

# *Mineralogie II*

*Milan Novák*

*Ústav geologických věd, PřF MU v Brně*

## **Vznik minerálů - úvod**

Ke vzniku minerálů vedou velmi rozmanité procesy. Minerály skládají různé typy magmatických, metamorfovaných i sedimentárních hornin, ložisek nerostných surovin a také řady technických hmot. Proto je mineralogie základem většiny geologických disciplín snad s výjimkou paleontologie a historické geologie.

**Příklady:**

**Petrologie** – s výjimkou přírodních skel a některých organických látek jsou horniny složeny výhradně z minerálů. Mineralogické složení hornin závisí na celkovém chemickém složení a na PTX-podmínkách, tj. stabilitě jednotlivých minerálů a minerální asociací. Bez dokonalé znalosti mineralogie nemohou být petrologické závěry dostatečně věrohodné.

**Geochemie** – chování chemických prvků při geologických procesech je ovlivněno především charakterem vazby těchto prvků v minerálních fázích a jejich stabilitě v různých PTX-podmínkách. Bez dokonalé znalosti mineralogie poskytuje geochemie jen část informací o chování prvků během geologického vývoje.

**Strukturní geologie** – mechanické chování hornin závisí na mechanickém chování jednotlivých minerálů za různých PTX-podmínek a na stavbě horniny. Struktura minerálů zásadně ovlivňuje mechanické vlastnosti hornin.

*Proč a za jakým účelem studujeme minerály?*

Zjednodušeně dnes existují dva přístupy ve studiu minerálů:

- a) minerál jako pevná fáze - využívají se metody studia fyziky pevné fáze (krystalografie, spektroskopie, různé metody chemické analýzy, jiné

experimentální metody) a výsledkem studia je detailní charakteristika fyzikálních a chemických vlastností minerálů a jejich chování v různých PTX-podmínkách bez přímého vztahu ke geologickému vývoji nějaké oblasti.

- b) minerál jako součást horniny – využívají se podobné metody, ale hlavním výsledkem studia je na základě znalostí o vlastnostech jednotlivých minerálů chování minerálu během geologických procesů a odvození PTX-podmínek vzniku (petrologie, geochemie). V tomto případě je výzkum většinou spojen s konkrétní geologickou oblastí.

## A. Členění procesů

Pro členění procesů vzniku minerálů můžeme použít mnoho hledisek, níže jsou uvedena jen některá z nich.

### 1. Vliv člověka

- Přírodní (bez vlivu člověka na proces vzniku).
- Umělé
  - řízené člověkem (výroba umělých minerálů)
  - ovlivňované člověkem (minerály na hořících haldách, zvětrávání hornin na historických stavbách, recentní sedimenty v oblastech s vysokou hustotou zalidnění a průmyslem).

### 2. Fyzikálně-chemický přístup

#### a) podle typu krystalizace minerálů

- z taveniny (magmatické horniny)
- z fluid (většinou vysokoteplotní metasomatické horniny např. skarny, greiseny, některé plášťové horniny)
- z roztoků (středně-teplotní až roztoky pokojové teploty, hydrotermální zrudnění, alpské žíly, výplně trhlin, evapority)
- růst v pevném stavu (většina metamorfních procesů, metasomatické horniny)

Jednotlivé typy vzniku není vždy lehké rozlišit a do určité míry se překrývají. Přejít mezi jednotlivými typy jsou většinou nedostatečně prozkoumané, ale často hospodářsky zajímavé.

#### **b) podle PTX podmínek vzniku**

- tlak
- teplota
- složení (resp. aktivita) fluidní fáze (např.  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ , F, Cl,  $f\text{O}_2$ ,  $\text{H}^+$ )

### **3. Geologický přístup**

Existuje poměrně velké množství geologických hledisek, podle nichž lze klasifikovat vznik minerálů, a některá si poněkud odporují a také jejich význam je velmi odlišný. Níže jsou uvedena jen jako příklad některá hlediska.

#### **a) podle způsobu vzniku (nejčastější, blízké fyzikálně-chemickému přístupu)**

- magmatické
- metamorfní
- sedimentární
- hydrotermální

#### **b) podle vztahu k deskové tektonice**

- uvnitř bloků (např. rift)
- divergentní okraje (např. oceánické hřbety)
- konvergentní okraje (např. kolize kontinentů)
- transformované okraje

Fyzikálně-chemický přístup je dnes považován za modernější než geologický, i když oba mají své výhody i nevýhody a jsou si poměrně blízké. Např. během vzniku magmatických hornin se může uplatnit nejdříve krystalizace z magmatu, následovaná krystalizací z vysokoteplotních fluid a posléze krystalizací z relativně nízko-teplotních hydrotermálních roztoků.

**Příklad:**

- magmatická krystalizace: leukokráttní granit s topazem, kasiteritem

- krystalizace z vysoko-teplotních fluid: úzce asociující greisen zrudnělý kasiteritem, wolframitem a arzenopyritem
- krystalizace z hydrotermálních roztoků: asociující křemenné žíly s wolframitem, kasiteritem a fluoritem

Jen vzácně jsou horniny, žíly nebo jiné typy složeny jen z jednoho minerálu, většinou se jich vyskytuje několik a mezi nimi jsou určité časové a prostorové vztahy. Jejich vyřešení je zásadním úkolem, i když tyto vztahy většinou řeší petrologové. Podle vzájemných vztahů můžeme odlišit několik typů asociací minerálů:

**a) Rovnovážná minerální asociace**

- 2 a více minerálů, které jsou v rovnováze, tj. vznikly během jednoho procesu a ve stejné době.

**b) Minerální asociace**

- 2 a více minerálů, které spolu srůstají určitým způsobem v rámci vzorku nebo výbrusu, které vznikly během jednoho procesu, ale nejsou nutně v rovnováze, tj. některé jsou starší.

- c) Parageneze - soubor minerálních asociací, které jsou vázány na určitý genetický typ horniny nebo jiné mineralizace (např. alpská parageneze).

## **B. Grafické znázornění procesů vzniku minerálů**

Grafické znázorňování geologických systémů a procesů je nesmírně důležité, protože nám umožňuje zjednodušení a větší přehlednost. Zároveň nám dovoluje také odhadnout, jaký minerál by se mohl ještě přítomen v určité minerální asociaci. V současné době existuje velké množství různých typů diagramů, které nám graficky zobrazují určité paragenetické vztahy nebo jsou zaměřeny na různé faktory ovlivňující vznik určitých minerálů.

**a) paragenetické vztahy**

**Obr. 1. Různé typy paragenetických diagramů**

## **b) chemické složení**

Mineralogické složení hornin je ovlivňována především chemickým složením systému (horniny, minerální asociace, rudy, atd.). Za tímto účelem bylo zavedeno několik typů grafických zobrazení, které umožňuje sledovat různé faktory ovlivňující vznik určitých minerálů.

- Chemické systémy (ACF, AKF, KFMASH aj.)

Obr. 2. ACF diagramy

Obr. 3. Jiné typy

- Aktivity látek (např. aktivita  $O_2$ , aktivita  $H_2O$ )

Obr. 4. Diagramy aktivit.

## **c) PTX -podmínky**

PTX-podmínky mají zásadní vliv na mineralogické složení, protože jednotlivé minerály jsou stabilní za různých PTX podmínek.

Obr. 5. Různé typy PTX-diagramů.

Z diagramů je zřejmé, že některé z nich kombinují více hledisek.

## **C. Procesy vzniku minerálů**

Minerály vznikají řadou procesů, které si můžeme rozdělit podle geologického hlediska na

- magmatické
- metamorfní
- sedimentární
- hydrotermální

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

Obr. 6. PT-diagram znázorňující podmínky v rámci zemské kůry.

Obr. 7. Příklady deskové tektoniky.

## A-1. Magmatické procesy

Jedním ze základních procesů jsou magmatické procesy. Tento jednoduchý termín ale zahrnuje poměrně velké rozpětí teplot a tlaků, horniny velmi rozmanitého složení a také poměrně specifické procesy vedoucí ke vzniku jednotlivých minerálních asociací. Aby mohla magmatická hornina vzniknout, musí dojít k anatexi (natavení). Dochází při něm k natavení (roztavení) hornin různých typů (magmatických, metamorfovaných) v různých úrovních zemské kůry i v plášti. Při segregaci (oddělení) taveniny od protolitu tak vzniká široká škála magmatických hornin, pokud k segregaci nedojde, vznikají migmatity. Důležité je také to, že při tomto procesu dochází k zásadní redistribuci chemických prvků, hlavních i stopových, a tak k diferenciaci v zemské kůře. Podle místa vzniku a složení existuje velmi široká škála hornin a jejich studium je objektem magmatické petrologie.

Typické magmatické minerály:

- horninotvorné (až v desítkách %):

olivíny, pyroxeny, amfiboly, slídy

plagioklasy, K-živce, nefelín, leucit, foidy, křemen, kalcit

- akcesorické (pod 2%):

apatit, titanit, monazit, zirkon, allanit, ilmenit, magnetit, pyrit, granát, topaz, pentlandit, pyrhotin

Minerály krystalují z magmatické taveniny

pomalu v intruzivních (hlubinných) horninách

rychle v efuzivních (vulkanických) horninách

Podle podmínek krystalizace se mění:

- složení minerálů, např. pyroxeny z vulkanitů jsou odlišné od pyroxenů z intruzivních hornin, - velikost a tvar krystalů a textura

Úkolem mineralogie je detailní studium jednotlivých minerálů tak, abychom dokázali odpovědět na otázky petrologů a geochemiků. Což je u jednotlivých minerálů poněkud odlišné, jiné aspekty sledujeme u živců, jiné u pyroxenů, slíd, např.:

- chemické složení (důležité vždy, včetně obsahu F, OH, poměru  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ )
- chemická zonálnost (i skrytá - katodoluminiscence)
- procesy rozpadu (např. odmíšeniny v pyroxenech, perthity v K-živcích)
- stupeň strukturní uspořádanosti (K-živce)
- přítomnost mladších hydrotermálních alterací (jemnozrnné slídy, prehnit, zeolity)

**Obr. 8. Příklady diagramů pro magmatické horniny**