

Mineralogie II

Vznik minerálů

Prof. RNDr. Milan Novák, CSc.

Osnova přednášky:

- 1. Úvod**
- 2. Členění procesů**
- 3. Magmatické procesy**
- 4. Metamorfní procesy**
- 5. Sedimentární procesy**
- 6. Hydrotermální procesy**

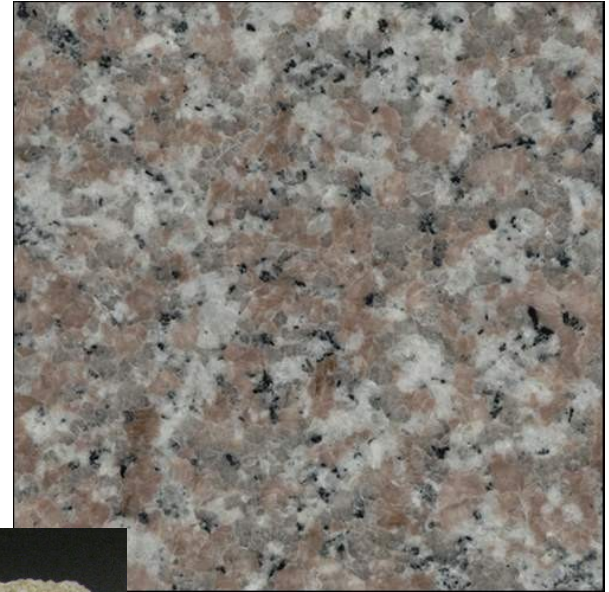
1. Úvod

- Minerály 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 nezbytné porozumět jejich vzniku.



Diorit – hornina s amfibolem a plagioklasem

Granit - leštěný vzorek



Organogenní vápenec

2. Členění procesů

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

1. Podle vlivu člověka

- Přírodní (bez vlivu člověka na proces vzniku) – téměř všechny procesy, které studujeme v přírodě a které jsou v této přednášce.**
- Umělé**
 - řízené člověkem (výroba umělých minerálů)**
 - ovlivňované člověkem (minerály na hořících haldách, zvětrávání hornin na historických stavbách).**

2. Členění procesů

2. Podle fyzikálně-chemických vlastností mateřského media

Co je mateřské medium? Prostředí, z něhož krystalují minerály.

Podle typu krystalizace minerálů

2.1. z taveniny – magmatu (magmatické horniny)

2.2. z fluid (většinou vysokoteplotní metasomatické horniny např. skarny, greiseny, některé plášťové horniny)

2.3. z roztoků (středně-teplotní hydrotermální roztoky až roztoky pokojové teploty, hydrotermální zrudnění, alpské žíly, výplně trhlin, evapority)

2.4. růst v pevném stavu (většina metamorfních procesů, metasomatické horniny), ale i v tomto případě probíhá růst prostřednictvím fluid

Teplota: zjednodušeně - 2.1. > 2.2. > 2.3. (2.4. velmi variabilní)

Jednotlivé typy není lehké vždy rozlišit a do určité míry se překrývají. Právě přechod mezi jednotlivými typy jsou většinou nedostatečně prozkoumané.

2. Členění procesů

3. Podle geologické pozice (podle způsobu vzniku)

(více možností, např. také na endogenní a exogenní)

a) magmatické (vyvřelé)

vznikají utuhnutím taveniny magmatu za vysoké teploty

- horniny: žula (granit), čedič (bazalt), plus specifické horniny - pegmatity

b) metamorfní (přeměněné)

vznikají krystalizací v pevném stavu za vyšších teplot a tlaků

- horniny: svor, rula plus metasomatické horniny: skarn

c) sedimentární (usazené)

vznikají poblíž zemského povrchu většinou na dně vodních nádrží za teplot blízkých povrchu, často zvětráváním jiných minerálů

- horniny: pískovec, vápenec

d) hydrotermální

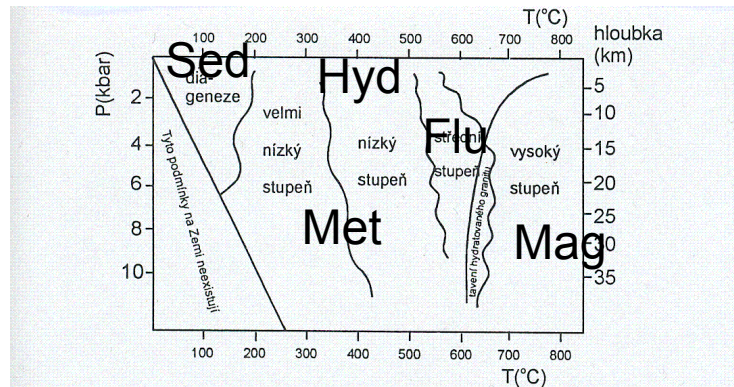
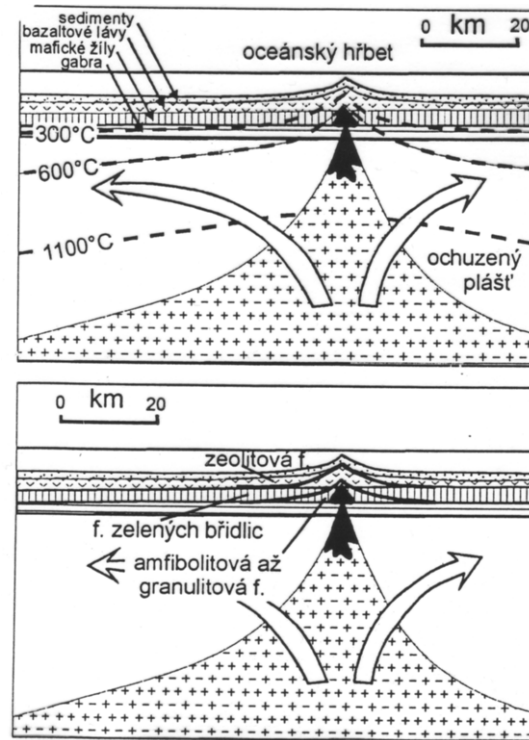
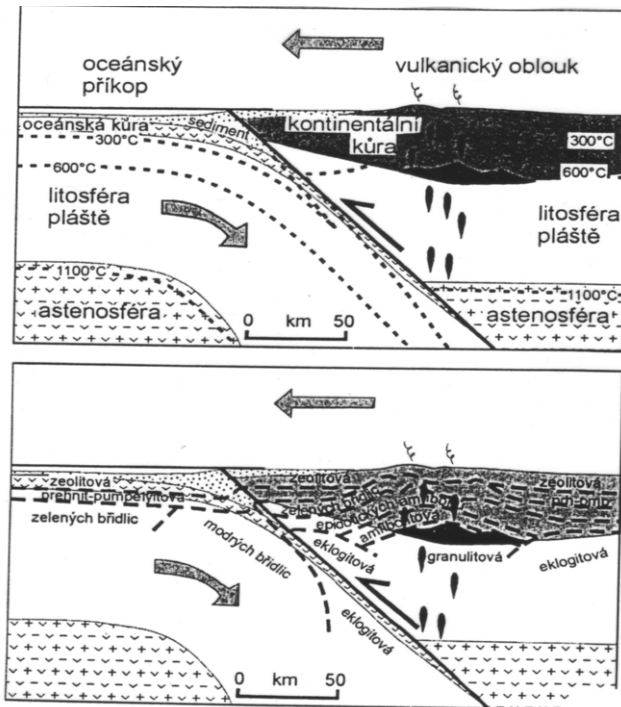
vznikají krystalizací z roztoků a fluid za vyšších teplot

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

Určitým způsobem navazují na fyzikálně-chemický přístup, ale jen částečně.

- magmatické horniny a jejich minerály = z taveniny, z fluid
- metamorfní horniny a jejich minerály = v pevném stavu, z fluid
- sedimentární horniny a jejich minerály = z roztoků
- hydrotermální ložiska a jejich minerály = z fluid, z roztoků

2. Členění procesů



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

Endogenní procesy
Exogenní procesy

2. Členění procesů

- **Minerály vznikají v širokém rozpětí podmínek (teplota, tlak, aktivita fluid).**
- **Za nejvyšších teplot vznikají hlavně minerály bez H₂O – např. olivín, pyroxen, pyrop a najdeme je často v horninách z pláště.**
- **Za nižších teplot v zemské kůře vznikají minerály bezvodé (kyanit, živce) ale také minerály obsahující malé množství H₂O – např. amfiboly a slídy.**
- **Za teplot blízkých povrchu vznikají minerály obsahující malé množství H₂O – např. jílové minerály, sírany aj.**

3. Magmatické

Magmatické (vyvřelé)

**vznikají utuhnutím taveniny
magmatu za vysoké teploty**

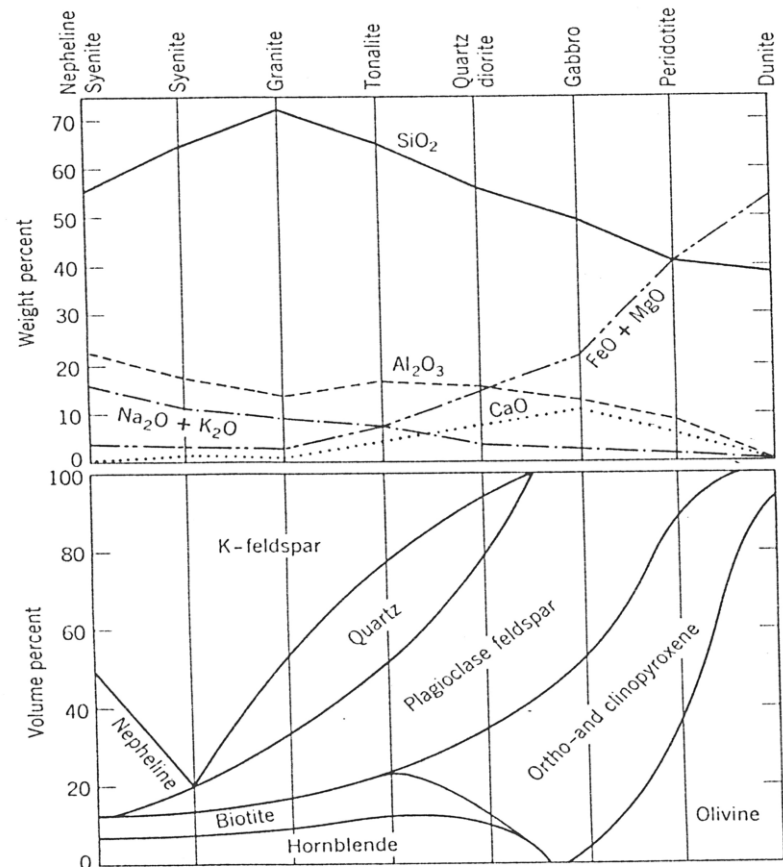
dělíme je na:

**pomalou tuhnoucí v hloubce: žula,
diorit**

**rychle tuhnoucí při povrchu: čedič,
ryolit**

**Nebo podle chemického složení
(hlavně obsah SiO_2)**

**na kyselé – intermediální - bazické
- ultrabazické**



3. Magmatické



**Granit s krystalem K-živce –
kyselá a tuhneící v hloubce**



**Čedič s olivínem – bazická a
tuhnoucí na povrchu**

3. Magmatické - pegmatity

Specifické magmatické horniny složením blízké granitu ale s velkými krystaly zonální stavbou a vzácnými minerály

Granitické pegmatity



Pegmatit v granitu - Strzegom



Beryl - Maršikov



3. Magmatické - pegmatity

Chemická charakteristika granitických pegmatitů

| | |
|-----------------|---------------------------|
| Hlavní | Si, Al, K, Na, O |
| Vedlejší | Li, Be, Fe, Mn, Ca, |
| Stopové | Cs, Rb, Nb, Ta, Mg |
| Těkavé | H ₂ O, B, F, P |

Minerály

Hlavní: křemen, K-živce, albit

Andalusit



Vedlejší: muskovit, biotit, turmalín, granát, beryl, lepidolit, apatit, andalusit

Stopové: columbit, kasiterit,

S těkavými prvky: turmalín, apatit, topaz, spodumen

Elbait



3. Magmatické - pegmatity

typickým znakem je zonální stavba pegmatitových těles, především těch více vyvinutých

- charakteristická je také přítomnost pegmatitových textur (např. grafické srůsty křemene a K-živce případně křemene a jiných minerálů, velké krystaly minerálů o objemu až několik m³;
- pegmatity tvoří spíše malá (maximálně zhruba 100 m mocná, většinou pouze několik m), převážně žilná tělesa (mohou mít také čočkovitý i zcela nepravidelný tvar)
- jako nejvíce frakciované členy vývoje magmatických komplexů se ve složení granitických pegmatitů uplatňují ve větší míře tzv. inkompatibilní (litofilní) prvky a obsahují řadu vzácných v jiných horninách téměř neznámých minerálů.

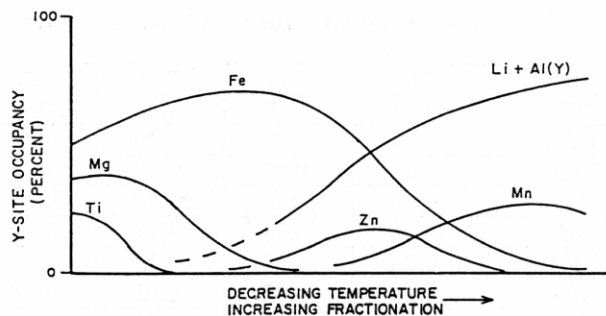
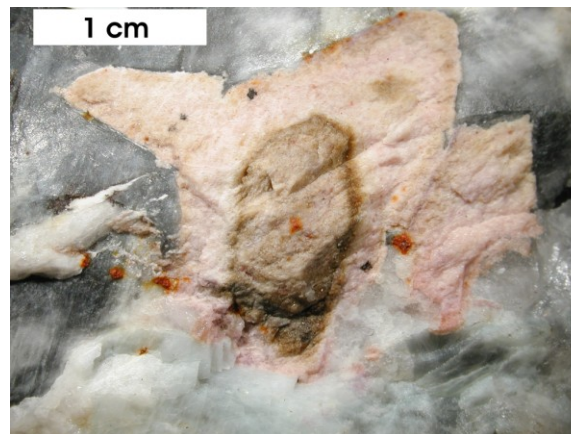
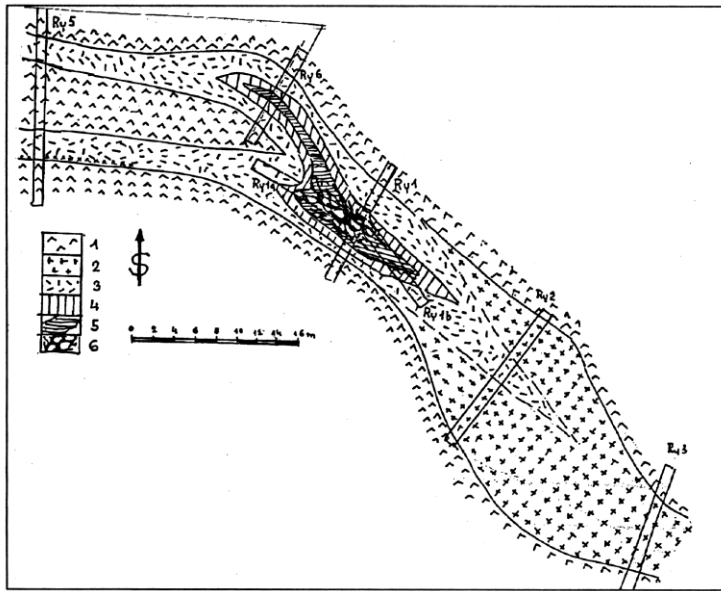


Fig. 6. Schematic illustration of ideal covariation of Y-site cations of tourmaline in response to decreasing temperature and increasing fractionation of melt (Jolliff *et al.* 1986).

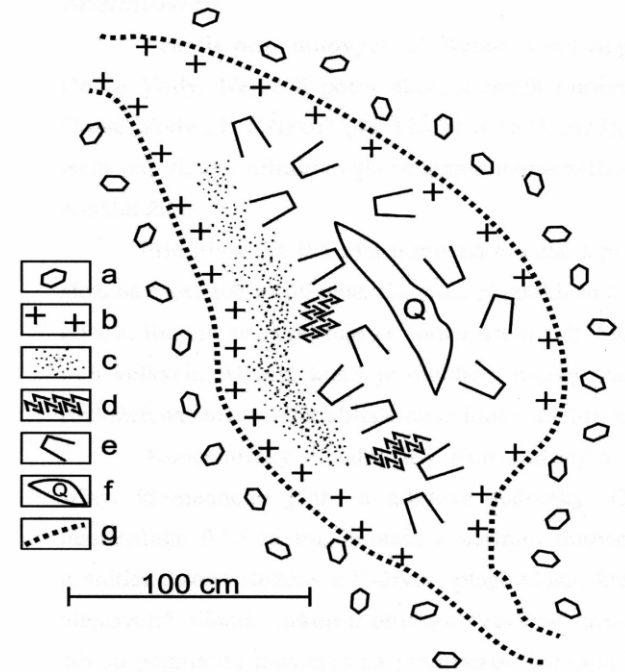
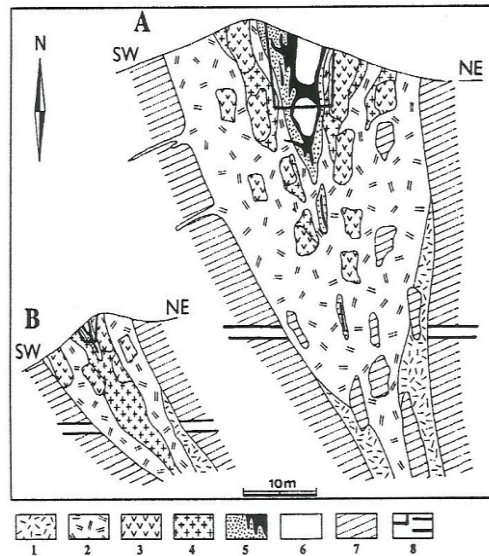


Zonální turmalín

3. Magmatické - pegmatity



Zonálnost pegmatitů



4. Metamorfní

Metamorfní (přeměněné)

vznikají krystalizací v pevném stavu za vyšších teplot a tlaků

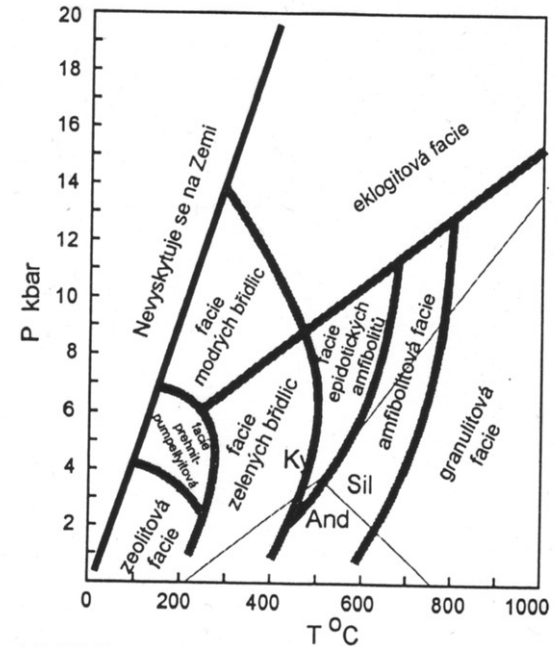
Dělíme je velmi nízký, nízký, střední a vysoký stupeň metamorfózy

- horniny: fylit, svor, rula, mramor, migmatit, serpentín

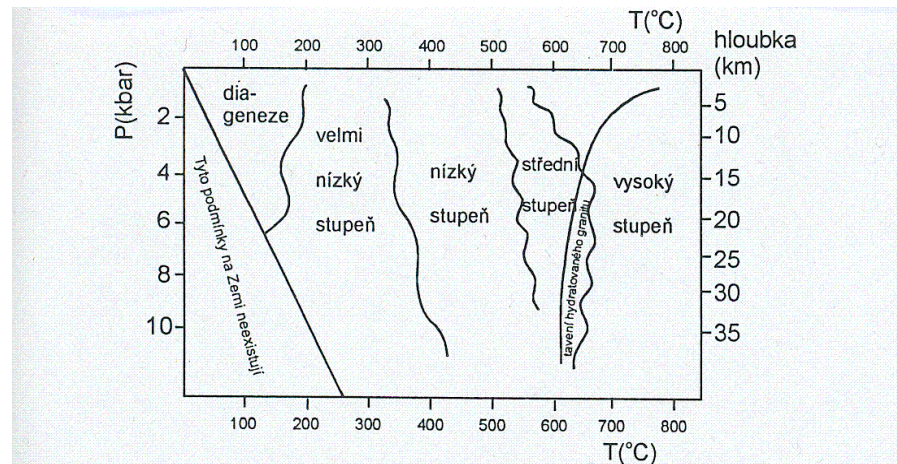
- plus metasomatické horniny: skarn, greisen



Almandin v rule

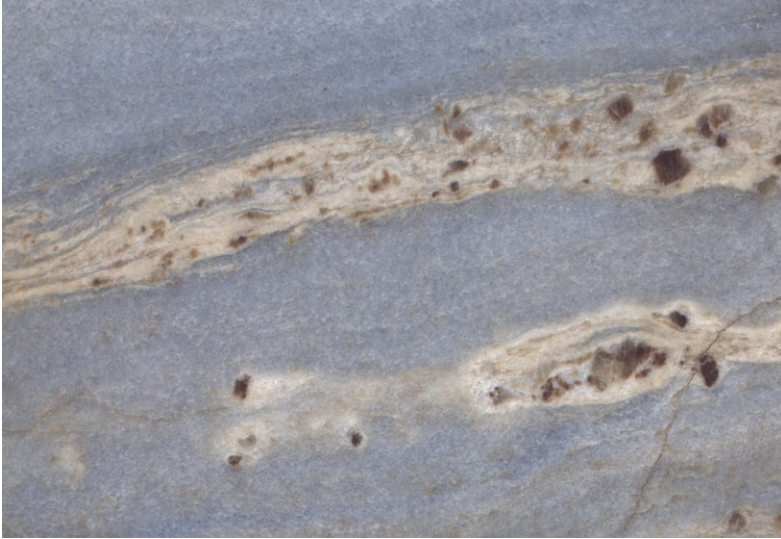


Obr. 5-5. P-T diagram s hlavními metamorfními facie a trojným bodem Al_2SiO_5 , podle Holdawaye 1971. Převzato ze Speara (1993).



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.

4. Metamorfní



Mramor s wollastonitem a vesuvianem



Mramory zavrásněné do rul, Černá v Pošumaví



Mramor s tremolitem

4. Metamorfní



Staurolit

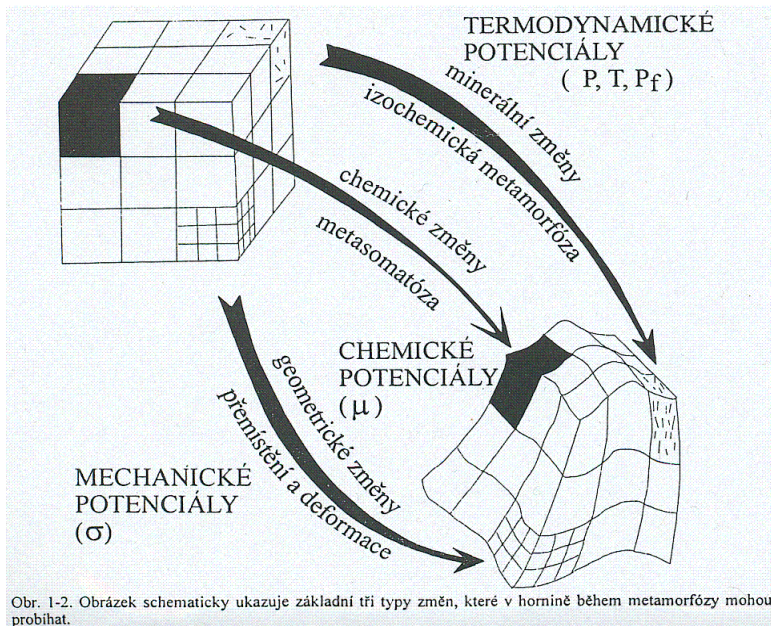


Kyanit



**Pyrop v
serpentinitu**

4. Metamorfní - metasomatické



Metasomatické horniny jsou svým vznikem podobné metamorfovaným horninám, ale při jejich vzniku dochází k výrazné změně chemického složení, tedy část prvků ke přinesena a část odnesena.

Typickým příkladem jsou skarny. Metasomatické silikátové většinou bezživcové horniny bohaté Ca vznikají jako výsledek reakcí hydrotermálních fluid s karbonáty bohatými litologiemi. Jejich typickým znakem je často polyfázový vývoj.



Hedenbergit



Grosular

4. Metamorfni - metasomatické

- Příklady nejznámějších i ekonomicky nejvýznamnějších metasomatických procesů v metamorfních podmínkách
- Metamorfni prostředí
- Skarny
- Fenity
- Greiseny

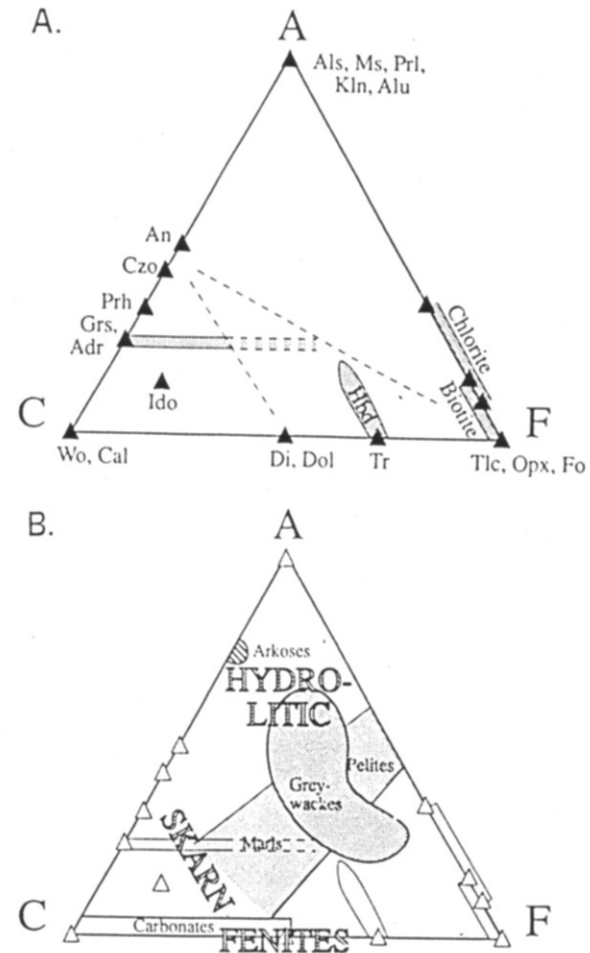
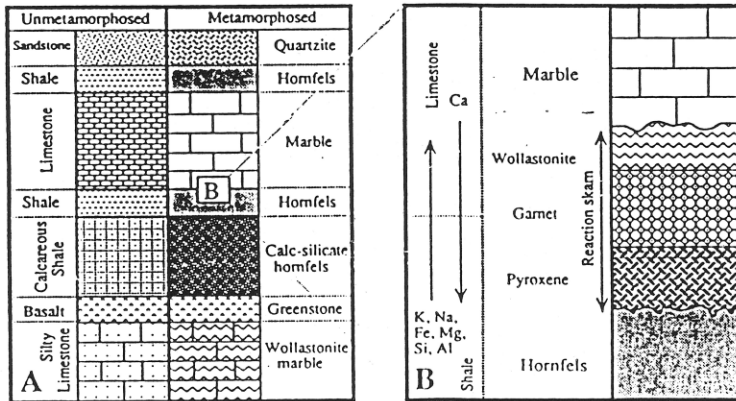


Figure 1. ACF projection of minerals and generalized rock compositions commonly involved in metasomatic aureoles. A. Mineral compositions. B. Generalized fresh rock compositions and schematic regions for metasomatic types.

4. Metamorfni - metasomatické



Skarn

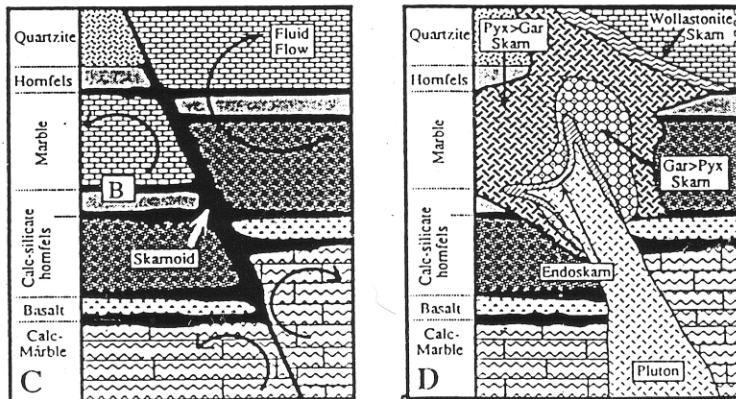


Figure 1 Types of skarn formation: (A) Isochemical metamorphism involves recrystallization and changes in mineral stability without significant mass transfer; (B) Reaction skarn results from metamorphism of interlayered lithologies, such as shale and limestone, with mass transfer between layers on a small scale (bimetasomatism); (C) Skarnoid results from metamorphism of impure lithologies with some mass transfer by small-scale fluid movement; (D) Fluid-controlled metasomatic skarn typically is coarse grained and does not closely reflect the composition or texture of the protolith.



Wollastonit

4. Metamorfní - metasomatické

- Typické minerály skarnů:

Granáty - grosular, andradit

Pyroxeny – diopsid, hedenbergit

Amfiboly

Vesuvian

Wollastonit

Epidot

Dále řada rudních minerálů:

Scheelit, chalkopyrit, magnetit

Podle mineralogického složení
je dělíme na:

Ca-skarny

Mg-skarny

Fe-skarny

Mn-skarny

Wollastonit



4. Metamorfní - metasomatické

Dalším typickým příkladem metasomatických hornin jsou greiseny

Typické minerály:

Křemen

Cinvaldit

Slídy a Li-slídy

Topaz

Rudní minerály:

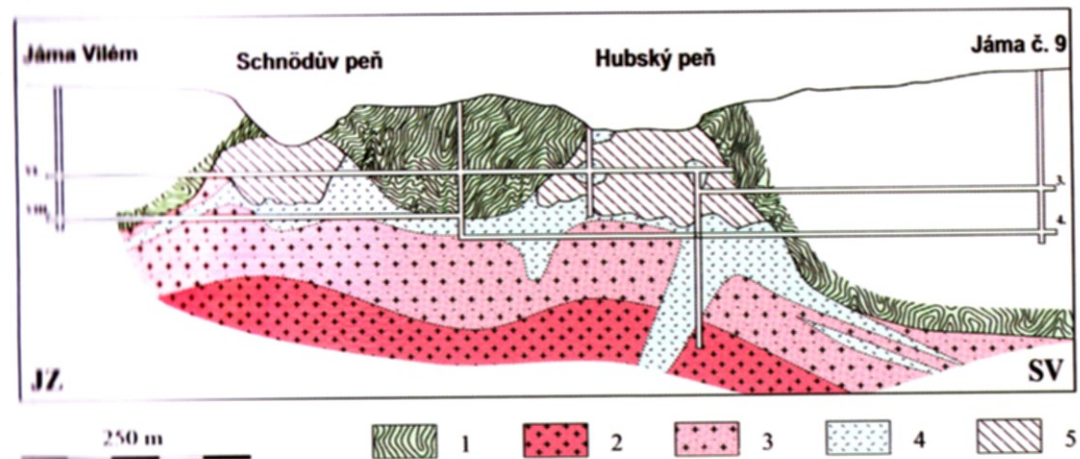
Kasiterit

Wolframit

Molybdenit

Scheelit

Chalkopyrit



Geologický řez ložiskem Krásno-Horní Slavkov. 1 - migmatitizované biotitické ruly, 2 - žuly, 3 - kaolinizované a sericitizované žuly, 4 - greiseny, 5 - vytěžené a zavalené partie pňů. Zpracoval: J. Tvrđý

Řez ložiskem Horní Slavkov

4. Metamorfni - metasomatické

- Fenitizace

Tento proces je svázaný s alkalickým magmatismem a dochází při něm k intenzivnímu přínosu Na a K. Vznikají minerály s vysokým obsahem Na, popř. K a také s vysokým poměrem $\text{Na}+\text{K}/\text{Al}$ a Fe/Mg .

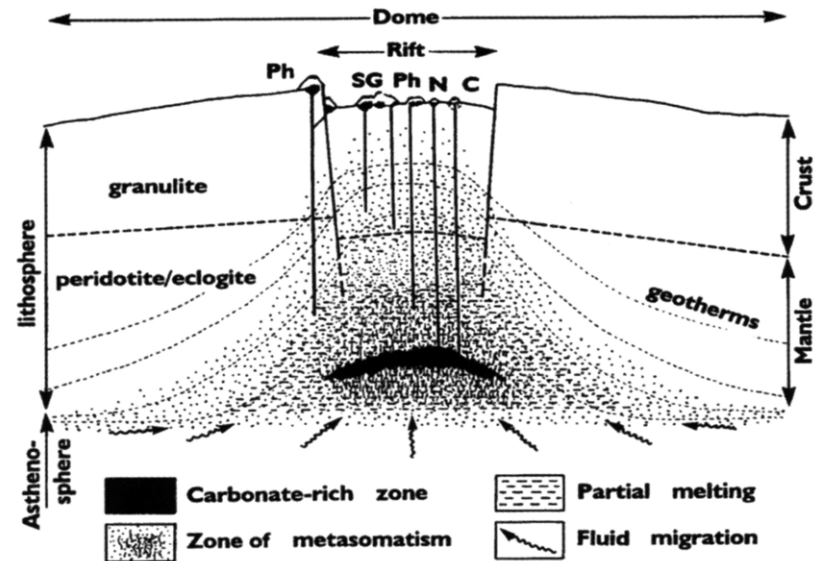


FIG. 2. Schematic cross-section of a zone of active rifting in a continental setting. The upward bulge in the asthenospheric mantle is due to a focusing of mantle degassing and thermal expansion. Here, as in Figure 1, the upward migration of fluid offers a very efficient mechanism of transfer of heat into the lower and middle crust. The degassing mantle emits both H_2O and CO_2 , the proportion of which is of primordial importance in determining the nature of elements transported upward into the crust, and the nature of the melting reaction. Where the metasomatizing agent is dominantly H_2O , granitic melts of A type will result. The metasomatic steps leading up to partial melting have involved the preferential mobilization of alkalis over Al, which is reflected an alkaline character of the partial melt. Carbonatitic and nephelinitic melts will result in areas where CO_2 is the dominant metasomatizing agent. Here, the metasomatic step leading up to partial melting has caused a major enrichment in high field-strength elements and the rare-earth elements, and these patterns of enrichment are reflected in the magmas produced. Of course, all intermediate cases between these two end-member situations are likely to be encountered, which explains the juxtaposition of silica-oversaturated and silica-undersaturated suites along belts of anorogenic igneous activity. The anomalously high temperatures at the base of the crust promote granulite-facies assemblages, even though the environment is far from being anhydrous. Diagram courtesy of Alan Woolley (1987), and reproduced with permission of the publisher.

5. Sedimentární

Sedimentární (usazené) horniny

vznikají poblíž zemského povrchu většinou na dně vodních nádrží za teplot blízkých povrchu, často zvětráváním jiných minerálů

- Usazením a zpevněním úlomků minerálů
- Usazování z roztoků
- Z organických zbytků
- horniny: pískovec, vápenec, droba, jílovec, písek, jíl, sůl kamenná

Zvětrávání proces, který předchází vznik sedimentárních hornin a kdy dochází k rozkladu primárních minerálů na sekundární.

Např. živec větrá na kaolinit
chalkopyrit větrá na malachit



Limonit

Kalcit



5. Sedimentární



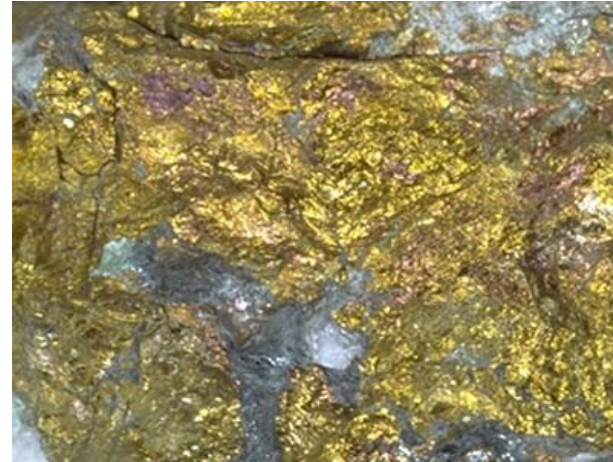
Organogenní vápenec



Pískovec

6. Hydrotermální

- Hydrotermální mineralizace jsou velmi pestré a zahrnují:
- Rudní hydrotermální žíly, kde hlavní výplní žil jsou křemen, kalcit nebo dolomit a široká škála rudních minerálů jako pyrit, chalkopyrit, galenit, sfalerit, antimont, uraninit, hematit
- Alpské žíly, které jsou vyplněny běžnými horninotvornými minerály, např. epidot, albit, prehnit, křemen, K-živec (adulár), rutil, titanit, chlorit aj.



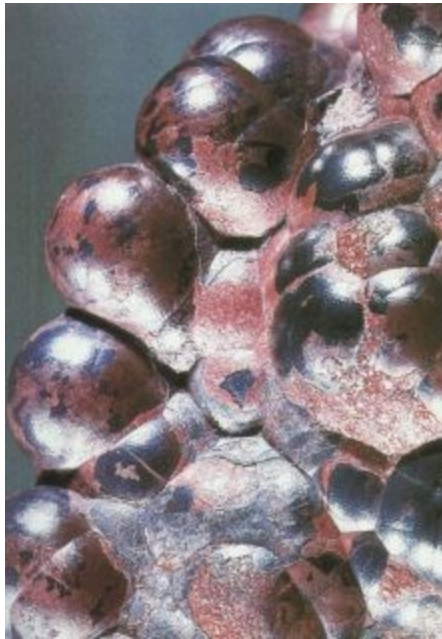
Chalkopyrit



Galenit

6. Hydrotermální

Sfalerit



Hematit



Epidot

Shrnutí

1. Magmatické procesy

- vysoké teploty, někdy vysoký tlak,
- probíhají od pláště až po zemský povrch

2. Metamorfní procesy

- vysoké až nízké teploty, vysoké až nízké tlaky,
- probíhají od pláště až po zemský povrch, PT-pole magmatických a metamorfních procesů se překrývá, v tomto poli se liší mediem, z něhož krystalují: tavenina – pevná fáze

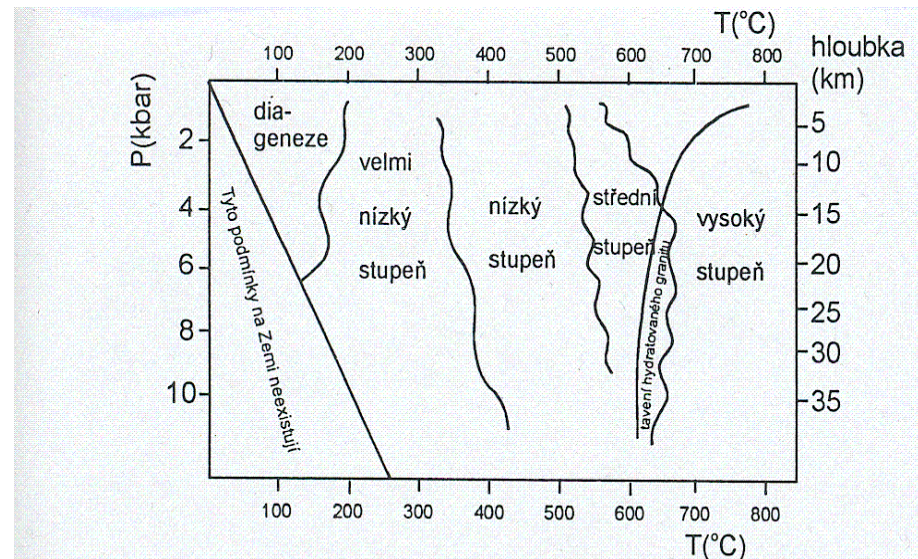
3. Hydrotermální procesy

- střední až nízké teploty, střední a hlavně nízké tlaky
- navazují na nebo se mírně překrývají s magmatickými, popř. i metamorfními procesy, liší se mediem, z něhož krystalují: tavenina – pevná fáze – hydrotermální roztok nebo fluidum

4. Sedimentární procesy

- nízké teploty a hlavně nízké tlaky
- navazují na nebo se mírně překrývají s metamorfními procesy

Neexistují jasně definované hranice mezi jednotlivými procesy, proto je nutné vedle geologického členění využívat i fyzikálně-chemické podle mateřského media, jsme-li schopni je definovat.



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.