

Mineralogie II

Prof. RNDr. Milan Novák, CSc.

Mineralogický systém - silikáty

Osnova přednášky:

- 1. Strukturní a chemický základ pro klasifikaci silikátů**
- 2. Nesosilikáty**
- 3. Sorosilikáty**
- 4. Shrnutí**

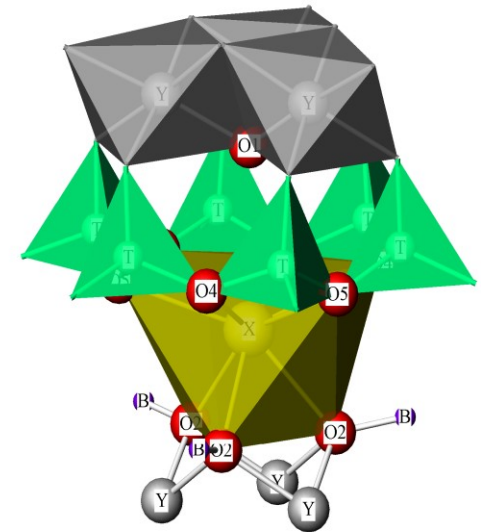
1. Silikáty - úvod

- Největší a nejdůležitější skupina minerálů v mineralogickém systému. Zahrnuje většinu horninotvorných minerálů. Podle uspořádání SiO_4 tetraedrů, které jsou hlavním stavebním prvkem těchto minerálů, je dělíme do několika skupin.

Silikáty se skládají z:

- tetraedrů SiO_4^{4-}
- kationtů kovů (např. Ca, Fe, Mg, Na, Al), které jsou ve středech různých polyedrů např. BO_3 , AlO_6 , MgO_6 , NaO_8

tetraedry a jiné polyedry se spojují (mají společný kyslík) – tak se zmenšuje počet volných vazeb tak, aby byl minerál elektroneutrální
 Si^{4+} je v tetraedru často nahrazen Al^{3+}
vedle kyslíku se objevují i jiné anionty OH^- , F^-



1. Silikáty - klasifikace

Nesosilikáty – tetraedry izolované

- olivín, granáty, Al_2SiO_5

Sorosilikáty – 2 spojené tetraedry

- epidot

Cyklosilikáty – tetraedry spojené do cyklů

- cordierit, turmalín, beryl

Inosilikáty – tetraedry spojené do řetězců

- jednoduché - pyroxeny, - dvojité - amfiboly

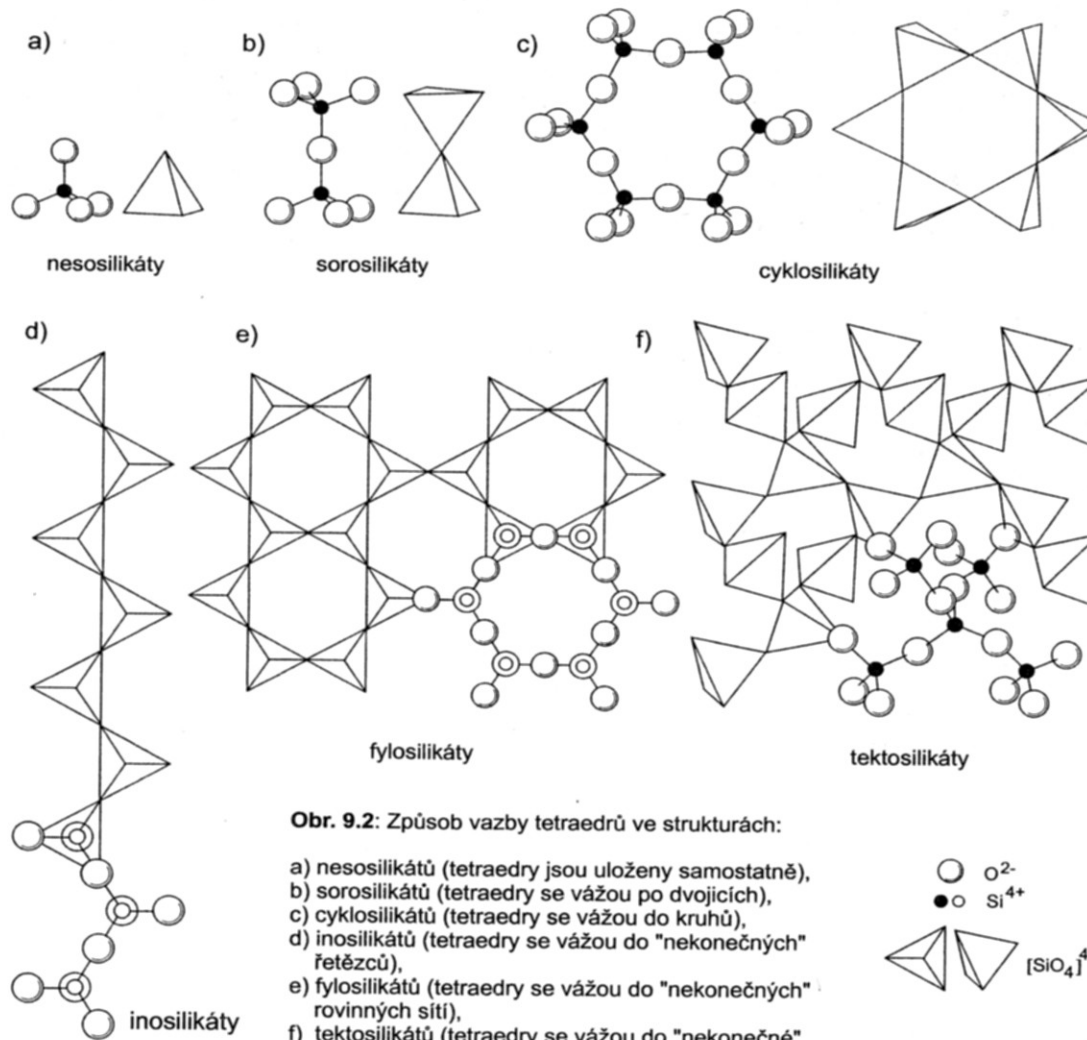
Fylosilikáty – tetraedry propojené v ploše

- slídy, jílové minerály

Tektosilikáty – tetraedry tvořící prostorovou kostru

- živce, foidy, zeolity, také křemen

1. Silikáty - klasifikace

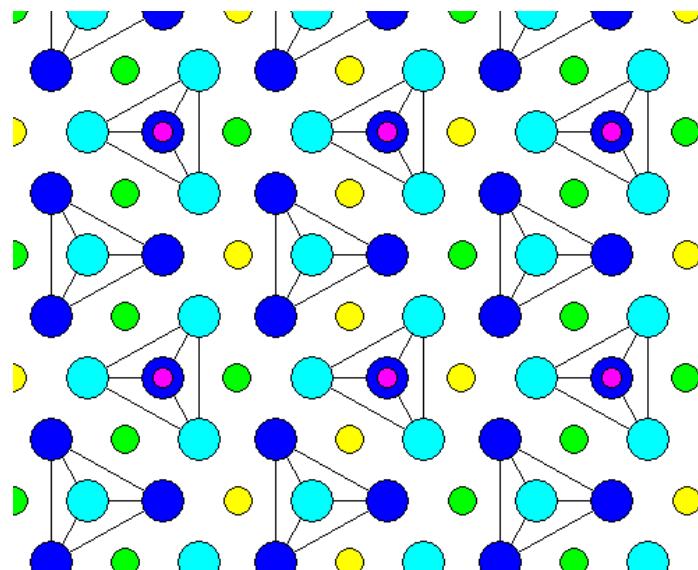


Obr. 9.2: Způsob vazby tetraedrů ve strukturách:

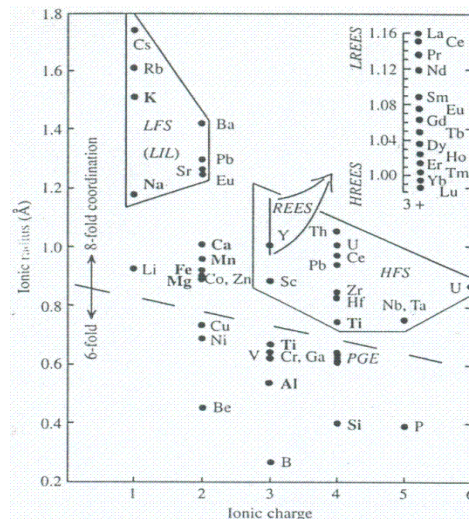
- a) nesilikátů (tetraedry jsou uloženy samostatně),
- b) sorosilikátů (tetraedry se vážou po dvojicích),
- c) cyklosilikátů (tetraedry se vážou do kruhů),
- d) inosilikátů (tetraedry se vážou do "nekonečných" řetězců),
- e) fylosilikátů (tetraedry se vážou do "nekonečných" rovinných sítí),
- f) tektosilikátů (tetraedry se vážou do "nekonečné" prostorové sítě).

2. Nesosilikáty - skupina olivínu

- Rombická
- Obecný vzorec M_2SiO_4
 $M = Mg, Fe^{2+}, Mn$
- Forsterit Mg_2SiO_4
- Fayalit Fe_2SiO_4
- Tefroit Mn_2SiO_4
- Olivín – termín užívaný v petrologii
- Ideálně mísitelné,
 hlavní substituce Mg-Fe Fe-Mn
- Vedlejší až stopové prvky: Ca, Zn, Ni



- Vlastnosti:
 Barva: světle žlutozelená, nažloutlý (forsterit), černý (fayalit), lesk skelný, neštěpný, $T = 6-7$, $h = 3,2-4,3$.



2. Nesosilikáty - skupina olivínu

Výskyty:

- **Forsterit (olivín)**
Horniny bohaté Mg a chudé Si
- hojný ve svrchním plášti
- ultrabazické magmatické (Smrčí, Kozákov) a metamorfované horniny např. -
- dolomitické mramory (Studnice)
- **Fayalit**
pegmatity (Strzegom) a alkalické granity
Fe-bohaté metamorfované horniny
- Olivín lehce podléhá hydrotermálním alteracím a vzniká serpentin.
- **Využití:** jako drahý kámen, důležitý v řešení problémů zemského pláště, PT podmínky.



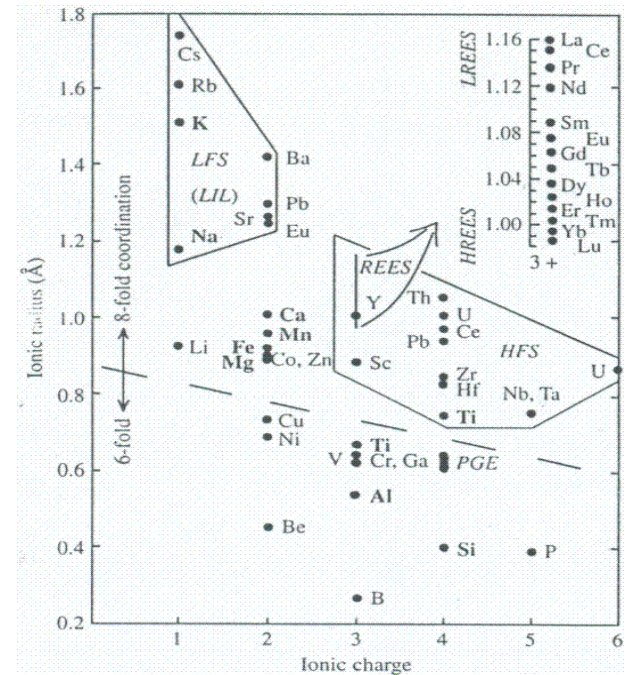


2. Nesosilikáty- skupina granátu

- Kubický
- Obecný vzorec $A_3B_2(SiO_4)_3$
 $A = Fe^{2+}, Mn, Ca, Mg$
 $B = Al, Fe^{3+}$
- Vedlejší a méně časté prvky: V, Cr, Y, P

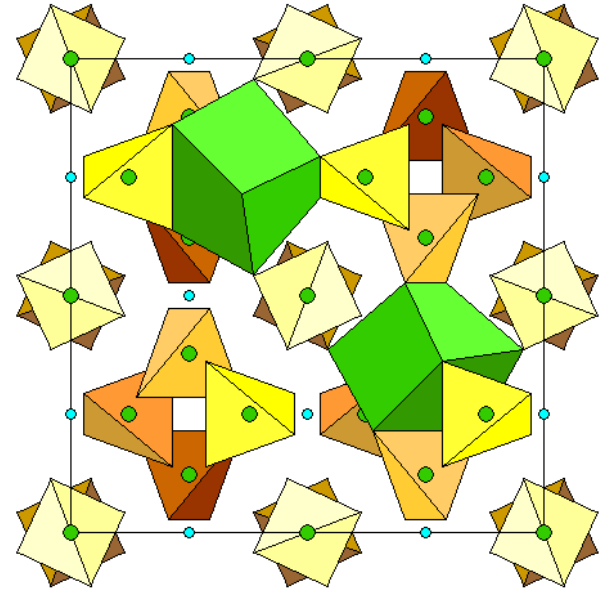
		a_0 (Å)
Pyrop	$Mg_3 Al_2 Si_3 O_{12}$	11,46
Almandin	$Fe_3 Al_2 Si_3 O_{12}$	11,53
Spessartin	$Mn_3 Al_2 Si_3 O_{12}$	11,62
Grossular	$Ca_3 Al_2 Si_3 O_{12}$	11,85
Andradit	$Ca_3 Fe_2 Si_3 O_{12}$	12,06

- Typické substituce Mn- Fe^{2+} -Ca-Mg, Al- Fe^{3+}
- Mísitelnost mezi jednotlivými členy granátu je různá, neomezená v případě, že je velikost zastupovaných kationtů blízká, menší, je-li rozdíl větší. Závisí i na PT podmínkách.



2. Nesosilikáty- skupina granátu

- Izolované tetraedry SiO_4 sdílejí apikální kyslíky s deformovanými oktaedry (Al a Fe^{3+}) a s deformovanými hexaedry (Mg, Fe^{2+} , Mn, Ca).
- Vlastnosti:
Barva: červená a její odstíny, méně často zelená, žlutá, bezbarvý (grossular), granát není nikdy modrý.
neštěpný, $T = 7-7,5$, $h = 3,6-4,2$.
- Ve výbruse je izotropní.



2. Nesosilikáty- skupina granátu

Výskyty:

- **Almandin**
 - metamorfované pelity (svor, rula – Petrov nad Desnou), pegmatity (Dolní Bory), granity (Přibyslavice)
- **Pyrop (český granát)**
 - ultrabazické horniny (dunity, serpentinity - Drahonín, eklogity - Biskupice)
- **Spessartin** – pegmatity (Bližná), Mn-bohaté metamorfované horniny (Chvaletice)
- **Grossular (varieta hessonit)** – skarny (Žulová)
- **Andradit** – skarny (Vlastějovice)

- **Granáty jsou většinou velmi odolné vůči hydrotermálním alteracím a zvětrávání, proto jsou běžné jako těžký podíl v sedimentárních horninách**

- **Využití: drahý kámen, abrazivo, v metamorfní petrologii pro odhad PT podmínek, pro odvození provenience sedimentů.**

2. Nesosilikáty- skupina granátu



Grossular ve skarnu - Žulová



Almandin-spessartin

2. Nesosilikáty- skupina granátu

Grossular



Andradit

uvarovit

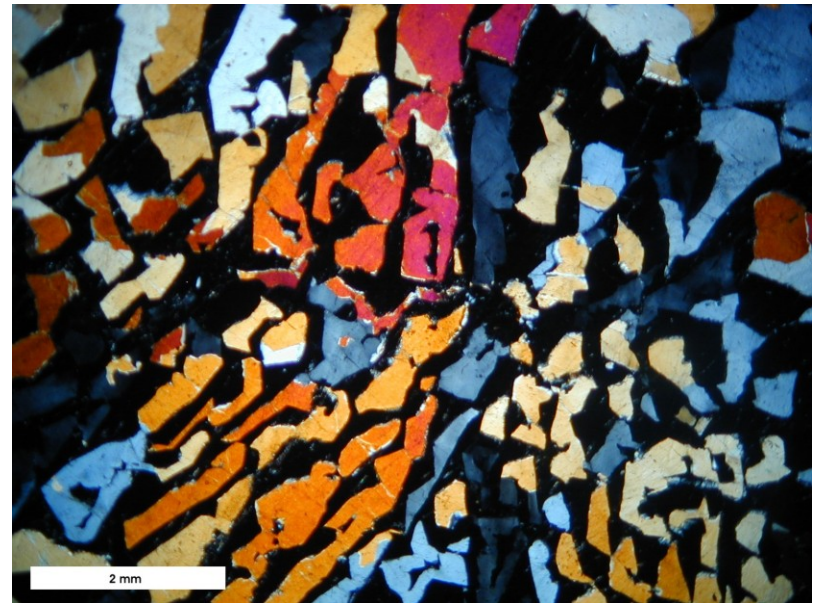


2. Nesosilikáty- skupina granátu

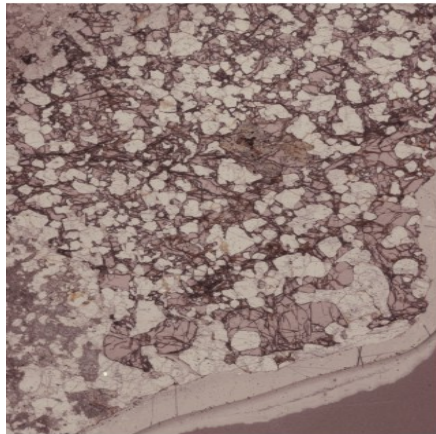


**Orientovaný grafický srůst
granátu (černý - izotropní) a
křemene (barevný), Bližná
výbrus**

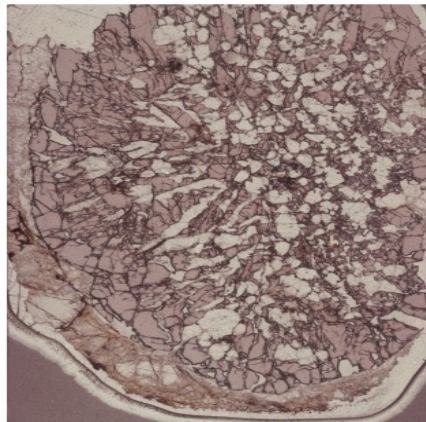
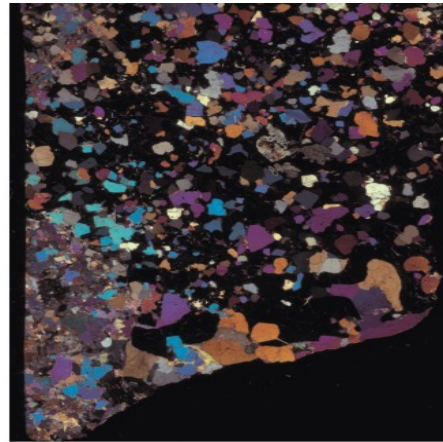
Pyrop v ultrabazické hornině



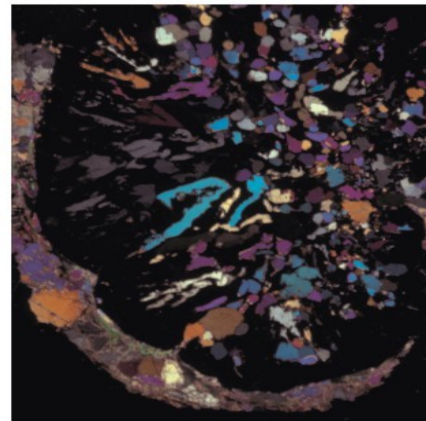
2. Nesosilikáty- skupina granátu



3674 Garnet-quartz nodule in orthogneiss. Irregular aggregate of individual quartz grains cemented with garnet



3677 Garnet-quartz nodule in aplopegmatite. Radial aggregate of quartz grains, in some parts graphic-like intergrowths. Nodule is limited with crystal planes.



Almandin srůstající s křemenem - Příbyslavice

2. Nesosilikáty - Skupina Al_2SiO_5

- Minerály Al_2SiO_5

Sillimanit	$\text{Al}^6 \text{Al}^4 \text{O SiO}_4$	rombický
Andalusit	$\text{Al}^6 \text{Al}^5 \text{O SiO}_4$	rombický
Kyanit	$\text{Al}^6 \text{Al}^6 \text{O SiO}_4$	triklinický

Chemické složení je většinou velmi blízké ideálnímu složení.

minoritní a stopové prvky

Sillimanit	B^{3+} , Mg, Fe^{3+}
Andalusit	Mn^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+}
Kyanit	Cr^{3+} , V^{3+} , Fe^{3+}

Variety:

fibrolit – jehlicovitý sillimanit

chiasolit – andalusit se sektoriální

zonálností z kontaktních rohovců,

viridin – zelený Mn-andalusit

2. Nesosilikáty - Skupina Al_2SiO_5



Andalusit, Dolní Bory



Kyanit, Frymburk

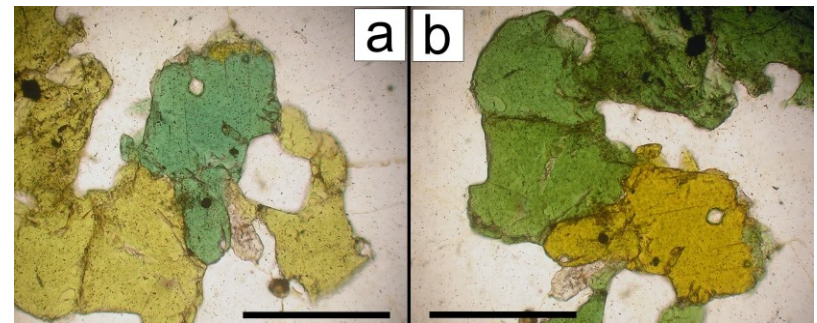


Sillimanit, Náchov

2. Nesosilikáty - Skupina Al_2SiO_5

- **Vlastnosti:**
- **Sillimanit** – jehlicovité až vláknité, méně často i drobně až hrubě zrnité agregáty nebo sloupcovité krystaly, velikost až do několik dm
šedá, bílá, žlutá, hnědá, bezbarvý
štěpný
- **Andalusit** - sloupcovité krystaly, jehlicovité, drobně až hrubě zrnité agregáty, velikost až do velikosti 1 m
růžová, červenohnědá, bílá šedá, zelená, modrá, někdy je pleochroický (v různé orientaci má různou barvu)
nedokonale štěpný
- **Kyanit** - sloupcovité až tabulkovité krystaly, drobně až hrubě zrnité agregáty, velikost až několik dm
modrá, šedá, bezbarvý, vysoký index lomu
výborně štěpný
- Tvrdost 6-7, u kyanitu 7-5,
- $n = 3,2-3,6$ (kyanit).

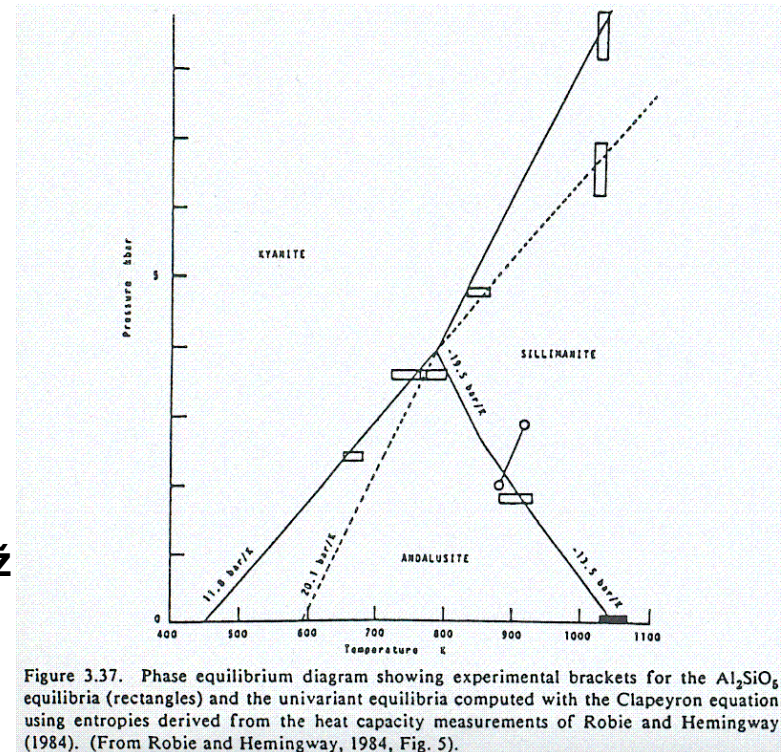
Pleochroismus u Mn-andalusitu



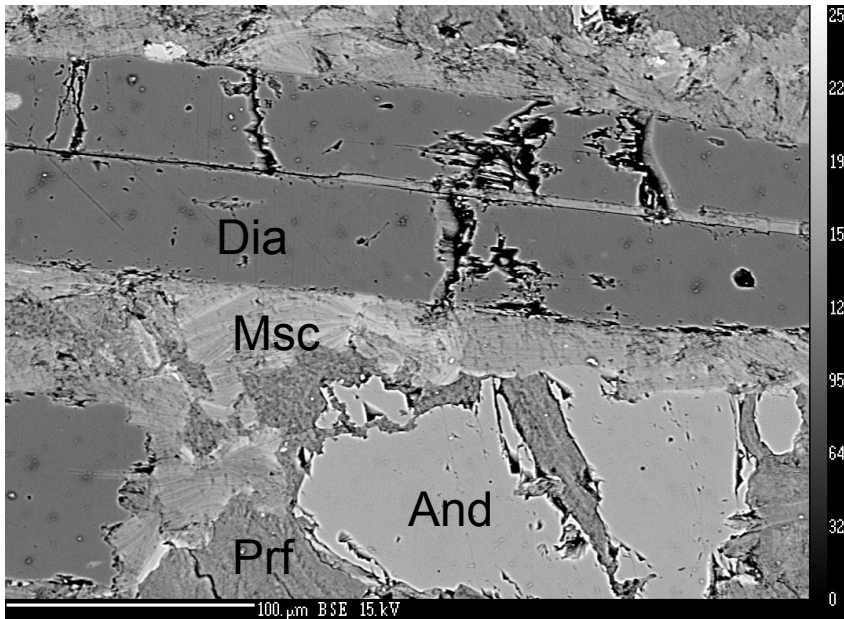


2. Nesosilikáty - Skupina Al_2SiO_5

- **Výskyty:**
 - **Horniny bohaté Al**
 - **Sillimanit** – regionálně metamorfované horniny středního až vyššího stupně, migmatity
 - **Andalusit** – kontaktně i regionálně metamorfované horniny (Branná), granity, pegmatity (Dolní Bory)
 - **Kyanit** – regionálně metamorfované horniny středního až vyššího stupně (Frymburk), granulity
- Z obrázku je zřejmé, že pozice trojného bodu zůstává stále diskutabilní. Především pozice univariantní křivky reakce andalusit=sillimanit je nejistá.
- **Odolnost Al_2SiO_5 je proti alteracím je střední až vysoká, proti zvětrávání je vysoká, proto jsou běžné v sedimentech.**
 - **Využití: Velmi důležité minerály pro odhad podmínek vzniku hornin.**



2. Nesosilikáty - Skupina Al_2SiO_5



Alterace andalusitu pyrofylytem a muskovitem (Dolní Bory)

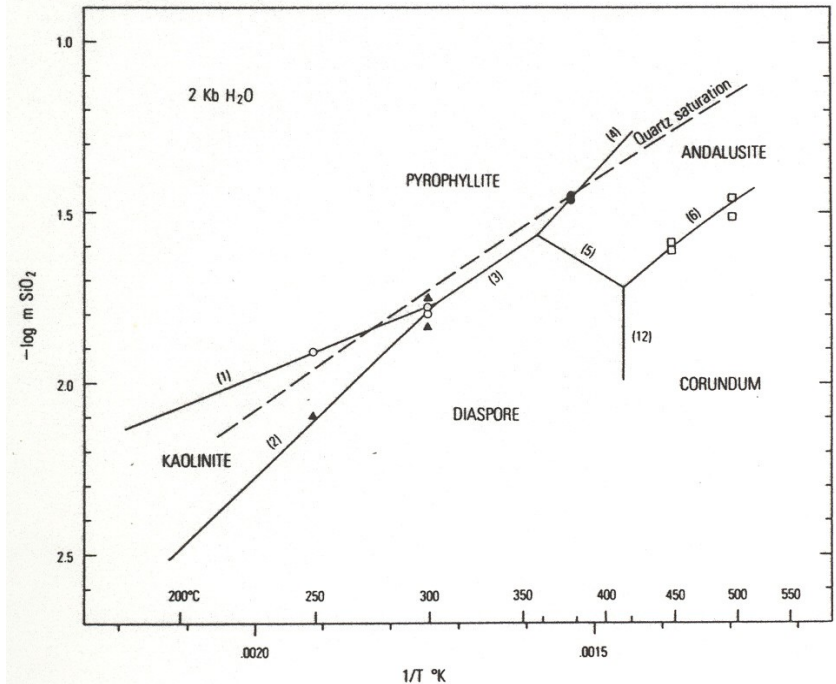


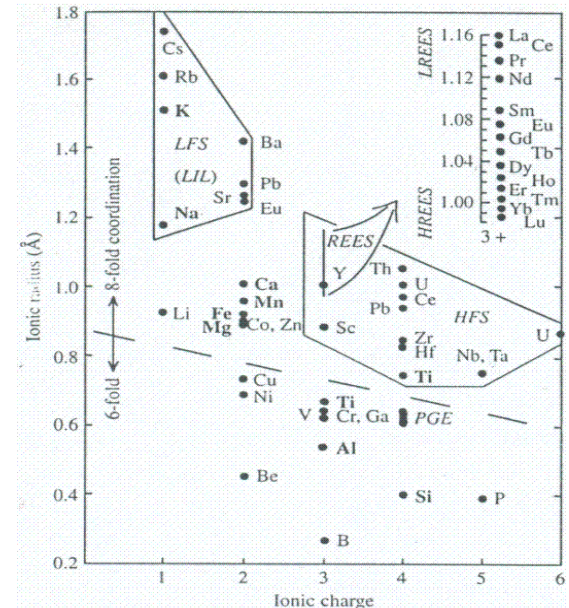
Diagram stability andalusitu za nízkých teplot

2. Nesosilikáty – další minerály

- **Staurolit**
 $\text{Fe}_2 \text{Al}_9 \text{O}_6 (\text{SiO}_4)_4 (\text{O}, \text{OH})_2$
 Vedlejší prvky: Zn, Li, Mn, Co
 Monoklinický (pseudorombický)
- **Vlastnosti:** hnědý v různých odstínech, nedokonale štěpný, $t = 7-7,5$, $h = 3,6-3,8$
- **Výskyty:**
 Horniny bohaté Al
 Typický horninotvorný minerál svorů a rul (Keprník), typický těžký minerál vzhledem ke svojí mechanické a chemické odolnosti a hustotě.
- **Důležitý pro odhad PT podmínek v metamorfovaných horninách.**
- **Topaz**
 $\text{Al}_2 \text{SiO}_4 (\text{F}, \text{OH})_2$
 rombický
- **Vlastnosti:** bezbarvý, modrý, žlutý, dokonale štěpný, $t = 8$, $h = 3,6-3,8$
- **Výskyty:**
 Typický minerál greisenů, pegmatitů, těžký minerál.



Staurolit



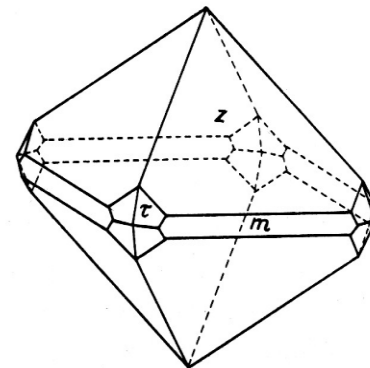
2. Nesosilikáty – další minerály

- **Chloritoid**
 $(\text{Fe, Mg})_2 \text{Al}_4 \text{O}_2 (\text{SiO}_4)_2 (\text{OH})_2$
Vedlejší prvky: Mn
Monoklinický a triklinický
strukturně a geneticky příbuzný staurolitu
- **Vlastnosti:** tmavozelený až černý, výborně štěpný, $t = 5-6$, $h = 3,4-3,6$
- **Výskyty:**
v metamorfovaných horninách (při nižší metamorfóze, než aby vznikl staurolit) – chloritoidových břidlicích
- **Důležitý pro odhad PT podmínek v metamorfovaných horninách.**

- **Titanit**
 $\text{Ca Ti} (\text{SiO}_4/\text{O})$
Vedlejší prvky: Sn, Al, Nb, Ta, F, Y, REE
Monoklinický
- **Vlastnosti:** hnědý, žlutý, zelený, nedokonale štěpný, $t = 5-5,5$ $h = 3,4-3,6$
- **Výskyty:**
Hojný akcesorický minerál v různých typech metamorfovaných a magmatických hornin, vyžaduje zvýšenou aktivitu Ca.
- **Středně odolný vůči alteracím.**

2. Nesosilikáty – další minerály

- **Zirkon**
 Zr SiO_4
Vedlejší prvky: Hf, U, Th, Y, Sc, P
- **Tetragonální**
- **Vlastnosti:** hnědý, žlutý, nedokonale štěpný, $t = 7-7,5$
 $h = 4,6-4,7$
- **Výskyty:**
Akcesorický minerál v různých typech hornin,
jediný relativně hojný minerál Zr.
- **Velmi odolný proti alteracím, používá se k radiometrickému datování.**
Často je ale metamiktní (rozpad struktury působením radioaktivního záření)



2. Nesosilikáty – další minerály

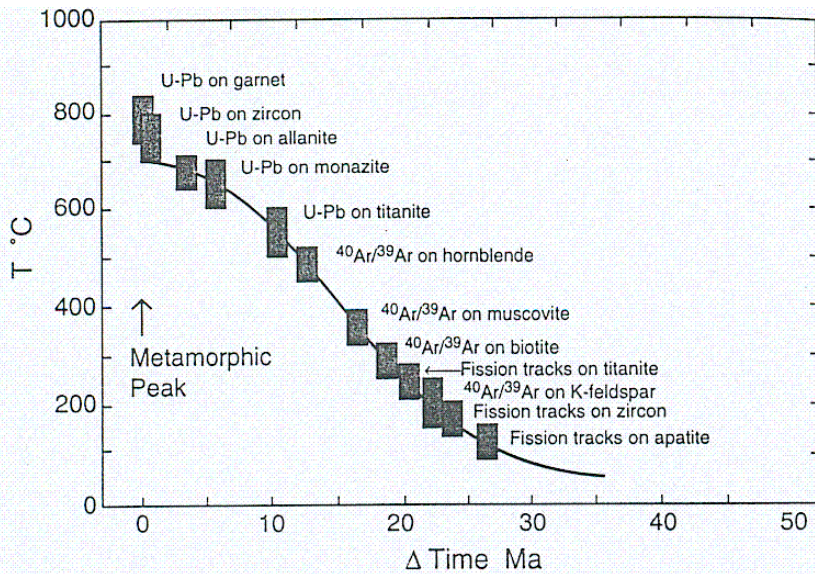


Figure 20-12. A hypothetical temperature-time plot showing the array of different thermochronometers that may be used to constrain the T-t history of an area.

3. Sorosilikáty – skupina epidotu

- Málo významná skupina, mají nízký stupeň polymerizace, dva spojené tetraedry Si_2O_7 , někdy jsou ve struktuře přítomny SiO_4 i Si_2O_7 .

- Skupina epidotu

Obecný vzorec $\text{A}_2\text{B}_3 (\text{SiO}_4)_3 \text{OH}$ nebo $\text{A}_2\text{B}_3 \text{Si}_3\text{O}_{11} (\text{OH},\text{F})_2$

A = Ca, Ce

B = Al, Fe^{3+} , Mn^{3+}

Vedlejší prvky: Mg, Sr, Y

Epidot $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}^{3+} (\text{SiO}_4)_3 \text{OH}$

Klinozoisit $\text{Ca}_2\text{Al}_3 (\text{SiO}_4)_3 \text{OH}$

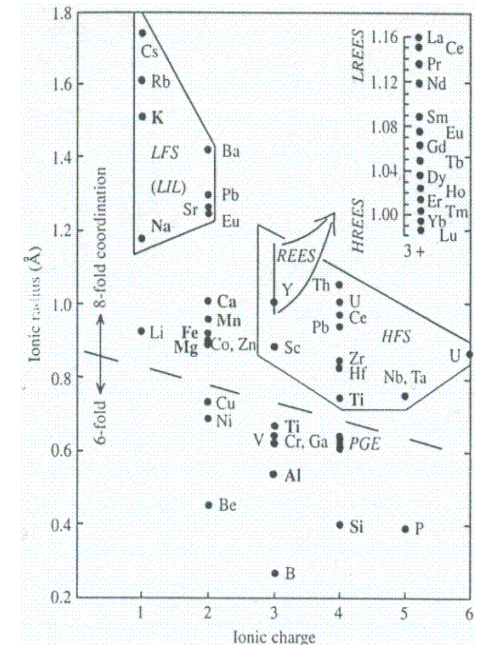
Zoisit $\text{Ca}_2\text{Al}_3 (\text{SiO}_4)_3 \text{OH}$

Allanit-(Ce) $\text{Ce Ca Al}_3 (\text{SiO}_4)_3 \text{OH}$

Substituce Al- Fe^{3+} , Al- Mn^{3+} ,

Monoklinické, rombické

- Vlastnosti: zelený v různých odstínech, černý (allanit), dokonale štěpný, $t = 6,5$, $h = 3,1-3,5$



3. Sorosilikáty – skupina epidotu



Epidot, Vlastějovice

- **Výskyty:**
Hydrotermální alpské žíly (Sobotín), pegmatity, skarny, metamorfované horniny bohaté Ca (Žulová).
- **Středně až málo odolné vůči alteracím (hlavně allanit).**
- **Využití:** indikátor vyšší aktivity O_2 a je často produktem hydrotermálních alterací jiných minerálů.



Allanit, Žulová



4. Shrnutí

1. Tato přednáška zahrnuje jen základní přehled hlavních minerálů ze skupiny nesosilikátů a sorosilikátů, ve skutečnosti je v této skupině několik set minerálů.
2. Většina minerálů má většinou poměrně vysokou tvrdost 6-7, hustotu větší než 3, a většina má nedokonale vyvinutou štěpnost.
3. Barva kolísá podle obsahu Fe (Mn), minerály s výraznou převahou Mg nad Fe (Mn) jsou bezbarvé, světle žluté nebo světle zelené, minerály bez Mg a Fe mají různé ale většinou světlé barvy. Minerály s vysokým obsahem Fe jsou tmavé – černé, červenofialové nebo hnědé.
4. Většina minerálů ze skupiny nesosilikátů a sorosilikátů má nízký nebo nulový obsah H₂O.
5. Většina minerálů vzniká za relativně vyšších teplot a tlaků v magmatických a metamorfovaných horninách.
6. U většiny z nich je nutné znát chemické vzorce (olivín, granáty, Al₂SiO₅ modifikace, zirkon).

4. Shrnutí

7. **Minerály dobře odolné hydrotermálním alteracím:
zirkon, staurolit, granáty, sillimanit**
**Minerály špatně odolné hydrotermálním alteracím:
olivín, andalusit, allanit**
8. **Minerály vznikající za velmi vysokých tlaků a teplot v podmínkách zemského pláště:
pyrop, olivín, kyanit**
**Minerály vznikající za nízkých tlaků v podmínkách svrchních částí zemské kůry:
andalusit, andradit, topaz, epidot**
9. **Důležité akcesorické minerály:
zirkon, titanit**