Úvod do geologie
- část mineralogie

Prof. RNDr. Milan Novák, CSc.

Osnova

1. Význam minerálů
2. Co je minerál?
3. Mineralogický systém
4. Hlavní horninotvorné minerály
5. Nástin procesů vzniku minerálů

Úvod

- Minerály (nerosty) jsou základními stavebními jednotkami v různých typech hornin (žula, čedič), ložisek nerostných surovin a také řady technických hmot (betony).

- Proto je studium minerálů základem pro většinu geologických disciplín.

- 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.

Příklady

- 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.

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.

Krystalochemický vzorec

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

kalcit	$CaCO_3$	$CaO + CO_2$	$Ca^{2+}+C^{4+}+3O^{2-}$
forsterit	Mg_2SiO_4	$2MgO+SiO_2$	$2Mg^{2+}+Si^{4+}+4O^{2-}$

olivín $(Mg,Fe)_2\,[SiO_4]$ 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

$[SiO_4]$ - aniontová skupina

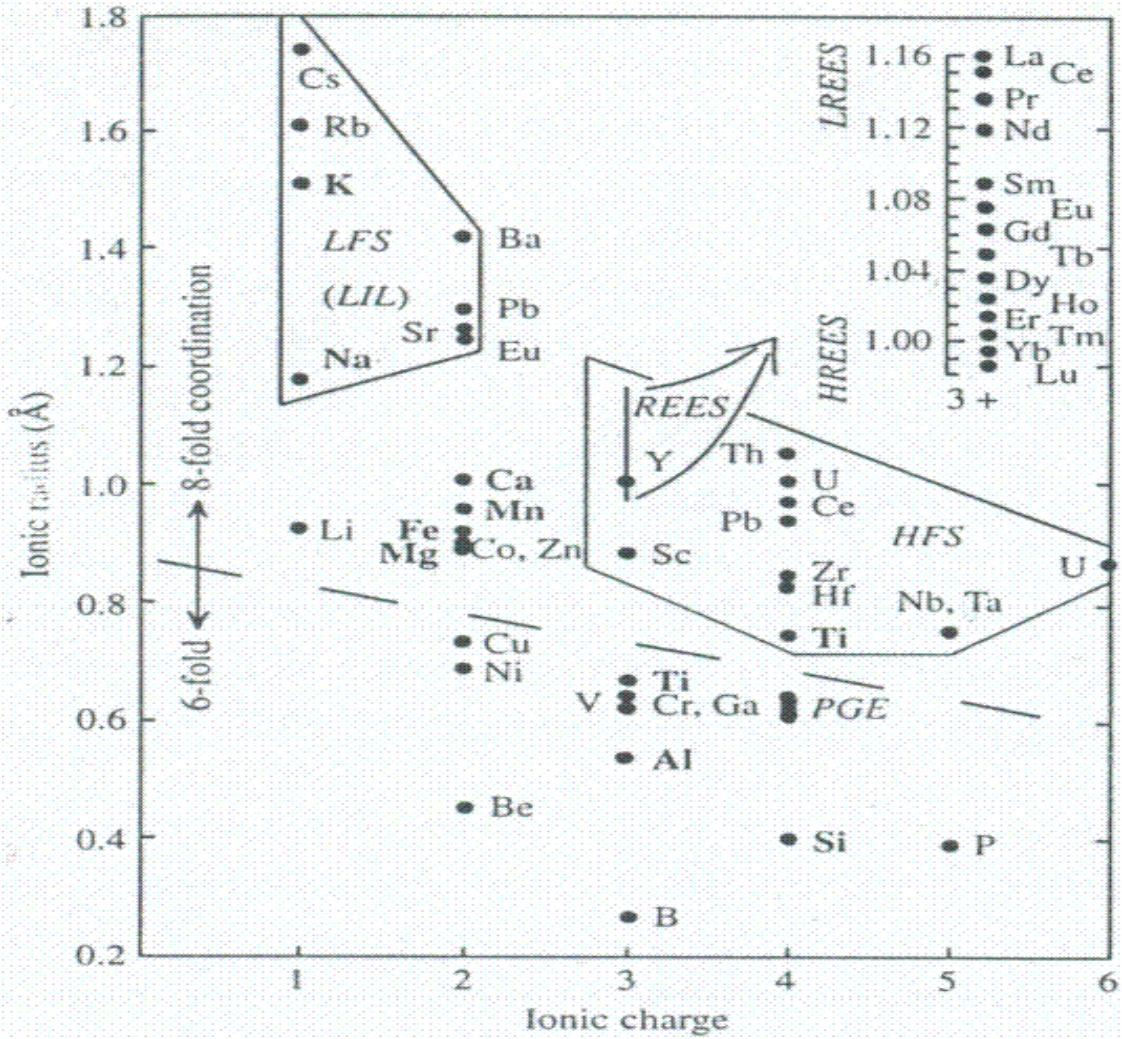
Prvky v minerálech

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

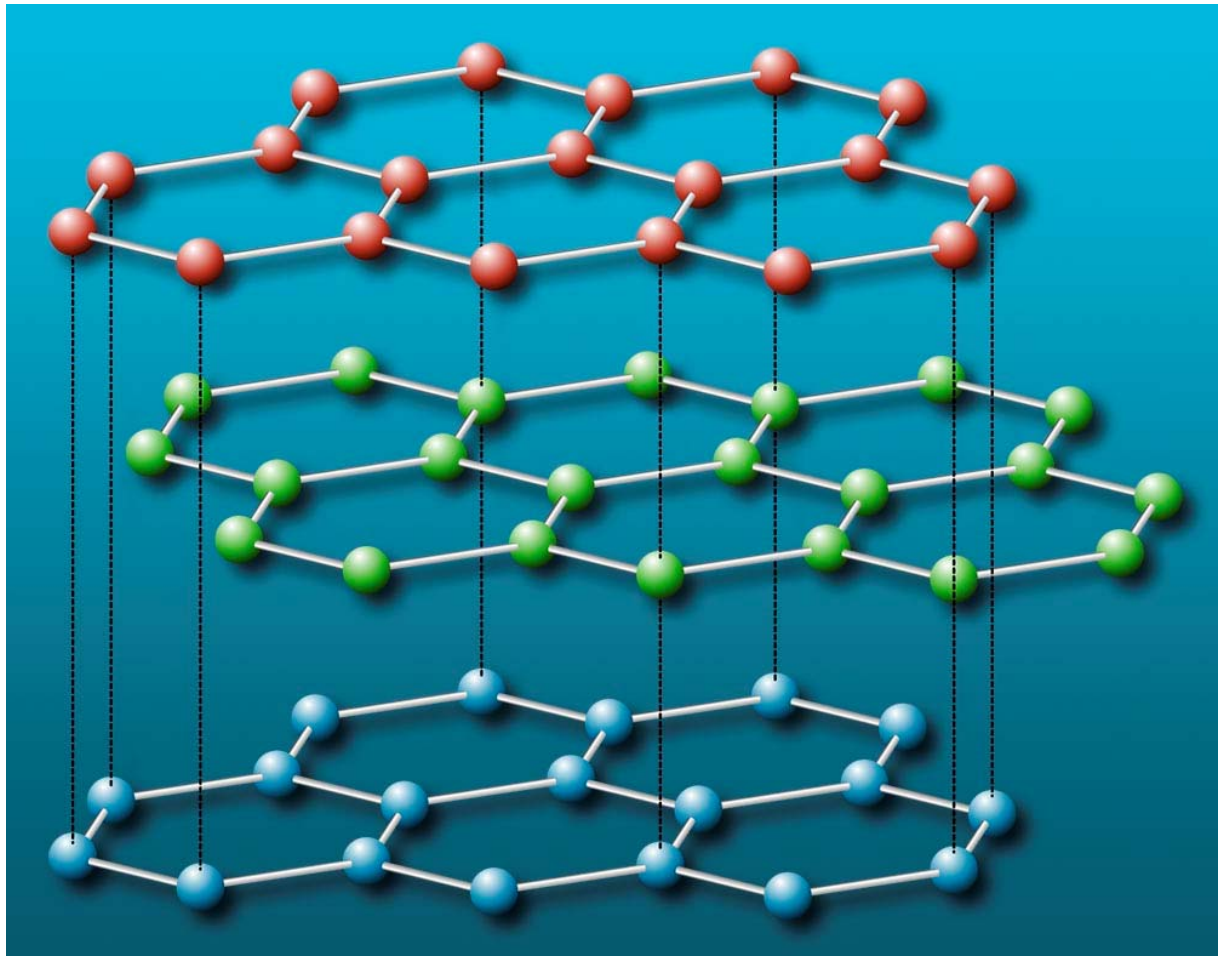
  - *aniony* (relativně velký iontový poloměr, elektronegativní, např. O^{2-}, F^{-}, Cl^{-}, S^{2-}, OH^{-}).

  - *kationy* (relativně malý iontový poloměr, elektropozitivní, např. Na^{+}, Mg^{2+} ,Al^{3+}, Si^{4+})

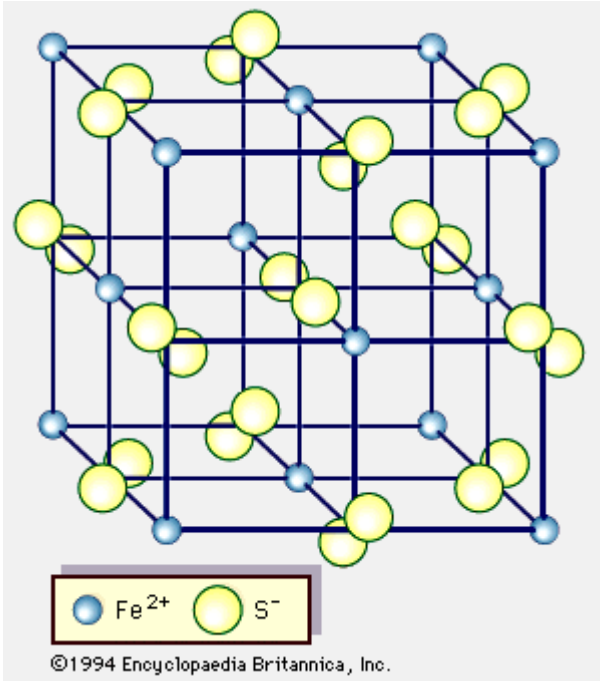
Velikosti kationů



Struktura grafitu C



Struktura pyritu FeS_2



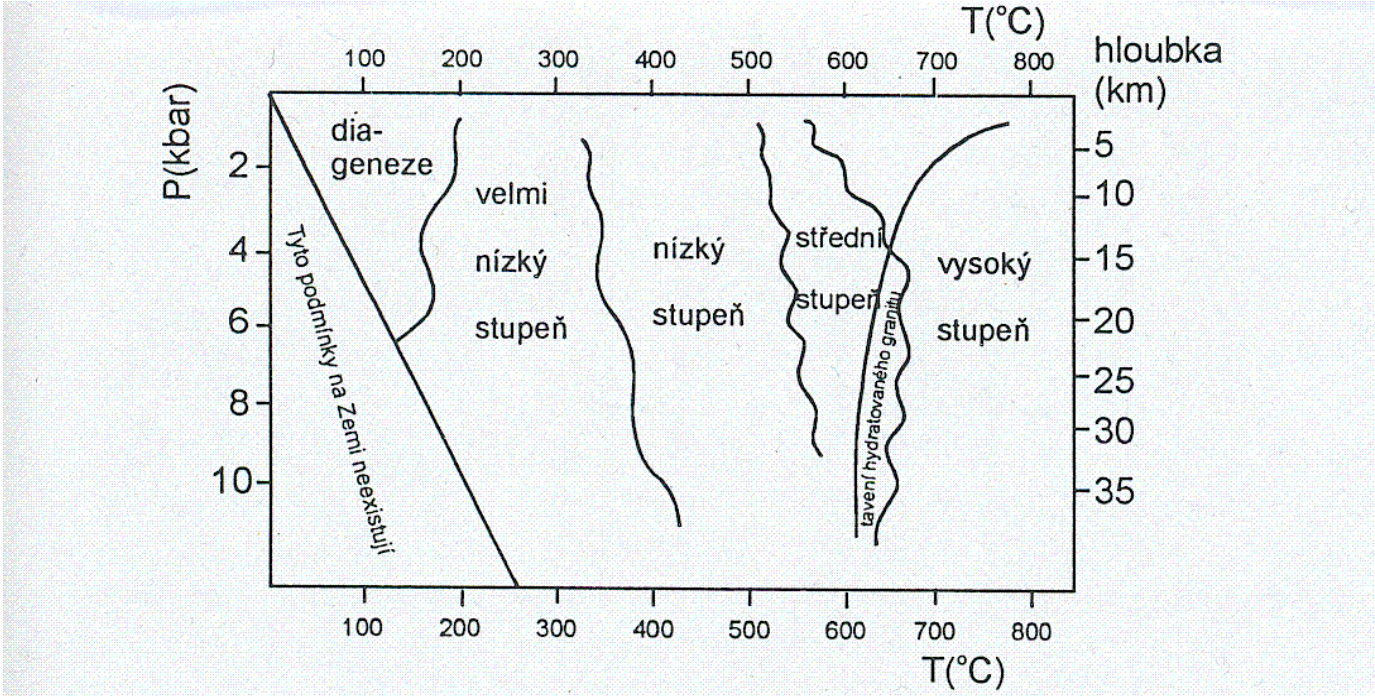
Procesy vedoucí ke vzniku minerálů – základní členění

- 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 v této přednášce zajímat pouze přírodní procesy, i když význam procesů ovlivněných člověkem výrazně vzrůstá a bude předmětem jiné přednášky.

Procesy I

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.

Procesy I

- podle způsobu vzniku se geologické procesy nejčastěji člení na:

  a) magmatické (vyvřelé) – horniny: žula, čedič

  b) metamorfní (přeměněné) - horniny: svor

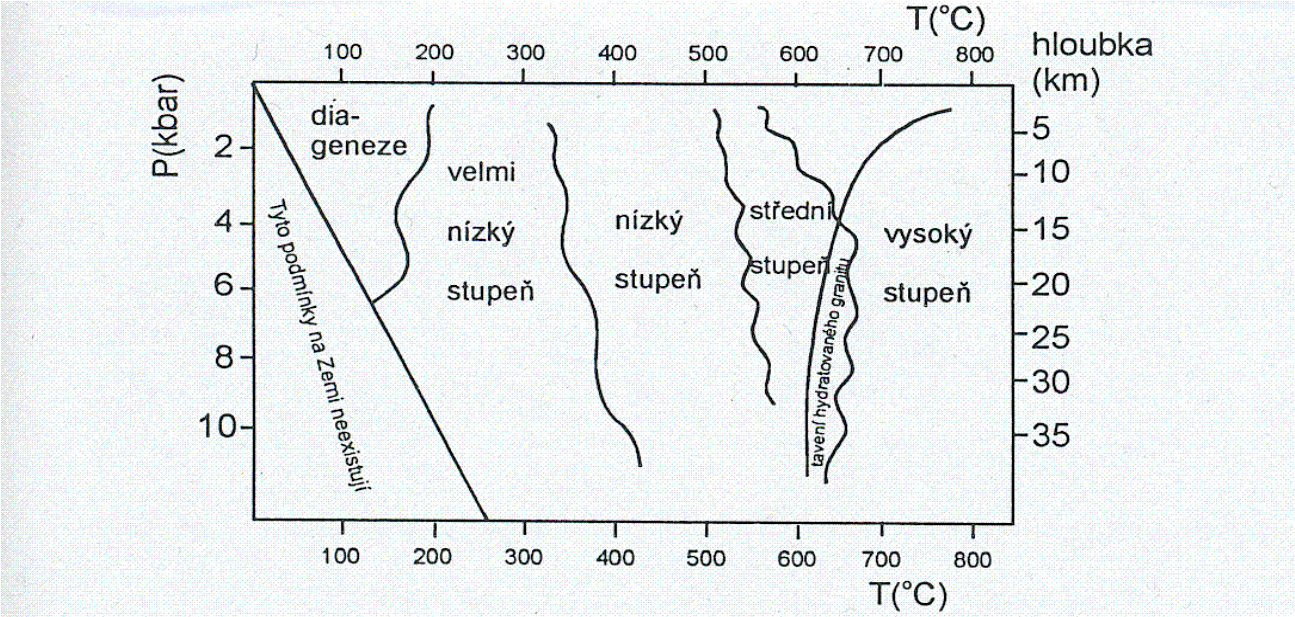
  c) sedimentární (usazené) - horniny: pískovec

  d) hydrotermální – rudní žíly např. s galenitem (ruda Pb a Ag)

  Tato přednáška bude zaměřena hlavně na a) a b).

Magmatické procesy

- Jedním ze základních procesů jsou magmatické procesy, kdy magmatické (vyvřelé) horniny vznikají utuhnutím (krystalizací) taveniny (magmatu). Podle místa vzniku a složení existuje velmi široká škála hornin a jejich studium je objektem magmatické petrologie.



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.

Metamorfní procesy

- Při metamorfních procesech dochází ke krystalizaci, tj. vzniku minerálů v pevném stavu za velmi širokých PTX podmínek v rámci zemské kůry i zemského pláště. V tomto případě nedochází většinou k velkým změnám chemického složení kromě odnosu H_2O.

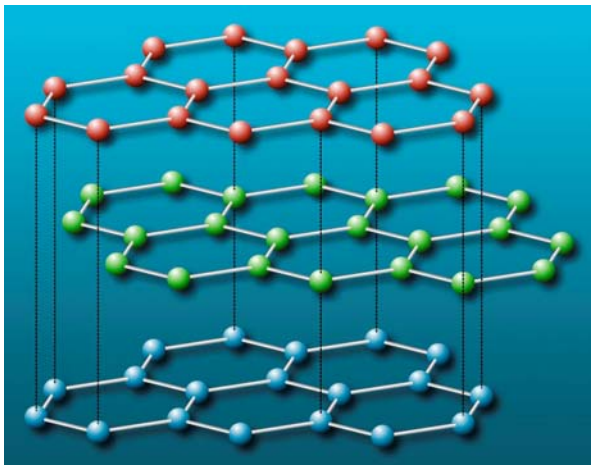
Mineralogický systém

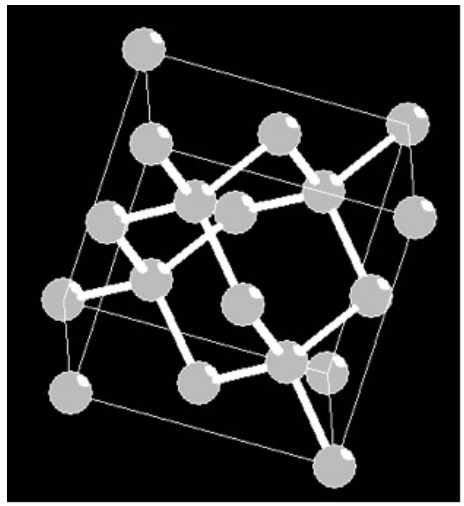
- Minerály jsou pro větší přehlednost členěny do mineralogického systému. Základní vlastnostmi jsou chemické složení minerálů a jeho krystalová struktura (vnitřní stavba).
- Prvky Au, Cu, Ag, S, C
- Sulfidy (sirníky) PbS, ZnS, FeS_2, MoS_2,
- Halovce NaCl, CaF_2
- Oxidy a hydroxidy (kysličníky) SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3
- Karbonáty (uhličitany) $CaCO_3$
- Sulfáty (sírany) $BaSO_4$
- Fosfáty (fosforečnany) $Ca_5(PO_4)_3$ F
- Silikáty (křemičitany) Mg_2SiO_4, Al_2SiO_5
- Organické minerály CaC_2O_4 . H_2O

Prvky

Grafit C - vyskytuje se v horninách kůry

Diamant C - vyskytuje se v horninách pláště

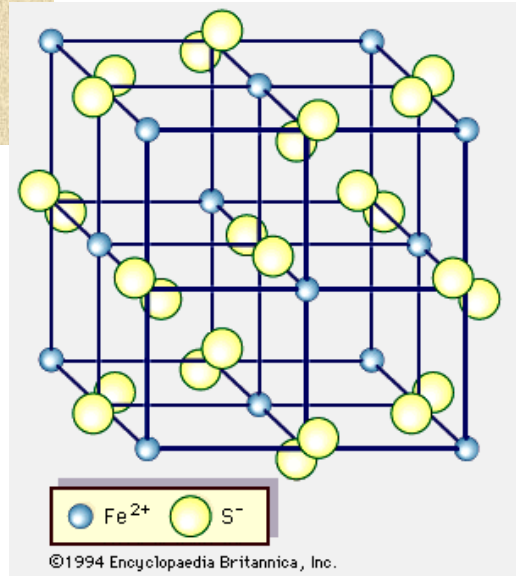




Sulfidy

Pyrit FeS_2

hojný v různých typech hornin



Galenit PbS

na ložiskách Pb,Zn rud

Oxidy

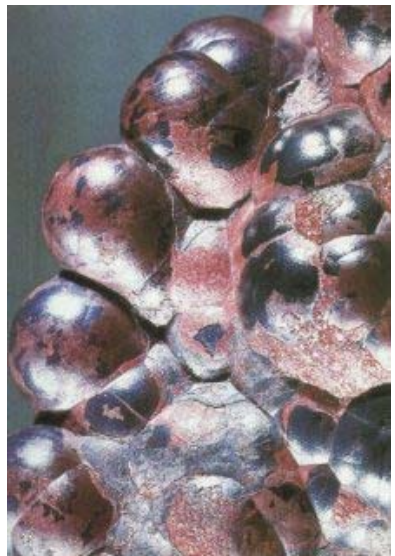
Křemen SiO_2 – nejrozšířenější minerál v zemské kůře, hojný v různých typech hornin s vysokým obsahem SiO_2

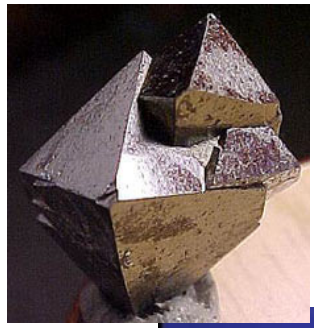
Oxidy

Hematit Fe_2O_3

Magnetit $FeO.Fe_2O_3$

Limonit $Fe_2O_3.nH_2O$





Karbonáty

Kalcit $CaCO_3$

Dolomit $CaMg(CO_3)_2$

vyskytují se hlavně v horninách při povrchu zemské kůry

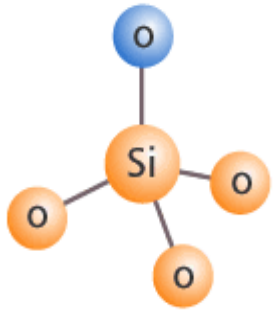
Silikáty

- 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+}.



Silikáty

- Členění silikátů podle uspořádání tetraedrů SiO_4

  nesosilikáty

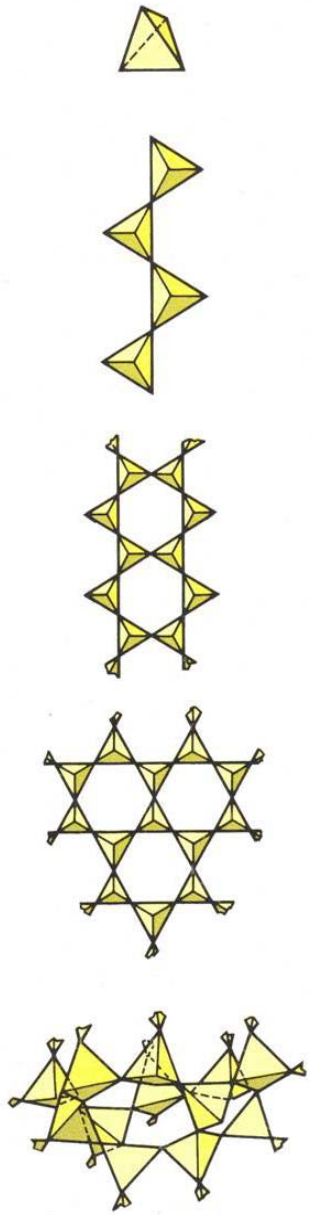
  sorosilikáty

  cyklosilikáty

  inosilikáty

  fylosilikáty

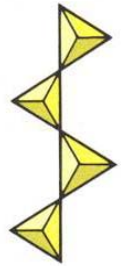
  tektosilikáty

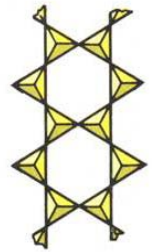


Silikáty

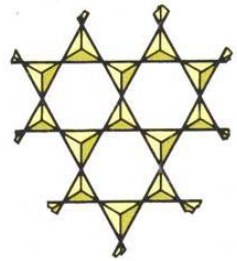
nesosilikáty - tetraedry izolované
– olivín, granáty

inosilikáty - tetraedry spojené do řetězců
– pyroxeny, amfiboly

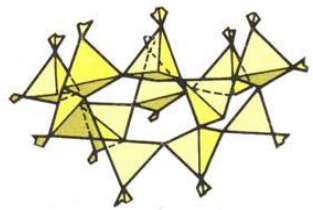




fylosilikáty - tetraedry propojené v ploše
– slídy



tektosilikáty - tetraedry tvořící prostorovou kostru
– živce, foidy, zeolity, křemen



Skupina olivínu

- $(Mg,Fe)_2SiO_4$

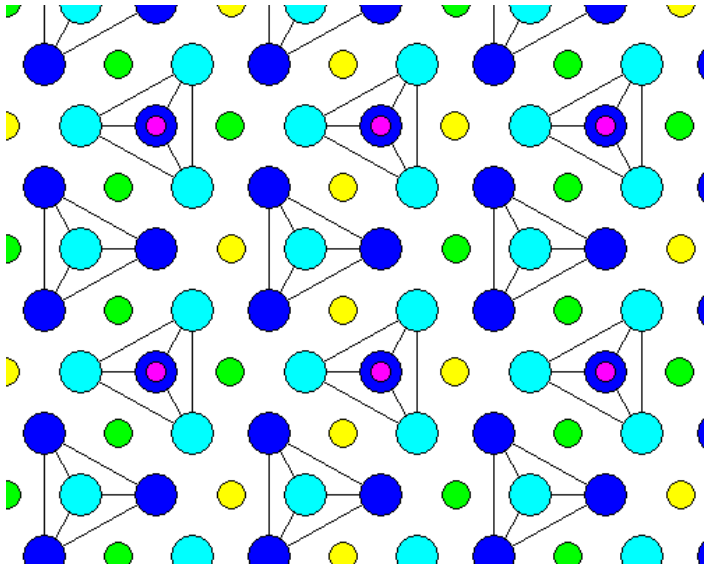
  Obecný vzorec M_2SiO_4

  M = Mg, Fe^{2+}

  Forsterit $Mg_2\,SiO_4$

  Fayalit $Fe_2\,SiO_4$

- hlavní minerál hornin svrchního pláště



Skupina granátu

- Obecný vzorec $A_3B_2(SiO_4)_3$

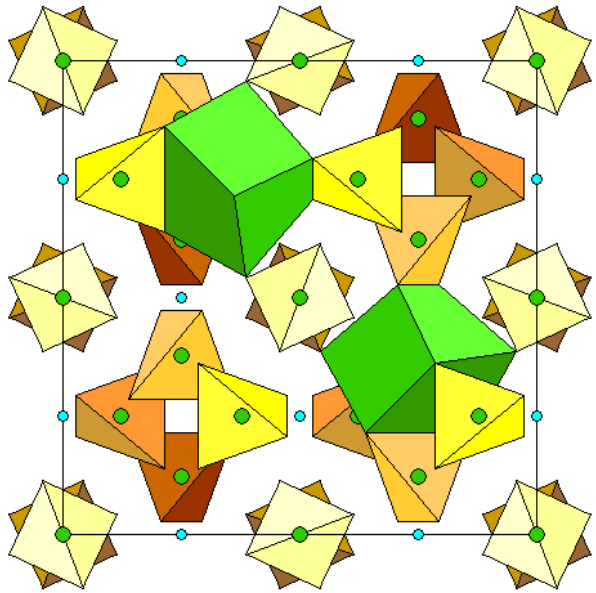
  A = Fe^{2+}, Mn, Ca, Mg

  B = Al, Fe^{3+}

  Velmi variabilní složení

  Pyrop $Mg_3\ Al_2Si_3O_{12}$ horniny pláště

  Almandin $Fe_3\ Al_2\ Si_3O_{12}$ metamorfované horniny kůry



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)

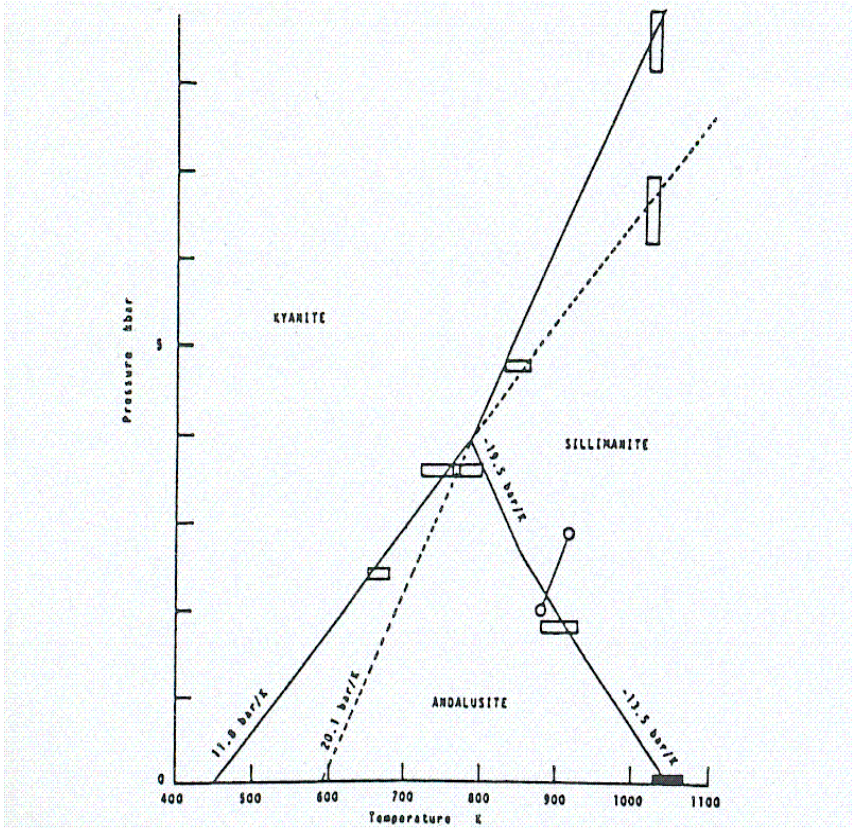
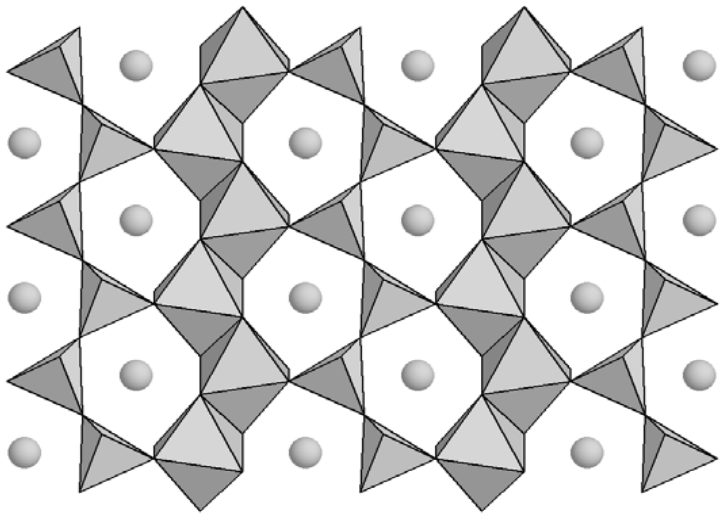
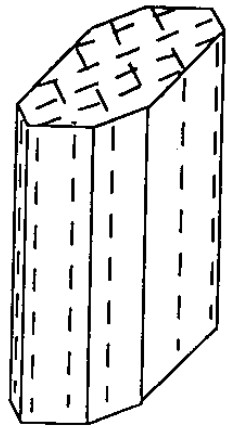


Figure 3.37. Phase equilibrium diagram showing experimental brackets for the Al_2SiO_5 equilibria (rectangles) and the univariant equilibria computed with the Clapeyron equation using entropies derived from the heat capacity measurements of Robie and Hemingway (1984). (From Robie and Hemingway, 1984,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

Skupina pyroxenu

- obecný vzorec $M2M1T_2O_6$
  M2 = Mg, Fe^{2+}, Ca, Na, Li
  M1 = Mg, Fe^{2+}, Mn, Al, Fe^{3+}
  Enstatit MgSi
  Diopsid CaMgSi
  Augit $CaMgFe^{2+}Si$
- Výskyty: magmatické a metamorfované horniny pláště a kůry





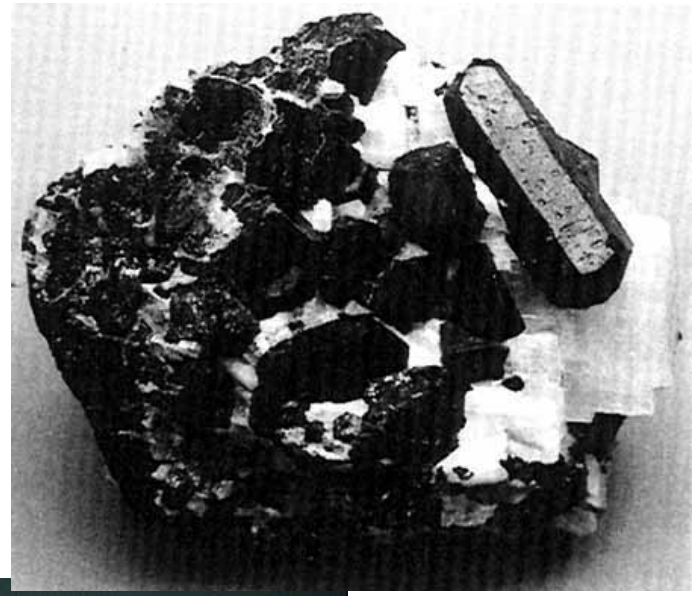
Skupina amfibolu

- obecný vzorec: $AB_2C_5T_8O_{22}\ (OH)_2$

  Antofylit MgSi

  Tremolit CaMgSi

  Aktinolit CaMgFeSi
- Výskyty magmatické a metamorfované horniny kůry



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+}

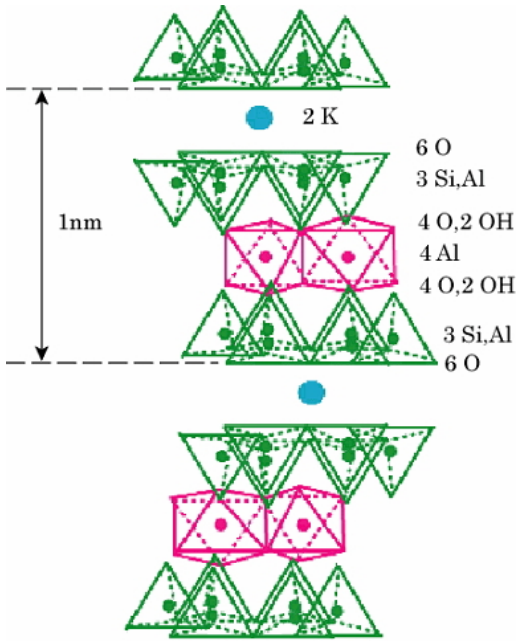
  T = Si, Al

  Muskovit KAlSi

  Biotit KFeMgSiAl

  Flogopit KMgSiAl

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

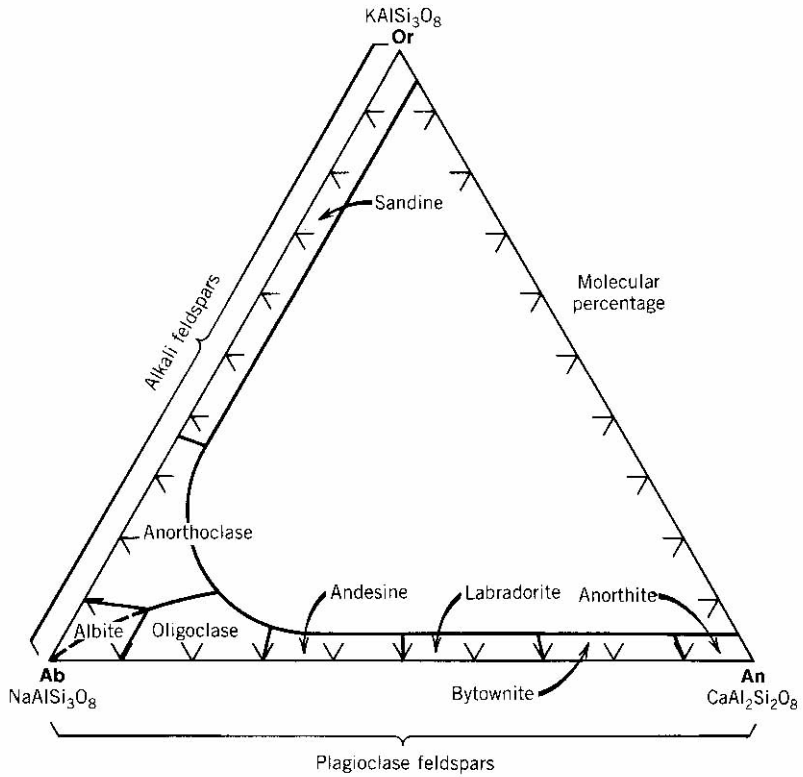


Skupina živců

- Obecný vzorec AT_4O_8
  A = Na,K,Ca
  T = Si,Al

- Draselné živce (K-živce)
  Sanidin, ortoklas, mikroklin
  $KAlSi_3O_8$

- Sodnovápenaté živce - plagioklasy:
  Albit $NaAlSi_3O_8$
  Anortit $CaAlSi_3O_8$
  Existuje neomezená mísitelnost mezi albitem a anortitem, malá mezi K-živci a anortitem.

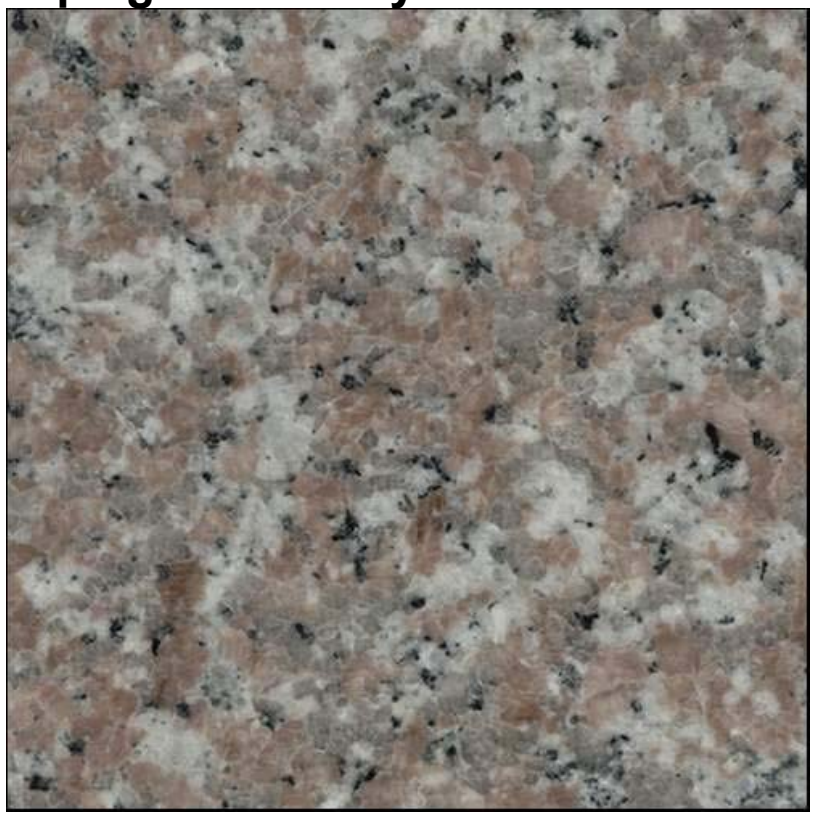


Skupina živců

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

Granit

K-živec - načervenalý, plagioklas - bílý



Foidy a zeolity

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

  nefelín NaKAlSi

  sodalit NaAlSiCl

  leucit KAlSi

  nebo H_2O (zeolity)

  analcim NaAlSi,H_2O
- Foidy se vyskytují v horninách spolu s živci ale bez křemene, zeolity vznikají za nízkých teplot později než živce.

leucit

Procesy II

- 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 H_2O – např. amfiboly a slídy a najdeme je hlavně v horninách zemské kůry.

Procesy II

- 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.

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).