

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 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

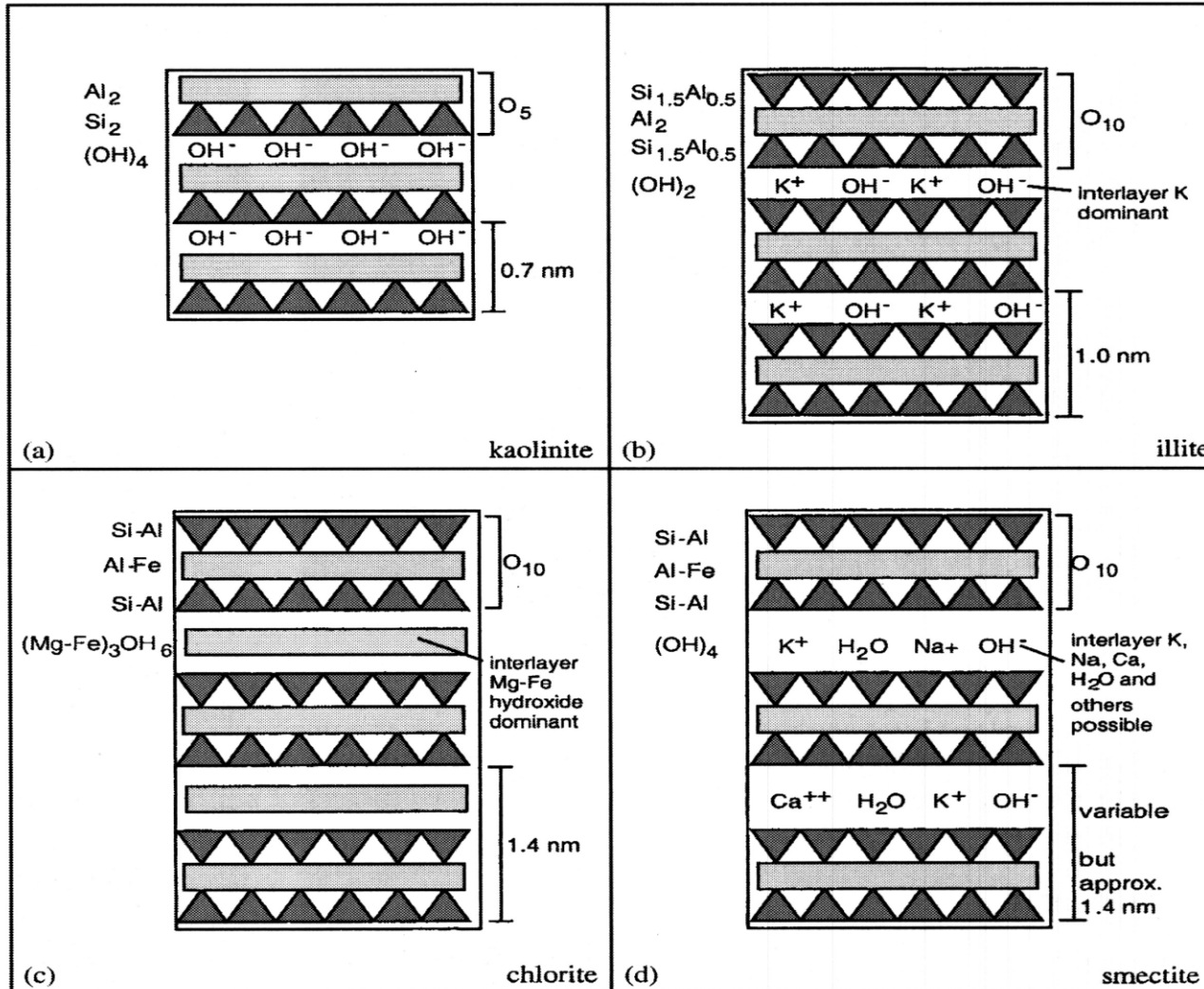
trojvrstevné struktury (častější)

- vrstva oktaedrů, sevřená mezi dvěma vrstvami tetraedrů 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 dvojvaznými 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 trojvaznými 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.

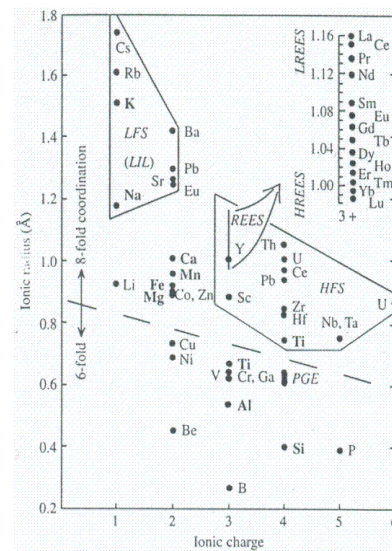
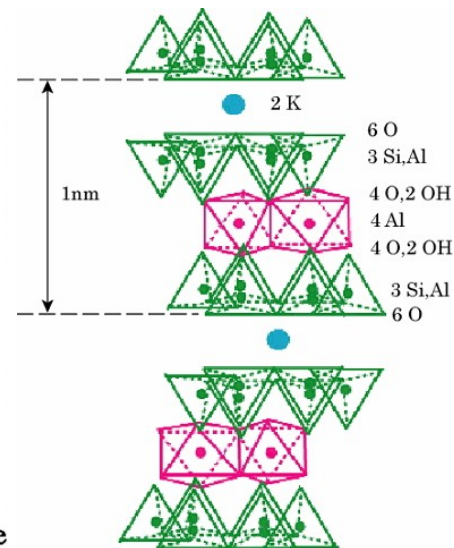
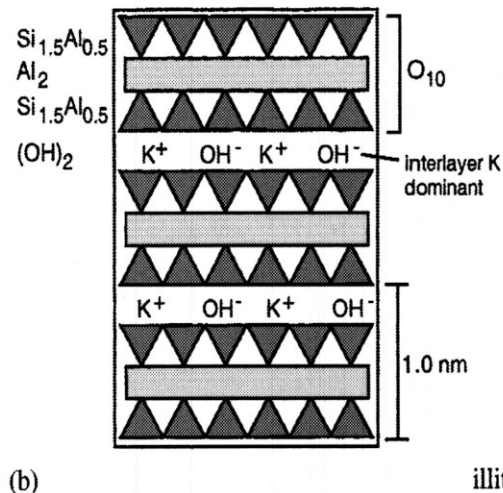
Sericit – jemnozrnná slída blízká muskovitu vznikající alterací minerálů.

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

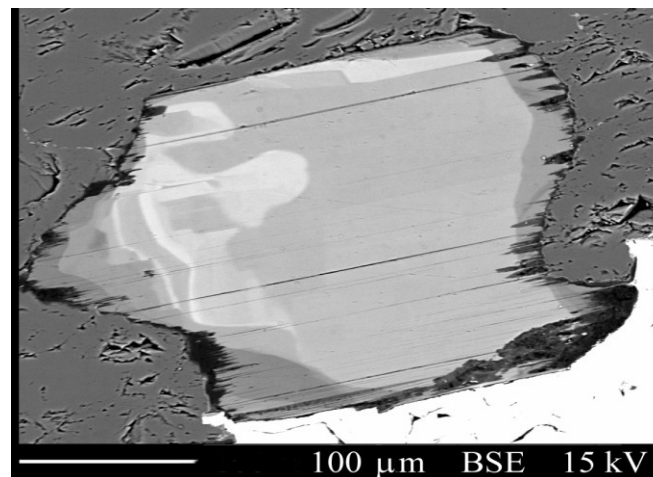
T = 2,5-4,5, h = 2,7-3,3.

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, Fe²⁺, Fe³⁺, 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

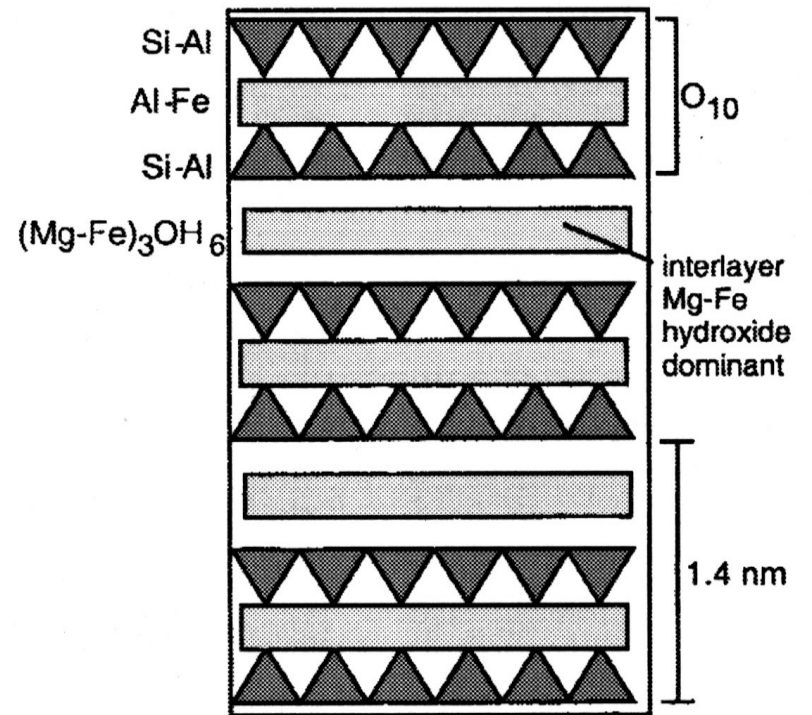
Vlastnosti: Barva kolísá u jednotlivých chloritů, nejčastěji zelená s různými odstíny, výtečně štěpné podle 001, lupínky jsou křehké, T = 2,5-3,5, h = 2,6-3,2.

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



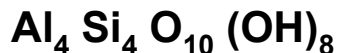
(c)

chlorite

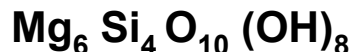
1. Fylosilikáty – skupina kaolinitu a serpentinu

- obecný vzorec $M_{6-4} Z_4 O_{10} (OH)_8 \cdot nH_2O$
M = Al, Fe²⁺, Fe³⁺, Mg, vakance
Z = Si, Al, Fe³⁺

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



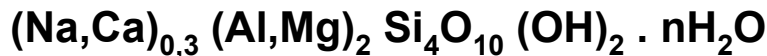
Kaolin, Chlumčany

1. Fylosilikáty – skupina smektitů

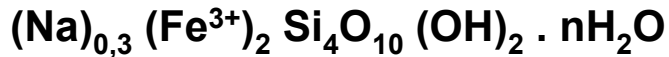
Velmi důležitá skupina minerálů, které tvoří podstatnou část tzv. jílových minerálů. Jejich struktura podobná slídám.

Nejdůležitější minerály:

montmorillonit



nontronit



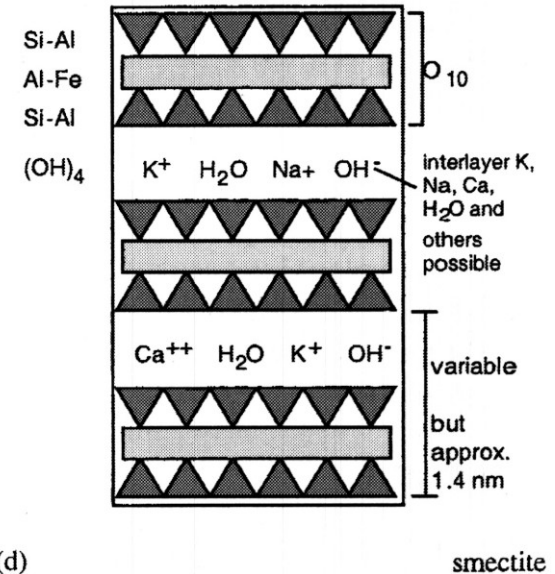
Bentonit – jílovitá hornina s vysokým obsahem smektitů.

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

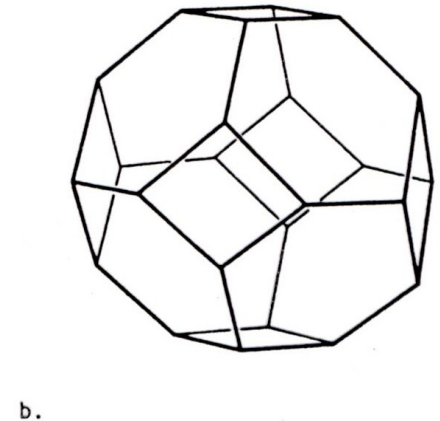
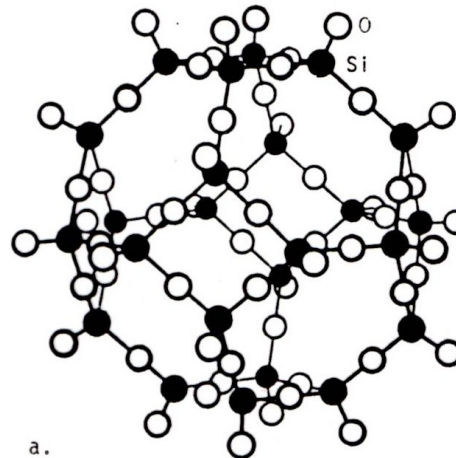


Pyrofylit

2. Tektosilikáty

Významná skupina silikátů s trojrozměrným skeletem tetraedrů SiO_4 , které jsou vzájemně propojeny všemi rohovými kyslíky. Do dutin pak vstupují většinou relativně velké kationy, popř. H_2O 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

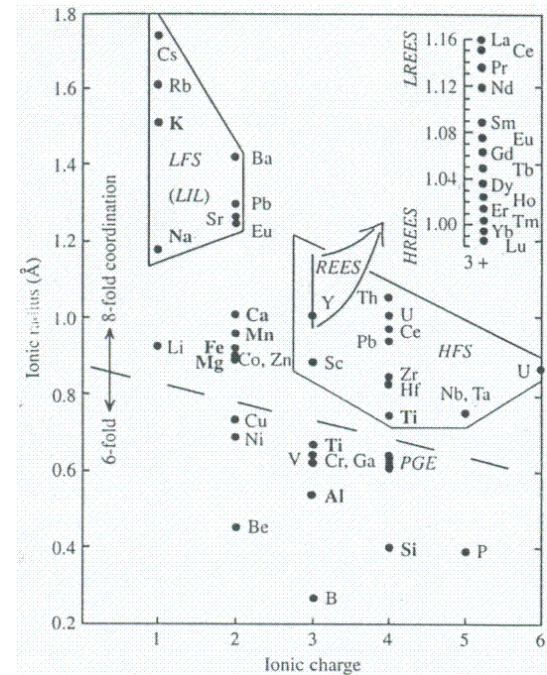
minoritní Ba, Rb, Cs, Sr, Pb, P

Typické substituce:

Na-K, Ca-Ba, Al-Fe³⁺, 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.

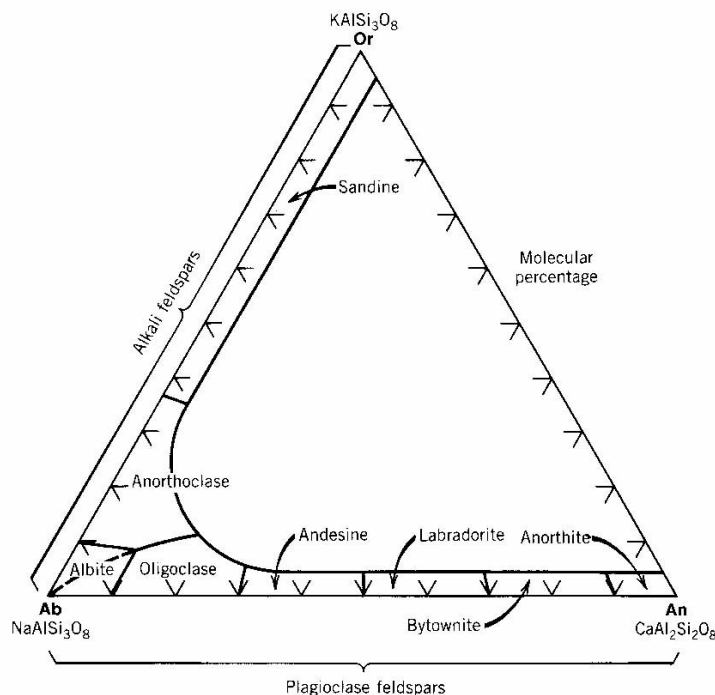
Amazonit – zelený mikroklín

Adulár – K-živec vznikající při hydrotermálních pochodech

- Barnaté živce:

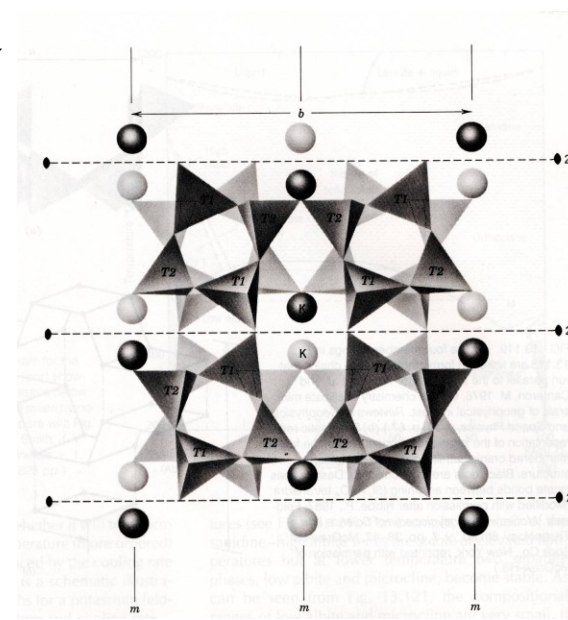


Hyalofan (K,Ba)



2. Tektosilikáty – skupina živců

- Všechny živce jsou charakterizovány trojrozměrným skeletem tetraedrů 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 $1000\text{ }^\circ\text{C}$) – struktury jsou neuspořádané (distribuce kationtů Al a Si je nahodilá). S ochlazením 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 ochlazením pod $800\text{ }^\circ\text{C}$)
- Dalším ochlazením (pod $600\text{ }^\circ\text{C}$) 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.

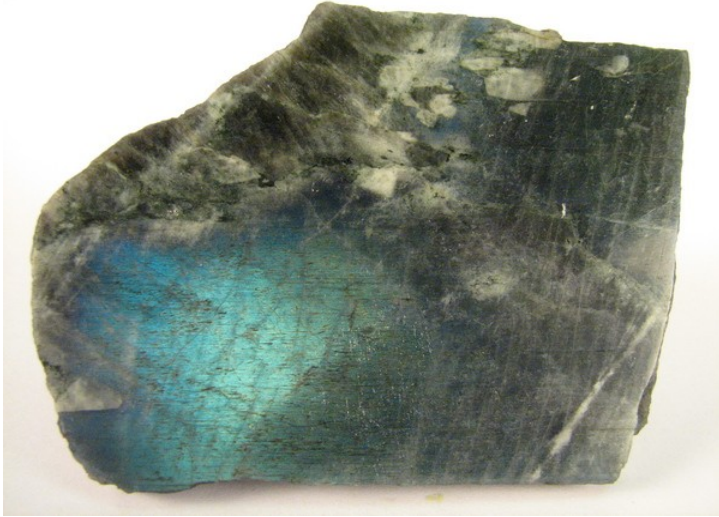


Amazonit



Albit, Dolní Bory

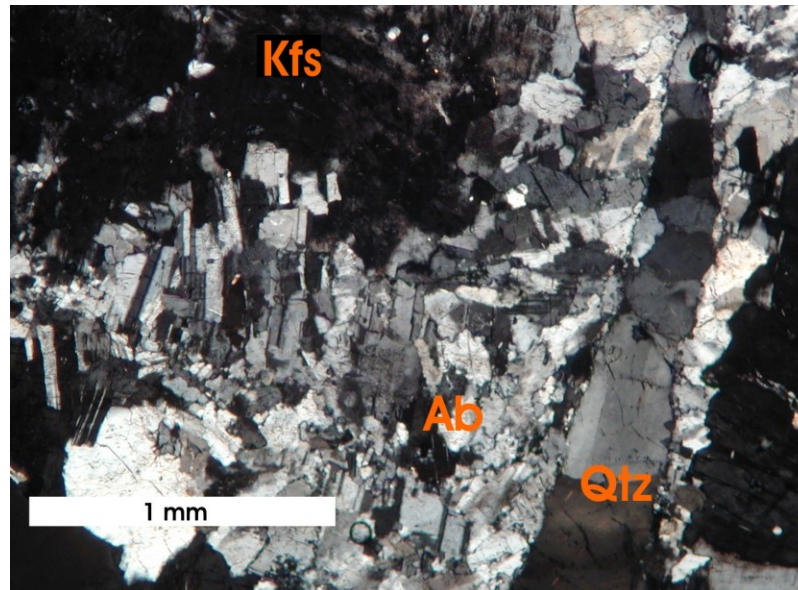
2. Tektosilikáty – skupina živců



Labradorit



K-živce, Vlastějovice



Zatlačování K-živce
albitem, Bližná II -
výbrus

2. Tektosilikáty – skupina foidů

- Zastupují živce v magmatických horninách s deficitem SiO_2 a proto jsou označovány také jako „Zástupci živců“. Jejich struktury sestávají z trojrozměrné sítě tetraedrů, které jsou obsazeny ionty Si^{4+} a 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, 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

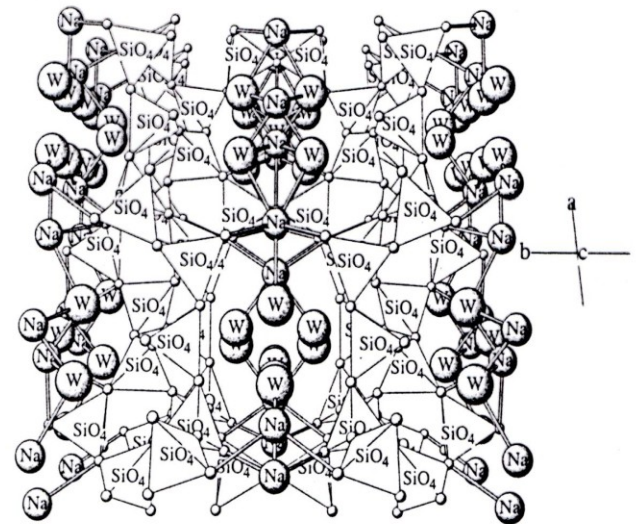
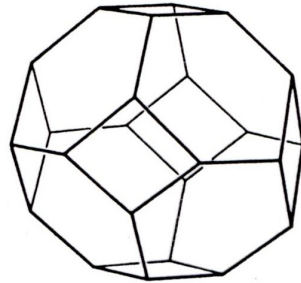
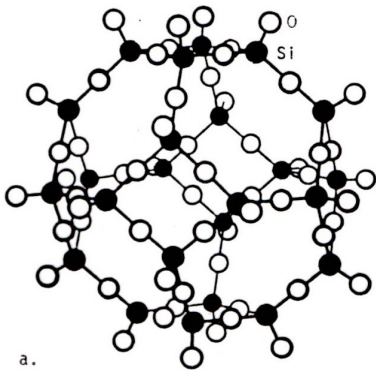


Výskyty: Většina foidů je svým výskytem omezena na horniny (magmatické a metamorfní), ve kterých není přítomen křemen, vyskytují se buď současně s alkalickými živci, nebo bez nich (při větším deficitu SiO_2). Podléhají hydrotermálním alteracím.

Využití: důležité geologické indikátory nízké aktivity Si v horninách.

2. Tektosilikáty – skupina zeolitů

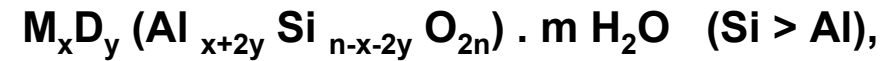
- Skupina minerálů, které mají specifickou strukturu a z ní odvozené specifické fyzikální a chemické vlastnosti. Zeolity mají strukturou složenou ze vzájemně propojených tetraedrů. Tato struktura je prostorově uspořádaná tak, že obsahuje otevřené prostory ve formě kanálů nebo dutin. Ty jsou obvykle vyplněny 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

H₂O

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, 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 H₂O. Ve skupině tektosilikátů jsou dvě odlišné skupiny - živce (bez H₂O); - zeolity (vysoký obsah H₂O).
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 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 H_2O . Minerály s vysokým obsahem Fe(Mn) a nízkým obsahem H_2O 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 H_2O , 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

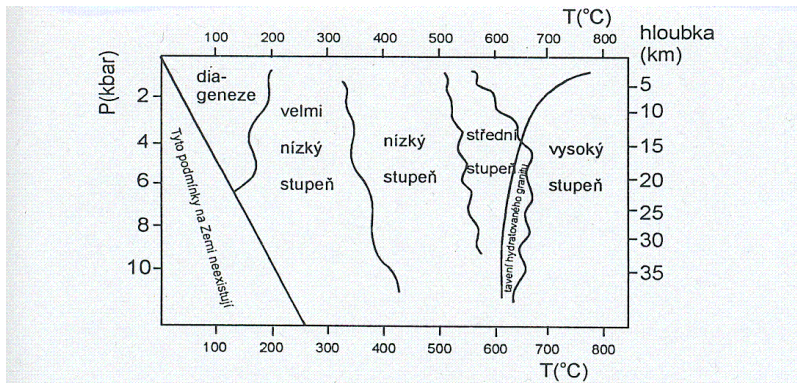
e) povrchové a připovrchové části zemské kůry

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.

