

# Mineralogie I

**Prof. RNDr. Milan Novák, CSc.**

## **Mineralogický systém - silikáty**

**Osnova přednášky:**

- 1. Fylosilikáty**
- 2. Tektosilikáty**
- 3. Shrnutí**
- 4. Shrnutí silikáty**

# 1. Fylosilikáty

Velmi významná skupina silikátů, kde jsou tetraedry  $\text{SiO}_4$  propojeny třemi vrcholy do nekonečných rovinných sítí s hexagonální nebo pseudo-hexagonální symetrií. Periodicky se opakuje motiv  $\text{Si}_4\text{O}_{10}^{4-}$  resp.  $(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}^{-3}$ . Tyto sítě jsou různě kombinovány s vrstvami oktaedrů a vytvářejí velké množství fylosilikátů typicky s výbornou štěpností podle báze 001.

Hlavní skupiny:

- Skupina slíd
- Skupina kaolinitu a serpentinu
- Skupina chloritů
- Skupina smektitů

Tzv. Jílové minerály, často řazené jako samostatná skupina fylosilikátů, zahrnují minerály s velikostí částic pod 0,01 mm a patří k nim zejména fylosilikáty ze všech vyčleněných skupin, ale také jiné minerály (např. hydroxidy, zeolity).

# 1. Fylosilikáty

- Ve fylosilikátech se vyskytují dva typy střídání vrstev:

## **dvojrstevné struktury (vzácnější)**

- tetraedrická + oktaedrická vrstva, spojené dohromady společně sdílenými kyslíky

Příklady:

kaolinit a serpentin

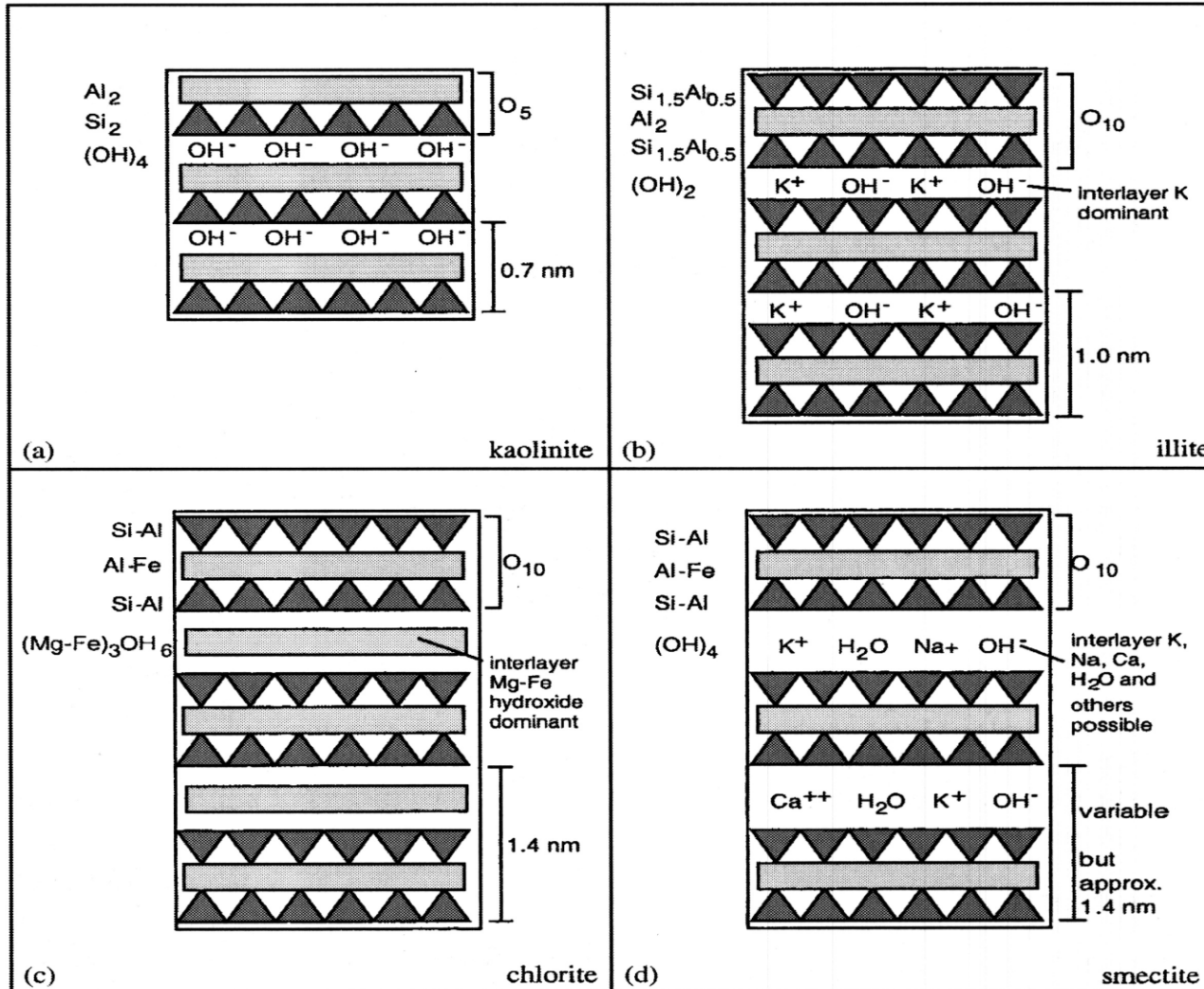
## **trojvrstevné struktury (častější)**

- vrstva oktaedrů, sevřená mezi dvěma vrstvami tetraedrů  $\text{SiO}_4$

Příklady:

slídy (muskovit, biotit), chlority, smektity

# 1. Fylosilikáty



a) kaolinit a serpentín, b) slídy, c) chlority, d) smektity

# 1. Fylosilikáty

- Dvojvrstevné a trojvrstevné struktury jsou na základě valence kationtů uvnitř oktaedrické vrstvy dále děleny :
  - vrstvy s dvojbaznými kationty (Mg, Fe) se označují jako trioktaedrické, kationty v oktaedrické vrstvě obsazují všechny oktaedrické pozice  
tzv. brucitová vrstva –  $\text{Mg}(\text{OH})_2$   
Příklad biotit (annit)  $\text{K Fe}_3 \text{Al Si}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
  - vrstva s trojbaznými kationty (Al) je označena jako dioktaedrická, jsou obsazeny jen 2 ze 3 oktaedrických pozic (třetí je vakantní)  
tzv. gibbsitová vrstva –  $\text{Al}(\text{OH})_3$   
Příklad muskovit  $\text{K Al}_2 \text{Al Si}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$

# 1. Fylosilikáty – skupina slíd

- Obecný vzorec  $I M_3 T_4 O_{10} (OH,F)_2$

I = K, Na, Ca

M = Li,  $Fe^{2+}$ , Mg, Al,  $Fe^{3+}$

T = Si, Al

Vedlejší prvky: Ba, B, Mn, Zn

Nejdůležitější slídy:

Muskovit  $K Al_2 (Si_3Al) O_{10} (OH)_2$

Illit  $K_{0,7} Al_2 (Si_3Al) O_{10} (OH)_2$

Annit  $K Fe_3 (Si_3Al) O_{10} (OH,F)_2$

Flogopit  $K Mg_3 (Si_3Al) O_{10} (OH,F)_2$

Biotit – termín běžně používaný v

petrologii pro tmavé slídy složením mezi annitem a flogopitem.

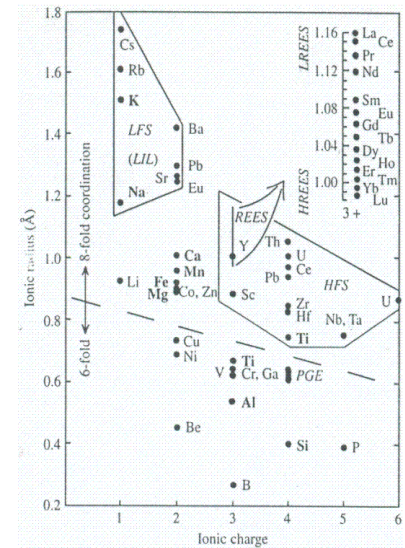
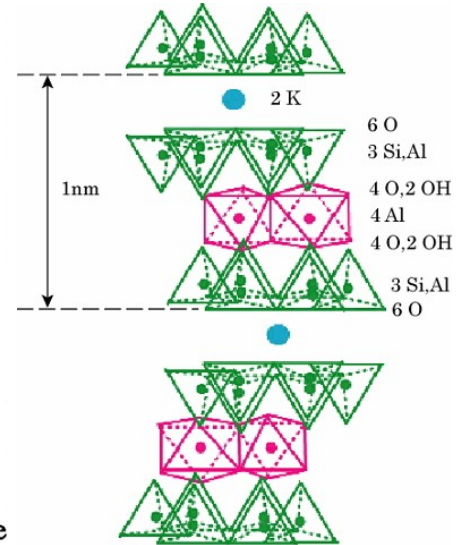
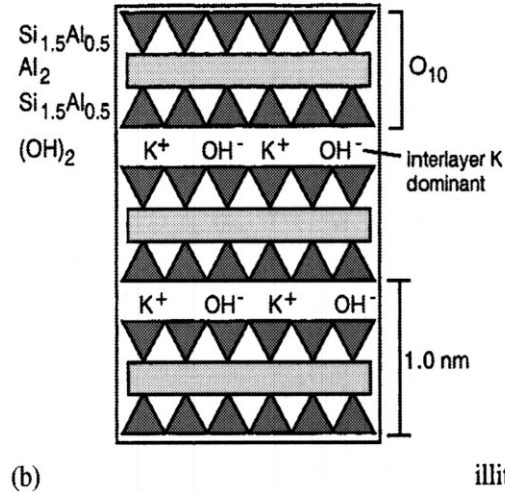
Sericit – jemnozrnná slída blízká muskovitu vznikající alterací minerálů.

Lepidolit - Li-slídy (trilithionit, polyolithionit, cinvaldit)

Margarit  $CaAl_2 Al_2 Si_2 O_{10} (OH)_2$  – křehká slída

Slídy jsou většinou monoklinické

- Typické substituce: Mn- $Fe^{2+}$ -Mg, Al- $Fe^{3+}$ , Si-Al, K-Na
- Mísitelnost mezi jednotlivými členy skupiny slíd je různá, závisí i na PT podmínkách.



# 1. Fylosilikáty – skupina slíd

**Vlastnosti:**

**Barva:** kolísá u jednotlivých slíd.

**Muskovit** – světlý, bezbarvý, nazelenalý

**Annit** - černý

**Flogopit** – světle hnědý

**Biotit** – černý až hnědý

**Lepidolit** – světle fialový, bezbarvý

**Výtečně štěpné podle 001, lupínky jsou pružné**

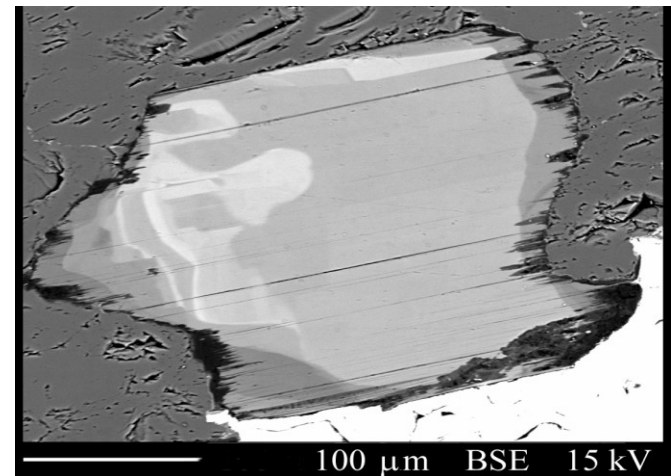
**T = 2,5-4,5, h = 2,7-3,3.**

**Výskyt:**

**Typické horninotvorné a velmi rozšířené minerály magmatických a metamorfovaných hornin (muskovit, biotit), ale objevují se běžně také v sedimentárních horninách (illit). Li-slídy pocházejí z pegmatitů a greisenů. Slídy vznikají ve velmi širokém rozsahu teplot a tlaků, výjimečně od podmínek zemského pláště (flogopit) až po vulkanické horniny (biotit) a diagenezi (illit).**



**Muskovit, Bobruvka**



**BSE – slída, zonální, štěpná**

# 1. Fylosilikáty – skupina slíd

Slídy jsou různě odolné vůči zvětrávání a hydrotermálním alteracím, ale zároveň bývají produktem těchto hydrotermálních alterací, např. muskovit zatlačuje andalusit aj. V sedimentárních horninách jsou stabilní muskovit a hlavně illit, zcela nestabilní je naopak biotit.



**Flogopit**

**Využití:** chemické složení slíd je výborným indikátorem PT podmínek vzniku a také chemického složení mateřské horniny. Slídy mohou být i zdrojem některých vzácných prvků (Li, Cs).



**Lepidolit, Rožná**



# 1. Fylosilikáty – skupina slíd



**Cinvaldit, Cínovec**



**Alterovaný biotit**

# 1. Fylosilikáty – skupina chloritů

- obecný vzorec:  $A_{6-8}Z_4 O_{10} (OH,O)_8$   
A = Al, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Li, Mg  
Z = Si, Al, B  
vedlejší prvky Mn, Ni, Cr

## Hlavní minerály

klinochlor	$(Mg_5 Al) Si_3 Al O_{10} (OH)_8$
chamosit	$(Fe^{2+}_5 Al) Si_3 Al O_{10} (OH)_8$

## monoklinické a triklinické

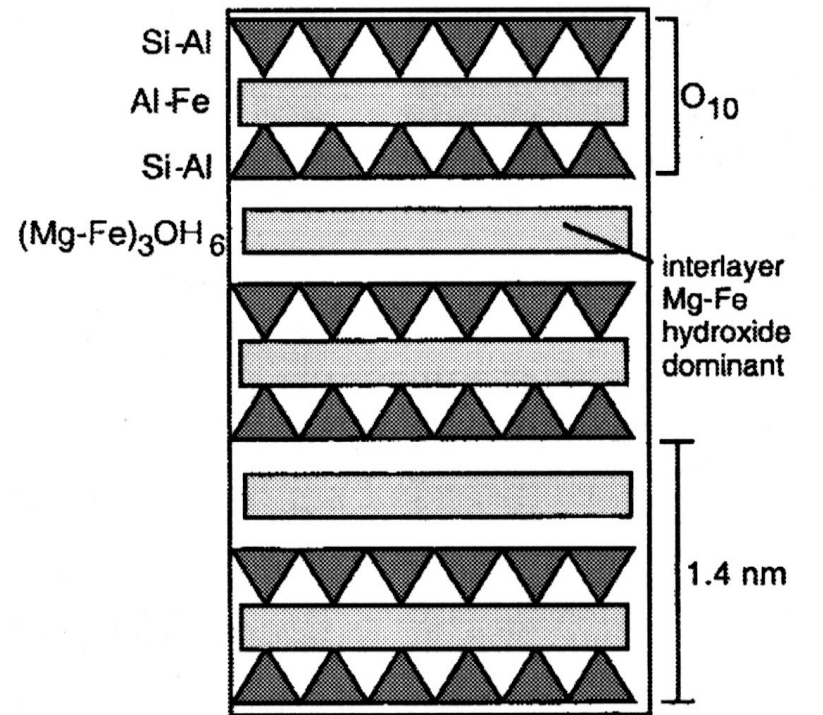
**Vlastnosti:** Barva kolísá u jednotlivých chloritů, nejčastěji zelená s různými odstíny, výtečně štěpné podle 001, lupínky jsou křehké, T = 2,5-3,5, h = 2,6-3,2.

**Výskyt:** Chlority se vyskytují v metamorfovaných horninách nízkého stupně až v sedimentárních horninách a na hydrotermálních žilách různého původu. Chlority nejsou odolné vůči zvětrávání a hydrotermálním alteracím a často jsou produktem těchto alterací, např. chloritizace biotitu.

# 1. Fylosilikáty – skupina chloritů



Chamosit, Nučice



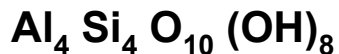
(c)

chlorite

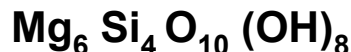
# 1. Fylosilikáty – skupina kaolinitu a serpentinu

- obecný vzorec  $M_{6-4} Z_4 O_{10} (OH)_8 \cdot nH_2O$   
M = Al, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mg, vakance  
Z = Si, Al, Fe<sup>3+</sup>

kaolinit, dickit, nakrit



serpentinu blízke vzorci



antigorit - lupenitý

serpentin

chryzotil - vláknitý

Většinou monoklinické, méně rombické a triklinické.

Vlastnosti: Barva kolísá - kaolinit bílý, serpentin zelený s různými odstíny, T = 1-3,5, h = 2,6-3,2. Výtečně štěpné.

Výskyt: vznikají přeměnou živců (kaolin) nebo olivínu (serpentin) v ultrabazických horninách při hydrotermálních alteracích nebo až v podmínkách zvětrávání (kaolin).

Využití: důležité keramické suroviny, indikátory alterací a zvětrávání.



Chryzotil



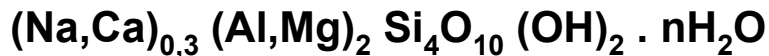
Kaolin, Chlumčany

# 1. Fylosilikáty – skupina smektitů

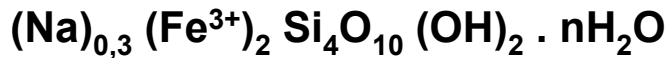
Velmi důležitá skupina minerálů, které tvoří podstatnou část tzv. jílových minerálů. Jejich struktura podobná slídám.

Nejdůležitější minerály:

montmorillonit



nontronit



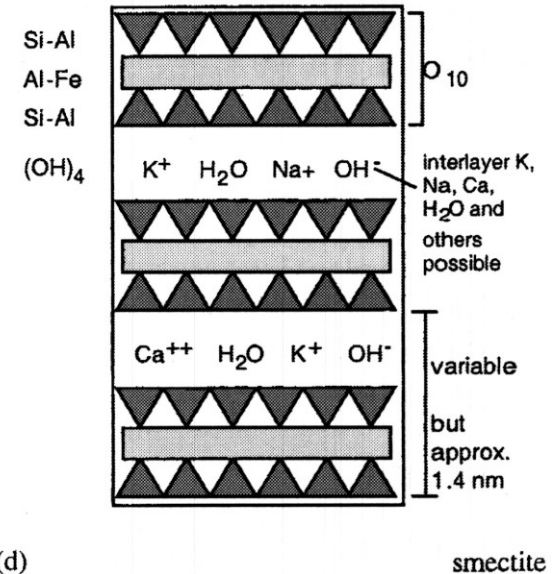
Bentonit – jílovitá hornina s vysokým obsahem smektitů.

Vlastnosti: barva většinou světlá s různými odstíny, nontronit je zelenožlutý, jemnozrné, T = 1-2, H = 1,7-2,7 podle složení. Typickým znakem je schopnost vázat (absorbovat) do struktury různé látky.

Výskyt. Vznikají větráním nebo nízkoteplotní hydrotermální alterací různých hornin

Využití: velmi důležité keramické suroviny a látky schopné absorbovat.

Bentonit



# 1. Fylosilikáty – další minerály

Mastek  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Pyrofylit  $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Monoklinické

Strukturně jsou blízké slídám

Vlastnosti:

světlé zbarvení (bílé, nažloutlé, nazelenalé),  
výtečně štěpné podle 001, T = 1-2, H = 2,8

Jemnozrnné agregáty, vzácně radiálně  
paprsčité (pyrofylit)

Výskyt: Hojné fylosilikáty vznikající během  
nízkého stupně metamorfózy, při  
nízkoteplotních hydrotermálních alteracích a  
také při zvětrávání. Zvětrávání jsou  
částečně odolné.

Využití: důležité suroviny.



Mastek

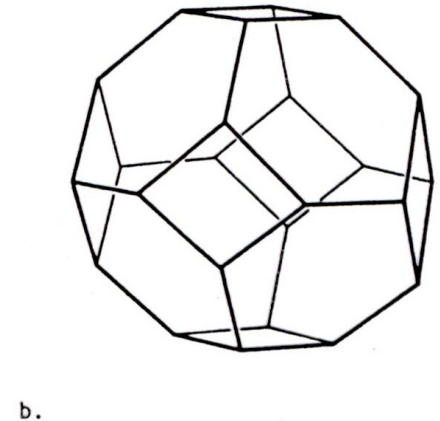
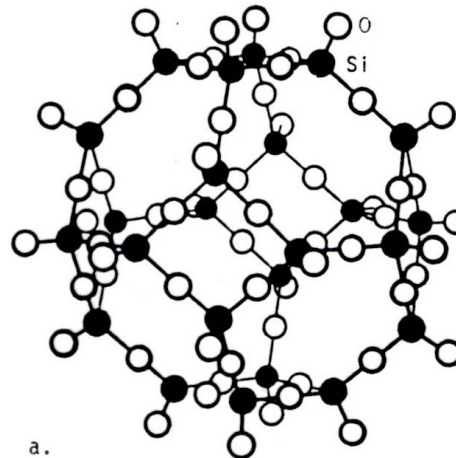


Pyrofylit

## 2. Tektosilikáty

Významná skupina silikátů s trojrozměrným skeletem tetraedrů  $\text{SiO}_4$ , které jsou vzájemně propojeny všemi rohovými kyslíky. Do dutin pak vstupují většinou relativně velké kationy, popř.  $\text{H}_2\text{O}$  a jiné aniony (Na, Ca, K).

- Skupina živců
- Skupina foidů
- Skupina zeolitů



Struktura tektosilikátu - zeolit

## 2. Tektosilikáty – skupina živců

Důležitá skupina tektosilikátů, které patří mezi nejrozšířenější minerály v zemské kůře. Jsou podstatnými minerály většiny vyvřelých hornin a obvykle jsou hojné v mnoha metamorfovaných i sedimentárních horninách.

• Obecný vzorec  $AT_4O_8$  nebo  $AT_1(T_2)_3O_8$

A = Na, K, Ca,

$T_1$  = Al

$T_2$  = Si, Al

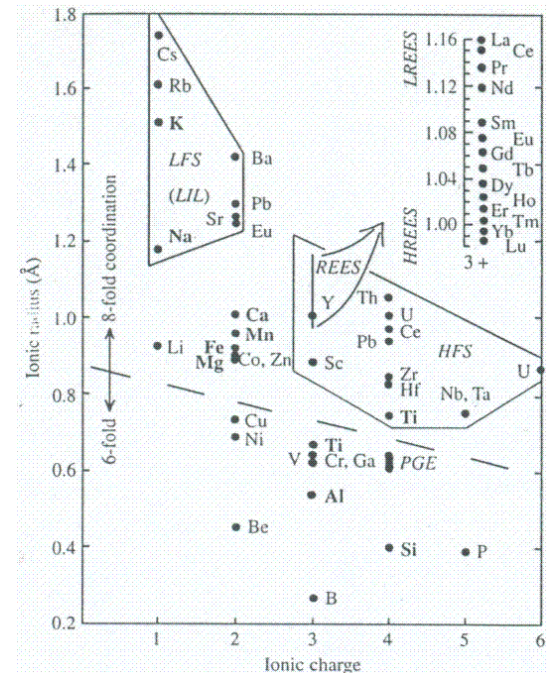
minoritní Ba, Rb, Cs, Sr, Pb, P

Typické substituce:

Na-K, Ca-Ba, Al-Fe<sup>3+</sup>, NaSi - CaAl



Granit s K-živcem a plagioklasem





## 2. Tektosilikáty – skupina živců

Hlavní minerály:

- Draselné živce:



sanidin (K+Na)

ortoklas

mikroklín

- Sodnovápenaté živce - plagioklasy:



Jednotlivé členy (**albit**, oligoklas, andezín, labradorit, bytownit, **anortit**)

Existuje neomezená mísitelnost mezi

albitem a anortitem, malá mezi K-živci a anortitem. Mísitelnost klesá s teplotou.

Perthit – odmíšené albity v K-živci.

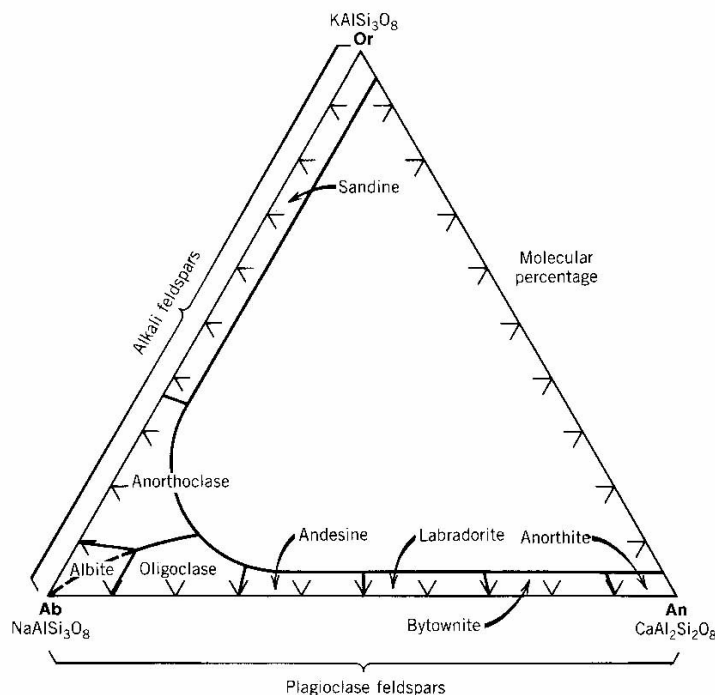
Amazonit – zelený mikroklín

Adulár – K-živce vznikající při hydrotermálních pochodech

- Barnaté živce:

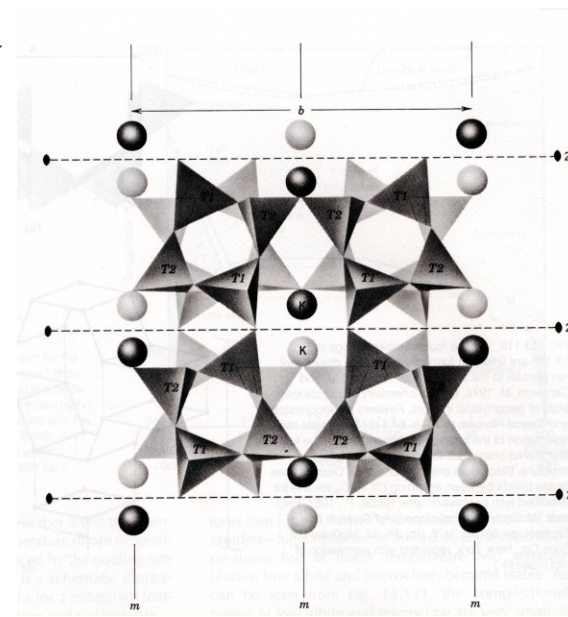


Hyalofan (K,Ba)



## 2. Tektosilikáty – skupina živců

- Všechny živce jsou charakterizovány trojrozměrným skeletem tetraedrů  $\text{SiO}_4$ , které jsou vzájemně propojeny všemi rohovými kyslíky. Do dutin pak vstupují velké kationy (K, Na, Ca, Ba, Sr).
- Symetrie struktur a uspořádanost
- Vysokoteplotní živce jsou monoklinické (sanidin) stabilní nad  $1000\text{ °C}$  – struktury jsou neuspořádané (distribuce kationtů Al a Si je nahodilá). S ochlazováním dochází v tetraedrických polohách T1 a T2 k uspořádávání Al a Si a to je příčinou poklesu symetrie na triklinickou.
- Částečně uspořádanou strukturu má ortoklas, tato struktura je stále ještě monoklinická (vzniká pomalým ochlazováním pod  $800\text{ °C}$ )
- Dalším ochlazováním (pod  $600\text{ °C}$ ) vzniká úplně uspořádaný K-živec mikroklin (triklinický), má již pravidelně uspořádané Al a Si v tetraedrických polohách.



Struktura živce

## 2. Tektosilikáty – skupina živců

**Vlastnosti:**

**Barva:** bílá, většinou světlá s různými odstíny,  $T = 6-6,5$ ,  $h = 2.6-2.8$ , Ba-živce mají vyšší hustotu. Dobře až dokonale štěpné.

**Výskyt:** Nejrozšířenější horninotvorné minerály vyskytující se různých typech magmatických (hlubinných i výlevných), metamorfovaných a často také sedimentárních hornin. V pegmatitech tvoří až několik m velké krystaly. Často také dochází k vzájemnému zatlačování živců, např. K-živce albitem nebo Ca-plagioklas albitem.

**Využití:** důležitá keramická surovina. Jejich chemické složení odráží chemické složení horniny a je důležité pro odhad PT podmínek a pro geochemické interpretace.

Živce jsou většinou málo odolné proti hydrotermálním alteracím a zvětrávání. Podléhají kaolinizaci a sericitizaci. Za nízkých teplot jsou stabilní albit a adulár, za vysoké teploty sanidin.

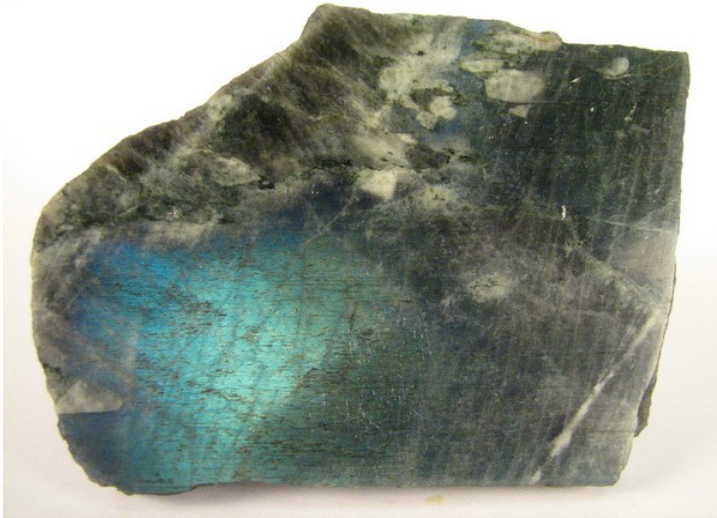


**Amazonit**



**Albit, Dolní Bory**

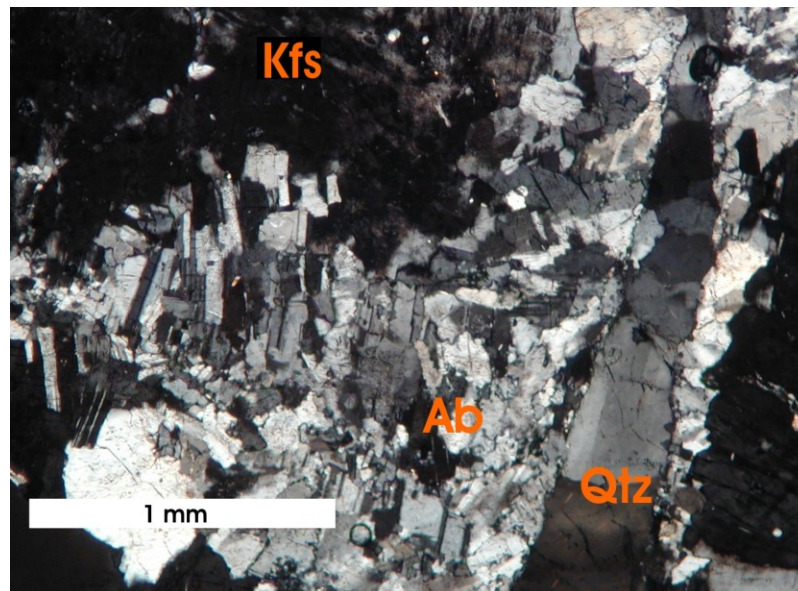
## 2. Tektosilikáty – skupina živců



Labradorit



K-živec, Vlastějovice



Zatlačování K-živce  
albitem, Bližná II -  
výbrus

## 2. Tektosilikáty – skupina foidů

- Zastupují živce v magmatických horninách s deficitem  $\text{SiO}_2$  a proto jsou označovány také jako „Zástupci živců“. Jejich struktury sestávají z trojrozměrné sítě tetraedrů, které jsou obsazeny ionty  $\text{Si}^{4+}$  a  $\text{Al}^{3+}$  až od poměru 1:1 (v nefelínu  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ). Do jejich struktur ale často vstupují i další anionty, např. S, Cl,  $\text{CO}_3$ .
- Nejdůležitější foidy:

nefelín	$(\text{Na},\text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	hexagonální
sodalit	$\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2$	kubický

Vlastnosti:

zrnité agregáty podobné živcům,

některé foidy ale mají pestré zbarvení, např.

sodalit je jasně modrý, T = 5-6, H = 2,6-2,8,

většinou dobře štěpné.

Nefelín

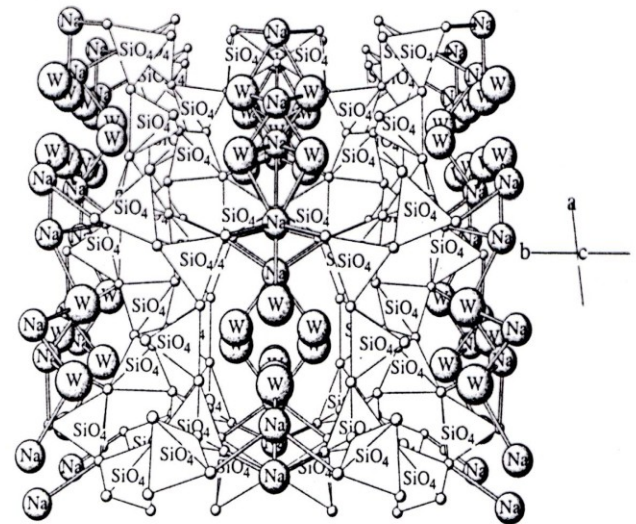
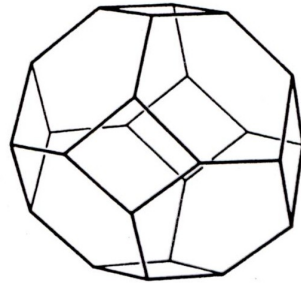
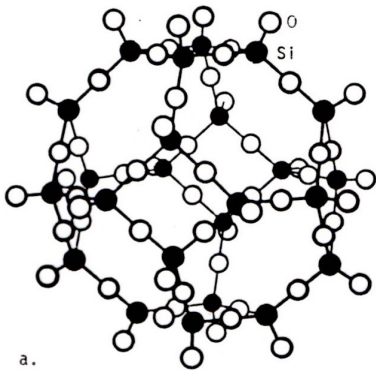


Výskyty: Většina foidů je svým výskytem omezena na horniny (magmatické a metamorfní), ve kterých není přítomen křemen, vyskytují se buď současně s alkalickými živci, nebo bez nich (při větším deficitu  $\text{SiO}_2$ ). Podléhají hydrotermálním alteracím.

Využití: důležité geologické indikátory nízké aktivity Si v horninách.

## 2. Tektosilikáty – skupina zeolitů

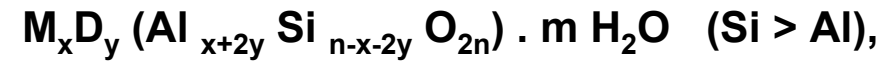
- Skupina minerálů, které mají specifickou strukturu a z ní odvozené specifické fyzikální a chemické vlastnosti. Zeolity mají strukturou složenou ze vzájemně propojených tetraedrů. Tato struktura je prostorově uspořádaná tak, že obsahuje otevřené prostory ve formě kanálů nebo dutin. Ty jsou obvykle vyplněny  $H_2O$  nebo kationy, které jsou vyměnitelné. Kanály jsou natolik velké, že umožňují i průchod příbuzných látek bez porušení struktury.



CLINOPTILOLITE:  $(Ca, Na_2)Al_2Si_7O_{18} \cdot 6H_2O$  (variable)

## 2. Tektosilikáty – skupina zeolitů

Obecný vzorec zeolitů



x a y se mohou rovnat

M = jednovalentní kationy (Na, K)

D = dvojevalentní kationy (Ca, Mg, Ba)

Al Si

aniony v kanálech

H<sub>2</sub>O

Typické substituce:

CaAl – NaSi, 2Na – Ca□



Analcim

Důležité zeolity:

natrolit, stilbit, heulandit, laumontit, harmotom, analcim, leucit, klinoptilolit, mordenit,

Vlastnosti:

převážné bílé až bezbarvé, T = 3-4, H = 2,0-2,2, nízké indexy lomu a dvojlom, vratná dehydratace při teplotách pod 400 °C, schopnost výměny kationů ve struktuře.

## 2. Tektosilikáty – skupina zeolitů

**Výskyt:** Až na výjimky jde o typické nízkoteplotní a relativně nízkotlaké minerály vznikající zvětráváním silikátů při vysokém pH, diagenetickými pochody, hydrotermální alterací a regionální metamorfóze nízkého stupně. Typické horniny jsou např.

vulkanické a subvulkanické tufy a skla

nízce metamorfované horniny

dutiny ve vulkanitech

hydrotermální systémy na trhlinách hornin

alpská parageneze

**Využití:**

zachycení různých typů polutantů

(radioaktivní látky, organické látky,  $\text{SO}_2$ ),

čištění různých látek

Zemědělství, výroba papíru



**Leucit**



## 2. Tektosilikáty – skupina zeolitů



**Chabazit, Řepčice**



**Natrolit, Soutěsky**

# 3. Shrnutí

1. Tato přednáška zahrnuje jen základní přehled hlavních minerálů ze skupiny fylosilikátů a tektosilikátů, ve skutečnosti je v těchto skupinách několik set minerálů.
2. Většina fylosilikátů má poměrně nízkou tvrdost 1-4, hustota kolísá, většinou je menší než 3, minerály vykazují výtečnou štěpnost. Ve skupině tektosilikátů jsou dvě odlišné skupiny - živce (relativně vysoká tvrdost 5-6,5, hustota 2,5-3 a dobrá štěpnost); - zeolity (nízká tvrdost 2-5, nízká hustota 2,0-2,2 a dobrá štěpnost).
3. U fylosilikátů kolísá barva 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, zelené nebo hnědé. Tektosilikáty jsou až na výjimky světlé.
4. Minerály ze skupiny fylosilikátů obsahují střední až velké množství H<sub>2</sub>O. Ve skupině tektosilikátů jsou dvě odlišné skupiny - živce (bez H<sub>2</sub>O); - zeolity (vysoký obsah H<sub>2</sub>O).
5. Minerály vznikají v širokém rozpětí teplot a tlaků (fylosilikáty a živce), nebo jen výhradně za nízkých teplot (zeolity).
6. Jen u části minerálů je nutné znát chemické vzorce (živce, základní slídy). Je ale nutné znát hlavní prvky jednotlivých minerálů.

## 4. Shrnutí silikátů

1. Silikáty zahrnují s výjimkou křemene, kalcitu a dolomitu všechny důležité horninotvorné minerály.
2. S ohledem na jejich velmi rozdílné struktury (vzájemné provázání  $\text{SiO}_4$  tetraedrů) a velmi rozdílné chemické složení (minerály obsahují vedle Si a O téměř všechny chemické prvky) se jejich vlastnosti poměrně výrazně liší.
3. Jejich barva kolísá především podle obsahu Fe (Mn), minerály s výraznou převahou Fe (Mn) jsou zbarvené (černé, hnědé, zelené, červené), minerály s Al, Na, Ca a Mg jsou většinou bezbarvé nebo světlé (žluté, nazelenalé) s různými odstíny.
4. Hustota je závislá na struktuře a chemickém složení včetně obsahu  $\text{H}_2\text{O}$ . Minerály s vysokým obsahem Fe(Mn) a nízkým obsahem  $\text{H}_2\text{O}$  mají relativně vyšší hustoty (3-4), minerály obsahující pouze alkálie (Na, K), Al a Ca mají hustotu 2,5-3, pokud obsahují navíc vysoké množství  $\text{H}_2\text{O}$ , mají hustotu 2.
5. Štěpnost je závislá na krystalové struktuře. Pokud obsahuje strukturní roviny, které jsou spojeny jen více či méně slabými vazbami mají: výtečnou (slídy), dokonalou (amfiboly, živce), dobrou (pyroxeny) štěpnost nebo jsou neštěpné (granáty).

## 4. Shrnutí silikátů

Silikáty nejsou až na výjimky (např. živce, jílové minerály, zeolity) důležité hospodářsky. Jsou ale podstatnou součástí většiny a hornin, vznikají v širokém rozpětí teplot a tlaků a jsou proto důležité pro geologické studie:

a) zemský plášť (vysoká teplota a vysoký tlak)

magmatický (někdy metamorfní) původ

- olivín, pyroxeny, pyrop, kyanit

b) střední části zemské kůry (vysoká teplota a středně vysoký tlak)

magmatický nebo vysoce metamorfní původ

- pyroxeny, amfiboly, živce, sillimanit, některé slídy

c) středně mělké části zemské kůry (vysoká až střední teplota, nízký tlak)

vysoce až středně metamorfní (vzácně magmatický) původ

- amfiboly, živce, almandin, cordierit, sillimanit, andalusit, staurolit, slídy

d) mělké části zemské kůry (střední teplota, nízký tlak)

středně metamorfní nebo hydrotermální původ

- živce, amfiboly, epidot, chloritoid, chlority, serpentín

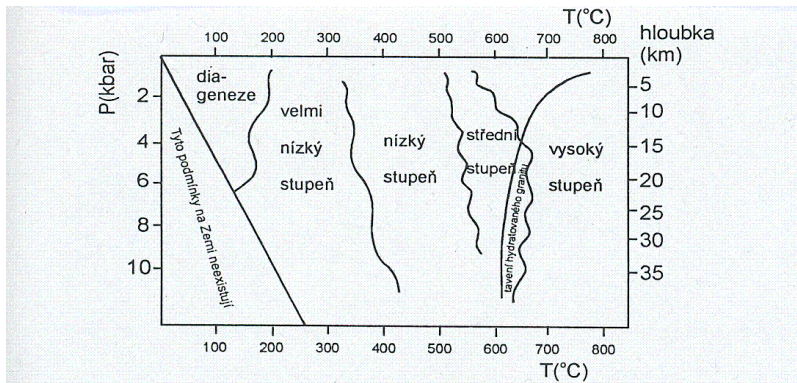
e) povrchové a připovrchové části zemské kůry

diagenetický, zvětrávací, popř. nízkoteplotně hydrotermální původ

- jílové minerály, chlority, smektity, serpentín, živce, zeolity.

Část minerálů vzniká ve velmi širokém rozpětí tlaků a teplot např. turmalíny.

# 4. Shrnutí silikátů



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.

