

Mineralogie I

Prof. RNDr. Milan Novák, CSc.

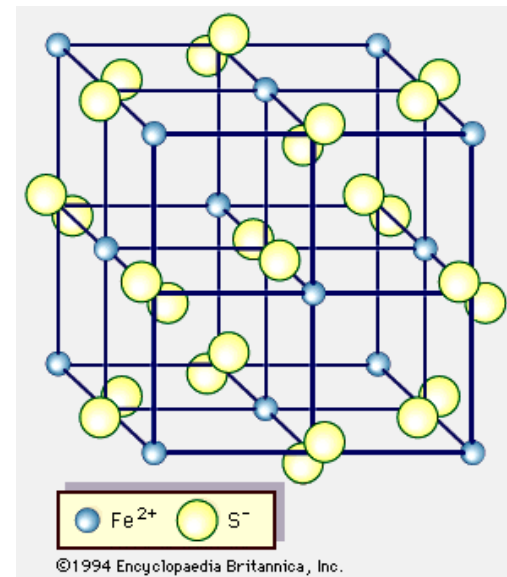
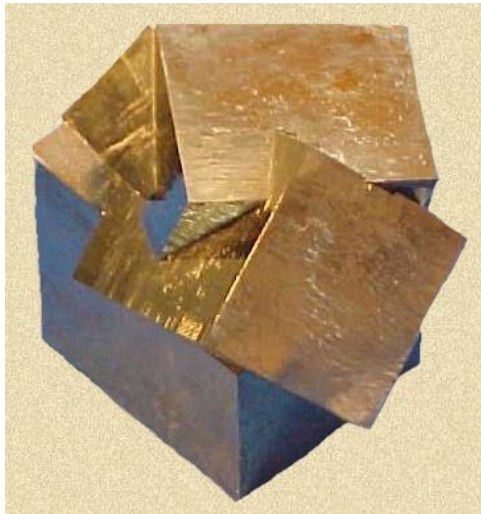
Mineralogický systém - silikáty

Osnova přednášky:

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

1. Co je minerál?

- **Anorganická stejnorodá přírodnina, jejíž složení lze vyjádřit chemickým vzorcem, většinou pevného skupenství, vzniklá především přírodními pochody, ale i za působení člověka.**
- **Základem definice každého minerálu jsou tedy specifická krystalová struktura a specifické chemické složení. Atomy jednotlivých prvků nejsou uspořádány ve krystalové struktuře minerálů náhodně a pro jejich vstup do krystalové struktury platí řada pravidel.**



Pyrit – krystal - krystalová struktura

1. Co je minerál? - Prvky v minerálech

- Do minerálů vstupují všechny prvky známé v přírodě. Tyto prvky si můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin:

- **kationy**

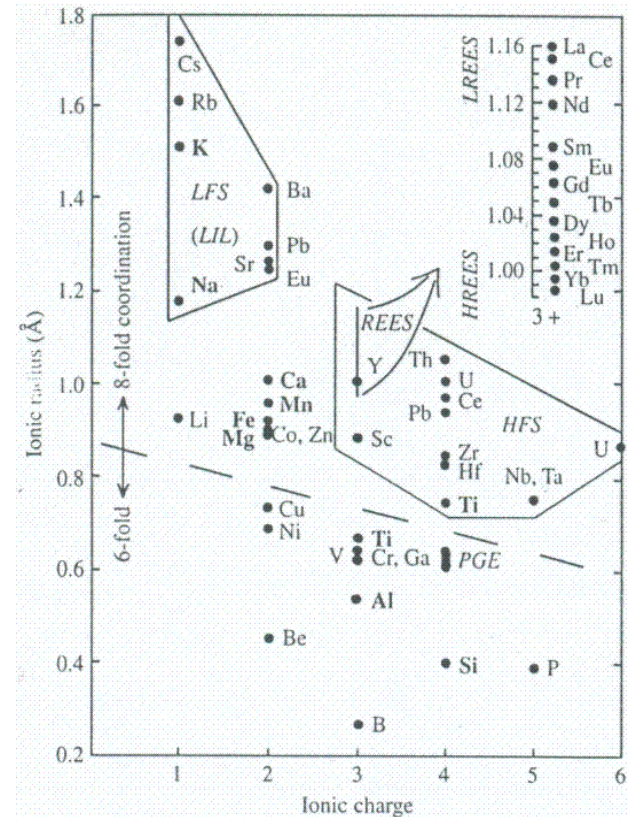
relativně malý iontový poloměr,
elektropozitivní

např. Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} , Si^{4+}

- **aniony**

relativně velký iontový poloměr,
elektronegativní,

např. O^{2-} , F^- , Cl^- , S^{2-} , OH^-



1. Co je minerál? - Krystalochemický vzorec

- Složení minerálů vyjadřujeme tzv. krystalochemickými vzorci.

- Vzorce minerálů musí být tzv.

elektroneutrální

forsterit



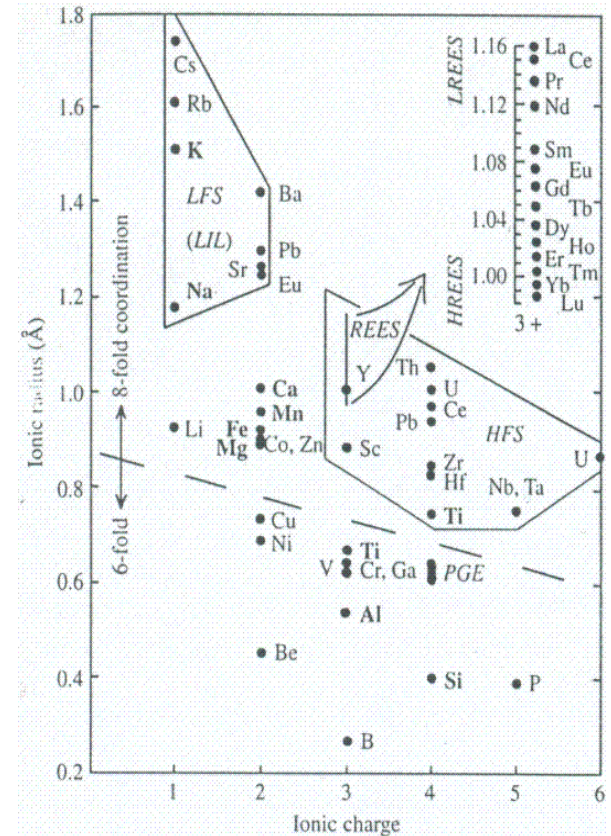
olivín $(Mg,Fe)_2 [SiO_4]$ minerál
složený ze 2 složek

forsterit Mg_2SiO_4

fayalit Fe_2SiO_4

(Fe, Mg) – jeden prvek je zastupován
dalšími prvky – pořadí určuje klesající
množství kationtu

$[SiO_4]$ - aniontová skupina



1. Silikáty - úvod

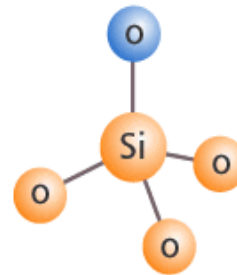
- **Největší a nejdůležitější skupina minerálů v mineralogickém systému. Zahrnuje většinu horninotvorných minerálů. Podle uspořádání SiO_4 tetraedrů, které jsou hlavním stavebním prvkem těchto minerálů, je dělíme do několika skupin.**

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

Sorosilikáty – 2 spojené tetraedry

Cyklosilikáty – tetraedry spojené do cyklů

Inosilikáty - tetraedry spojené do řetězců

- jednoduché - pyroxeny

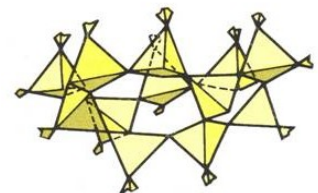
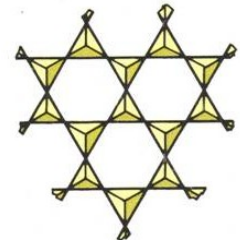
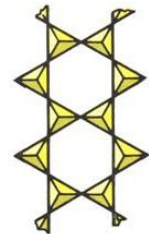
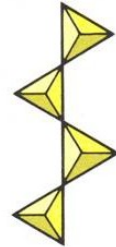
- dvojité - amfiboly

Fylosilikáty - tetraedry propojené v ploše

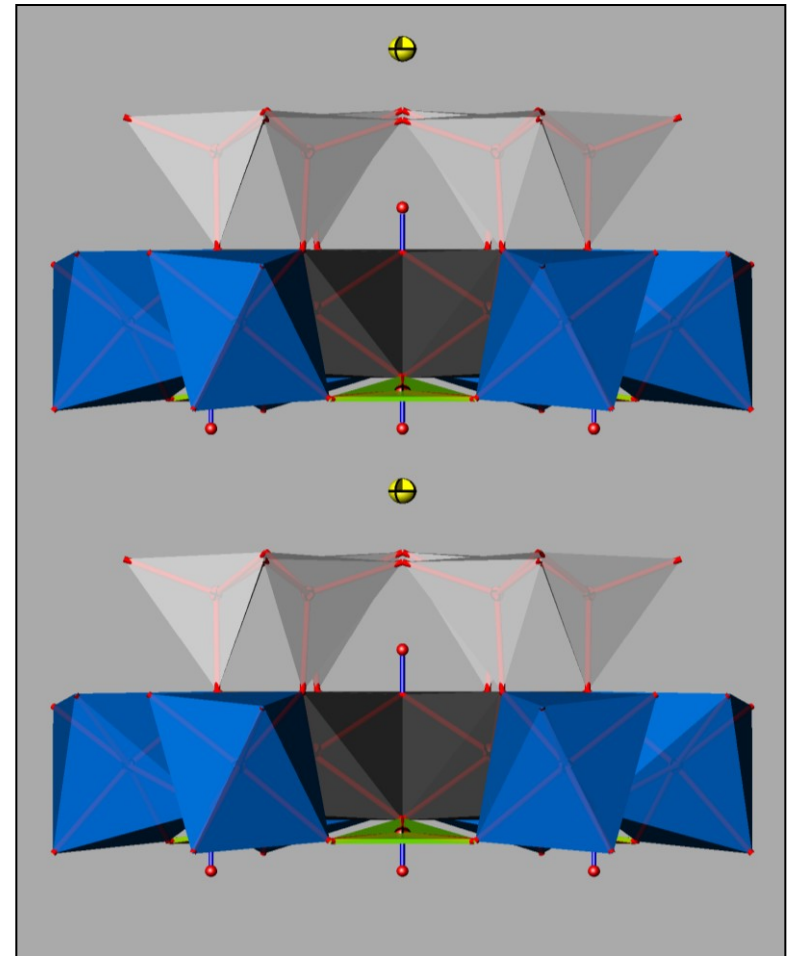
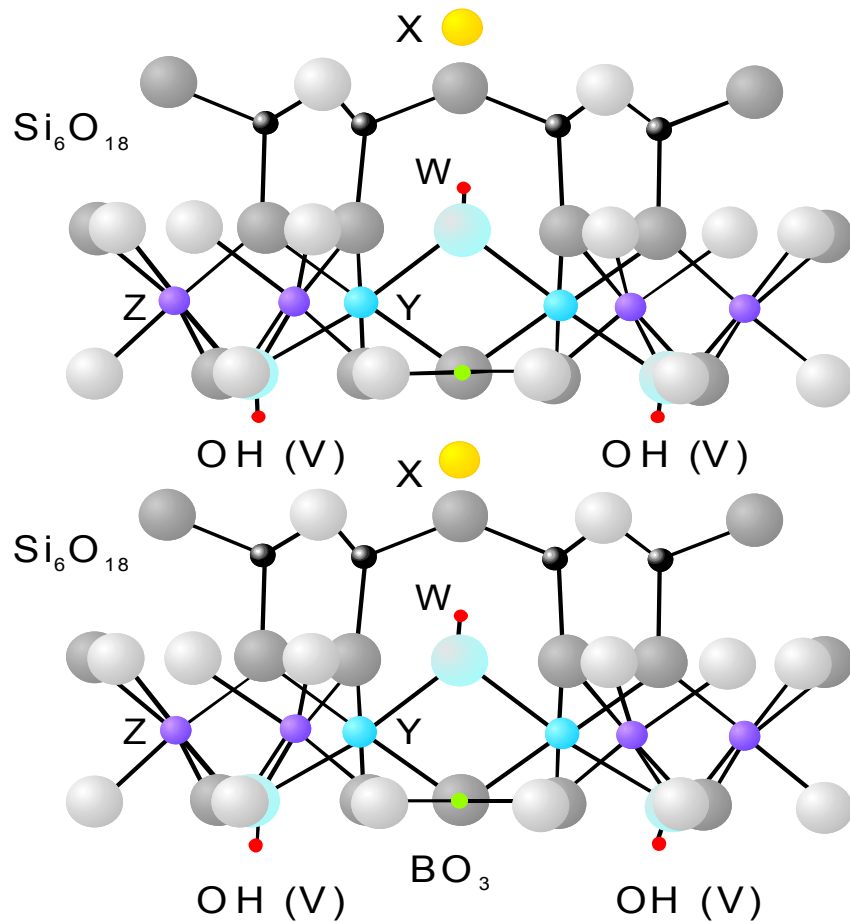
– slídy, jílové minerály

Tektosilikáty - tetraedry tvořící prostorovou kostru

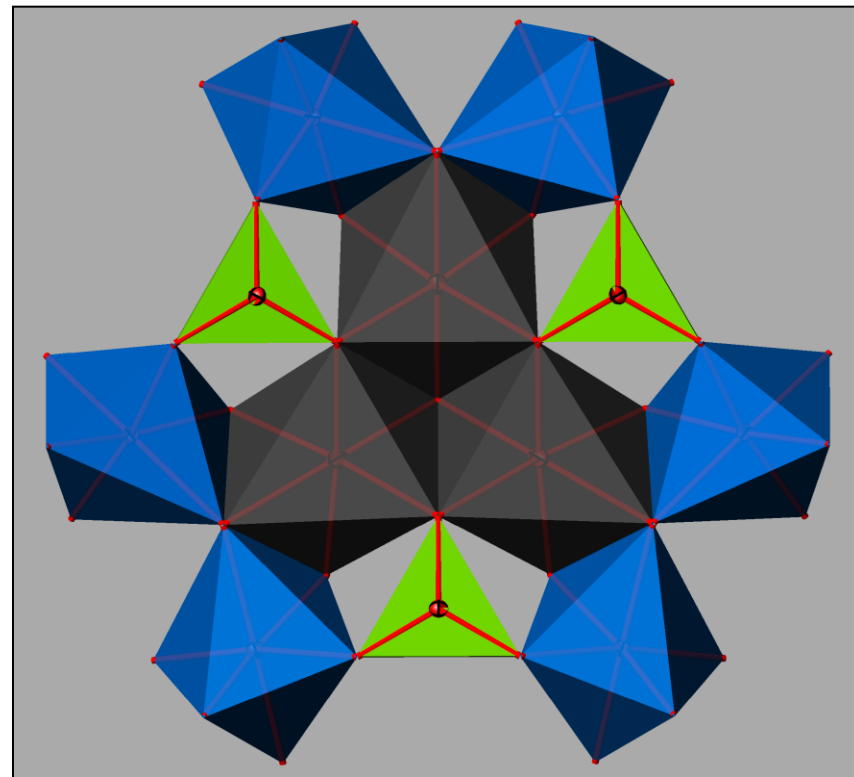
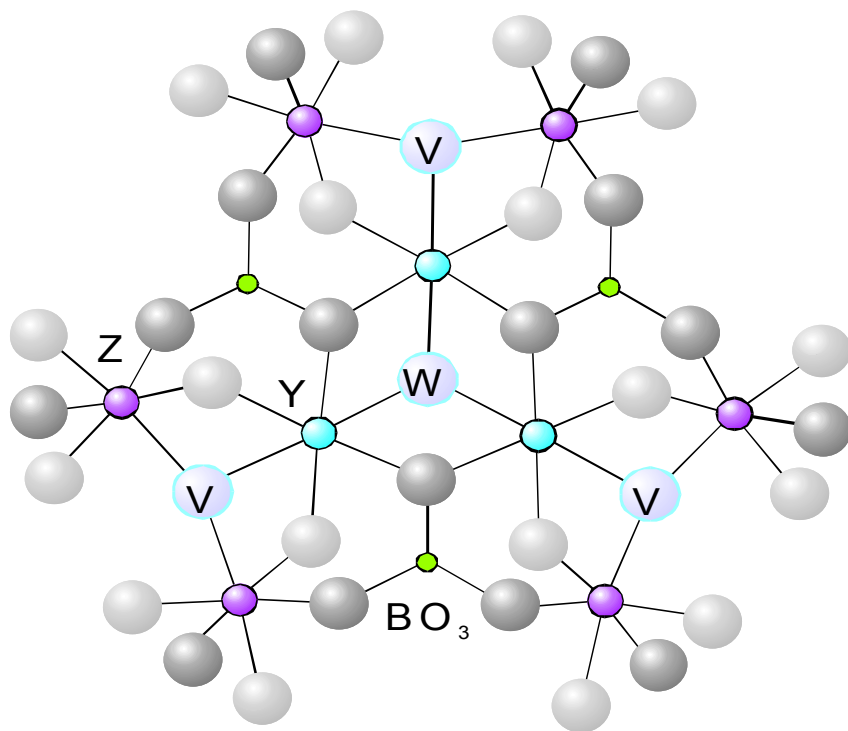
– živce, foidy, zeolity, také křemen



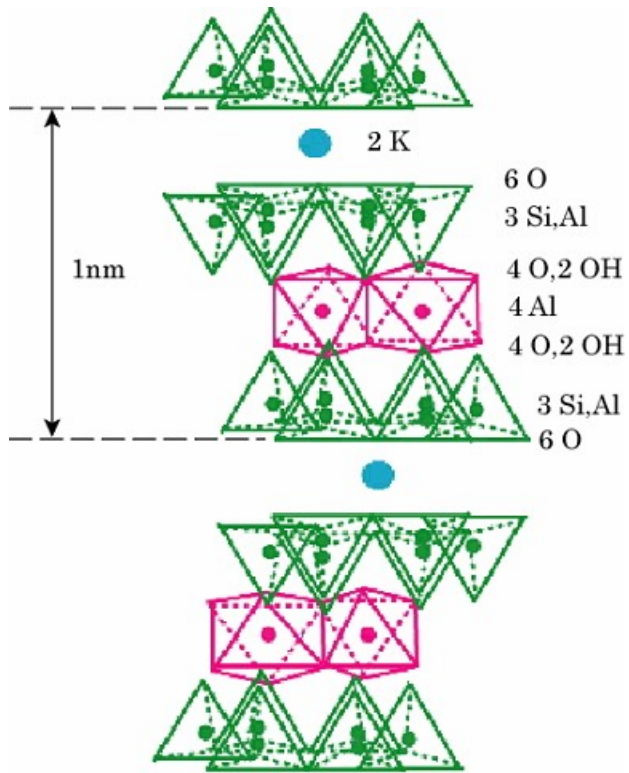
1. Silikáty – krystalové struktury



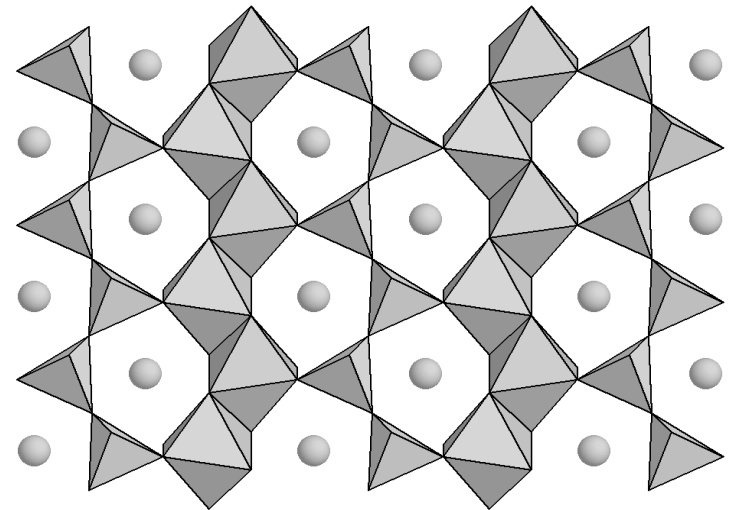
1. Silikáty – krystalové struktury



1. Silikáty - klasifikace



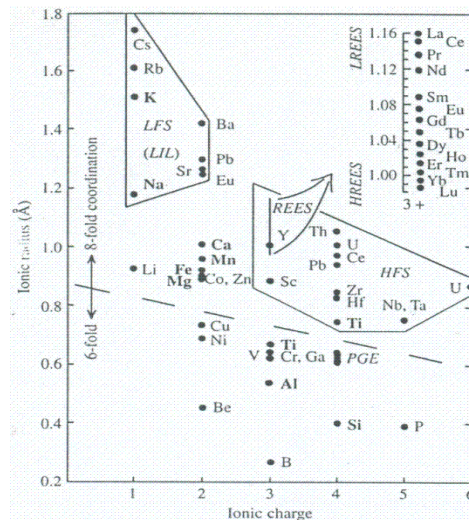
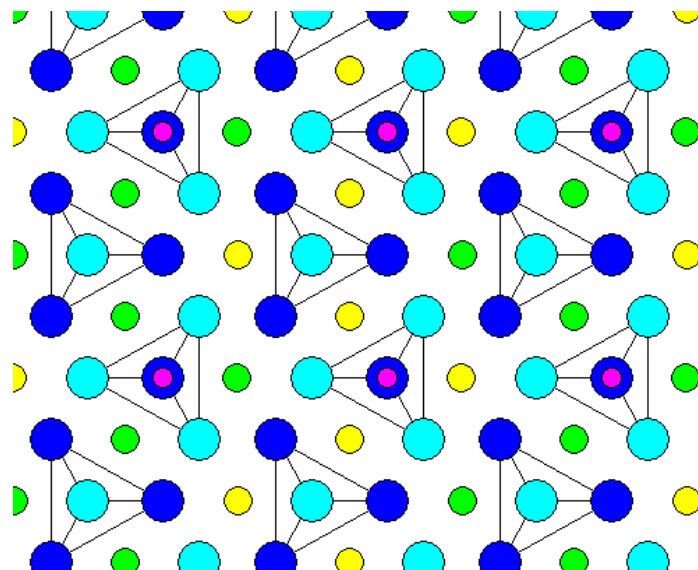
Fylosilikát- struktura slídy



Inosilikát – struktura pyroxenu

2. Nesosilikáty - skupina olivínu

- Obecný vzorec M_2SiO_4
 $M = Mg, Fe^{2+} (Mn)$
 $(Mg,Fe)_2SiO_4$
 Forsterit Mg_2SiO_4
 Fayalit Fe_2SiO_4
 (Tefroit) Mn_2SiO_4
 Olivín – termín užívaný v petrologii
 Ideálně mísitelné, hlavní substituce Mg-Fe
 Vedlejší až stopové prvky: Ca, Zn, Ni
- Rombický
- Izolované tetraedry SiO_4 , sdílející apikální kyslíky s oktaedry, obsazenými dvojhvalentními kationty (Mg, Fe^{2+}, Mn)
- 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)**
 - ultrabazické magmatické (Smrčí, Kozákov) a metamorfované horniny např. dolomitické mramory (Studnice)hojný ve svrchním plášti
- **Fayalit**
 - pegmatity (Strzegom) a alkalické granityFe-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

• Obecný vzorec $A_3B_2(SiO_4)_3$

A = Fe²⁺, Mn, Ca, Mg

B = Al, Fe³⁺

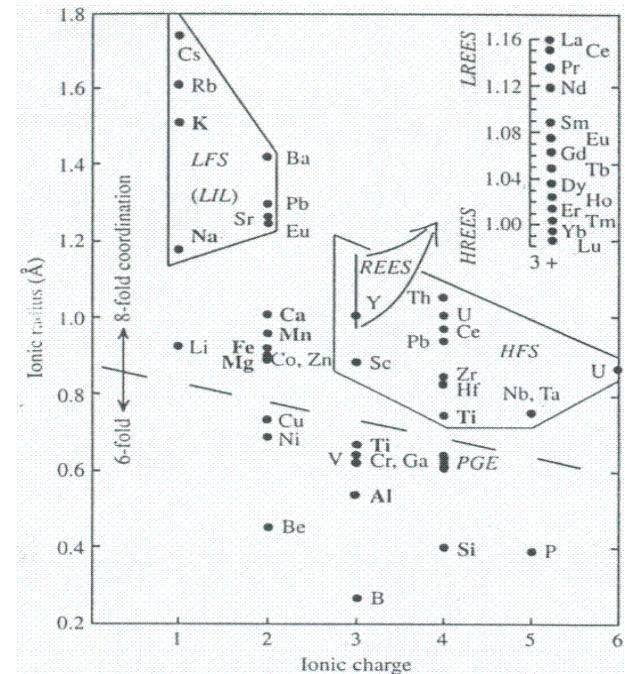
Vedlejší a méně časté prvky: V, Cr, Y, P

		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

• Kubický

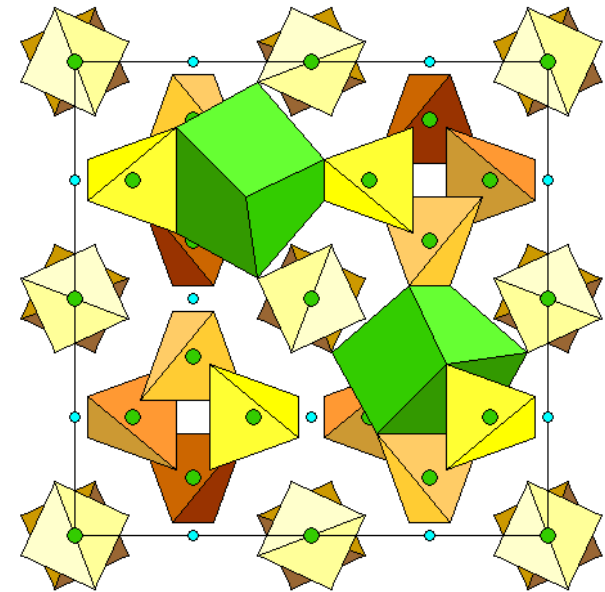
• Typické substituce Mn-Fe²⁺-Ca-Mg, Al-Fe³⁺

• 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 dodekaedry (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.



Grafický srůst spessartinu (černý) a křemene

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 ve svoru

2. Nesosilikáty- skupina granátu



Andradit

Almandin

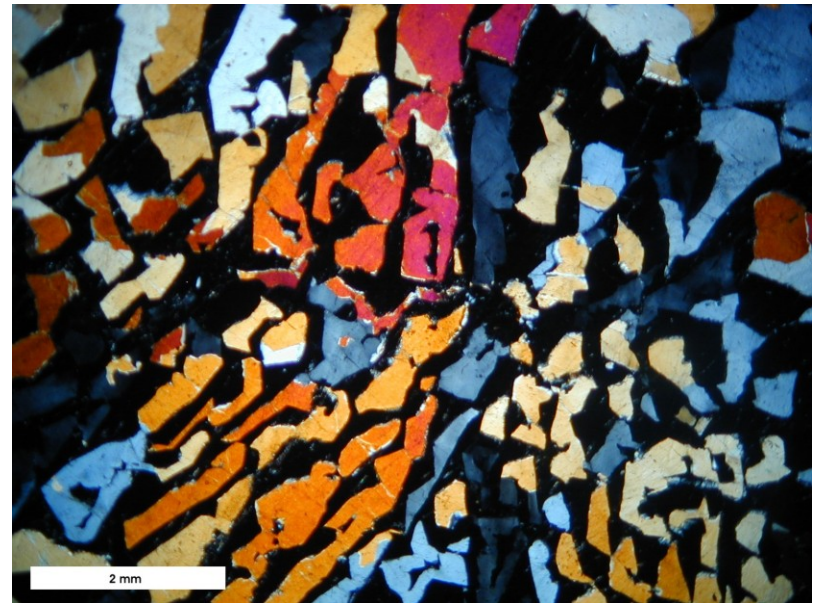


2. Nesosilikáty- skupina granátu

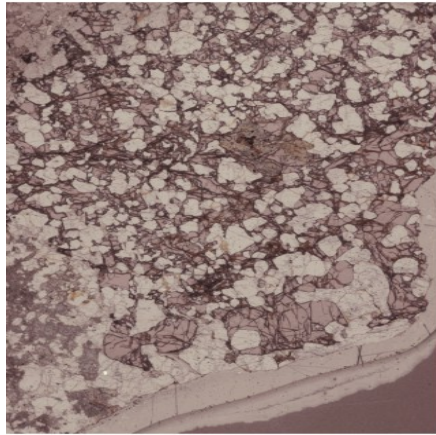


**Orientovaný grafický srůst
granátu (černý - izotropní) a
křemene (barevný), Bližná
výbrus**

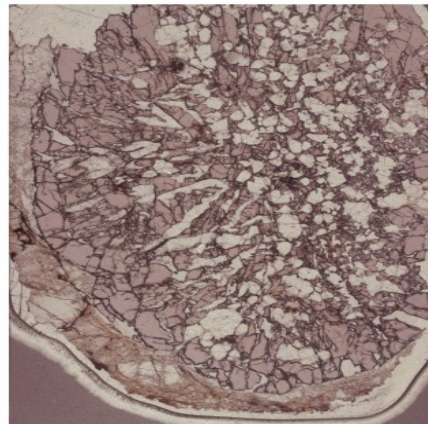
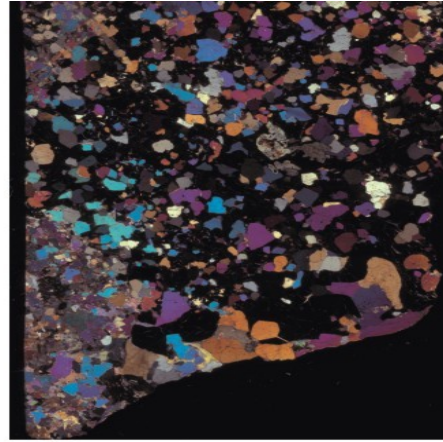
Pyrop v ultrabazické hornině



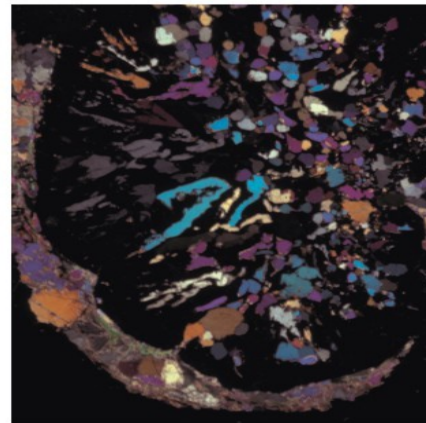
2. Nesosilikáty- skupina granátu



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

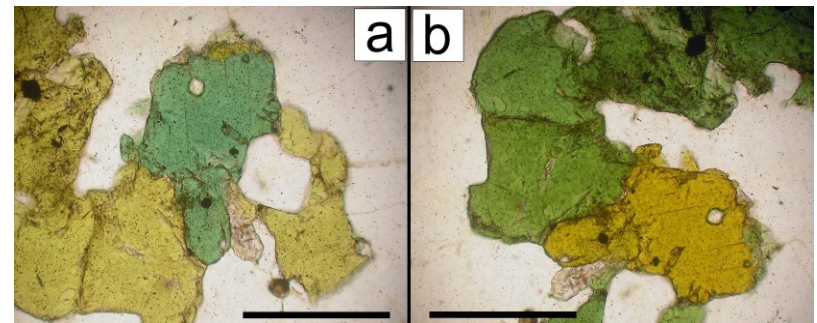


Sillimanit, Náchov

2. Nesosilikáty - Skupina Al_2SiO_5

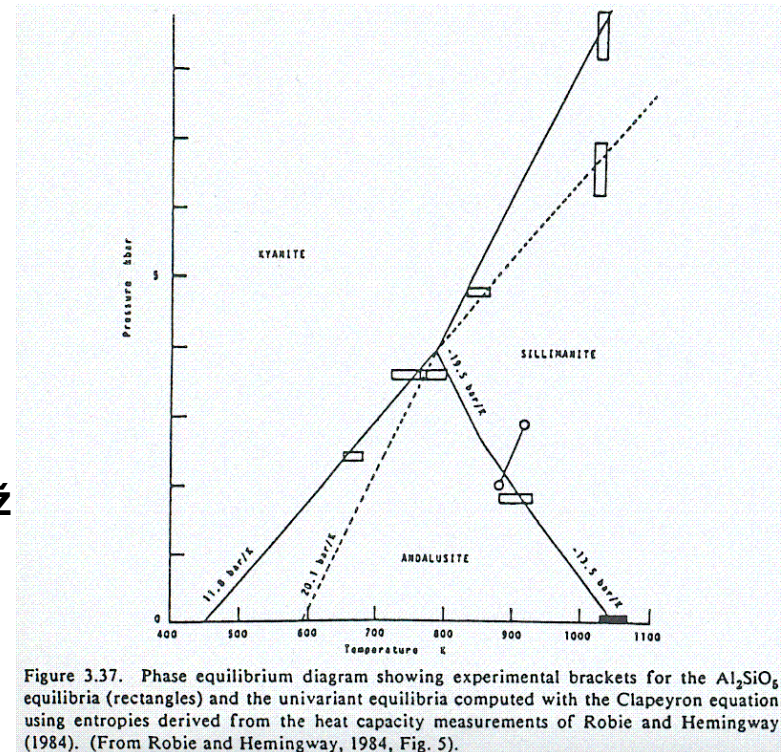
- **Vlastnosti:**
- **Sillimanit** – jehlicovité až vláknité, méně často i drobně až hrubě zrnité agregáty nebo sloupcovité krystaly, velikost až do několik dm
šedá, bílá, žlutá, hnědá, bezbarvý
štěpný
- **Andalusit** - sloupcovité krystaly, jehlicovité, drobně až hrubě zrnité agregáty, velikost až do 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

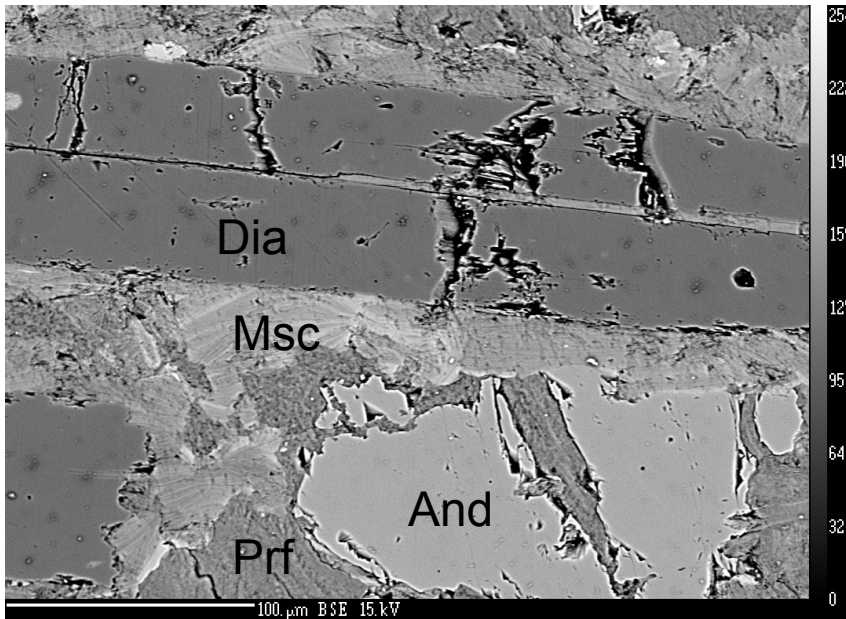


2. Nesosilikáty - Skupina Al_2SiO_5

- **Výskyty:**
 - **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)

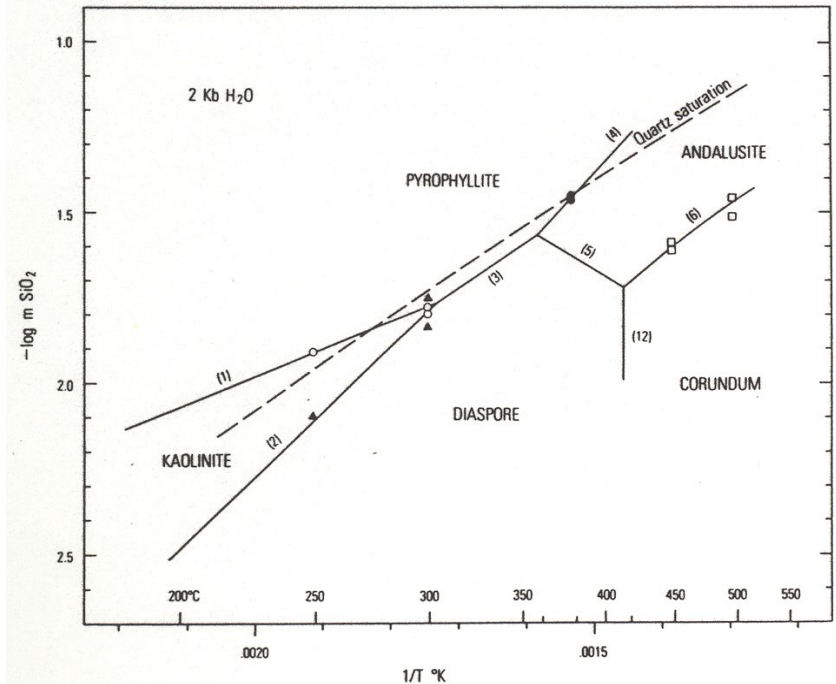


Diagram stability andalusitu za nízkých teplot

2. Nesosilikáty – další minerály

- **Staurolit**



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:**

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.**



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.**

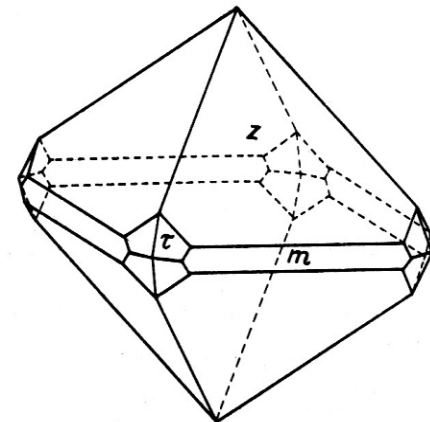
- **Titanit**
 $\text{Ca Ti} (\text{SiO}_4/\text{O})$
Vedlejší prvky: Sn, Al, Nb, Ta, F, Y, REE
Monoklinický
- **Vlastnosti:** hnědý, žlutý, zelený, nedokonale štěpný, $t = 5-5,5$ $h = 3,4-3,6$
- **Výskyty:**
Hojný akcesorický minerál v různých typech metamorfovaných a magmatických hornin, vyžaduje zvýšenou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



Zirkon



3. Shrnutí

1. Tato přednáška zahrnuje jen základní přehled hlavních minerálů ze skupiny nesosilikátů, 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 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.