

Mineralogie I

Prof. RNDr. Milan Novák, CSc.

Mineralogický systém - silikáty

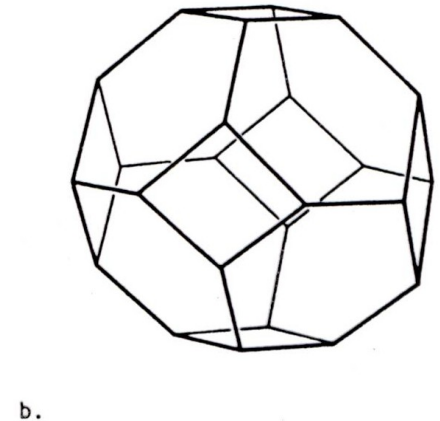
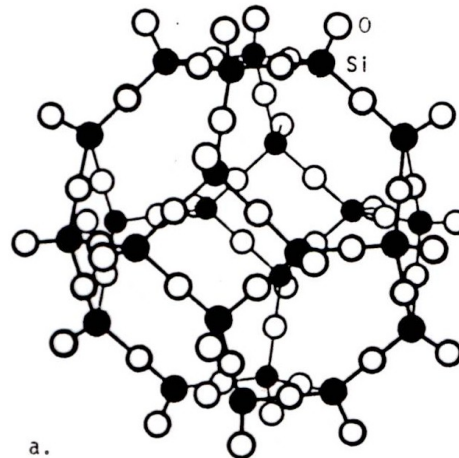
Osnova přednášky:

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

1. 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 kationy (Na, Ca, K) a někdy také anionty (S, Cl).

- Skupina živců
- Skupina foidů
- Skupina zeolitů



Struktura tektosilikátu - zeolit

1. Tektosilikáty – skupina živců

- Důležitá skupina minerálů, které patří spolu s křemenem (strukturně jde o tektosilikát) 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,

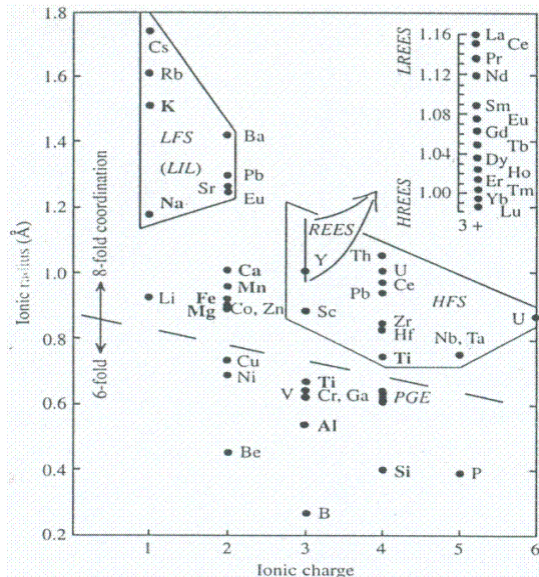
$T_1 = Al$

$T_2 = Si, Al$

minoritní Ba, Rb, Cs, Sr, Pb, P

Typické substituce:

Na-K, Ca-Ba, Al-Fe³⁺, NaSi - CaAl



Granit s K-živcem a plagioklasem

1. Tektosilikáty – skupina živců

Hlavní minerály:

- Draselné živce:



sanidin (K+Na)

ortoklas

mikroclin

- Sodnovápenaté živce - plagioklasy:



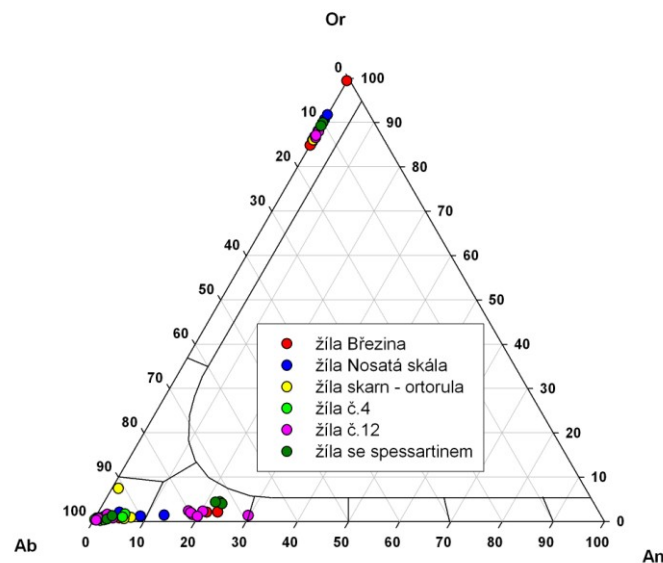
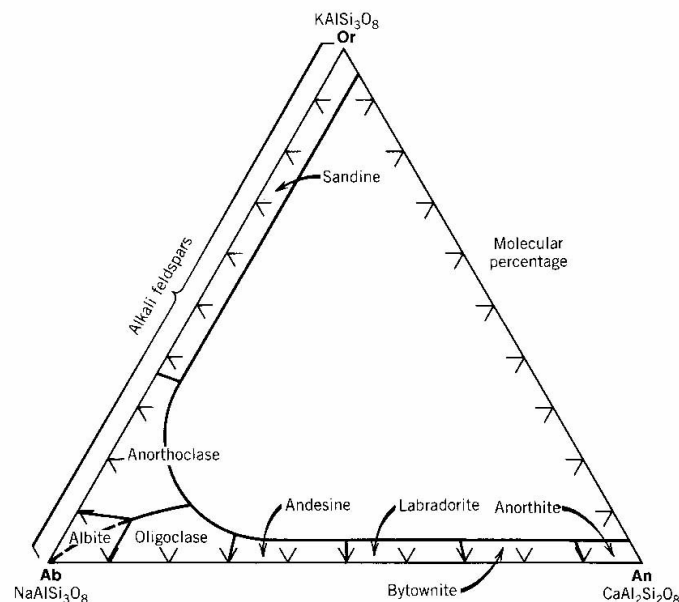
Jednotlivé členy (**albit**, oligoklas,

andezín, labradorit, bytownit, **anortit**)

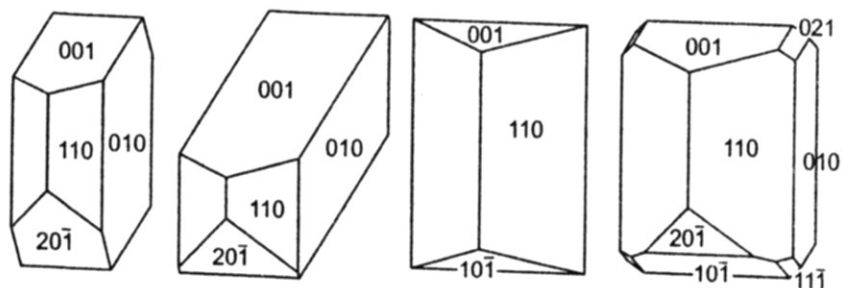
Amazonit – zelený mikroclin

Adulár – K-živec vznikající při hydrotermálních pochodech

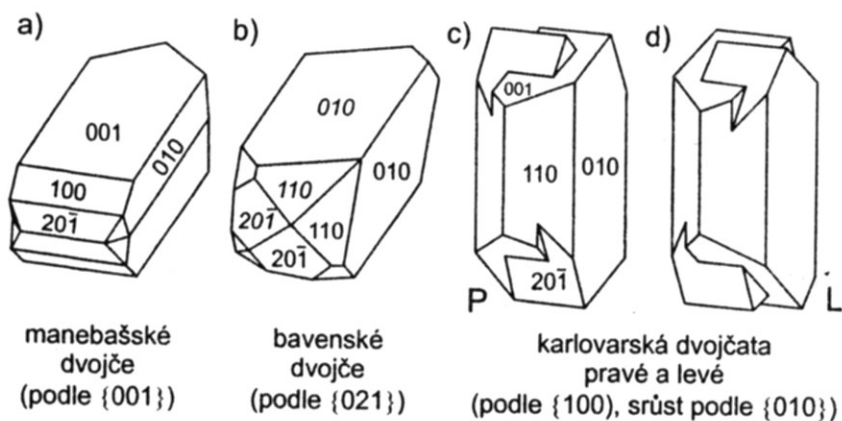
- Barnaté živce:



1. Tektosilikáty – skupina živců



Obr. 9.6.16: Draselné živce, příklady morfologie krystalů.



Obr. 9.6.17: Dvojčatění živců podle manebašského (a), bavenského (b) a karlovarského (c, d) zákona

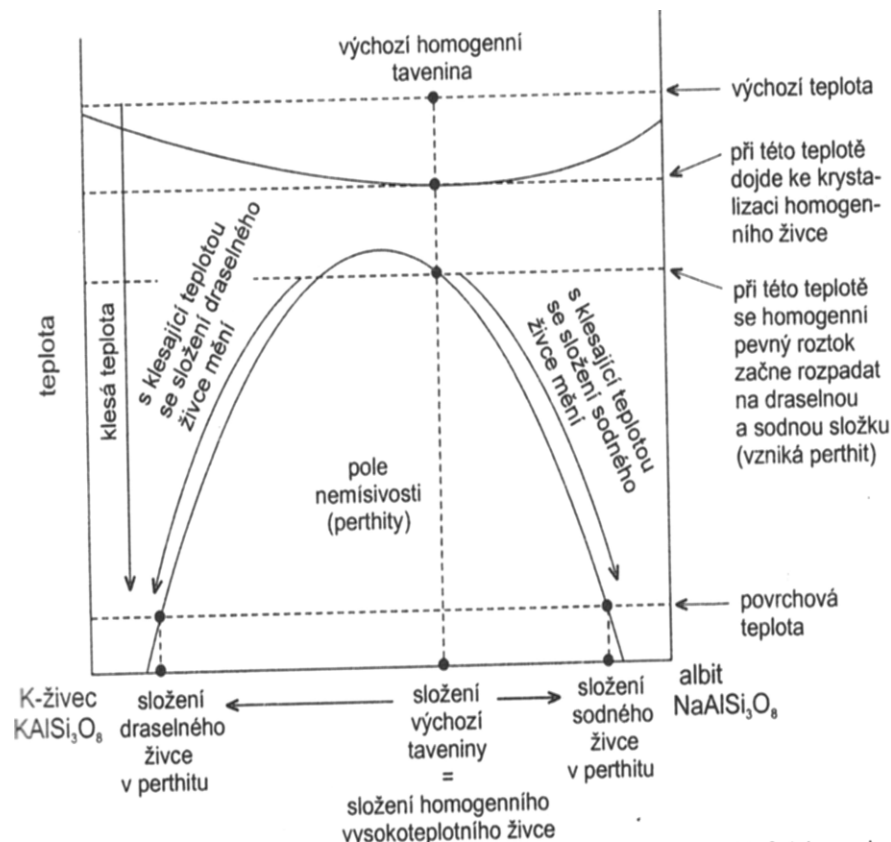
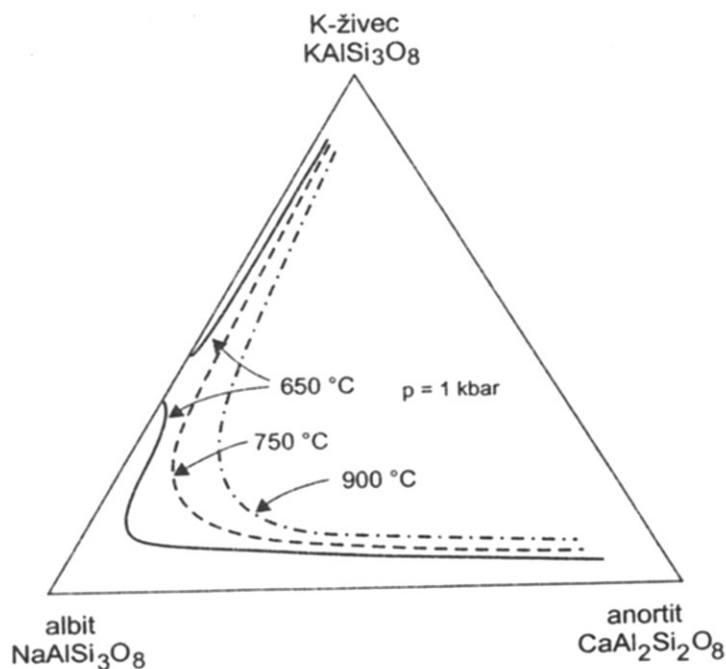


Mikroklin-amazonit

1. Tektosilikáty – skupina živců

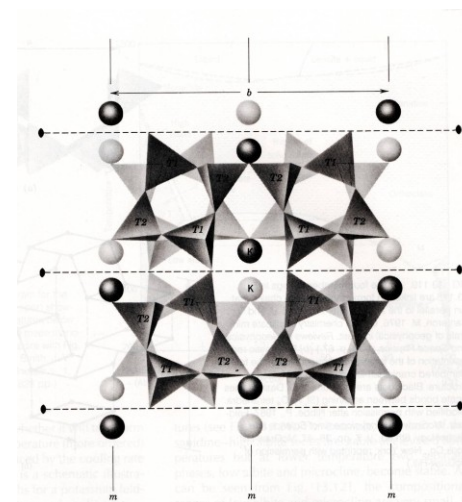
Existuje neomezená mísitelnost mezi albitem a anortitem, malá mezi K-živci a anortitem. Mísitelnost klesá s teplotou.

Perthit – odmiššené albity v K-živci.



1. 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 °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 °C)
- Dalším ochlazováním (pod 600 °C) vzniká úplně uspořádaný K-živec mikroklin (triklinický), má již pravidelně uspořádané Al a Si v tetraedrických polohách.



Struktura živce

1. Tektosilikáty – skupina živců

Vlastnosti:

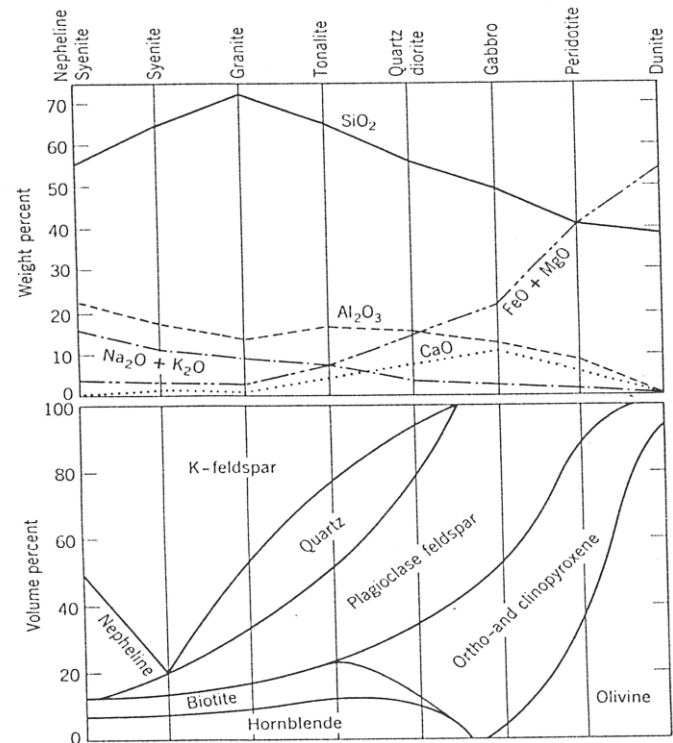
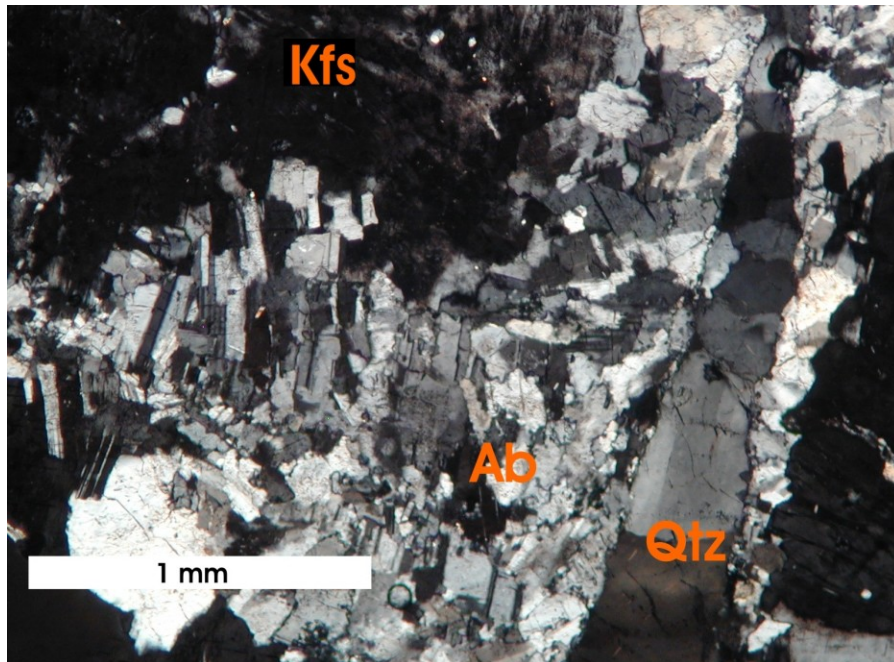
Barva: bílá, většinou světlá s různými odstíny, $T = 6-6,5$, $h = 2,6-2,8$, Ba-živce mají vyšší hustotu. Dobře až dokonale štěpné.

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. Vyskytují se i na hydrotermálních žilách.



Ortoklas

1. Tektosilikáty – skupina živců



Často také dochází k vzájemnému zatlačování živců, např. K-živec albitem nebo Ca-plagioklasu (např. andezinu) albitem.

Zatlačování K-živce albitem, Bližná II - výbrus

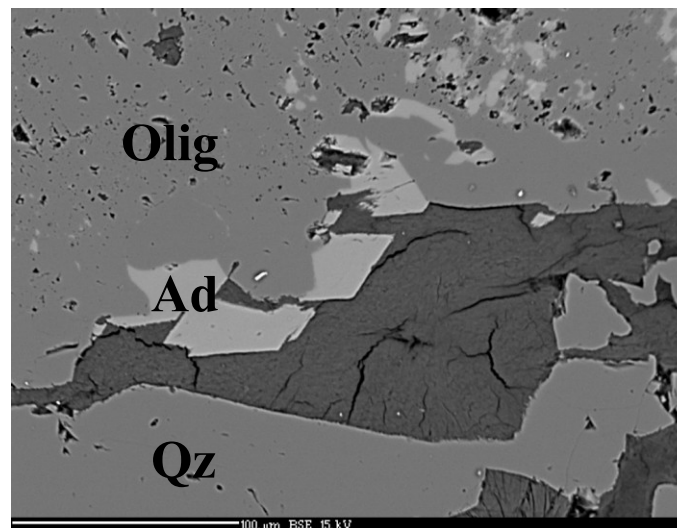
1. Tektosilikáty – skupina živců

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.

Starší oligoklas je zatlačovaný mladším albitem a adulárem

Adulár



1. Tektosilikáty – skupina živců

Diagramy ukazující alteraci K-živců

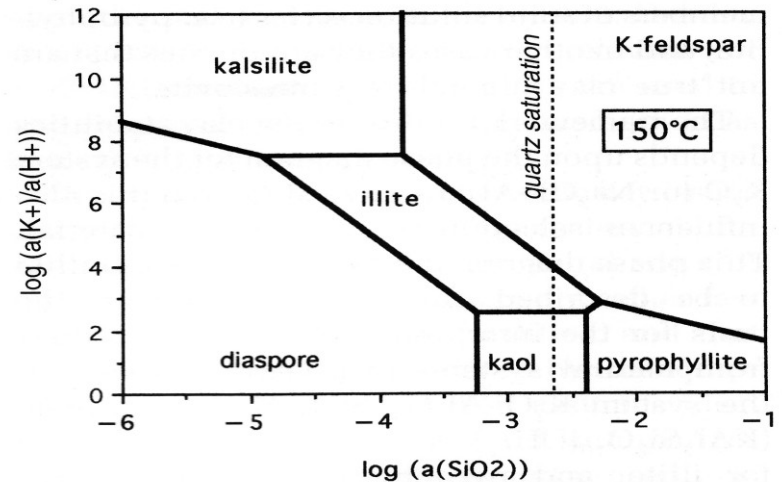
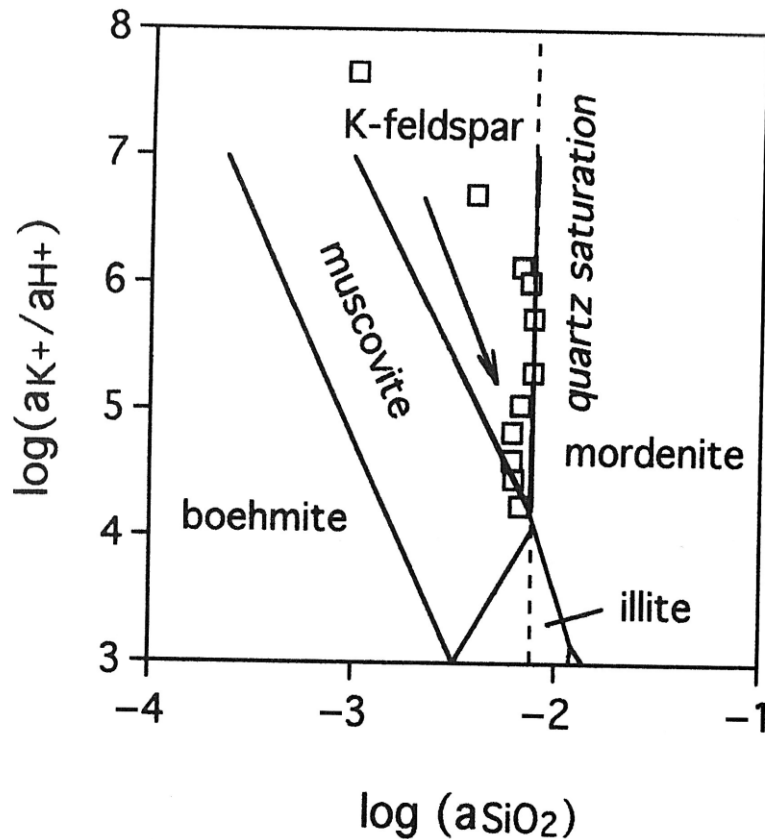


Fig. 2 Simplified activity phase diagram for the system $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ at $150^\circ C$, $50 MPa$, showing the topology of the stability fields for kalsilite, potassium feldspar, diaspore, illite (with the muscovite composition $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$), kaolinite and pyrophyllite, and quartz saturation.

1. Tektosilikáty – skupina živců



Ortoklas



K-živec, Vlastějovice

1. Tektosilikáty – skupina živců



Amazonit

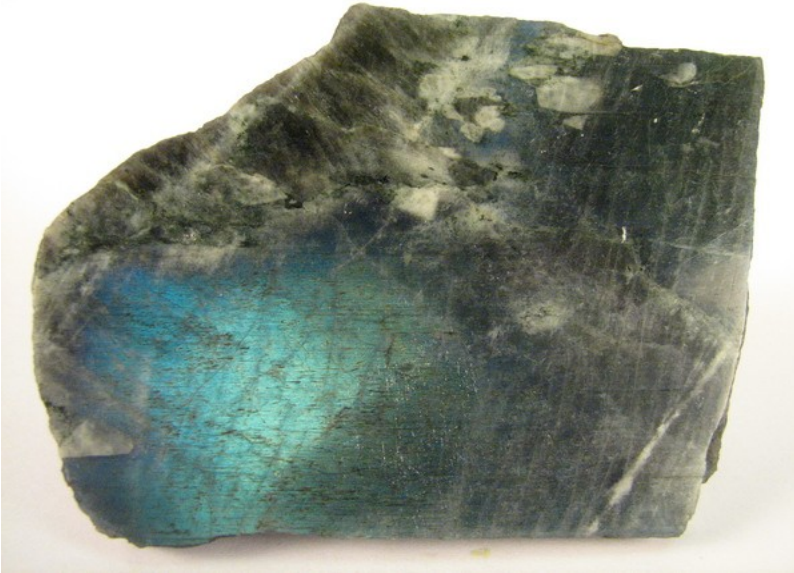


Albit

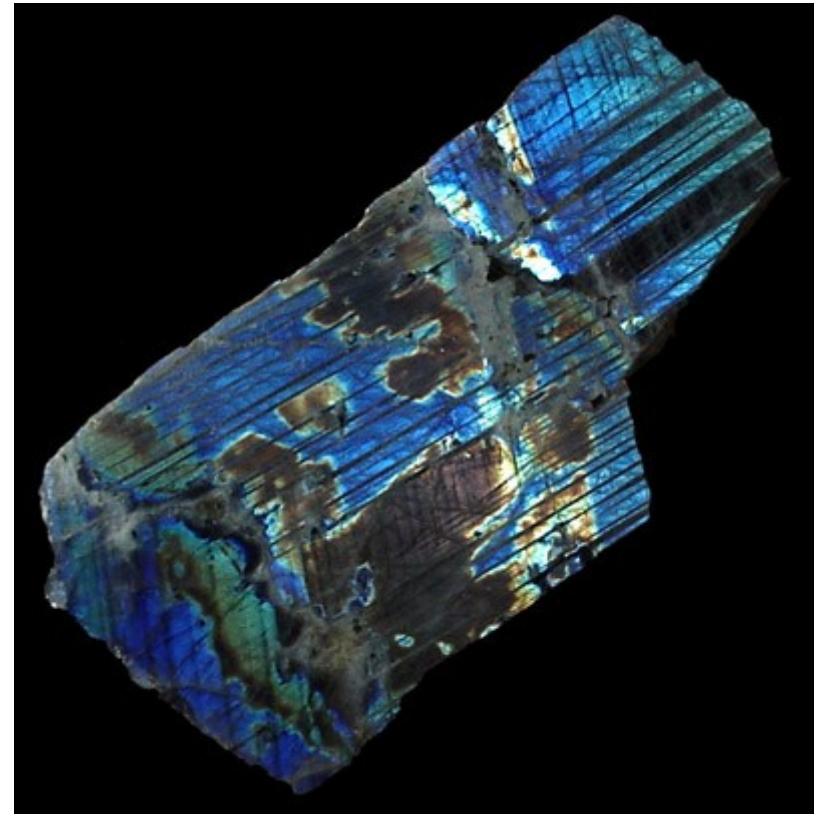


Albit narůstající na K-živec

1. Tektosilikáty – skupina živců



Labradorit



1. Tektosilikáty – skupina skapolitu

Skupina minerálů velmi blízká plagioklasům

- Mejonit $3 \text{ Ca Al}_2 \text{ Si}_2 \text{ O}_8 \text{ CaCO}_3$
- Marialit $3 \text{ Na Al Si}_3 \text{ O}_8 \text{ NaCl}$

Neomezeně mísitelné podobně jako plagioklasy

Tetragonální

- Vlastnosti:
- barva bílá, nazelenalá, narůžovělá, většinou světlá s různými odstíny, $T = 5-6$, $h = 2,5-2,8$, dobře až dokonale štěpné.

Výskyt: Poměrně časté horninotvorné minerály vyskytující se různých typech metamorfovaných a často také hydrotermálních hornin. Indikátory aktivity fluid.



1. 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 NaAlSiO_4). Do jejich struktur ale často vstupují i další anionty, např. S, Cl, CO_3 .

- Nejdůležitější foidy:

nefelín	$(\text{Na},\text{K})\text{AlSiO}_4$	hexagonální
sodalit	$\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2$	kubický
lazurit	$\text{Na}_6\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2$	kubický

Vlastnosti:

zrnité agregáty podobné živcům,

některé foidy ale mají pestré zbarvení, např.

sodalit a lazurit jsou jasně modré, 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.

1. Tektosilikáty – skupina foidů



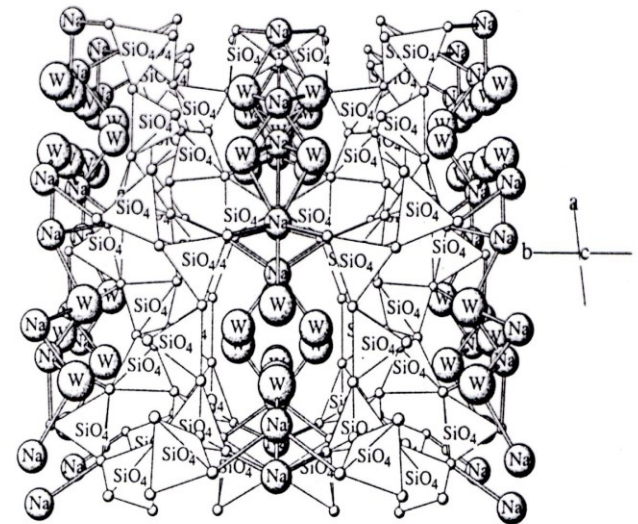
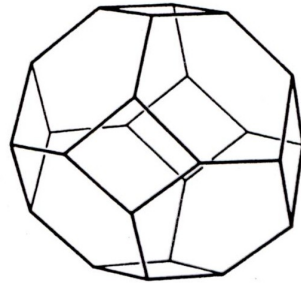
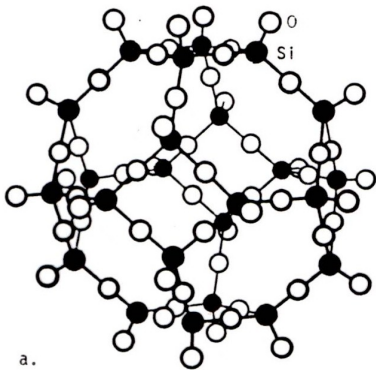
Sodalit



Lazurit

1. 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)

1. Tektosilikáty – skupina zeolitů

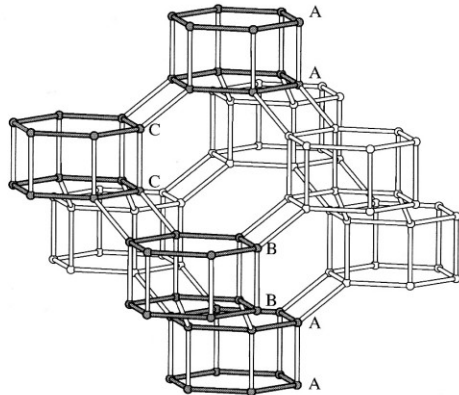


Fig. 362. Clinographic view of the framework of chabazite, in which only tetrahedral sites and T–T linkages are plotted. A set of 6-rings that define the framework are darkened, to illustrate the stacking sequence AABBC. . . . Double 6-rings are located at each corner of the rhombohedral unit cell, which also forms the chabazite cage, *cha* (see Fig. 329).

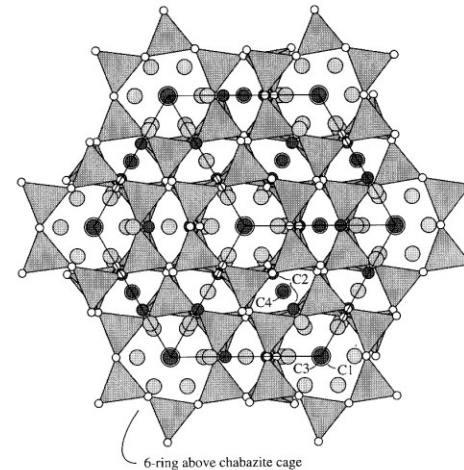
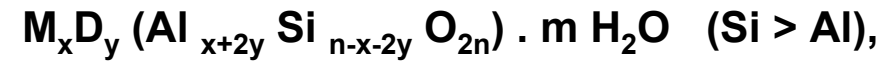


Fig. 363. Projection of the structure of chabazite onto (111), using the atomic positions refined in the space group $R\bar{3}m$ by Calligaris *et al.* (1983). The Si,Al distribution in tetrahedral sites is disordered. Various dark grey circles represent several different cation sites (C1, C2, C3 and C4), and light grey circles, water molecules.

1. 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.

1. 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

1. Tektosilikáty – skupina zeolitů

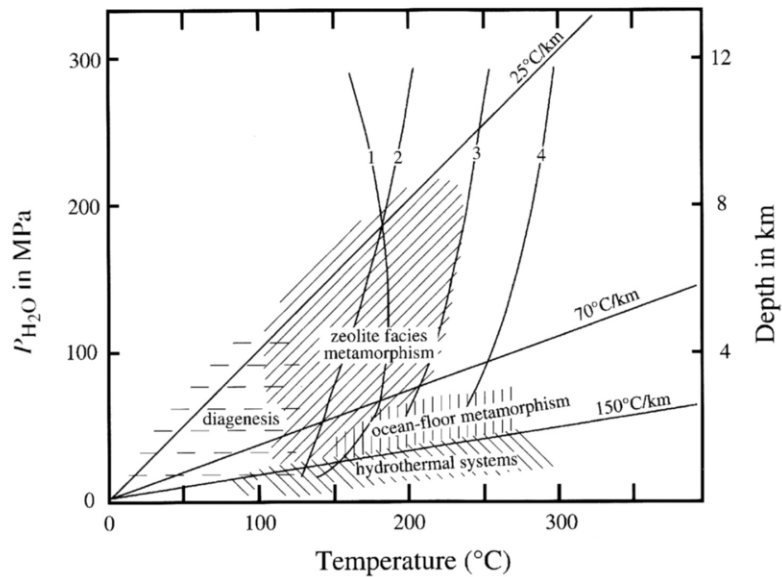


Fig. 333. Pressure-temperature ranges of environments of zeolite formation. The boundary between diagenesis and metamorphism has considerably more overlap than that shown here. Numbered curves are experimentally determined or calculated stability limits of selected zeolites. (1) analcime + quartz = albite + H₂O (Liou 1971a); (2) heulandite = laumontite + quartz + H₂O (Cho *et al.* 1987); (3) laumontite + prehnite = epidote + quartz + H₂O at low pressure end and laumontite + pumpellyite = epidote + chlorite + quartz + H₂O at high pressure end (Cho *et al.* 1987), and (4) laumontite = wairakite + H₂O (Liou 1971b). The depth scale is based on a lithostatic gradient of 25 MPa/km.

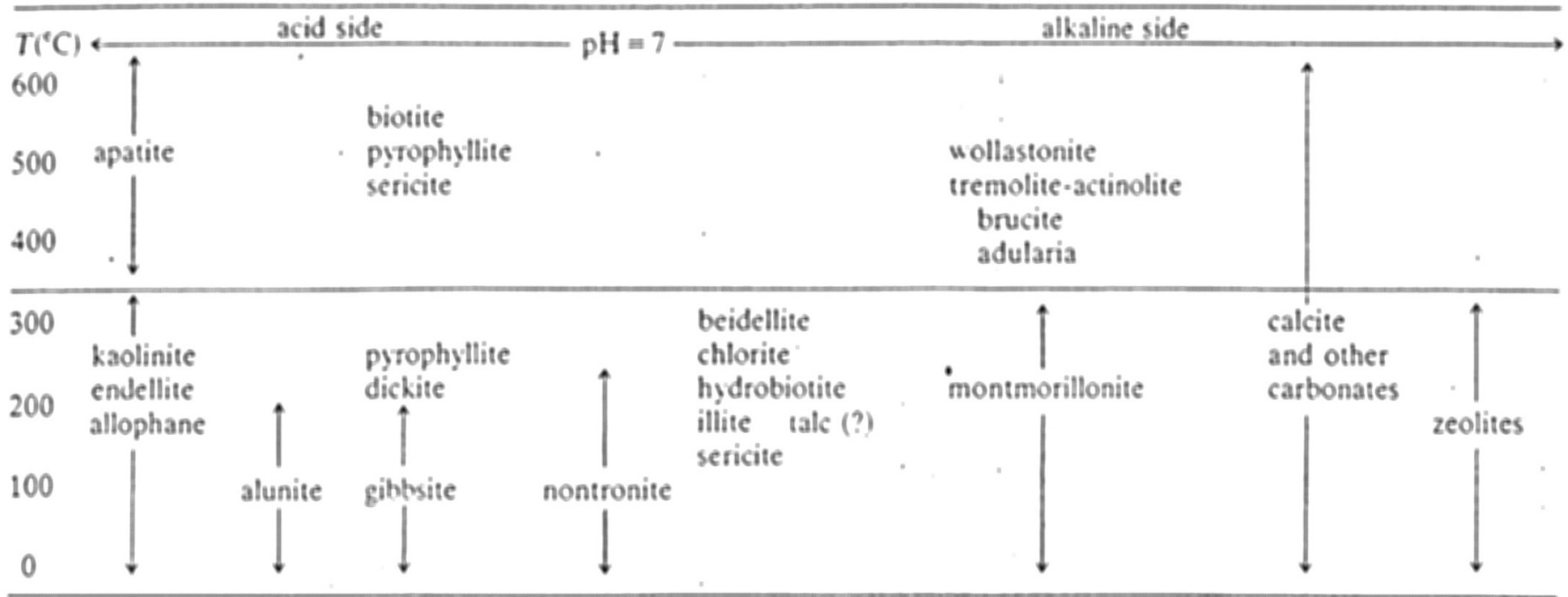


Natrolit, Soutěsky

1. Tektosilikáty – skupina zeolitů

TABLE 9

Likely relations between pH, temperature and occurrence of some hydrothermally formed minerals⁽⁹⁶⁾



1. Tektosilikáty – skupina zeolitů



Chabazit, Řepčice



Stilbit

2. Shrnutí

1. Tato přednáška zahrnuje jen základní přehled hlavních minerálů ze skupiny tektosilikátů, ve skutečnosti je v této skupině několik set minerálů.
2. Ve skupině tektosilikátů jsou dvě odlišné skupiny - živce + foidy + skapolit (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. Tektosilikáty jsou až na výjimky světlé. Výrazné barvy mají foidy, např. lazurit.
4. Ve skupině tektosilikátů jsou dvě odlišné skupiny - živce (bez H₂O); - zeolity (vysoký obsah H₂O). Dále je typická přítomnost dalších aniontů, např. Cl, S ve foidech.
5. Minerály vznikají v širokém rozpětí teplot a tlaků (živce), nebo jen výhradně za nízkých teplot (zeolity).
6. Jen u části minerálů je nutné znát chemické vzorce (živce). Je ale nutné znát hlavní prvky jednotlivých minerálů.

3. Shrnutí silikáty 1

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 i nižší.
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).

3. Shrnutí silikáty 2

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.

3. Shrnutí silikáty 3

Minerály (silikáty) jsou také indikátory např. chemického složení horniny:

- a) horniny bohaté Al (tzv. peraluminické): Al_2SiO_5 modifikace, staurolit, chloritoid, almandin, cordierit, skoryl, muskovit, pyrofylyt, kaolinit**
- b) horniny chudé Si (ultrabazické): olivíny, enstatit, serpentín, pyrop, flogopit, antofylit, tremolit, chlority, mastek**
- c) horniny s vysokou aktivitou těkavých látek: F – topaz, B – turmalín, Cl – skapolit, foidy**
- d) horniny s vysokou aktivitou alkálií (Na,K): alkalické jadeit, amfiboly, foidy, skapolit, albit, K-živce, Na,K-zeolity**
- e) horniny bohaté Ca: wollastonit, diopsid, tremolit, grossular, anortit, epidot, titanit, Ca-zeolity**

Typické akcesorické minerály: zirkon, titanit, staurolit, cordierit, turmalíny, allanit, andalusit, kyanit, sillimanit