

Mineralogie I

**Prof. RNDr. Milan Novák, CSc.
Doc. RNDr. Zdeněk Losos, CSc.
RNDr. Václav Vávra, PhD.**

Osnova přednášky:

- 1. Postavení mineralogie ve vědních disciplínách**
- 2. Co je minerál?**
- 3. Osnova studia**
 - a) Fyzikální a chemické vlastnosti minerálů**
 - b) Mineralogický systém (hlavní horninotvorné minerály, rudy)**
 - c) Nástin procesů vzniku minerálů**
- 4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály**
- 5. Shrnutí**

Příklady minerálů



Beryl - Maršíkov



Turmalín, záhněda - Suky



Granát -hessonit - Žulová

Příklady minerálů



**Turmalín, Aqua Santa,
Minas Gerais, 2009**

**Spodumen, BLC,
Minas Gerais, 2009**



**Beryl, Assuncao,
Portugalsko, 2008**



Příklady minerálů



Křemen, Assuncao, Portugalsko, 2008



Křemen, Brazílie, 2009

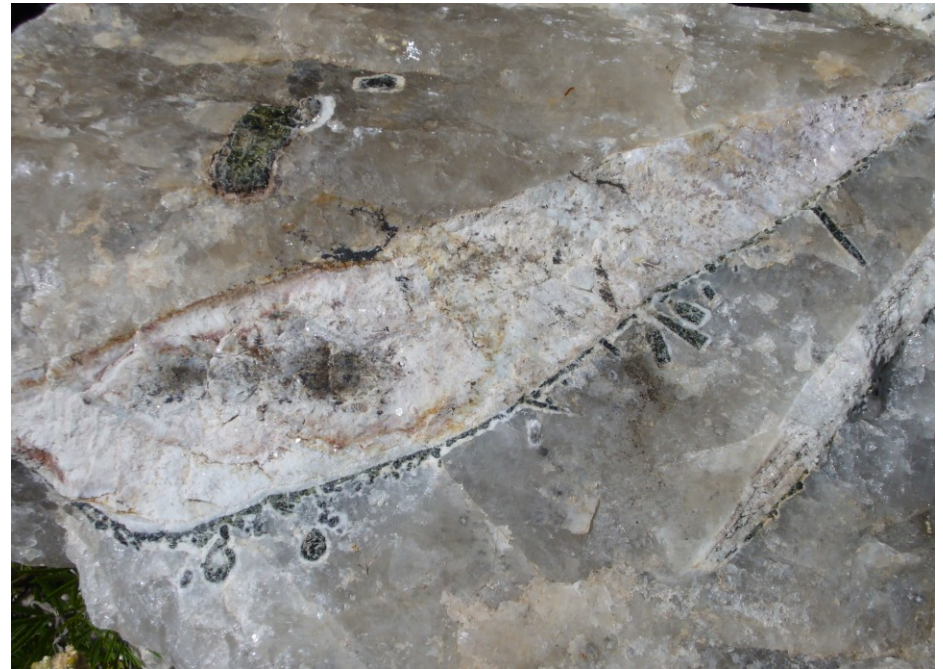


Jadeit, Itoigawa, Japonsko, 2006

Příklady minerálů



Spodumen, San Luis, Argentina, 2011



**Turmalín kolem albitu v křemeni,
San Luis, Argentina, 2011**

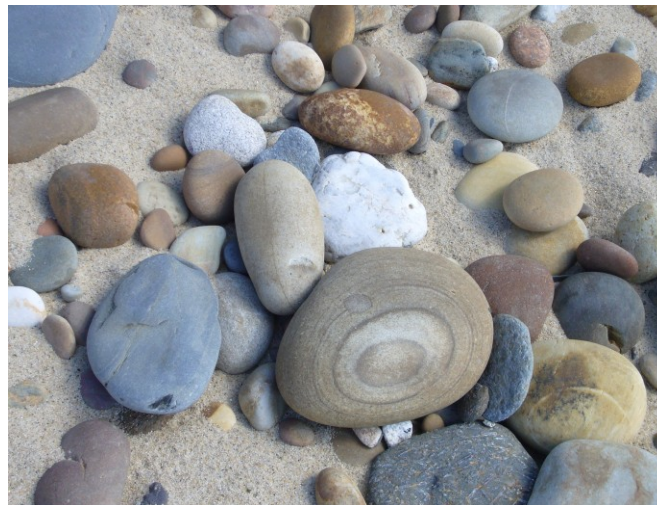
Příklady minerálů



**Zvětrávající mramor,
Coimbra, Portugalsko,
2008**



**Hydroxidy Fe, důl
Václav, Bližná, 2008**



**Valouny na pláži, Viana
di Castelo, Portugalsko,
2008**

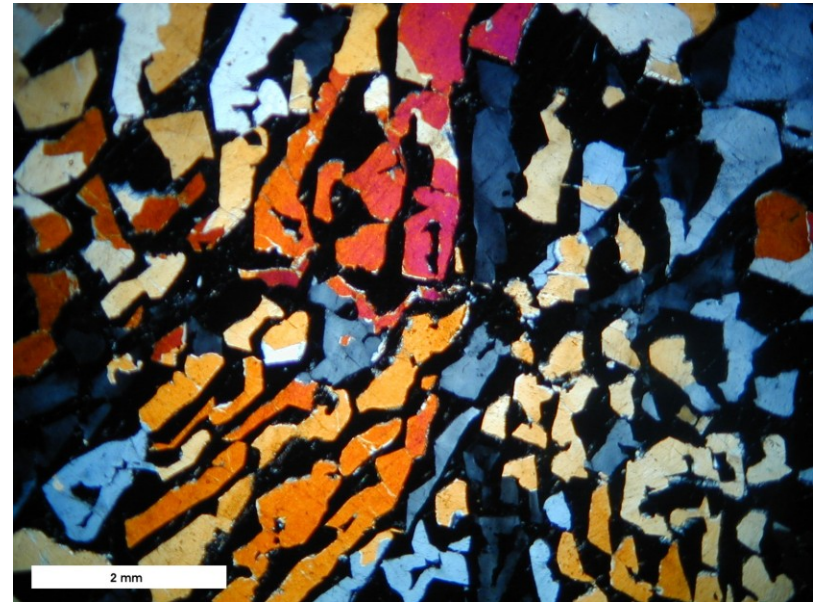
1. Postavení mineralogie

Historie mineralogie:

Protože minerály bývají velmi nápadné a atraktivní, byla mineralogie už ve starověku vedle paleontologie (fosílie) a obecné geologie (např. vulkanická činnost) zakládající disciplínou geologických věd.

Teprve s postupem času a s vývojem techniky se od mineralogie postupně oddělovaly další obory:

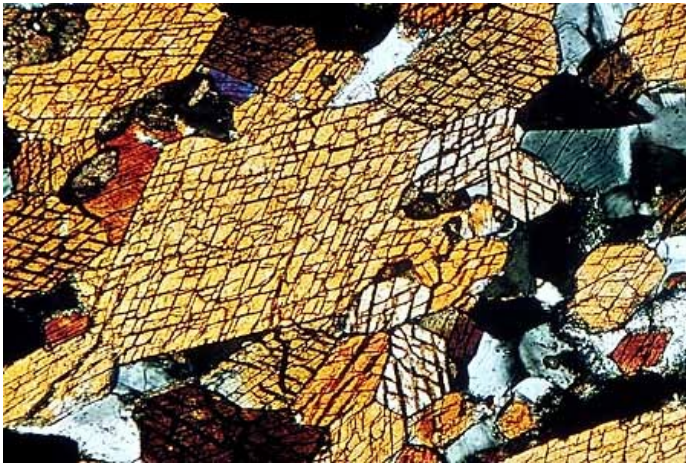
- petrografie (objev polarizačního mikroskopu) popisující detailně mineralogické složení hornin
- geochemie (zdokonalení chemických analytických metod) zabývající se chováním chemických prvků během geologického vývoje



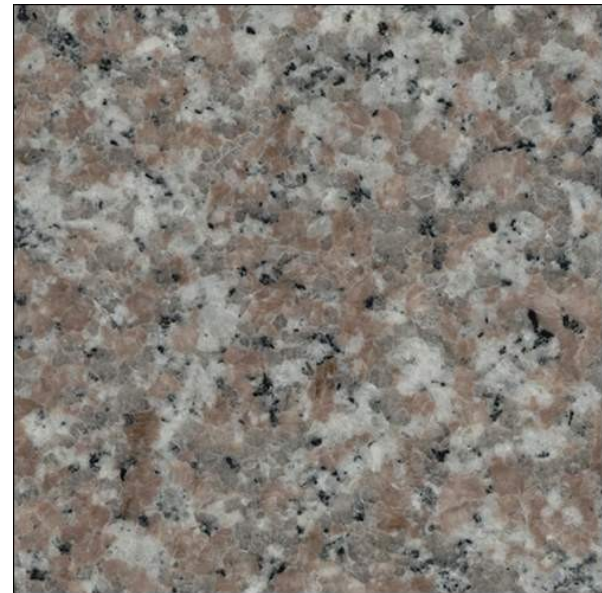
Orientovaný srůst granátu (černý) a křemene (barevný), Bližná výbrus

1. Postavení mineralogie

- Minerály (nerosty) jsou základními stavebními jednotkami různých typů hornin (žula, čedič) a ložisek nerostných surovin (vápence). Dále také řady technických hmot (např. beton), ale také některých biologických objektů (např. zuby, kosti).
- Proto je studium minerálů základem pro většinu geologických disciplín, ale někdy i jiných vědeckých a technologických oborů.
- Pouze detailní informace o chemickém složení minerálů a jejich vzájemných vztahů v jednotlivých typech hornin a často také o krystalové struktuře minerálů lze využít pro dostatečně důvěryhodné objasnění geologických procesů, ale někdy i uměle připravených látek.



Amfibol ve výbruse

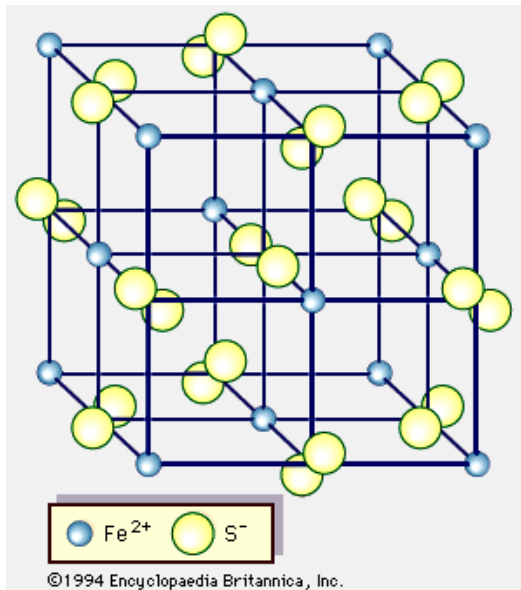


Granit leštěný vzorek

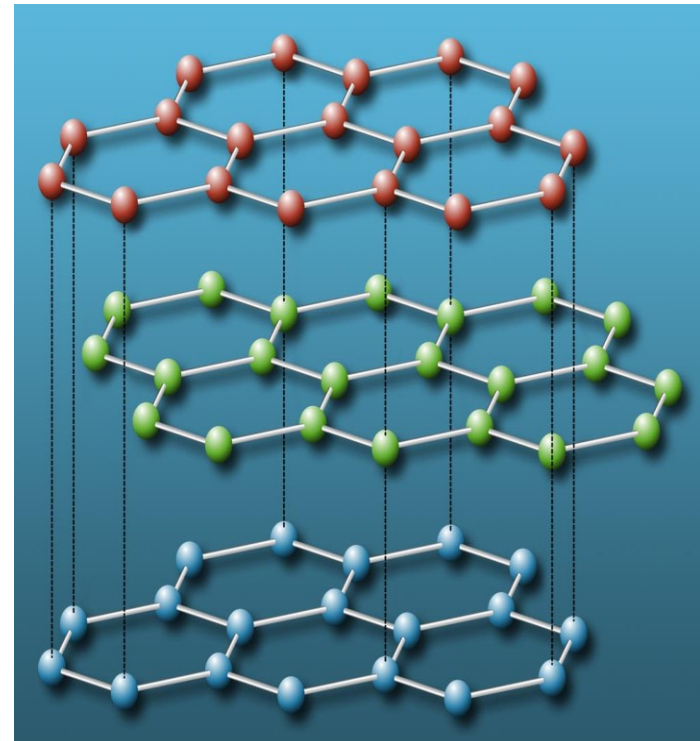
1. Postavení mineralogie – vztah k jiným oborům

Nejbližšími obory mineralogie mimo oblast geologie jsou proto:

1. fyzika pevných látek (krystalové struktury, fyzikální vlastnosti)



Krystalová struktura pyritu FeS_2



Krystalová struktura grafitu

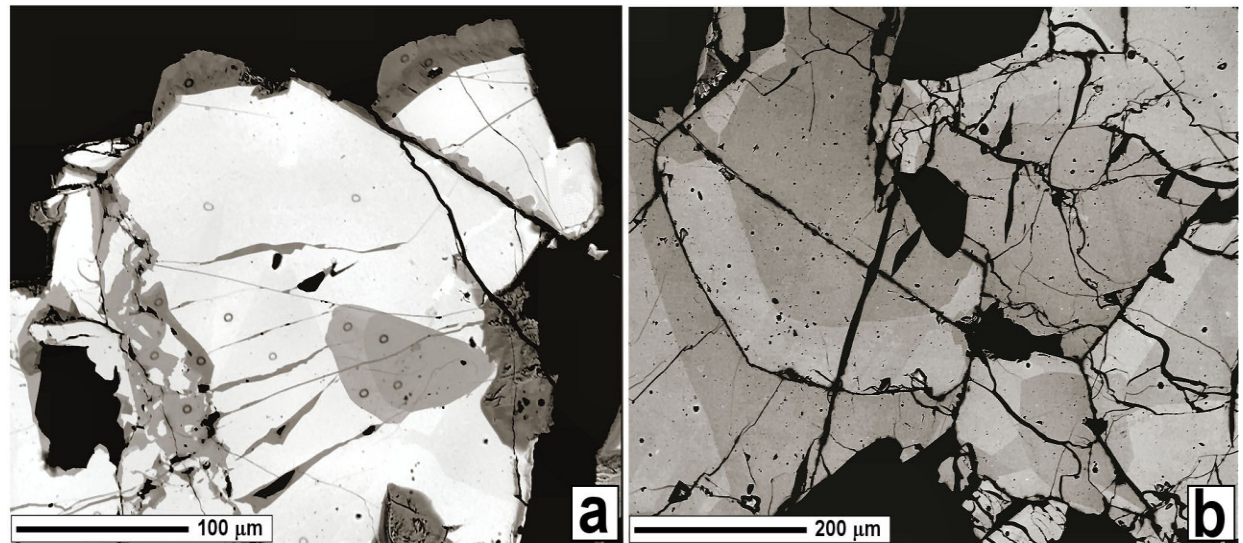
1. Postavení mineralogie – vztah k jiným oborům

2. anorganická chemie (chemické složení minerálů)

Granát - Petrovice

	52	51	62	61	54
SiO ₂	37.01	37.77	38.00	38.09	37.52
TiO ₂	0.07	0.06	0.02	0.01	0.03
Al ₂ O ₃	21.60	21.54	21.72	21.72	21.34
FeO	31.63	31.96	29.92	31.08	32.97
MnO	0.69	0.73	0.45	0.46	0.88
MgO	6.71	6.24	5.46	5.37	5.27
CaO	1.51	1.62	4.72	3.70	1.64
TOTAL	99.22	99.92	100.29	100.43	99.65

Si ⁴⁺	2.942	2.980	2.980	2.989	2.987
Ti ⁴⁺	0.004	0.004	0.001	0.001	0.002
Al ³⁺	2.024	2.003	2.007	2.008	2.002
Fe ²⁺	2.103	2.109	1.962	2.039	2.195
Mn ²⁺	0.046	0.049	0.030	0.031	0.059
Mg ²⁺	0.795	0.734	0.638	0.628	0.625
Ca ²⁺	0.129	0.137	0.397	0.311	0.140
CATS	8.042	8.015	8.015	8.007	8.010
O	12	12	12	12	12



Bismutotantalit-stibiotantalit-stibiocolumbit, Momeik, Myanmar
 $\text{BiTaO}_4 - \text{SbTaO}_4 - \text{SbNbO}_4$ fotografie z elektronové mikrosondy

1. Postavení mineralogie – vztah k jiným oborům

3. fyzikální chemie (vlastnosti prvků, vzájemné vazby prvků, stabilita minerálů za různých podmínek)

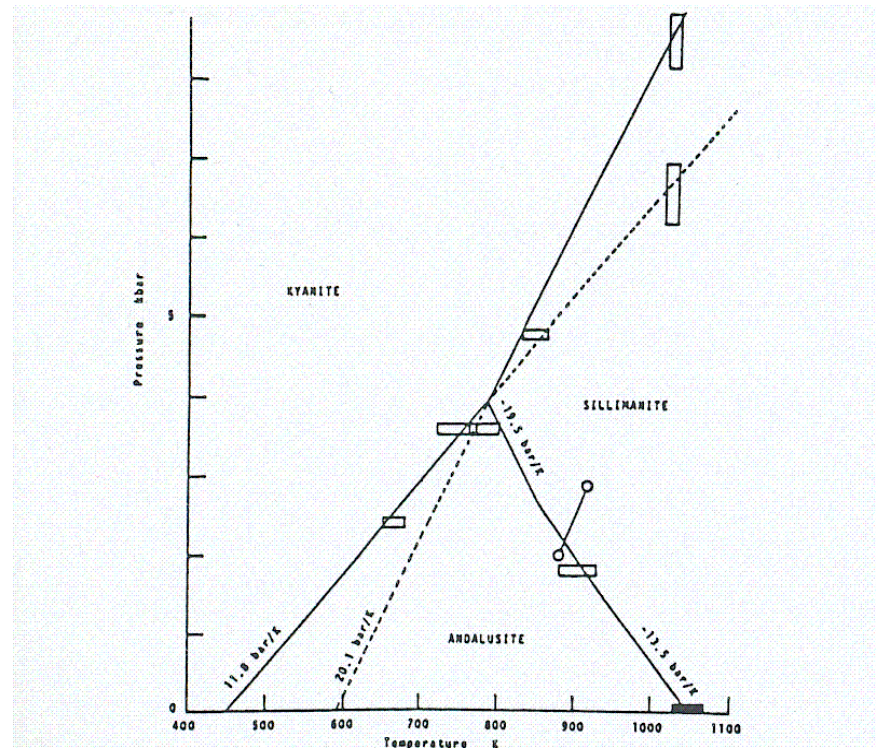
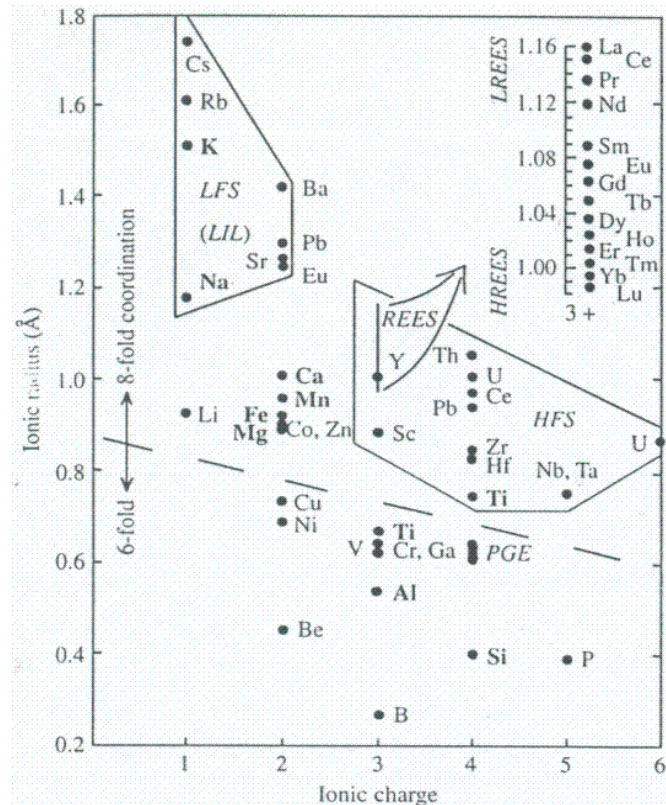


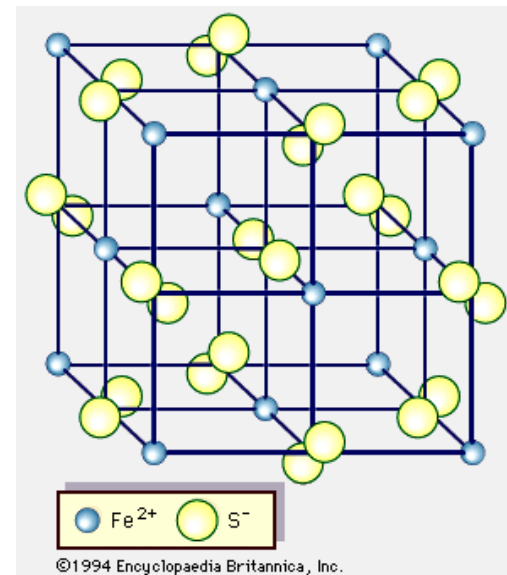
Figure 3.37. Phase equilibrium diagram showing experimental brackets for the Al_2SiO_5 equilibria (rectangles) and the univariant equilibria computed with the Clapeyron equation using entropies derived from the heat capacity measurements of Robie and Hemingway (1984). (From Robie and Hemingway, 1984, Fig. 5).

1. Postavení mineralogie - příklady z geologie

- Geologie je široký vědní obor zabývající se studiem stavebních prvků Země, tj. hlavně hornin, minerálů a zkamenělin, ale také vody a environmentální problémů na ně vázaných.
- Mineralogie má nejbližší k petrologii, geochemii a ložiskové geologii, ale stále více i k environmentálním oborům.
- **Petrologie** – věda zabývající se horninami. Ty jsou složeny výhradně z minerálů. Mineralogické složení hornin závisí na celkovém chemickém složení a na podmínkách vzniku (P-tlak, T-teplota, X-složení fluid), tj. stabilitě jednotlivých minerálů a minerální asociací. Bez dokonalé znalosti mineralogie nemohou být petrologické závěry dostatečně věrohodné.
- **Geochemie** – věda zabývající se pohybem prvků během geologických procesů - chování chemických prvků při geologických procesech je ovlivněno především charakterem (silou) vazby těchto prvků v minerálech a jejich stabilitě v různých podmínkách. Bez dokonalé znalosti mineralogie poskytuje geochemie jen část informací o chování prvků během geologického vývoje.
- **Environmentální mineralogie** – věda zabývající se minerály, které vznikly v souvislosti s různými procesy, které vedou ke znečištění životního prostředí (těžba surovin, zvětvávání staveb). Studium těchto minerálů je důležité především proto, že na ně jsou často vázané nebezpečné látky a právě jejich vazba v minerálu je důležitá pro jejich uvolnění do prostředí.
- **Krystalografie**
- **Ložisková geologie**
- **Strukturní geologie**
- **Regionální geologie**
- **Paleontologie**
- **Hydrogeologie**
- **Environmentální geologie**

2. Co je minerál?

- Anorganická stejnorodá přírodnina, jejíž složení lze vyjádřit chemickým vzorcem, většinou pevného skupenství, vzniklá přírodními pochody.
- 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

Nutno říci, že existuje více definic minerálu, které se poněkud liší.

2. Co je minerál? - Krystalochemický vzorec

- Složení minerálů vyjadřujeme tzv. krystalochemickými vzorci.
- Vzorce minerálů musí být tzv. **elektroneutrální**

kalцит	CaCO_3	$\text{CaO} + \text{CO}_2$	$\text{Ca}^{2+} + \text{C}^{4+} + 3\text{O}^{2-}$
forsterit	Mg_2SiO_4	$2\text{MgO} + \text{SiO}_2$	$2\text{Mg}^{2+} + \text{Si}^{4+} + 4\text{O}^{2-}$

olivín $(\text{Mg,Fe})_2 [\text{SiO}_4]$ minerál složený ze dvou složek

forsterit Mg_2SiO_4

fayalit Fe_2SiO_4

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

$[\text{SiO}_4]$ - aniontová skupina

2. Co je minerál? - Prvky v minerálech

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

kationy

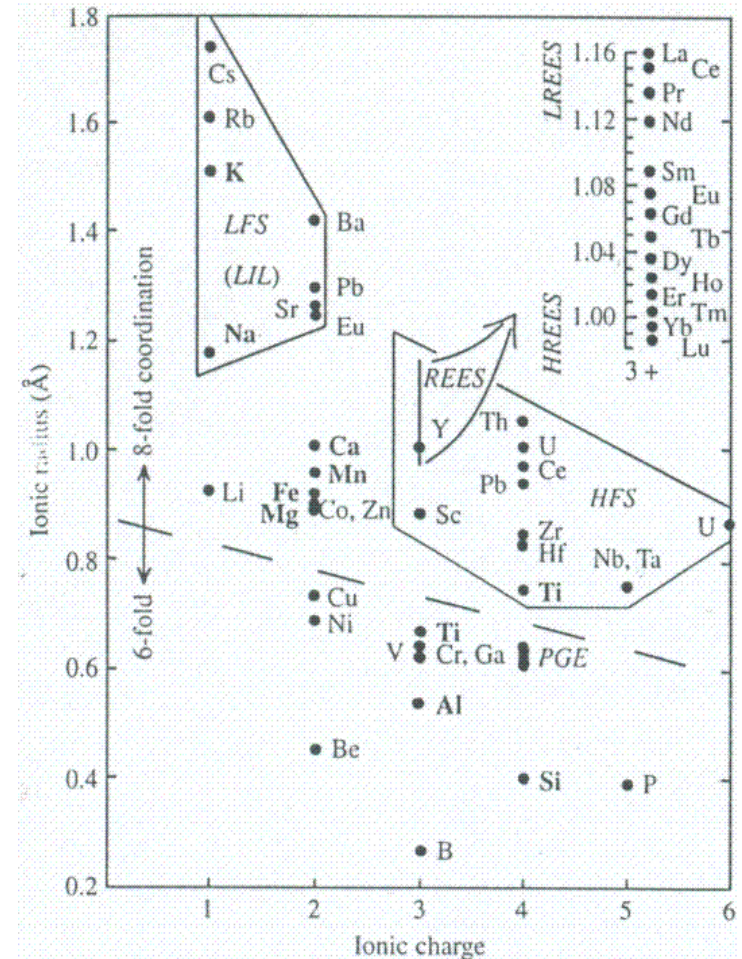
relativně malý iontový poloměr,
elektropozitivní

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

- aniony*

relativně velký iontový poloměr,
elektronegativní,

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



3. Osnova studia - fyzikální a chemické vlastnosti minerálů

Krystalová struktura

Morfologická krystalografie

Fyzikální vlastnosti minerálů

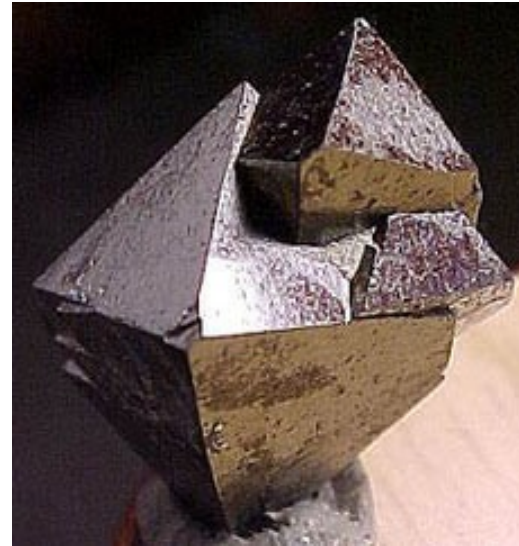
- mechanické (tvrdost, štěpnost)
- elektromagnetické
- optické (barva, pleochroismus)
- hustota
- radioaktivita

Chemické vlastnosti minerálů

- chemické složení
- rozpustnost v jiných látkách (např. H_2O)

Metody studia minerálů

Stabilita minerálů v systémech



Magnetit

3. Osnova studia - mineralogický systém

- Minerály jsou pro větší přehlednost členěny do mineralogického systému. Základními vlastnostmi pro členění jsou
 - chemické složení minerálů
 - krystalová struktura (vnitřní stavba)
- Prvky Au, Cu, Ag, S, C
- Sulfidy (sirníky) PbS, ZnS, FeS₂, MoS₂,
- Halovce NaCl, CaF₂
- Oxidy a hydroxidy (kysličníky) SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃
- Karbonáty (uhličitan) CaCO₃
- Sulfáty (sírany) BaSO₄
- Fosfáty (fosforečnany) Ca₅(PO₄)₃ F
- Silikáty (křemičitany) Mg₂SiO₄, Al₂SiO₅
- Organické minerály CaC₂O₄ · H₂O



3. Osnova studia - nástin procesů vzniku minerálů

Ke vzniku minerálů vedou velmi rozmanité procesy. Dnes zjišťujeme, že vliv člověka na tyto procesy je důležitý a na tomto základě je dělíme na:

- Přírodní (bez vlivu člověka na proces vzniku a zahrnují všechny geologické objekty).
- Umělé (ovlivněné člověkem)

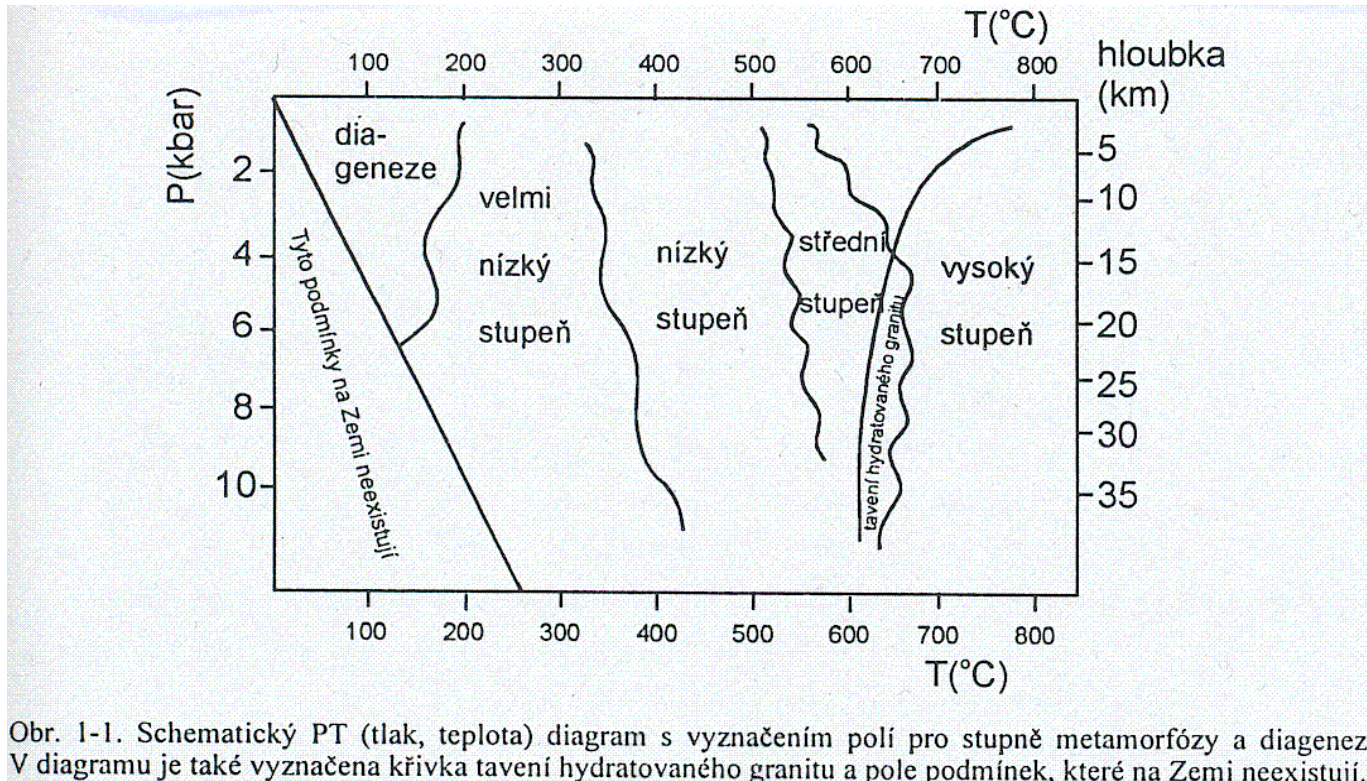
Nás budou zajímat především přírodní procesy, i když význam procesů ovlivněných člověkem výrazně vzrůstá.



Černá v Pošumaví – provrásněné polohy mramorů (světlé) a rul

3. Osnova studia - nástin procesů vzniku minerálů

Geologické procesy mají určitou pozici v rámci vývoje zemské kůry, popř. svrchního pláště, kterou můžeme znázornit např. v tzv. PT diagramu nebo geologických řezech zemské kůry.



Obr. 1-1. Schematický PT (tlak, teplota) diagram s vyznačením polí pro stupně metamorfózy a diagenezi. V diagramu je také vyznačena křivka tavení hydratovaného granitu a pole podmínek, které na Zemi neexistují.

3. Osnova studia - nástin procesů vzniku minerálů

- podle způsobu vzniku se geologické procesy nejčastěji člení na:

a) magmatické (vyvřelé)

vznikají utuhnutím taveniny magmatu za vysoké teploty

- horniny: žula, čedič

b) metamorfní (přeměněné)

vznikají krystalizací v pevném stavu za vyšších teplot a tlaků

- horniny: svor, rula

c) sedimentární (usazené)

vznikají poblíž zemského povrchu většinou na dně vodních nádrží za teplot blízkých povrchu

- horniny: pískovec, vápenec

d) hydrotermální

vznikají krystalizací z roztoků a fluid za vyšších teplot

- rudní žíly např. s galenitem (ruda Pb a Ag)

- greisen (rudy Sn, W)

- hydrotermální pochody (působení horké vody a fluid) také mohou rozkládat starší minerály

3. Osnova studia - nástin procesů vzniku minerálů

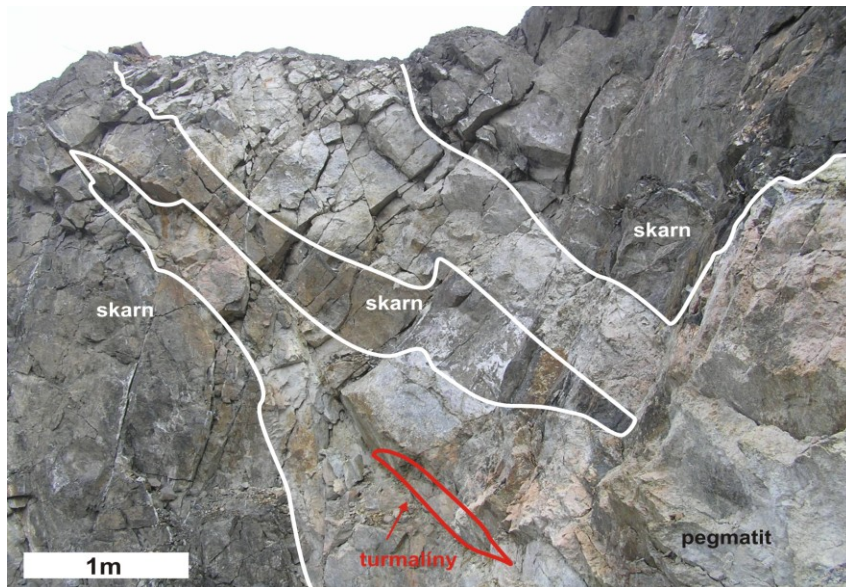
Příklad magmatické a metamorfované horniny - petrologie

Pegmatit - žilná magmatická hornina složená z křemene, živce a dalších minerálů

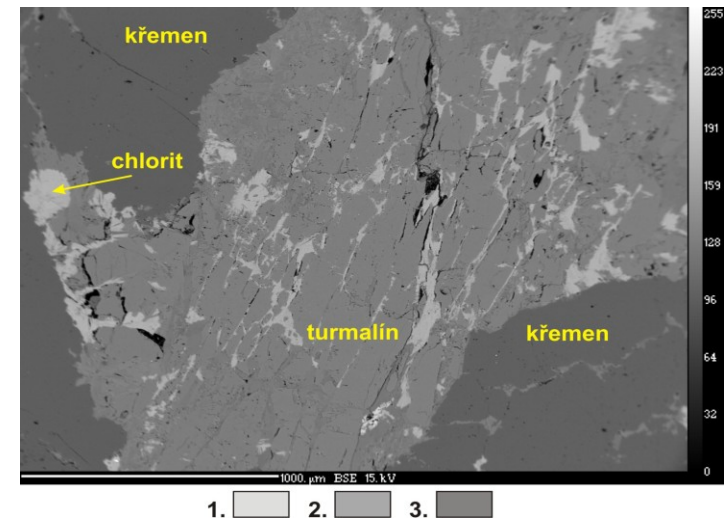
Skarn – metamorfovaná hornina složená z granátu a pyroxenu

Turmalín – minerál se vzorcem $(\text{Na,Ca})(\text{Fe,Mg})_3\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH,F})_4$

Chlorit – minerál se vzorcem $(\text{Fe,Mg,Al})_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ vzniká alterací turmalínu



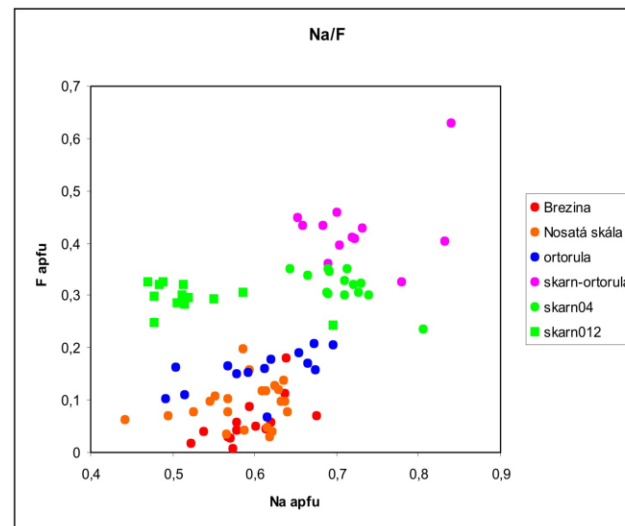
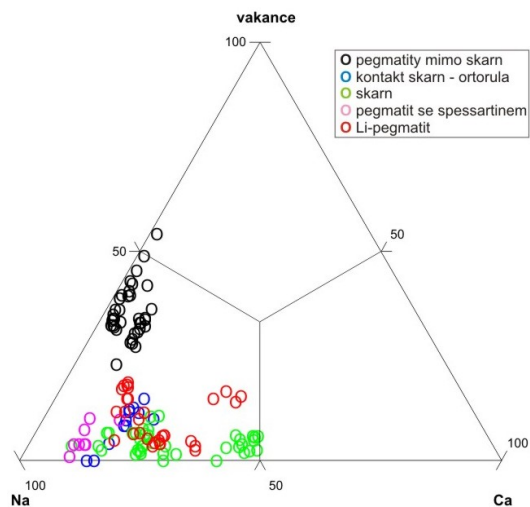
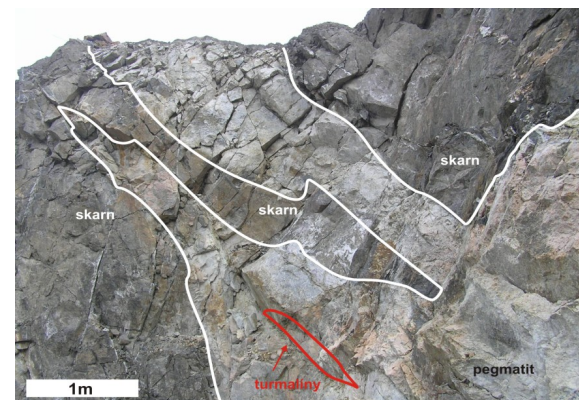
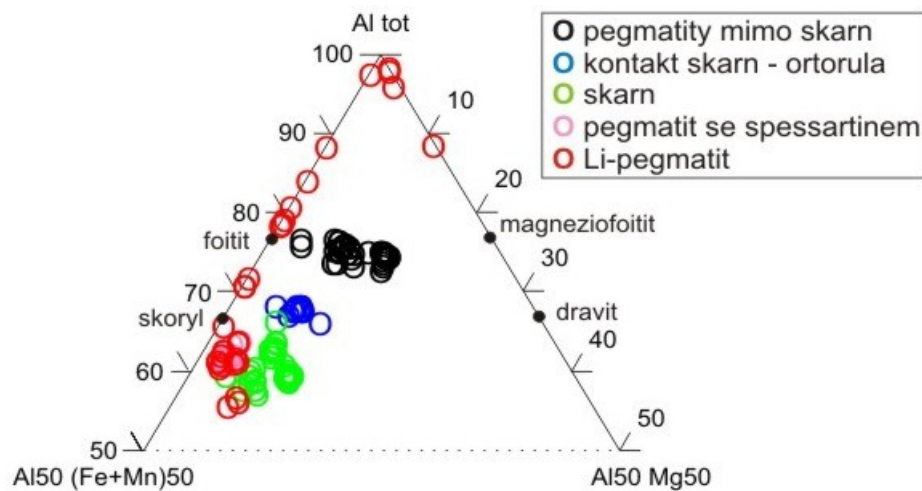
Vlastějovice - lomová stěna



minerály v elektronové mikrosondě
– výbrus, Vlastějovice

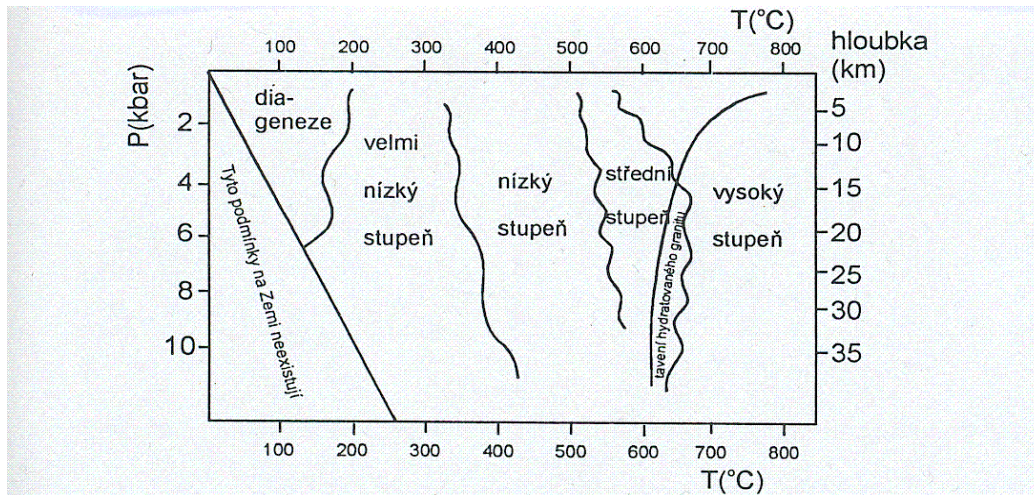
3. Osnova studia - nástin procesů vzniku minerálů

Příklad magmatické a metamorfované horniny - geochemie

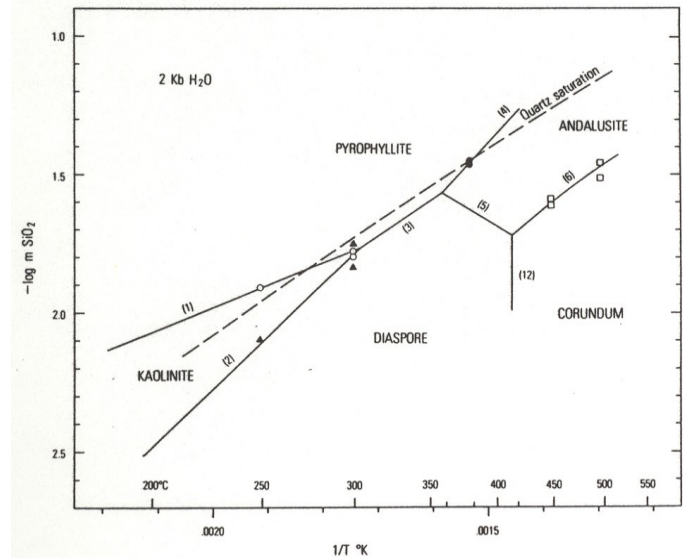


3. Osnova studia - nástin procesů vzniku minerálů

- Minerály vznikají v širokém rozpětí podmínek (teplota, tlak, aktivita fluid).
- Za nejvyšších teplot vznikají hlavně minerály bez H_2O – např. olivín, pyroxen a najdeme je často v horninách z pláště.
- Za nižších teplot vznikají minerály obsahující malé množství H_2O – např. amfiboly a slídy a najdeme je hlavně v horninách zemské kůry.
- Za teplot blízkých povrchu vznikají minerály obsahující malé množství H_2O – např. jílové minerály, sírany aj.

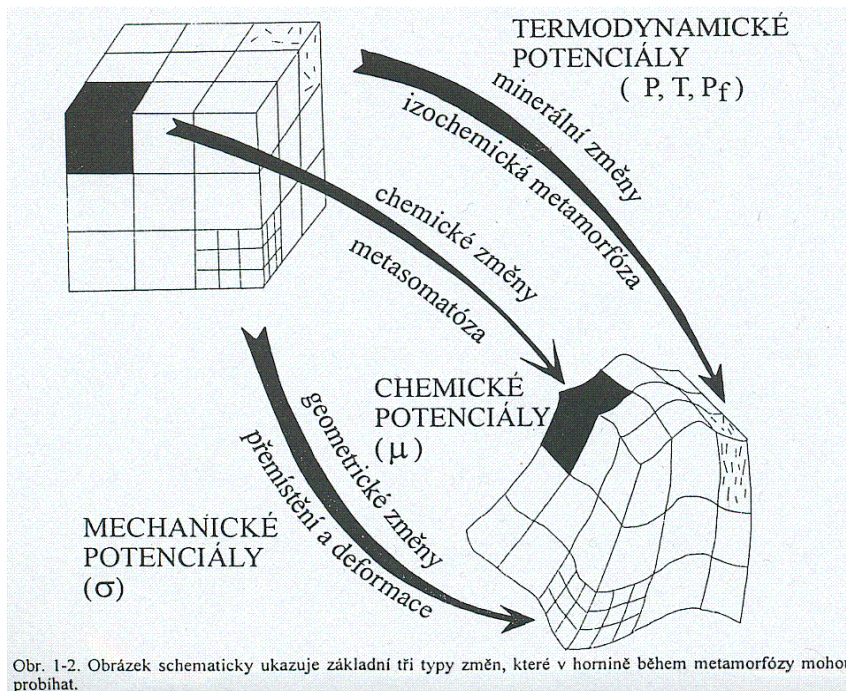


Obr. 1-1. Schematický PT (tlak, teplota) diagram s vyznačením polí pro stupně metamorfózy a diagenezi. V diagramu je také vyznačena křivka tavení hydratovaného granitu a pole podmínek, které na Zemi neexistují.



$T-a_{SiO_2}$ diagram (Hemley et al. 1980).

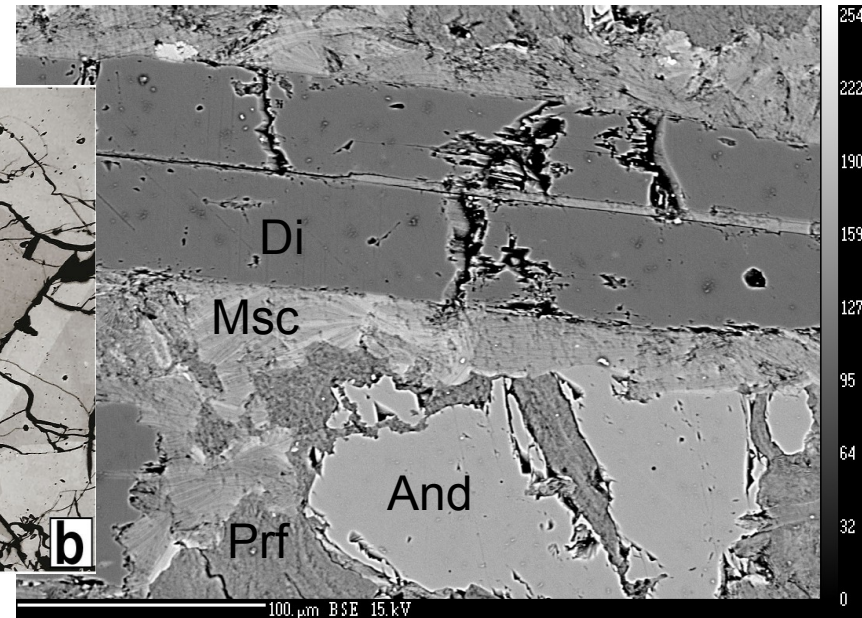
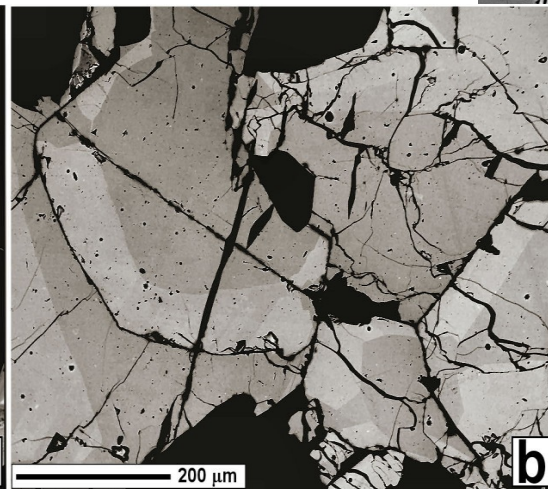
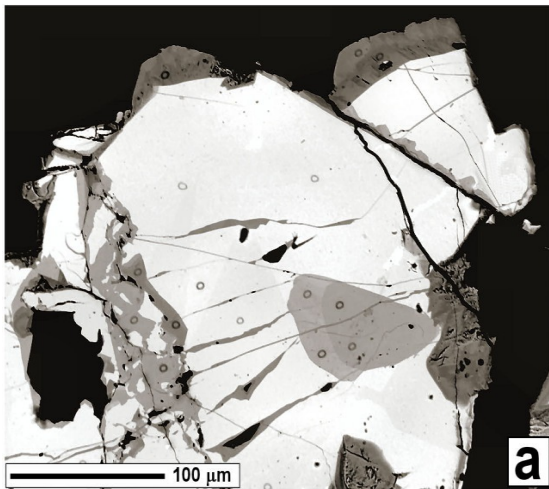
3. Osnova studia - nástin procesů vzniku minerálů



- Příklad změn pro metamorfovaného horniny
- Změny stavby
- Změna mineralogického složení
- Změna chemického složení

3. Osnova studia - nástin procesů vzniku minerálů

- Při studiu jsou velmi důležité vztahy mezi minerály.
- Minerály mohou vznikat při více procesech, které po sobě následují, takže jsou různého stáří.
- Velmi důležité je studium minerálů ve výbrusech, kde lze vztahy mezi minerály nejlépe rozpoznat.

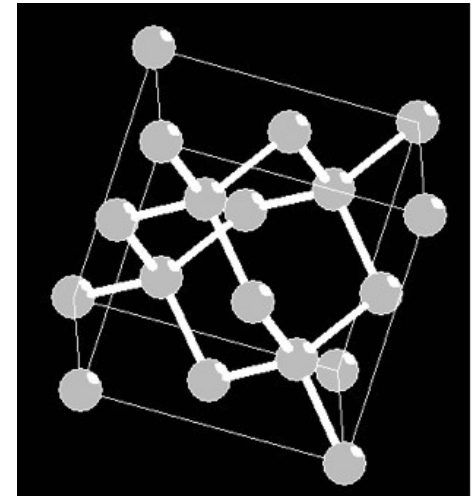
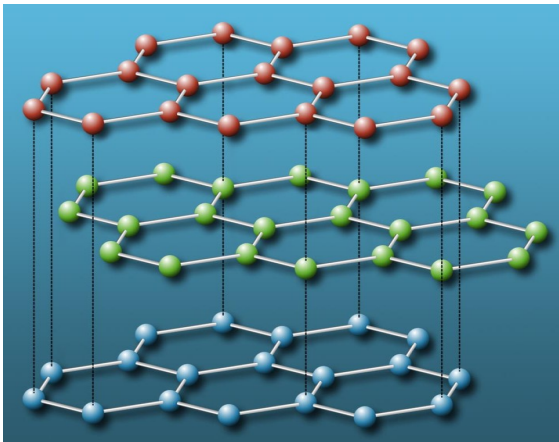


Komplikované vztahy mezi minerály

4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Prvky

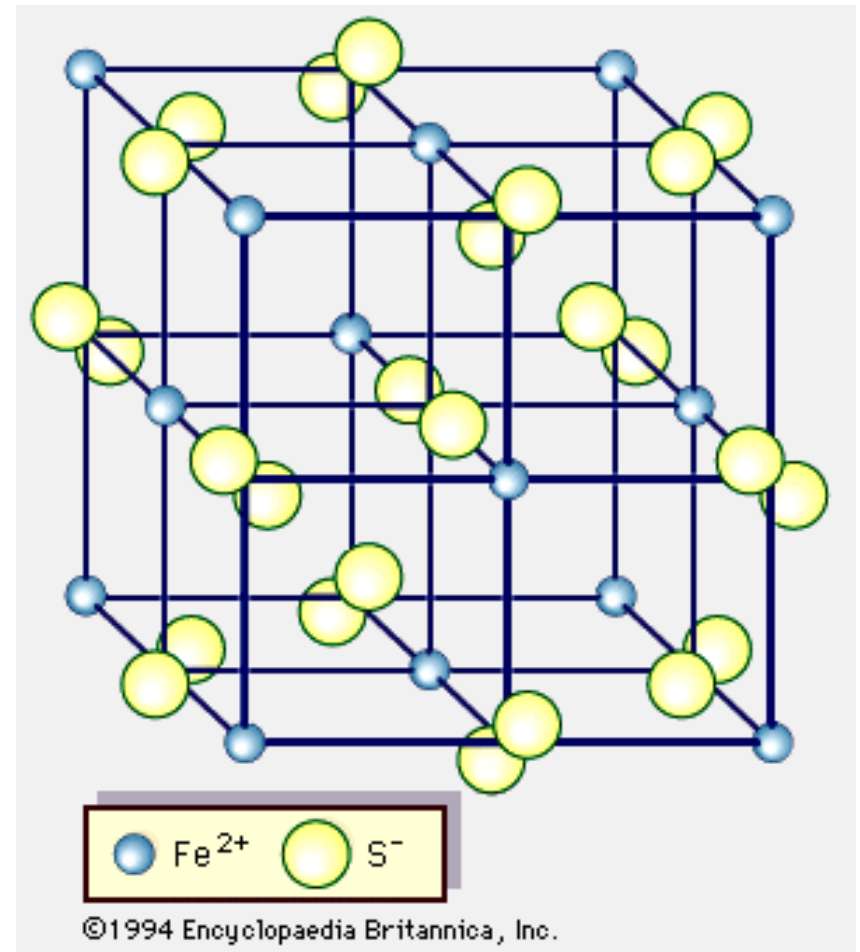
Grafit C - vyskytuje se v horninách kůry

Diamant C - vyskytuje se v horninách pláště



4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Sulfidy

- Pyrit FeS_2 – běžný v různých typech hornin



4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Oxidy

Křemen SiO_2 – nejrozšířenější minerál v zemské kůře, velmi hojný v různých typech hornin s vysokým obsahem SiO_2

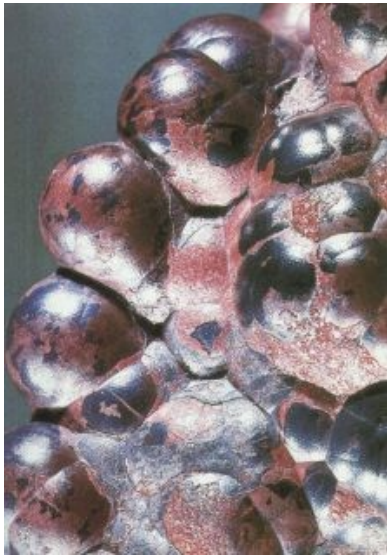
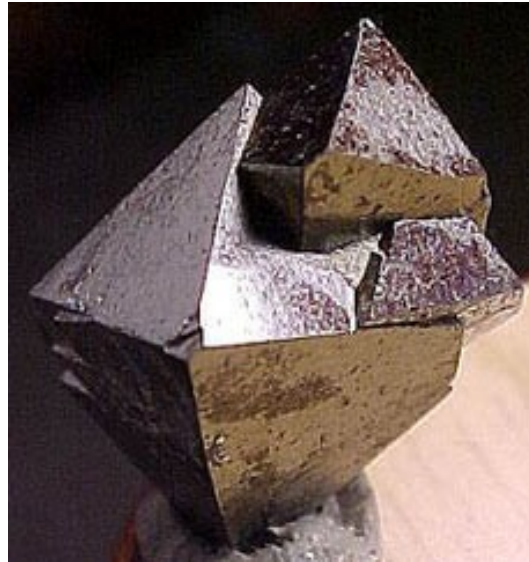


4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Oxidy

Hematit Fe_2O_3

Magnetit $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

Limonit $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$



4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Karbonáty

Kalcit CaCO_3

Dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

vyskytují se hlavně v horninách při povrchu zemské kůry



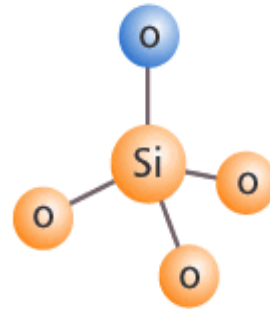
4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Silikáty

- 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.

tetraedry SiO_4^{4-} + kationty kovů (Ca, Mg, Na)

mohou se spojovat (mají společný kyslík) – pak se zmenšuje počet volných vazeb

Si^{4+} může být v tetraedru nahrazen Al^{3+} .



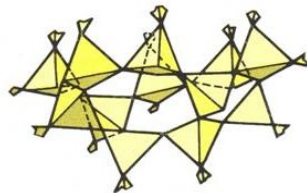
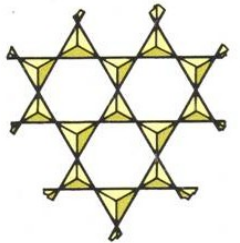
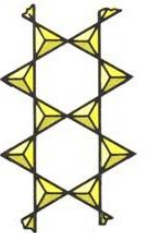
4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Silikáty

nesosilikáty - tetraedry izolované
– olivín, granáty

inosilikáty - tetraedry spojené do řetězců
– pyroxeny, amfiboly

fylosilikáty - tetraedry propojené v ploše
– slídy

tekto-silikáty - tetraedry tvořící prostorovou kostru
– živce, foidy, zeolity, křemen



4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Skupina olivínu



Obecný vzorec M_2SiO_4

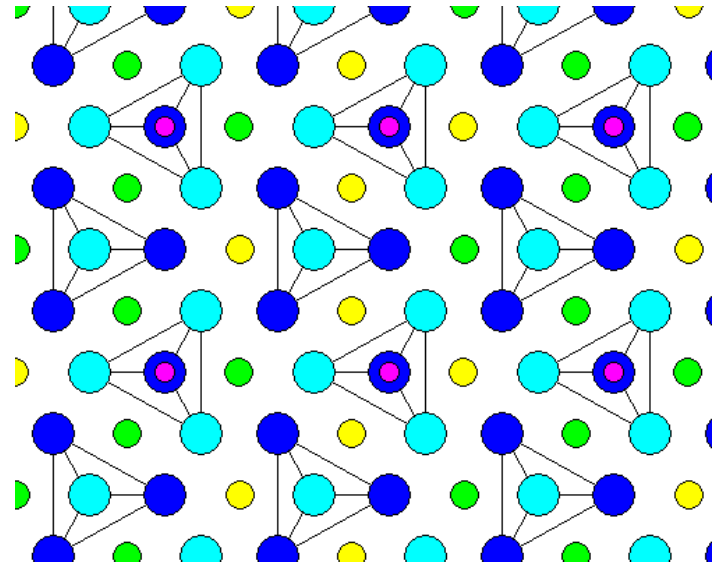
$\text{M} = \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}$

Forsterit Mg_2SiO_4

Fayalit Fe_2SiO_4



- hlavní minerál hornin svrchního pláště



4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Skupina granátu

• Obecný vzorec $A_3B_2(SiO_4)_3$

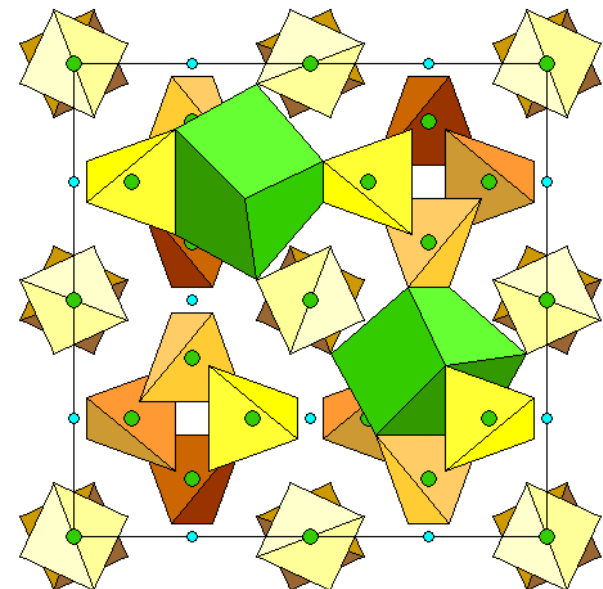
A = Fe^{2+} , Mn, Ca, Mg

B = Al, Fe^{3+}

Velmi variabilní složení

Pyrop $Mg_3 Al_2 Si_3 O_{12}$ horniny pláště

Almandin $Fe_3 Al_2 Si_3 O_{12}$ metamorfované horniny kůry



4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Skupina Al_2SiO_5

- Minerály této skupiny mají stejné chemické složení, ale liší se strukturou a podmínkami vzniku.
- Sillimanit - jehlicovité až vláknité agregáty, metamorfované horniny
- Andalusit - sloupcovité krystaly, růžová až červenohnědá barva, metamorfované horniny z malých hloubek zemské kůry
- Kyanit- sloupcovité až tabulkovité krystaly, modrá až šedá barva, metamorfované horniny velkých hloubek zemské kůry
- Velmi důležité pro odhad podmínek vzniku (viz. Diagram)

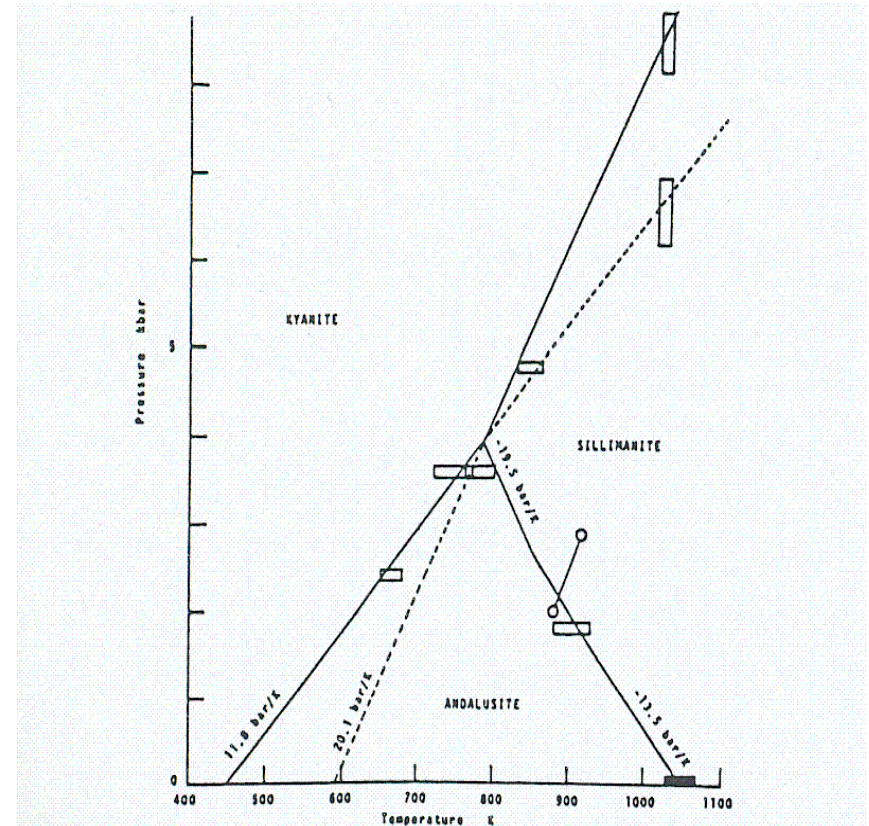
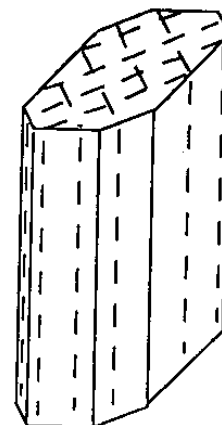
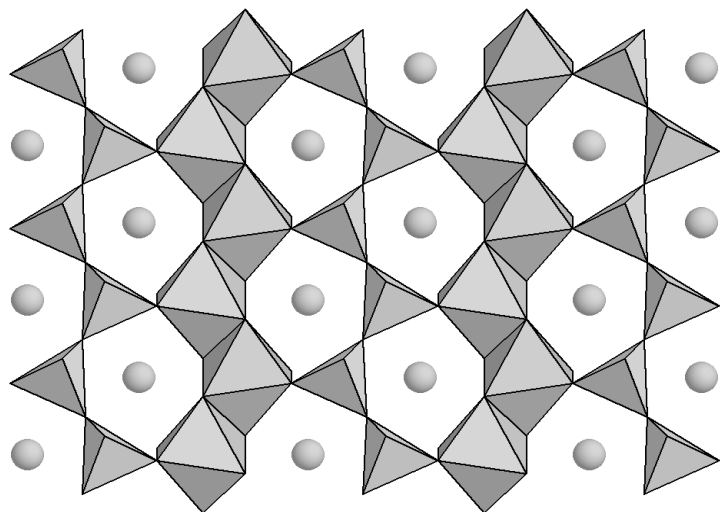


Figure 3.37. Phase equilibrium diagram showing experimental brackets for the Al_2SiO_5 equilibria (rectangles) and the univariant equilibria computed with the Clapeyron equation using entropies derived from the heat capacity measurements of Robie and Hemingway (1984). (From Robie and Hemingway, 1984, Fig. 5).

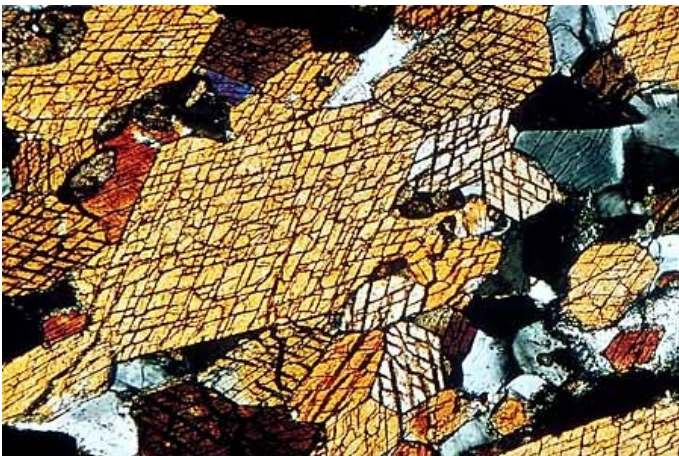
4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Skupina pyroxenu

- obecný vzorec $M_2M_1T_2O_6$
M2 = Mg, Fe²⁺, Ca, Na, Li
M1 = Mg, Fe²⁺, Mn, Al, Fe³⁺
Enstatit MgSi
Diopsid CaMgSi
Augit CaMgFe²⁺Si
- Výskyty: magmatické a metamorfované horniny pláště a kůry



4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Skupina amfibolu

- obecný vzorec: $AB_2C_5T_8O_{22}(OH)_2$
Antofylit MgSi
Tremolit CaMgSi
Aktinolit CaMgFeSi
- Výskyty magmatické a metamorfované
horniny kůry



4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - 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+}

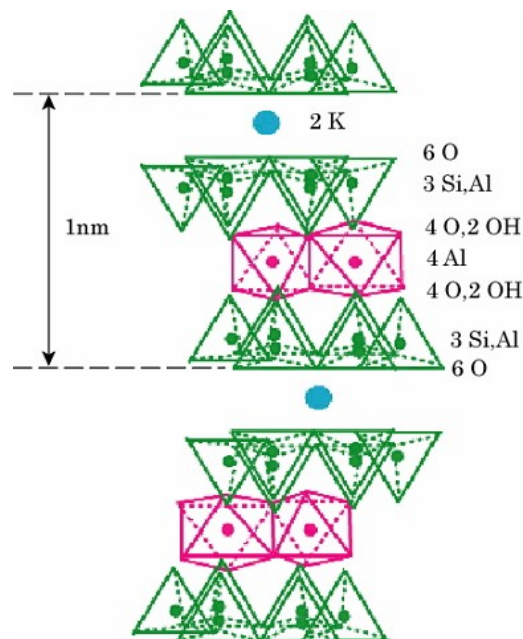
$T =$ Si, Al

Muskovit $KAISi$

Biotit $KFeMgSiAl$

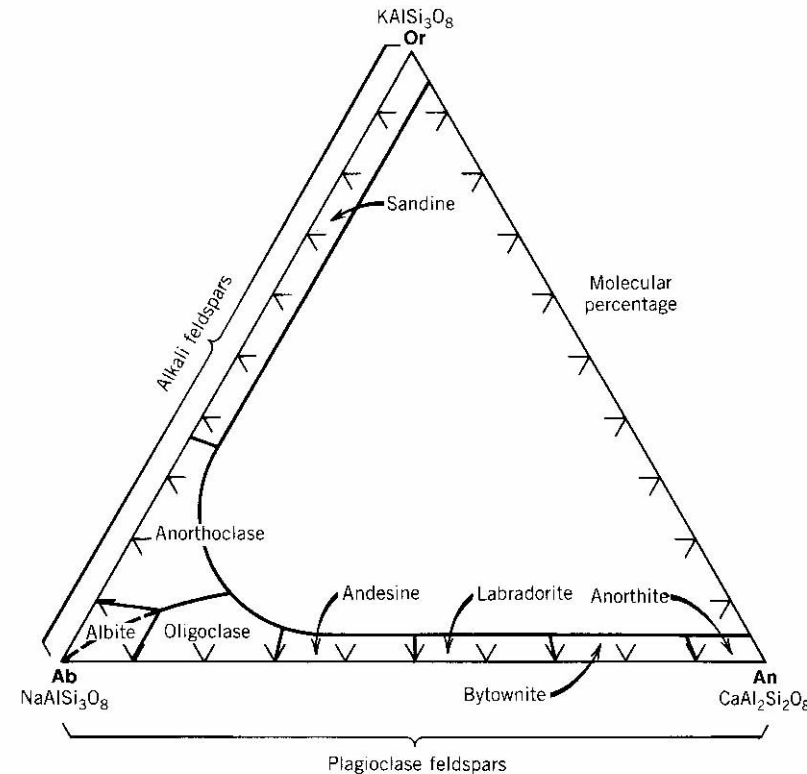
Flogopit $KMgSiAl$

- Vyskytují se magmatických, metamorfovaných a někdy i sedimentárních horninách.



4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Skupina živců

- Obecný vzorec AT_4O_8
A = Na, K, Ca
T = Si, Al
- Draselné živce (K-živce)
Sanidin, ortoklas, mikroclin
 $KAlSi_3O_8$
- Sodnovápenaté živce - plagioklasy:
Albit $NaAlSi_3O_8$
Anortit $CaAl_2Si_2O_8$
Existuje neomezená mísitelnost mezi albitem a anortitem, malá mezi K-živci a anortitem.



4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Skupina živců

- Nejrozšířenější horninotvorné minerály vyskytující se různých typech magmatických, metamorfovaných a někdy také sedimentárních hornin.

Granit

**K-živec - načervenalý, plagioklas
- bílý**



4. Úvod do mineralogického systému – horninotvorné minerály - Foidy a zeolity

- Tyto minerály mají podobné složení jako živce, ale v jejich struktuře se objevují další látky, např. Cl nebo S (foidy).

nefelín $\text{NaKAlSi}_3\text{O}_8$

sodalit $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{14}\text{Cl}$

leucit KAlSi_3O_8

nebo H_2O (zeolity)

analcim $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$

- Foidy se vyskytují v horninách spolu s živci ale bez křemene, zeolity vznikají za nízkých teplot později než živce.



leucit

5. Shrnutí

- Studium minerálů je nezbytné pro objasnění většiny geologických procesů.
- Důležité jsou zejména:
 - chemické složení minerálů
 - vztahy mezi minerály
- Úkolem našeho studia není pouhý popis minerálů, ten je jen prvním krokem, našim hlavním úkolem je poznání procesů prostřednictvím kvalitního popisu minerálů (hornin).

5. Shrnutí

A. Zdroje informací:

- a) Přednášky
- b) Příslušné texty dostupné na internetu PŘF MU (Autoři. Z. Losos, V. Vávra)
- c) Další informace na internetu, např.

<http://skripta.dictor.net/>

<http://webmineral.com/>

<http://www.mindat.org/>

- d) Knihy (viz. texty na internetu)

B. Požadavky na znalosti z jiných oborů zhruba v rozsahu výuky těchto předmětů na gymnáziích.

- a) Základy matematiky
- b) Základy fyziky
- c) Základy chemie, především anorganická chemie (je naprosto!!! nutné znát chemické značky vybraných prvků, jejich mocenství (H až Y, dále REE)

C: Kontrola znalostí:

- a) Průběžné testy
- b) Zápočet
- c) Písemná zkouška