

# Metamorfnní petrologie I

## 1. Úvod do metamorfních procesů

# 1. Úvod do metamorfních procesů

## **Osnova:**

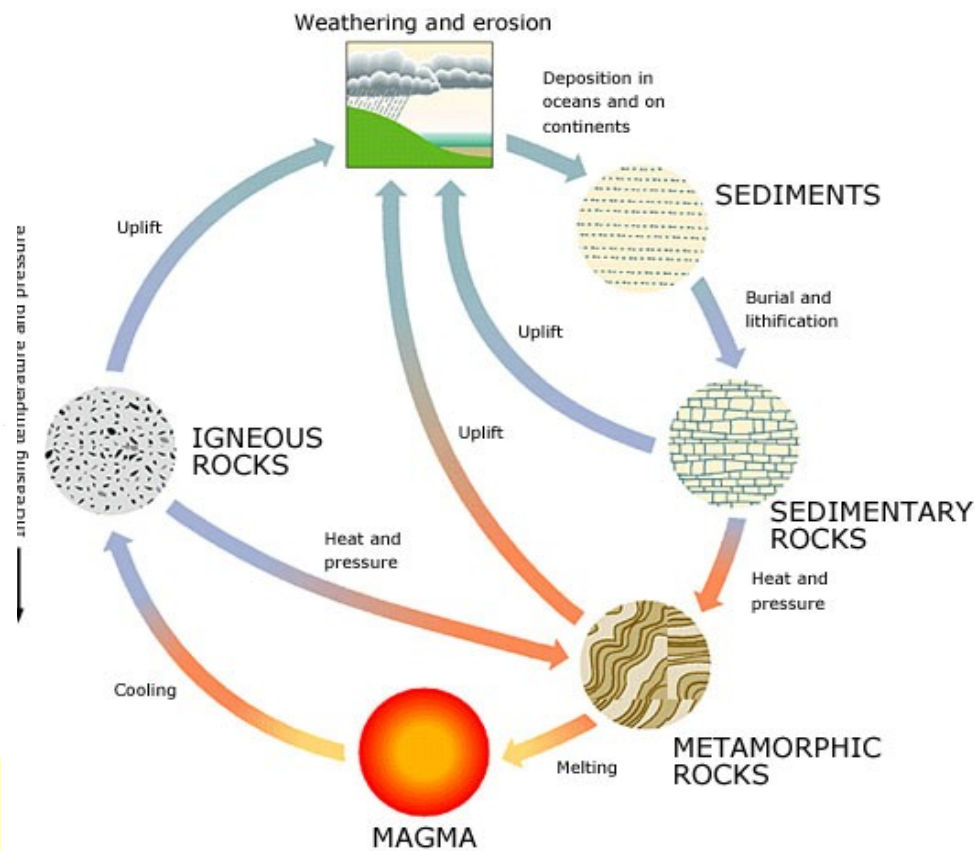
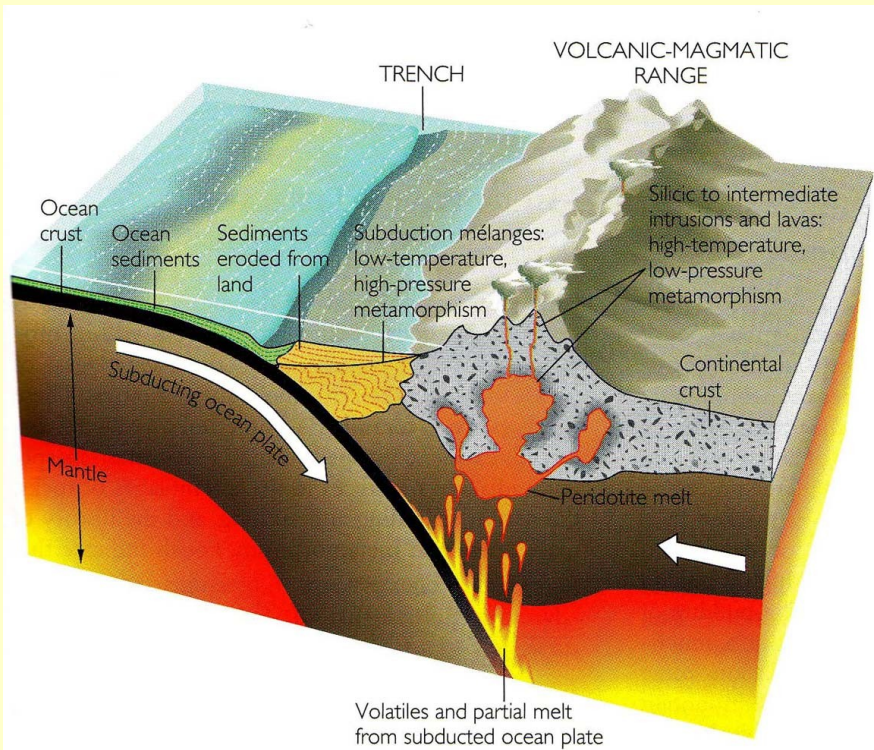
- *Horniny - odraz geologických procesů*
- *Přeměny při metamorfóze*
- *Hlavní činitelé metamorfózy*
- *Typy metamorfózy*
- *Stavební znaky typické pro jednotlivé typy metamorfóz*

# Horniny - odraz geologických procesů

➤ sedimenty – větrání+eroze – uložení, pohřbení a litifikace

➤ **metamorfity** – vyšší P a T – rekrystalizace minerálů v pevném stavu

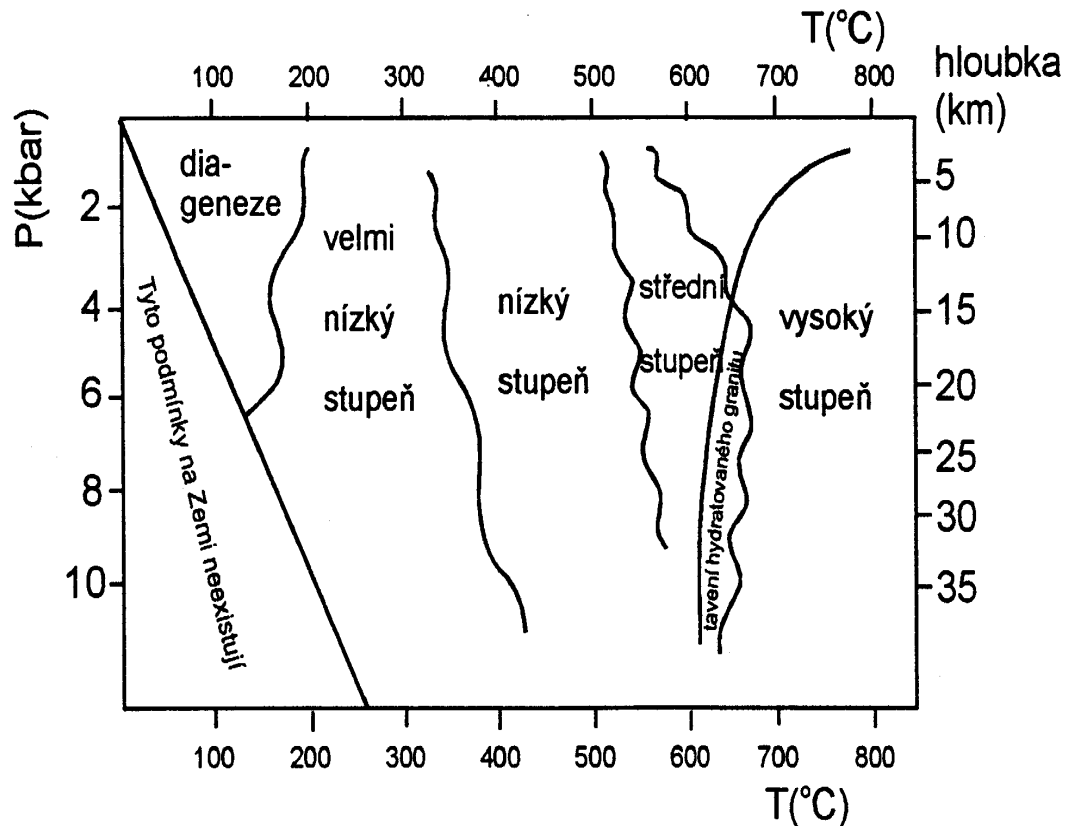
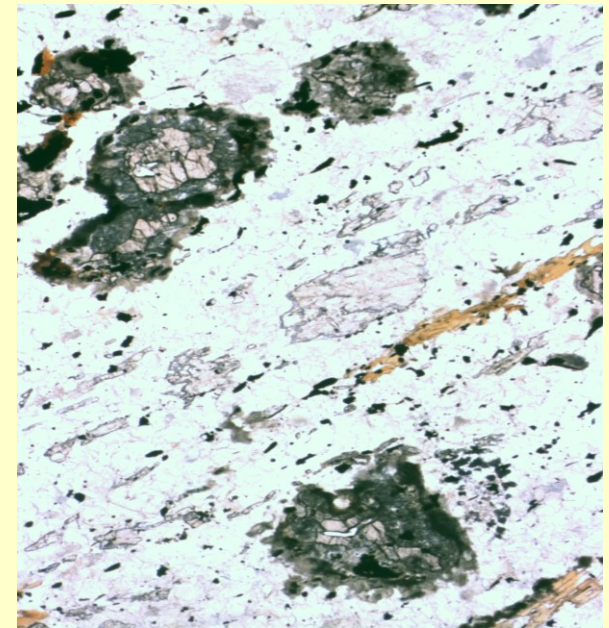
➤ magmatity – tavení hornin v kůře/svr. plášti – krystalizace z taveniny



Horninový cyklus (Hutton 1785, 1795)

# Horniny - odraz geologických procesů

hornina - chemické složení, minerály, struktura  
- odráží **horninotvorné procesy**



**metamorfóza** z řec. slova „metamorphosis“ (přeměna)

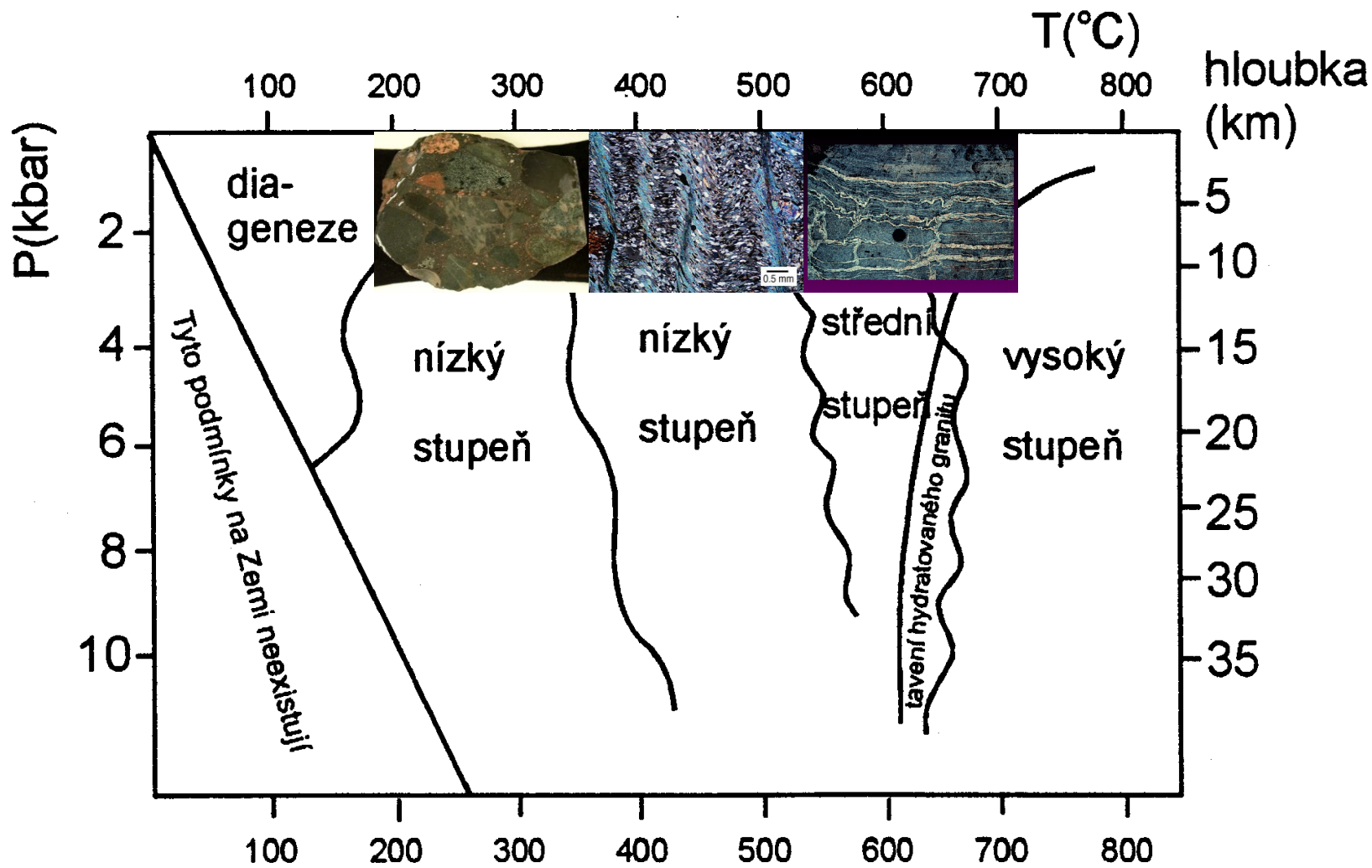
**Hranice:**

diagenese (asi 200 °C)

tavení (asi 650 °C – 1100 °C)

Schematický PT diagram s vyznačením polí pro různý stupeň metamorfózy (Konopásek et al. 1998).





➔ velmi nízký stupeň (200 - 350°C)

➔ nízký stupeň (350 - 550°C)

➔ střední stupeň (550 - 650°C)

➔ vysoký stupeň (nad 650°C)

# METAMORFÓZA

- METAMORFÓZA neboli přeměna hornin je proces kdy v horninách (sedimentárních, vyvřelých či již přeměněných) dochází ke změnám v důsledku změny fyzikálních podmínek - zejména teploty a tlaku.
- METAMORFÓZA je proces, při kterém dochází k přizpůsobování již existujících hornin novým fyzikálně-chemickým podmínkám prostředí.
- METAMORFÓZA je odlišná od zvětrávání a diagenese.
- Na rozdíl od těchto procesů METAMORFÓZA probíhá metamorfóza v odlišných fyzikálně-chemických podmínkách, daných nejčastěji vyšší teplotou a tlakem.
- Od magmatických procesů je odlišná tím, že horninový materiál zůstává v průběhu metamorfózy v pevném stavu (hornina se nezmění na taveninu). Avšak může docházet k parciálnímu tavení.
- Při metamorfóze horniny vznikají nové, metamorfní minerály. Tento proces se nazývá blastéza.







The IUGS-SCMR has proposed the following definition of metamorphism:

“Metamorphism is a subsolidus process leading to changes in mineralogy and/or texture (for example grain size) and often in chemical composition in a rock. These changes are due to physical and/or chemical conditions that differ from those normally occurring at the surface of planets and in zones of cementation and diagenesis below this surface. They may coexist with partial melting.”

# Přeměny při metamorfóze

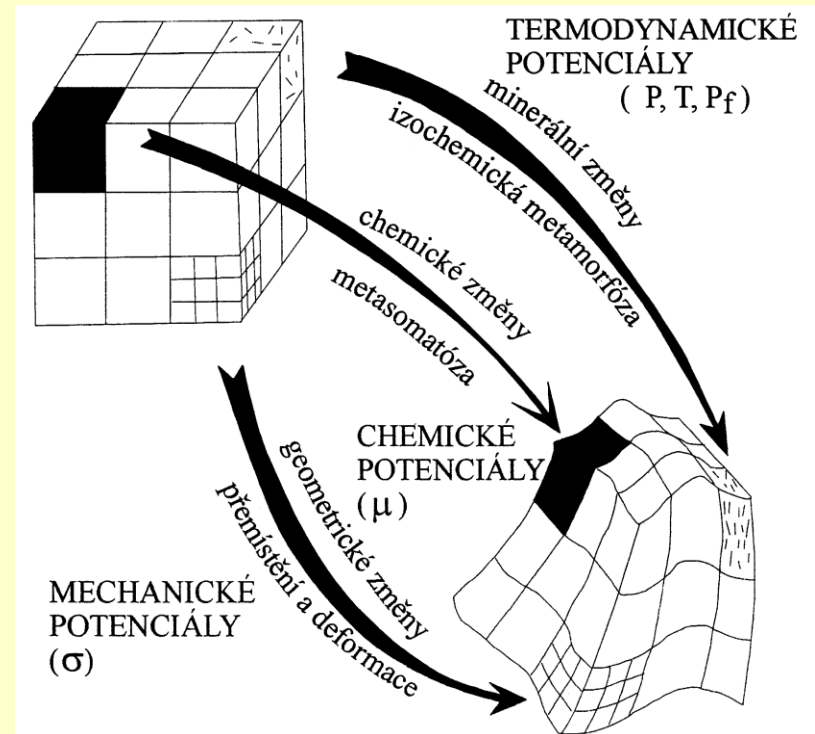
minerály a horniny jsou stabilní jen za podmínek za nichž vznikly

změna podmínek – **přeměna** horniny

→ krystalizace nových minerálů  
(chemické reakce – fázové změny)

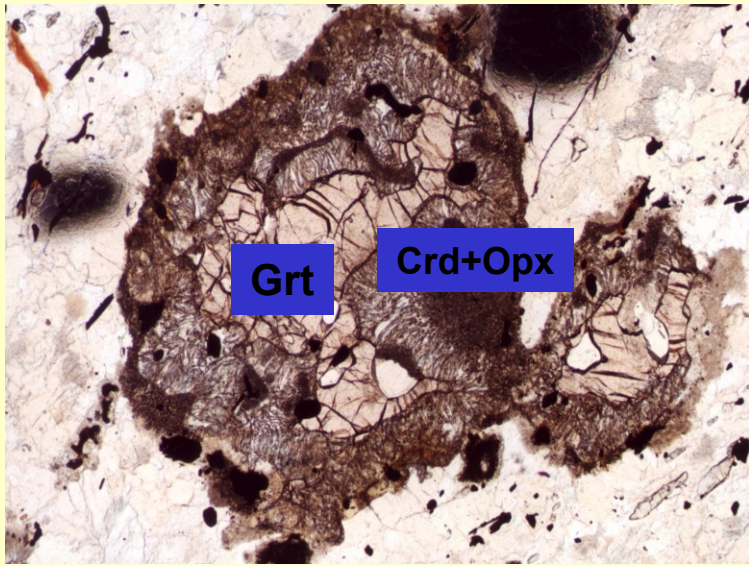
→ změny v chemismu

→ texturní změny  
(velikost zrna, deformace)



*Metamorfované horniny na povrchu země mají metastabilní minerální asociace.*





## → krystalizace nových minerálů

fázové změny - chemické reakce

prográdní (dehydratační) –  $\uparrow T$ :

probíhají snadno a vešměs kompletně (s rostoucí teplotou roste rychlost reakcí), často uvolňují vodu – dehydratační

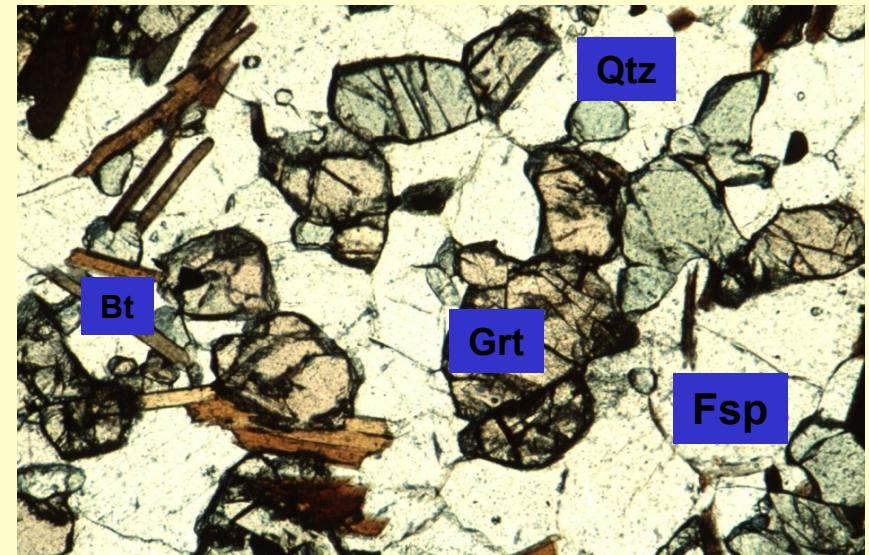
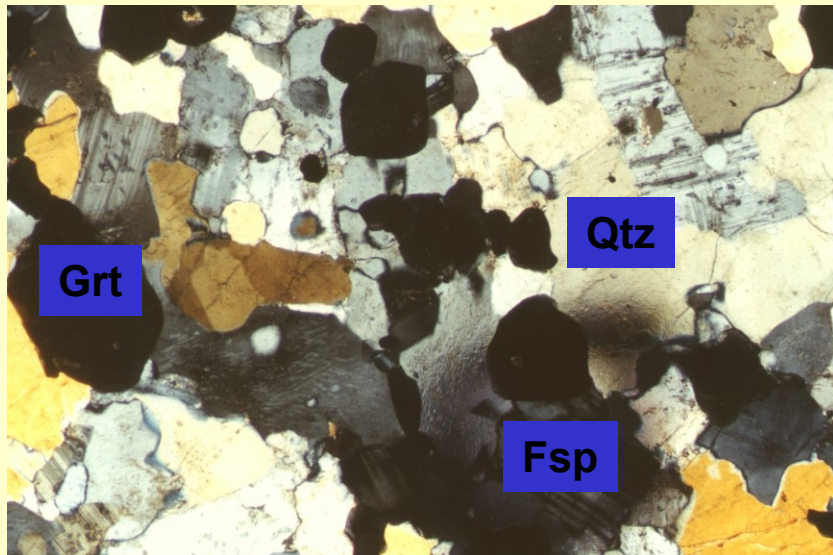
retrográdní (hydratační) –  $\downarrow T$ :

málokdy proběhnou úplně, často konzumují vodu – hydratační (tam kde není fluidní fáze přítomna nemusí proběhnout vůbec – metastabilní asociace).

protolit (původní hornina před metamorfózou)

minerální asociace (minerály vznikly společně)

minerální parageneze (vyskytují se v hornině společně ale vznikly v různých obdobích met.)





# Přeměny při metamorfóze

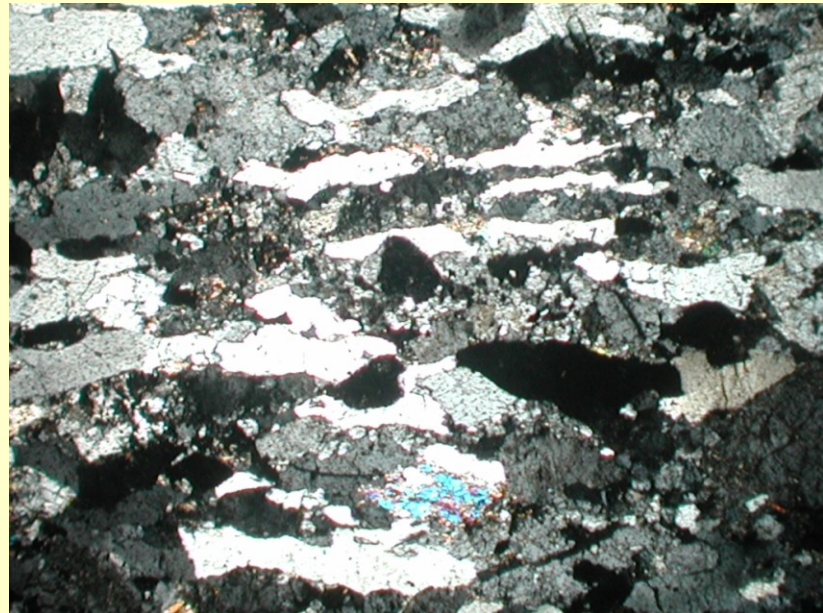
→ texturní (strukturní) změny (změna velikosti zrna, deformace, změny uspořádání minerálů /makro – mikro/)

## Důležité pojmy

foliace (schistosity) – plošný strukturní prvek

lineace – lineární strukturní prvek

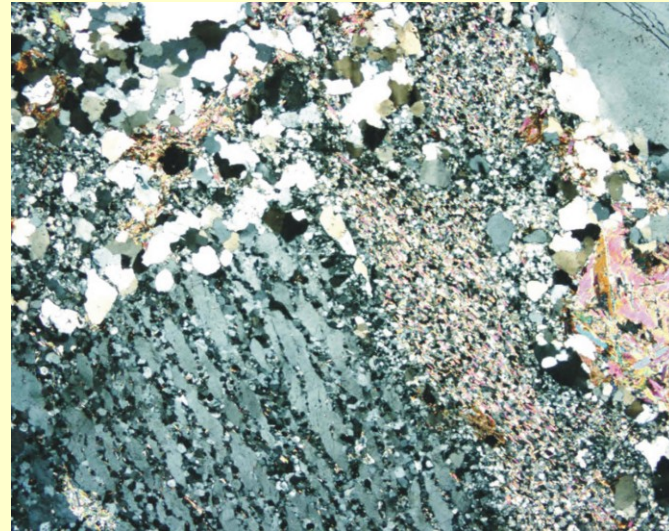
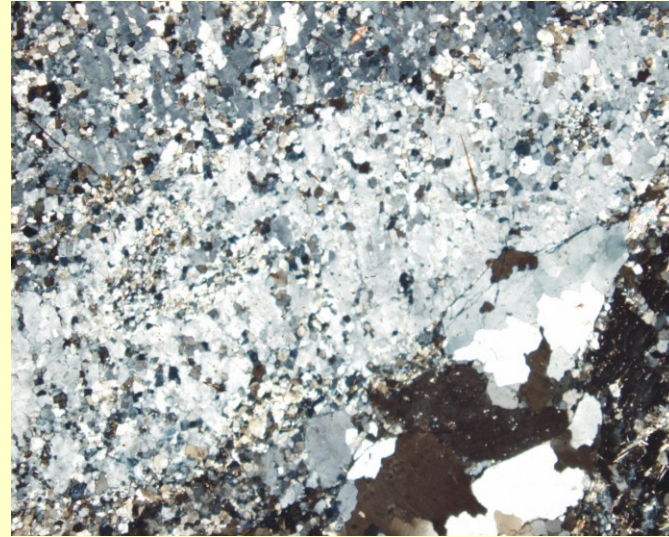
textura, struktura, stavba





# Přeměny při metamorfóze

texturní (strukturní) změny změna velikosti zrna, deformace, změny uspořádání minerálů



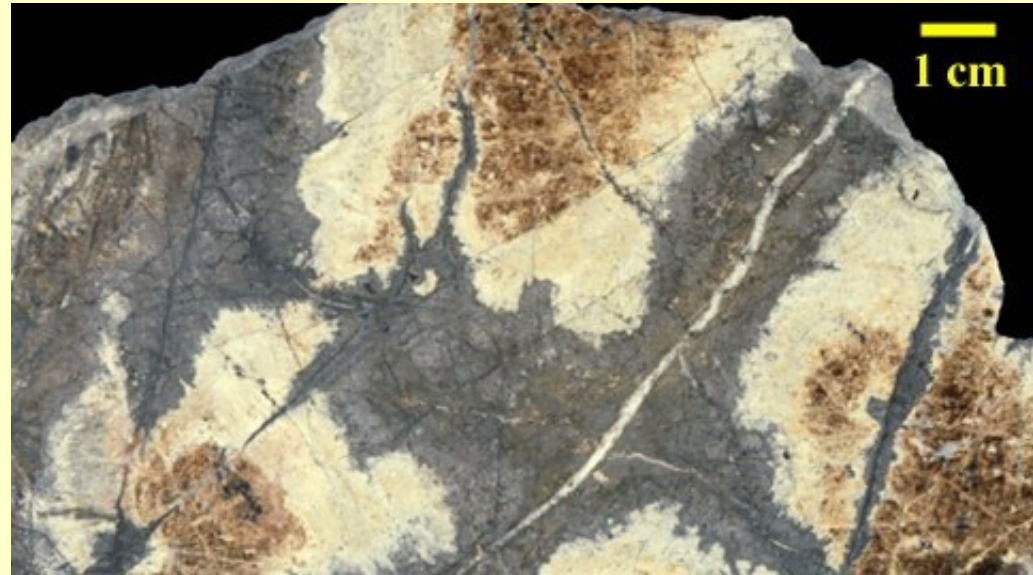


# Přeměny při metamorfóze

→ změny v chemismu

- isochemická metamorfóza
- metasomatóza

skarn



→ natavení (anatexe)

- magmatické horniny

migmatit



# Hlavní činitele metamorfózy

## A) teplota

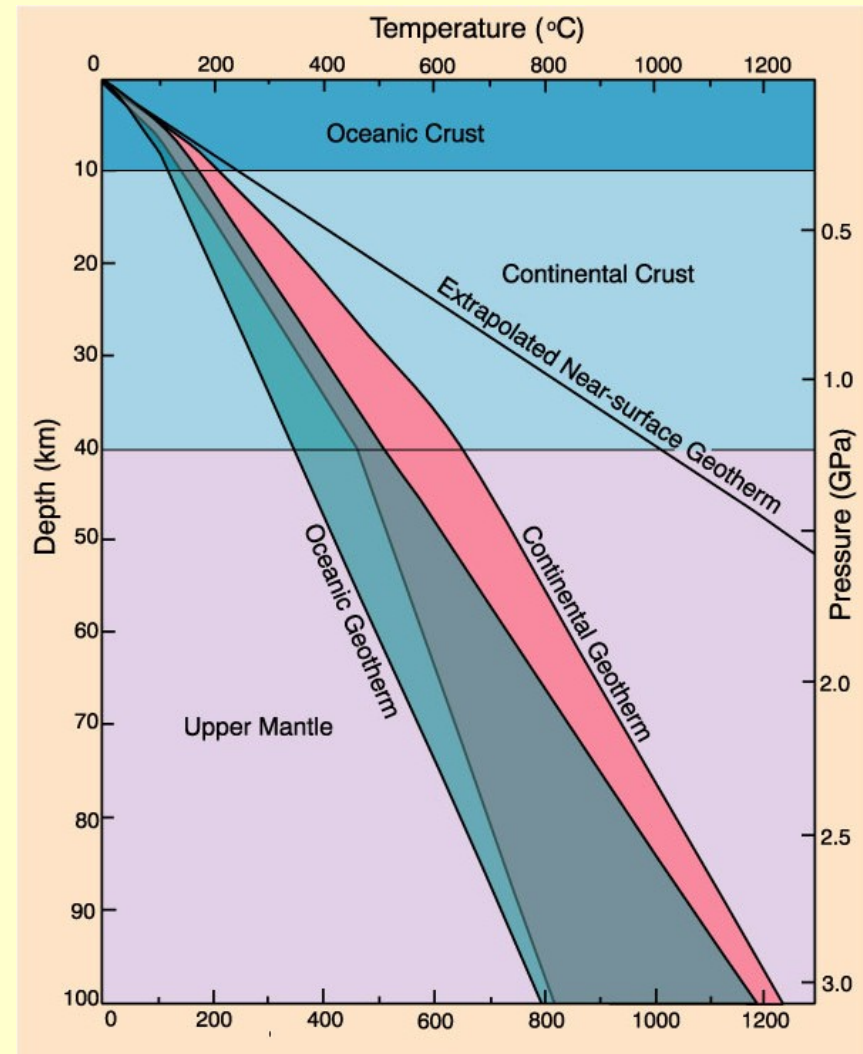
### geotermální gradient (gg)

- nárůst T na 1 km hloubky
- obv. 15-30 C/km
- max. 60 C/km

### geoterma

- indikuje dT s hloubko
- může mít v různých částech kůry odlišný průběh

**Figure 1-9.** Estimated ranges of oceanic and continental steady-state geotherms to a depth of 100 km using upper and lower limits based on heat flows measured near the surface. After Sclater *et al.* (1980), *Earth. Rev. Geophys. Space Sci.*, 18, 269-311.



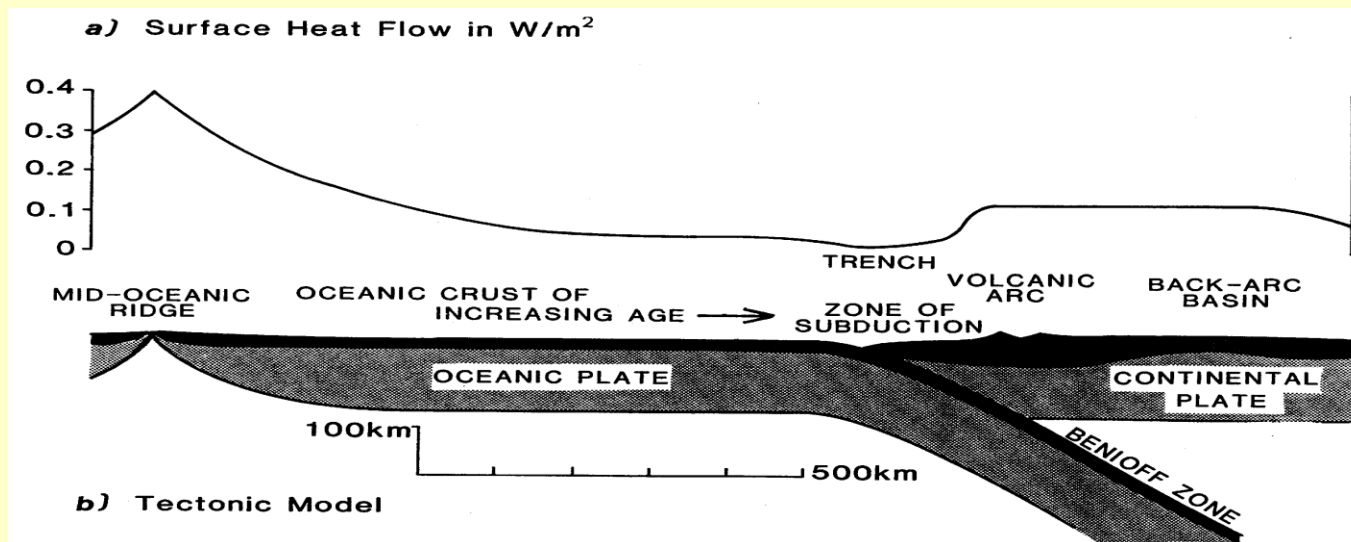


# Hlavní činitelé metamorfózy

## A) teplota

zdroje tepla

- tok tepla ze zemského pláště
- teplo uvolněné při radioaktivním rozpadu v kůře (U, Th)
- teplo přinesené magmatickými horninami
- exotermní metamorfní reakce (řada hydratačních reakcí)



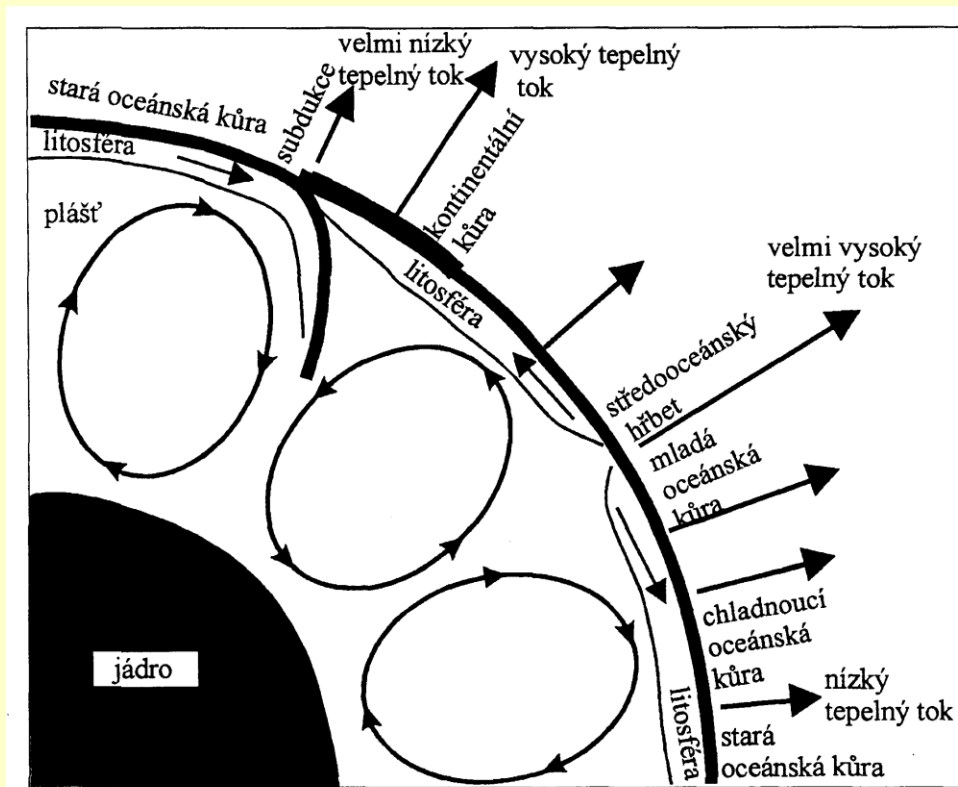
Variace povrchového tepelného toku měřeného v různých částech Země (a) ve vztahu k deskové tektonice (b). Podle Yardley (1989)

## Přenos tepla:

a) kondukce - tepelná energie je transportována jako kinetická energie z jednoho atomu na další, bez pohybu geologických těles

b) konvekce - tepelná energie je transportována pohybem teplejších geologických těles (i fluid) do studenějších částí systému

c) advekce - pohyb určitého bodu v hornině přes tepelný gradient



Rozdíly tepelného toku v různých geotektonických kontextech (Konopásek et al. 1998)

# Hlavní činitelé metamorfózy

## B) tlak

### 1) **litostatický tlak** (confining pressure, všesměrný)

$$P = \rho gh$$

$\rho$ - hustota hornin nadložního sloupce (granity 2,7, bazalty 3,0, peridotit 3,3 gcm<sup>-3</sup>)

g – tíhové zrychlení (9,8 ms<sup>-2</sup>)

h - hloubka

tj. nárůst s hloubkou cca 1 kbar/3 km

používané jednotky: 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa = 0,1 MPa

**1 kbar = 0.1 GPa**

mocnosti zemské kůry v km:

oceanická – 5-10

kontinentální kratony – 35-40

kontinentální orogenní oblasti – 70-80

# Hlavní činitelé metamorfózy

## B) tlak

### 2) orientovaný tlak (stress)

- neovlivňuje fázové rovnováhy
- vznik orientované stavby v horninách

## C) fluida

$H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $F_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$  a S

- součást minerálů (slídy, amfiboly, karbonáty, sulfidy)
- v pórech mezi jednotlivými zrny, popř. v inkluzích

prográdní met. – uvolňovány (dekarbonizace, dehydratace)

- ovlivňují fázové rovnováhy
- přenášejí teplo
- způsobují přenos hmoty a mohou měnit izotopické i chemické složení horniny

# Základní termíny

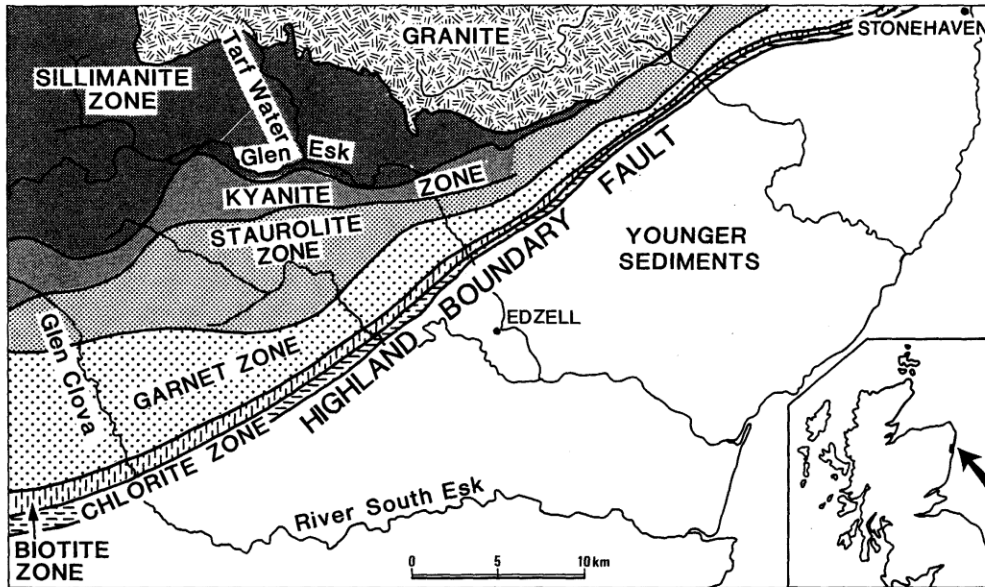
používané pro popis metamorfózy

- metamorfní stupeň (grade) – intenzita metamorfózy (T) – vysoký, nízký
- metamorfní zóna – oblast výskytu indexového minerálu
- metamorfní izograda – hranice metamorfní zóny
- metamorfní facie – charakteristická minerální asociace (rozmezí P a T, chemické rovnováhy)
- metamorfní P-T dráha – vývoj hornin v poli P-T

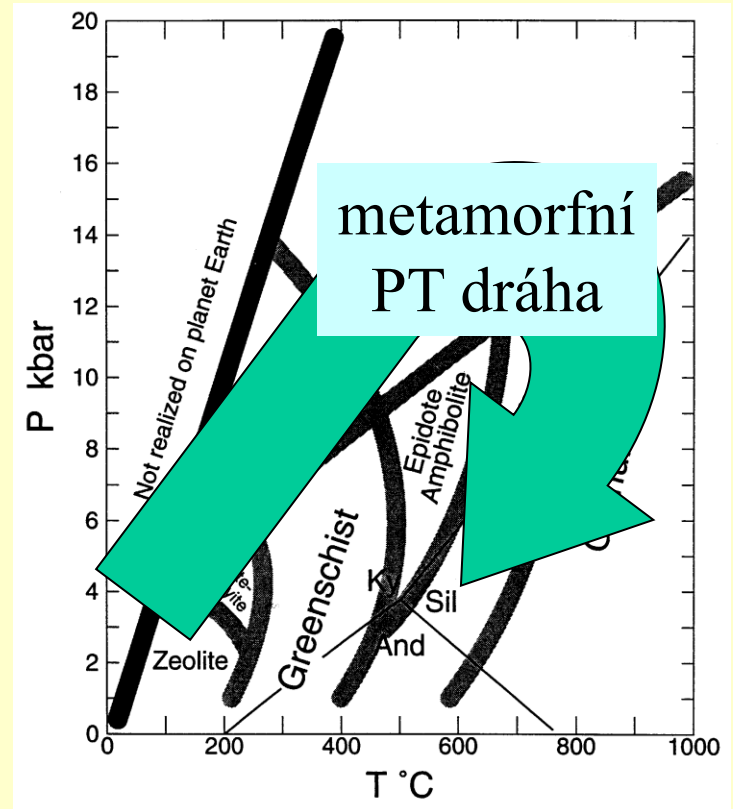


# metamorfní zóny a izogrády

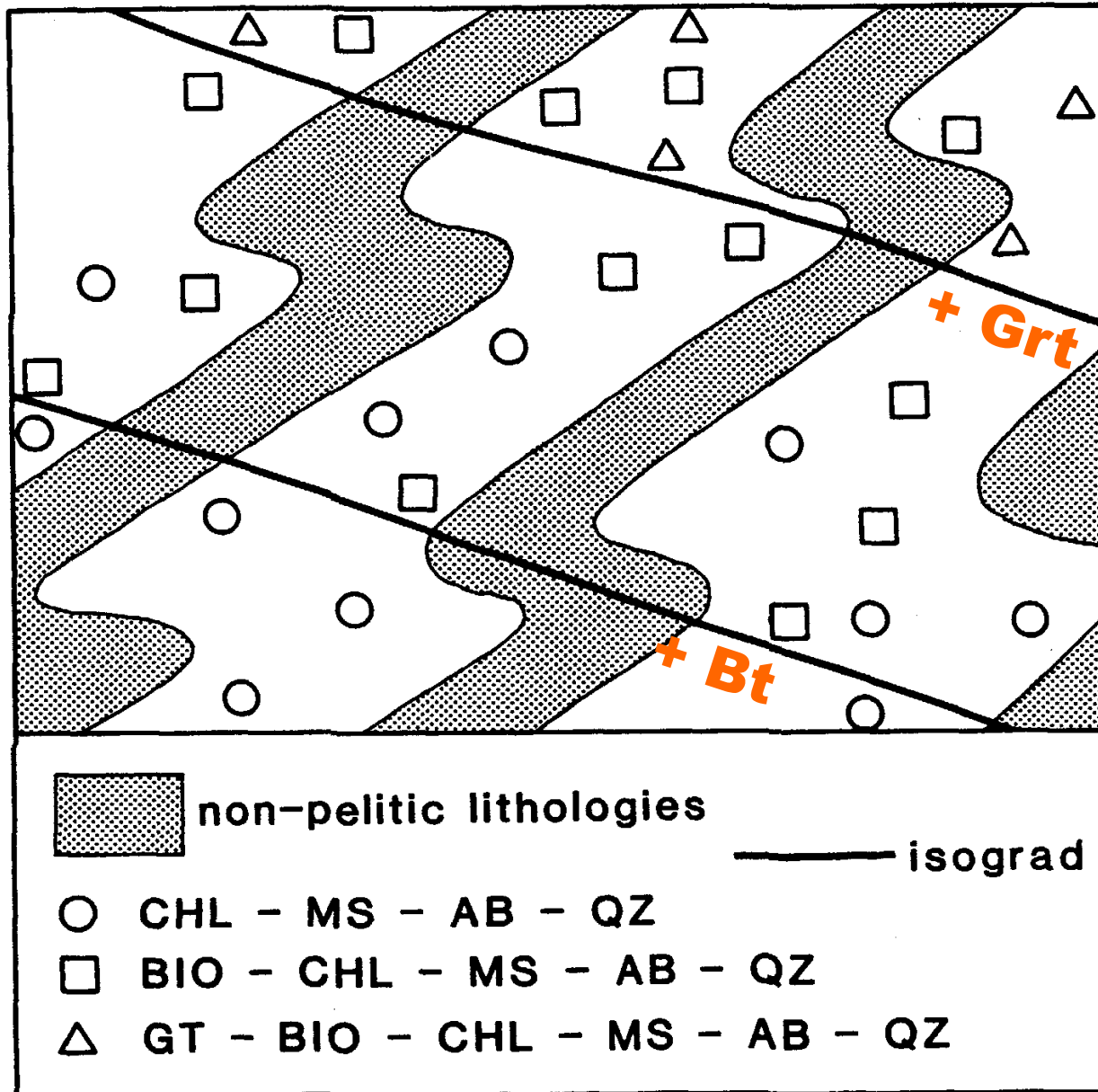
- metamorfní zóna – oblast výskytu IM
- metamorfní izograda – hranice MZ



# metamorfní facie



# Metamorfní izograda



# Typy metamorfózy – genetické klasifikace

- 1) klasifikace podle převládajícího činitele
  - termální met. (T) - různá měřítká
  - dynamická met. (orientovaný tlak) – lokální, text. změny
  - dynamicko-termální met.
  
- 2) klasifikace podle geologické pozice
  - a) **regionální met.** – velké oblasti, L-HT/MP
    - I) orogenní metamorfóza
      - horská pásma, konvergentní hranice desek, vznikají horniny s foliací
    - II) metamorfóza pohřbením
      - anorogenní, tlakem nadloží, sed. pánve
    - III) metamorfóza oceánského dna
      - horká hydrotermální fluida, diverg. r., metasomatóza
      - nabohacení Mg-Na, ochuzení Ca-Si

# Typy metamorfózy – genetické klasifikace

## 2) klasifikace podle geologické pozice

b) lokální metamorfóza – omezený rozsah

I) kontaktní aureoly (HT/LP)

II) regionální kontaktní met. (mnohačetné intruze)

III) kataklastická metamorfóza mylonitizace

orientovaný tlak, vysoká rychlost deformace

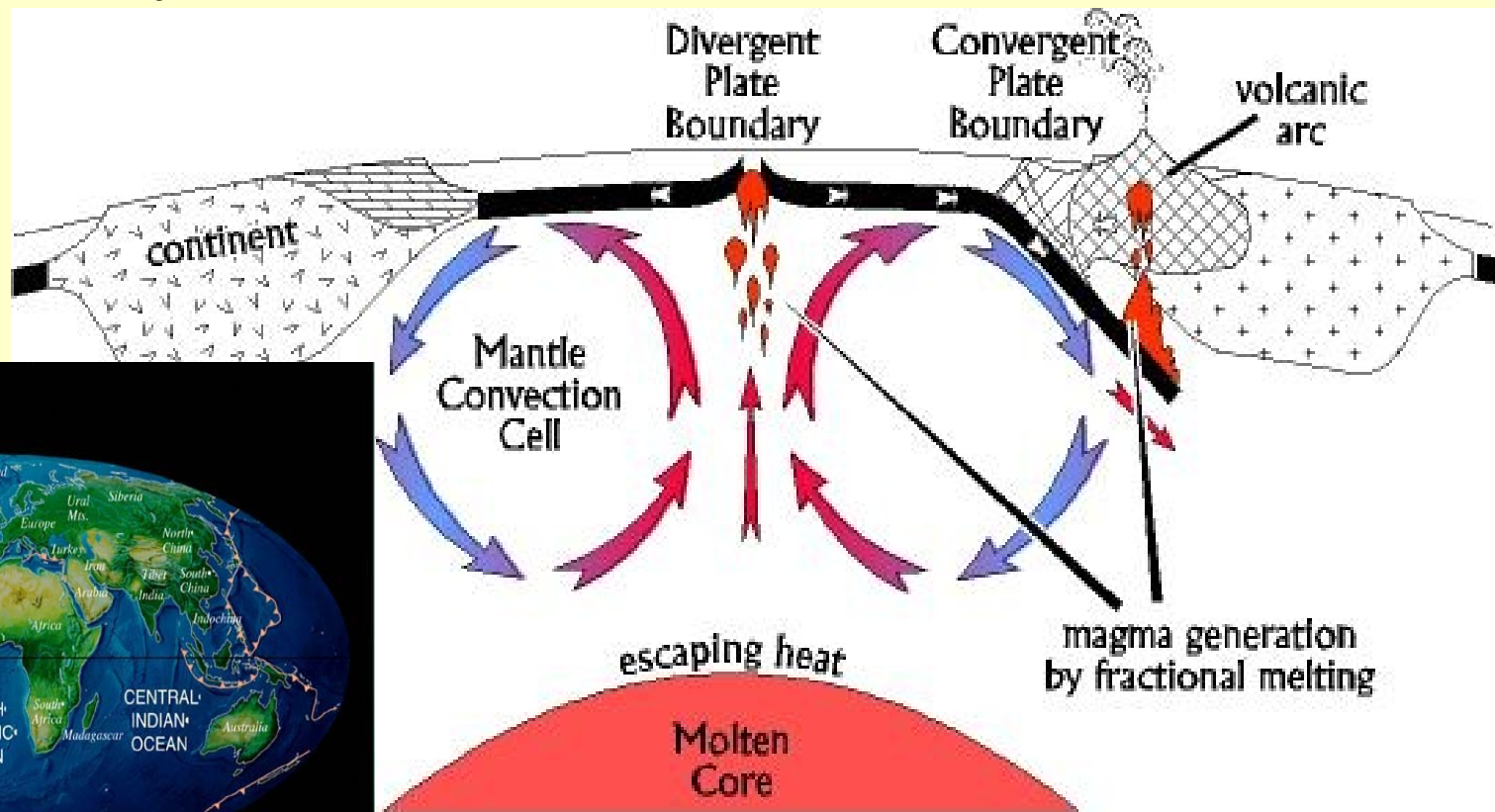
pseudotachylity, kataklazity, mylonity, fylonity

IV) šoková met. – impaktní krátery (coesit, stishovit, suevity)

V) hydrotermální metamorfóza (horká fluida, LT/LP)

### 3) Klasifikace v kontextu deskové tektoniky

- uvnitř bloků – kontaktní metamorfóza, metamorfóza pohřbením, regionální metamorfóza na bázi kůry
- divergentní okraje – metamorfóza oceánského dna a kontaktní metamorfóza
- konvergentní okraje – orogenní (regionální) metamorfóza, kontaktní metamorfóza, kataklastická metamorfóza
- transformované okraje - kataklastická metamorfóza



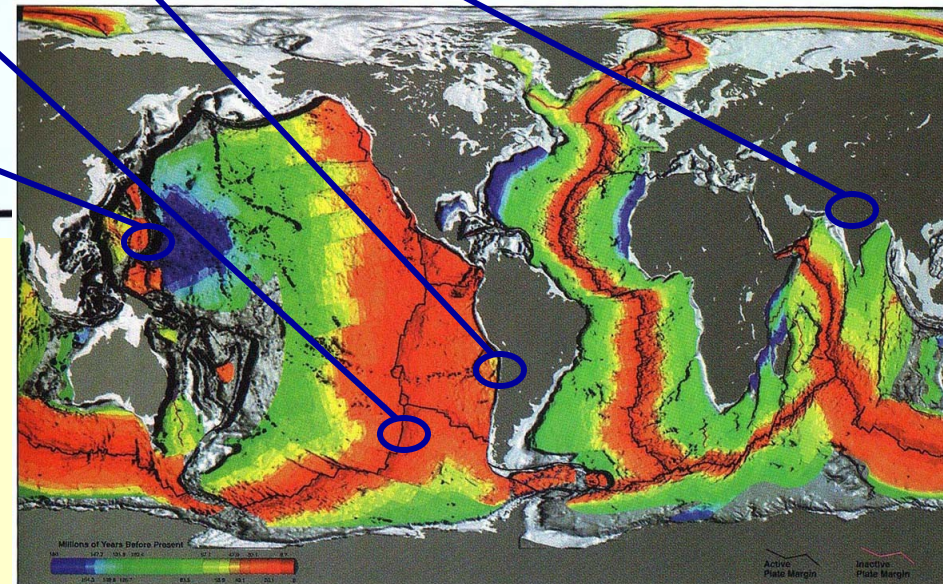
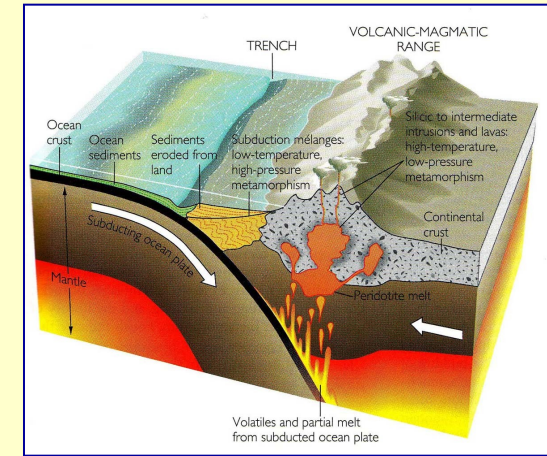
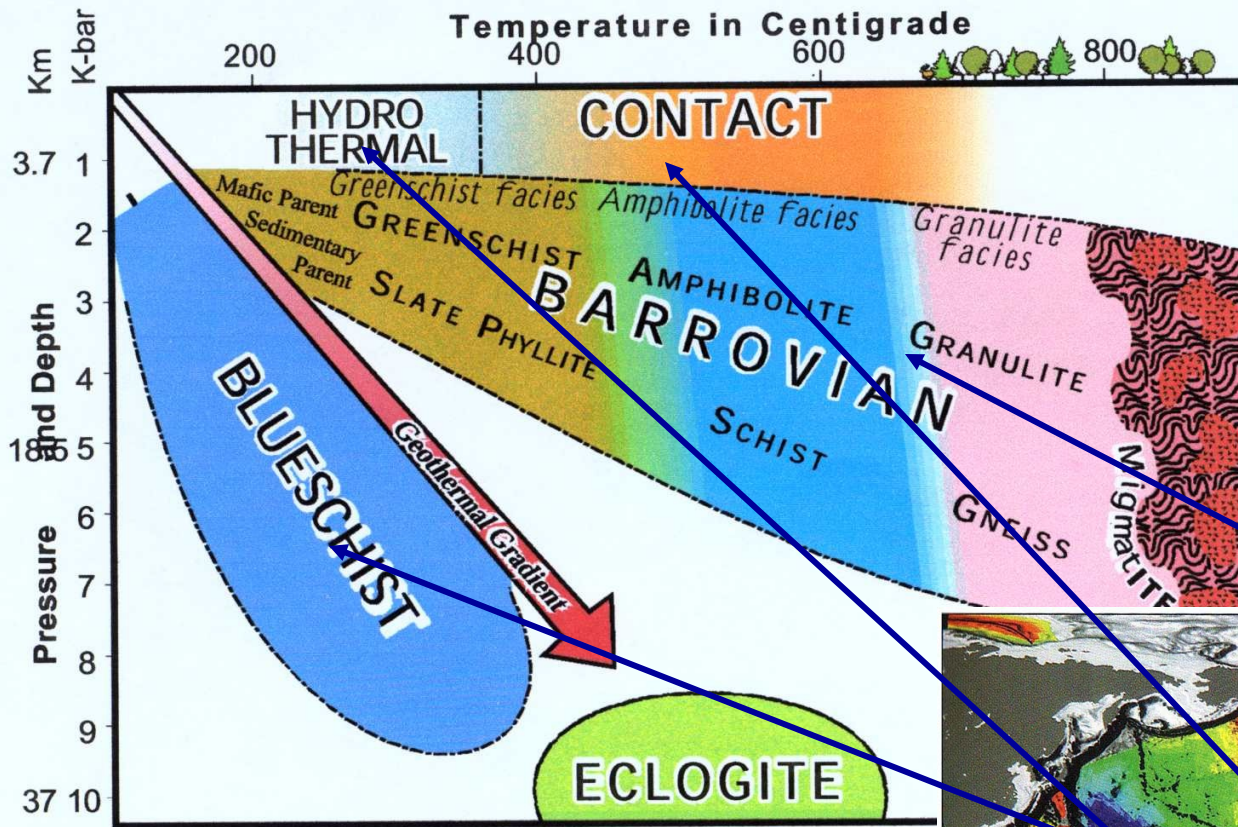
Modern World





# Typy metamorfózy – genetické klasifikace

## METAMORPHIC ZONES AND FACIES



metamorfní zóny a facie, typy metamorfózy (Fichter www)

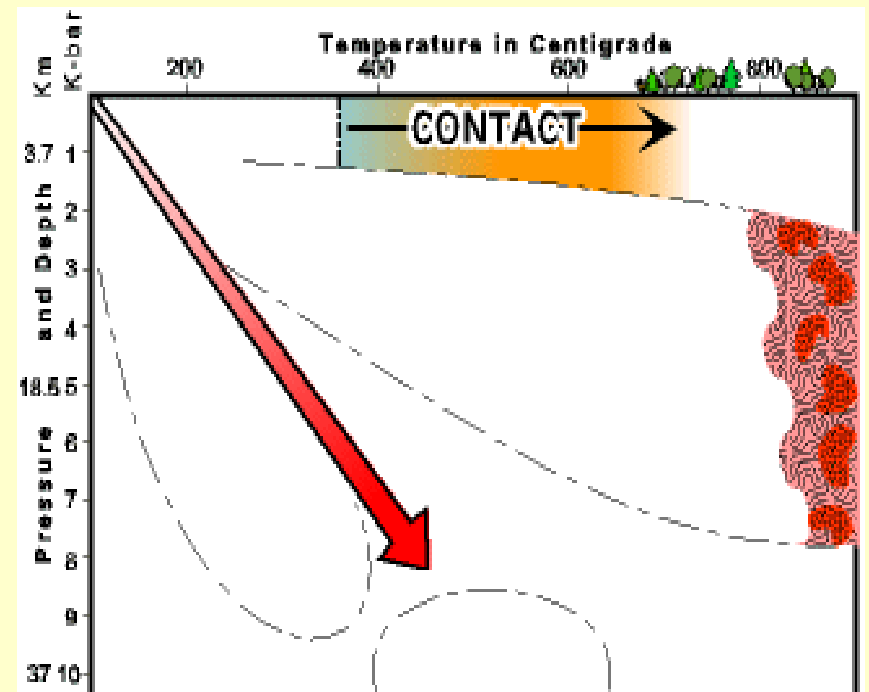
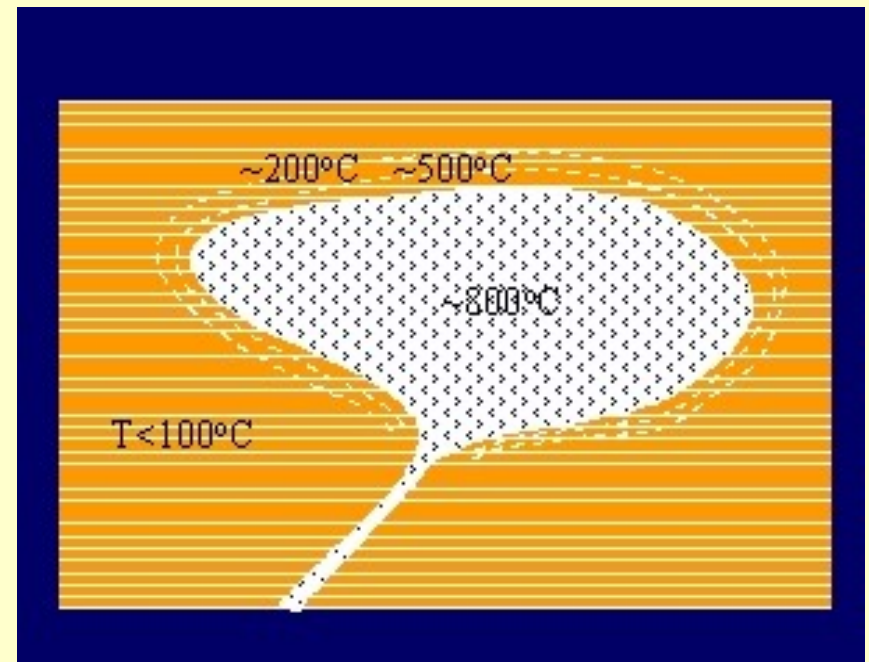
## A) kontaktní metamorfóza

- tepelné působení těles vyvřelých hornin
- účinky rychle klesají se vzdáleností od plutonu
- rozsah obvykle max. několik km
- nízký P/T (andalusit-sillimanit)

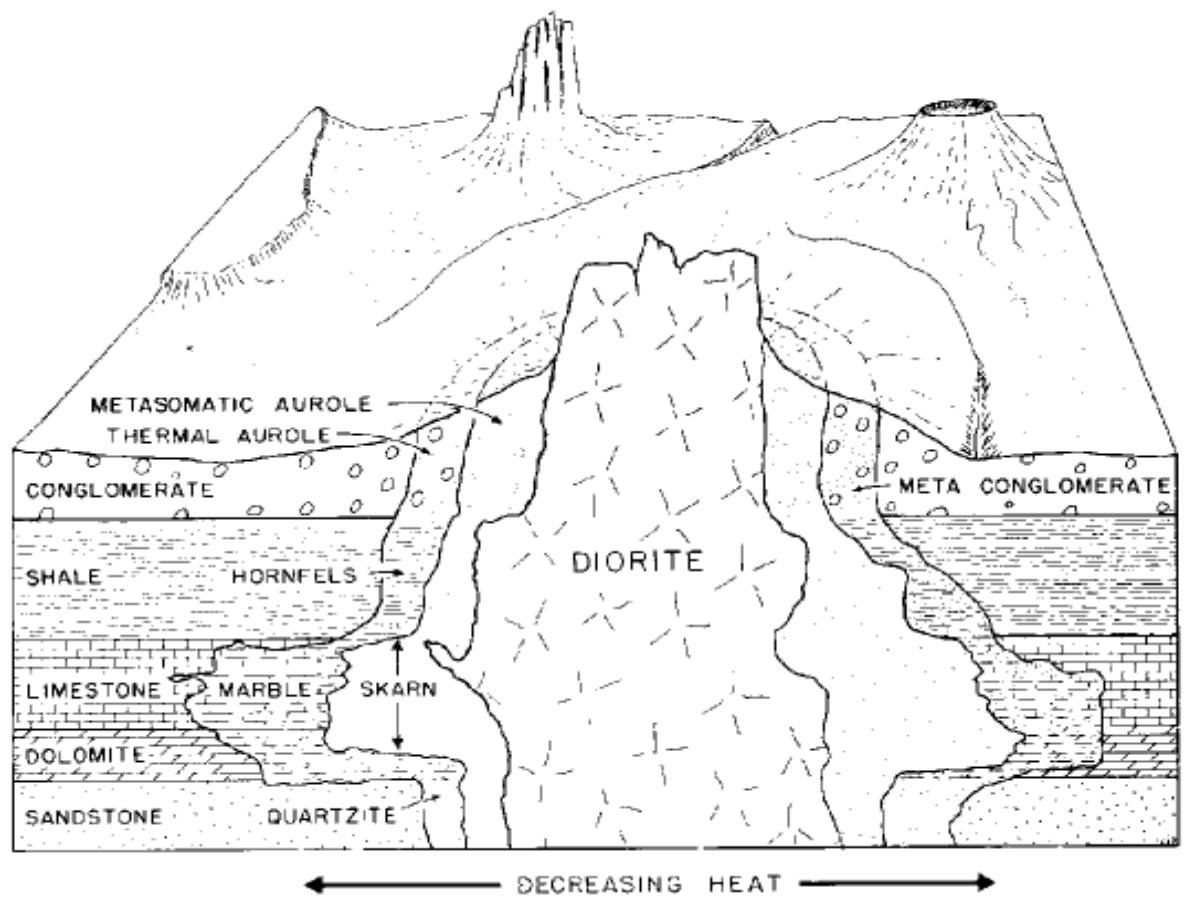
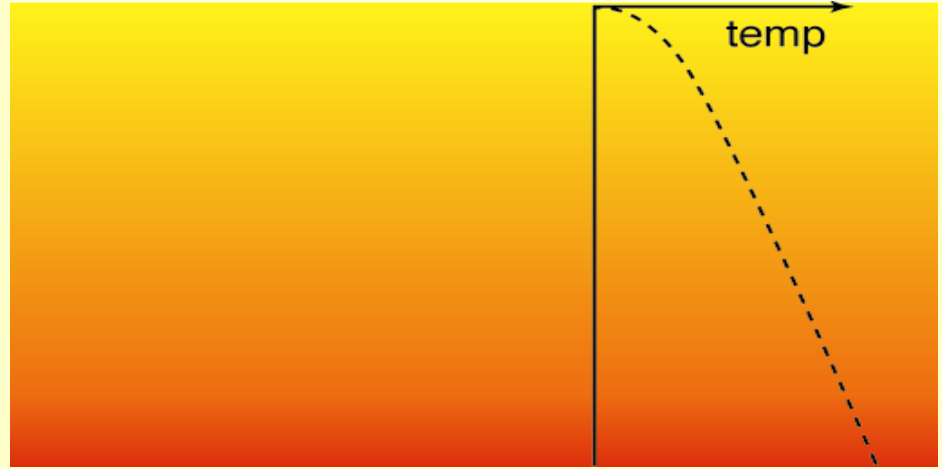
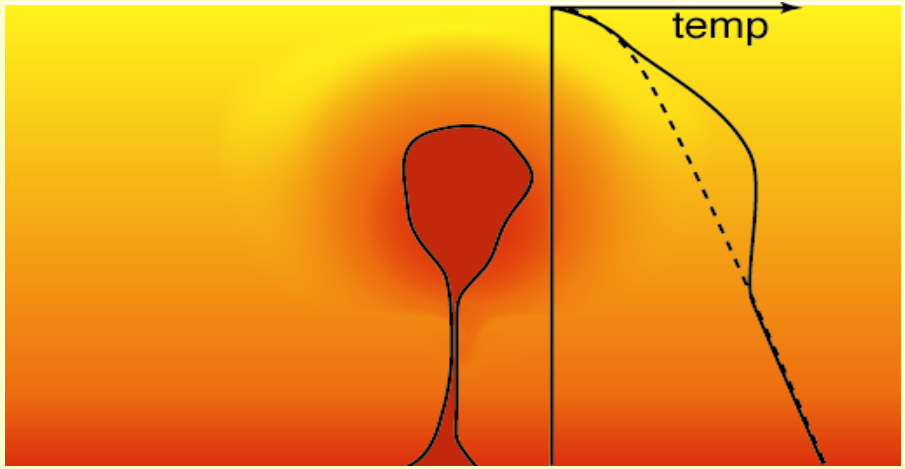
### Typické znaky:

- ✓ převládá termická složka nad kinetickou
- ✓ v úzkém sepětí s hlubinnými vyvřelinami
- ✓ výskyt cordieritu, andalusitu a dalších kontaktních minerálů
- ✓ foliace jen málo zvlněná, lineace chybí nebo je nevýrazná

*kaustická metamorfóza: hornina byla v těsném styku s efuzivní vyvřelinou, svým vzhledem připomíná keramické výrobky (vzdálenost od povrchu počítá v desítkách metrů)*







**The aureole around the Skiddaw granite was sub-divided into three zones, principally on the basis of textures:**

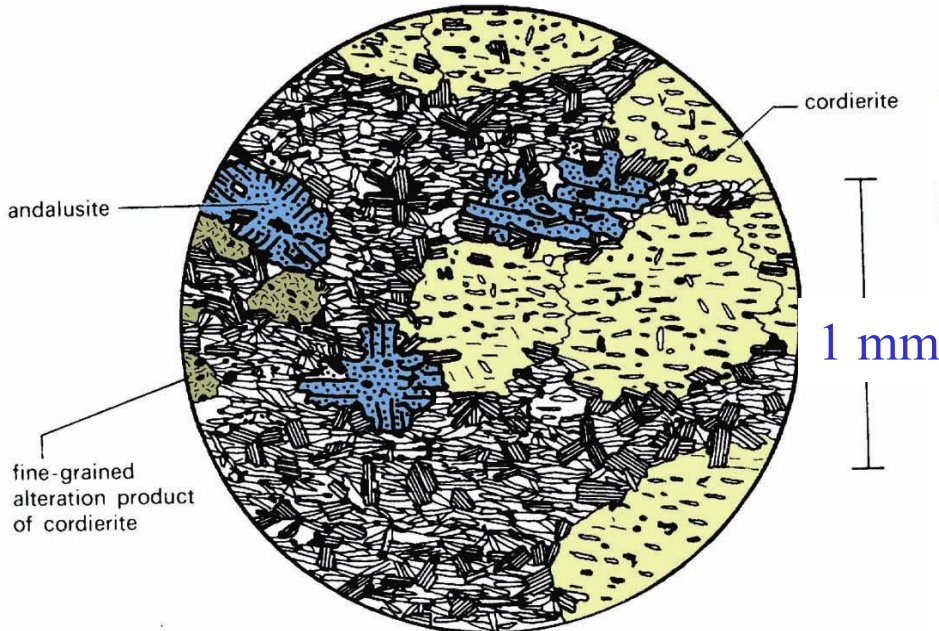
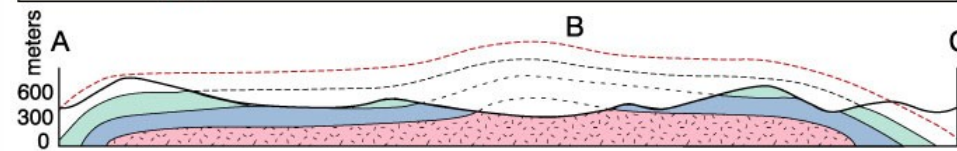
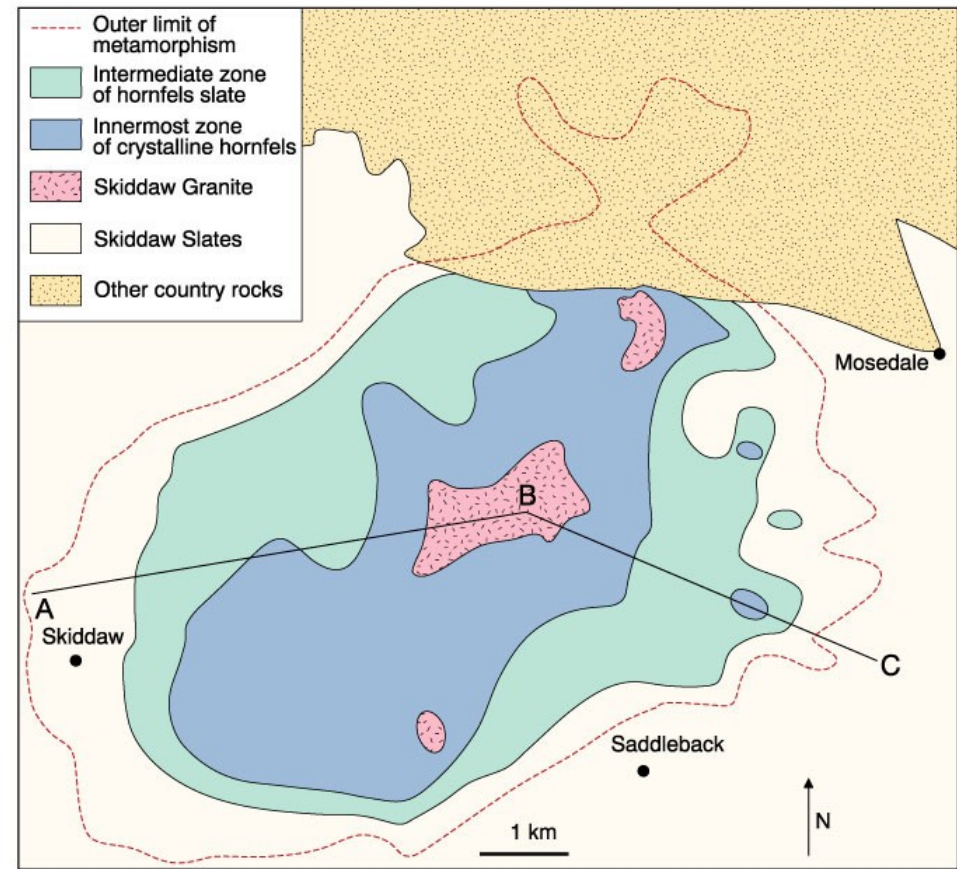
Unaltered slates

Outer zone of spotted slates

Middle zone of andalusite slates

Inner zone of hornfels

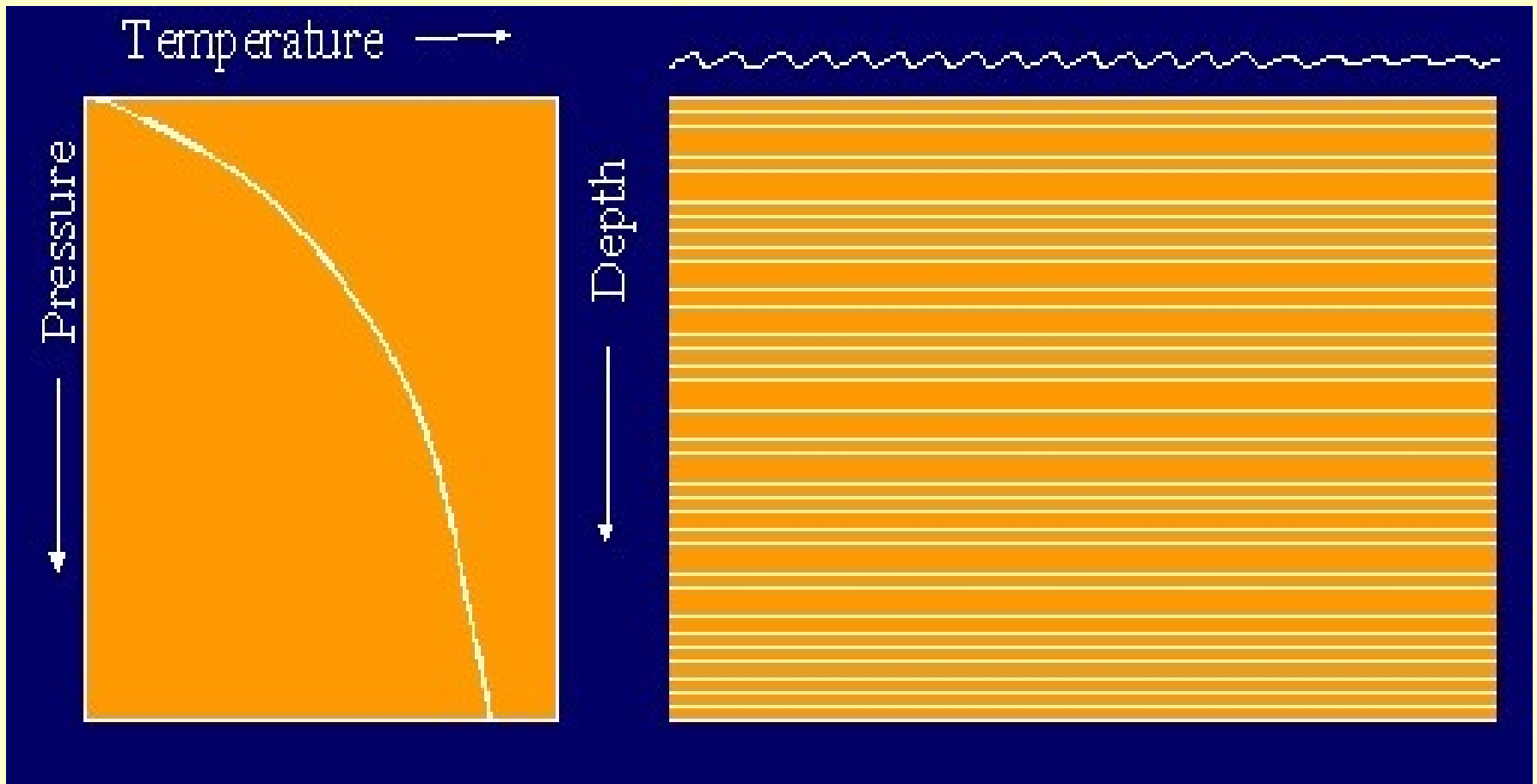
↓ Skiddaw granite



Geologic Map and cross-section of the area around the Skiddaw granite, Lake District, UK. After Eastwood et al (1968). *Geology of the Country around Cockermouth and Caldbeck*. Explanation accompanying the 1-inch Geological Sheet 23, New Series. Institute of Geological Sciences. London.

## B) metamorfóza pohřbením

- regionální
- anorogenní
- sedimentární pánve
- způsobena tlakem nadloží a hloubkou
- teploty do 300°C (granátová zóna)

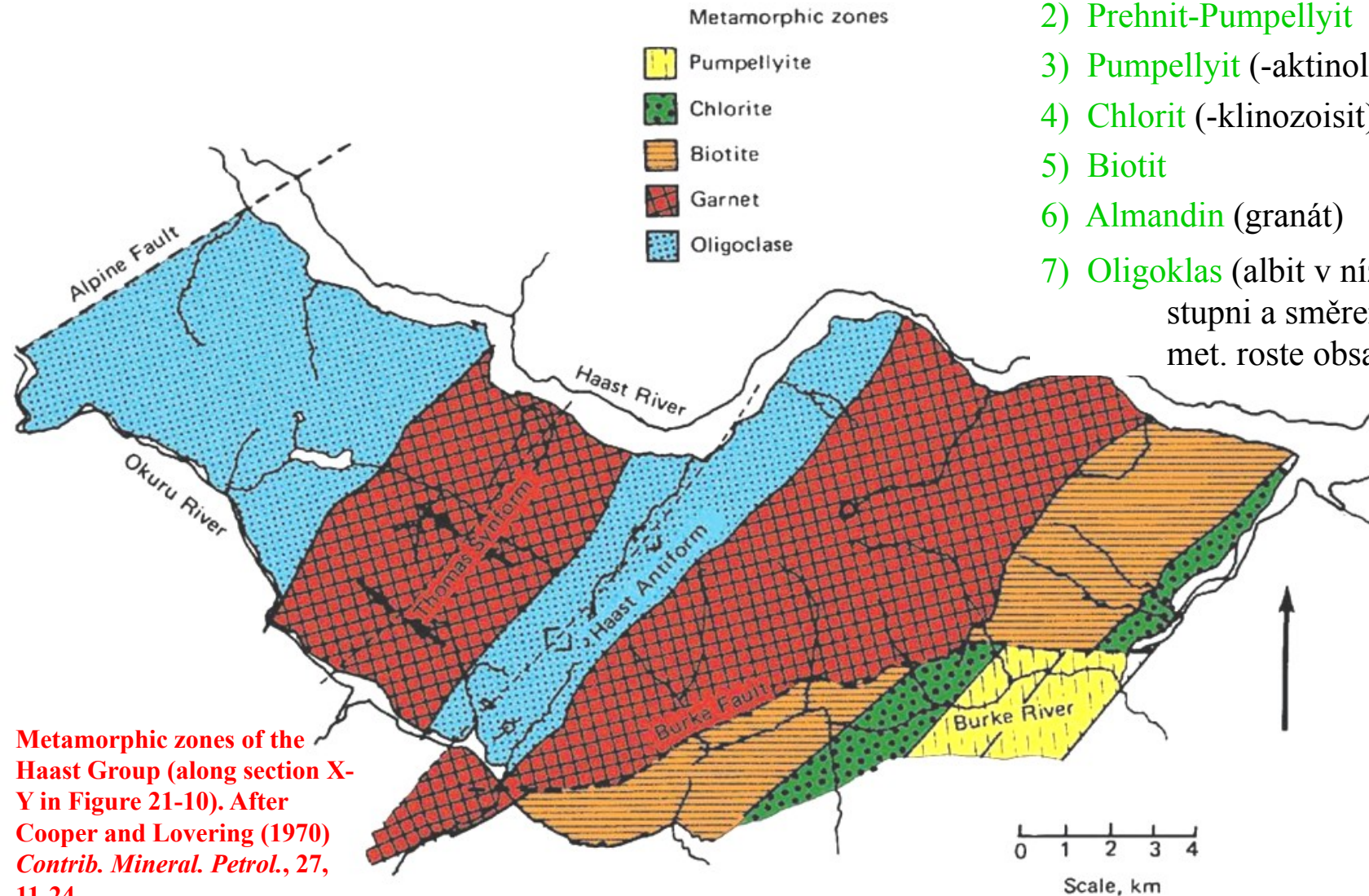




# Regionální metam. pohřbením (Burial Metamorphism)

Isogrady mapované od nejnižšího stupně:

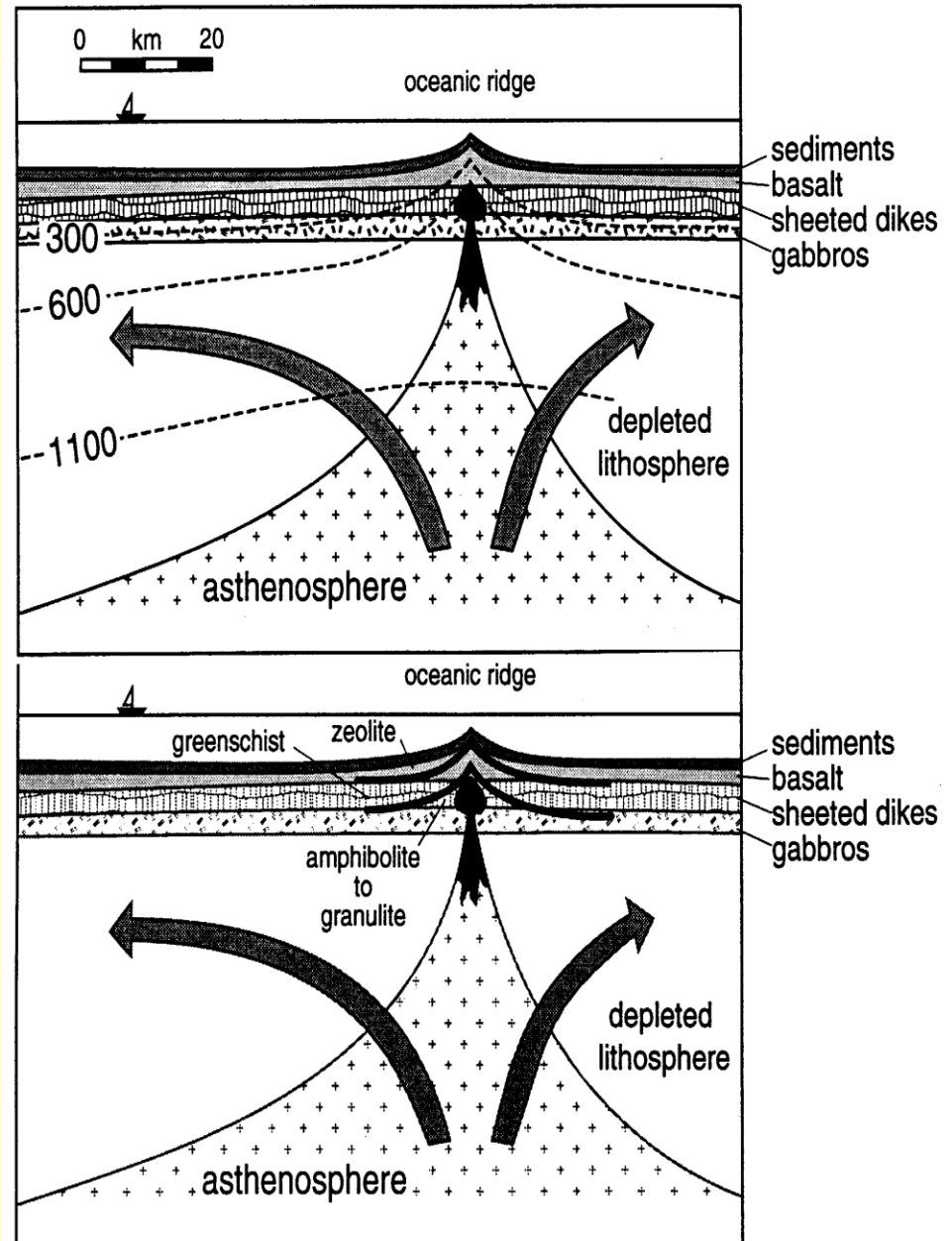
- 1) Zeolity
- 2) Prehnit-Pumpellyit
- 3) Pumpellyit (-aktinolit)
- 4) Chlorit (-klinozoisit)
- 5) Biotit
- 6) Almandin (granát)
- 7) Oligoklas (albit v nízkém met. stupni a směrem do vyšší met. roste obsah Ca)



**Metamorphic zones of the Haast Group (along section X-Y in Figure 21-10). After Cooper and Lovering (1970) *Contrib. Mineral. Petrol.*, 27, 11-24.**

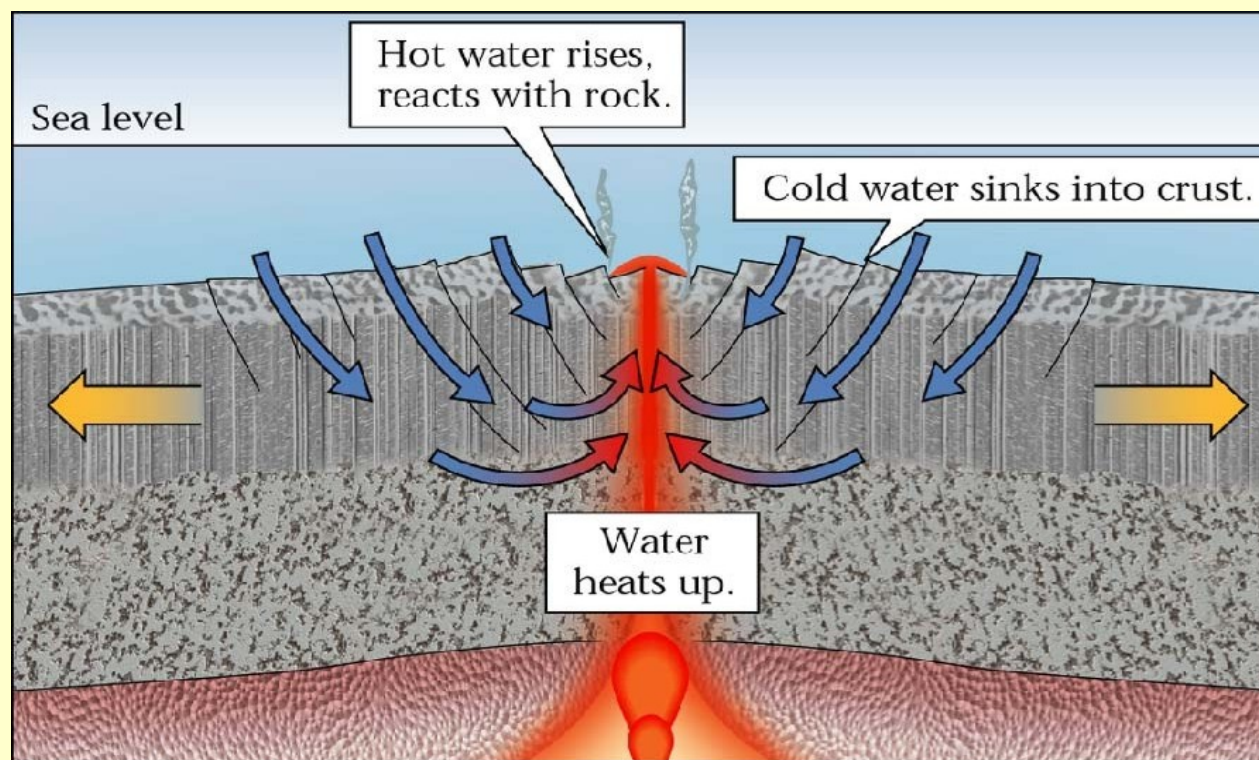
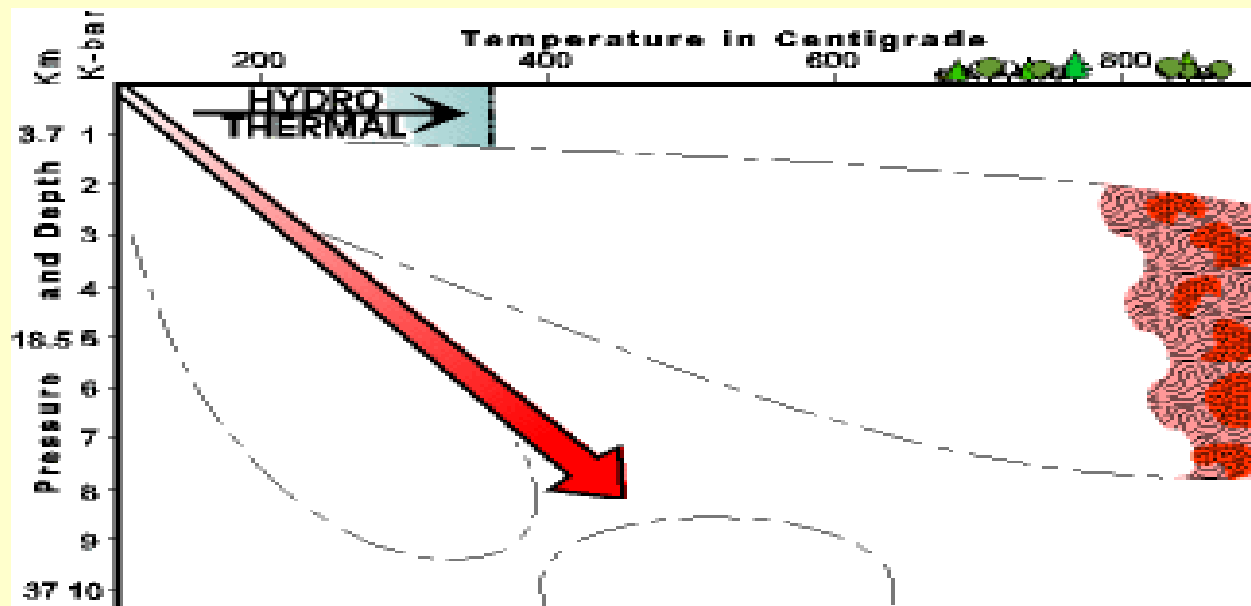
## C) metamorfóza oceánského dna

- nízké tlaky velký rozsah teplot
- hydrotermální metamorfózy (hlavní činitel horká hydrotermální fluida)
- reakce mezi bazaltem a mořskou vodou
- metamorfované horniny jsou výrazně postiženy metasomatickými alteracemi (je odnášeno Ca a Si a roste obsah Mg a Na)
- chloritem bohaté horniny s vysokým obsahem Mg a nízkým Ca



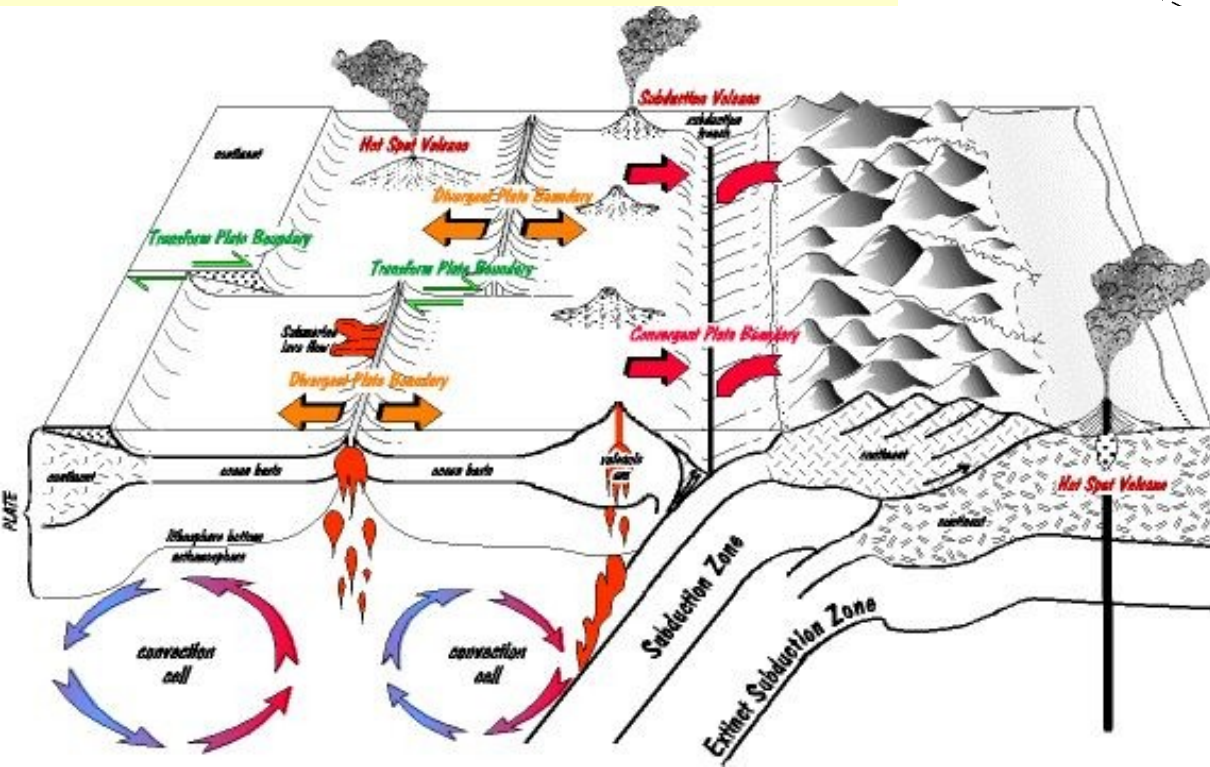
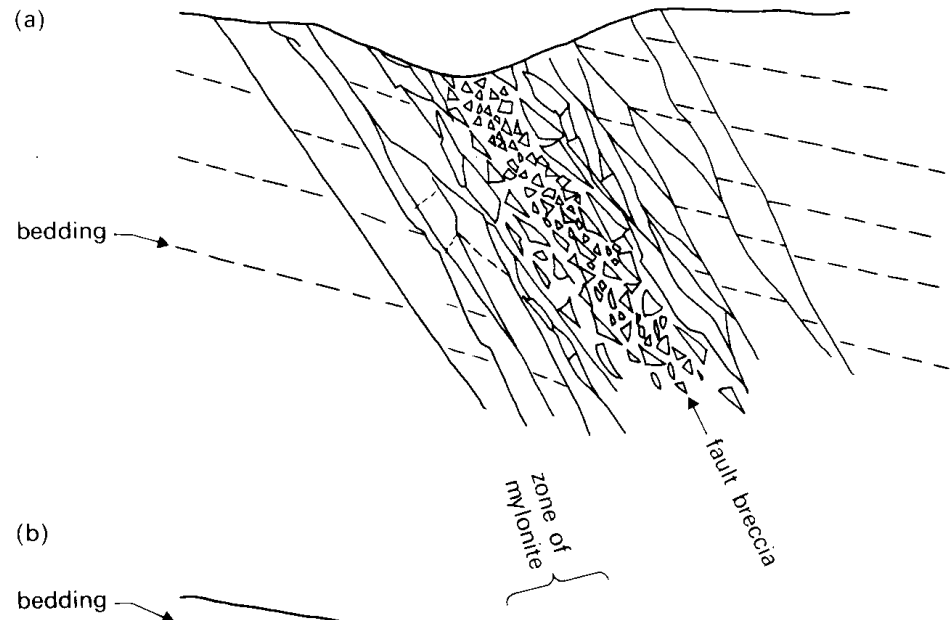
*Schematický řez středooceanickým hřbetem (Ernst, 1976 in Spear, 1993)*





## D) transformované okraje

- na transformních zlomech
- kataklastická metamorfóza a mylonitizace
- vysoký orientovaný tlak
- ± teplota, až tavení - pseudotachylity
- LT křehké - kataklazity;
- HT plastické - mylonity;



- (a) Malá hloubky - **tektonická brekcie**
- (b) Hlouběji - **mylonit**

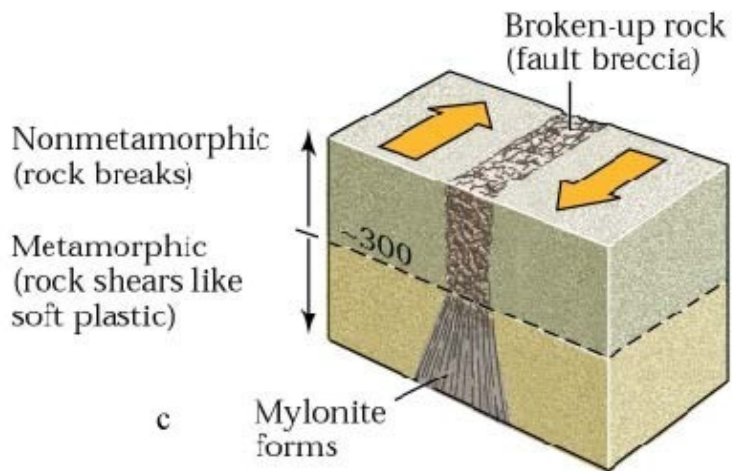
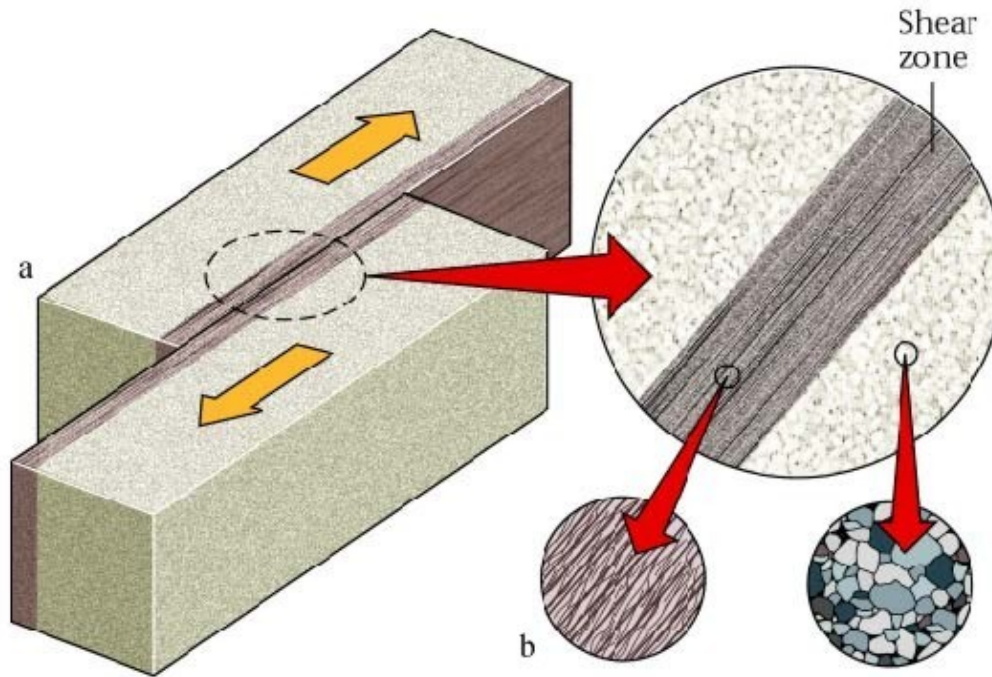
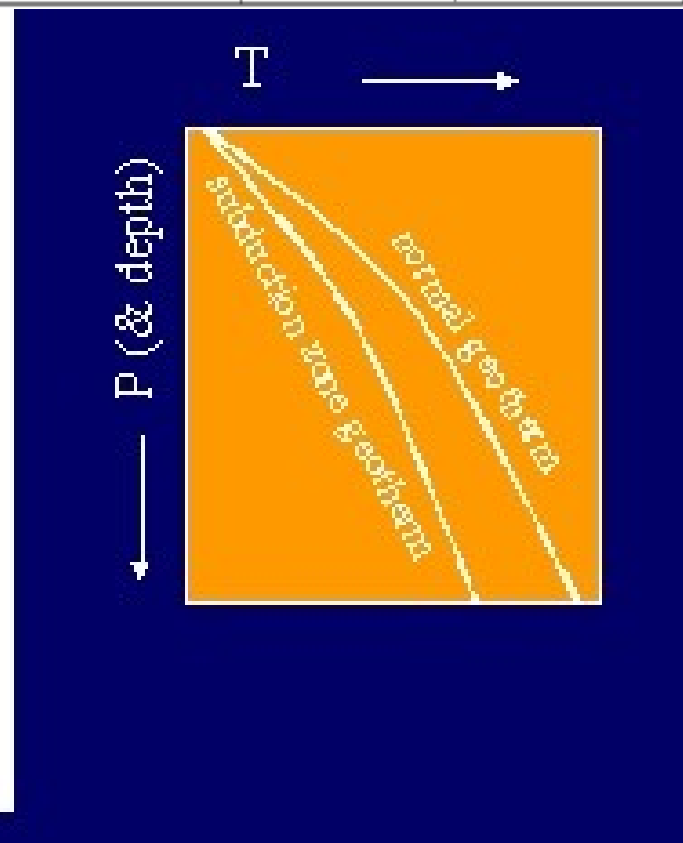
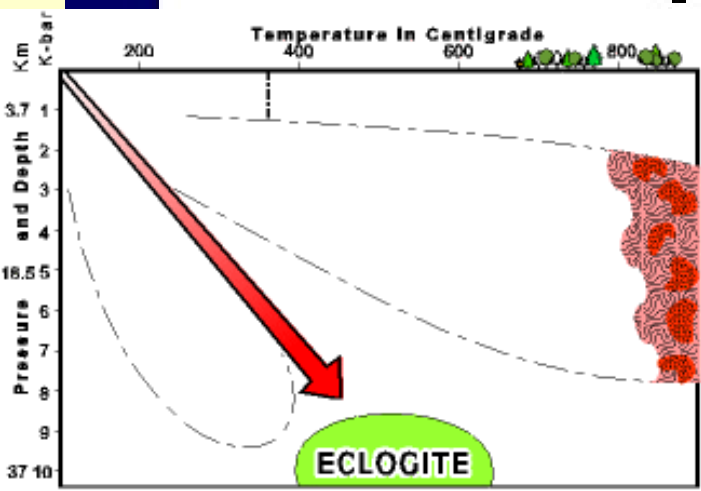
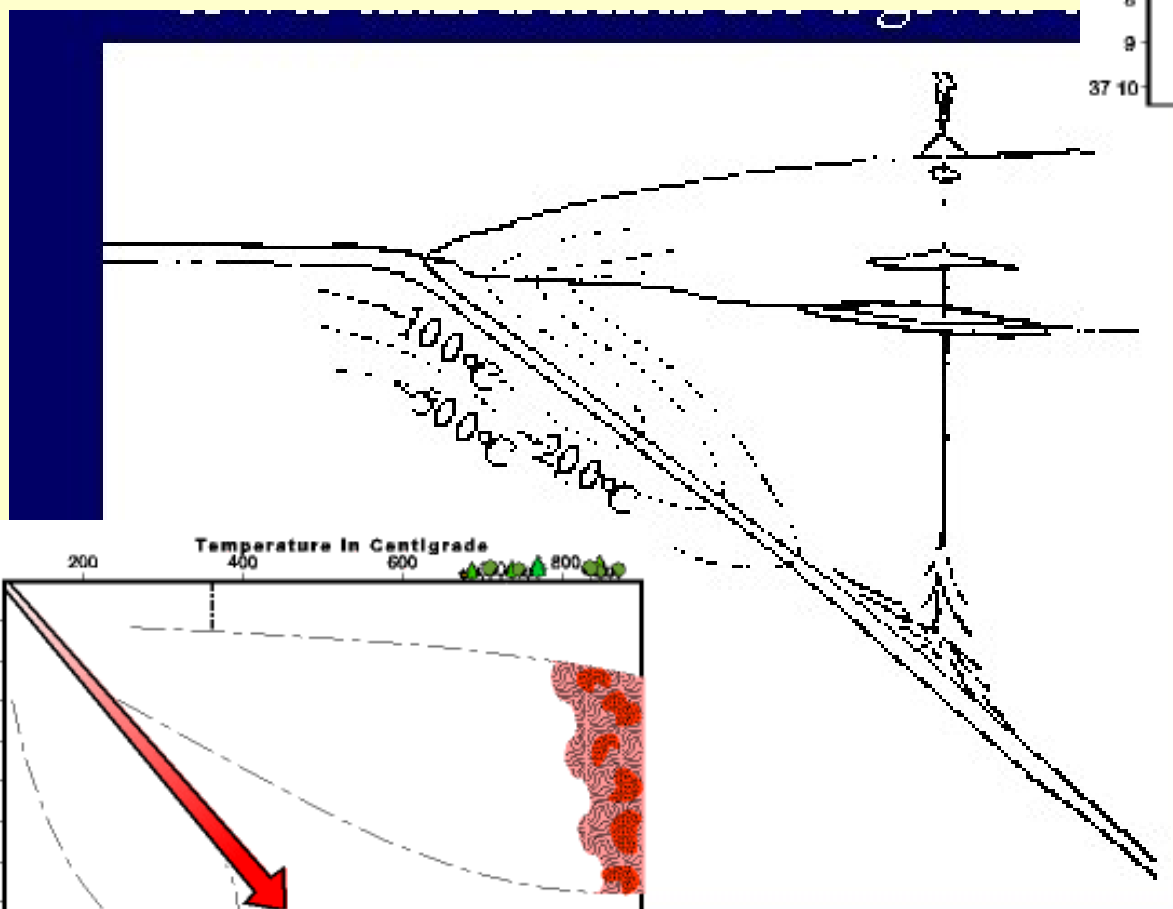
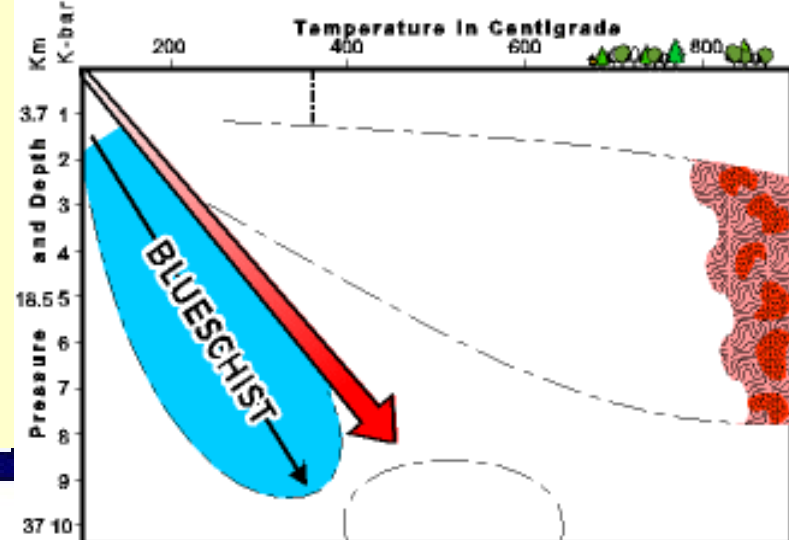


Fig 1  
Model for dynamic metamorphism  
in faults (a), producing mylonite (b)  
and fault breccia (c)

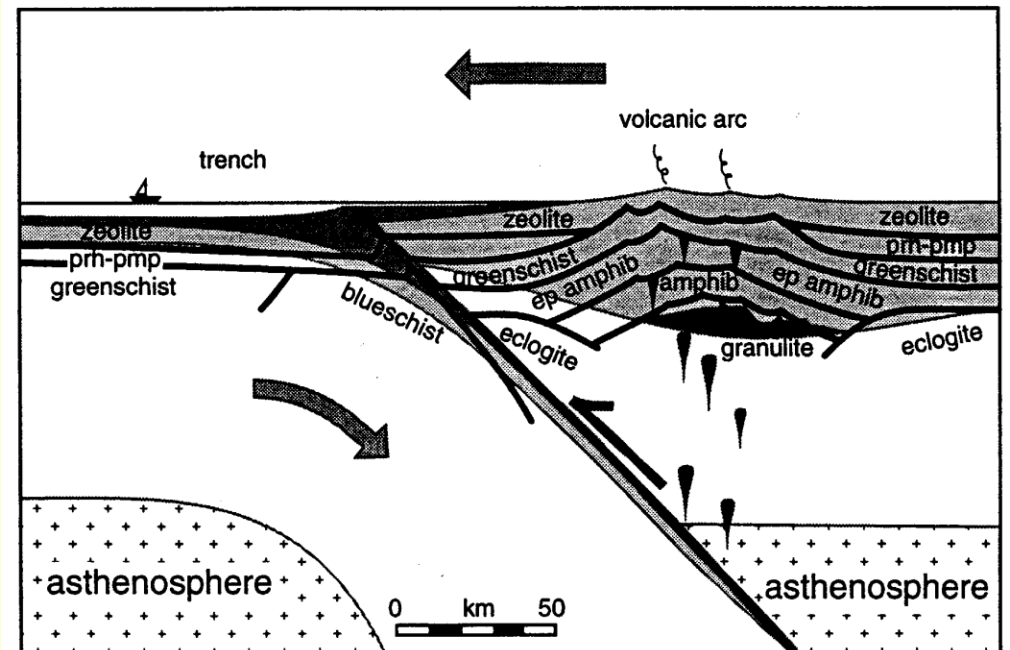
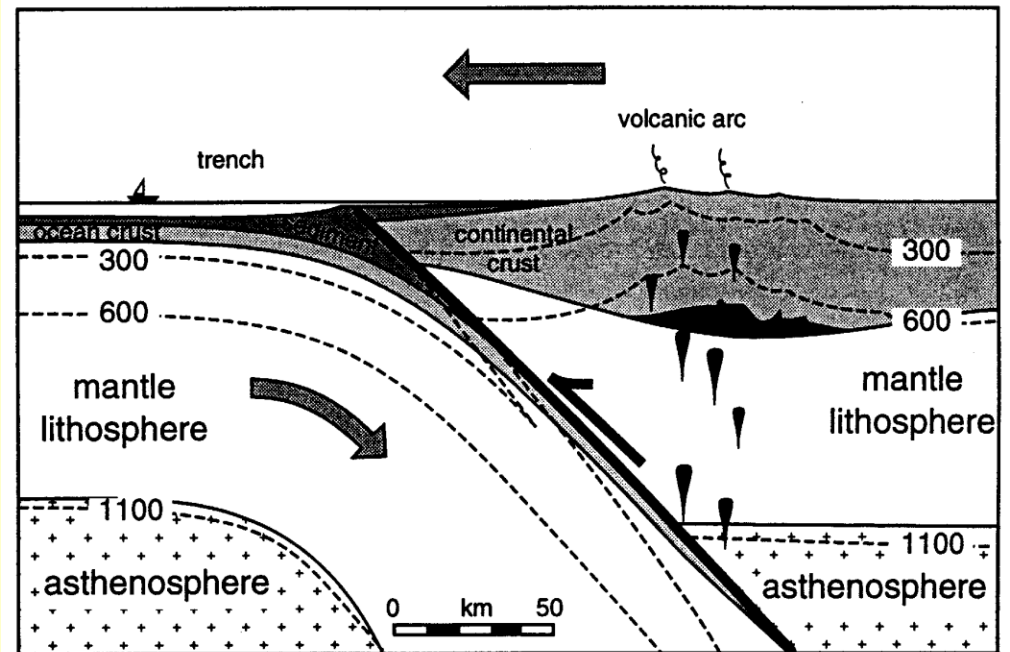
# E) metamorfóza na subdukčních zónách

- vysoký P/T (glaukofan-jadeit)
- relativně studené horniny jsou rychle transportovány do velkých hloubek



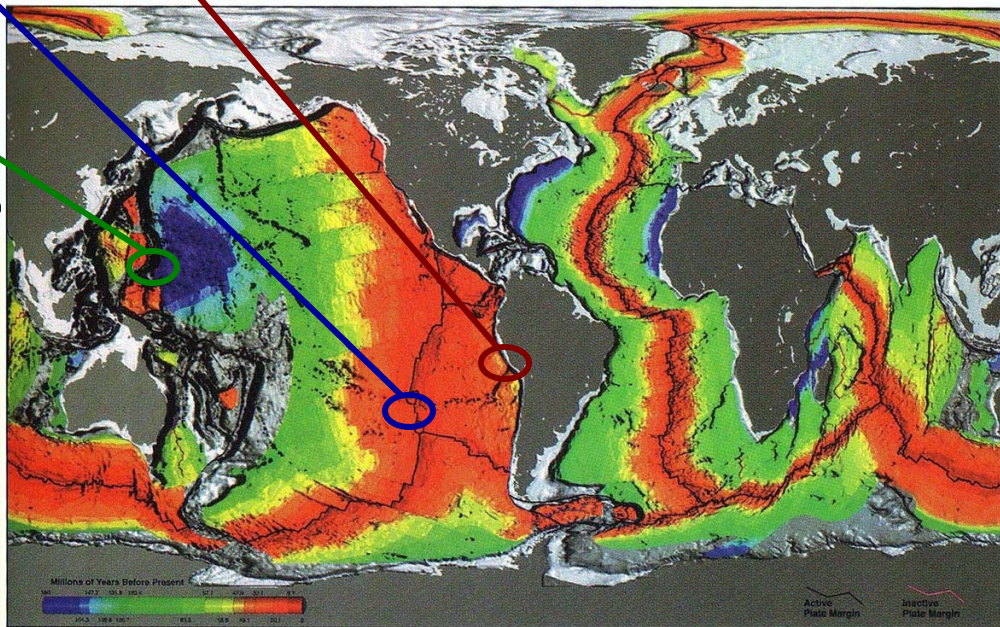
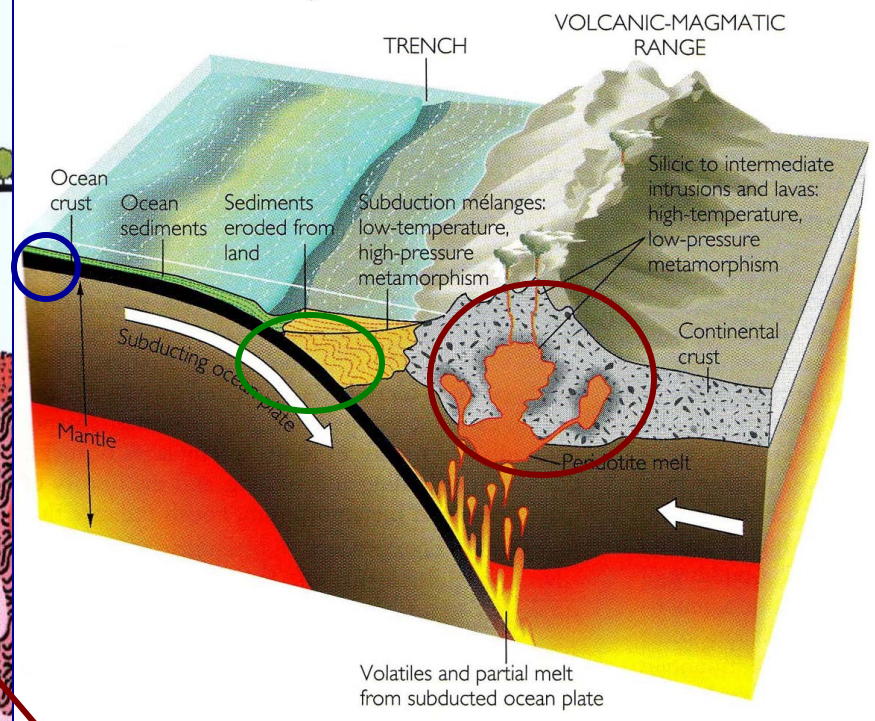
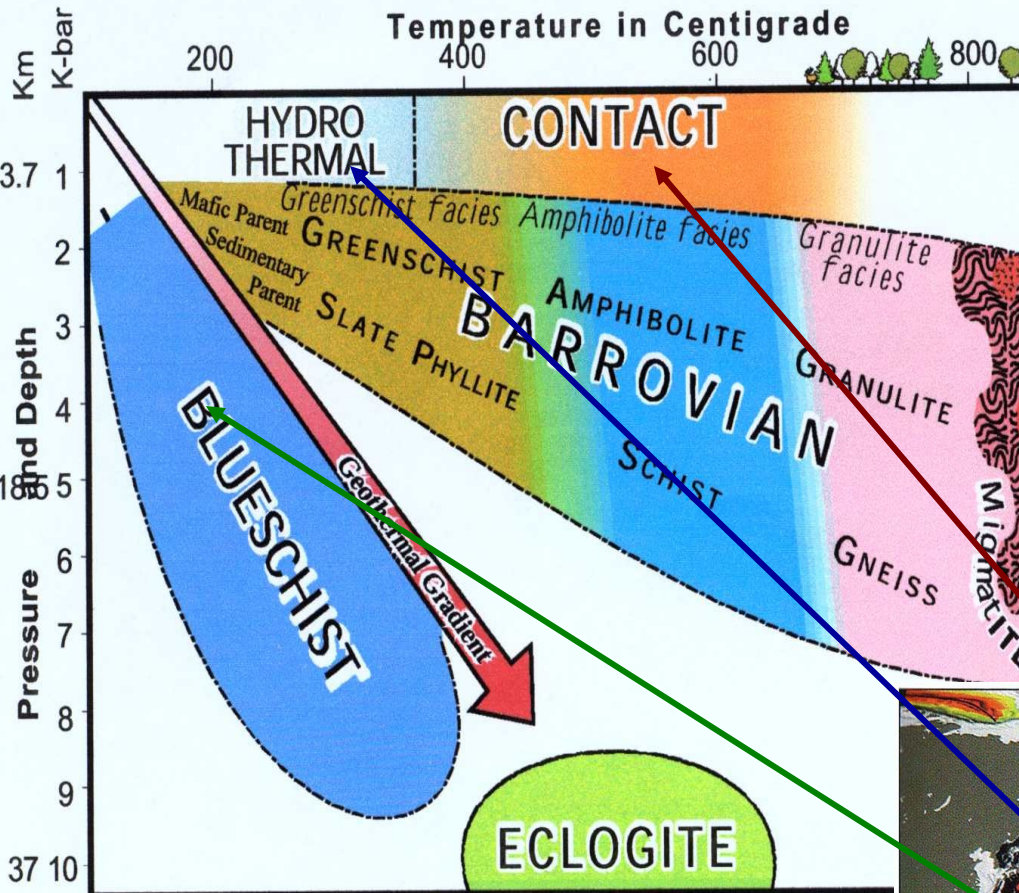


*Schematický řez subdukční zónou a vulkanickým obloukem (Ernst, 1976 in Spear 1993).*





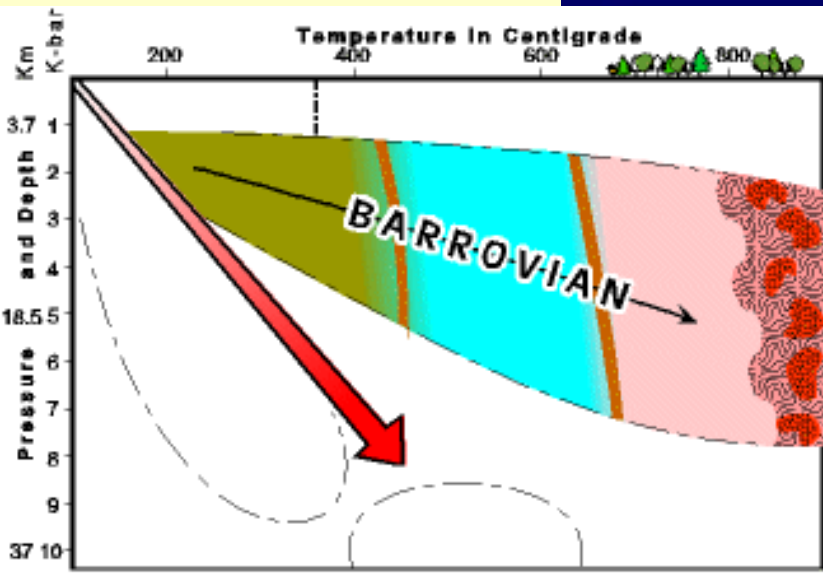
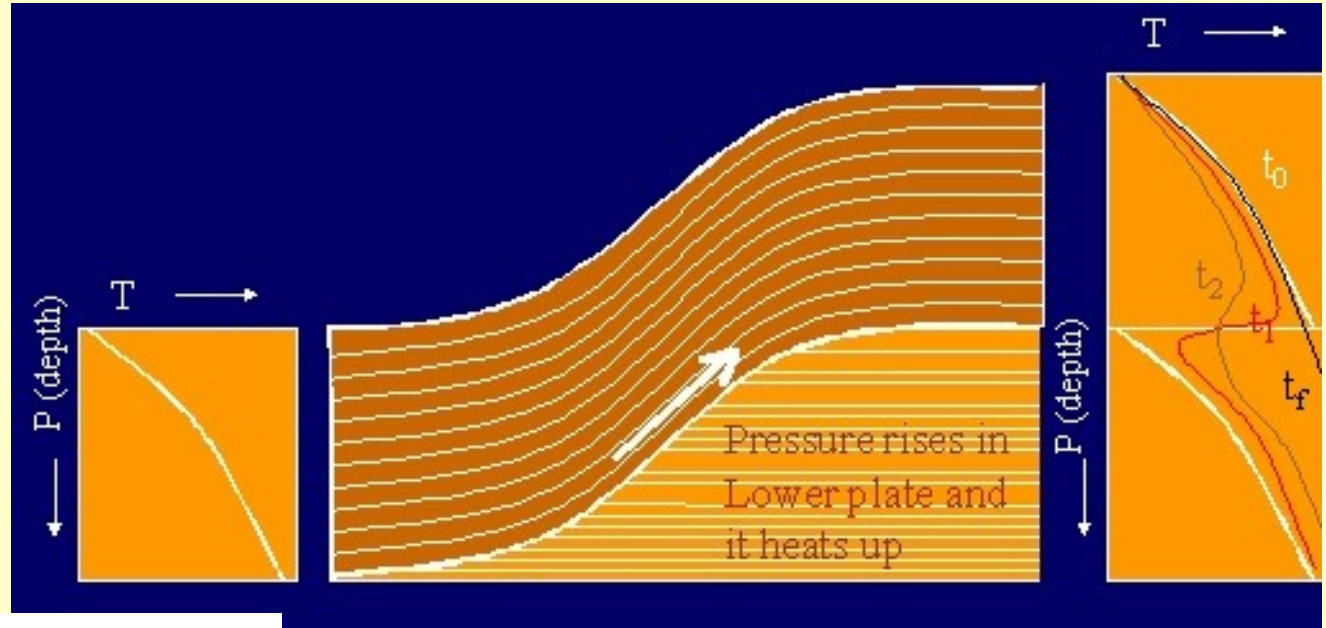
# METAMORPHIC ZONES AND FACIES

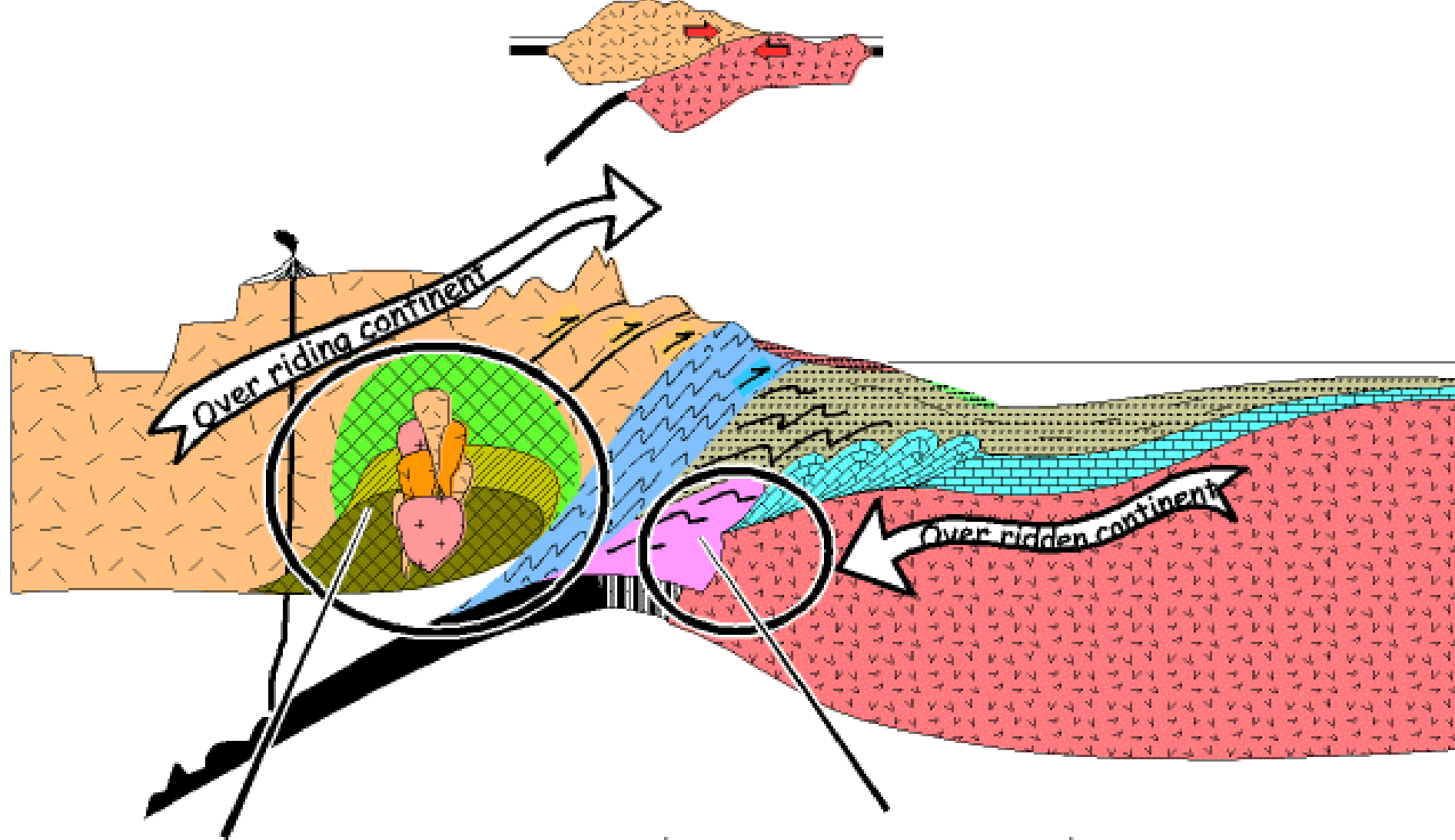




# F) orogenní (regionální) metamorfóza

- orogenní pásma (kontinentální kolize)
- některé horniny se dostanou do vysokých PT podmínek
- střední poměr P/T
- MP/LT-HT
- Chl-Bt-Grt-St-Ky-Sill
- série kyanit-sillimanit
- střední poměr P/T





Barrovian metamorphism  
due to the intrusion of  
igneous batholiths.

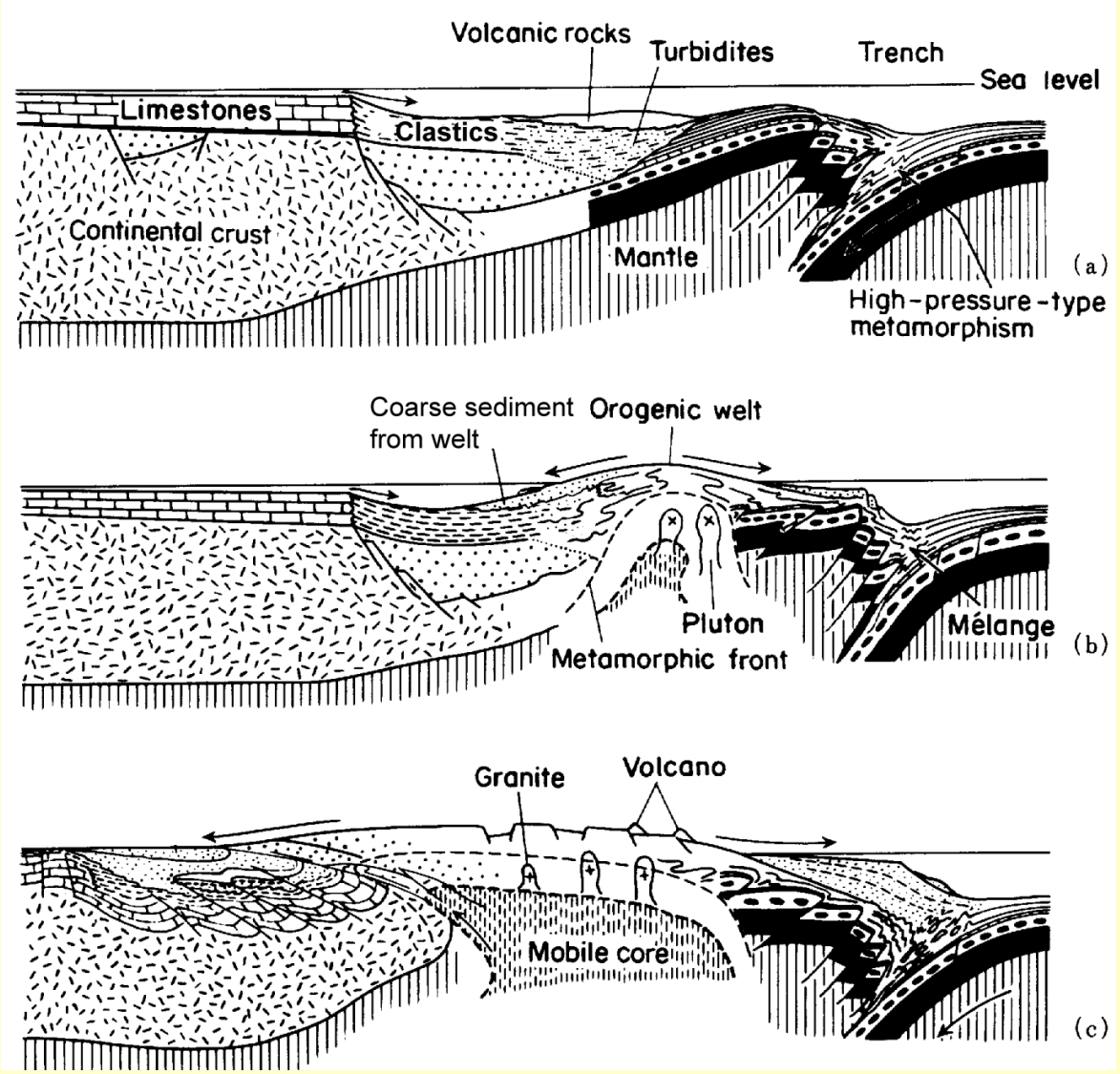
Barrovian metamorphism  
due to burial under edge  
of over riding continent

# orogenní metamorfóza

často polyfázová  
(metam. i deform.)

❖ polymetamorfóza: hornina byla postižena dvěma nebo více metamorfními pochody (např. kontaktní metamorfózou po metamorfóze regionální, dvěma různě silnými regionálně metamorfními pochody apod.)

❖ dokazuje se zjištěním reliktní starší metamorfózy, které nejsou v souladu s produkty metamorfózy mladší



Schematic model for the sequential (a → c) development of a “Cordilleran-type” or active continental margin orogen. The dashed and black layers on the right represent the basaltic and gabbroic layers of the oceanic crust. From Dewey and Bird (1970) *J. Geophys. Res.*, 75, 2625-2647; and Miyashiro *et al.* (1979) *Orogeny*. John Wiley & Sons.

# Další méně užívané názvy

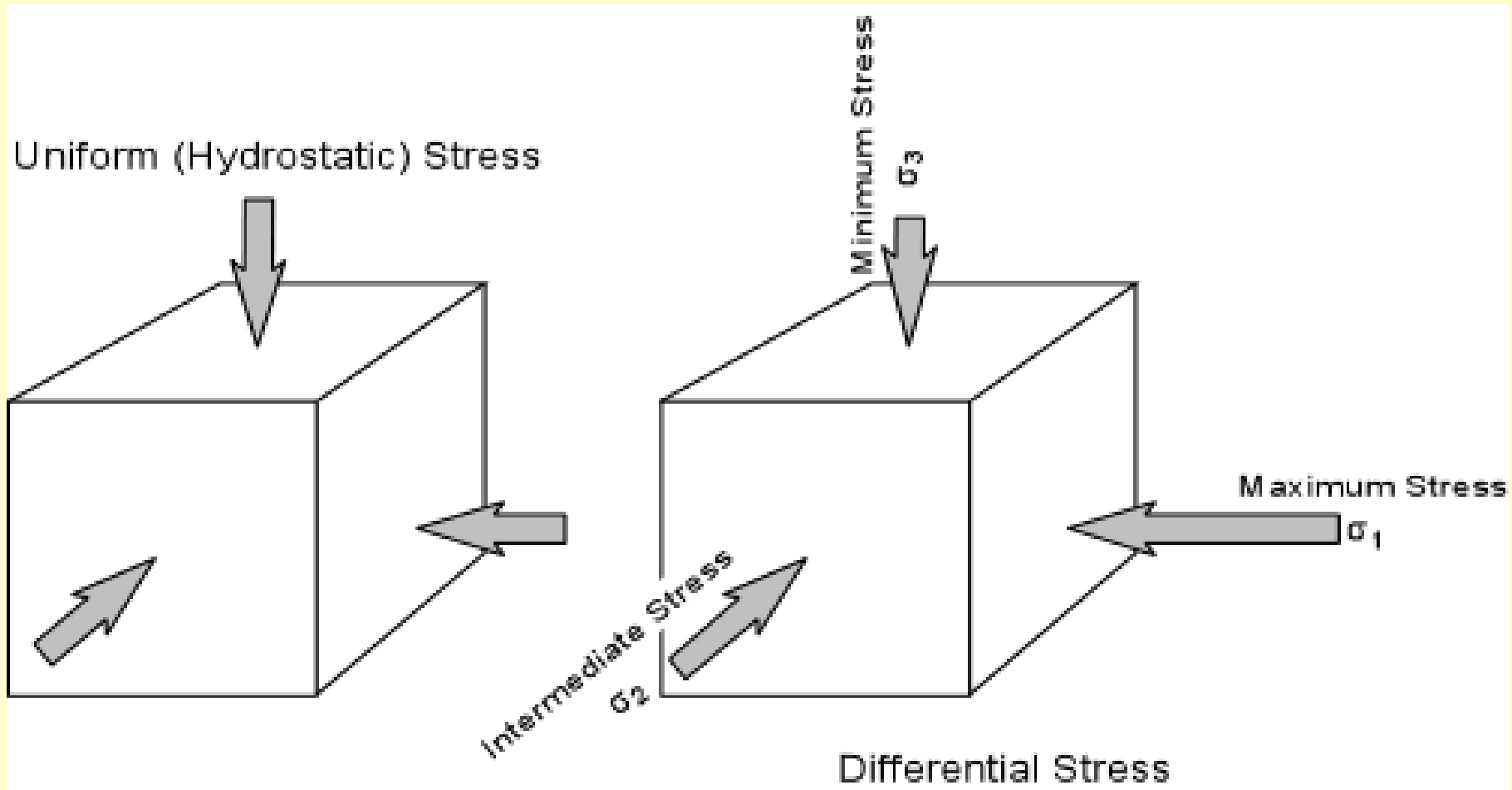
- Diaforeza (retrogradní metamorfóza) - odrůda polymetamorfózy, kdy poslední metamorfní pochod vyvolal přeměnu nižšího stupně než metamorfní pochod předchozí.
- Isofázová metamorfóza - minerální složení horniny se při metamorfóze nemění; uplatňuje se hlavně v některých karbonátových horninách, v křemencích bez jílovitého tmelu a v některých ortorulách.
- Alofázová metamorfóza - minerální složení metamorfitů je jiné než složení výchozí horniny; prokazuje ji mj. vznik všech typicky metamorfních minerálů.
- Izochemická metamorfóza - chemické složení zůstává metamorfními pochody nezměněno lze ji pokládat za pravděpodobnou u hornin metamorfovaných kausticky (vypálením). U ostatních metamorfovaných hornin je jediným bezpečným kritériem shoda chemismu s chemismem nemetamorfovaných hornin, do nichž metamorfována hornina ubýváním metamorfózy plynule přechází.
- Alochemická metamorfóza - chemické složení metamorfované horniny je jiné než horniny výchozí. Důležitým kritériem je pozorování terénních vztahů, např. změny chemismu zřetelně závislé na vzdálenosti od kontaktu s vyvřelým tělesem apod.



# **Stavební znaky hornin typické pro jednotlivé typy metamorfóz**

# 1) Dynamická metamorfóza

Stavby svázané s působením orientovaného tlaku

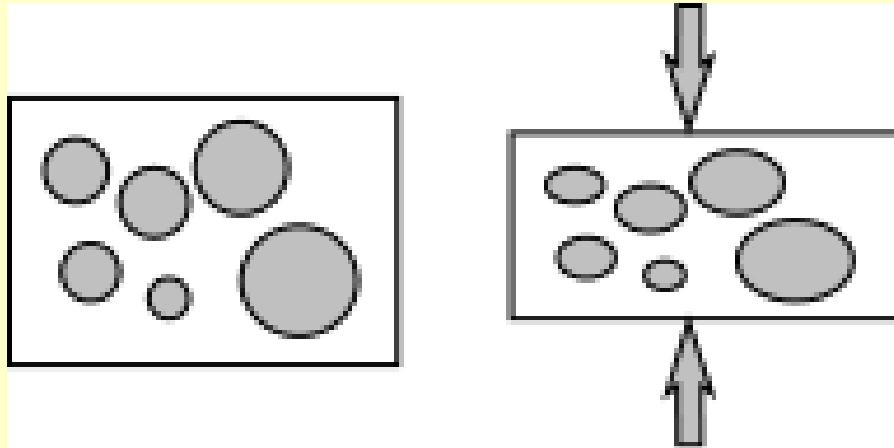


- VĚSMĚRNÝ A ORIENTO VANÝ TLAK

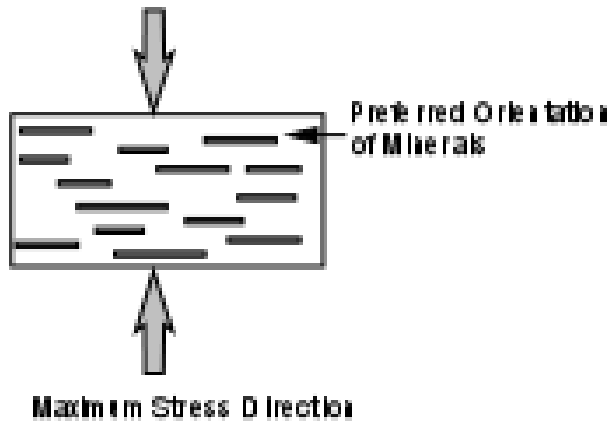
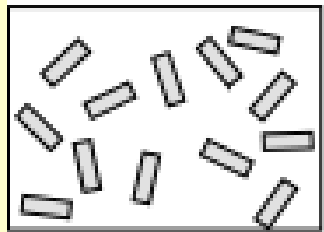
# KRITÉRIA PRO ROZPOZNÁNÍ TLAKOVÝCH ÚČINKŮ AŽ MYLONITIZACE

- 1. Tlakové postižení se nejnápadněji projevuje na minerálech v tomto pořadí: karbonáty (dvojčatění karbonátů), křemen (undulosní zhášení křemene, anomální dvojosost), slídy (ohnutí slídových lupínek, vznik dvojčatění ve slídách), živce (undulosní zhášení živců, ohnutí lamel, vznik nepravidelného, anomálního lamelování, dislokované lamely).
- 2. Porušení tvaru původních zrn, porušení původních struktur a textur, deformace valounů, mandlí, fósilií atd.
- 3. Popraskání minerálních zrn, pukliny probíhají několika zrny, vznik systémů paralelních trhlinek, granulace zrn (rozpad původně větších zrn na větší počet zrněk drobných), vznik kataklastické, maltovité, porfyroklastické až mylonitické struktury, v extrémních případech až vznik pseudotachylitů (velmi jemná drť připomínající sklo), vznik sekundárně proudovité textury zejména rozvlečením slídových minerálů do paralelních pruhů.

# Orientovaný tlak



Random Orientation  
of Minerals



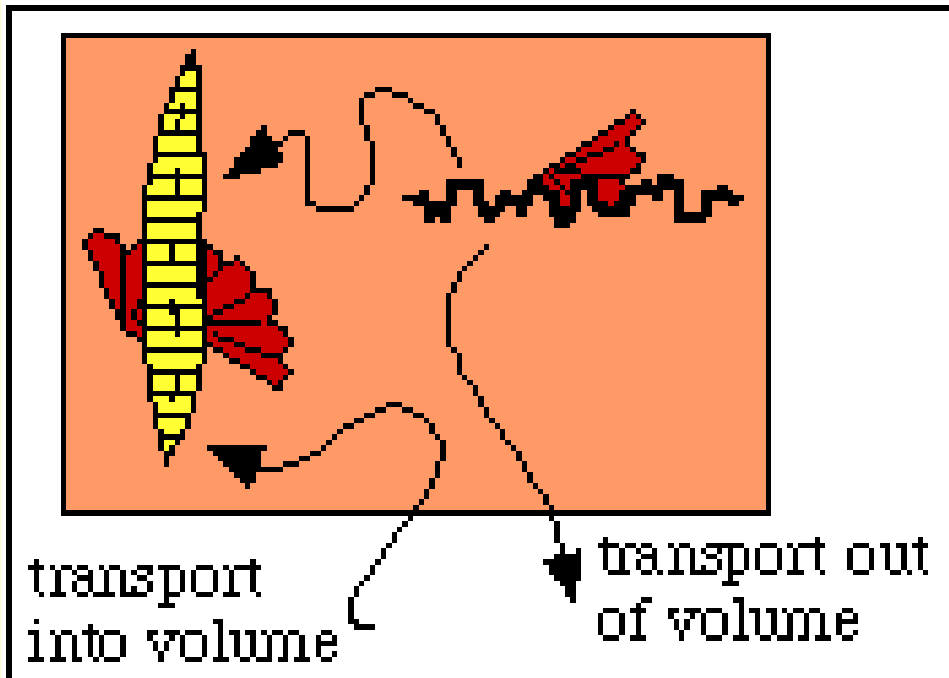
- Obr. Deformovaný konglomerát

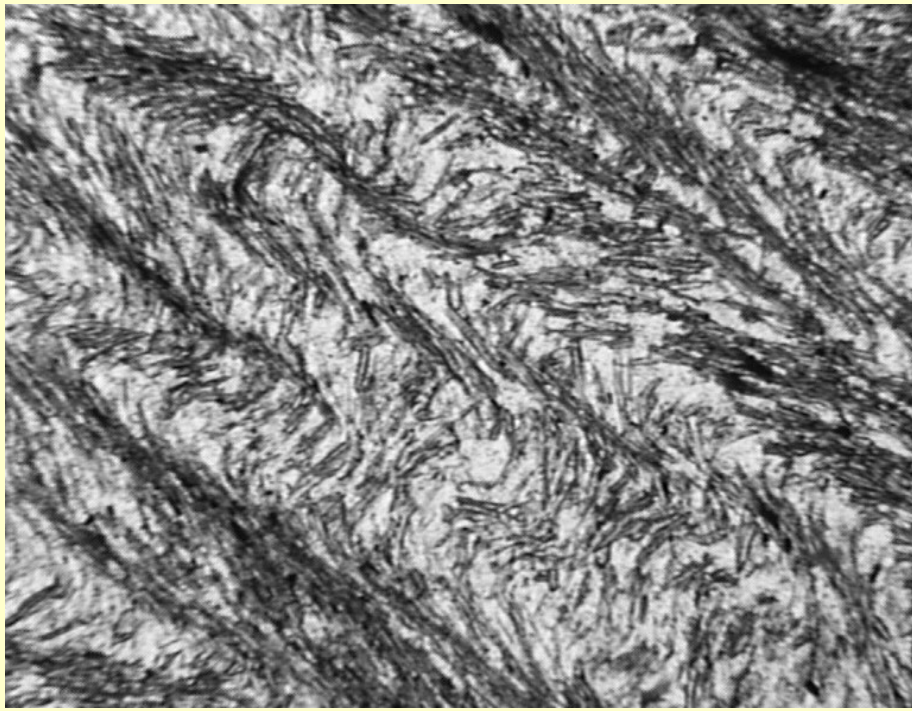


# Indikátory působení orientovaného tlaku



- 1) Stylolity: vznikají v důsledku tlakového rozpouštění horniny. Část horniny je odnesena v roztoku a na místě zůstává jen nerozpustný zbytek.

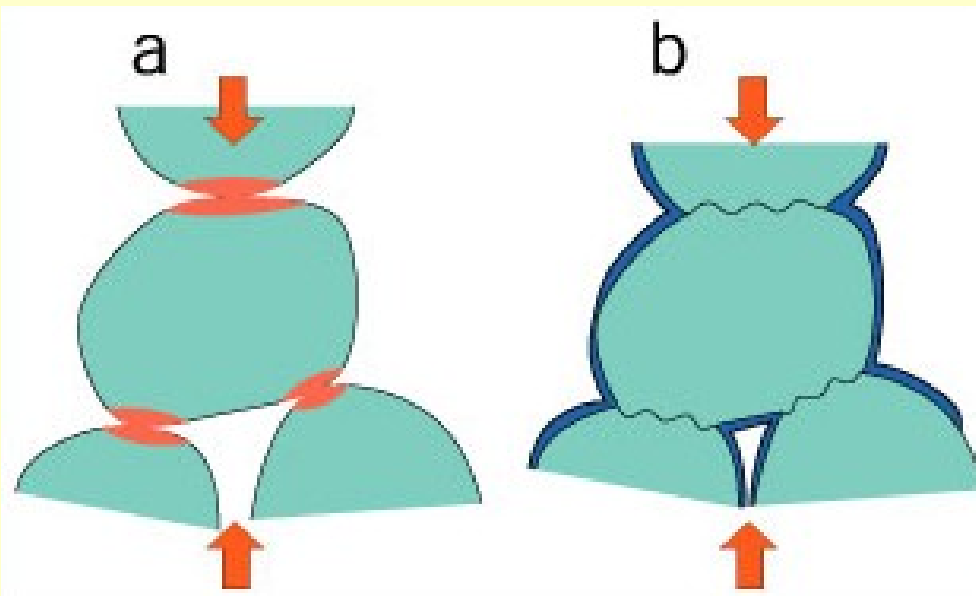




- 2) Krenulační kliváž: *Vzniká v jemně zvrásněných (krenulovaných) horninách redistribucí fylosilikátů do ramen drobných vrásek a světlyých minerálů do zámků těchto vrásek*

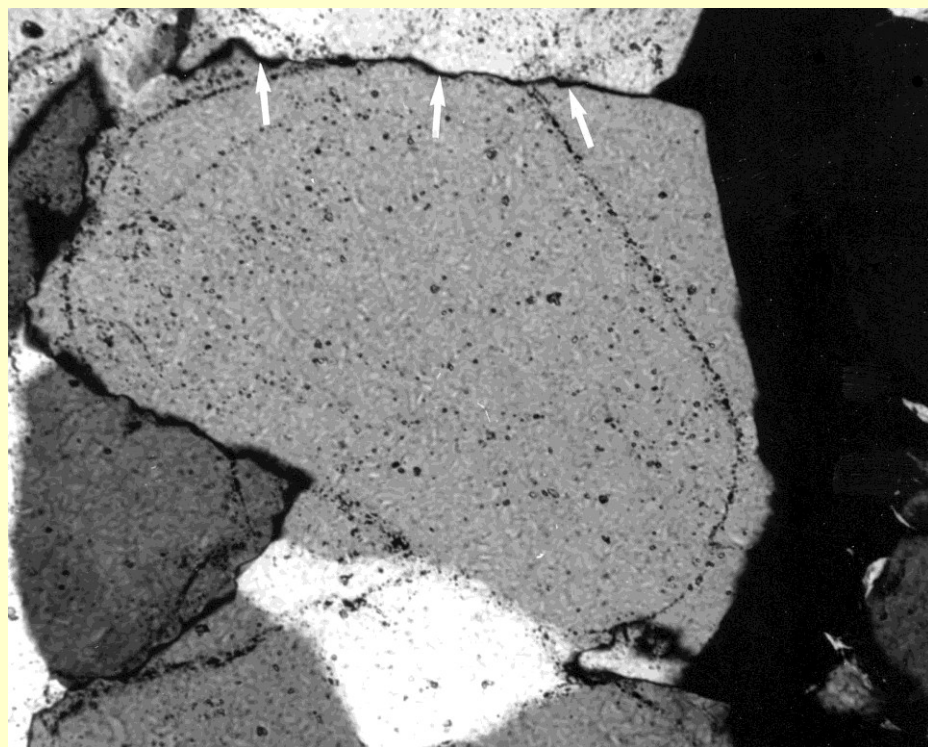
3) Tlakové dvojčatění: *V důsledku tlaku dojde k potočení částí mřížky původně jednoduchého krystalu a vzniku dvojčete.*





#### 4) Tlakové rozpouštění:

Na kontaktu mezi zrny dochází k rozpouštění (a), rozpuštěný materiál se ukládá v místech nižšího tlaku (b).



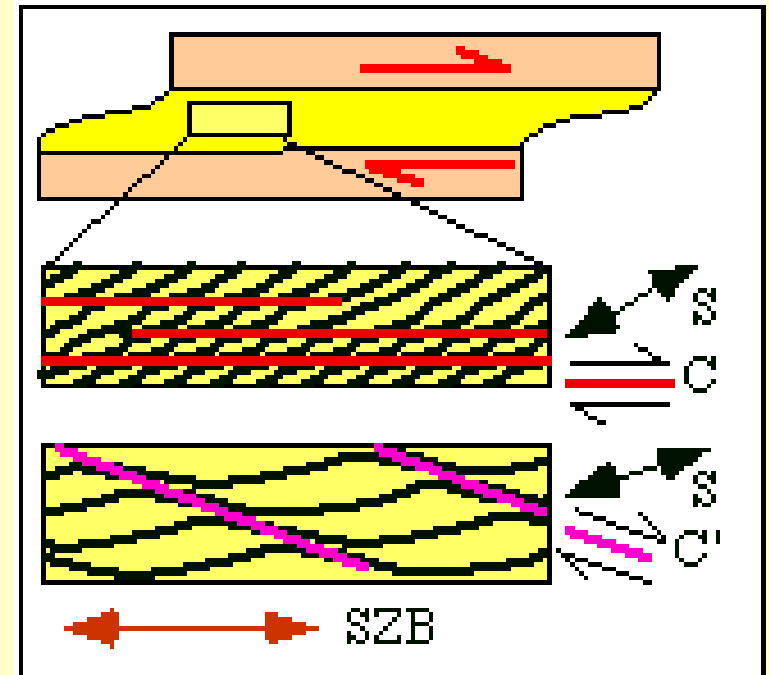
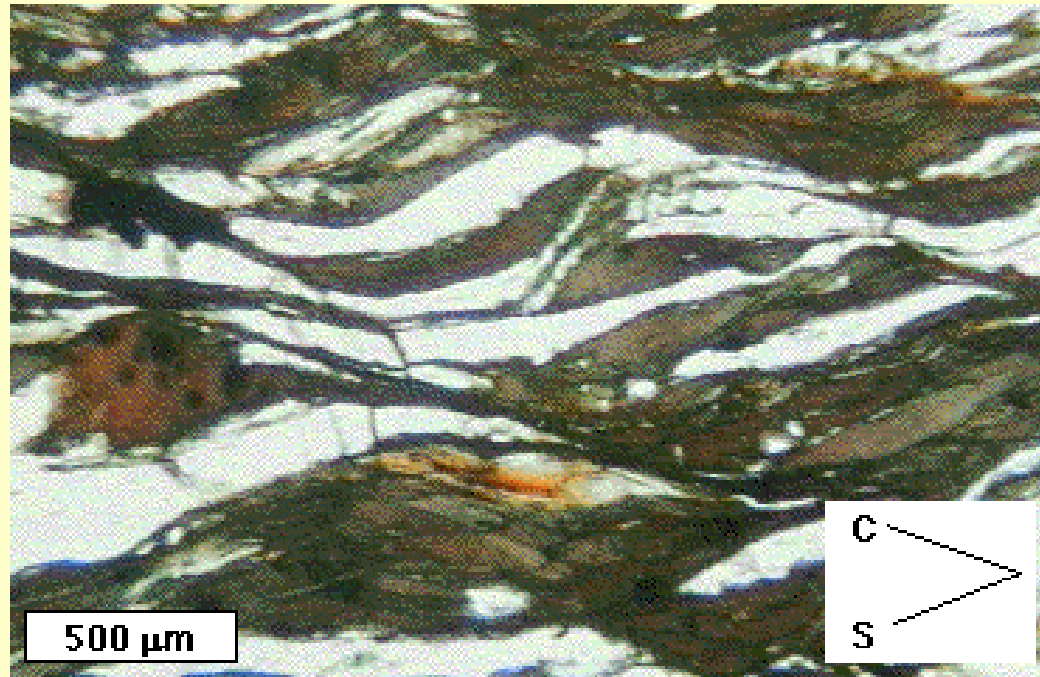
Tento proces je možné pozorovat již v podmínkách diagenese např. na klastech křemene (c) velikost zrna je asi 0,5mm.



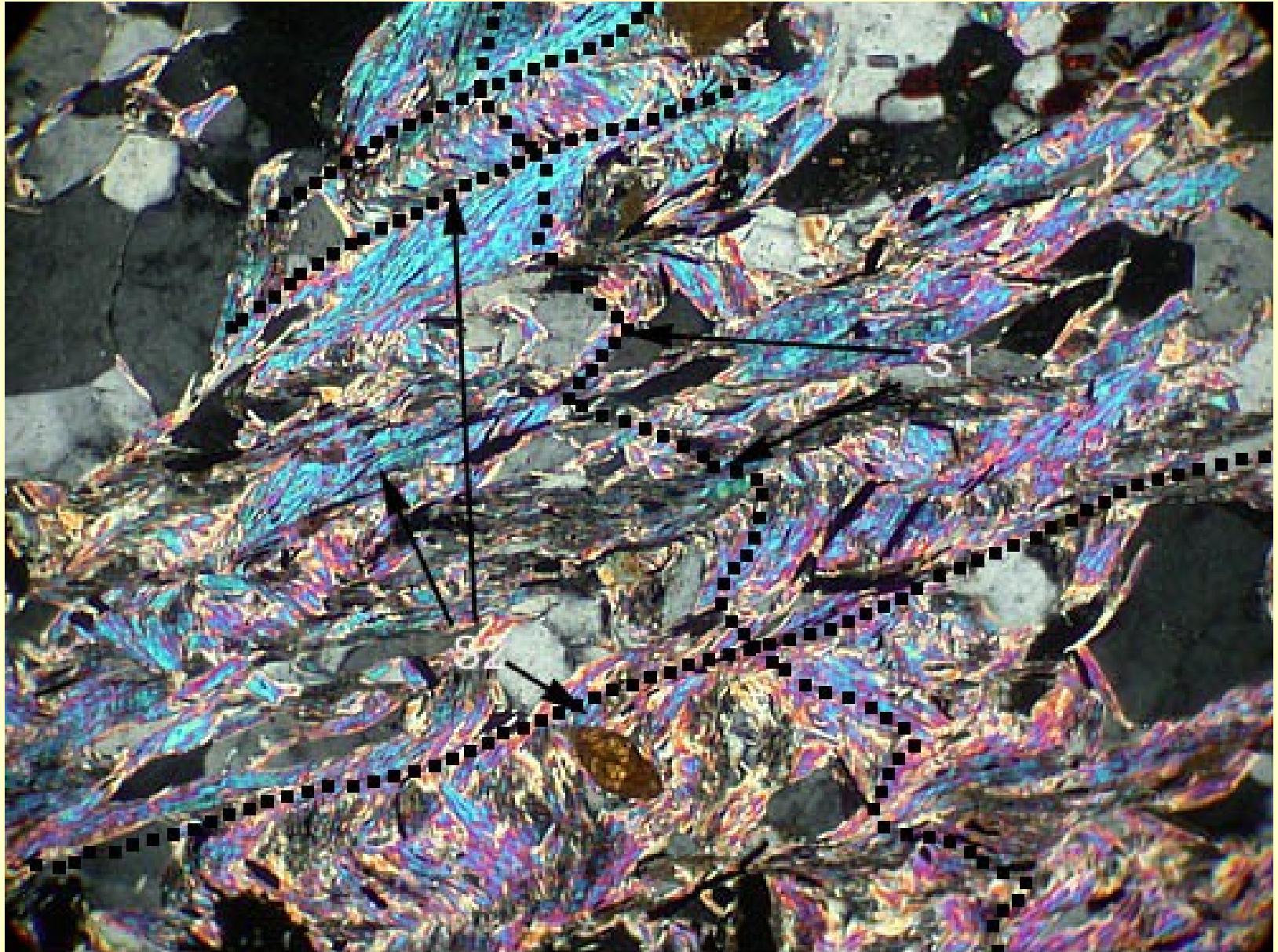
- Vtisky na valounech vzniklé v důsledku diagenéze - vznikly na styku valounu (eocenní slepence).



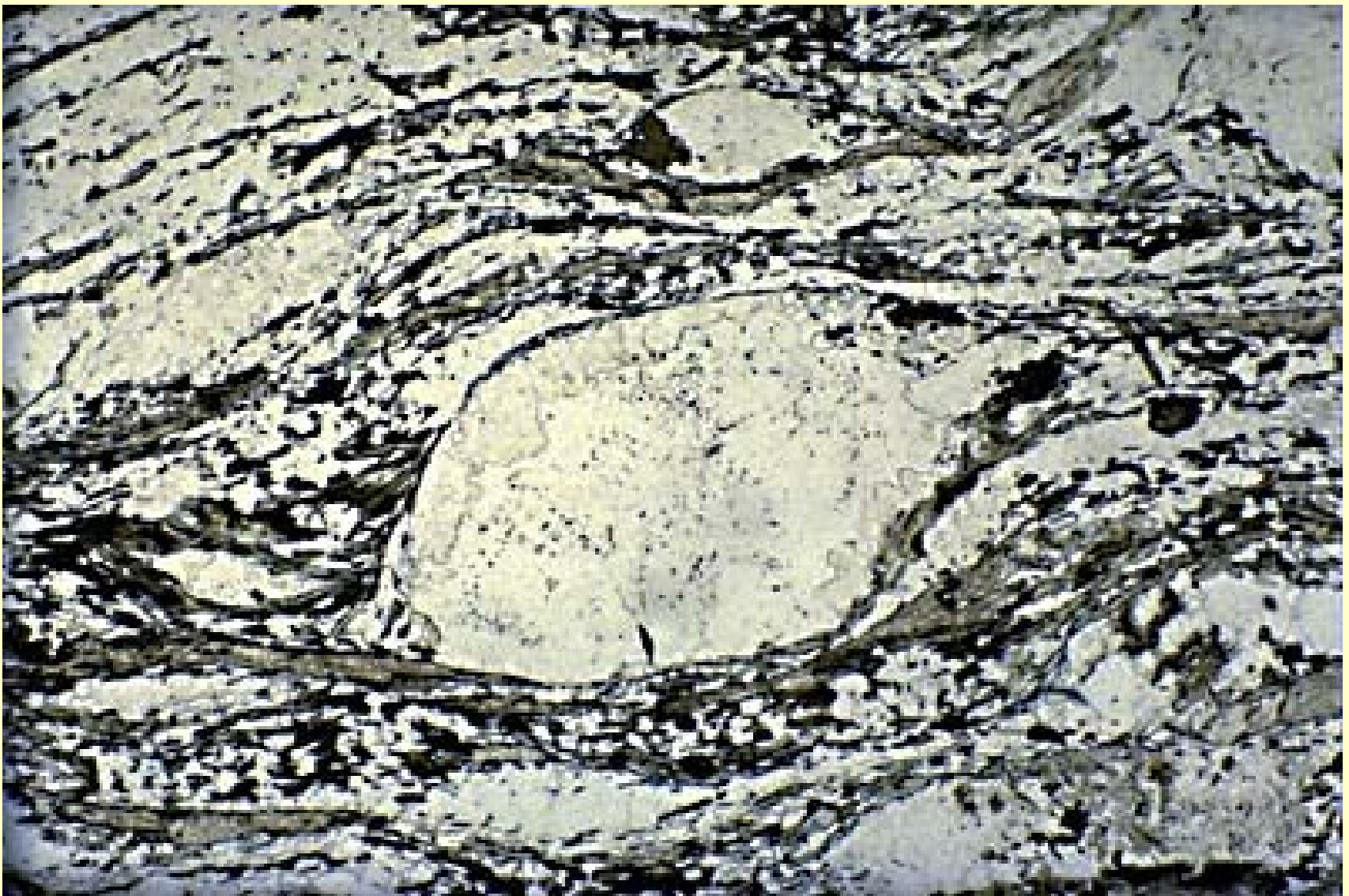
# Indikátory směru pohybu na střižných zónách



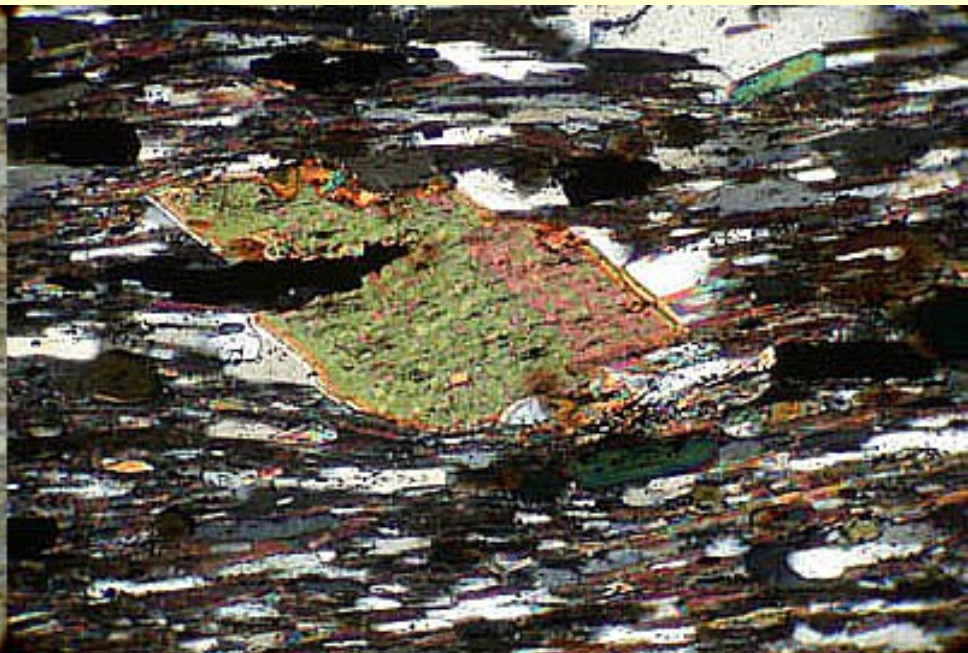
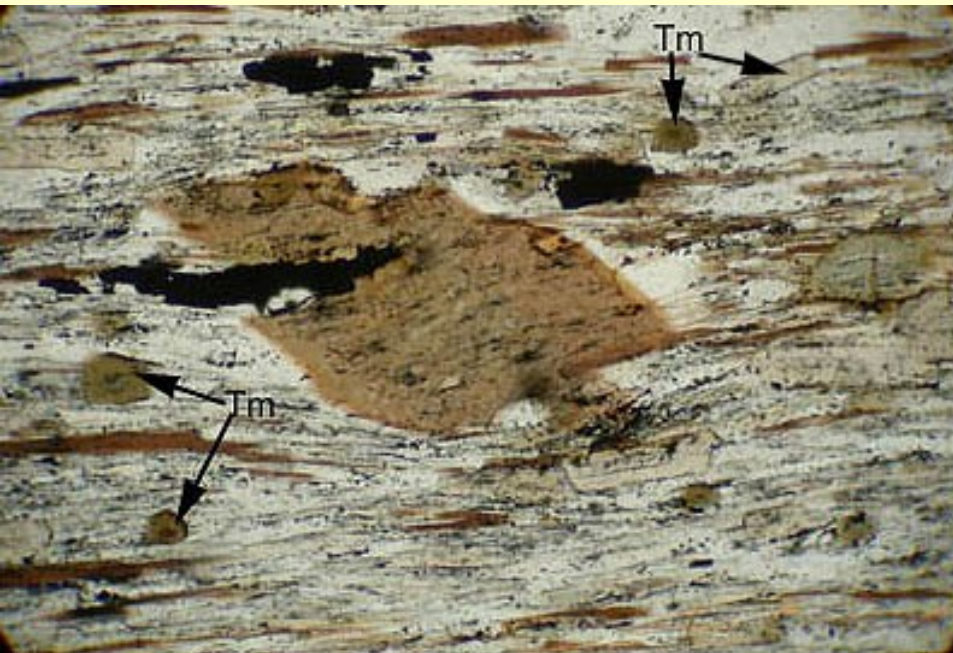
- 1) SC-stavby: vznikají kombinací ploch foliace a střižných ploch



S-C fabric: Note the crystallization of white mica along the S2 direction.



- 2) Asymetrické tlakové stíny: kolem porfyroklastu živce v mylonitizovaném granitu.



Mica fish: Sheared porphyroblasts of biotite in a quartz mica schist. Note the presence of tourmaline crystals (Tm), and the pressure fringes of quartz around the biotite porphyroblast.



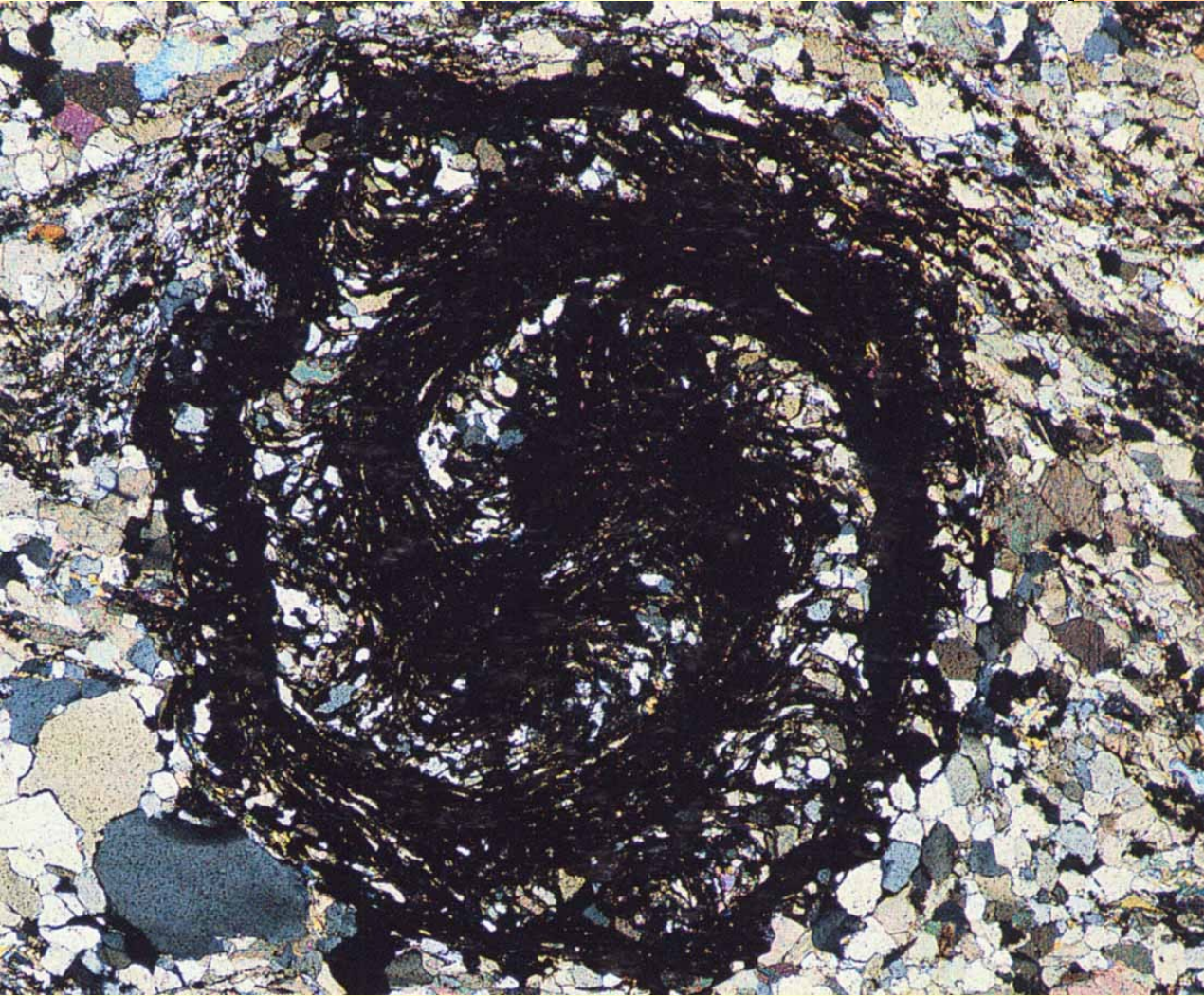
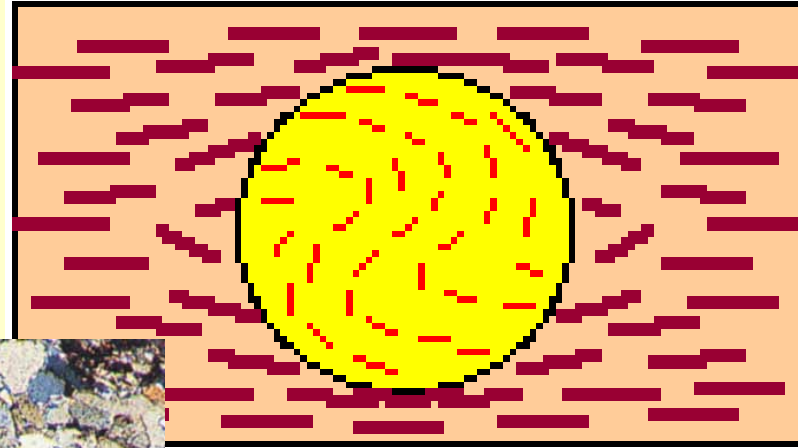


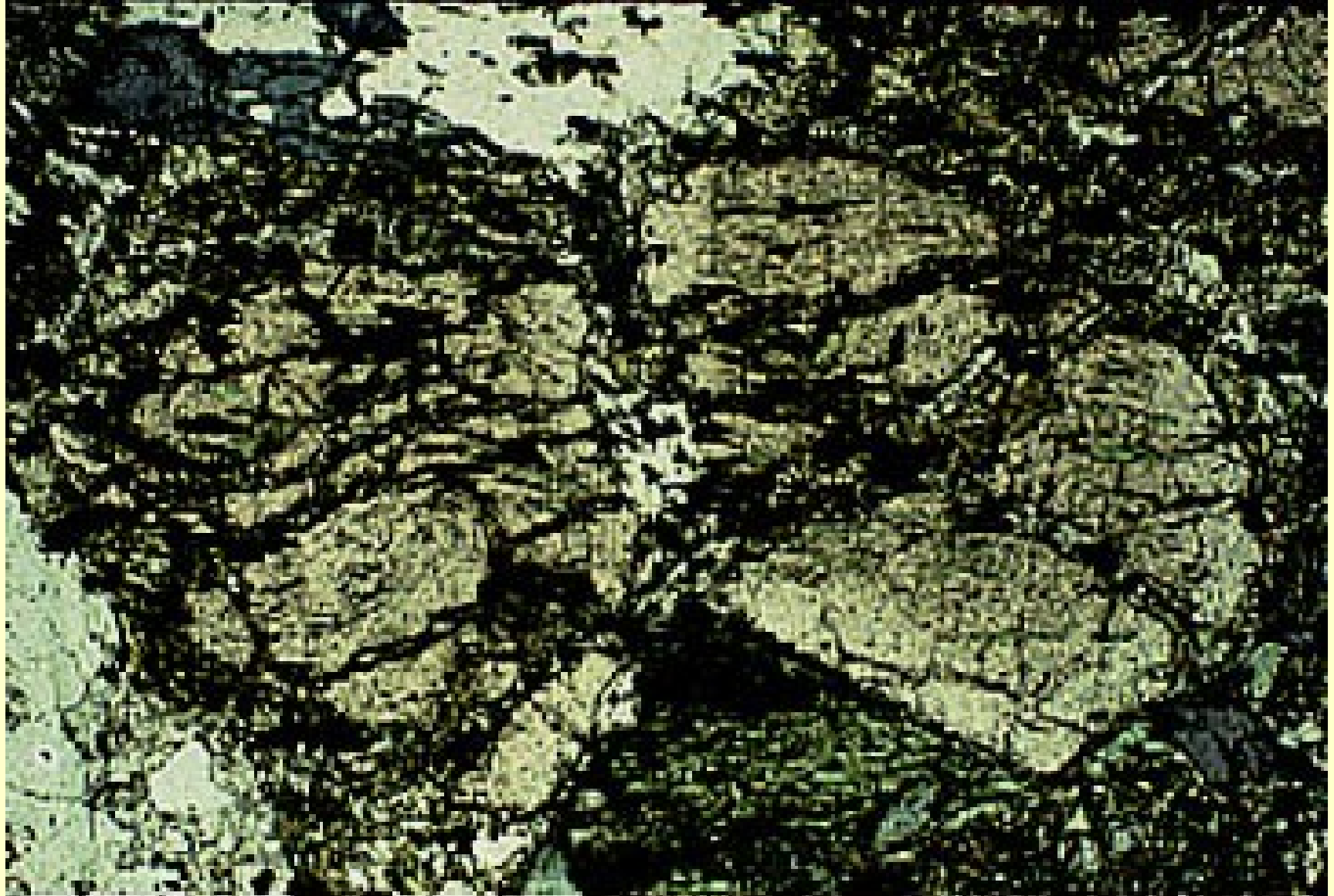
- 3) Budiny granodioritu na střižné zóně.



- Budina dolomitu ve vápenci ukazuje kontrastní chování mezi duktilně deformovaným vápencem a dolomitem.

- 4) Rotované porfyroblasty





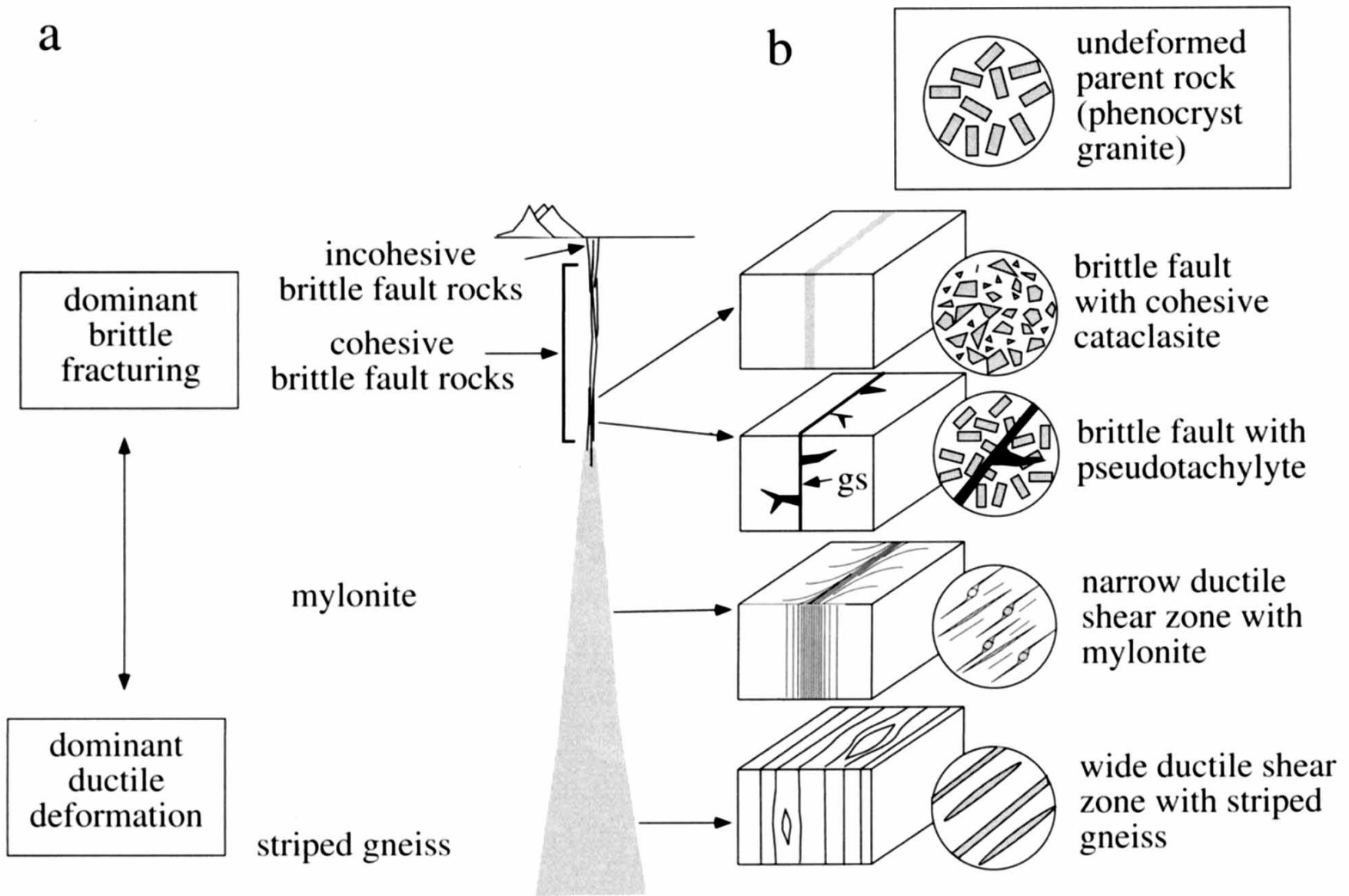
Helicitic texture defined by garnet porphyroblasts overgrowing the original foliation defined by omphacite inclusions (green). Plane polarized light.



# Mylonitizace



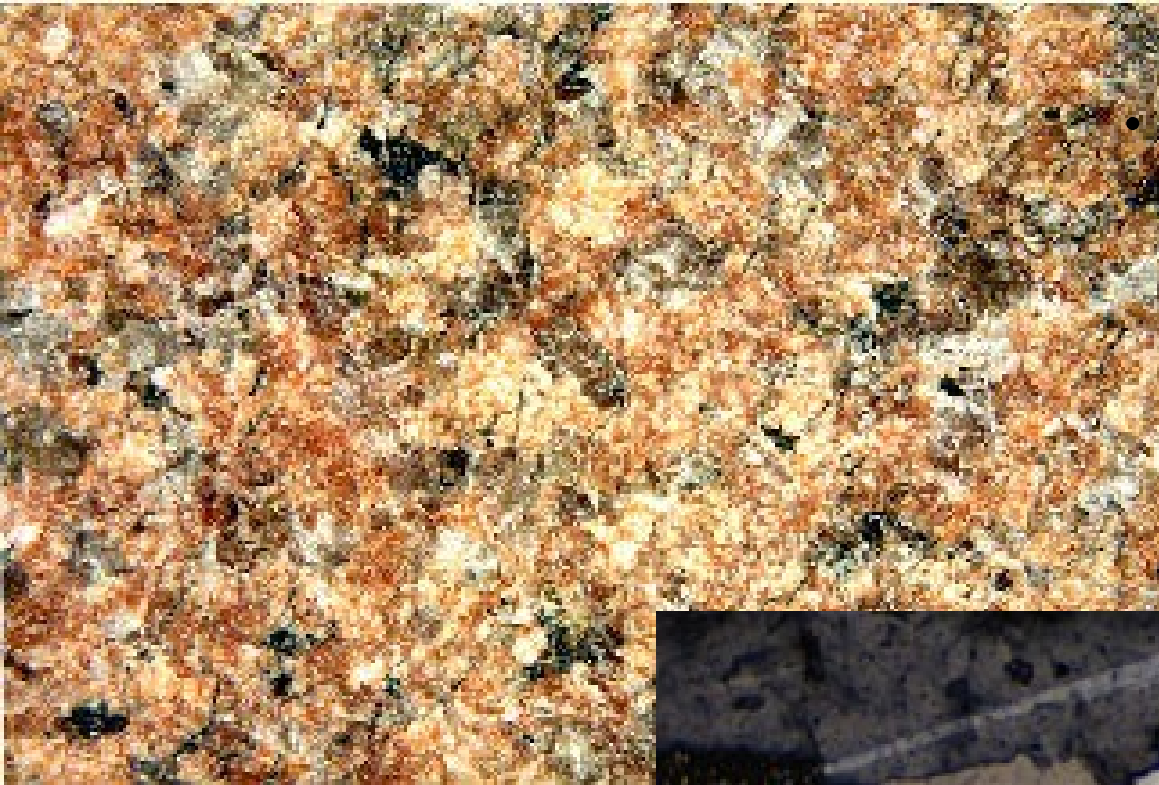
- Střížná zóna v rule



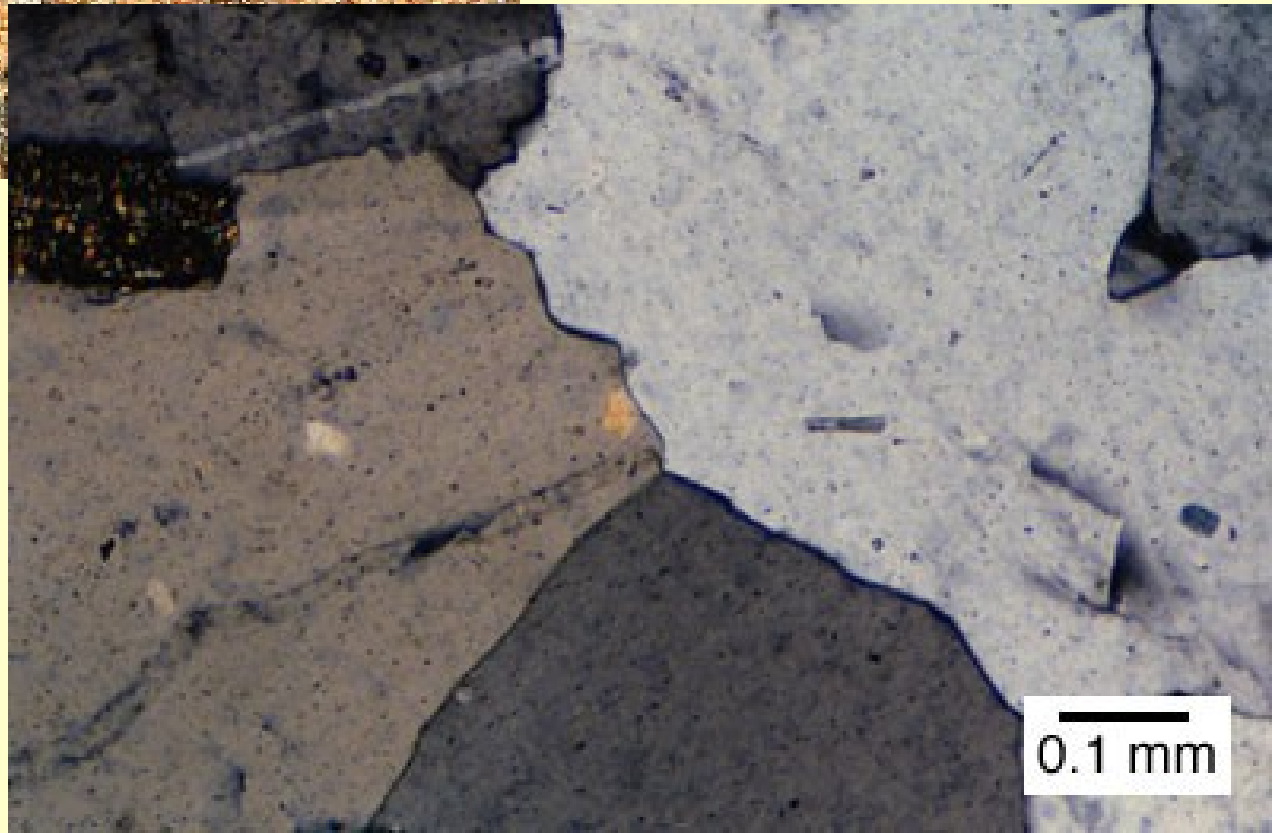
- Vývoj struktur na střižné zóně s hloubkou od křehké deformace po páskovanou rulu

- mylonitová zóny



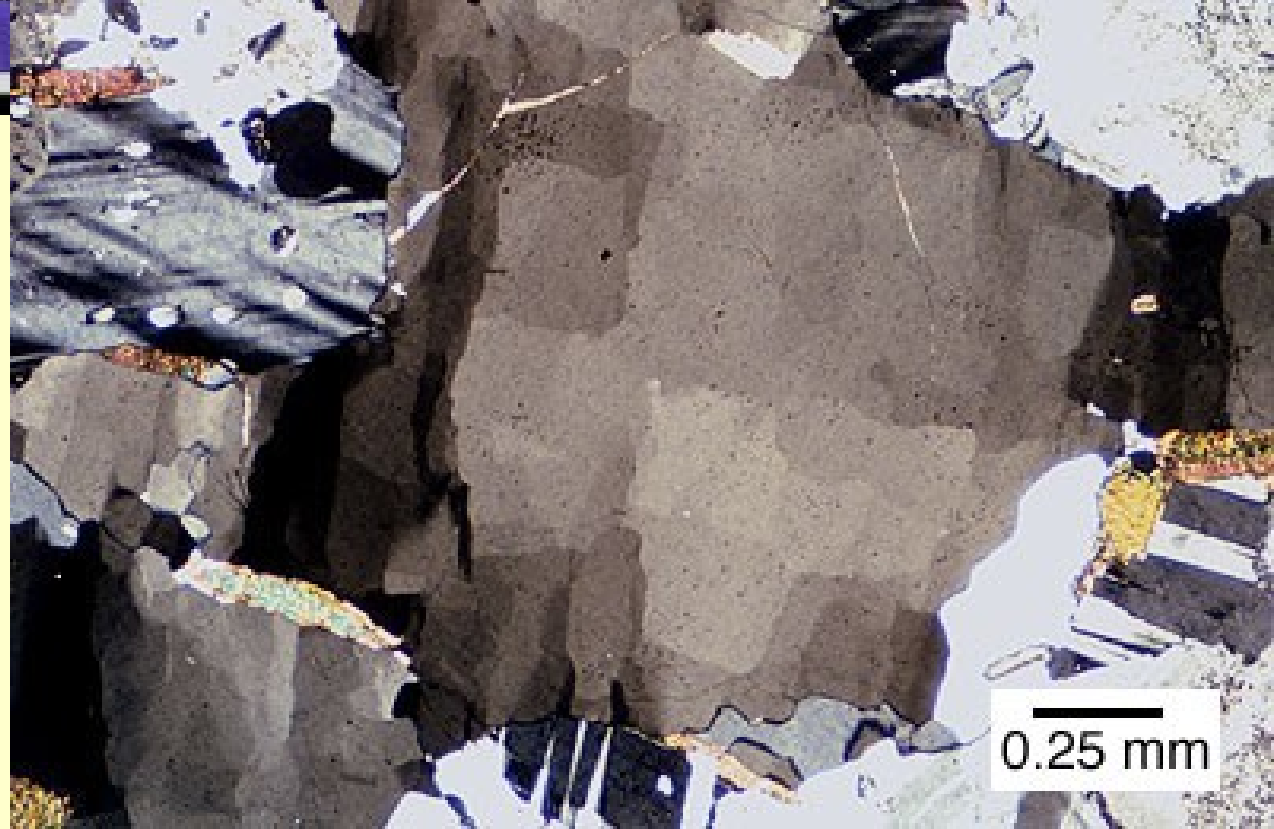


- Minerál který nebyl postižen deformací zháší na celé ploše zrna současně.



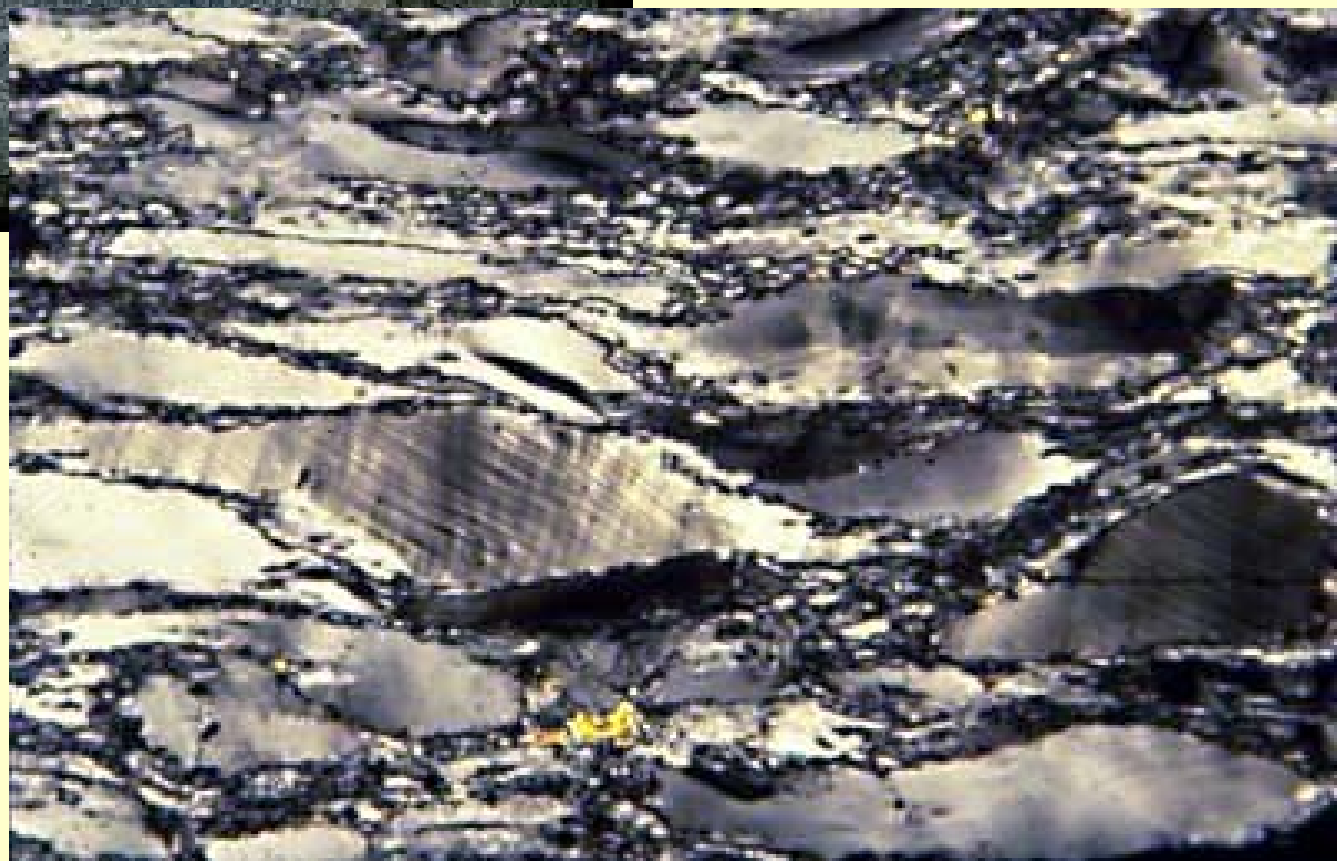


Deformace se začíná projevovat undulárním zchátním a při pokračování deformace se původně jednolitá zrna rozdělí na několik subzrn.



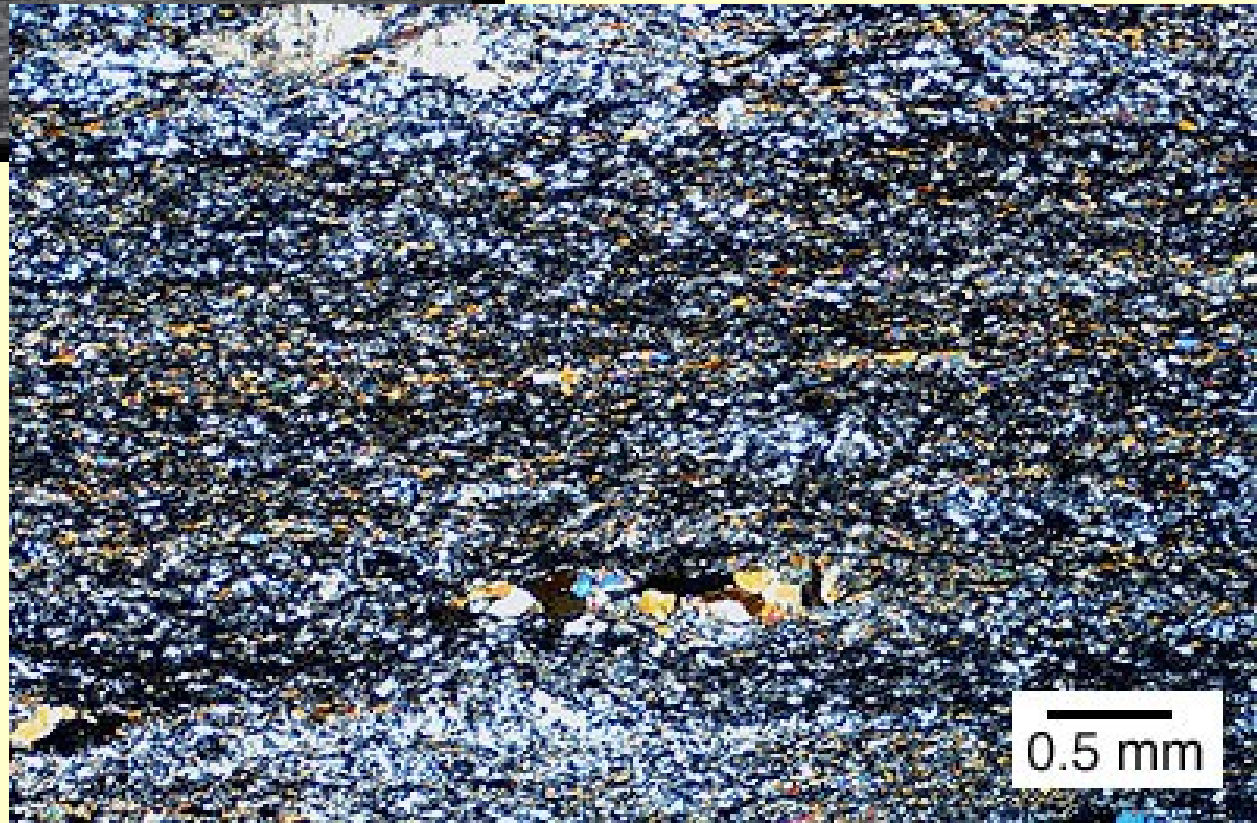


Při drcení se nejdříve drtí okraje zrn a vyniká z nich jemnější matrix, která obklopuje větší porfyroklasty.

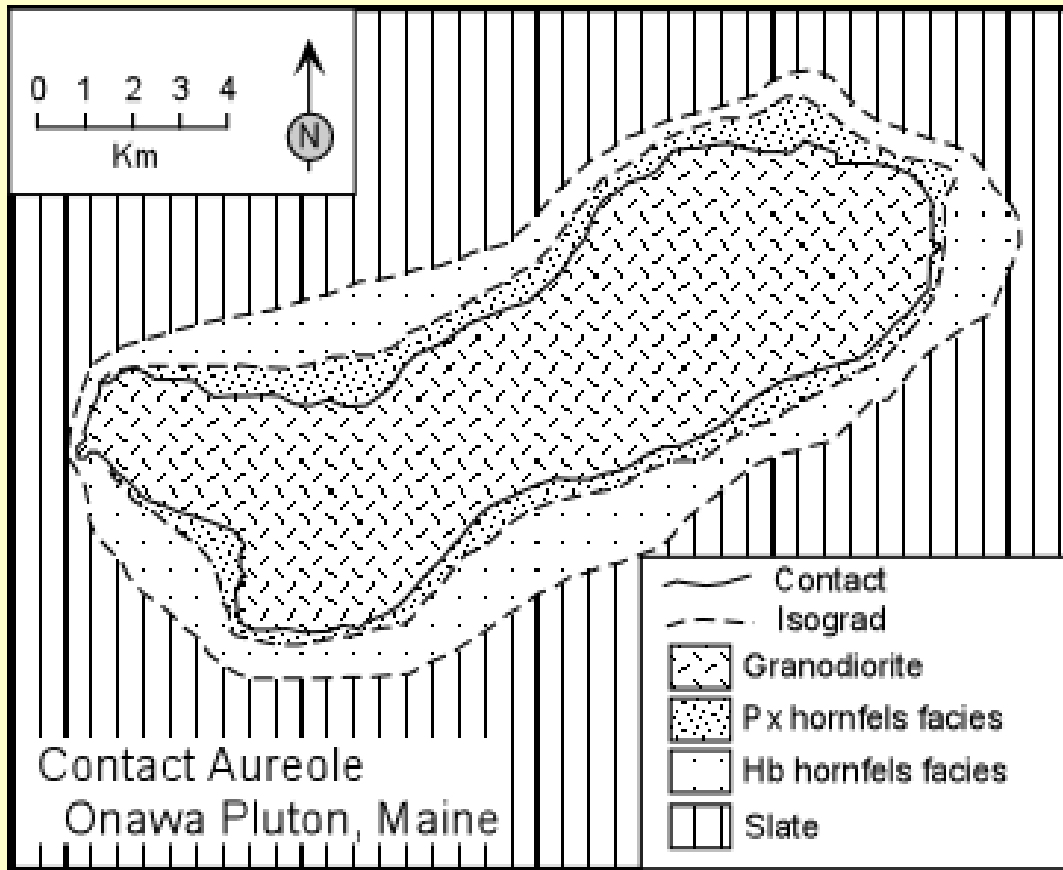




V průběhu další deformace jsou zrna dále drcena a v hornině vzniká velké množství drobných zrn v nichž se občas vyskytnou porfyroklasty.



## 2) Stavby typické pro kontaktní metamorfózu (termální met. )



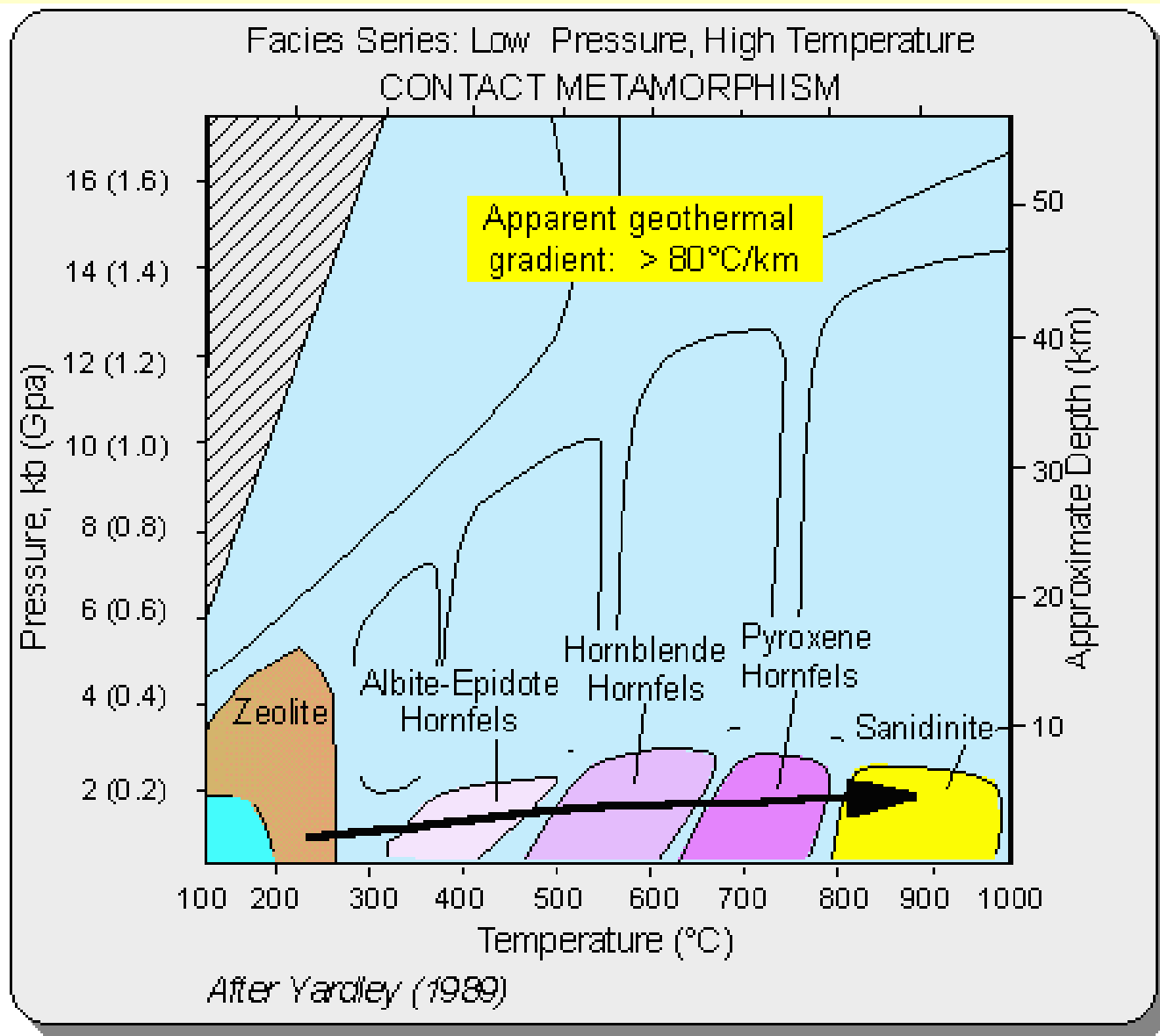
- Typické pro okolí magmatických těles (malý rozsah, nízký-P)
- nízký vliv směrného tlaku (rekrytalizace je převážně statická)
- časté granoblastické polygonální struktury
- časté reliktní struktury

After Philbrick (1936) & Moore, 1960)



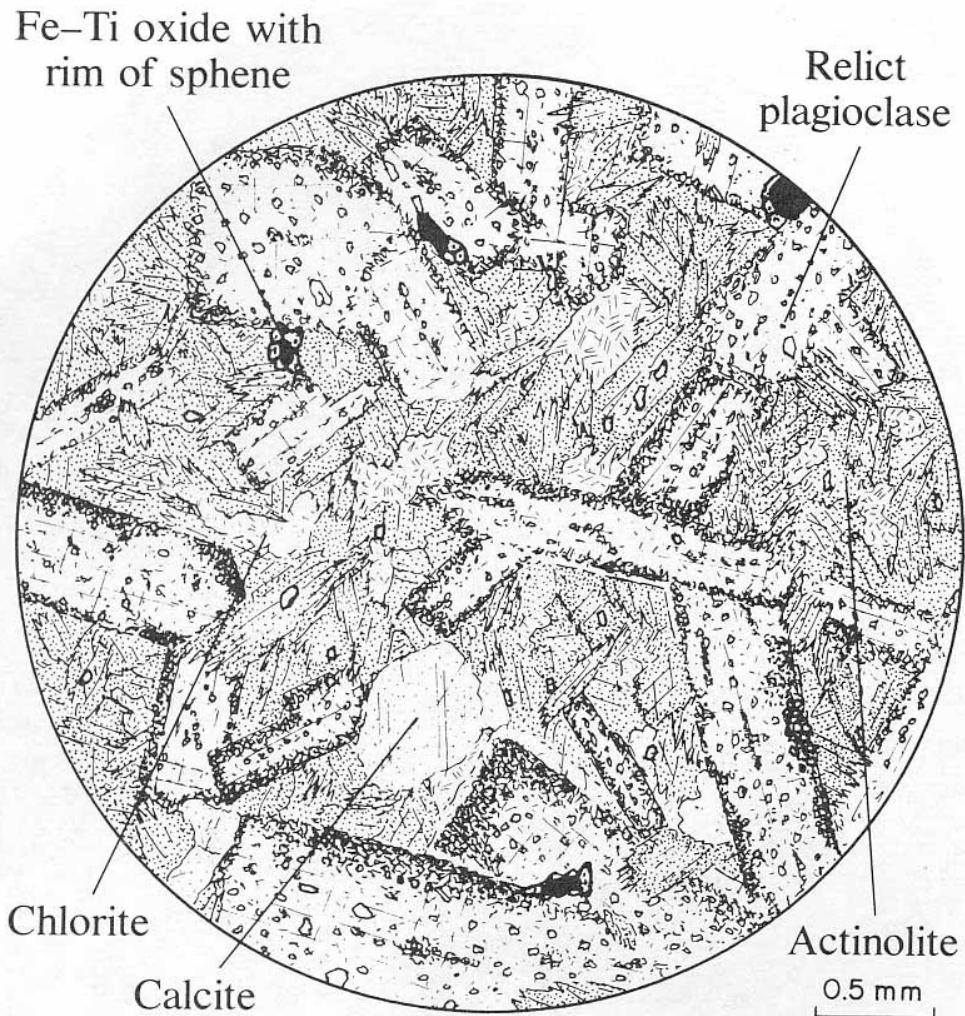
# KRITÉRIA PRO ROZPOZNÁNÍ KONTAKTNÍ METAMORFÓZY

- 1. Přítomnost typicky kontaktně metamorfných minerálů: cordieritu, andalusitu (chiastolitu), wollastonitu, korundu, granát, diopsid, vesuvian, skapolit, hypersten, sillimanit.
- 2. Vznik masivních textur, potlačení původní foliace (vrstevnatosti nebo břidličnatosti), částečné natavení horniny, oxydace a s ní spojené barevné změny.
- 3. Vznik skvrnité, plodové, snopkové apod. textury. Zhrubnutí zrna.
- 4. Terénní vztahy — závislost výskytu na blízkosti vyvřelého tělesa a přibývání intensity změn směrem k vyvřelině, injekce magmatu.



- *Kontaktní metamorfóza probíhá za velmi nízkých tlaků a je způsobena teplem magmatu na povrchu nebo těsně pod ním.*

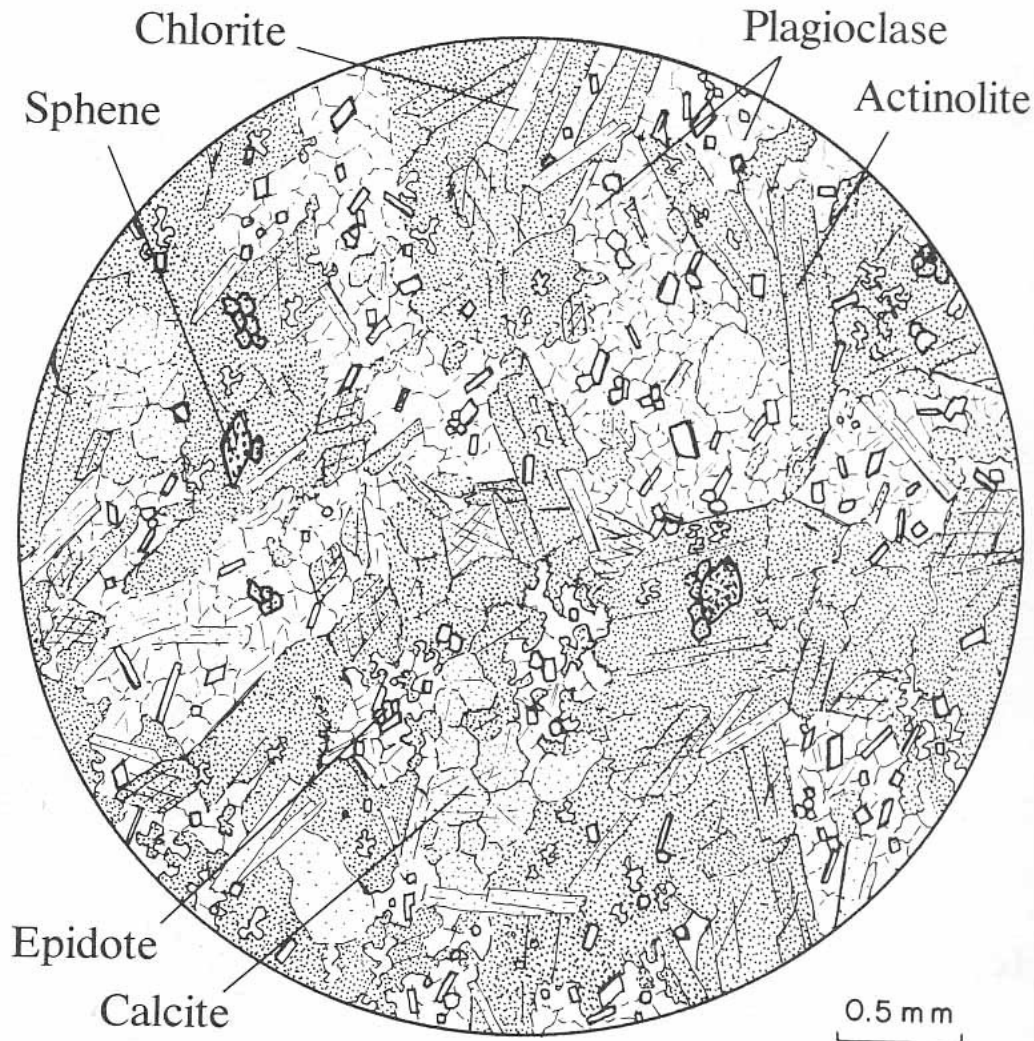
# Zeolitová facie-reliktní struktura



- Kontaktně metamorfovaný dolerit (hrubozrnný bazalt): změnila se minerální asociace ale zůstaly zachovány relikty původní ofitické struktury.



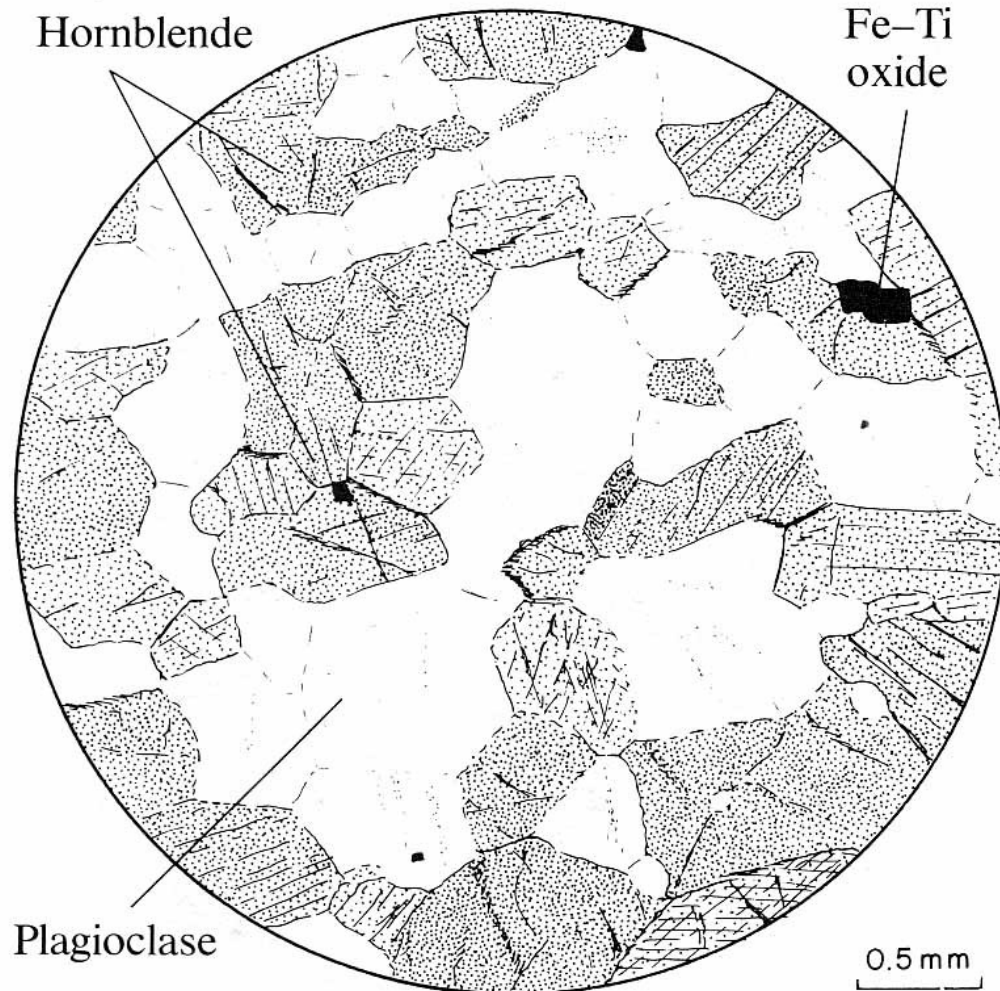
# Albit-epidotické rohovec



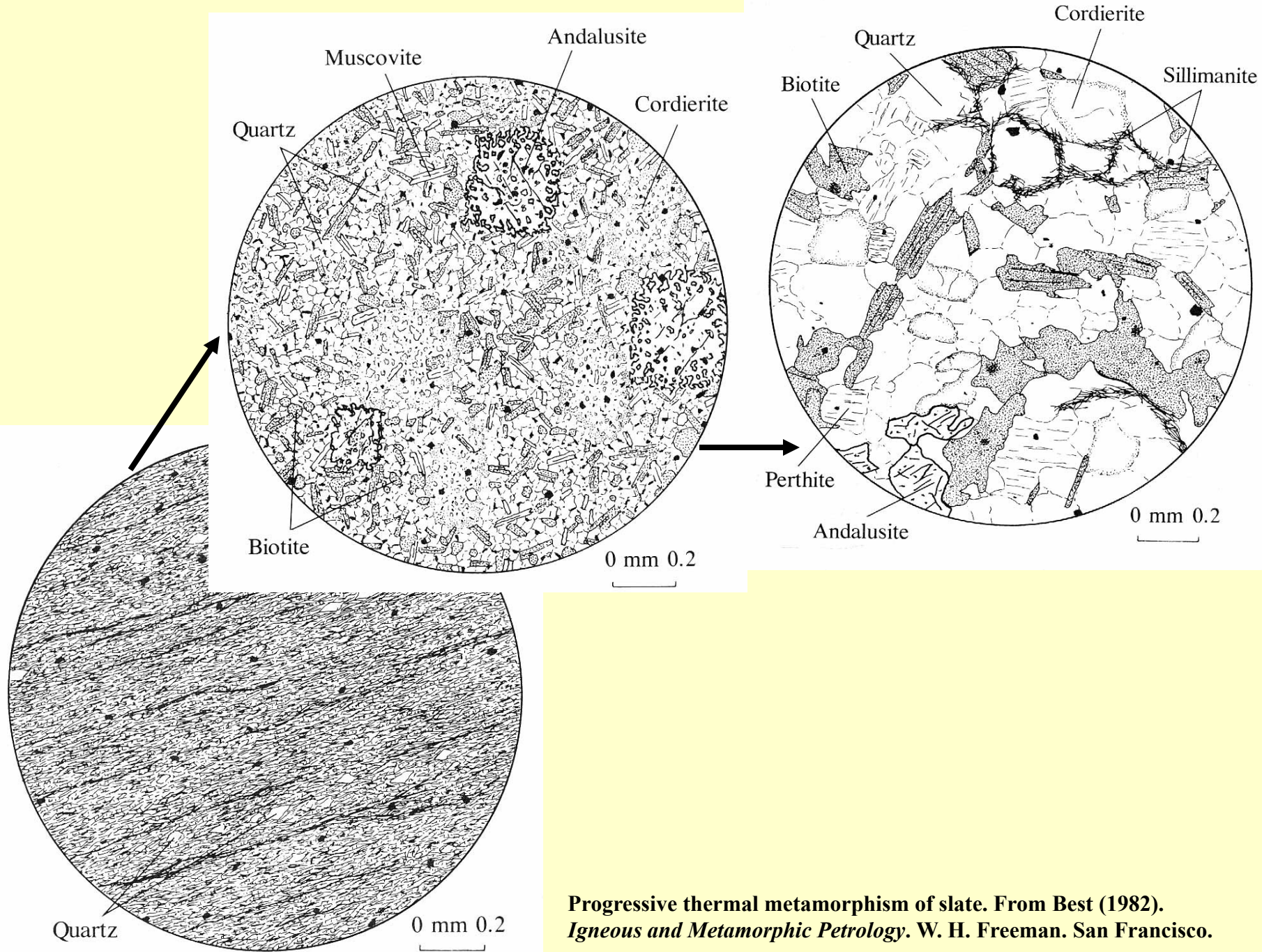
- Původní minerály rekrystalují mění se jejich chemizmus i tvar a vznikají nové minerální fáze.



# Amfibolické rohovce



- Nové minerální fáze a struktura typická pro kontaktní rohovce (polygonální).

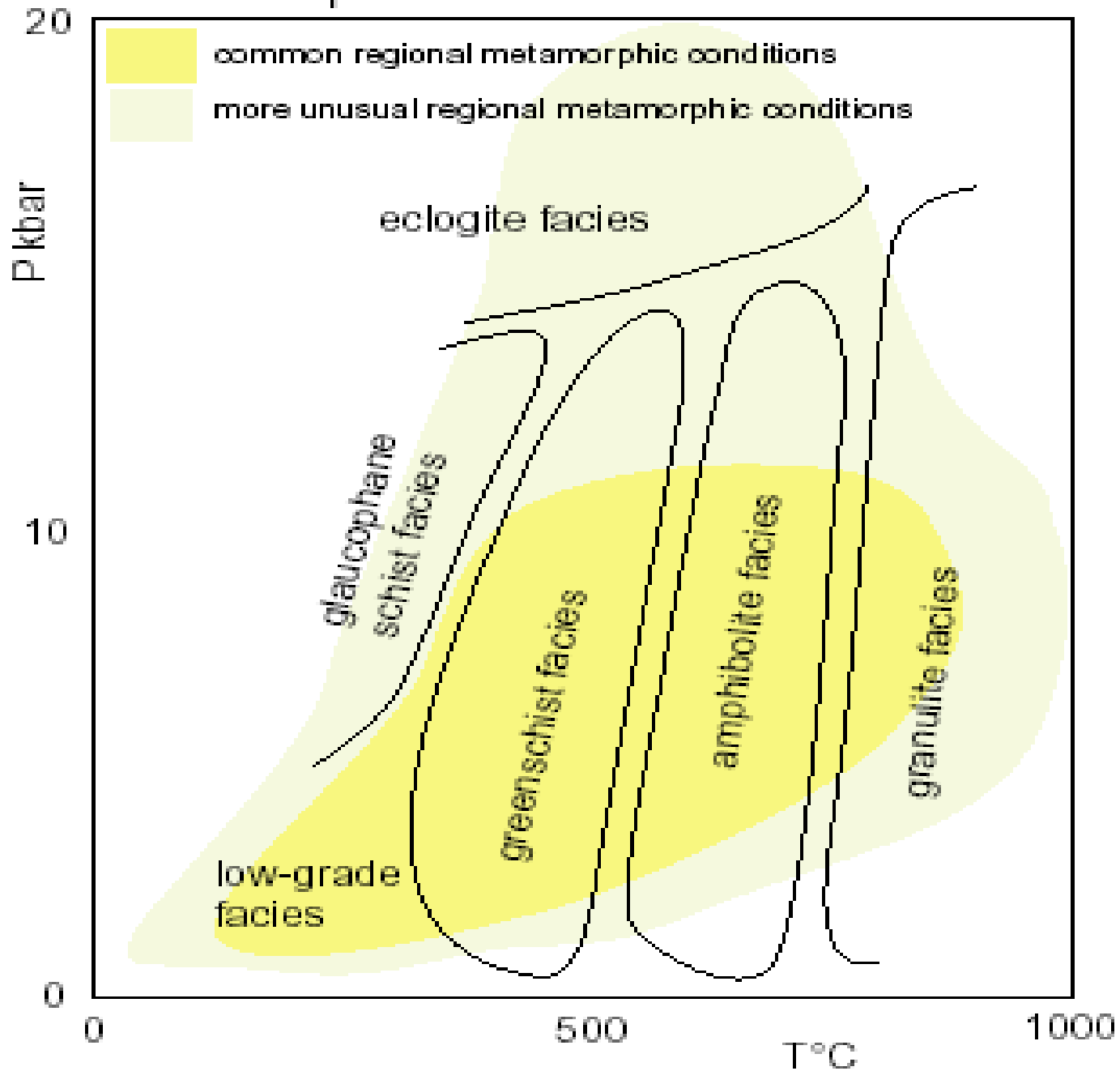


**Progressive thermal metamorphism of slate. From Best (1982).  
*Igneous and Metamorphic Petrology*. W. H. Freeman. San Francisco.**

### 3) Stavby hornin typické pro regionální metamorfózu

- dynamicko-termální metamorfóza
- vázaná na orogenezi
- metamorfovaná hornina je často výsledkem několika deformačních a metamorfních událostí
- Délka trvání regionální metamorfózy se počítá na desítky miliónů let zatímco kontaktní metamorfóza 10000 let.

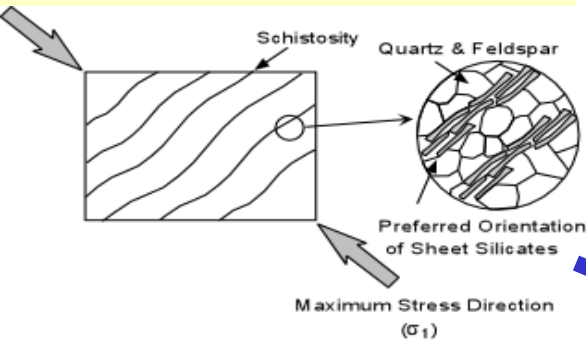
# metamorphic facies



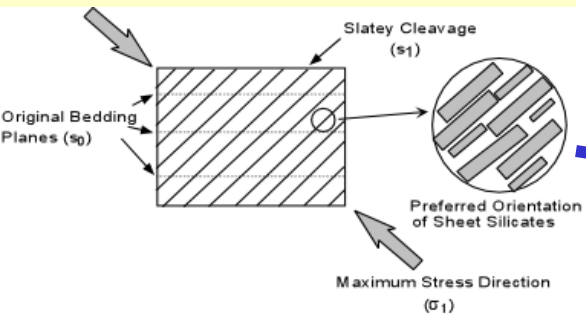


- Stavební změny v metapelitech s nárůstem metamorfózy

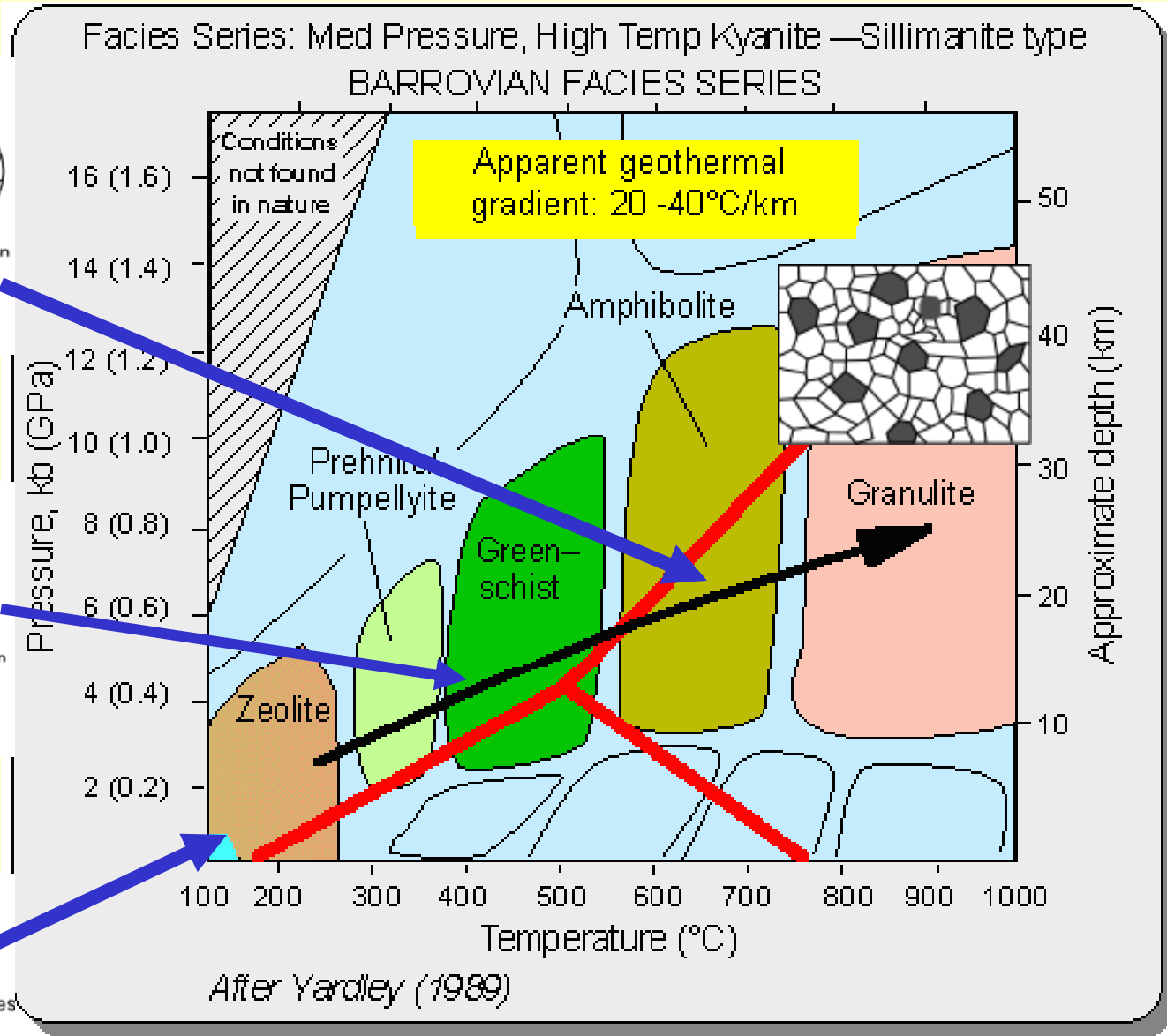
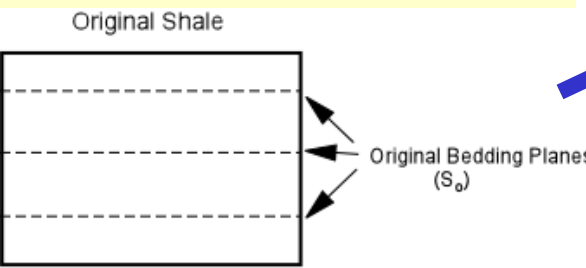
Rula



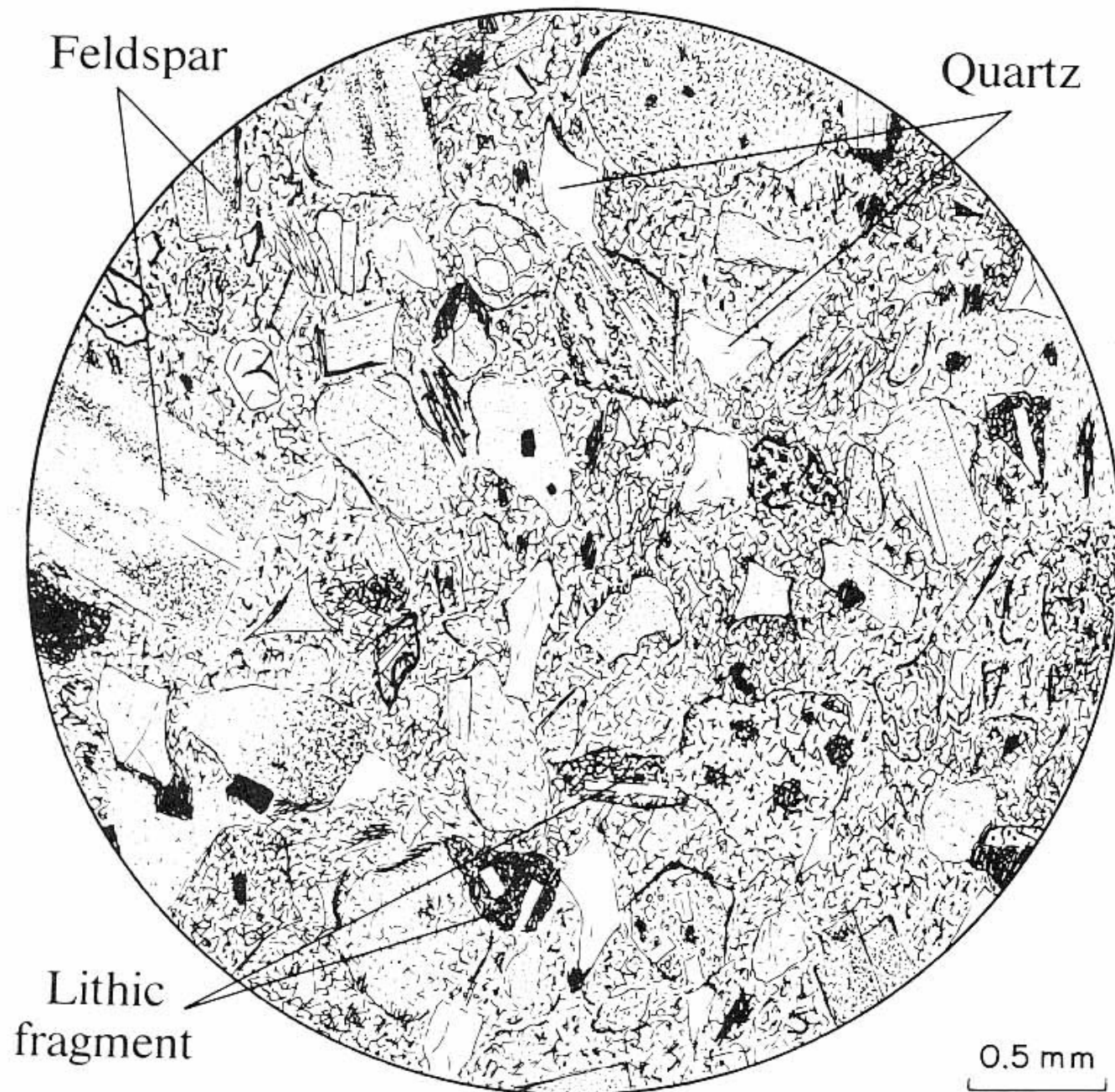
Fylit



Břidlice



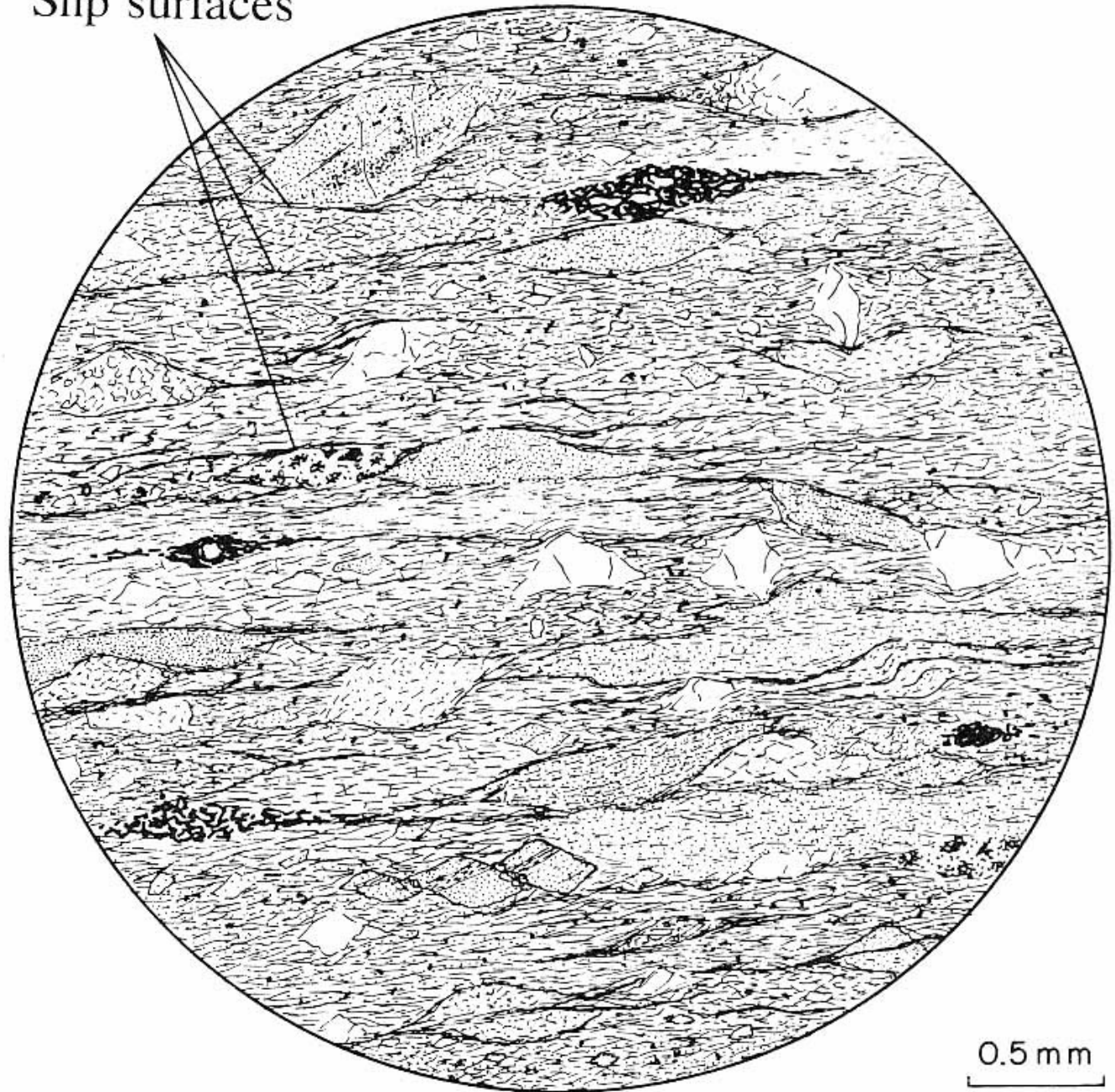
Původní hornina  
složená z úlomků  
minerálů a hornin.



Progresivní syntektonická  
metamorfóza droby (Best (1982).  
*Igneous and Metamorphic  
Petrology*. W. H. Freeman. San  
Francisco).



Slip surfaces



0.5 mm

Zeolitová facie

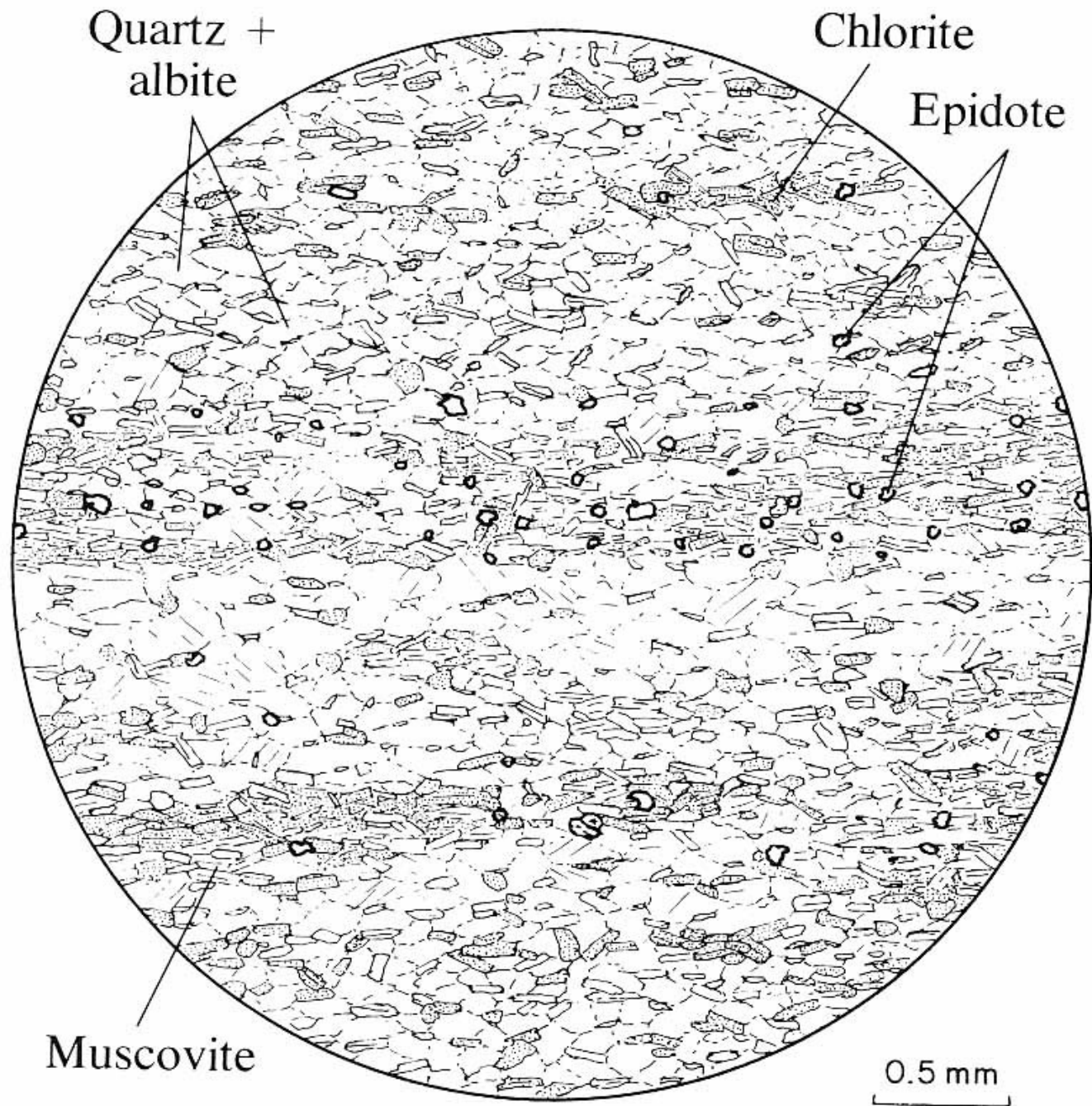
- 1) jílové minerály  
rekrytalují
- 2) klasty jsou  
deformovány
- 3) vzniká kliváž

Progresivní syntektonická  
metamorfóza droby (Best (1982).  
*Igneous and Metamorphic  
Petrology*. W. H. Freeman. San  
Francisco).



## Facie zelených břidlic

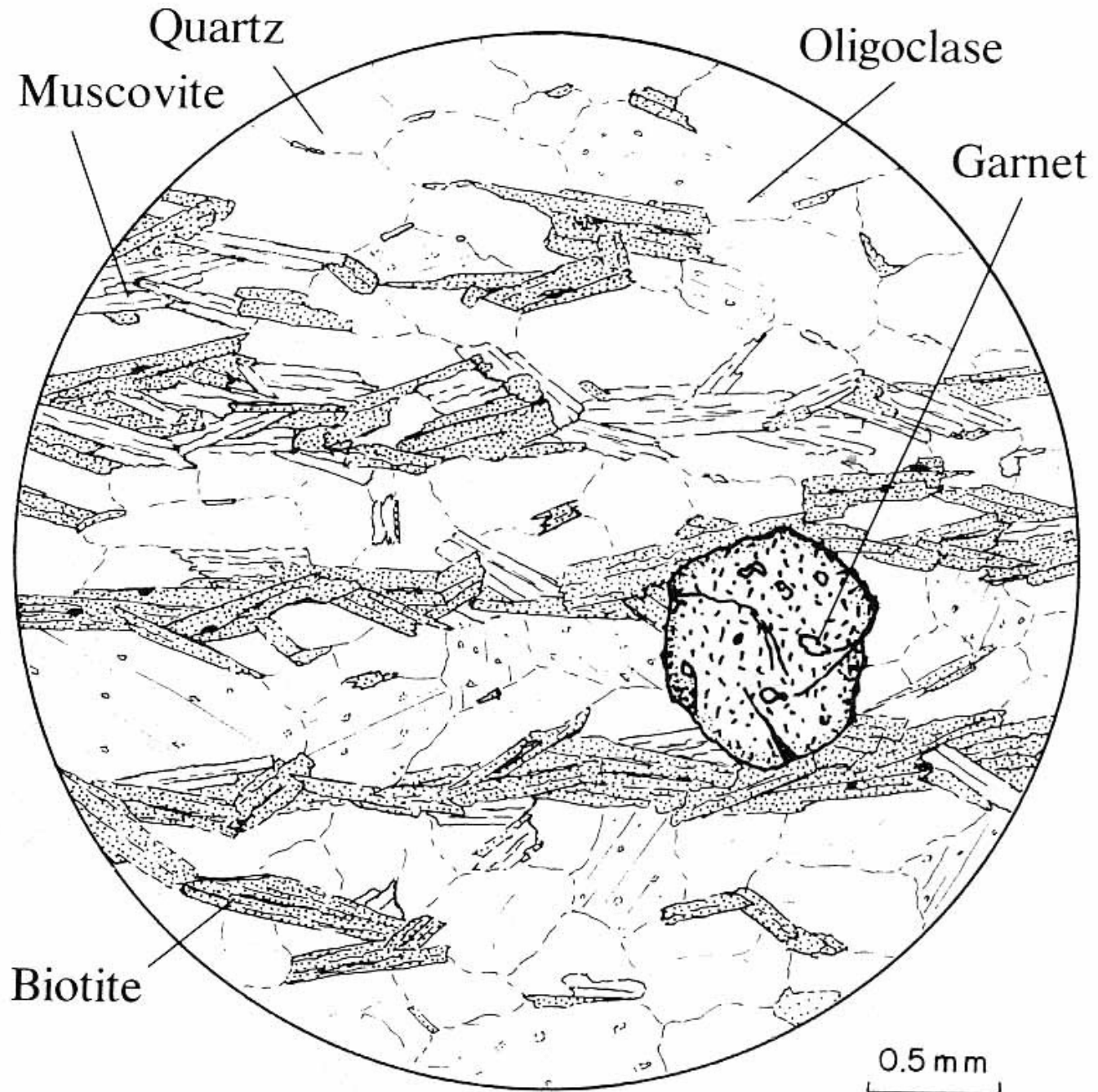
- 1) rekrystalizace
- 2) vznik nových minerálů



Progresivní syntektonická metamorfóza droby (Best (1982). *Igneous and Metamorphic Petrology*. W. H. Freeman. San Francisco).



Amfibolitová facie  
1) rekrystalizace  
2) vznik nových  
minerálů



Progresivní syntektonická  
metamorfóza droby (Best (1982).  
*Igneous and Metamorphic  
Petrology*. W. H. Freeman. San  
Francisco).

# Literatura

- Dudek, A. - Fediuk F. - Palivcová M. (1962): Petrografické tabulky
- Hejtman, B. (1962): Petrografie metamorfovaných hornin
- Konopásek, J. – Štípská P. – Kláková H. – Schulmann K. (1998): Metamorfnní petrologie
- Naprostá většina obrazového materiálu pochází z celé řady internetových stránek věnujících se metamorfnní petrologii

# Základní termíny

používané pro popis hornin **v terénu**

- metamorfní stupeň (grade) – intenzita metamorfózy (T) – vysoký, nízký
- metamorfní zóna – oblast výskytu indexového minerálu
- metamorfní izograda – hranice metamorfní zóny
- metamorfní facie – charakteristická minerální asociace (rozmezí P a T, chemické rovnováhy)
- metamorfní P-T dráha – vývoj hornin v poli P-T

