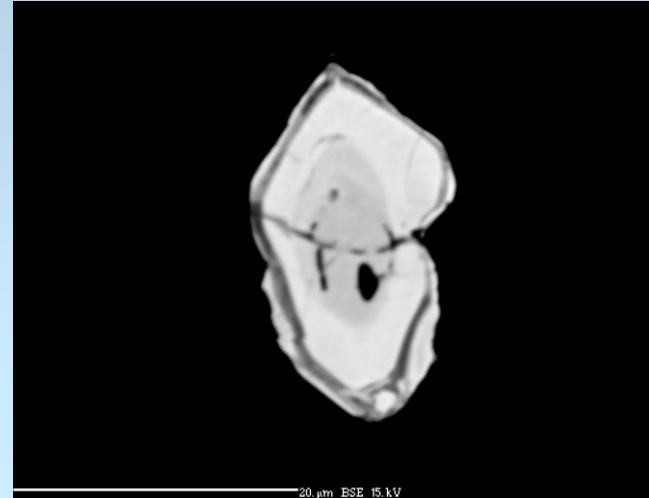
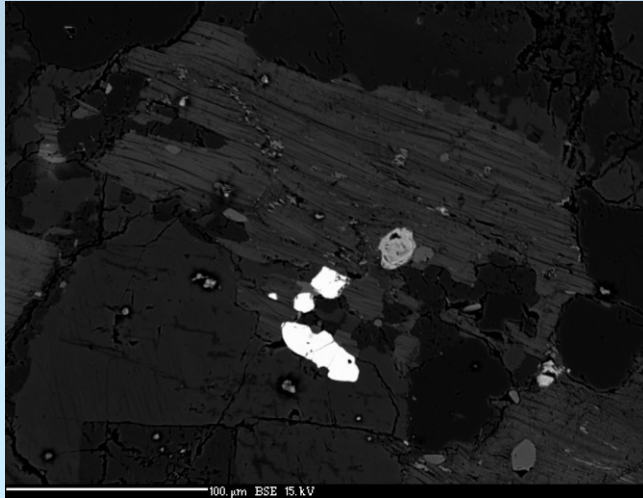


alterovaný detritický monazit  
v BSE obraze

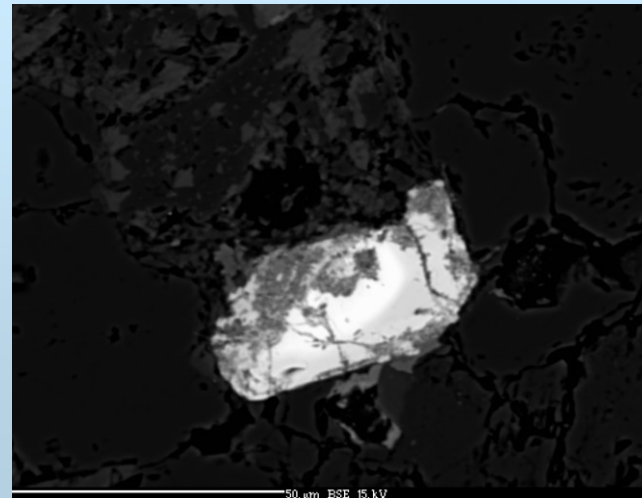
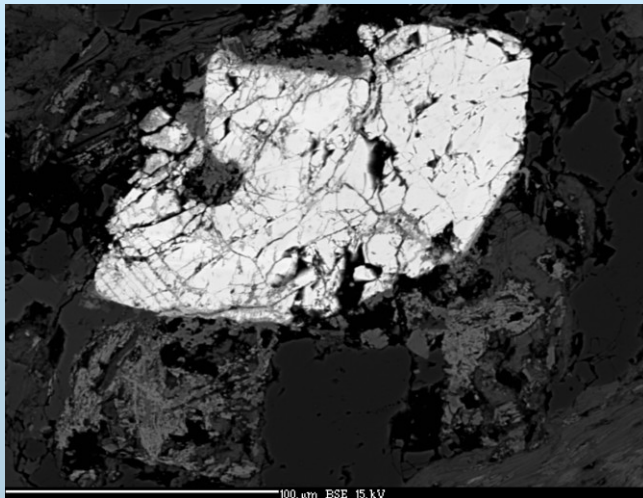


# Alterace monazitu ve valounech

myslejovické souvrství (račické slepence) – valoun biotitického granitu

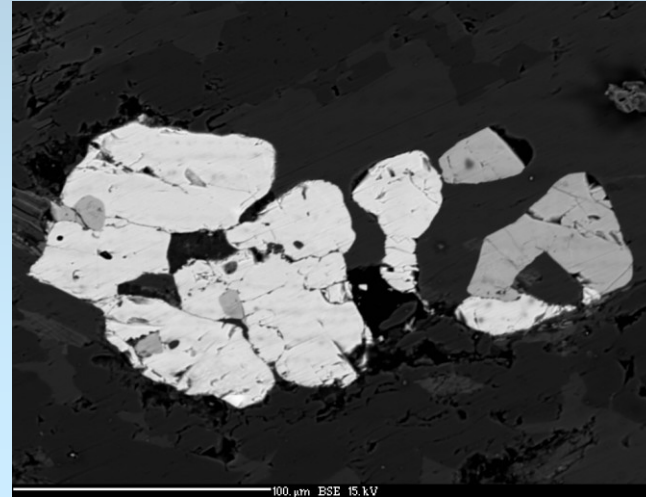
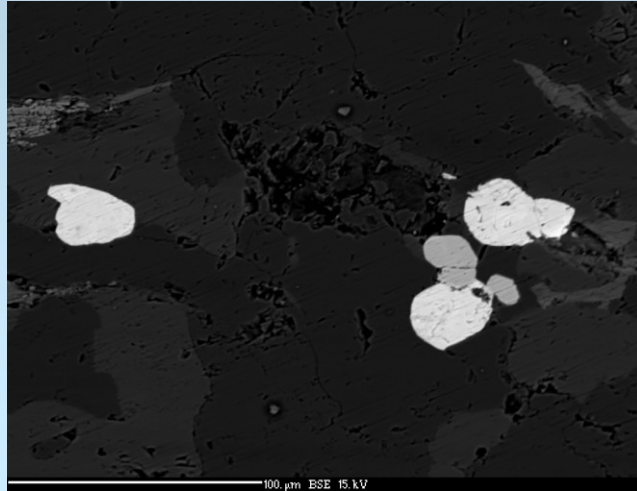


protivanovské souvrství (kořenecký slepenec) – valoun biotitického granitu

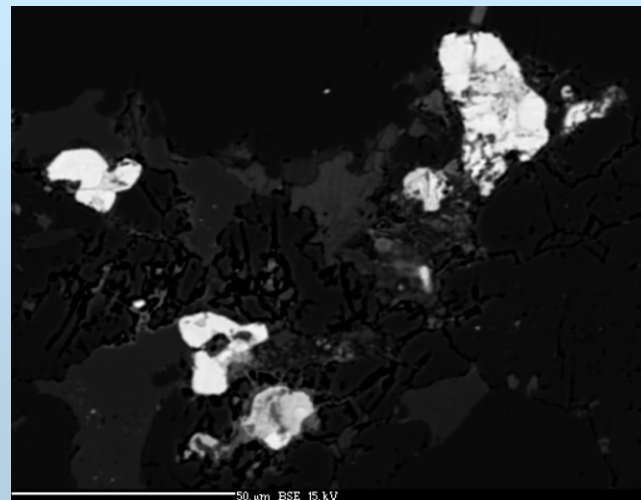
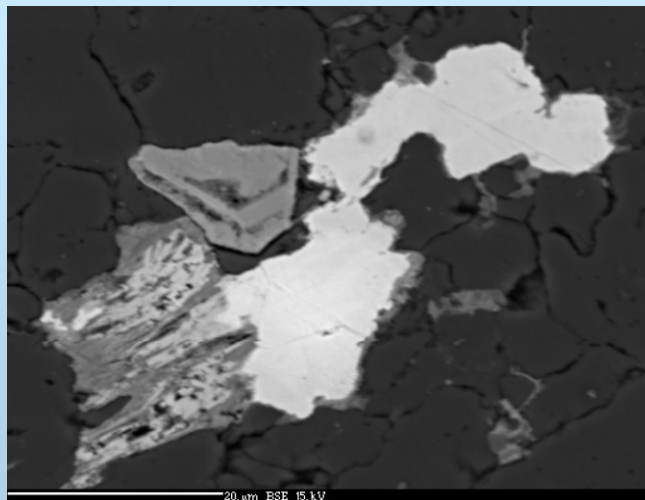


# Alterace monazitu ve valounech

myslejovické souvrství (račické slepence) – valoun dvojslídne ortoruly



protivanovské souvrství (kořenecký slepenec) – valoun dvojslídne ortoruly





## ALTERACE MONAZITU V KULMSKÉ PÁNVI

- Intenzita alterace monazitů pozitivně koreluje s intenzitou diagenetického poškození a vzrůstá tedy od JJV k SSZ  
teplota při diagenезi v jižní části pánve 130-170°C a v severozápadní části 170-200°C (Franců et al. 1999)

Teplota variských hydrotermálních žil, které prorážejí kulmské sedimenty je Slobodníkem et al. (2005, 2006) odhadována na 150-210 C.

- V nízkoteplotních experimentech (50-300 C) Poitrasson' et al. (2004) prokázali, že v neutrálním pH je nejvyšší rozpustnost monazitu v teplotním rozmezí 120-200 C. Což jsou teploty, kterých bylo dosaženo i v kulmské pánvi.
- Při těchto teplotách a neutrálním pH zejména fluoridové iony ovlivňují stabilitu monazitu.
- Při vyšší teplotě fluid > 230 C nebo při vyšším pH jsou hlavní hydroxidové komplexy. Takto vysoké teploty však v kulmské pánvi nebyly dosaženy.

# MECHANISMY ALTERACE MONAZITU

- Rozpouštění monazitu a vznik novotvořených autigenních minerálů (apatitu, rhabdophánu, karbonátů REE, thoritu, thorogummitu, galenitu)
- Rozpouštění a reprecipitace novotvořeného monazitu
- Přejít z monoklinické na hexagonální strukturu
- Selektivní odnos některých prvků ze struktury monazitu

# MOBILITA Th BĚHEM ALTERACE MONAZITU

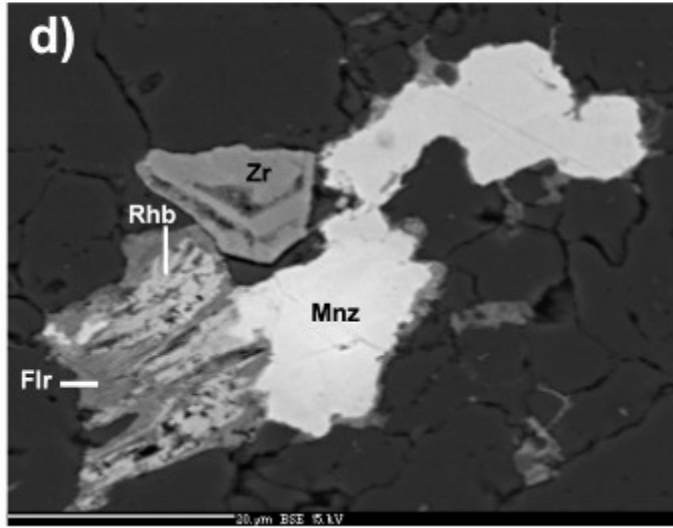
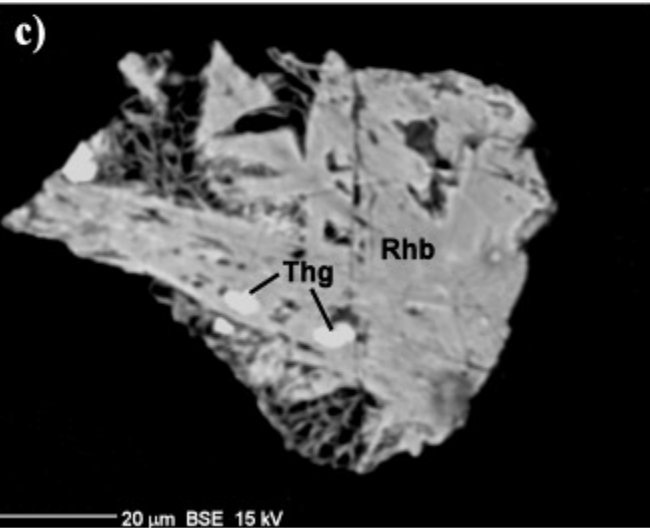
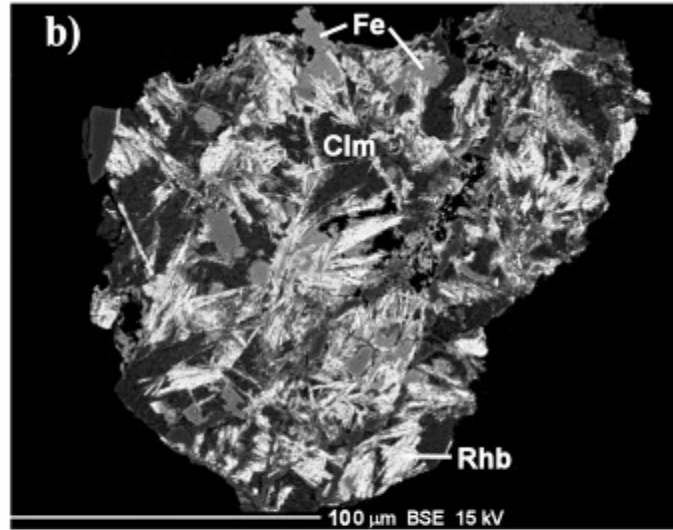
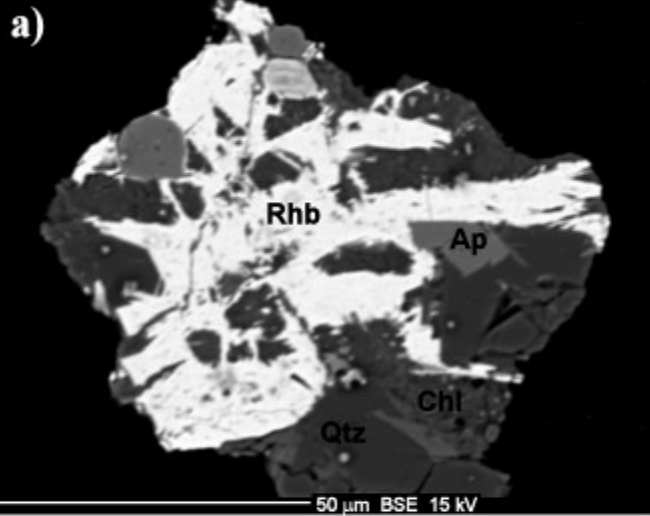
- Během alterace monazitů je Th obvykle považováno za nemobilní, případně velice omezeně mobilní prvek.
- Při hydrotermální alteraci monazitu v granitoidních horninách, sedimentárních horninách i při experimentech, vznikají obvykle sekundární Th-bohaté fáze v bezprostřední blízkosti monazitu (Poitrasson et al. 2000, Mathieu et al. 2001, Seydoux-Guillaume et al. 2002, Hrdlička et al. 2005).
- Th výjimečně se chová jako mobilnější - např. v prostředí s vyšším podílem organického materiálu



# Rhabdofán

- Rhabdofán - **hexagonální** fosfát REE obsahující vodu umístěnou v malých nepravidelných kanálcích
- ideální vzorec:  **$LREEPO_4 \cdot nH_2O$**  (Vlasov 1964)
- Obsah vody značně kolísá nejčastěji mezi 6,0-10,6 hm. % (Bowles a Morgan 1984)
- Někdy může vstupovat i F
  
- Rhabdofán snadno při zahřátí ztrácí vodu a přechází na monazit
- Akers et al. (1993) definovali horní stabilitu rhabdofánu na 200 C při tlaku  $H_2O$  0,5-2,0 kbar

# Rhabdofán



obvykle tvoří agregáty jehličkovitých až tabulkovitých krystalů

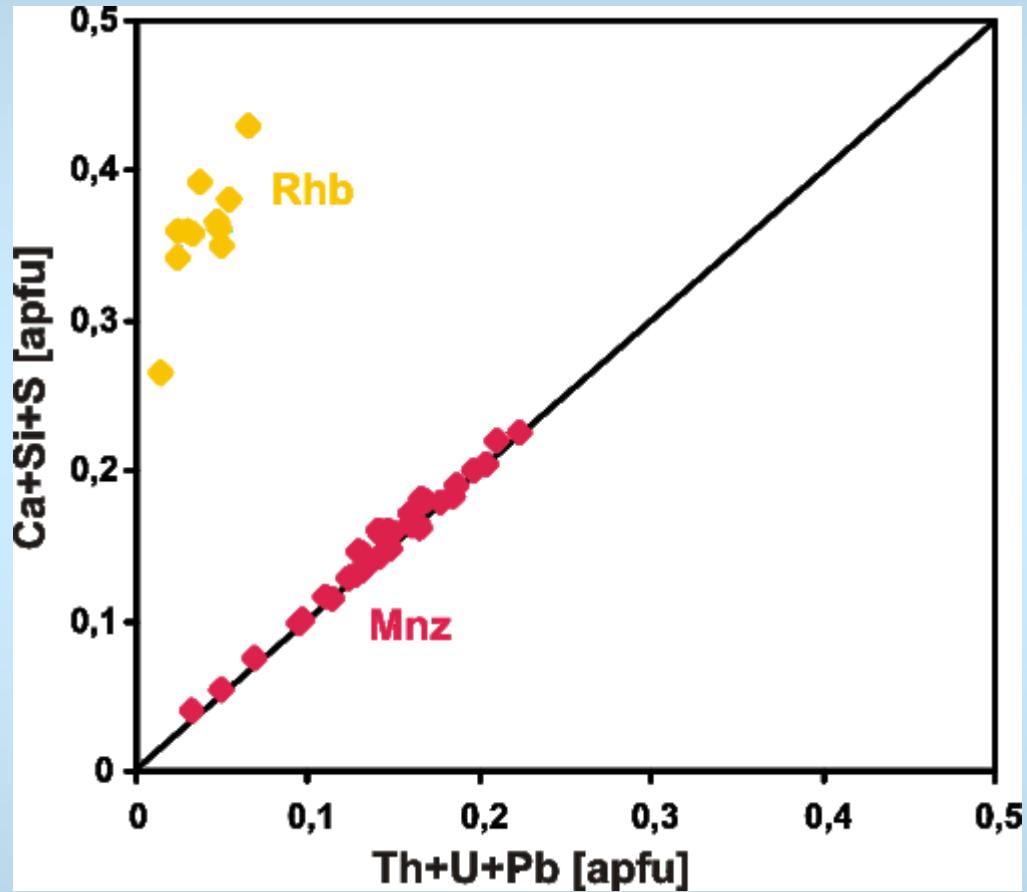
a-c) autigenní rhabdofán z matrix drob

d) rhabdofán vznikající (společně s florencitem) při hydrotermální alteraci monazitu v dvojslídne ortorule

# Rhabdofán

- Analytický total všech oxidů nejčastěji 90-94 hm.% (při vysokých proudech jako u analýzy monazitu může však být i blízký 100 hm.% - únik  $H_2O$  z minerálu během analýzy)
- Pro rhabdofány je charakteristický deficit kationů v pozici do níž vstupuje P a nadbytek v pozici s REE
- Vedle P vstupuje do stejné pozice i Si a v menší míře i S. Suma kationů v této pozici se pohybuje nejčastěji 0,9-1,0 apfu.
- Distribuce REE vykazuje značné nabohacení lehkými REE
- Množství Th je obvykle nízké (do 7 hm. %  $ThO_2$ ) a výrazně převažuje nad U
- Vysoké jsou obsahy Ca (0,237-0,370 apfu; 5,53-8,49 hm. % CaO)
- Dále rhabdofán může obsahovat ve srovnání s běžným monazitem vyšší obsahy Pb - Pb je zde nejen radiogenní, ale i neradiogenní

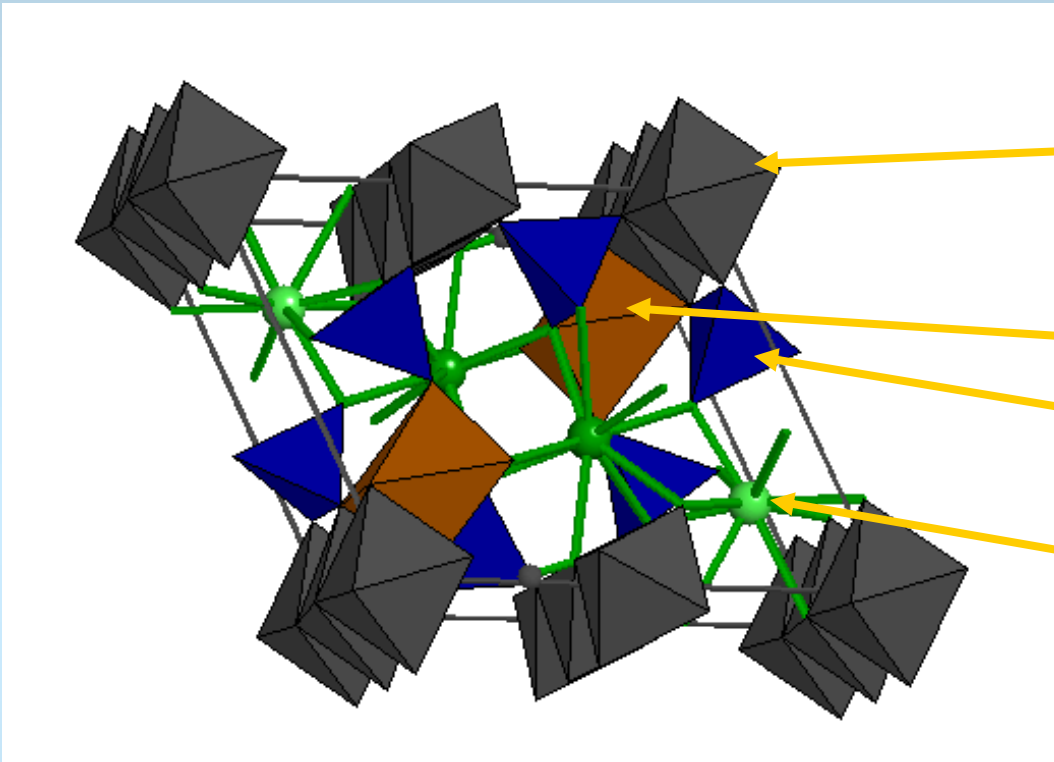
# Rhabdofán



# Allanit

- Sorosilikáty, superskupina epidotu - skupina allanitu
- Monoklinický
- Prostorová grupa  $P2_1/m$
- struktura jako sk. Epidotu
  - $(Ca)(REE)(Al_2, Fe^{2+})_3 [SiO_4 | Si_2O_7 | O | OH]$   
A1A2 M1M2M3 T1 T2
- Pozice A1 - Ca, Sr,  $Mn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ , Th, U, Na, K  
A2 - jsou REE a Y, Ca U, Th
- Pozice M:  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$ ,  $V^{3+}$
- Ve struktuře allanitu:
  - Oktaedry  $MO_6$  a  $MO_4OH_2$  - uspořádané do paralelních řetězců - propojení přes hrany oktaedrů, tvoří základ struktury prismatické krystaly
  - izolované tetraedry  $SiO_4$  a zdvojené tetraedry  $Si_2O_7$  spojují řetězce oktaedrů do sítí
  - Relativně velké dutiny v síti oktaedrů a tetraedrů - A-site

# Struktura allanitu



Oktaedrická pozice  
 $MO_6$  a  $MO_4(OH)_2$

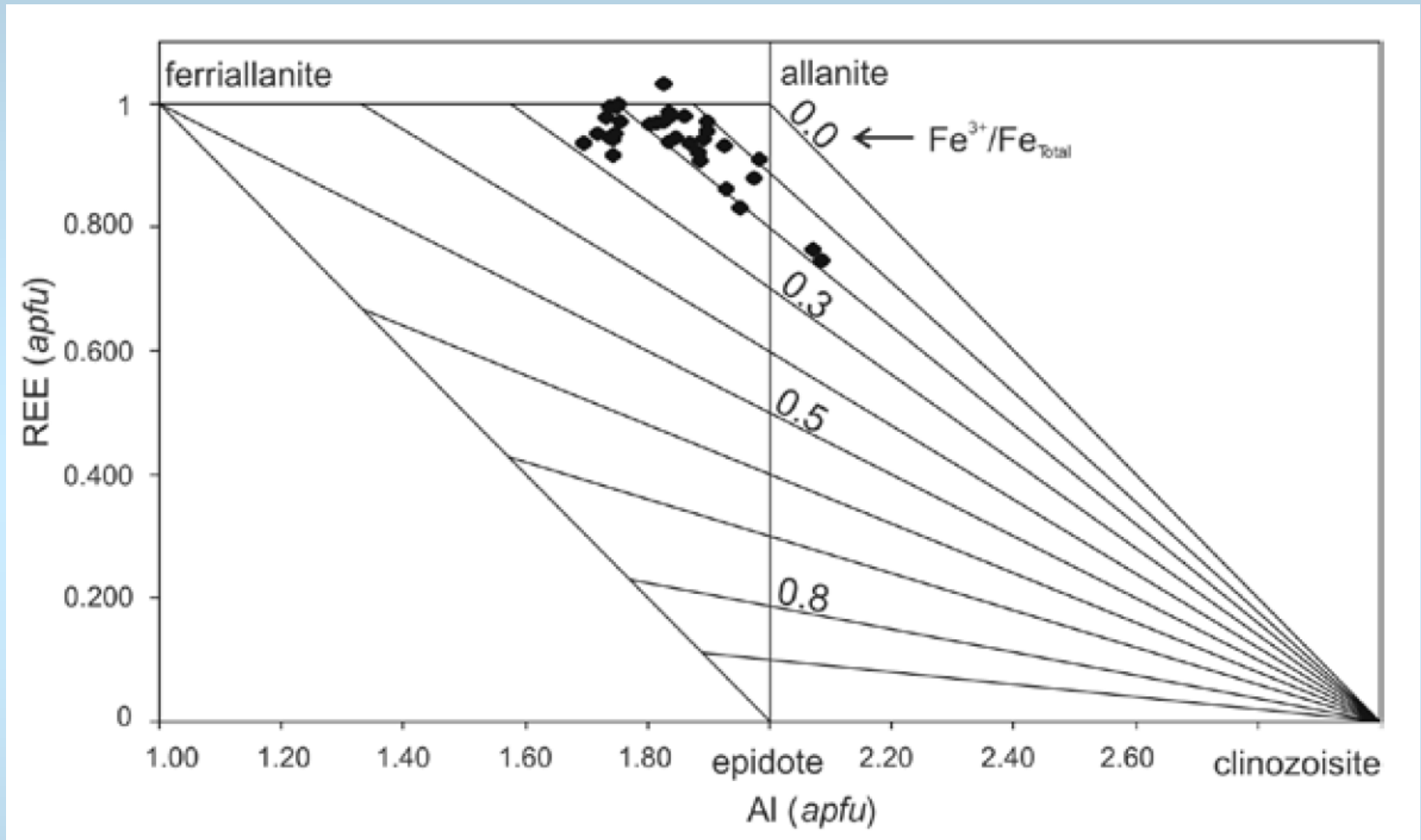
Tetraedrická pozice  
 $Si_2O_7$   
 $SiO_4$

A-pozice

## Minerály skupiny epidotu ( $\text{epidot } (\text{Ca}_2)(\text{Al}_2,\text{Fe})[\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7|\text{O}|\text{OH}]$ ) obsahující REE

- Allanit-(Ce):  $\text{CaCeAl}_2\text{Fe}^{2+}[\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7|\text{O}|\text{OH}]$
- Allanit-(La):  $\text{CaLaAl}_2\text{Fe}^{2+}[\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7|\text{O}|\text{OH}]$
- Allanit-(Nd):  $\text{CaNdAl}_2\text{Fe}^{2+}[\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7|\text{O}|\text{OH}]$
- Allanit-(Y):  $\text{CaYAl}_2\text{Fe}^{2+}[\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7|\text{O}|\text{OH}]$
  
- Ferriallanit-(Ce):  $\text{CaCeFe}^{3+}\text{Al,Fe}^{2+}[\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7|\text{O}|\text{OH}]$
- Ferriallanit-(La):  $\text{CaLaFe}^{3+}\text{Al,Fe}^{2+}[\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7|\text{O}|\text{OH}]$
- Dissakisit-(Ce):  $\text{CaCeAl}_2\text{Mg}[\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7|\text{O}|\text{OH}]$
- Dissakisit-(La):  $\text{CaCeAl}_2\text{Mg}[\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7|\text{O}|\text{OH}]$
- Dollaseit-(Ce):  $\text{CaCeMgAlMg}[\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7|\text{F}|\text{OH}]$
- Khristovit-(Ce):  $\text{CaCeMgAlMn}^{2+}[\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7|\text{F}|\text{OH}]$

# Allanit - grafické znázornění



Graf REE versus Al pro REE obsahující minerály ze sk. Epidotu (atoms per formula unit); ukázka pro allanite-(Ce) z křemenných žil True Blue, Yukon (Turner et al. 2007). Linie konstantního poměru  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}_{\text{Total}}$  jsou znázorněny pro stanovení oxidačního stavu Fe. Graf podle Petrik et al. (1995).



# Allanit - fyzikální vlastnosti



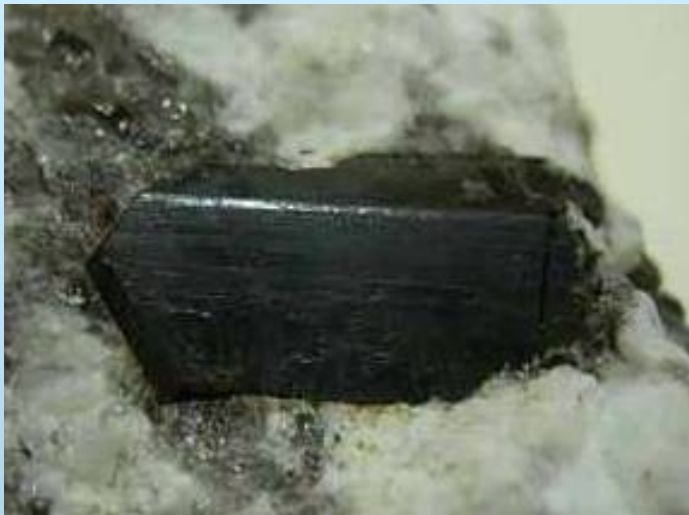
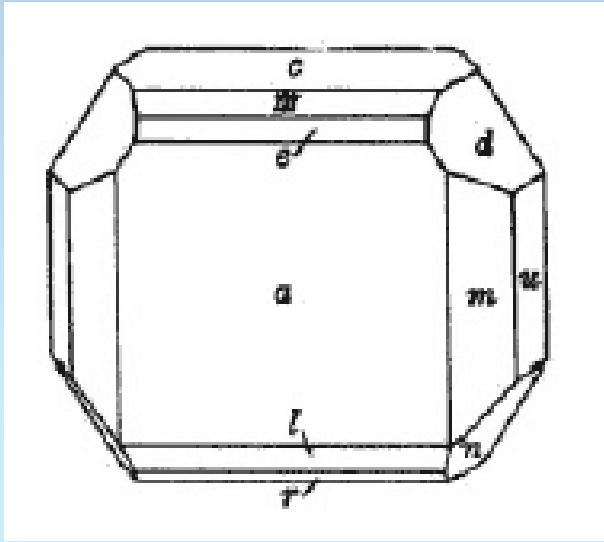
allanit (Vlastějovice; foto Kadlec)



tabulkovité krystaly allanitu (Olden Township, Kan.)

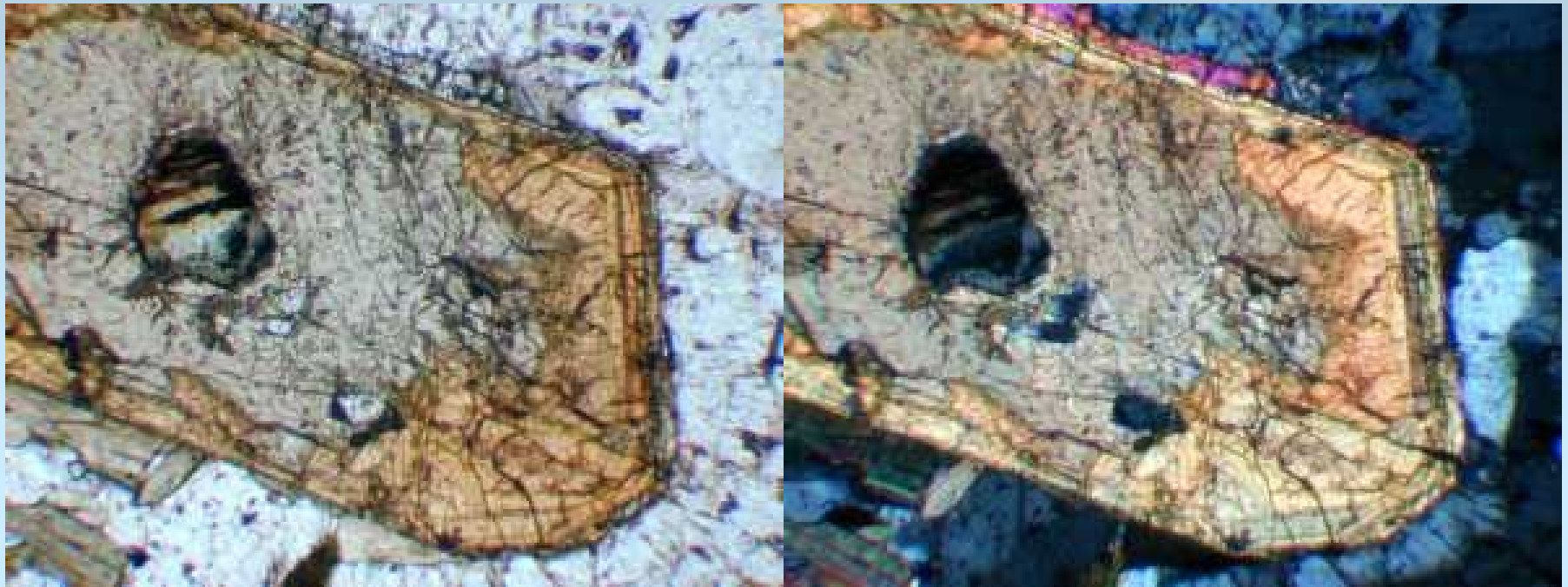
- barva - černá; vryp - šedý
- štěpnost - nedokonalá; lom - lasturnatý; lesk - polokovový
- Tvary - tlustě tabulkovité krystaly; vzhled - kusový
- Tvrdost - 5,5 až 6
- Hustota - 3,9

# Allanit



kryystalový tvar - tabulkovitý krystal allanitu

# Allanit



Automorfní zrno allanitu v rule; optický mikroskop, vlevo II; vpravo X (foto Vávra V.)

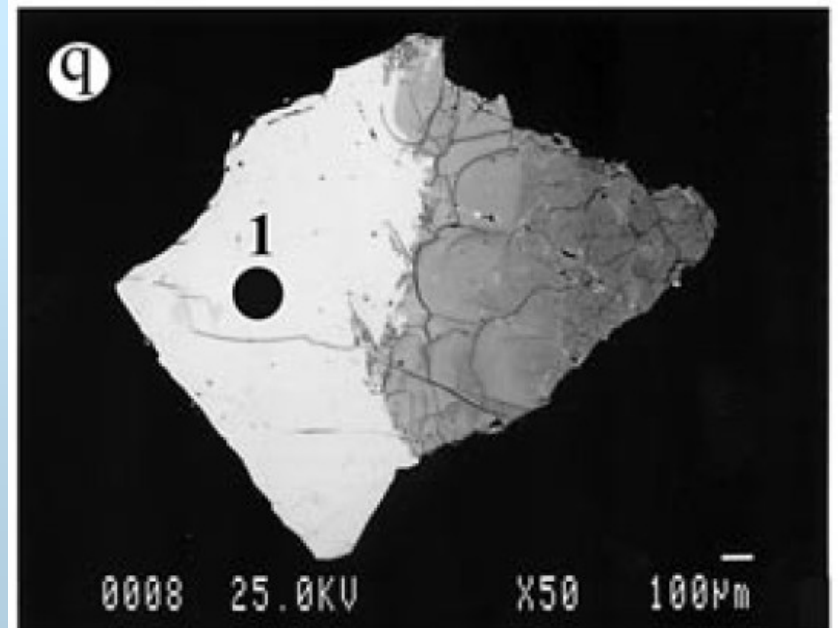
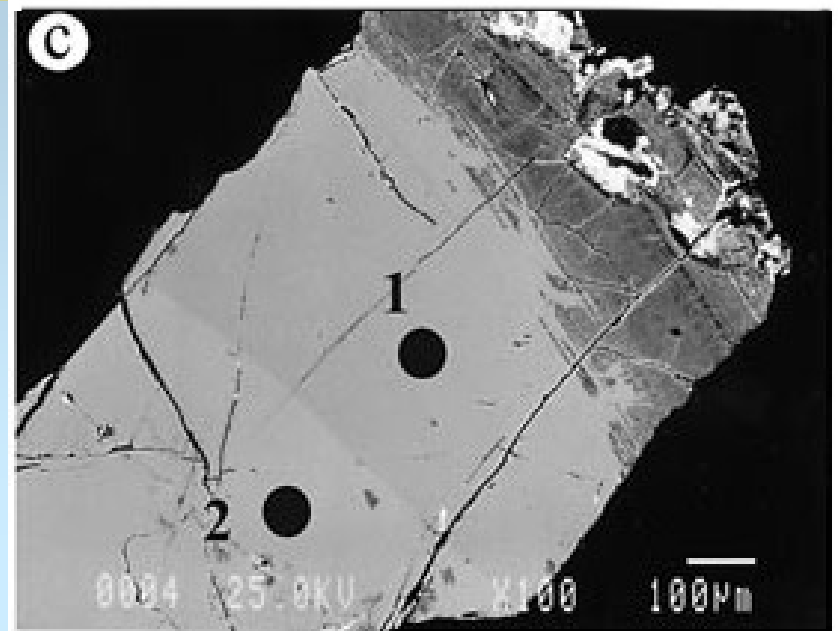
- dobře identifikovatelný v optickém mikroskopu
- často v důsledku metamiktizace (přítomnost U a Th) a zvětšení objemu je jeho okolí rozpraskané
- automorfní krystaly nebo nepravidelná zrna často se zonální nebo sektorovou stavbou
- barva okrová, hnědá, žlutá se zřetelným pleochroismem podle  $\alpha$  - bezbarvý, až žlutý a žlutohnědý,  $\beta$  - hnědý, červenohnědý, žlutohnědý a  $\gamma$  - hnědožlutý, hnědozelený až zelený

# Allanit - zonálnost a stavba

Tři hlavní typy zonálnosti v allanitech:

- nepravidelná vnitřní zonálnost (skvrnitá) - s doménami různého chemismu (velice častá)
  - oscilační zonálnost (běžná)
  - normální růstová magmatická zonálnost
- 
- Chemicky homogenní allanity jsou relativně vzácné
  - Často jsou často metamiktní

(převzato z Hoshino et al. 2006)



# Allanit

Nejběžnější je allanit-(Ce)

- Je častou akcesorií granitů, granodioritů, tonalitů, dioritů, syenitů a jejich výlevných ekvivalentů a pegmatitů
- Charakteristický pro I-typové granity
- Poměrně častý je v rulách a amfibolitech a ojediněle se vyskytuje ve skarnech.

Allanit-(Y), allanit-(Nd) - velmi vzácný

- Vzácně v NYF pegmatitech

Allanit-(La)

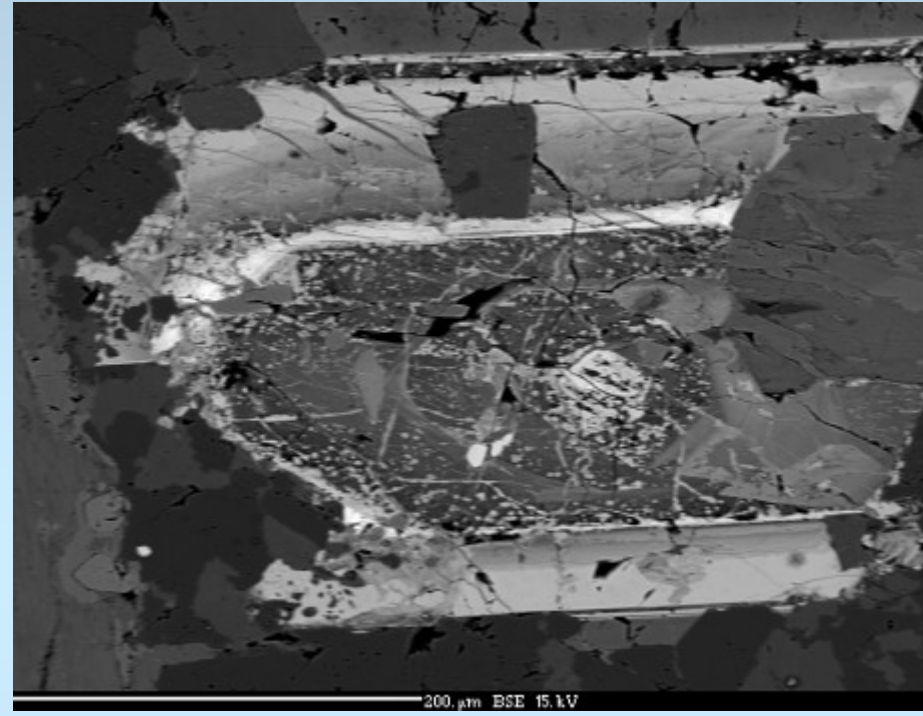
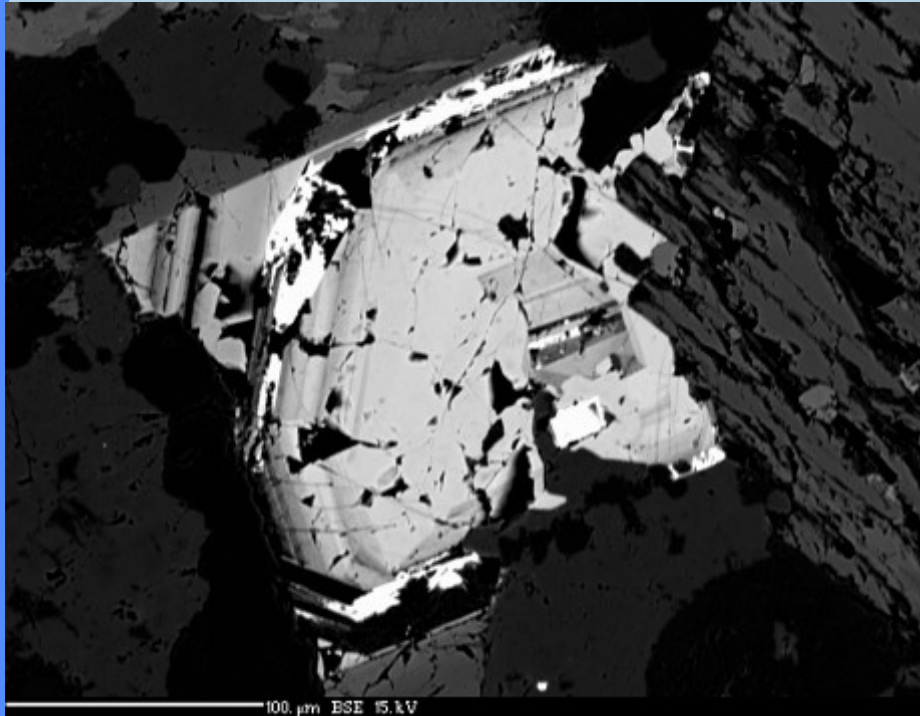
- Baritové žíly v dolomitových mramorech (Toskánsko, Itálie)
- Ložisko zlata Hemlo (Kanada) - allanit-(La) bohatý V (až 8,5 hm.%  $V_2O_3$ )

# Allanit

- V běžných granitoidních horninách (granity, granodiority) se obvykle allanit nevyskytuje společně s monazitem
  - Allanit - I-typové granitoidy
  - Monazit - S-typové granitoidy (ale může být i v I typových granitech) - nedostatek Ca pro vznik allanitu
  - Ale není to obecně platné pravidlo - např. v durbachitech třebíčského masivu jsou oba tyto minerály
  - Jako sekundární je allanit často i v S-typových granitoidech
- Vzniká i jako sekundární při hydrotermální alteraci monazitu (v magmatických, metamorfovaných horninách i během vysokoteplotní diagenese)
- Allanit je poměrně nestabilní minerál, zejména při působení hydrotermálních fluid (i relativně nízkoteplotních a slabě mineralizovaných - přínos, F, P, CO<sub>2</sub>) (postmagmatických, metamorfních i diagenetických)
- Dokonce i čerstvých granitoidech bývá často silně postižen hydrotermální alterací a maetamiktizací v důsledku pomalého chladnutí. Ve vulkanických horninách (rychlé chladnutí) bývá často zachovalejší.
- Jeho rozpadem vzniká řada sekundárních minerálů - epidot, fluorokarbonáty REE (synchysit, bastnesit, parisit), rhabdofán, apatit, jílové minerály
- Pozorováno i zatlačování allanitu monazitem v granitech



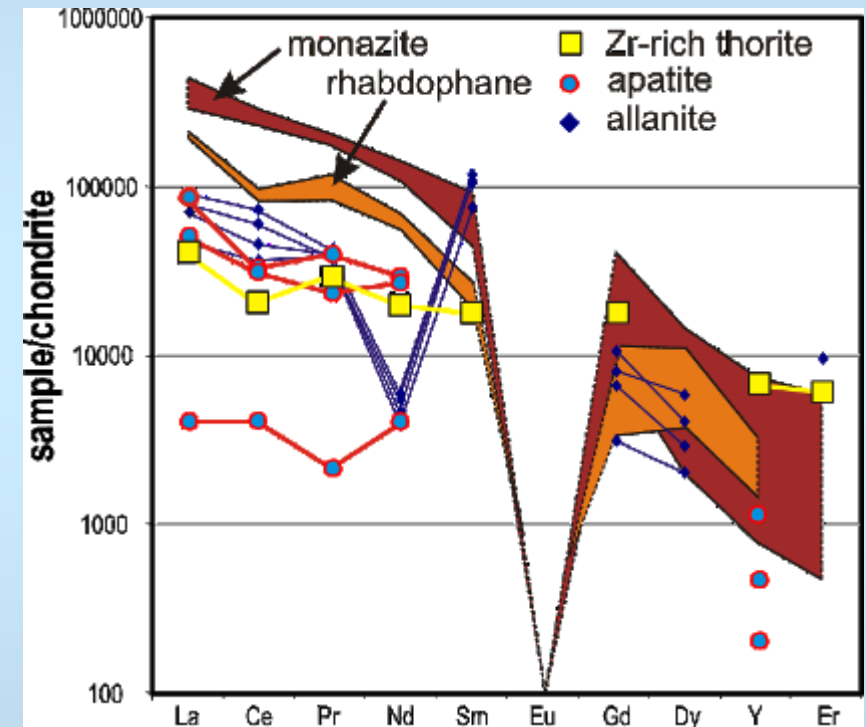
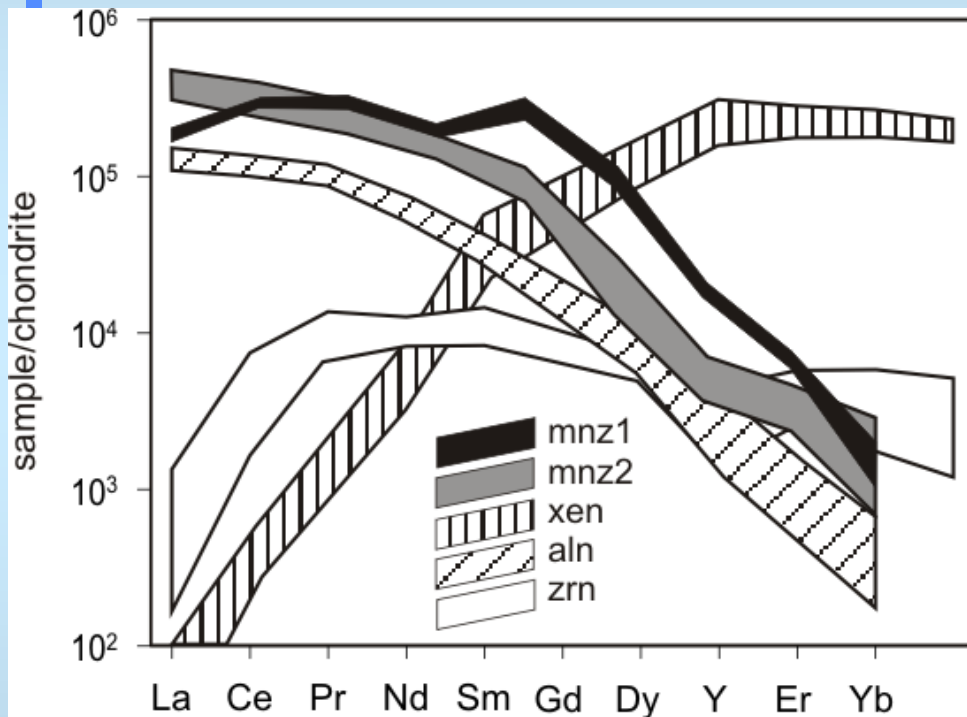
# Allanit



- Amfibol-biotitické granodiority (Čopjaková 2007)  
Nalevo - allanit-(Ce) částečně zatlačovaný synchysitem-(Ce)  
Napravo - jádro allanitu-(Ce) zatlačované epidotem a synchysitem-(Ce);  
zóna při okraji zatlačena převážně jílovými minerály

# Allanit-chondritem normalizovaná REE křivka

- REE vstupují do pozice A
- Do této pozice může vstoupit ion REE nejrůznější velikosti => allanit může odrážet složení taveniny v čase jeho krystalizace



Allanit-(Ce) z pegmatitů třebíčského masivu v asociaci ostatních akcesorických minerálů (Škoda, Novák 2006)

Sekundární allanit-(Ce) z biotického granitu vzniklý rozpadem primárního monazitu (rhabdofán, apatit, a thorit jsou rovněž sekundární) (Čopjaková, Škoda 2008)