

# Magmatické a metamorfní procesy

—

## Kontaktní metamorfóza a metasomatóza II

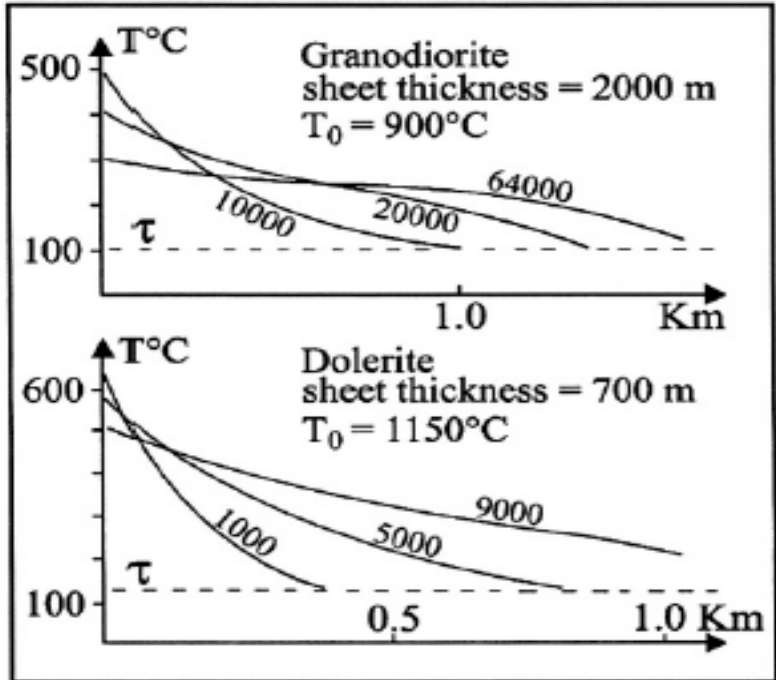
David Buriánek

# Osnova

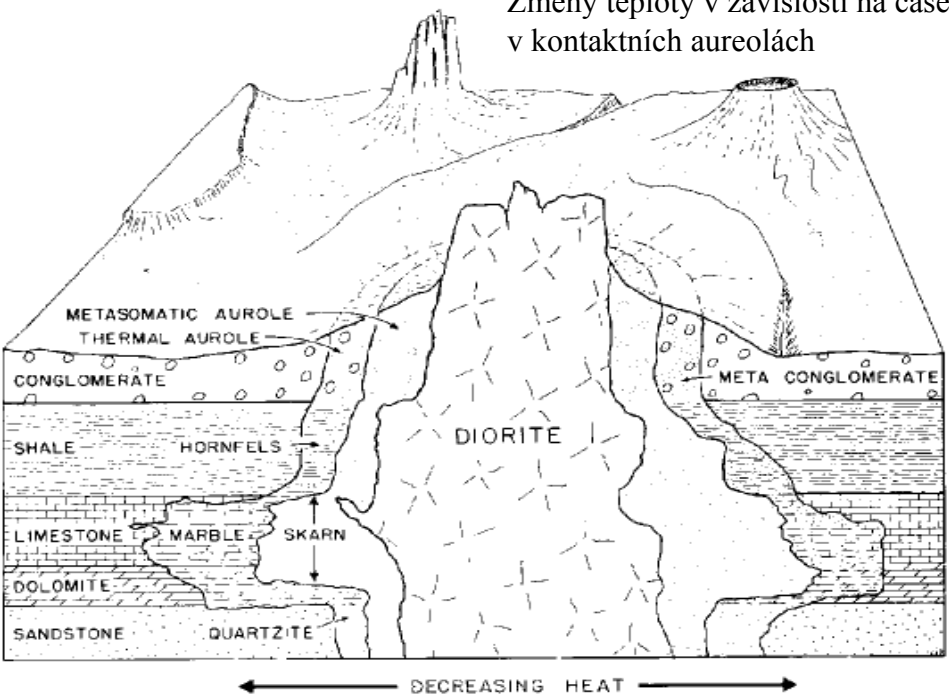
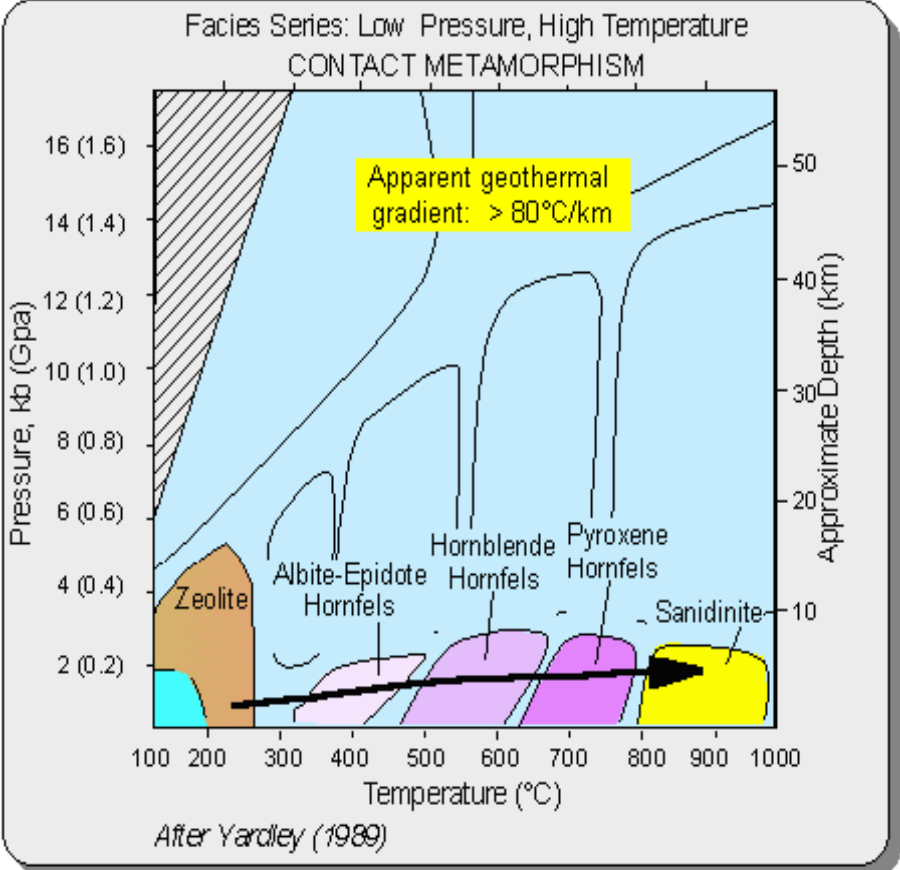
1. Charakteristika kontaktní metamorfózy
2. Al-chudé pelity během kontaktní metamorfózy
3. Vývoj chemického složení fluid během kontaktní metamorfózy
4. Metasomatóza
5. Interpretace látkové bilance metasomatických procesů

# 1) Charakteristika kontaktní metamorfózy

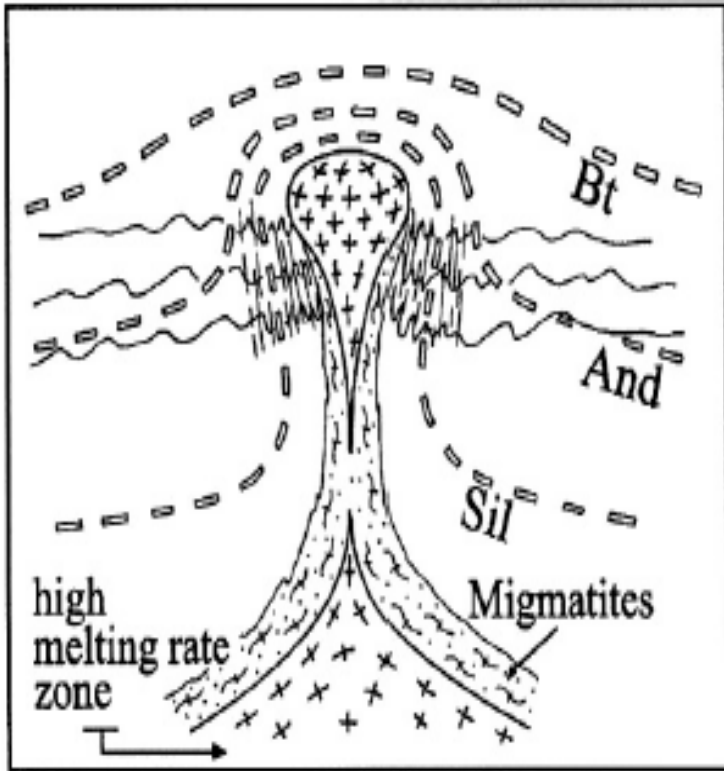
- tepelné působení těles vyvřelých hornin
- účinky rychle klesají se vzdáleností od kontaktu
- rozsah obvykle max. několik km
- rozsah aureoly závisí na tvaru tělesa, typu magmatu a petrografickém složení kontaktní aureoly, rozdílu teplot mezi magmatem a okolím (hloubka intruze)
- nízký P/T (andalusit-sillimanit- cordietit)



Změny teploty v závislosti na čase v kontaktních aureolách

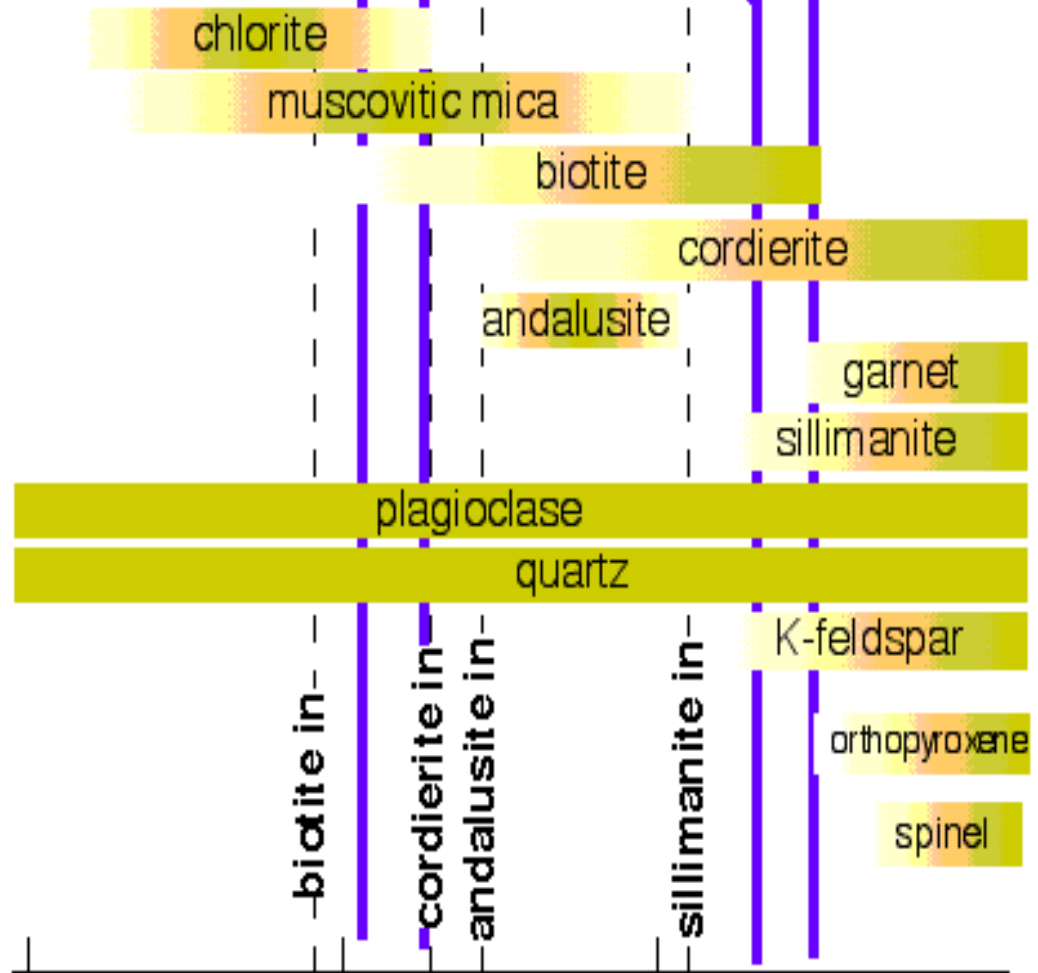


# Progressively metamorphosed pelite *Low PT series*



Diagenesis      Low grade      Intermediate grade      High grade

Greenschist      Amphibolite      Granulite

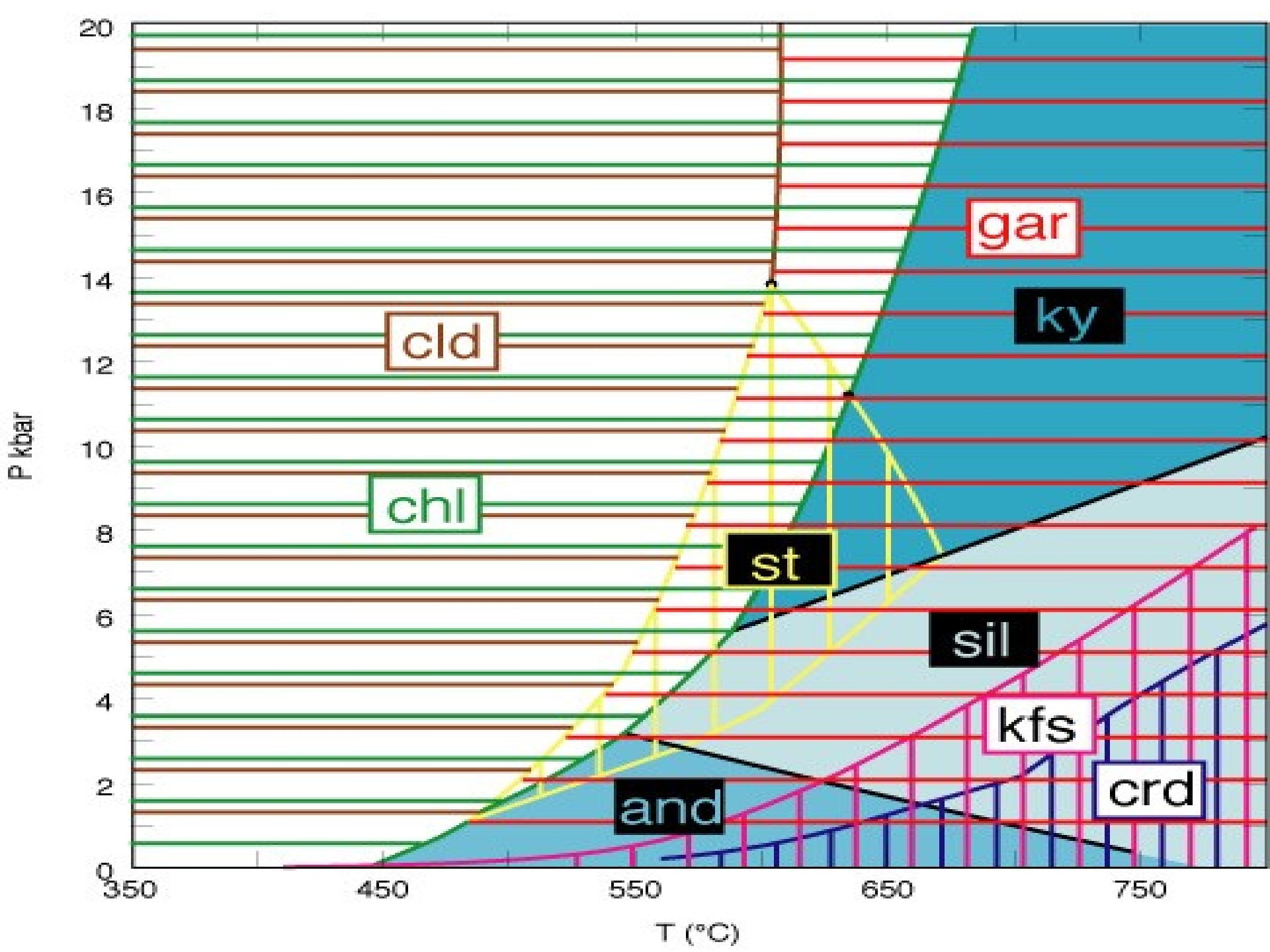


~200°C

~400°C

~600°C

Schématický diagram dynamického vmístění granitového plutonu (hypotéza diapirického plutonu, Flood a Vernon, 1978) pluton vzniká v spodní kůře (parciálně natavené) a v důsledku nižší hustoty stoupá. S intruzí je svázána deformace okolních hornin a parciální tavení hlavně v spodní části plutonu



## 2) Al-chudé pelity během kontaktní metamorfózy

- Al-chudé pelity ve 350 °C a 3 kbar mají asociaci:

I. chlorit + muskovit + křemen + plagioklas

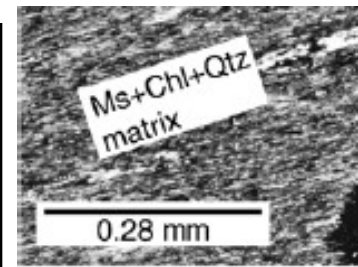
II.  $Ms + Chl + Qtz = Cdr + Bt + H_2O$  kontinuální reakce (2)

III.  $Ms + Cdr = And + Bt + Qtz + H_2O$  (3)

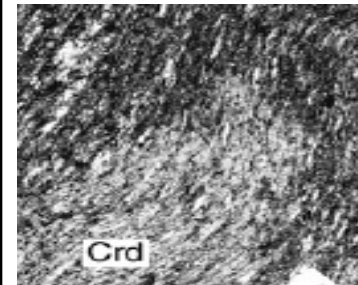
IV.  $Ms + Qtz = And + Kfs + H_2O$  (4)

V. andalusit = sillimanit

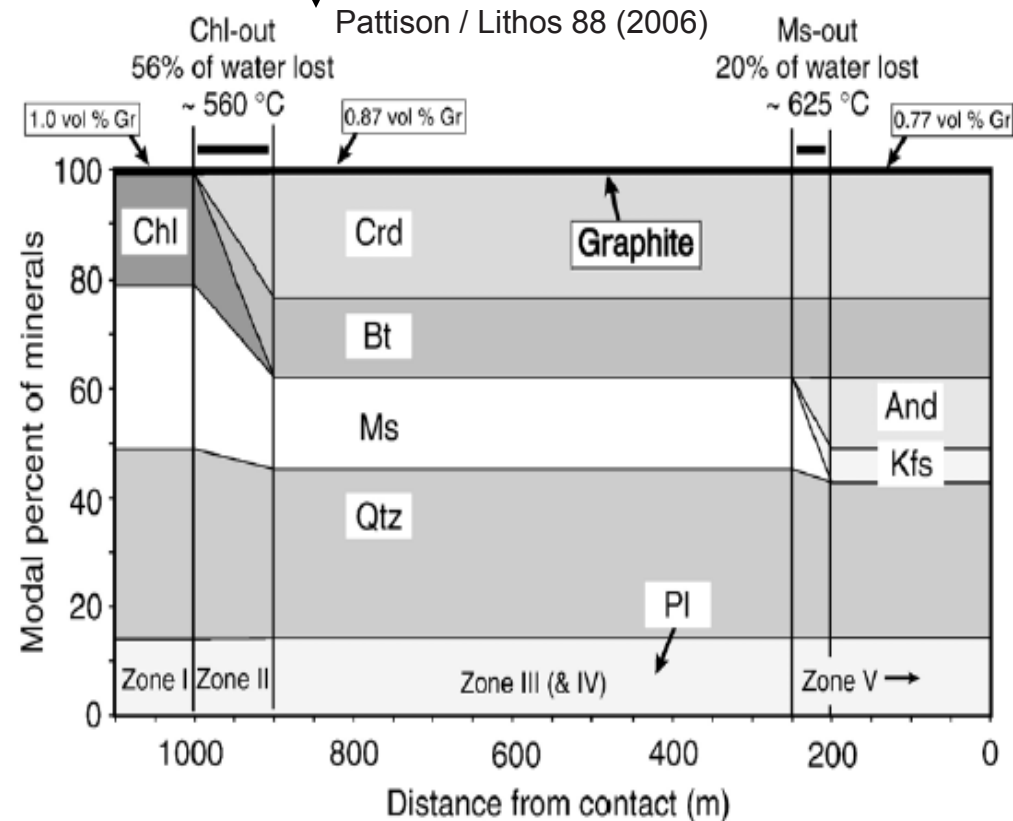
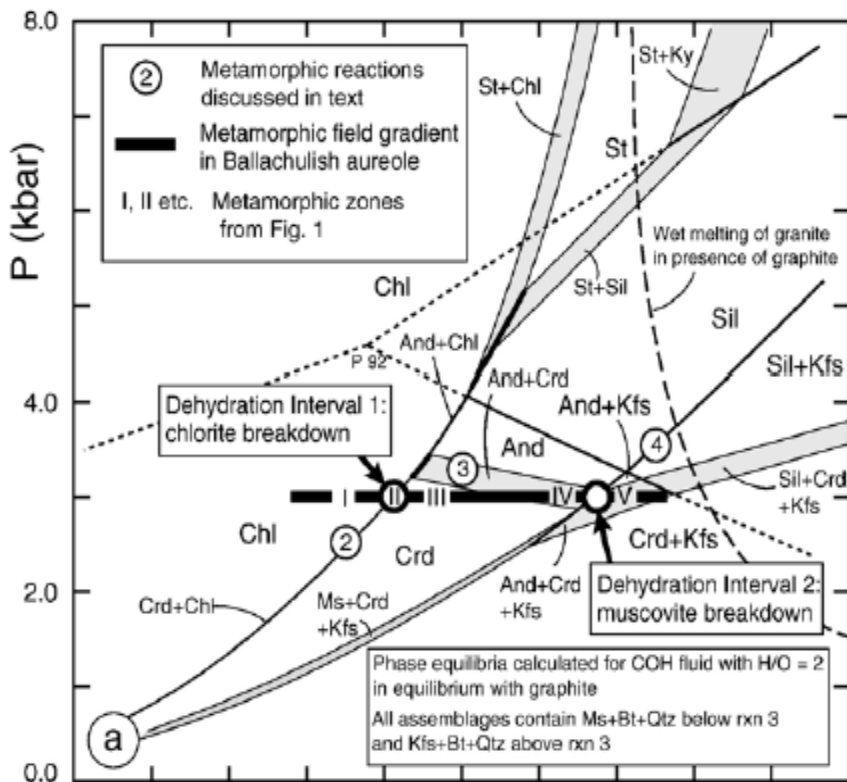
- konečná asociace je: Sill + Cdr + Kfs + Bt + Ms + Qtz + Pl



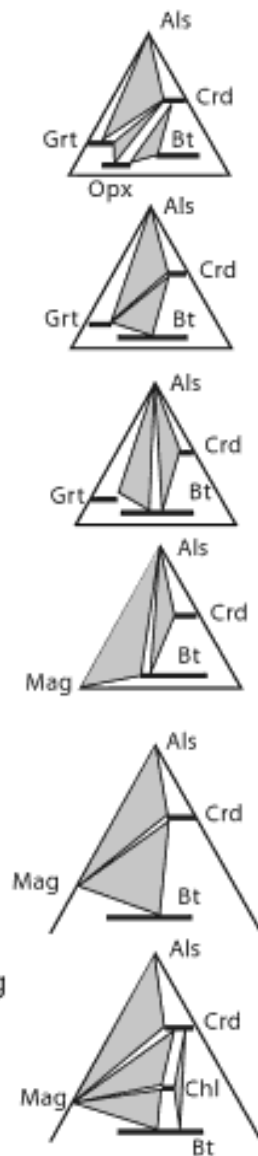
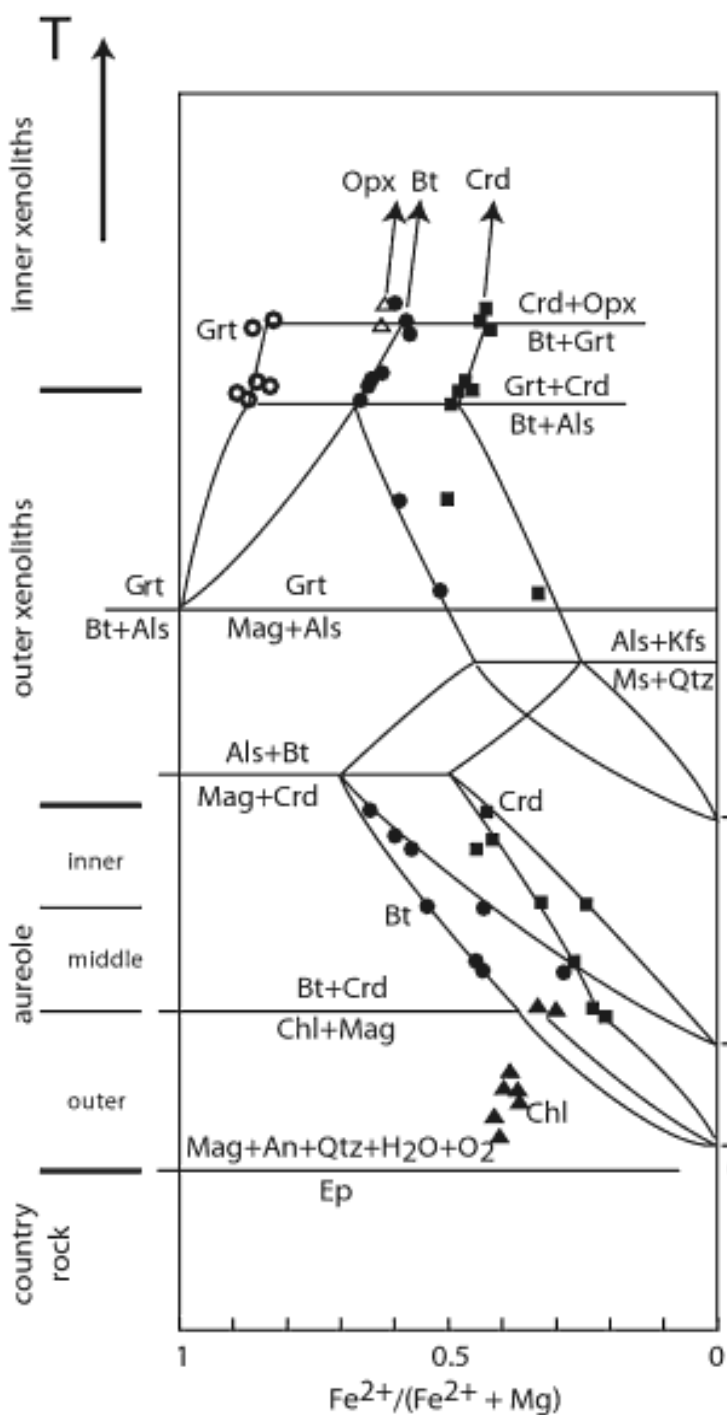
I. Ms + Chl + Qtz



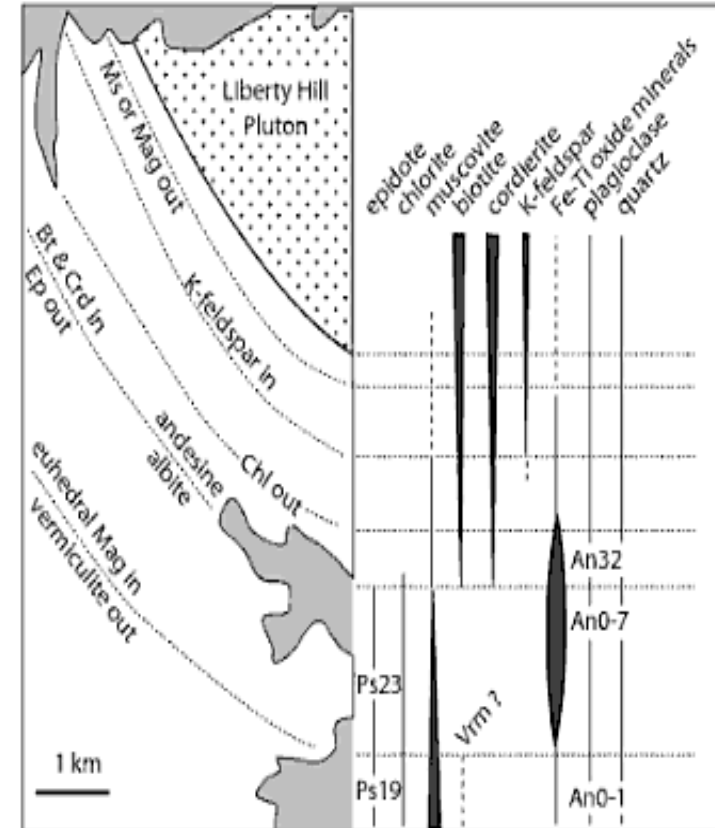
III. Ms + Ms + Cdr + Bt







- Složení minerální asociace je výrazně závislé na chemickém složení metamorfované horniny

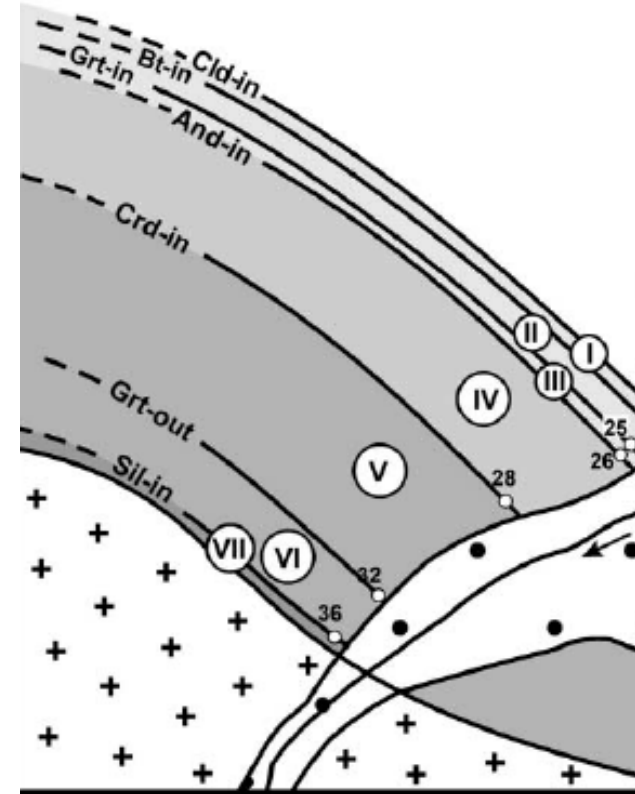
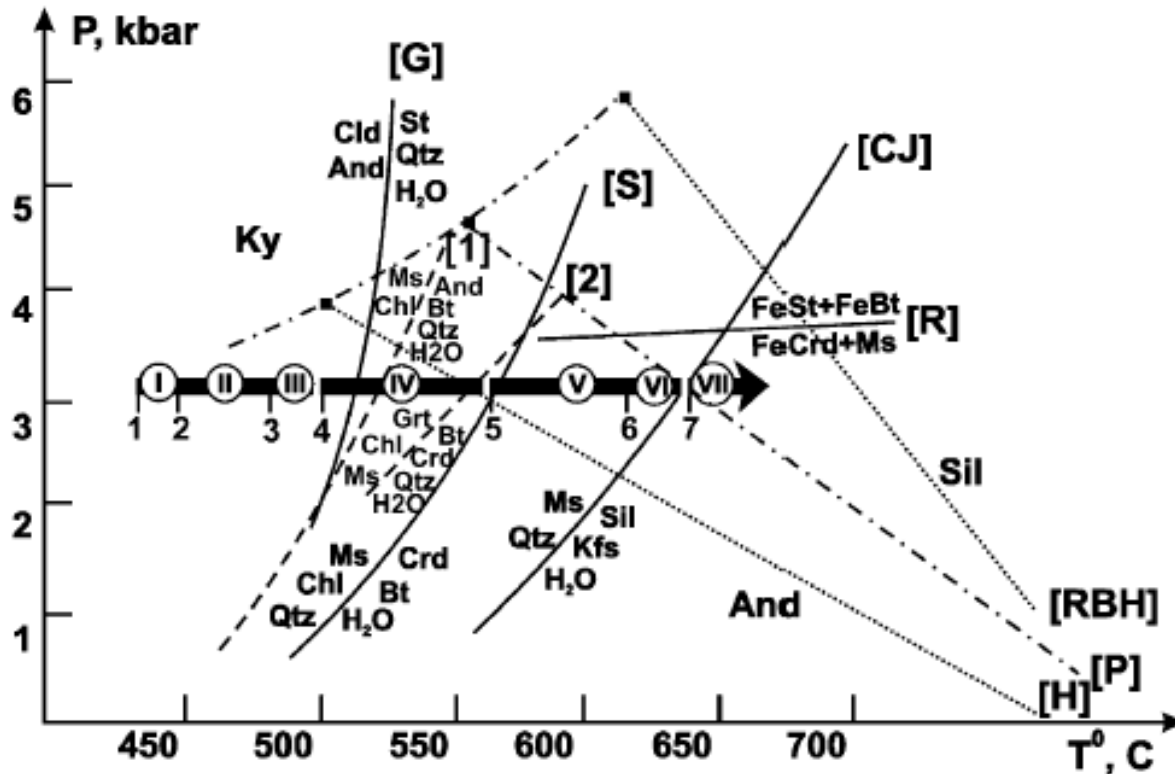


Vývoj minerálního složení metapelite v kontaktní aureole Vernon-Clarke 2008/ Principles of Metamorphic Petrology



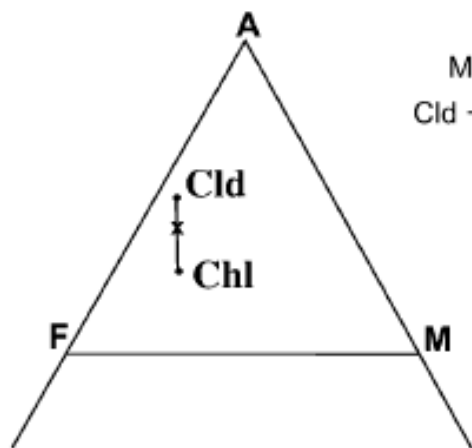
# Příklad kontaktní metamorfózy

- Okolní hornina Chl + Ms + Pl + Qtz + Rt
- I. Cld + Ms + Chl + Pl + Qtz + Ilm + Rt
- II. Bt + Cld + Ms + Chl + Pl + Qtz + Ilm
- III. Grt + Bt + Cld + Ms + Chl + Pl + Qtz + Ilm
- IV. And + Bt + Grt + Ms + Chl + Pl + Qtz + Ilm
- V. Crd + And + Bt + Ms + Pl + Qtz + Ilm + Chl + Grt
- VI. Crd + And + Bt + Ms + Pl + Qtz + Ilm
- VII. Sil + Kfs + Cdr + Bt + Qtz + Ilm + Ms



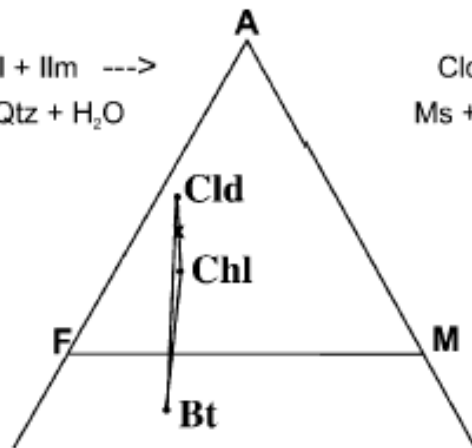
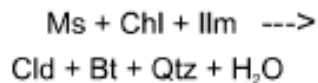
Schematický P–T diagram ukazující pozici metamorfních zón a izográd v kontaktní aureole Ayakhtinsk (Likhanov et al. 2001, syntetizovaná data více autorů (Pattison, 1992 Chatterjee a Johannes, 1974, Ganguly, 1969, Richardson, 1968 a Seifert, 1970). Isograda: I = Cld-in, II Bt-in, III Grt-in, IV And-in, V Crd-in, VI Grt–Chl-out a VII Sil–Kfs-in.

### Chloritoid zone



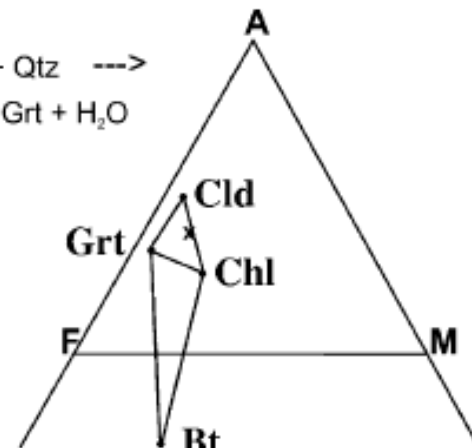
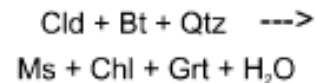
+Ms+Pl+Qtz+Ilm+H<sub>2</sub>O

### Biotite zone



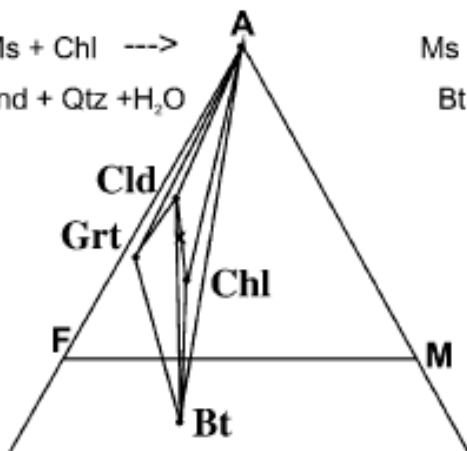
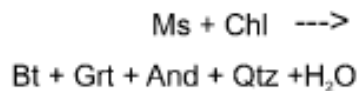
+Ms+Pl+Qtz+Ilm+H<sub>2</sub>O

### Garnet zone



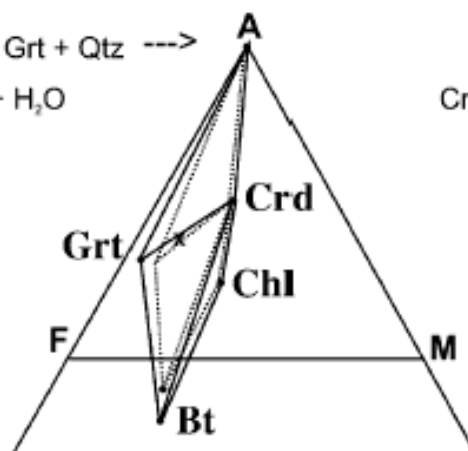
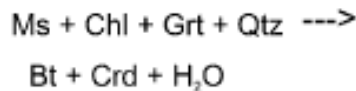
+Ms+Pl+Qtz+Ilm+H<sub>2</sub>O

### Andalusite zone



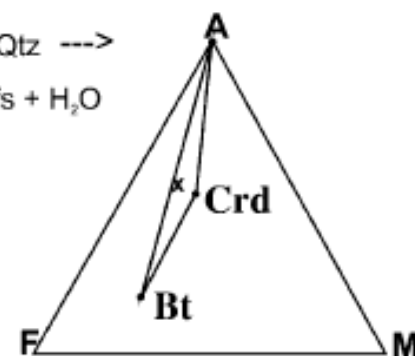
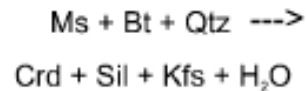
+Ms+Pl+Qtz+Ilm+H<sub>2</sub>O

### Cordierite zone

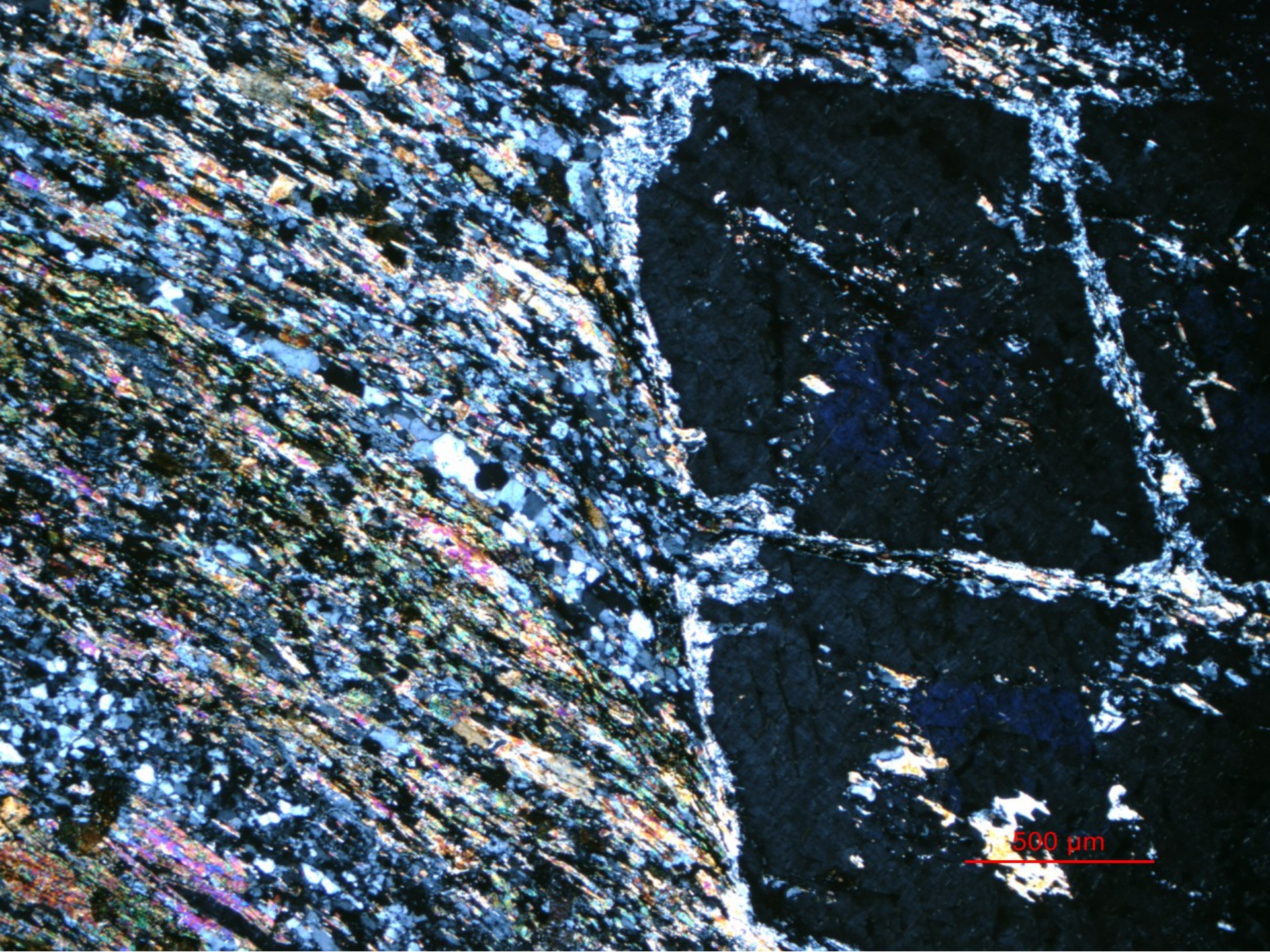


+Ms+Pl+Qtz+Ilm+H<sub>2</sub>O

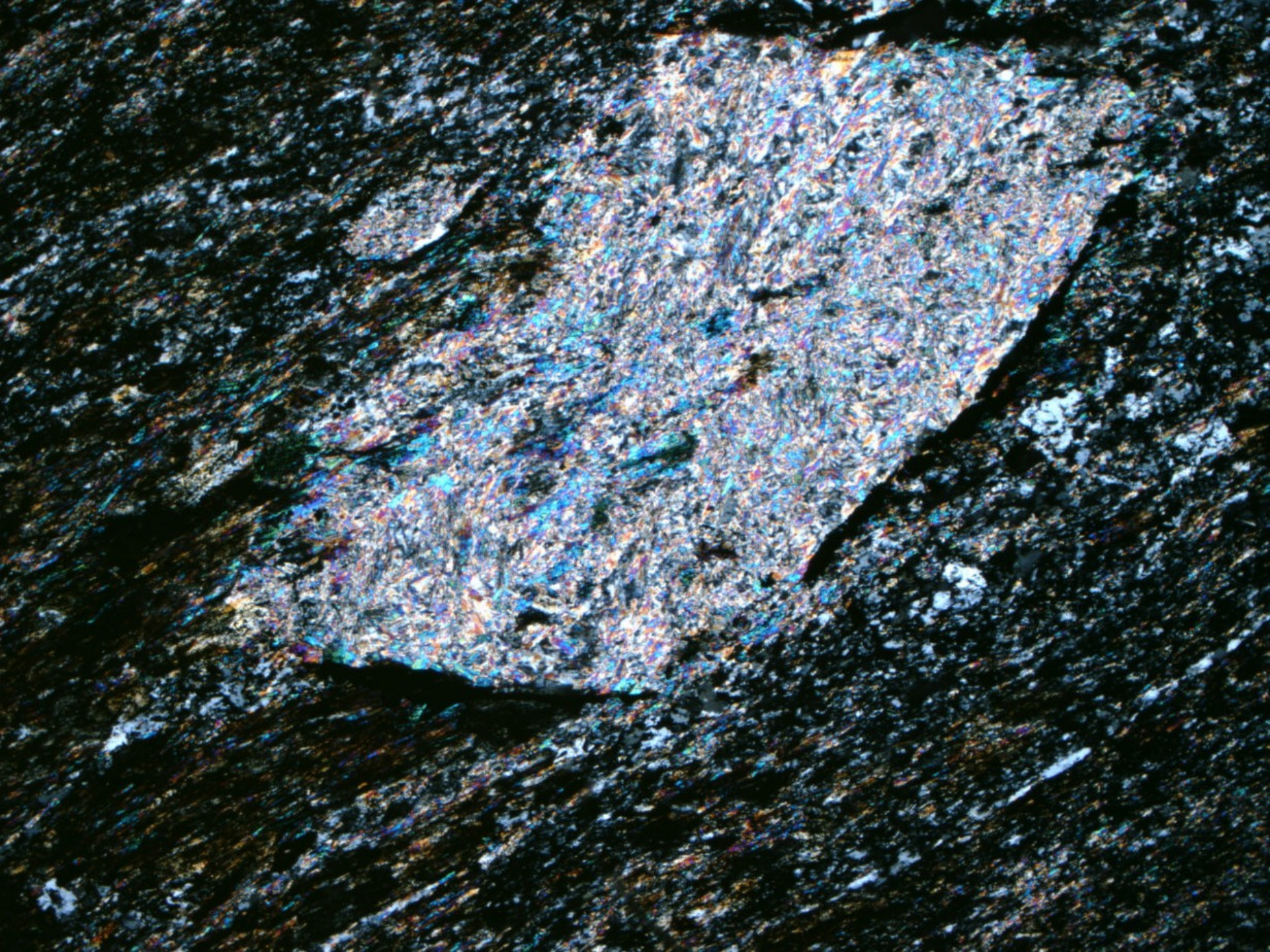
### Sillimanite-K feldspar zone



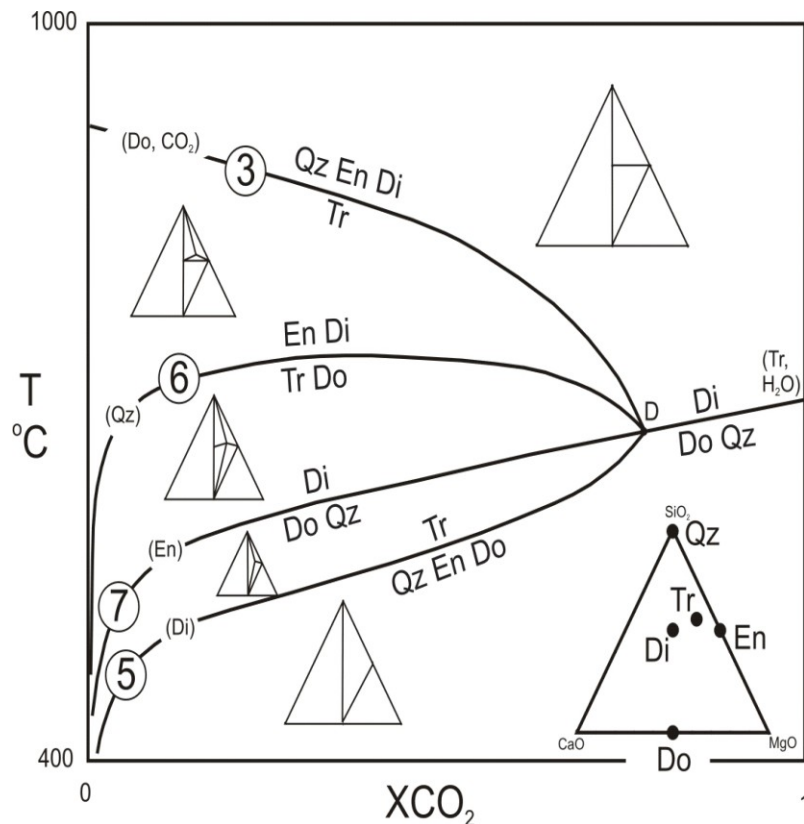
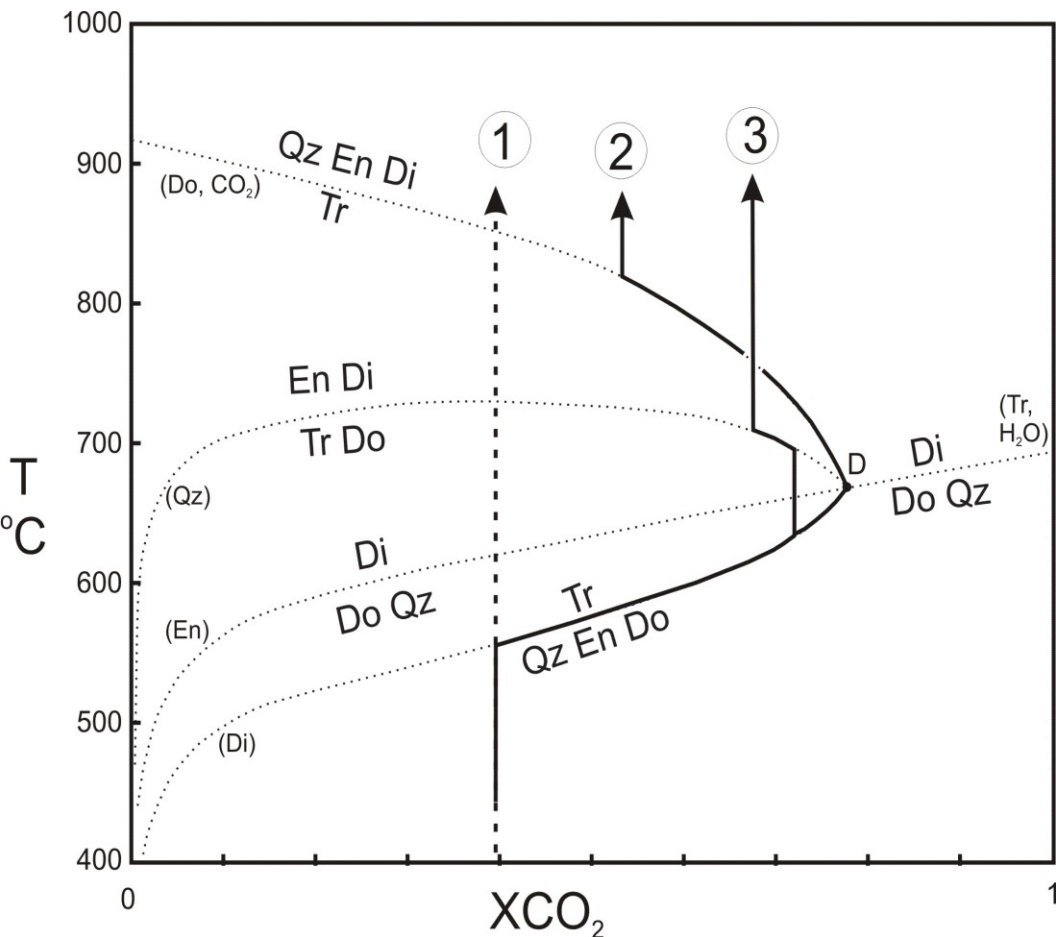
+Kfs+Pl+Ilm+H<sub>2</sub>O



500  $\mu\text{m}$



### 3) Vývoj chemického složení fluid během kontaktní metamorfózy



Převzato [http://serc.carleton.edu/research\\_education/equilibria/TXdiagrams.html](http://serc.carleton.edu/research_education/equilibria/TXdiagrams.html)

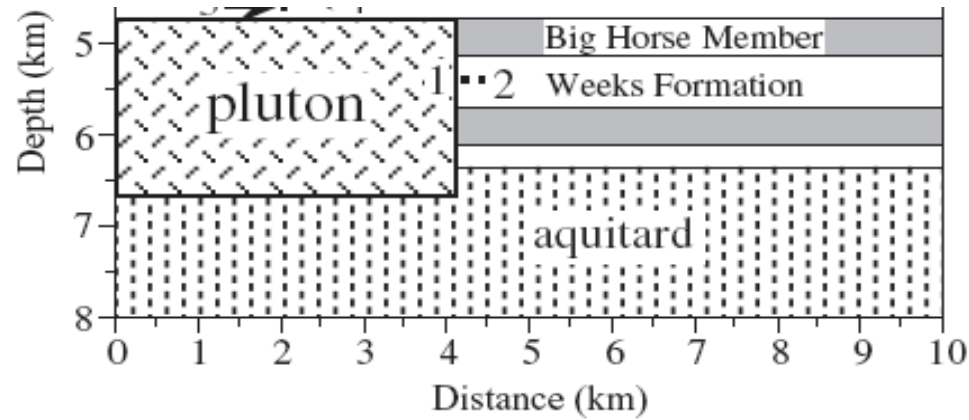
Tři případy průběhu reakcí v systému CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>. Rozdíl je dán rozdílným poměrem množství fluidní fáze a minerálů nebo odlišným množstvím některých minerálních fází.

V prvním případě je objem fluid výrazně větší než objem horniny (otevřený systém) fluidy horninou pronikají a udržují stabilní XCO<sub>2</sub>

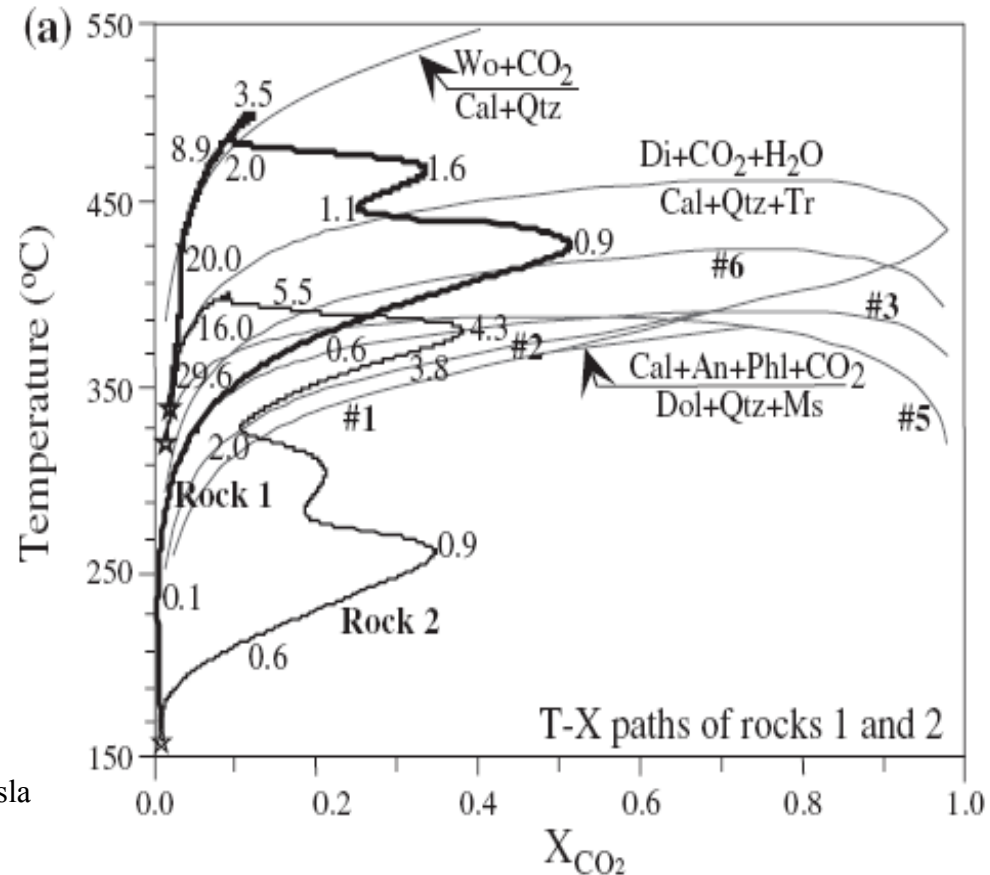
Druhý případ reprezentuje uzavřený systém v němž během vzniku Tr roste obsah CO<sub>2</sub>, protože se tento plyn uvolňuje a naopak se konzumuje H<sub>2</sub>O, teplota postupně stoupá až do bodu D. Při dalším vzrůstu teplot se tremolit začíná rozpadat a uvolňuje se H<sub>2</sub>O dokud není spotřebován všechen Tr.

V třetím případě je všechen Qtz spotřebován před dosažením bodu D. K další reakci dochází až při rozpadu Tr v důsledku reakce s Dol.

- V okolí kontaktních aureol se často mísí magmatická a sed nebo met. fluida.
- V důsledku teplotního působení magmatu dochází k výraznému proudění fluid což ovlivňuje vývoj minerálních asociací v kont. aureole.
- metamorfní reakce nízkého a středního stupně jsou řízeny hlavně teplotou (se vzrůstem teploty roste tlak fluid a  $X_{CO_2}$  ve fluidech)
- naproti tomu při reakcích během vrcholu metamorfózy (wolastonitová reakce) jsou reakce výrazně ovlivněny infiltrací fluid s nízkým  $X_{CO_2}$
- v pozdních fázích vývoje kontaktní aureoly je nízký obsah  $CO_2$  ve fluidech způsoben intenzivním přínosem magmatických fluid

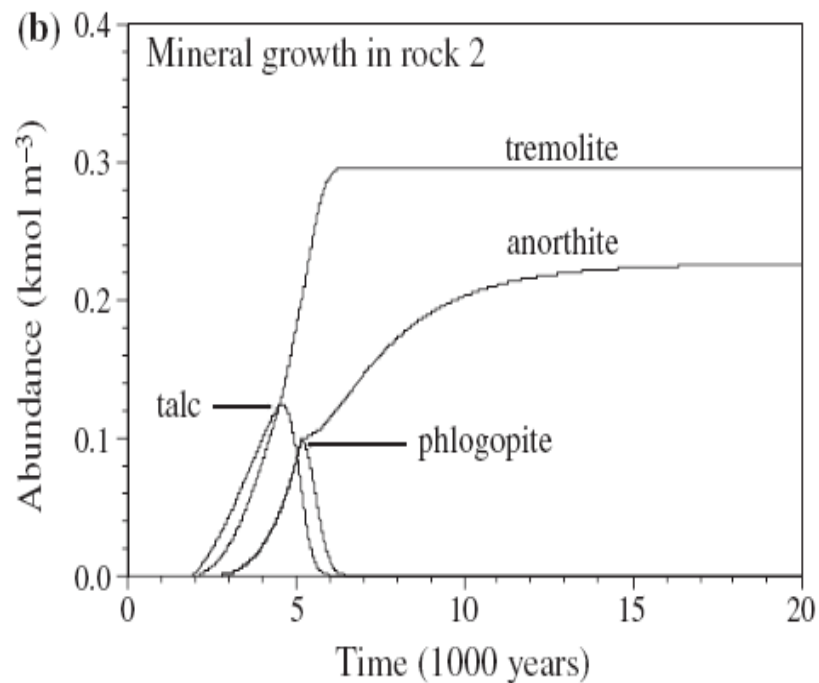
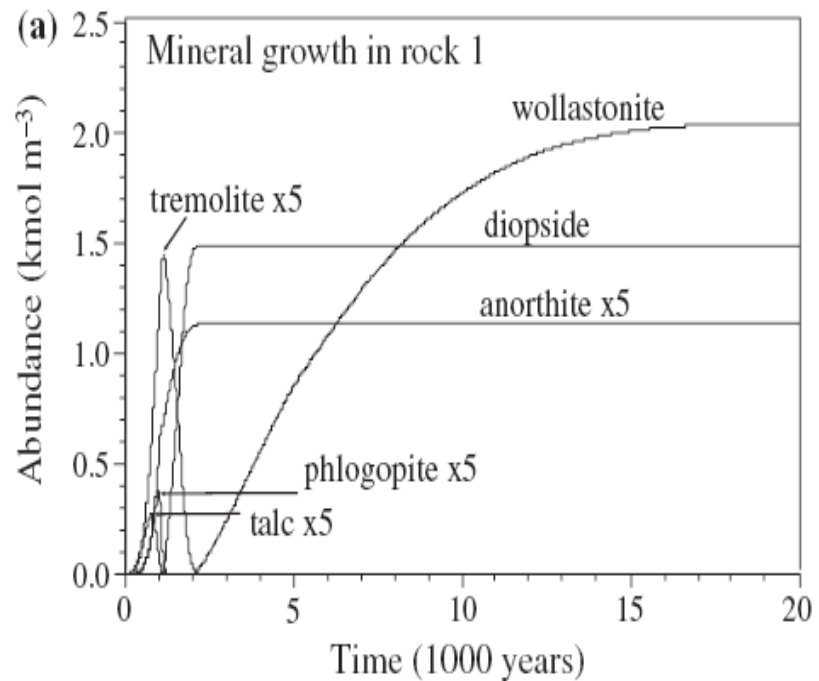
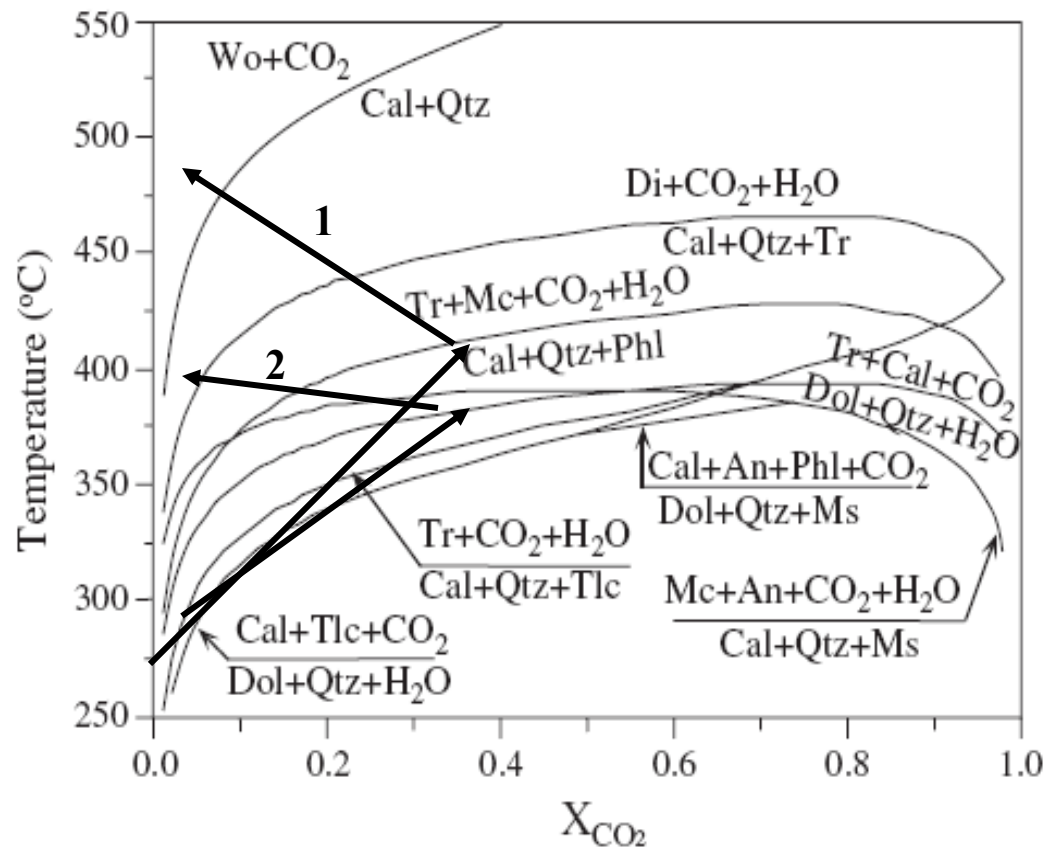


Polohy vápenatosilikátových hornin (mramorů) a kvarcitů



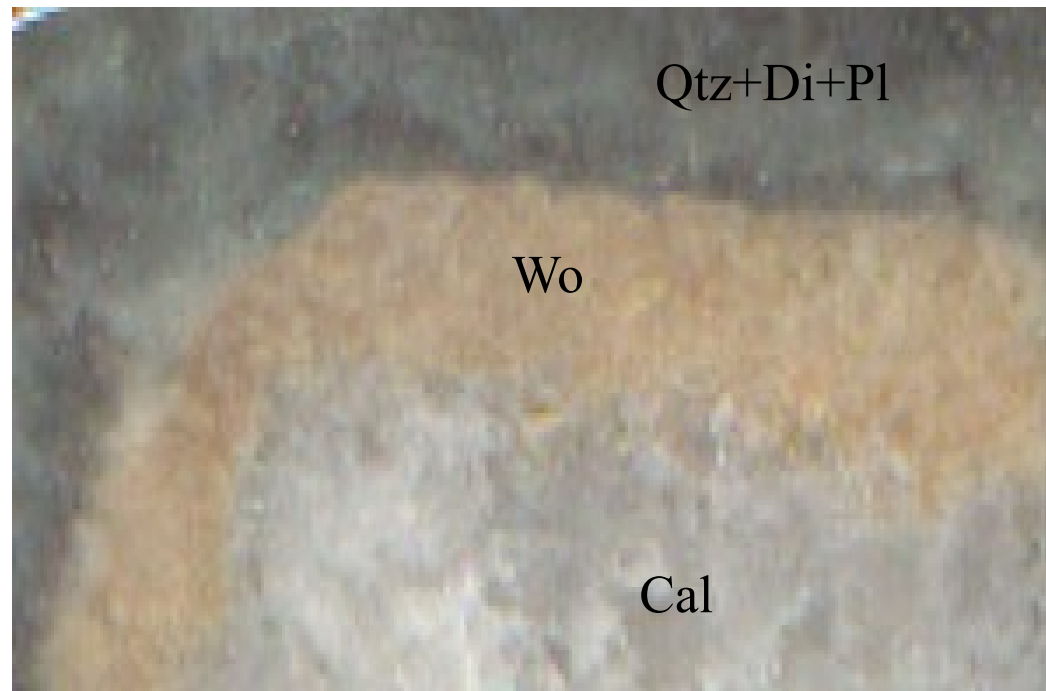
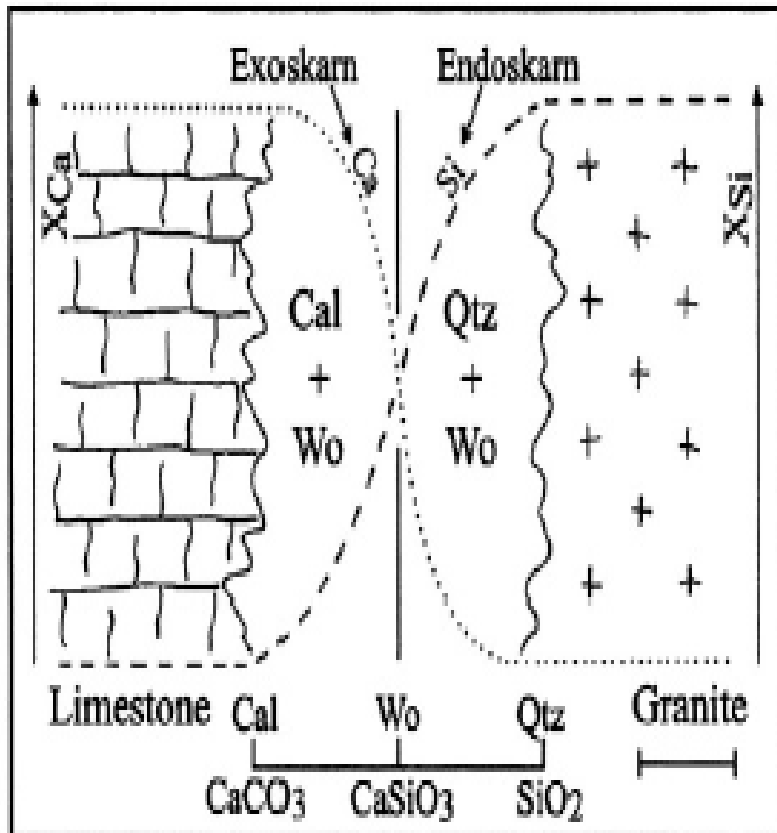
Předpokládaný vývoj T- $X_{CO_2}$  v horninách v okolí granitového plutonu (Cui et al 2003), minerální reakce počítané pro 750 bar čísla udávají stáří v 1000 let po umístění magmatu

Reaction #	
1	$3 \text{ Dol} + 4 \text{ Qtz} + 1 \text{ H}_2\text{O} = 3 \text{ Cal} + 1 \text{ Tlc} + 3 \text{ CO}_2$
2	$6 \text{ Cal} + 4 \text{ Qtz} + 5 \text{ Tlc} = 3 \text{ Tr} + 6 \text{ CO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O}$
3	$5 \text{ Dol} + 8 \text{ Qtz} + 1 \text{ H}_2\text{O} = 3 \text{ Cal} + 1 \text{ Tr} + 7 \text{ CO}_2$
4	$3 \text{ Dol} + 2 \text{ Qtz} + 1 \text{ Ms} = 2 \text{ Cal} + 1 \text{ An} + 1 \text{ Phl} + 4 \text{ CO}_2$
5	$1 \text{ Cal} + 2 \text{ Qtz} + 1 \text{ Ms} = 1 \text{ Mc} + 1 \text{ An} + 1 \text{ CO}_2 + 1 \text{ H}_2\text{O}$
6	$6 \text{ Cal} + 24 \text{ Qtz} + 5 \text{ Phl} = 3 \text{ Tr} + 5 \text{ Mc} + 6 \text{ CO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O}$
7	$3 \text{ Cal} + 2 \text{ Qtz} + 1 \text{ Tr} = 5 \text{ Di} + 3 \text{ CO}_2 + 1 \text{ H}_2\text{O}$
8	$1 \text{ Cal} + 1 \text{ Qtz} = 1 \text{ Wo} + 1 \text{ CO}_2$



## 4) Metasomatóza

- gradienty v chemických potenciálech mají podobně jako termální gradienty tendenci k vyrovnávání
- hydrotermální fluida toto vyrovnávání usnadňují
- endoskarn: vnitřní část kontaktní zóny která vznikla přeměnou vyvřelé horniny která byla v kontaktu s kontaktním dvorem intruze
- exoskarn: vnější lem intruze kde v důsledku přínosu fluid dochází ke změnám metamorfované horniny

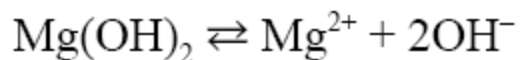


Metasomatická reakce mezi mramorem a granitem gradient v chemických potenciálech se vyrovnává přesunem Si do vápenců a Ca do granitů vzniká tak wollastonitový lem který odděluje endoskarn a exoskarn

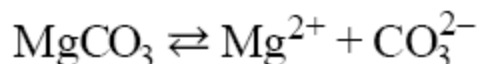


# Vlastnosti roztoků a stabilita minerálních fází na příkladu rozpustnosti Mg

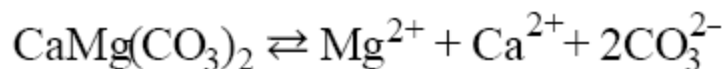
- Z fluid bohatých Mg se může za běžných podmínek srážet brucit ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ), magnesit ( $\text{MgCO}_3$ ), dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) a také hydratované karbonáty jako je hydromagnesit ( $\text{MgCO}_3(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) stabilitu těchto fází můžeme popsat těmito reakcemi (White 1999):



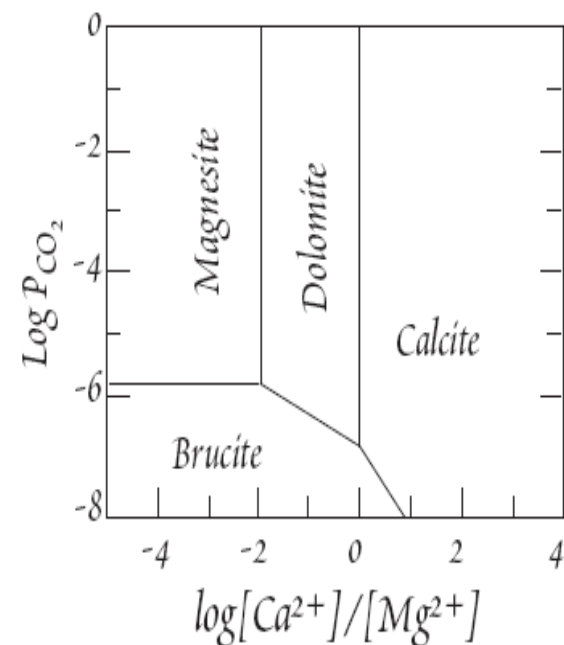
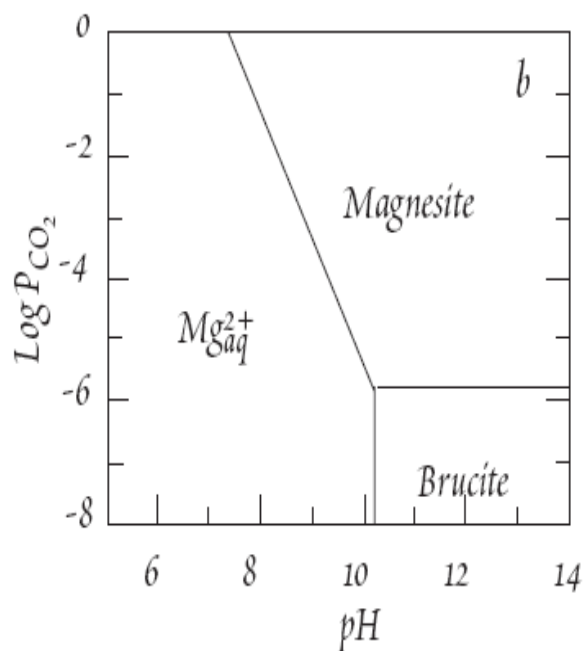
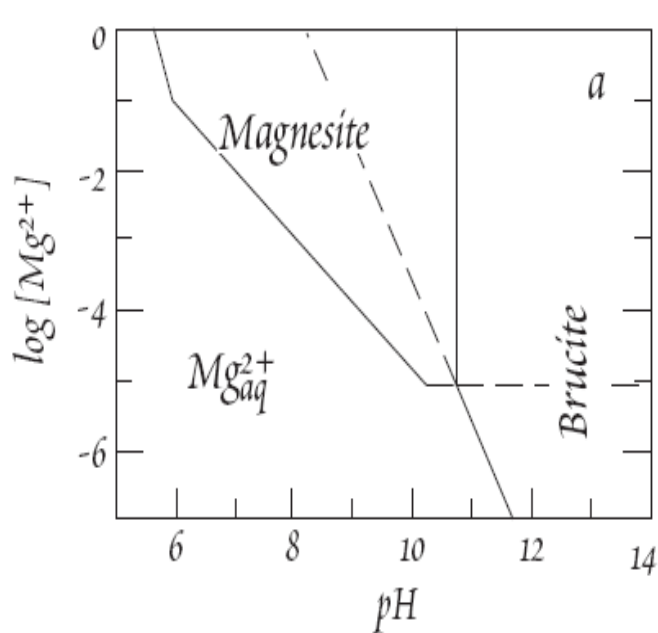
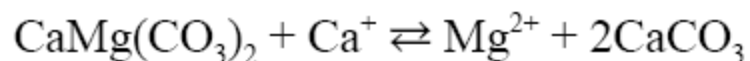
$$K_{\text{bru}} = 10^{-11.6}$$

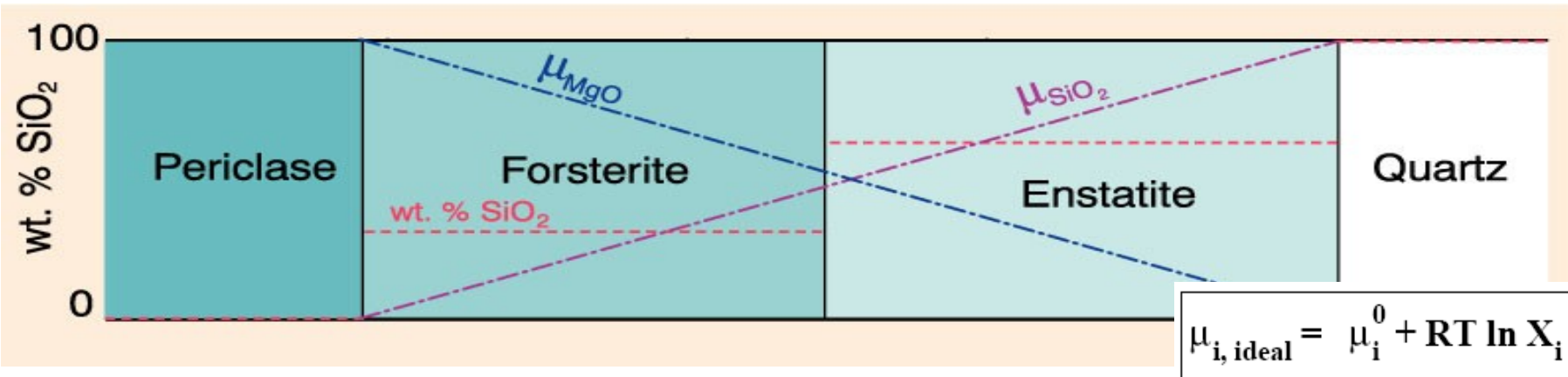


$$K_{\text{mag}} = 10^{-7.5}$$

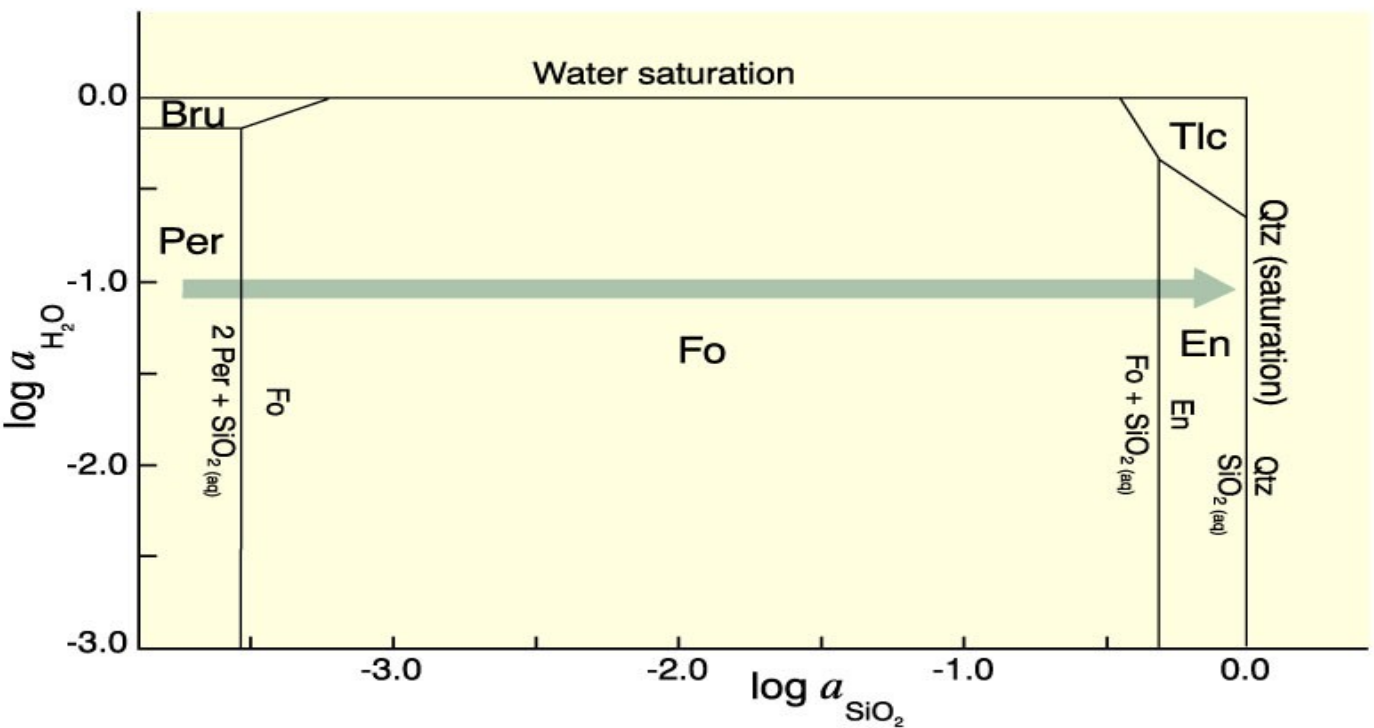
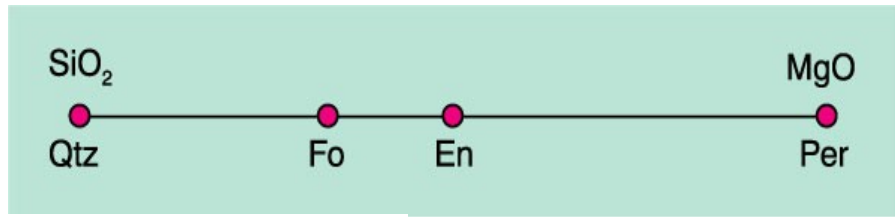


$$K_{\text{dol}} = 10^{-17}$$



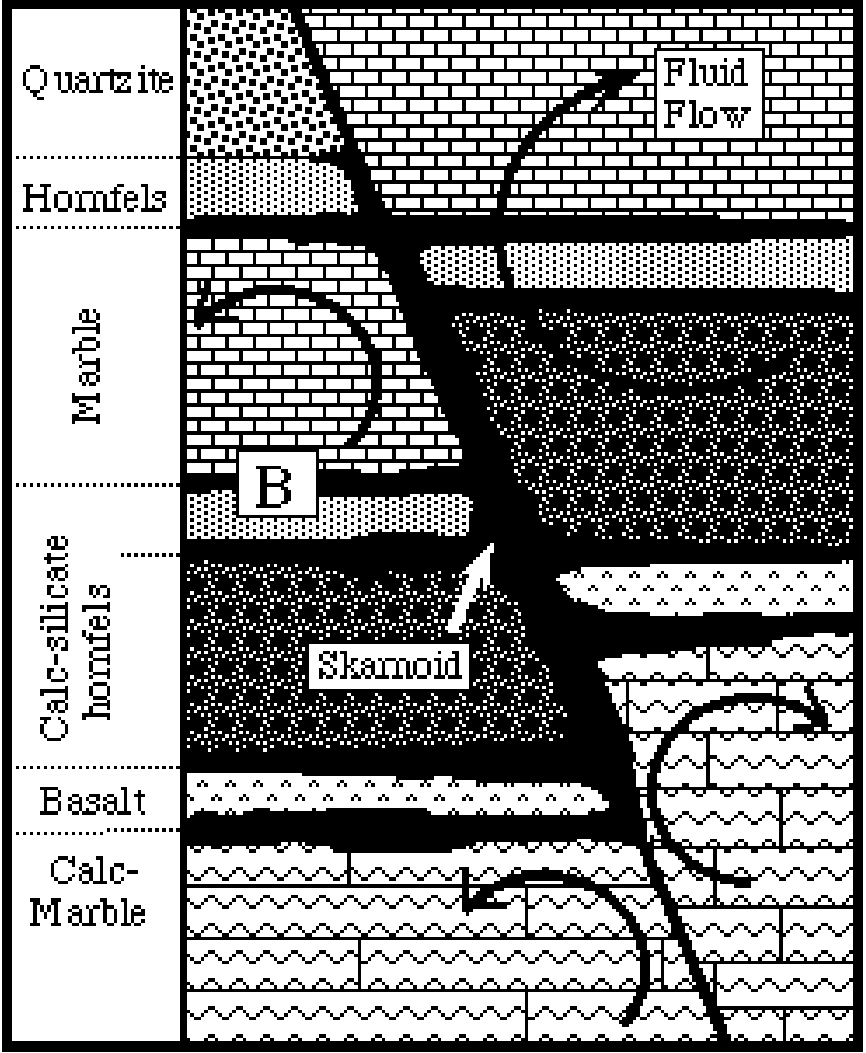
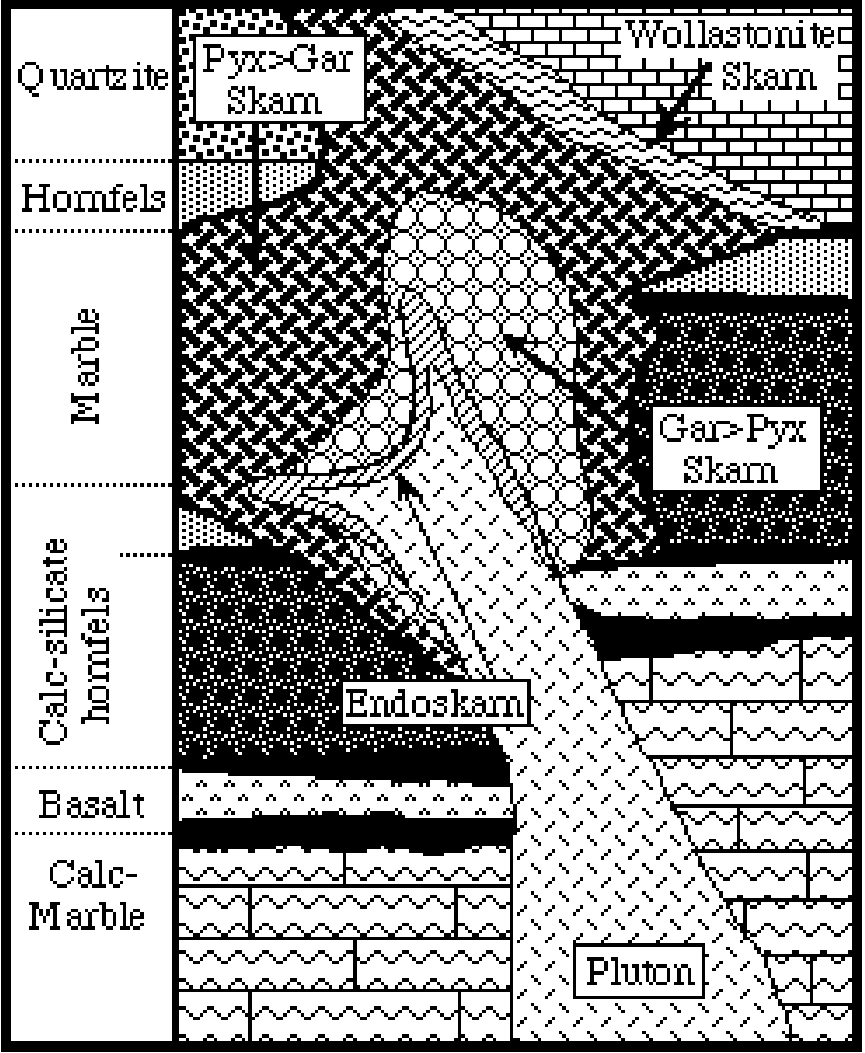


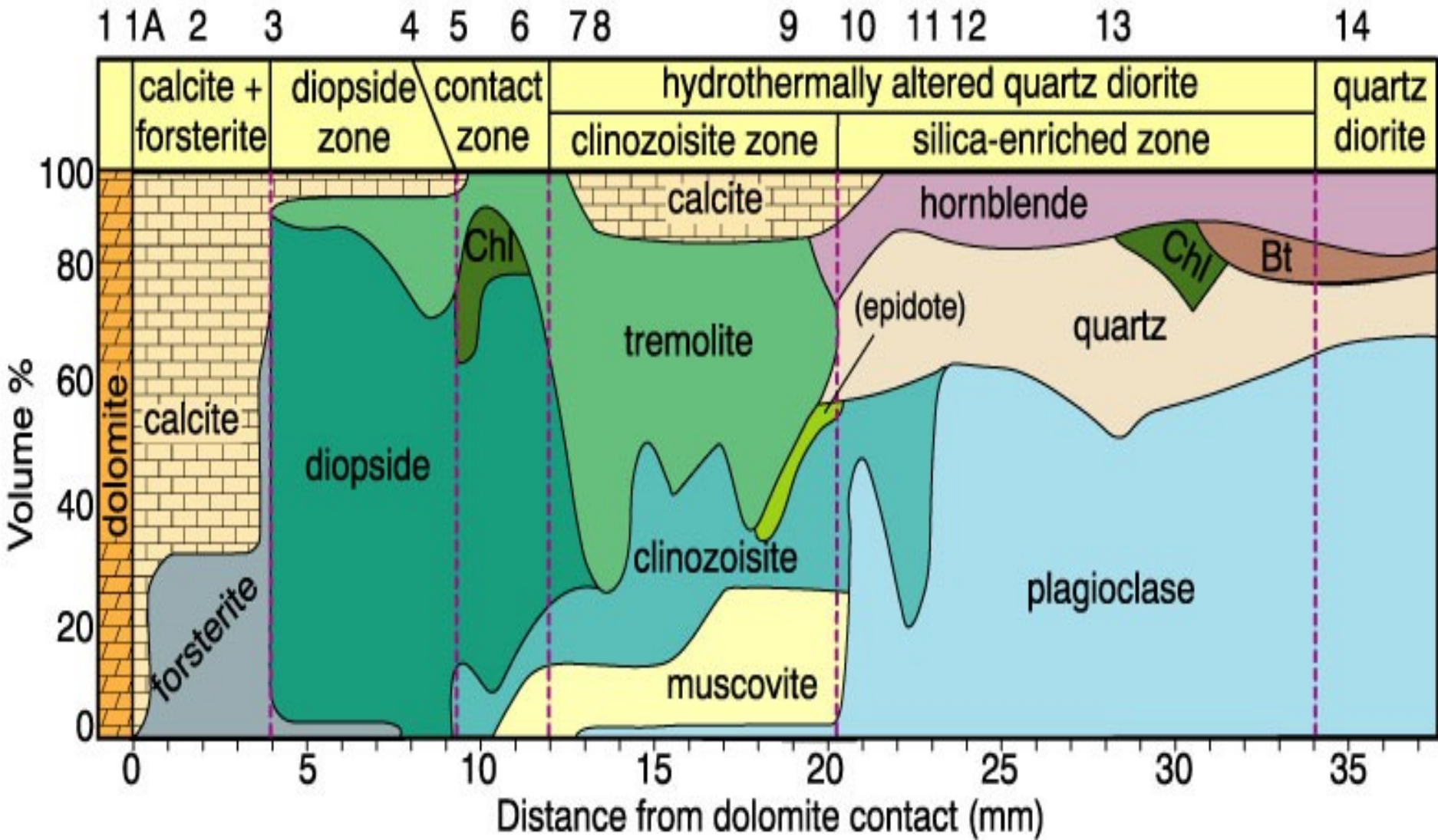
Hypotetický řez kontaktem mezi křemenem a periklasem (Thompson 1959) s zónami vzniklými v důsledku difuze. červená přerušovaná linie ukazuje obsah wt.% SiO<sub>2</sub> další dvě přerušované linie ukazují změny v chemických potenciálech  $\mu_{SiO_2}$  a  $\mu_{MgO}$ . (Winter 2001, An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall).



$a_{SiO_2} - a_{H_2O}$  diagram pro fluida v systému MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O při teplotě 600°C a tlaku 0.2 GPa (Winter 2001, An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall).

- skarny – silikátová hornina obsahující Ca-Fe-Mg vznikající v důsledku metasomatózy
- typické minerály: granáty (grosular-andradit-almandin), pyroxen (diopsid-hedenbergit), plagioklasy (podružně), wollastonit, epidot, vesuvian, kalcit, křemen, skapolit
- vznikají na kontaktu s plutonickými tělesy nebo jako důsledek reakce vhodných hornin s hydrotermálními fluidy

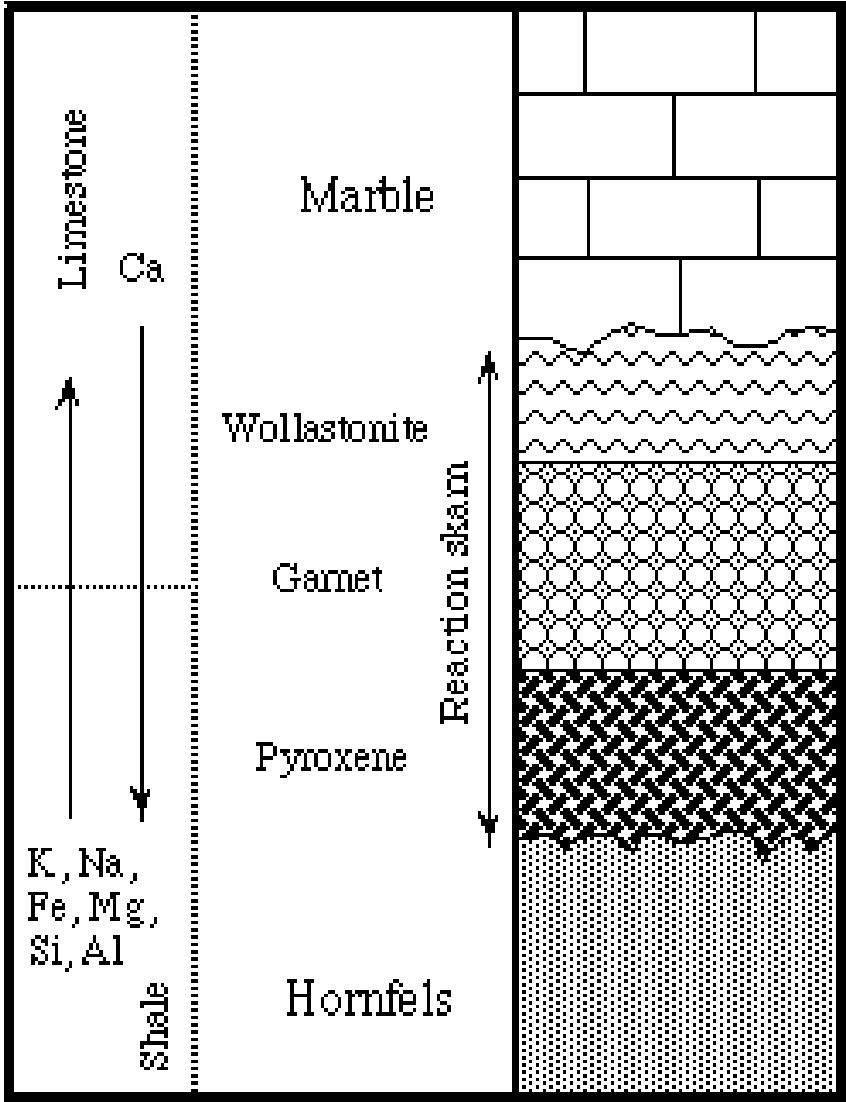


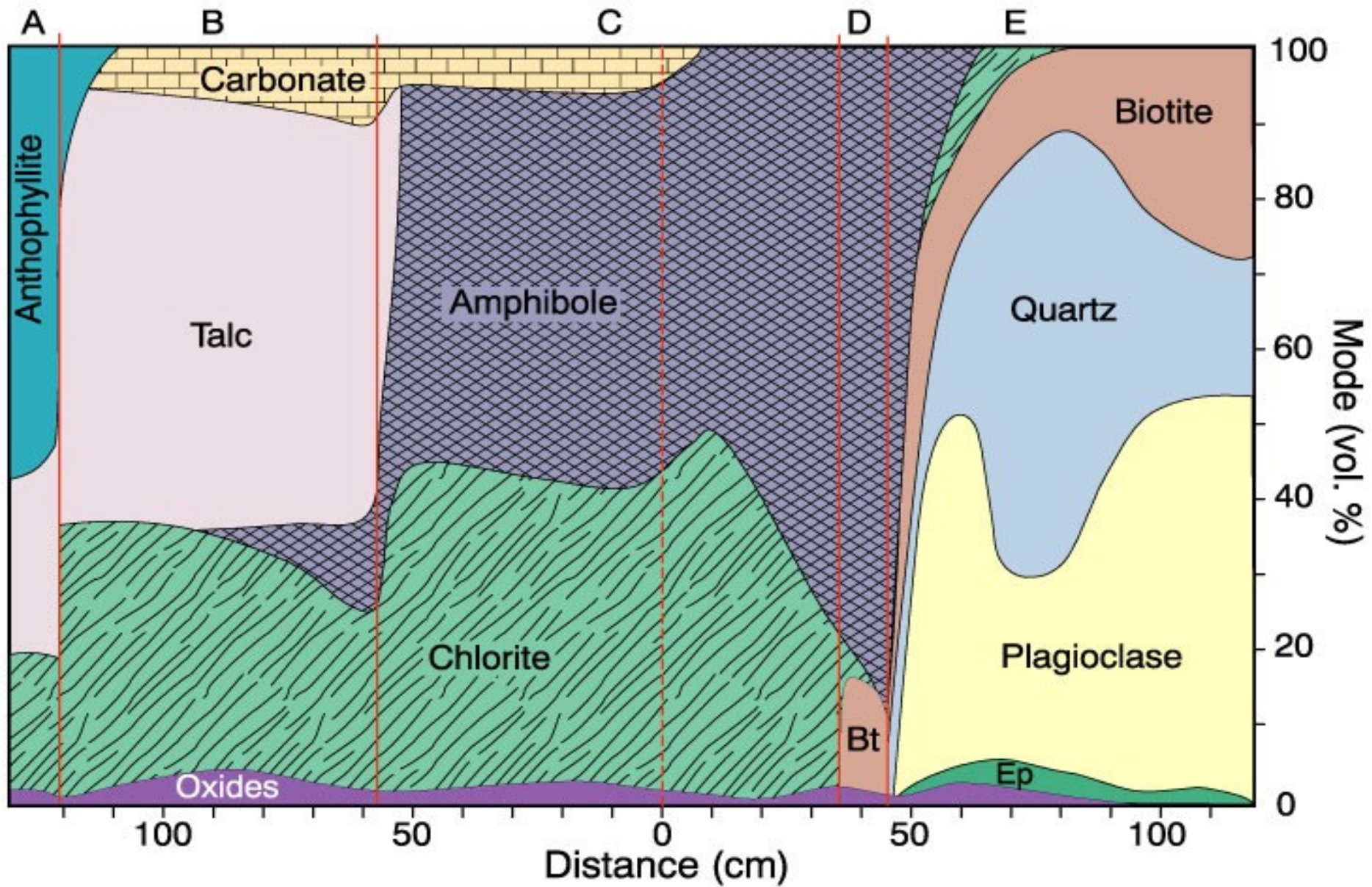


Minerální zóny vyvinuté na kontaktu mezi Qtz dioritem a dolomitickým mramorem. čísla ukazují místa odběru pro horninovou analýzu (Frisch a Helgeson 1984, Amer. J. Sci., 284, 121-185; Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall)

- vznikají také jako produkt reakce mezi dvěma chemicky kontrastními horninami během regionální metamorfózy ( např. rohovcové konkrece v mramoru)

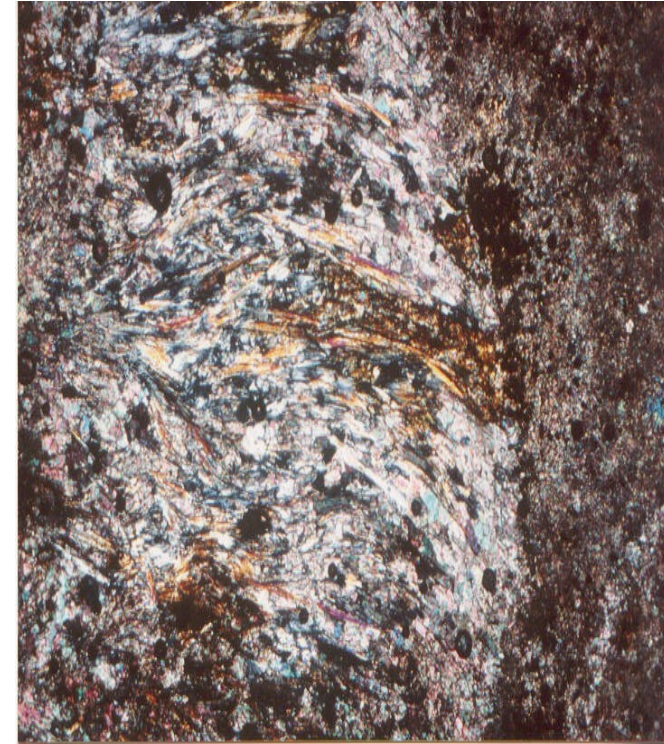
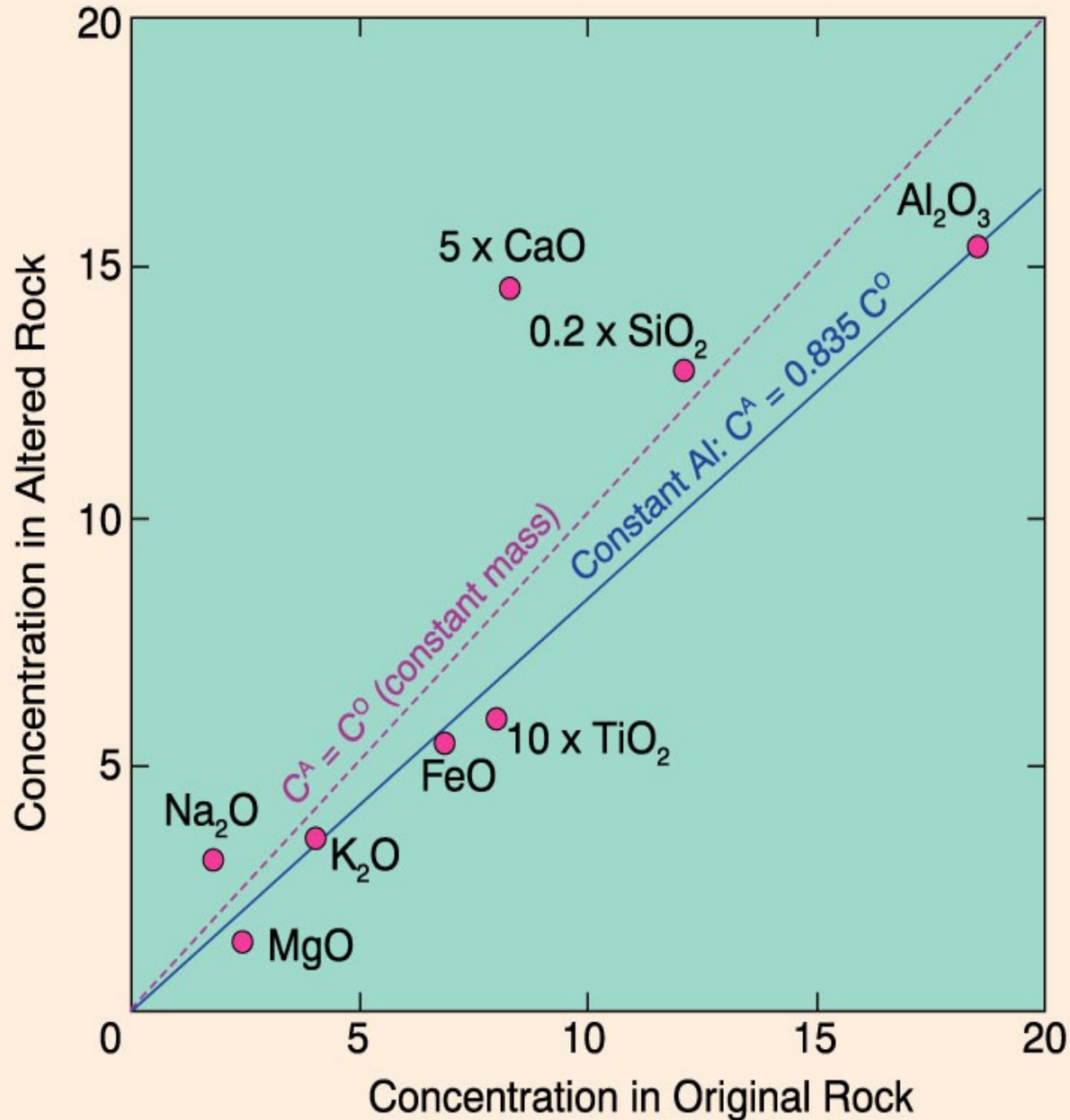
Unmetamorphosed		Metamorphosed	
Sandstone		Quartzite	
Shale		Hornfels	
Limestone		Marble	
Shale		Hornfels	
Calcareous Shale		Calc-silicate hornfels	
Basalt		Greenstone	
Silty Limestone		Wollastonite marble	





Kontakt ultramafické horniny s rulou (Grafton, Vermont). Bylo vyčleněno několik zón: A = Tlc + Ath, B = Tlc, C = Act + Chl, D = přechodná, E = okolní hornina. (Sanford 1982, Amer. J. Sci., 282, 543-616, upravil Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall).

## 5) Interpretace látkové bilance metasomatických procesů



Dol mramor s žilou Tr+Cal

Isoconový diagram (Grant 1986) *Econ. Geol.*, 81, 1976-1982. Winter (2001) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.

# Literatura

- Dudek, A. - Fediuk F. - Palivcová M. (1962): Petrografické tabulky
- Hejtman, B. (1962): Petrografie metamorfovaných hornin
- Konopásek, J. – Štípská P. – Klápková H. – Schulmann K. . (1998): Metamorfní petrologie
- Kornprobst, J. (2002): Metamorphic Rocks and Their Geodynamic Significance. A Petrological Handbook. Petrology and Structural Geology Series Vol. 12.
- Vernon, R.H. and Clarke, G.L. (2008): Principles of Metamorphic Petrology. Cambridge University Press, 446 pp.,
- Naprostá většina obrazového materiálu pochází z celé řady internetových stránek věnujících se metamorfní petrologii