

Metamorfni petrologie I

1. Úvod do metamorfních procesů

1. Úvod do metamorfních procesů

Osnova:

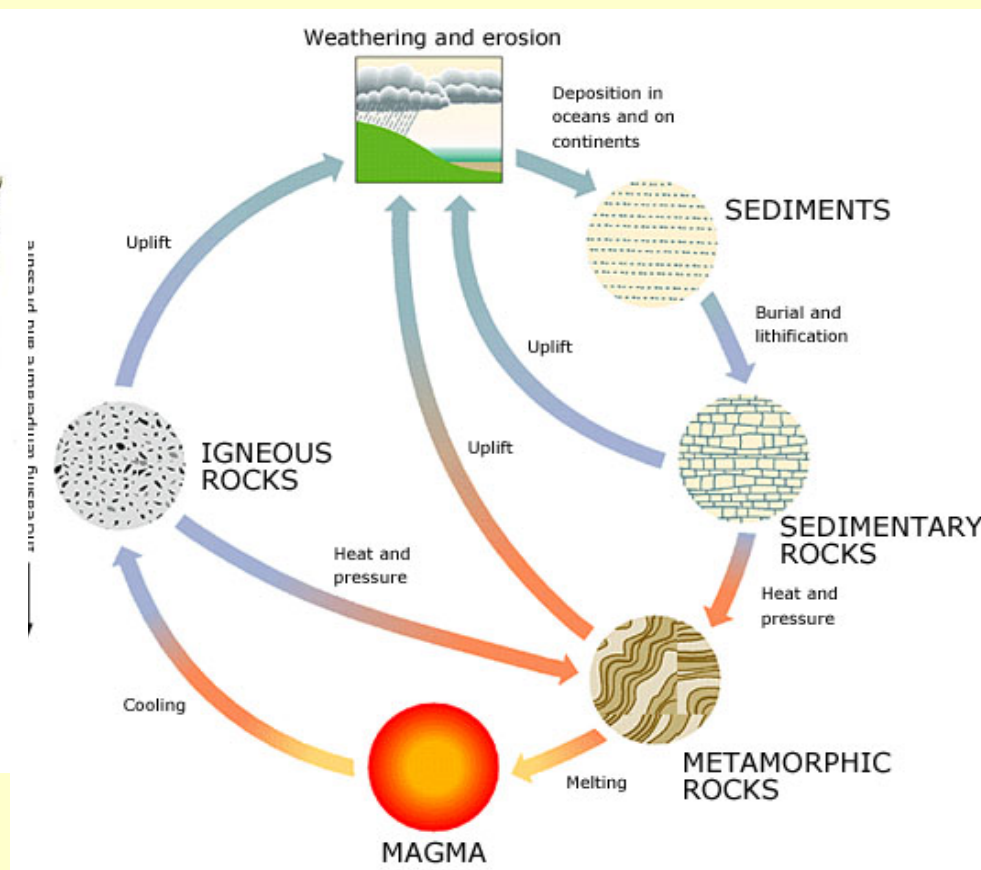
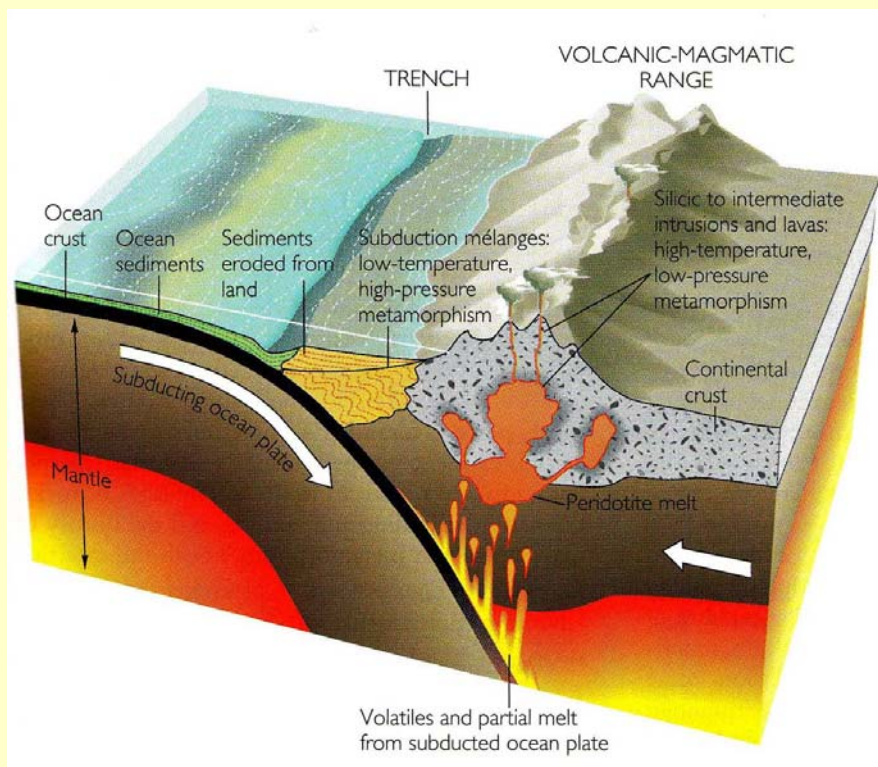
- *Horniny - odraz geologických procesů*
- *Přeměny při metamorfóze*
- *Hlavní činitelé metamorfózy*
- *Typy metamorfózy*
- *Stavební znaky typické pro jednotlivé typy metamorfóz*

Horniny - odraz geologických procesů

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

➤ metamorphy – vyšší P a T – rekrystalizace minerálů v pevném stavu

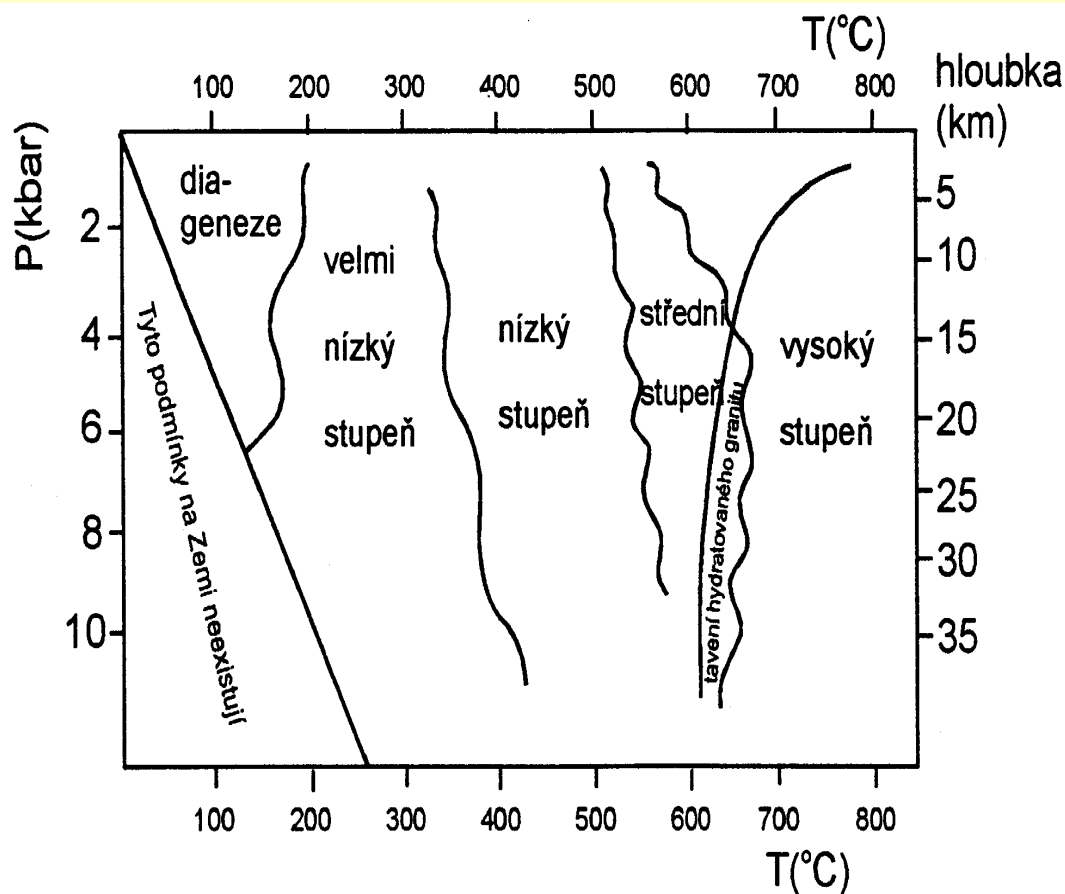
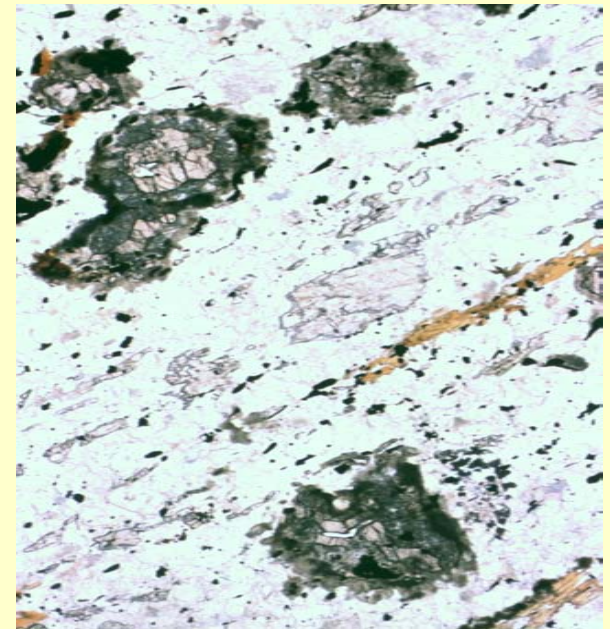
➤ magmatity – tavení hornin v kůře/svr. plášti – krystalizace z taveniny



Horninový cyklus (Hutton 1785, 1795)

Horniny - odraz geologických procesů

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



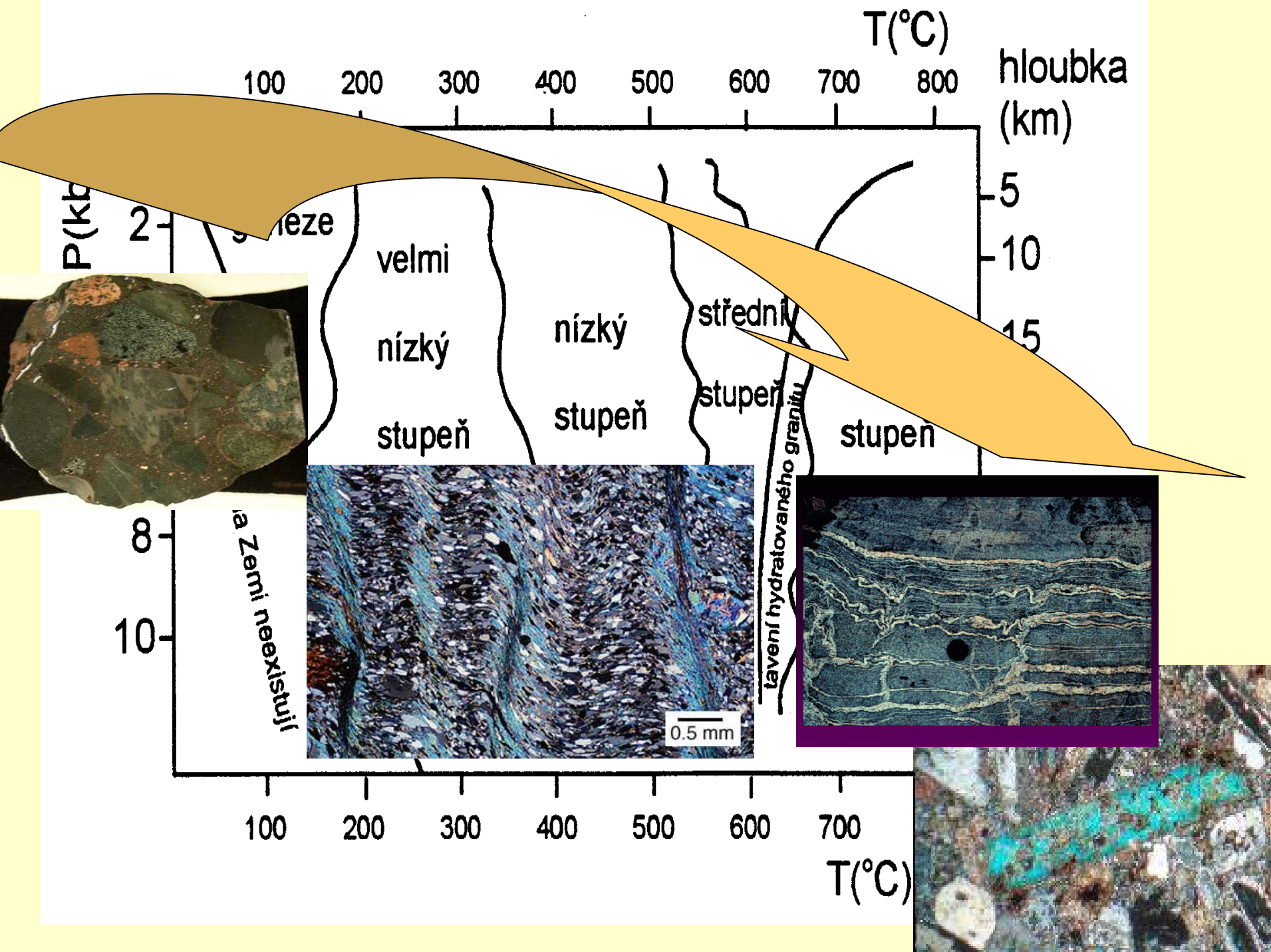
metamorfóza z řec. slova „metamorphosis“ (přeměna)

Hranice:

diageneze (asi 200 °C)

tavení (asi 650 °C – 1100 °C)

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



- **METAMORFÓZA** je poměrně složitý proces, při kterém dochází k přizpůsobování již existujících hornin novým fyzikálně-chemickým podmínkám prostředí, do nichž se postupně dostávají vlivem neustále probíhajících geologických procesů. Je však odlišná od zvětrávání a diagenese. Na rozdíl od těchto procesů, 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 (nevzniká magma). 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

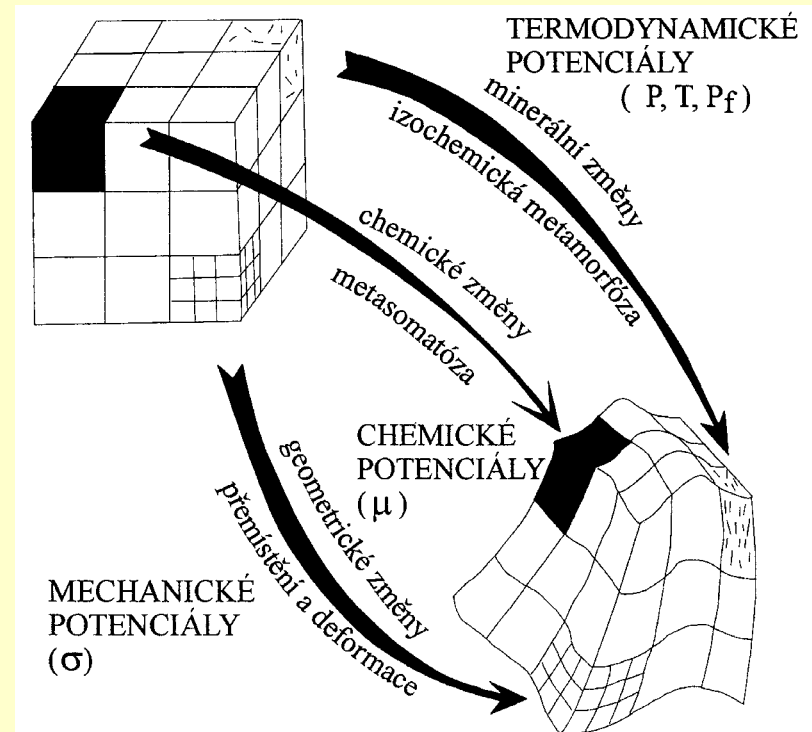
minerály a horniny jsou stabilní jen za podmínek za nichž vznikly

změna podmínek – **přeměna** horniny

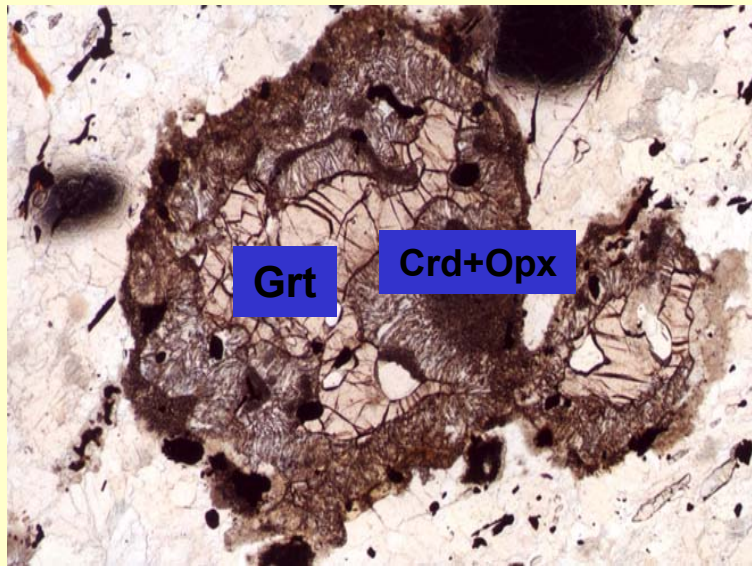
→ krystalizace nových minerálů
(chemické reakce – fázové změny)

→ 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 vesměs kompletně (s rostoucí teplotou roste rychlost reakcí), často uvolňují vodu – dehydratační

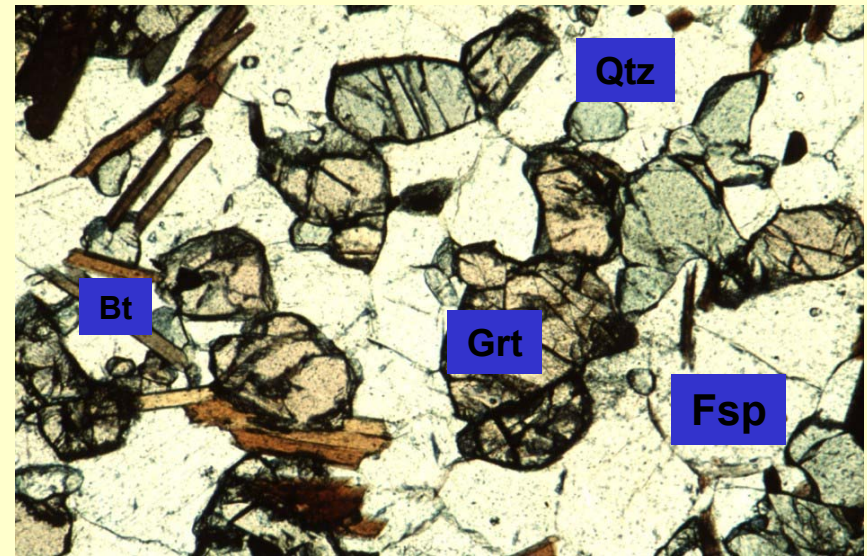
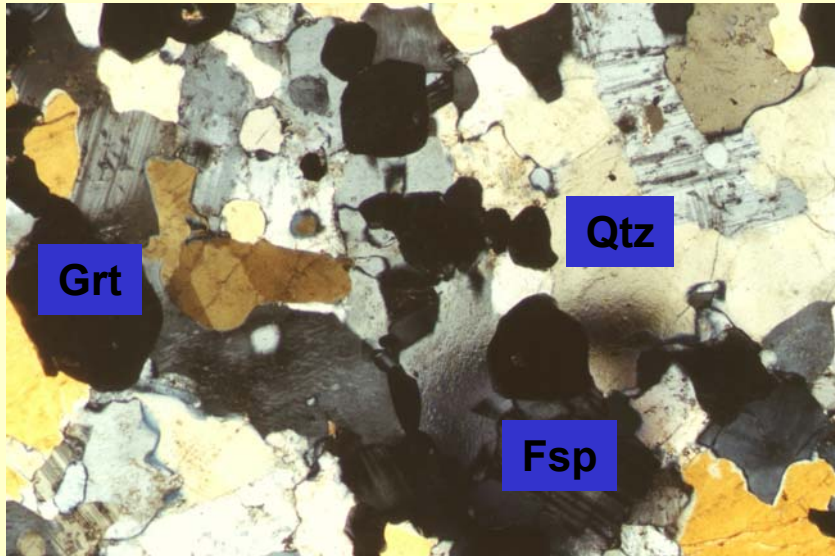
retrográdní (hydratační) – $\downarrow T$:

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

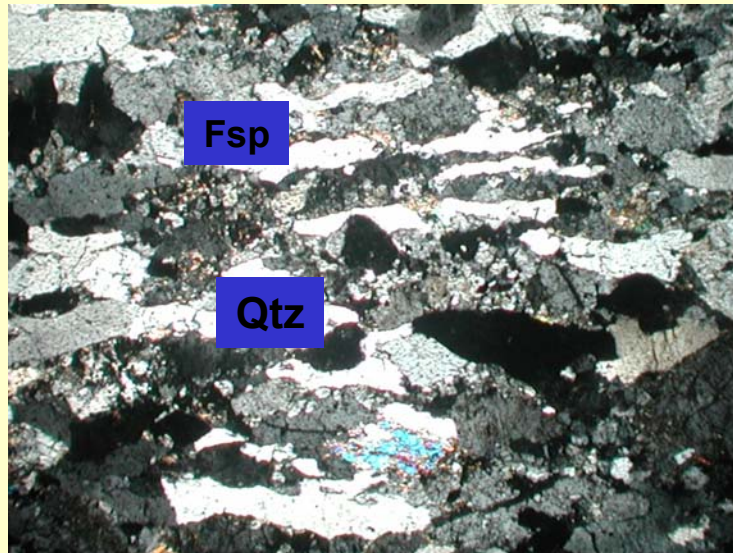
→ texturní (strukturní) změny (změna velikosti zrna, deformace, změny uspořádání minerálů /makro – mikro/)



Důležité pojmy

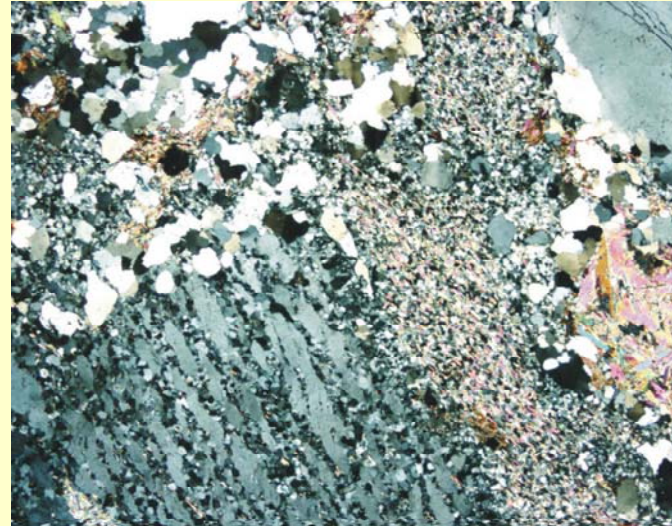
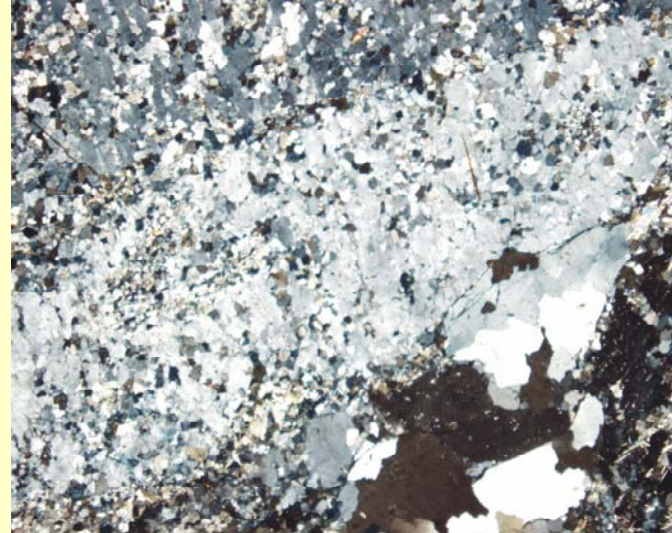
foliace (schistosity) – plošný strukturní prvek
lineace – lineární strukturní prvek

textura, struktura, stavba



Přeměny při metamorfóze

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



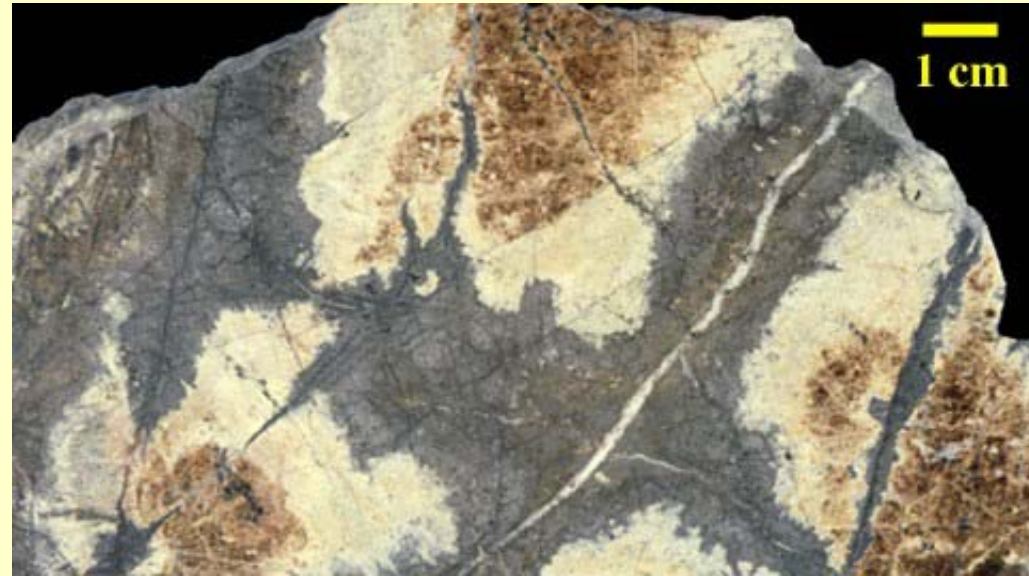
Přeměny při metamorfóze

→ 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

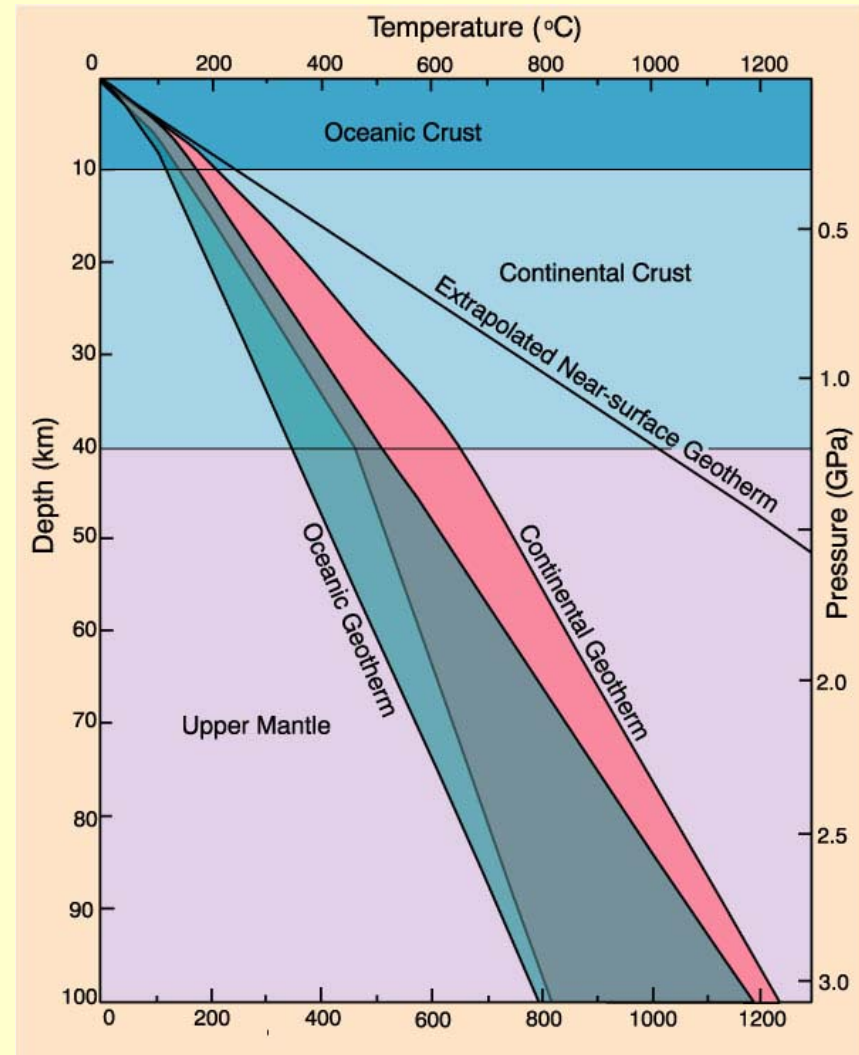
max. 60 °C/km

geoterma

dT pod urč. částí povrchu Z

z částí s různým gg

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.

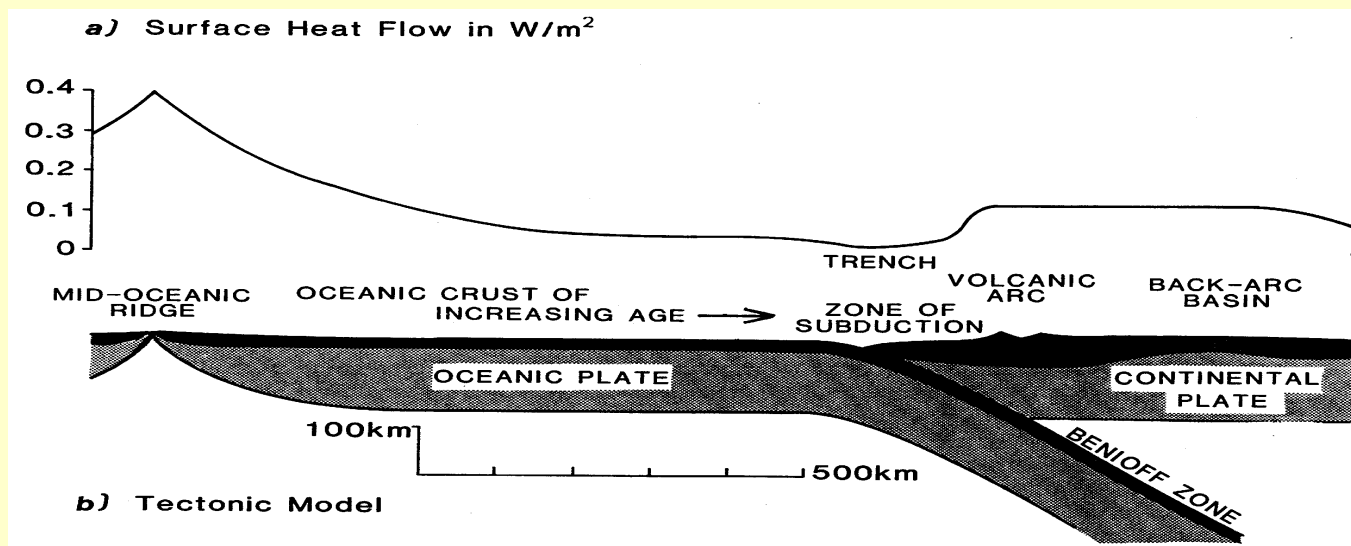


Hlavní činitelé metamorfózy

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)



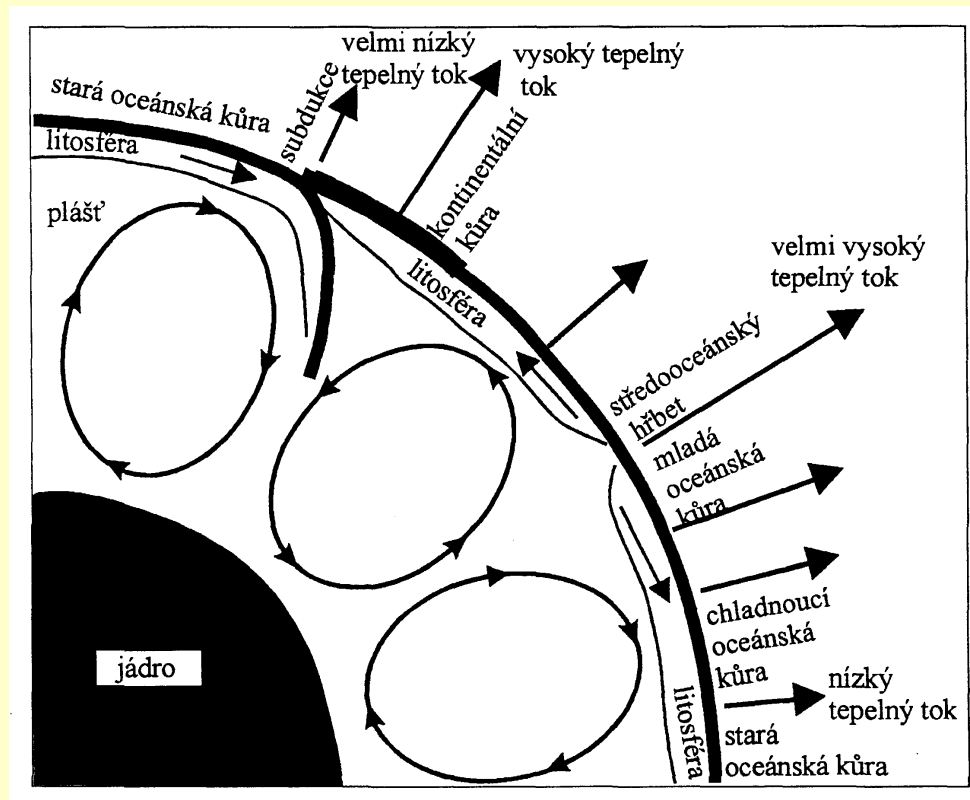
Variace povrchového tepelného toku měřeného v různých částech Země (a) ve vztahu k deskové tektonice (b). Podle Yardley (1989)

Přenos tepla:

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

b) konvexe - 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)

$$P = \rho gh$$

ρ - hustota hornin nadložního sloupce (granity 2,7, bazalty 3,0, peridotit 3,3 gcm⁻³)

g – tíhové zrychlení (9,8 ms⁻²)

h - hloubka

tj. nárůst s hloubkou cca 1 kbar/3 km

používané jednotky: 1 bar = 10⁵ 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

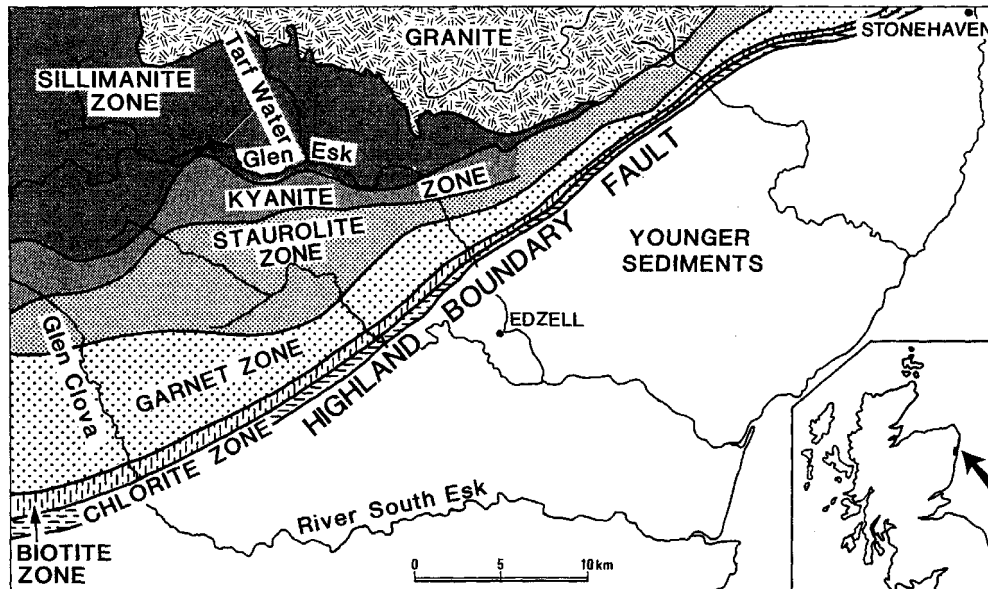
Základní termíny

používané pro popis hornin **v terénu**

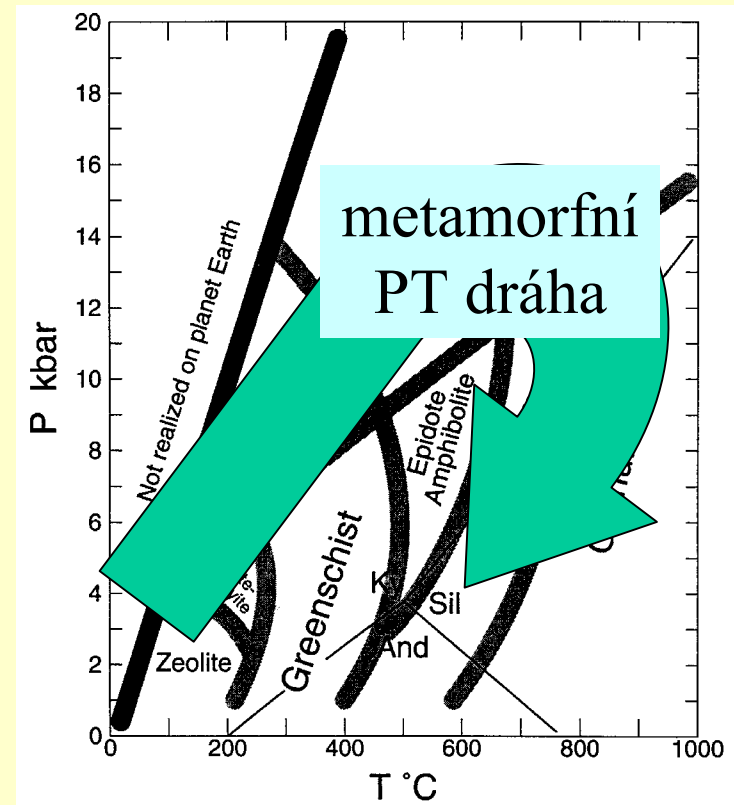
- metamorfní stupeň (grade) – intenzita metamorfózy (T)
– vysoký, nízký
- metamorfní zóna – oblast výskytu indexového minerálu
- metamorfní izograda – hranice metamorfní zóny
- metamorfní facie – charakteristická minerální asociace
(rozmezí P a T, chemické rovnováhy)
- metamorfní P-T dráha – vývoj hornin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

metamorfní zóny a izogrády

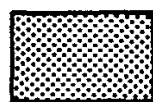
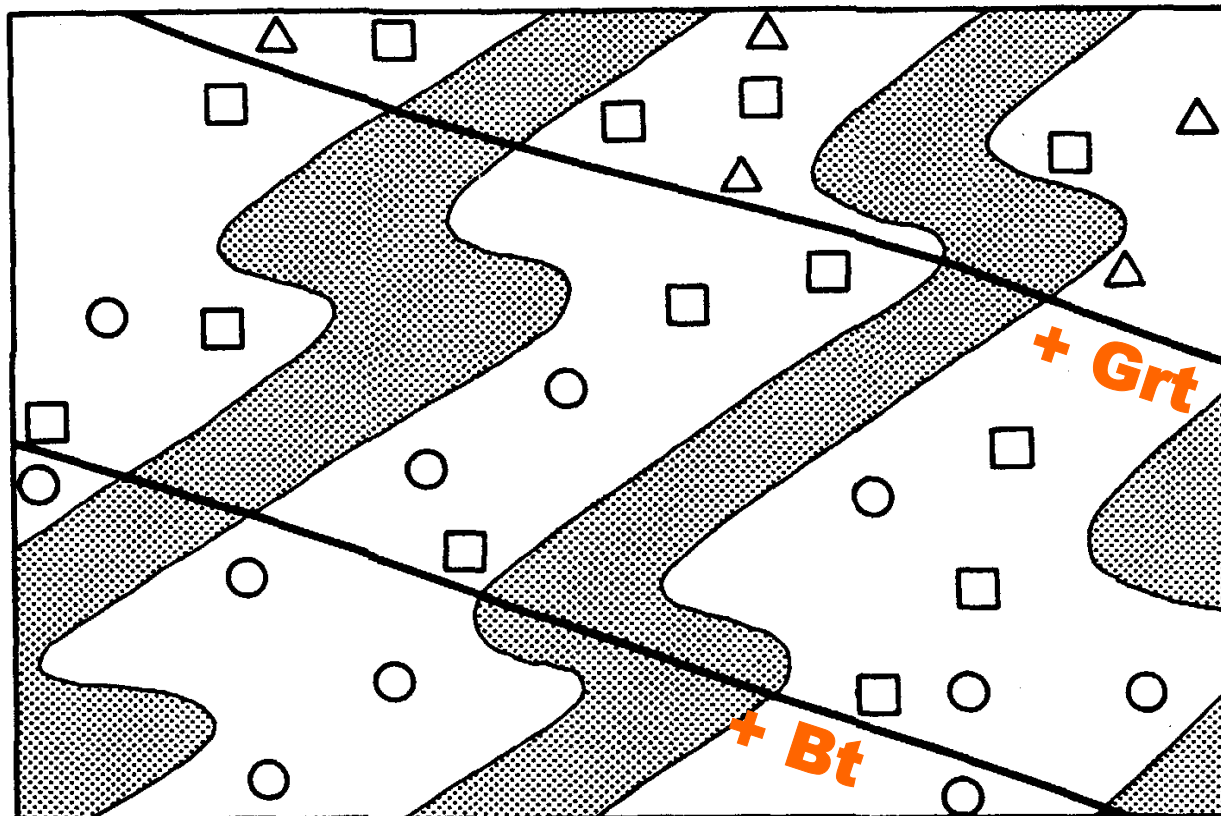
- metamorfní zóna – oblast výskytu IM
- metamorfní izograda – hranice MZ



metamorfní facie



Metamorfni izograda



non-pelitic lithologies

— isograd

○ CHL - MS - AB - QZ

◻ BIO - CHL - MS - AB - QZ

△ GT - BIO - CHL - MS - AB - QZ

Typy metamorfózy – genetické klasifikace

- 1) klasifikace podle převládajícího činitele
 - termální met. (T) - různá měřítka
 - 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) metam. 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

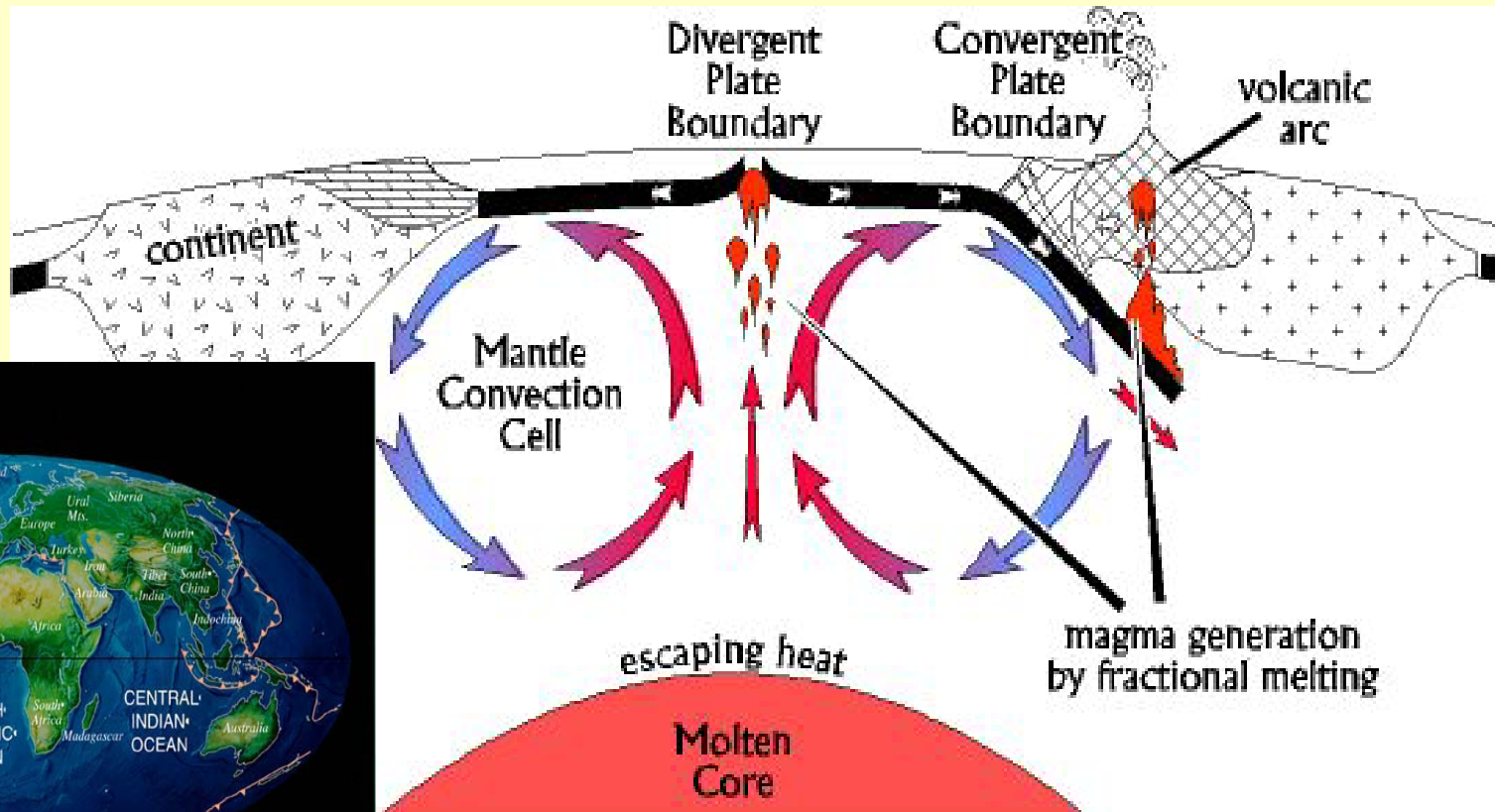
pseudotachylity, kataklazity, mylonity, fylonity

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

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

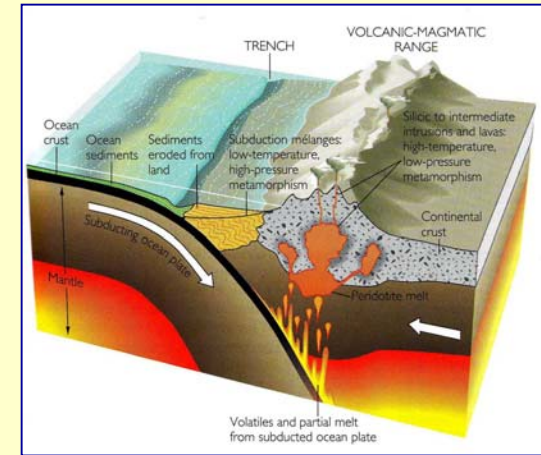
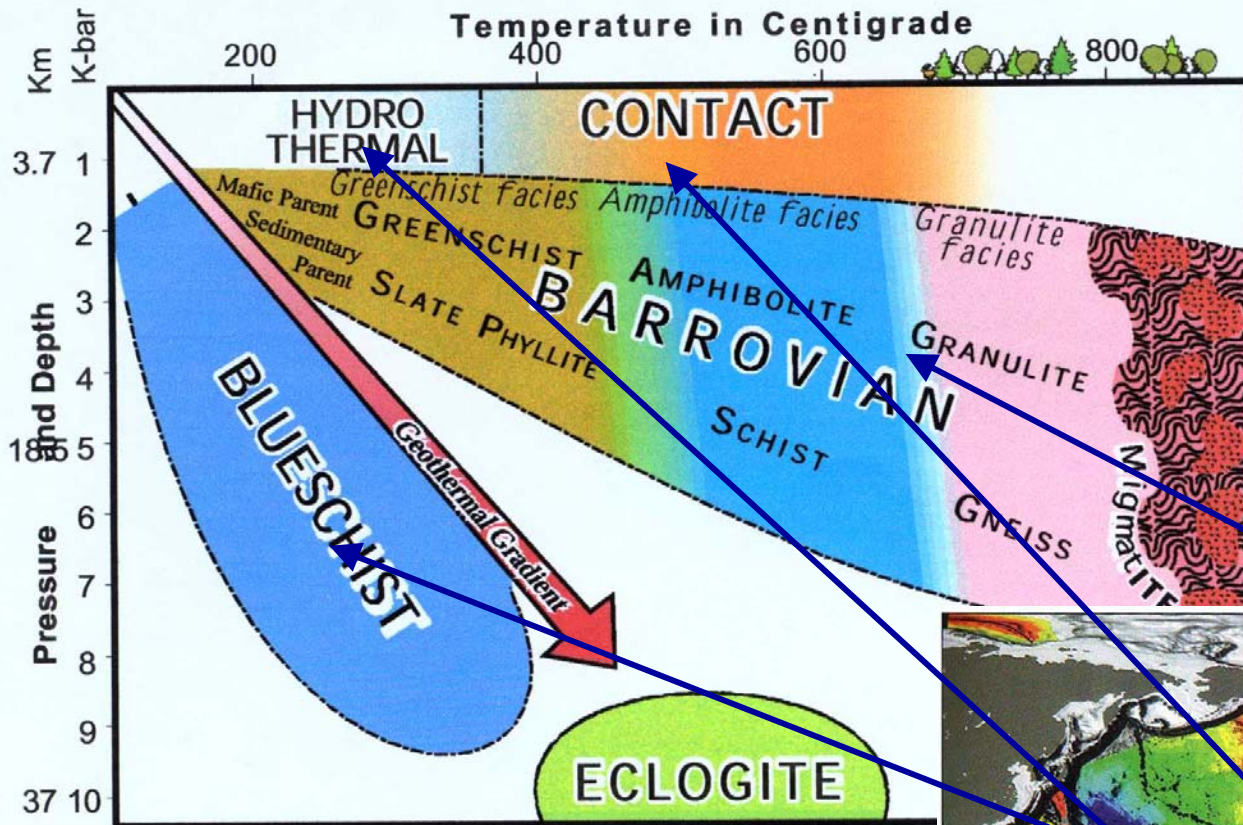
3) Klasifikace v kontextu deskové tektoniky

- 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

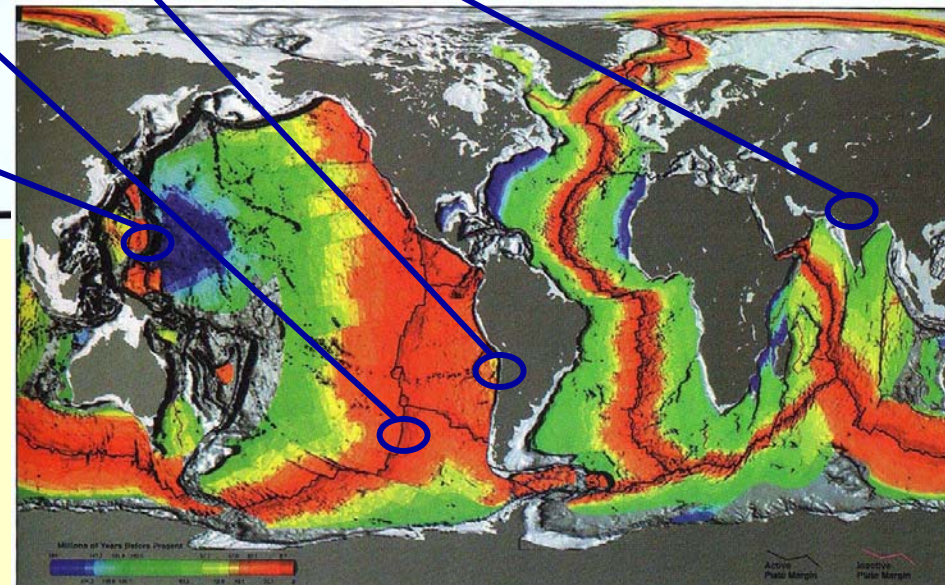


Typy metamorfózy – genetické klasifikace

METAMORPHIC ZONES AND FACIES



metamorfní zóny a facie, typy metamorfózy (Fichter www)



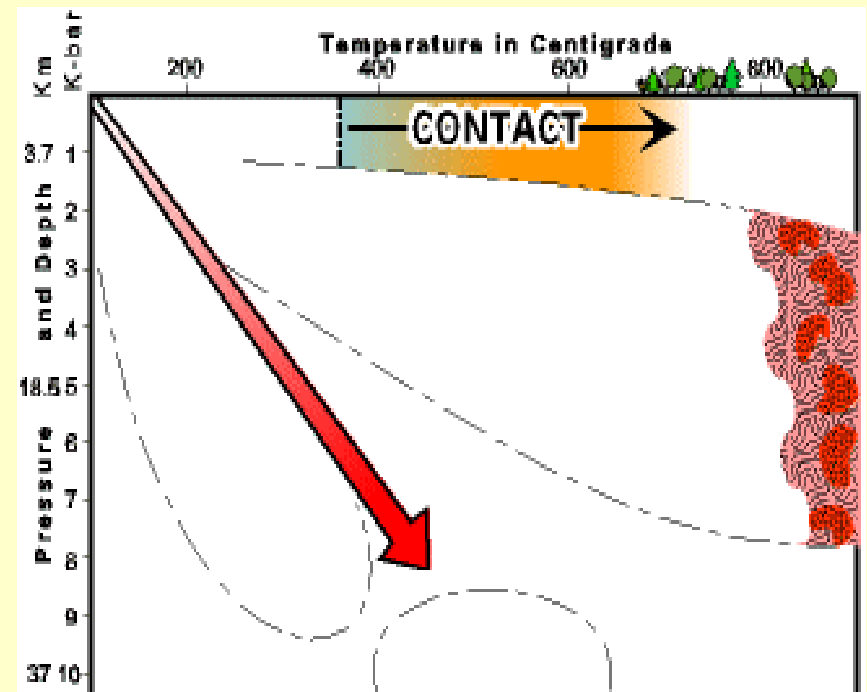
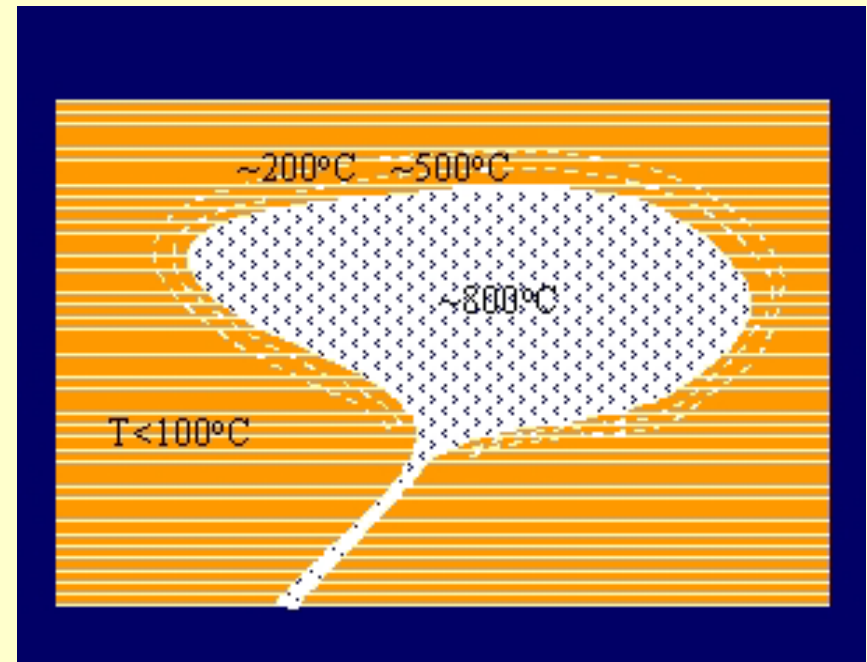
A) kontaktní metamorfóza

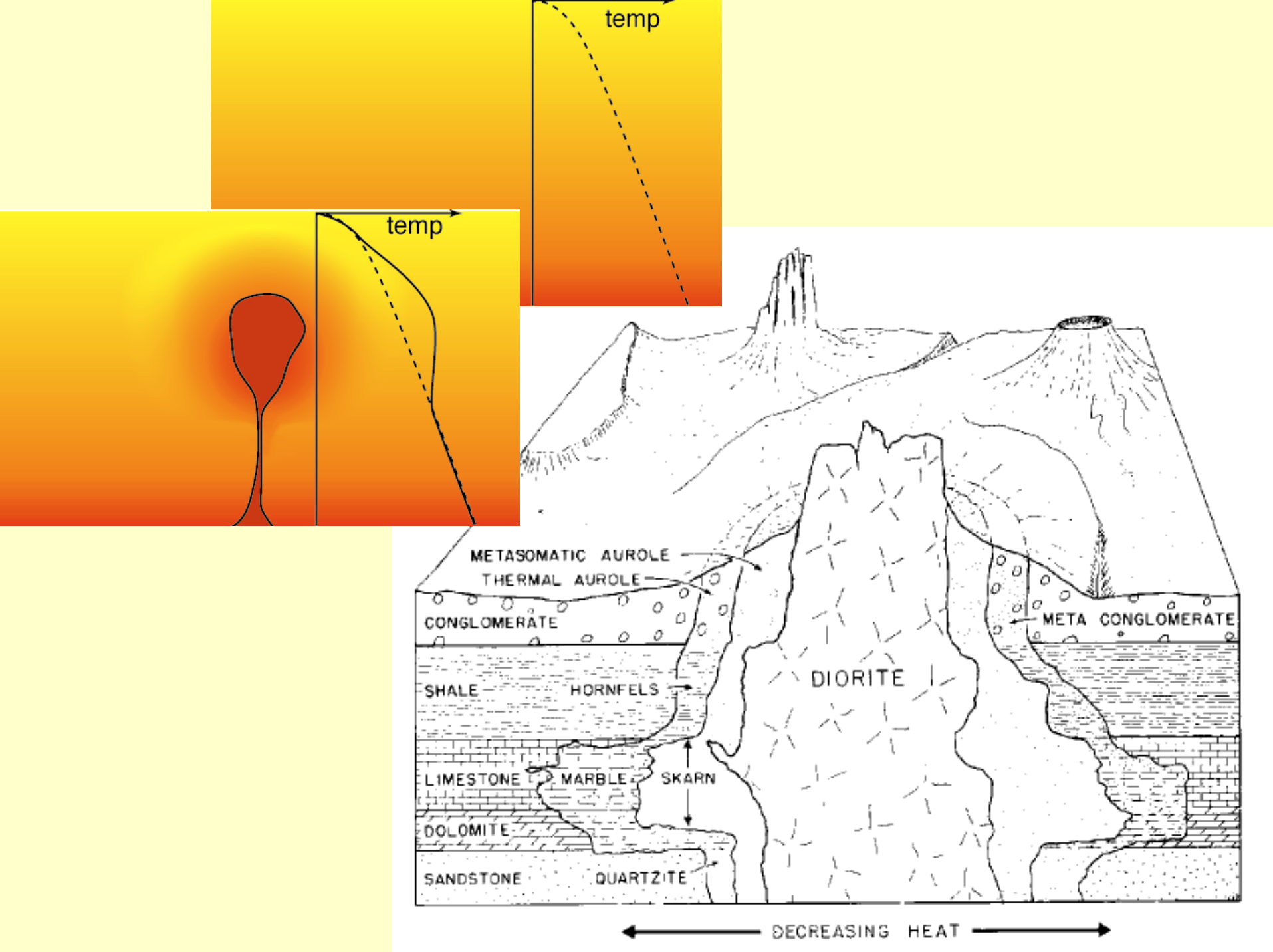
- nízký P/T (andalusit-sillimanit)
- tepelné působení těles vyvřelých hornin
- účinky rychle klesají se vzdáleností od plutonu
- rozsah obvykle max. několik km

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:

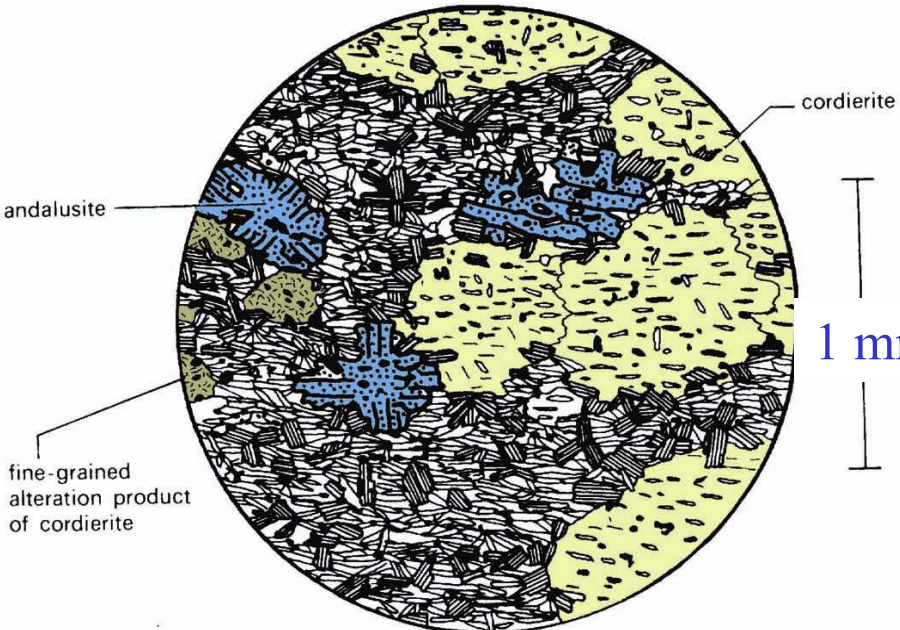
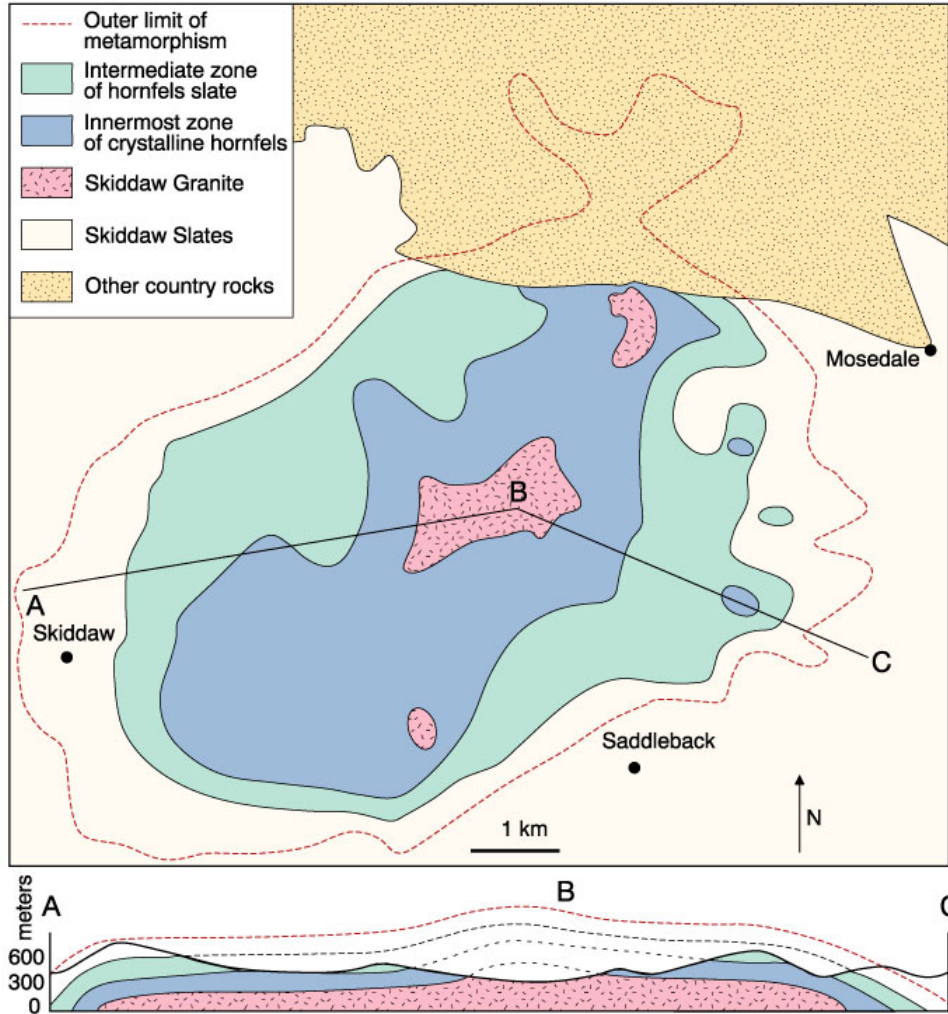
Unaltered slates

Outer zone of spotted slates

Middle zone of andalusite slates

Inner zone of hornfels

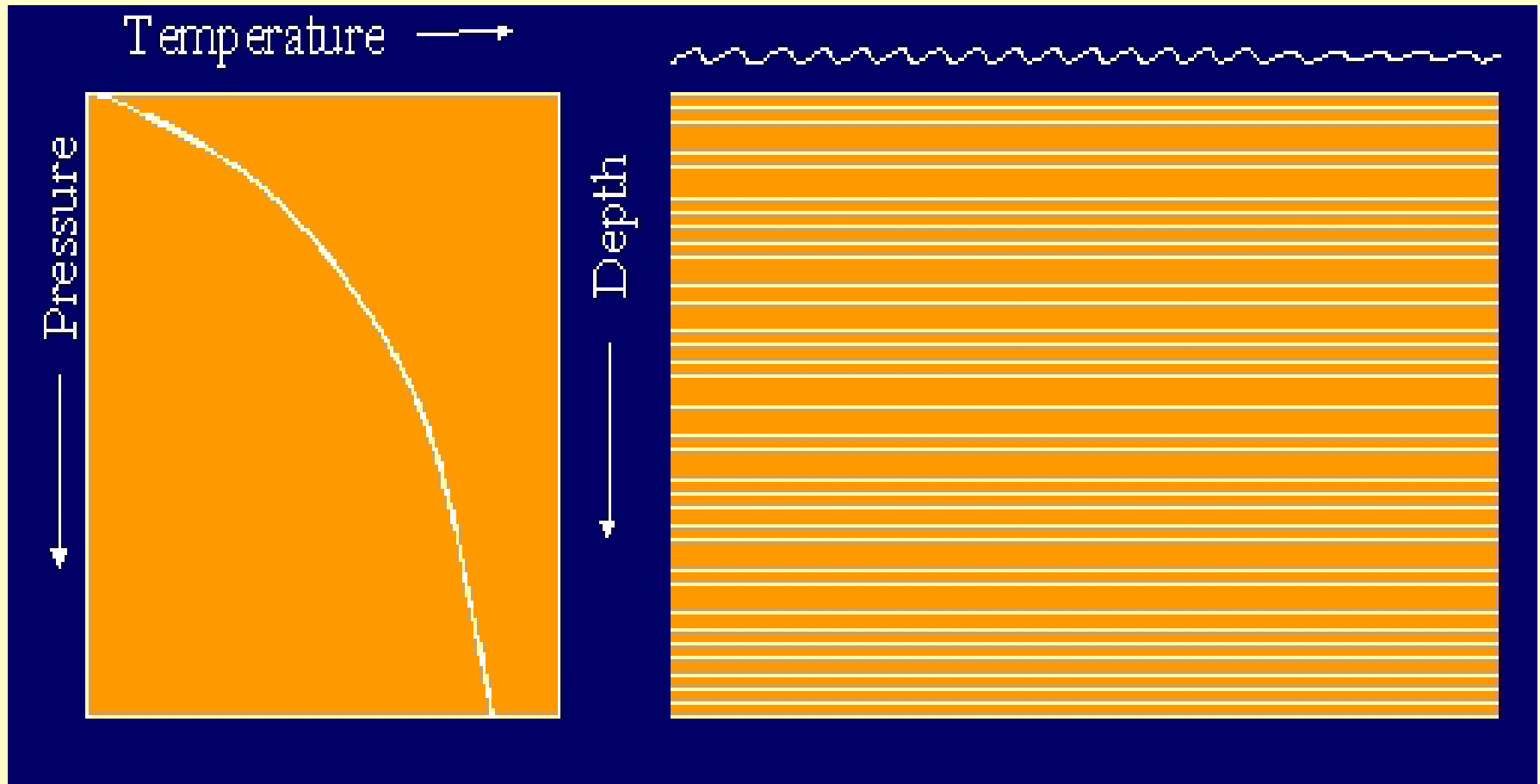
↓ Skiddaw granite



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

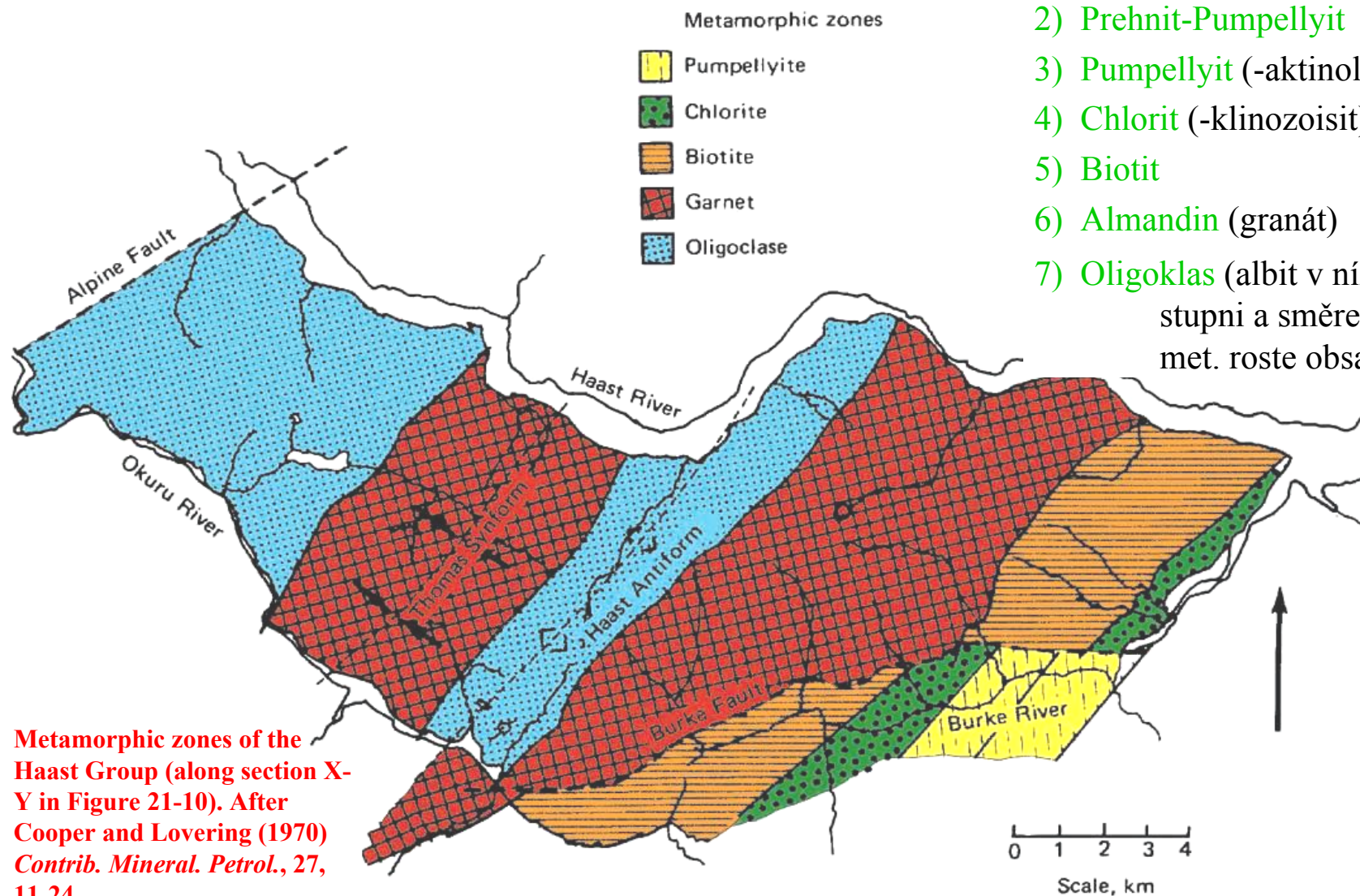
- regionální
- anorogenní
- sedimentární pánve
- způsobena tlakem nadloží a hloubkou
- teploty do 300°C (granátová zóna)



Regionální metam. pohřbením (Burial Metamorphism)

Isogrady mapované od nejnižšího stupně:

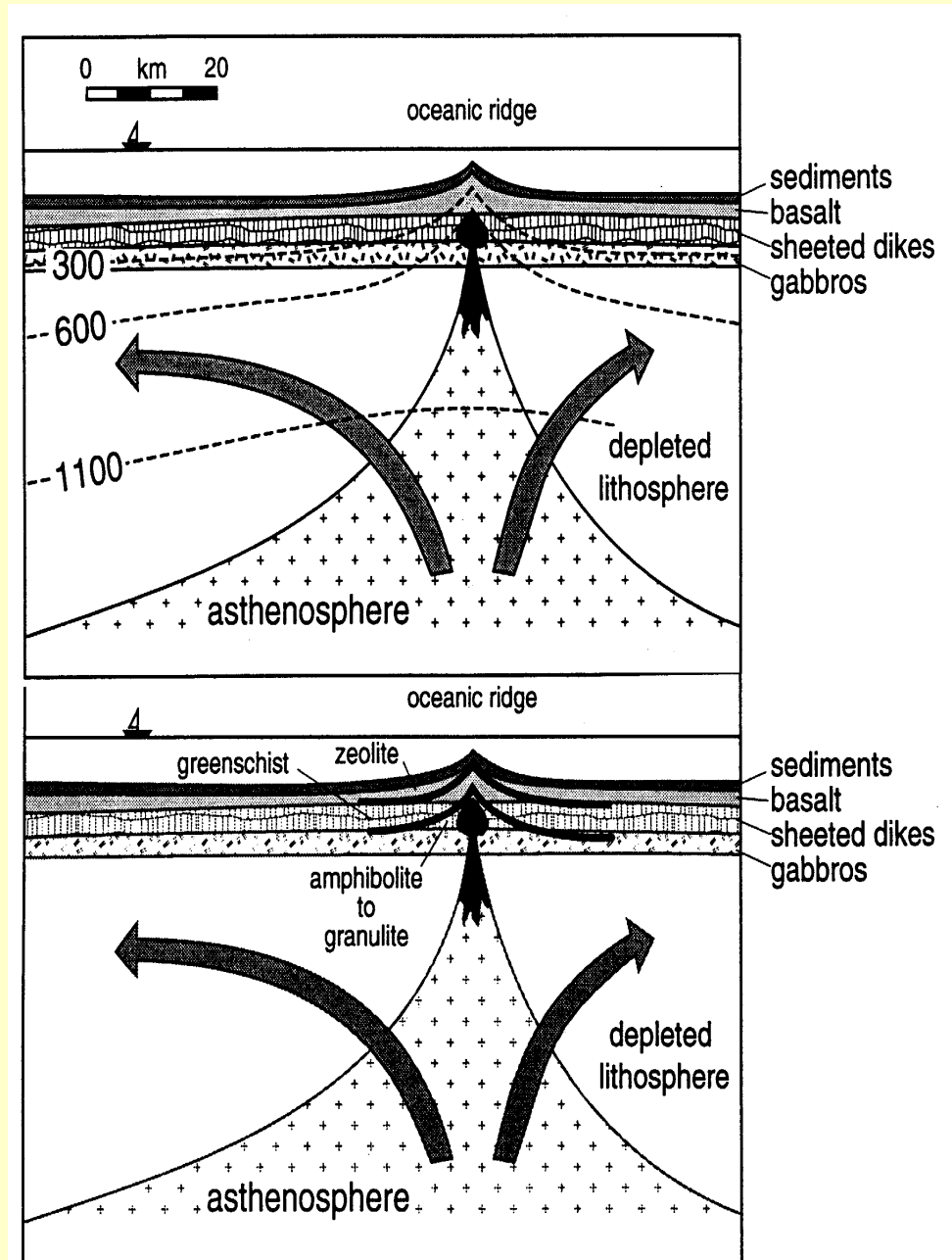
- 1) Zeolity
- 2) Prehnit-Pumpellyit
- 3) Pumpellyit (-aktinolit)
- 4) Chlorit (-klinozoisit)
- 5) Biotit
- 6) Almandin (granát)
- 7) Oligoklas (albit v nízkém met. stupni a směrem do vyšší met. roste obsah Ca)



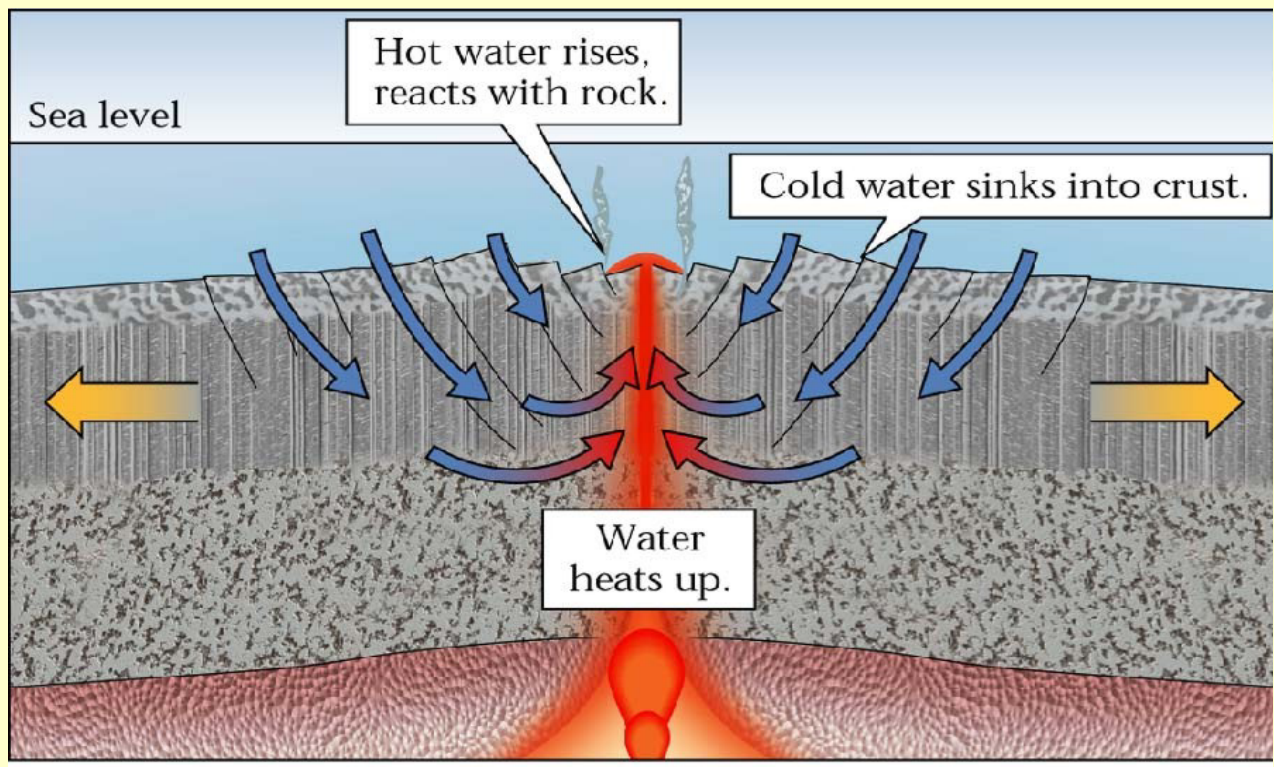
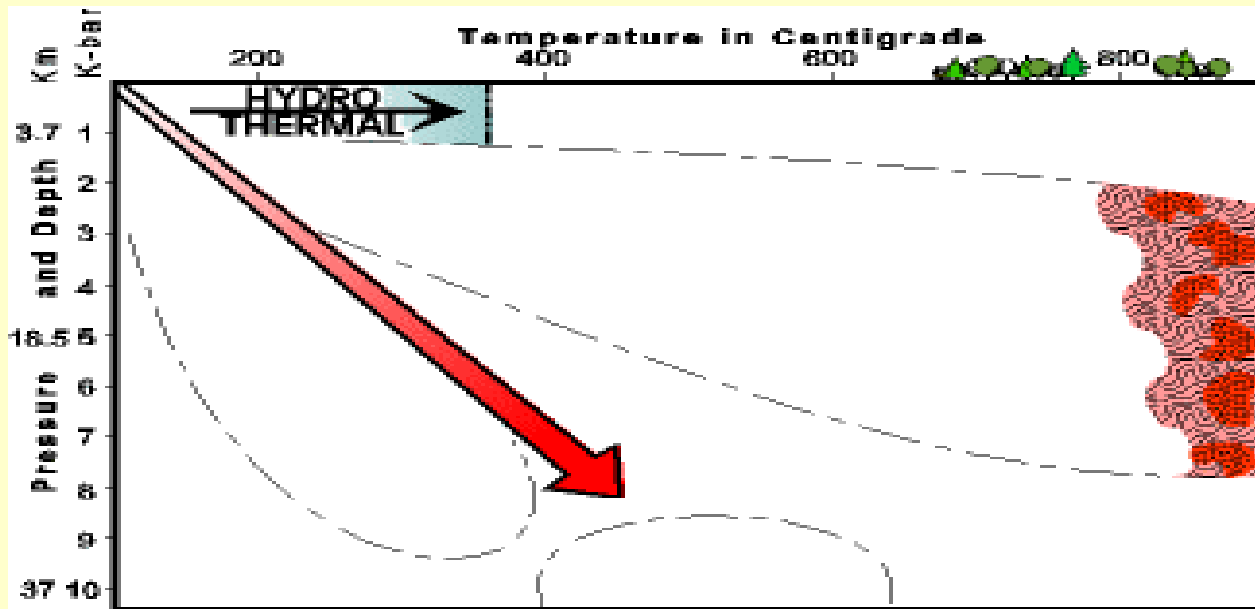
Metamorphic zones of the Haast Group (along section X-Y in Figure 21-10). After Cooper and Lovering (1970) *Contrib. Mineral. Petrol.*, 27, 11-24.

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

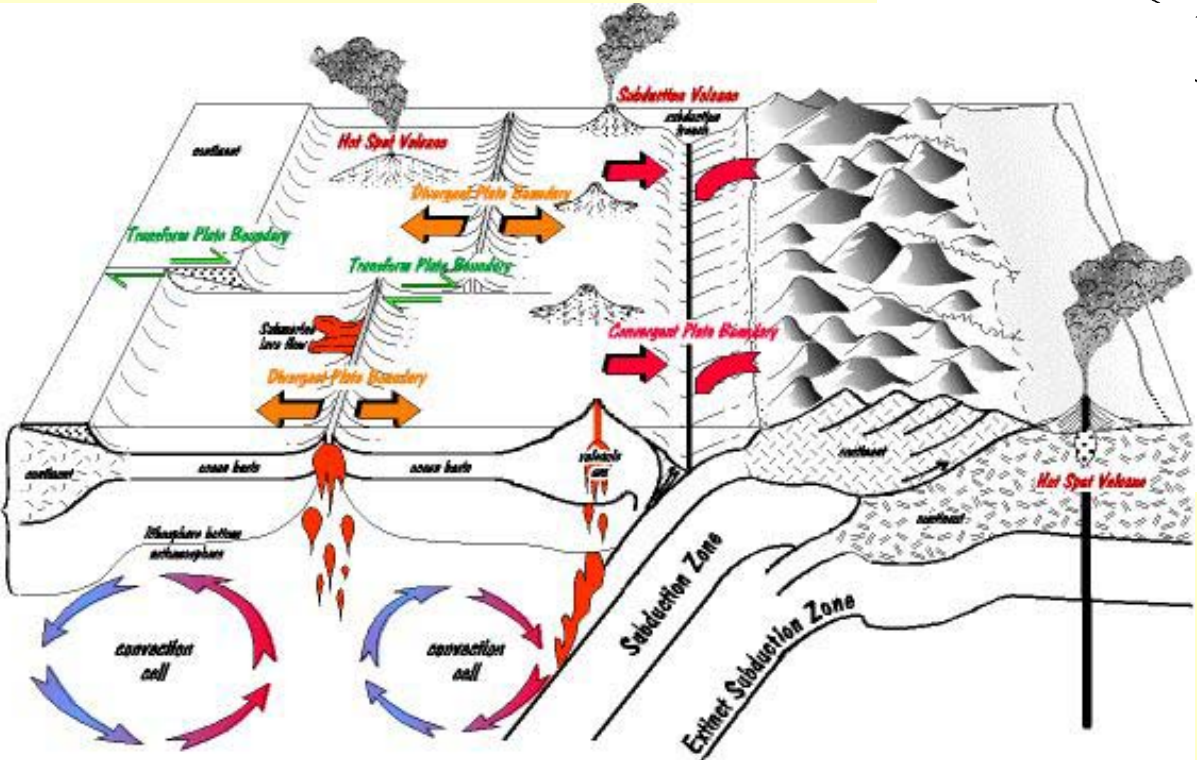
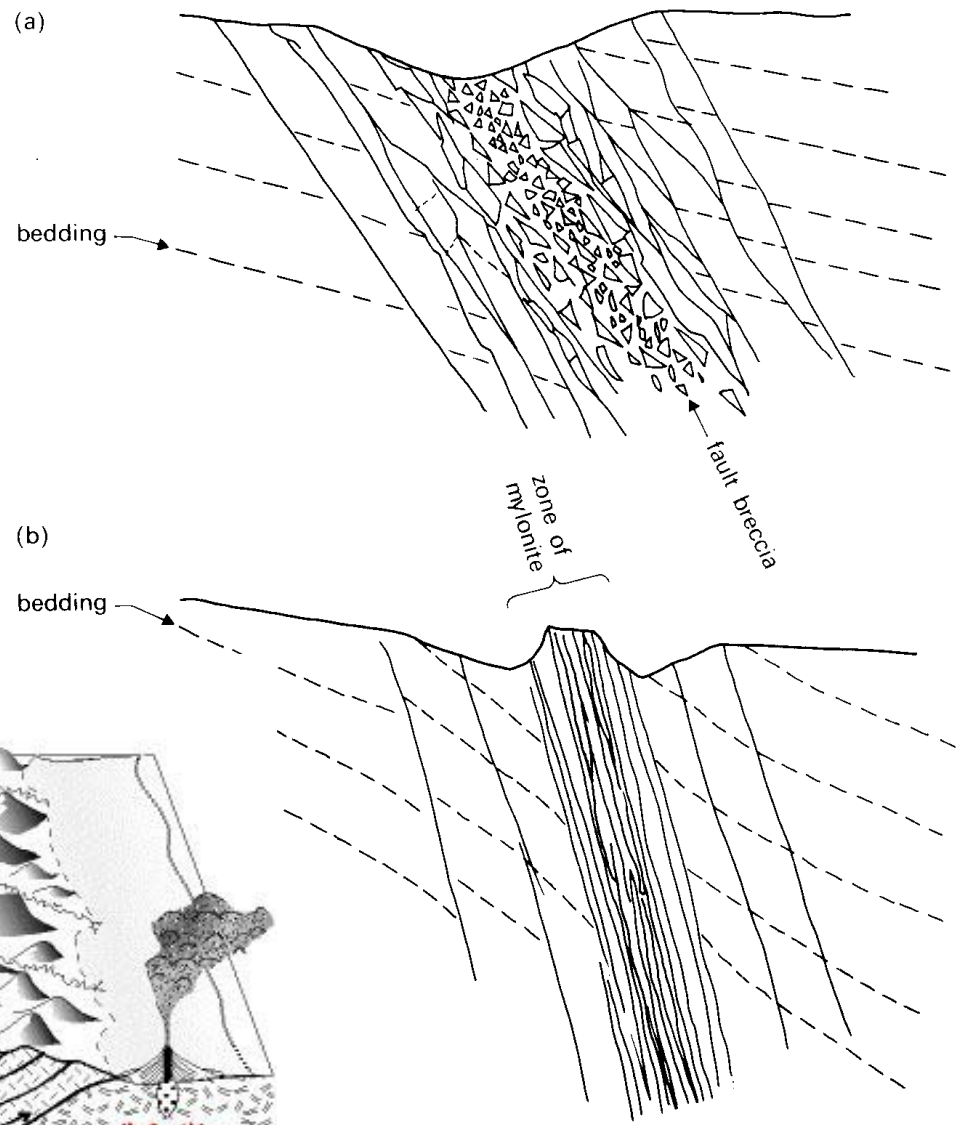


Schematický řez středooceanickým hřbetem (Ernst, 1976 in Spear, 1993)



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 breccie**
 (b) Hlouběji - **mylonit**

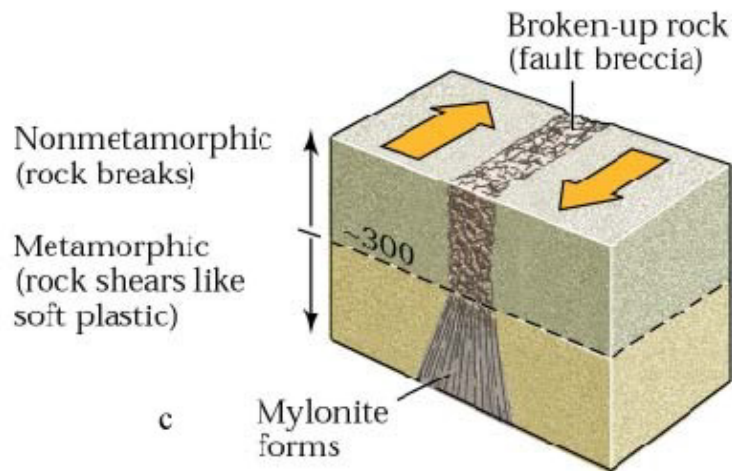
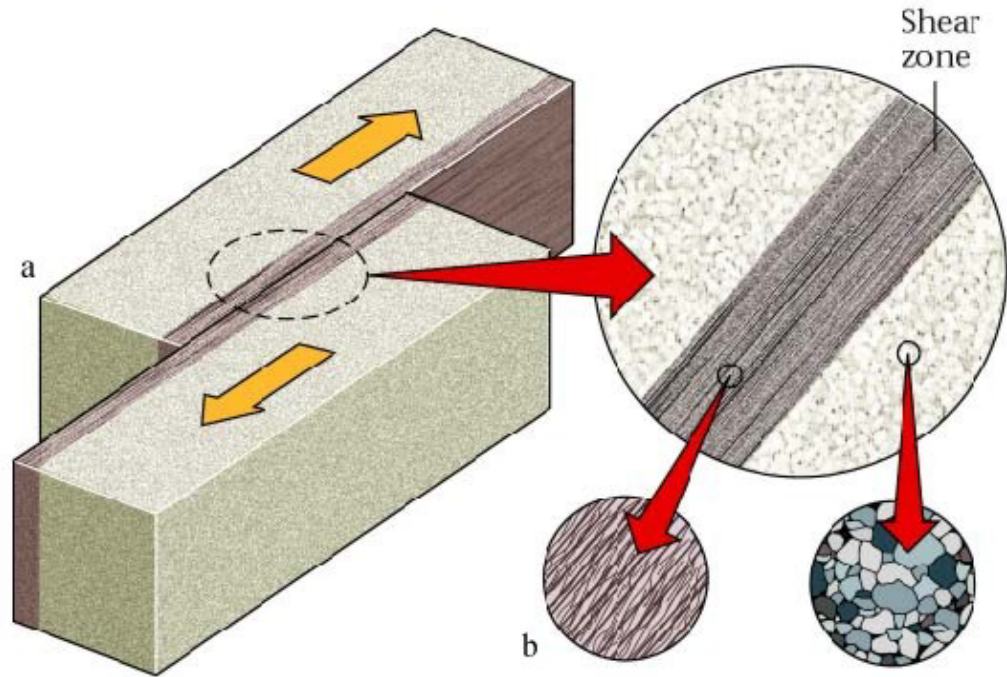
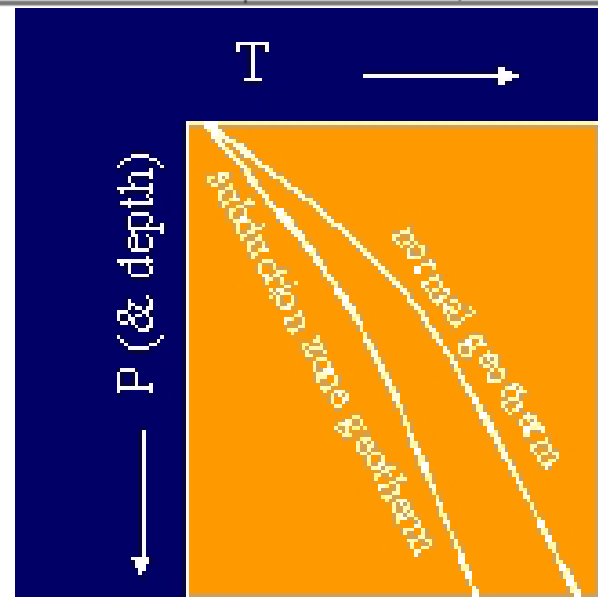
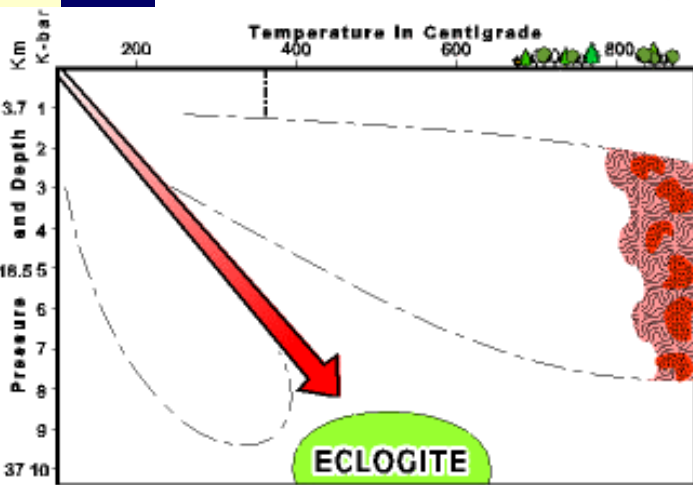
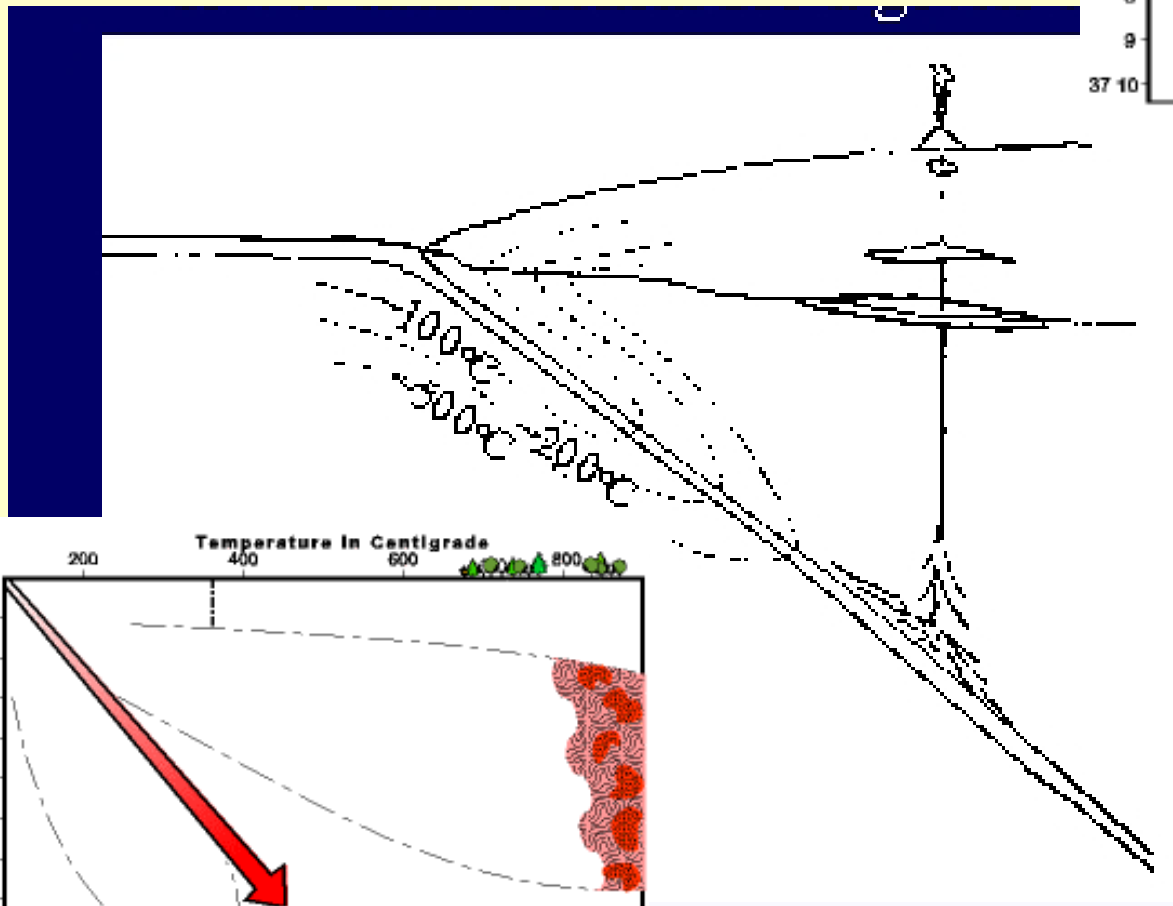
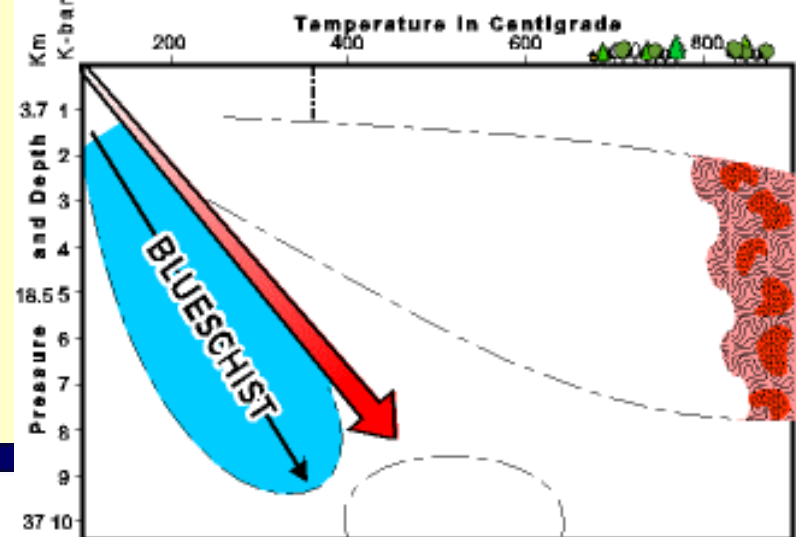


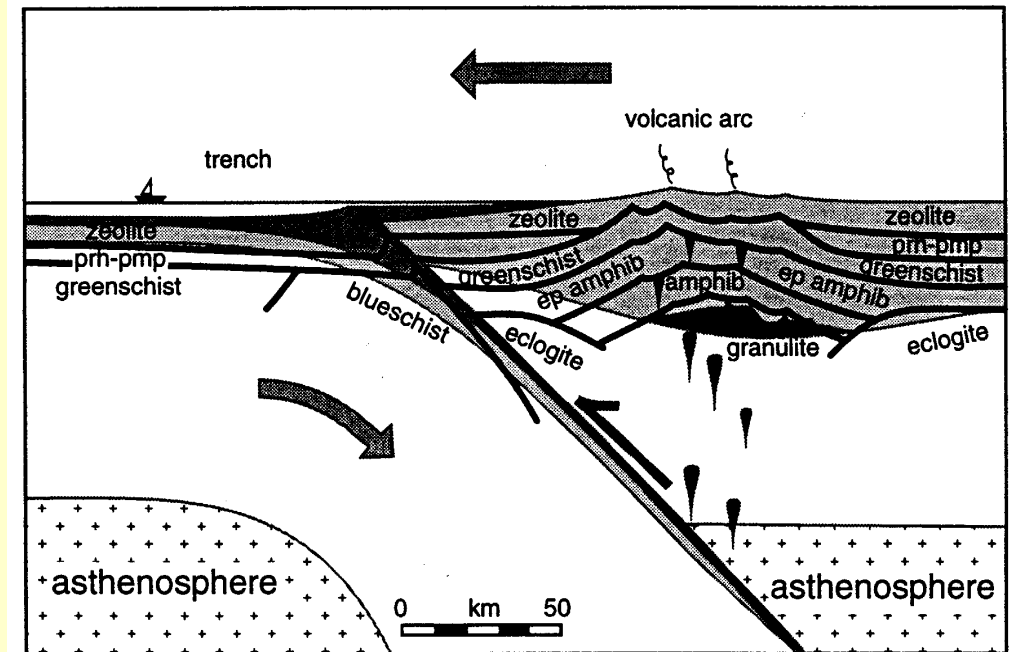
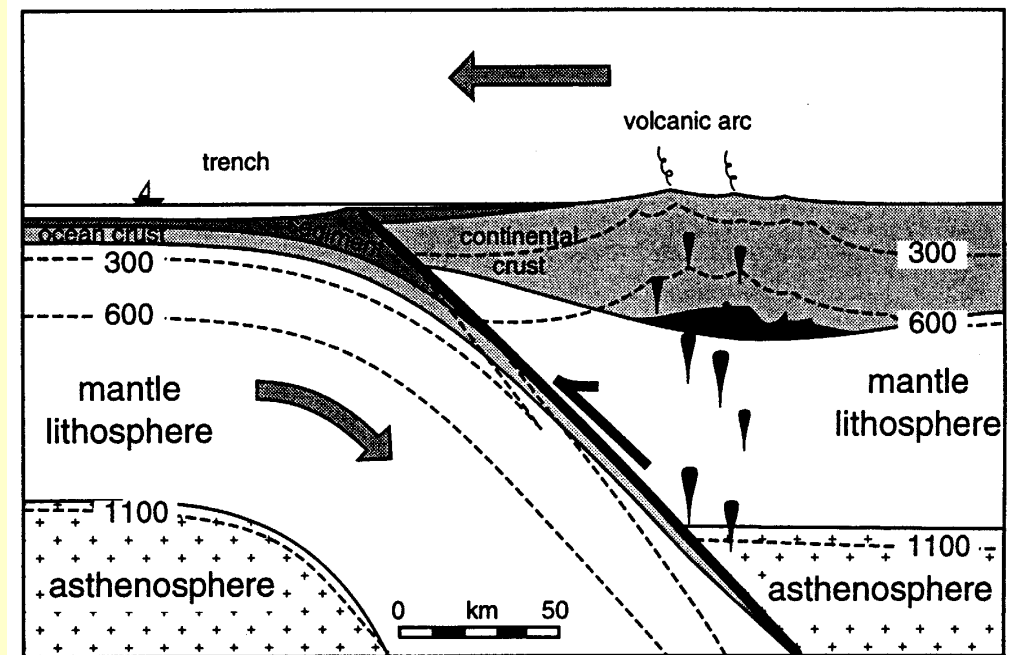
Fig 1
Model for dynamic metamorphism
in faults (a), producing mylonite (b)
and fault breccia (c)

E) metamorfóza na subdukčních zónách

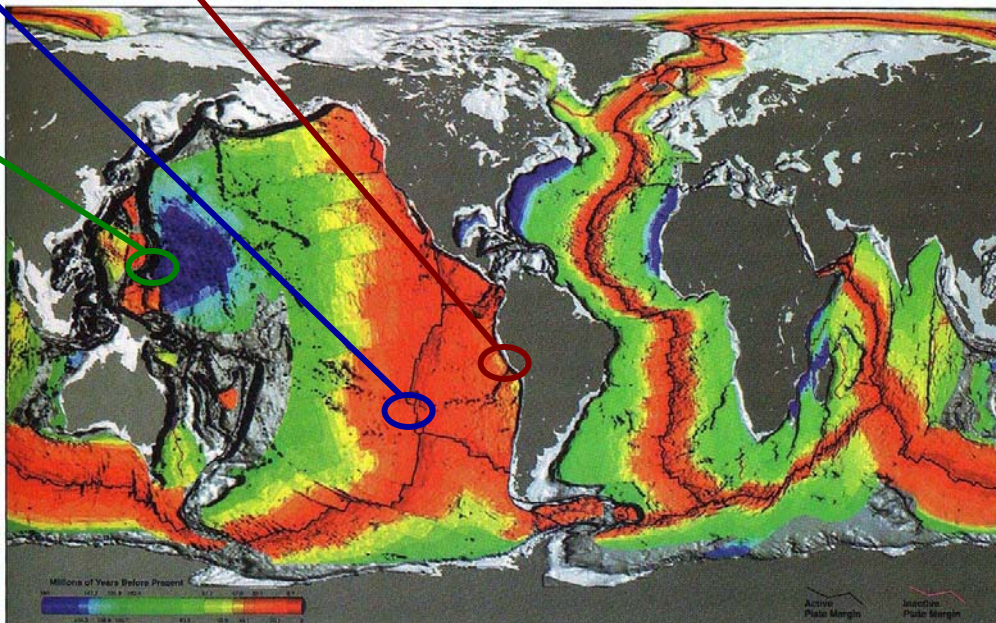
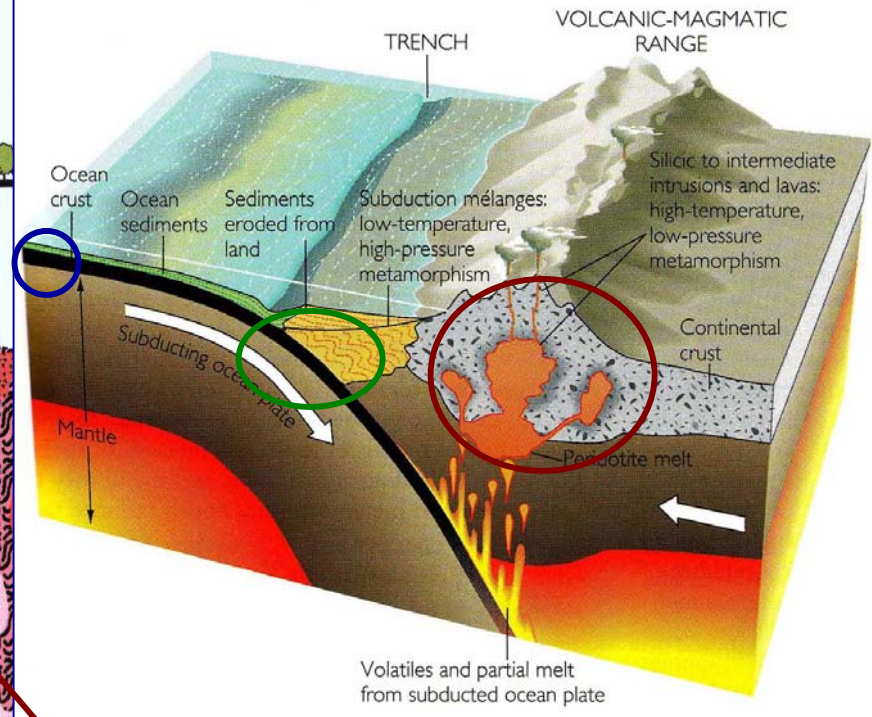
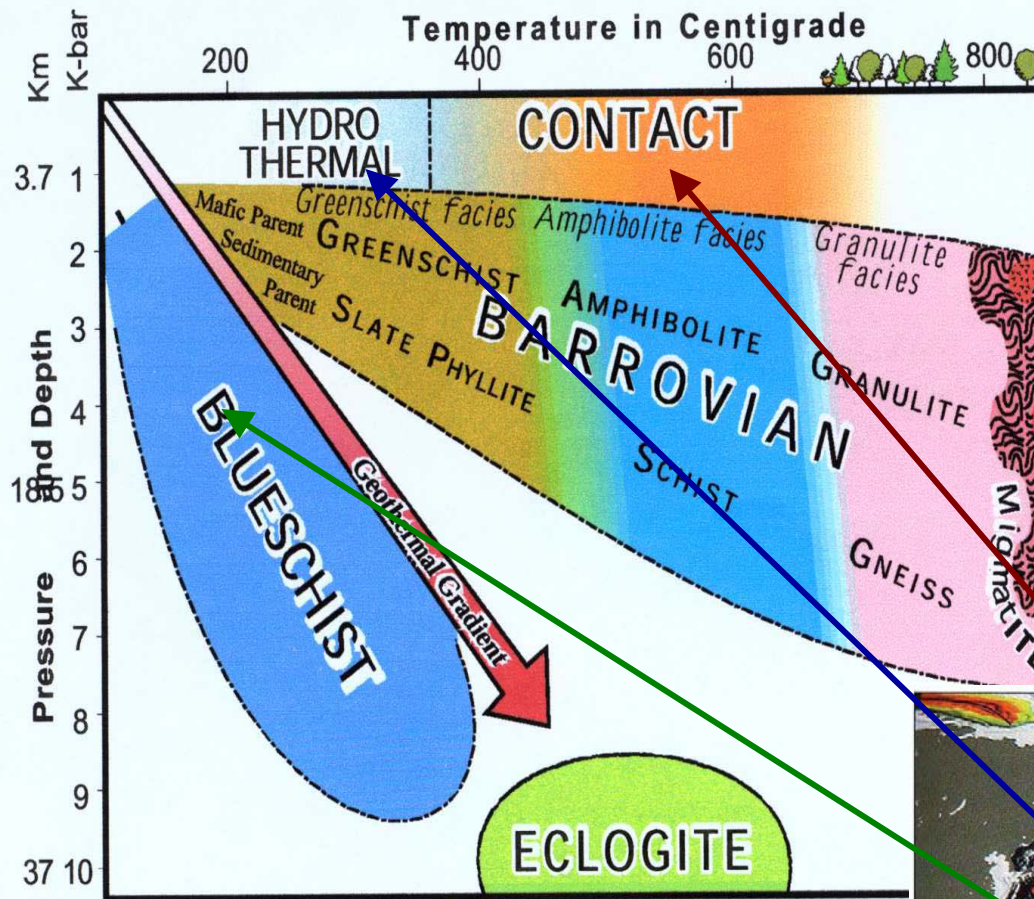
- vysoký P/T (glaukofan-jadeit)
- relativně studené horniny jsou rychle transportovány do velkých hloubek



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

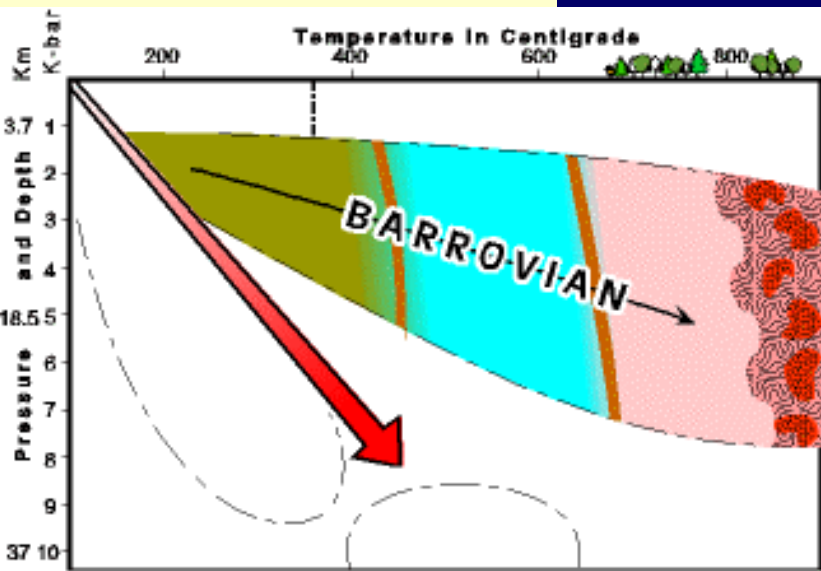
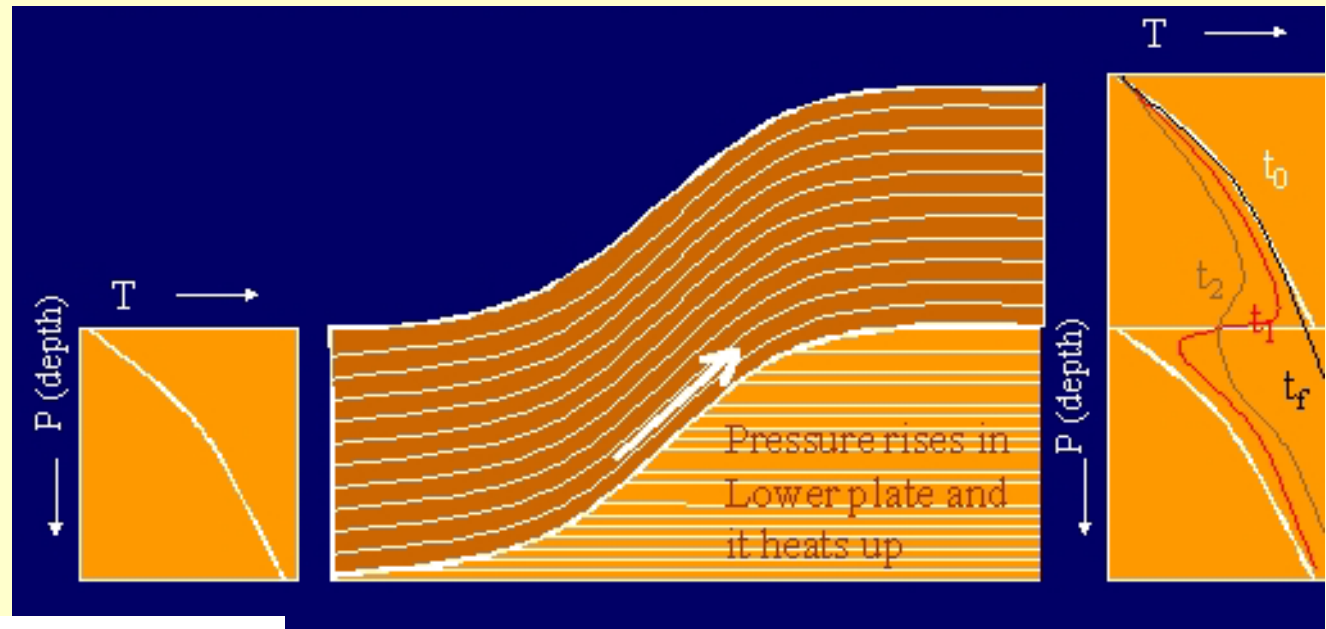


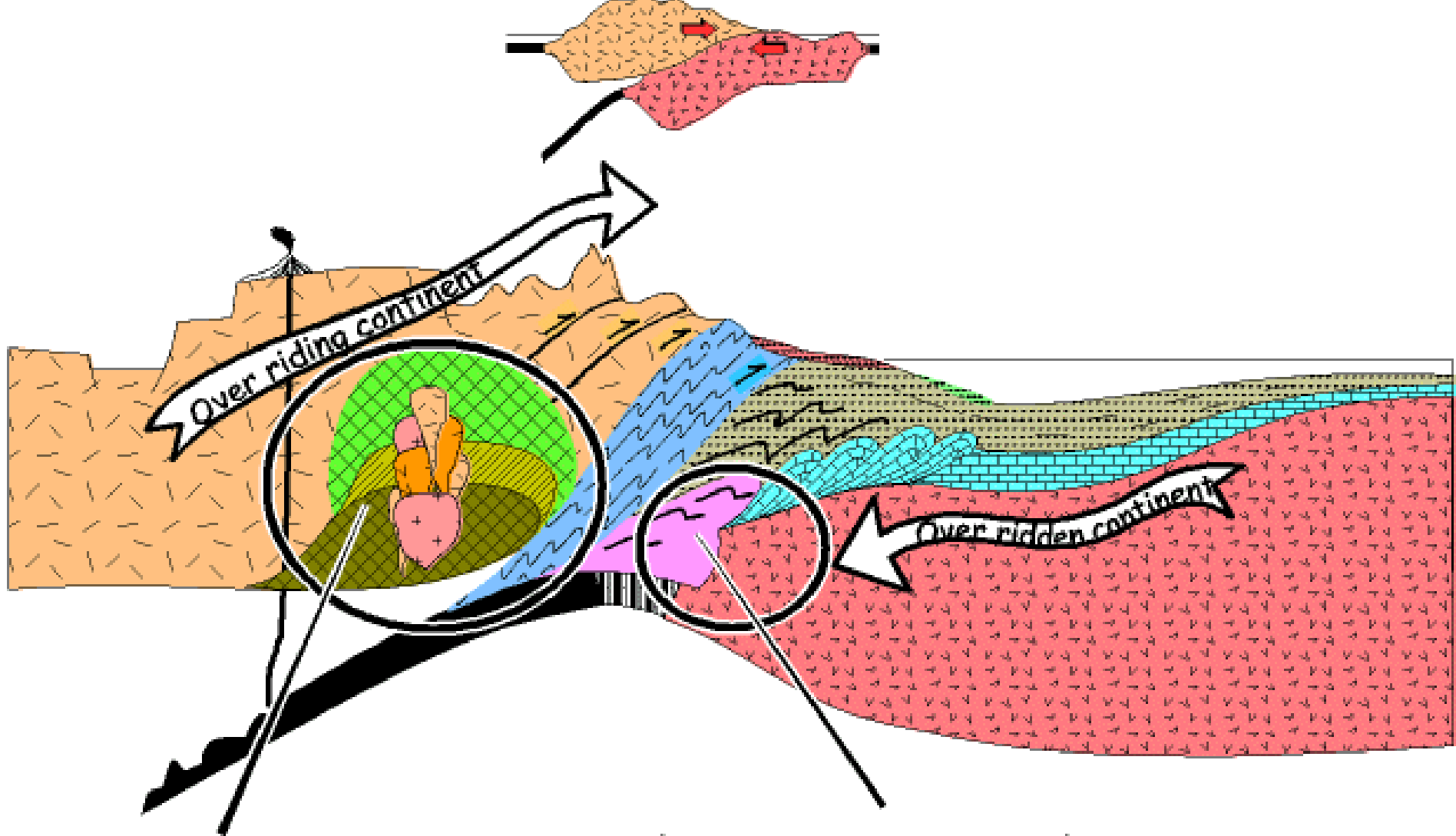
METAMORPHIC ZONES AND FACIES



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.

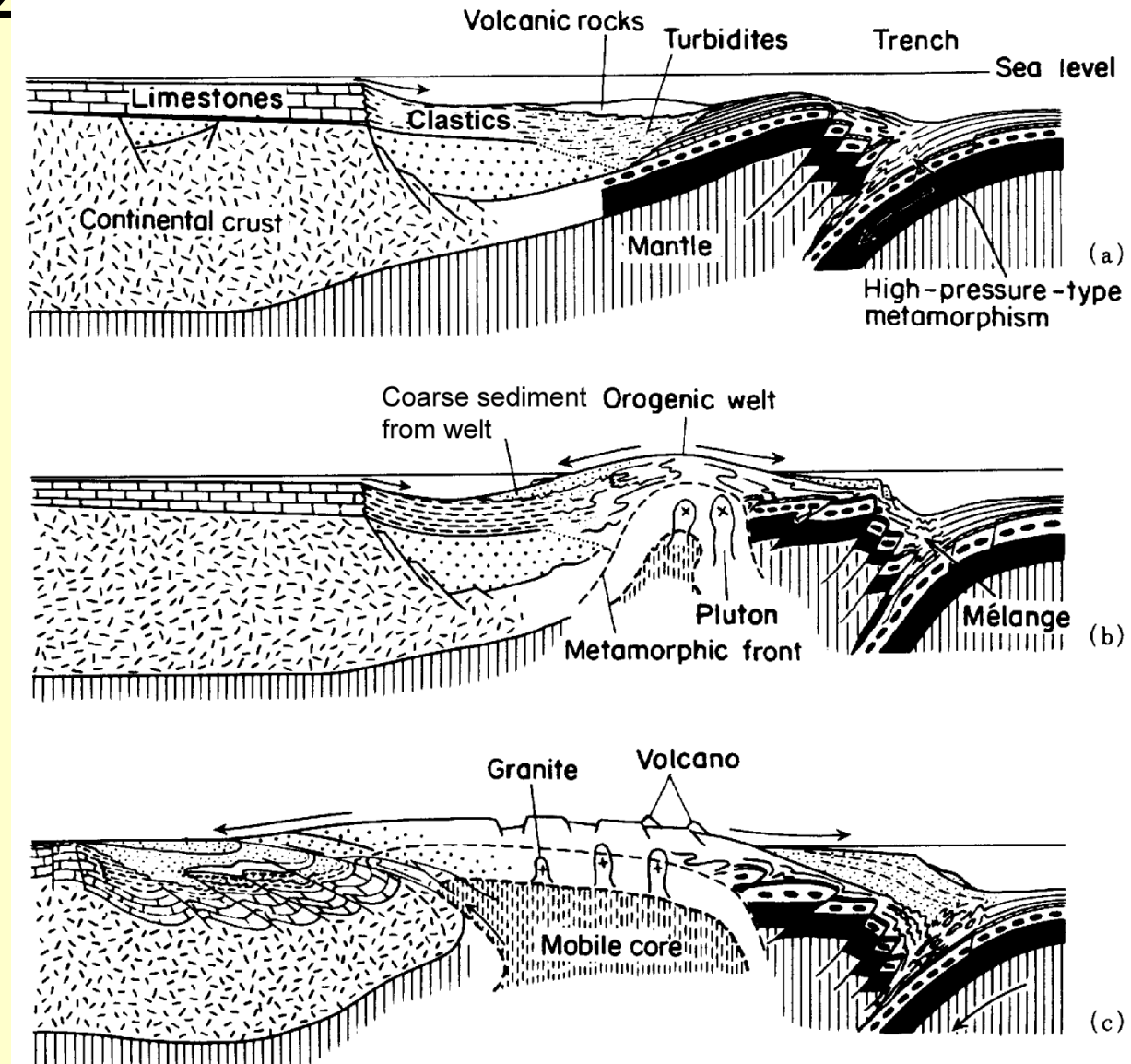
Barrovian metamorphism due to burial under edge of over riding continent

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.

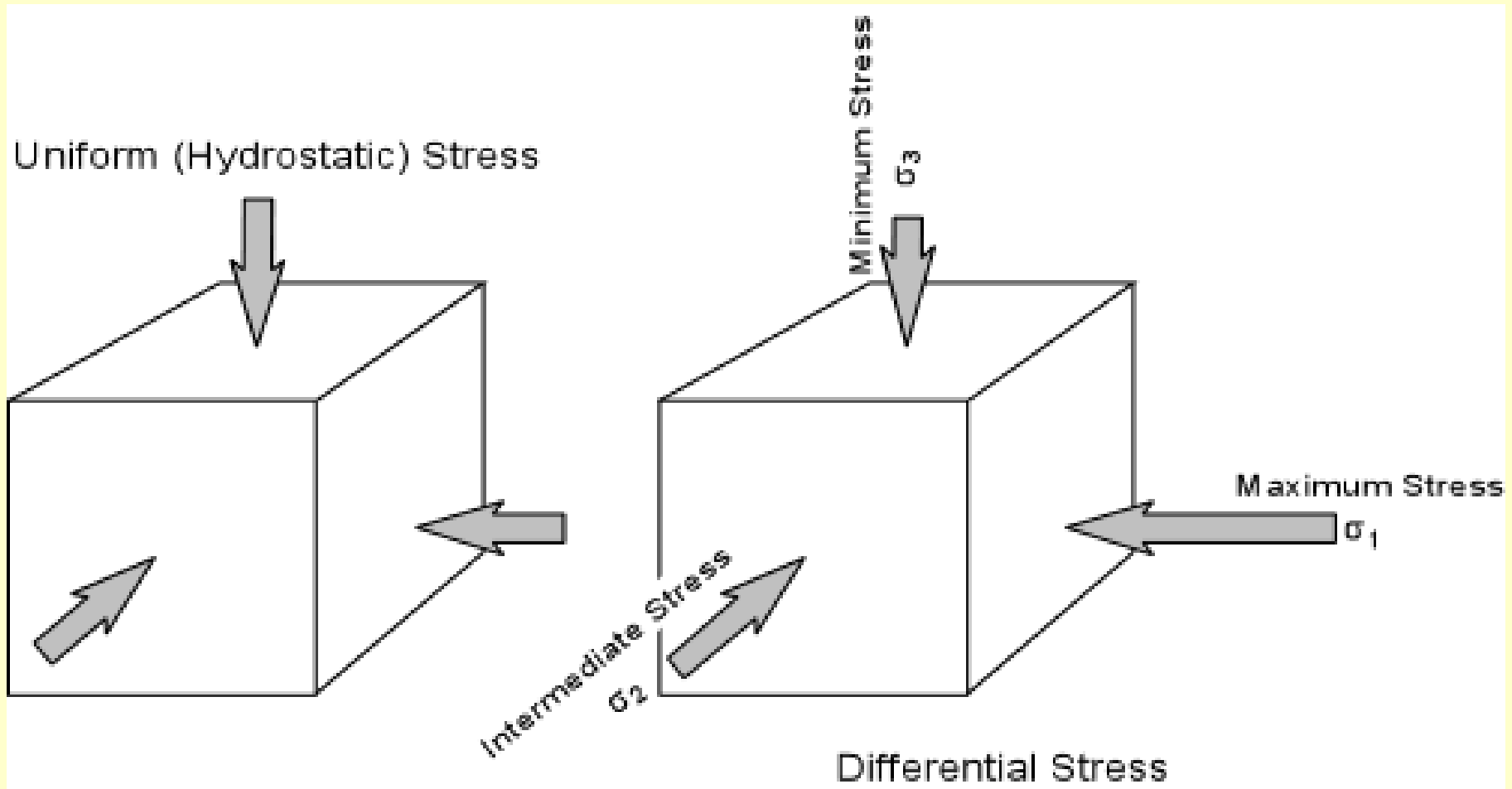
Další méně užívané názvy

- Diaftoreza (retrogradní metamorfóza)—odrůda polymetamorfózy, kdy poslední metamorfní pochod vyvolal přeměnu nižšího stupně než metamorfní pochod předchozí.
- Isofázová metamorfóza—minerální složení horniny se při metamorfoze nemění; uplatňuje se hlavně v některých karbonátových horninách, v křemencích bez jílovitého tmelu a v některých ortorulách.
- Alofázová metamorfóza— minerální složení metamorfitu 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

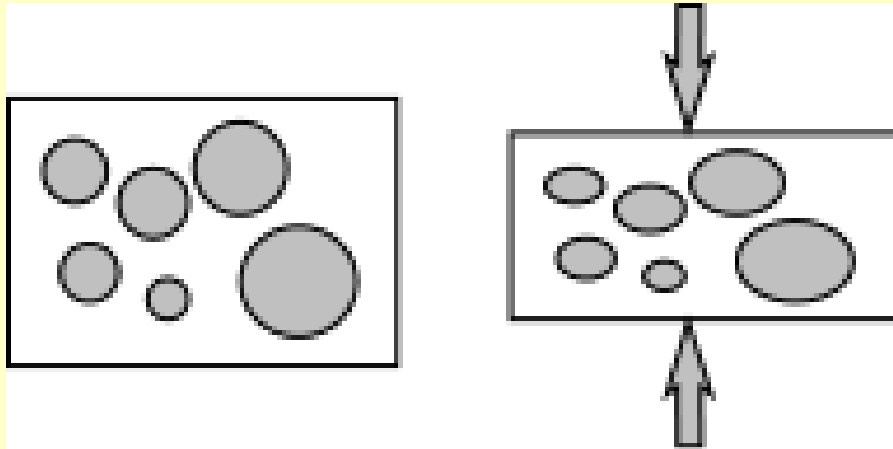


- VŠESMĚRNÝ A ORIENTO VANÝ TLAK

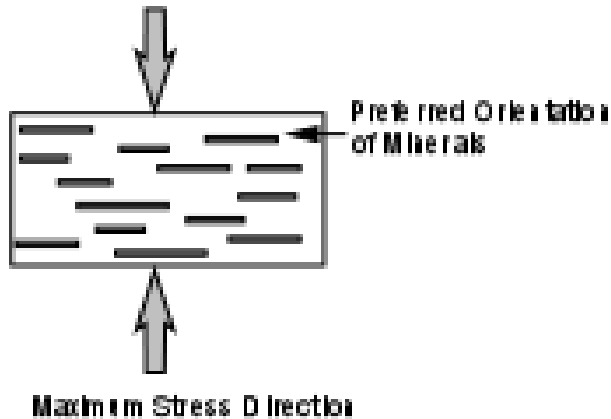
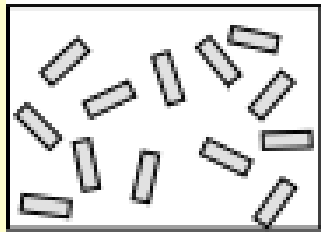
KRITÉRIA PRO ROZPOZNÁNÍ TLAKOVÝCH ÚČINKŮ AŽ MYLONITIZACE

- 1. Tlakové postižení se nejnápadněji projevuje na minerálech v tomto pořadí: karbonáty (dvojčatění karbonátů), křemen (undulosní zhášení křemene, anomální dvojosost), slídy (ohnutí slídových lupínků, 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

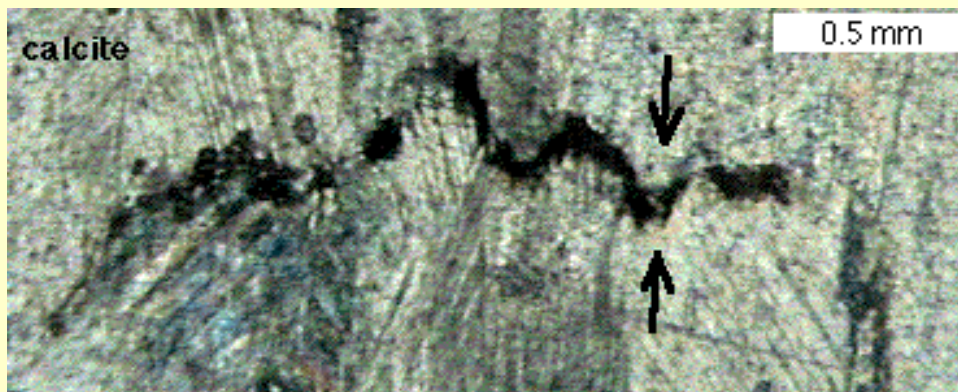


Random Orientation
of Minerals

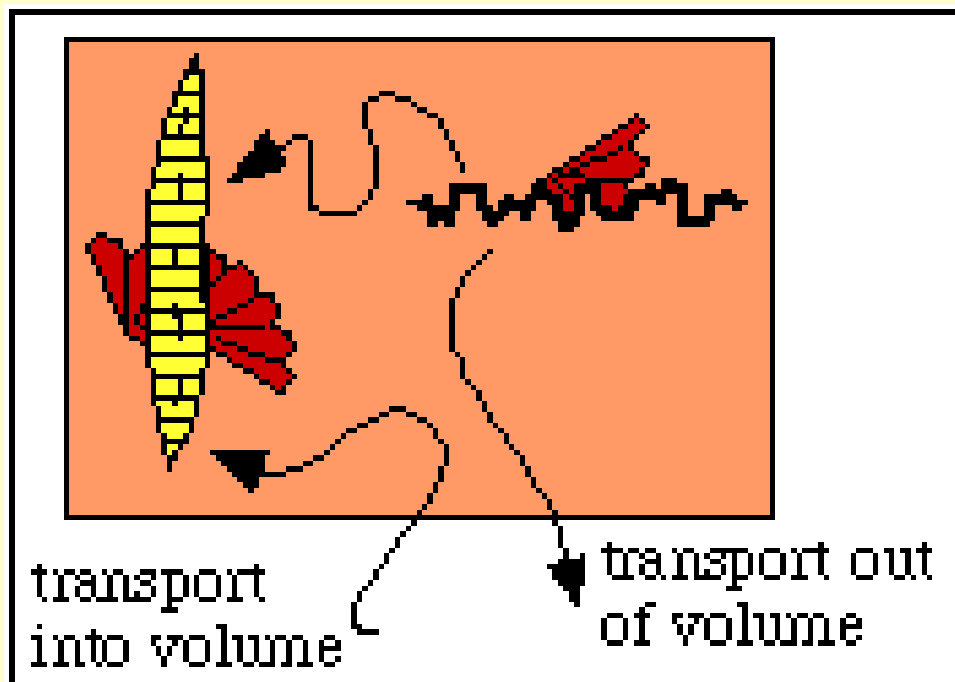


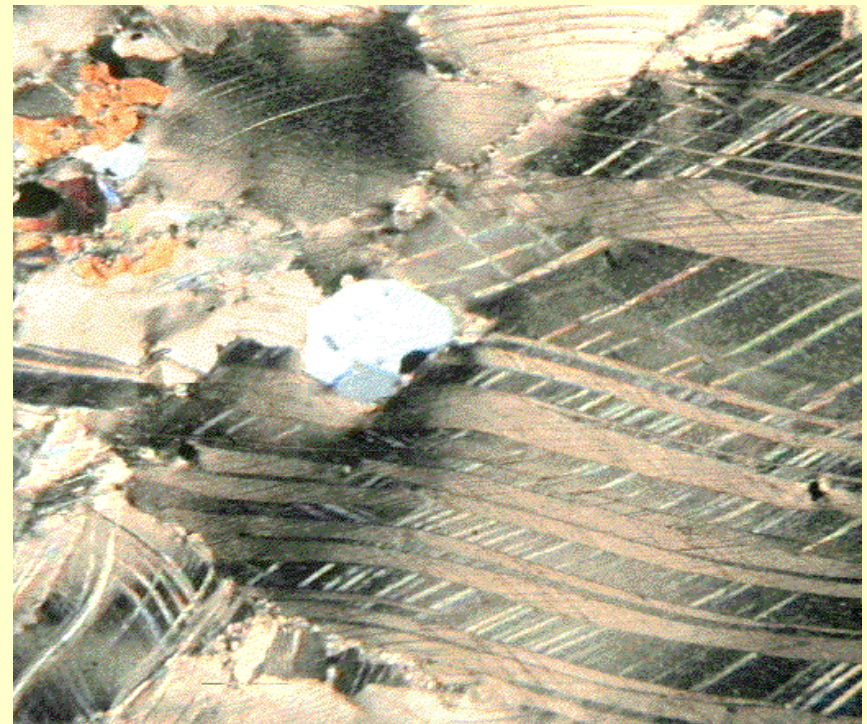
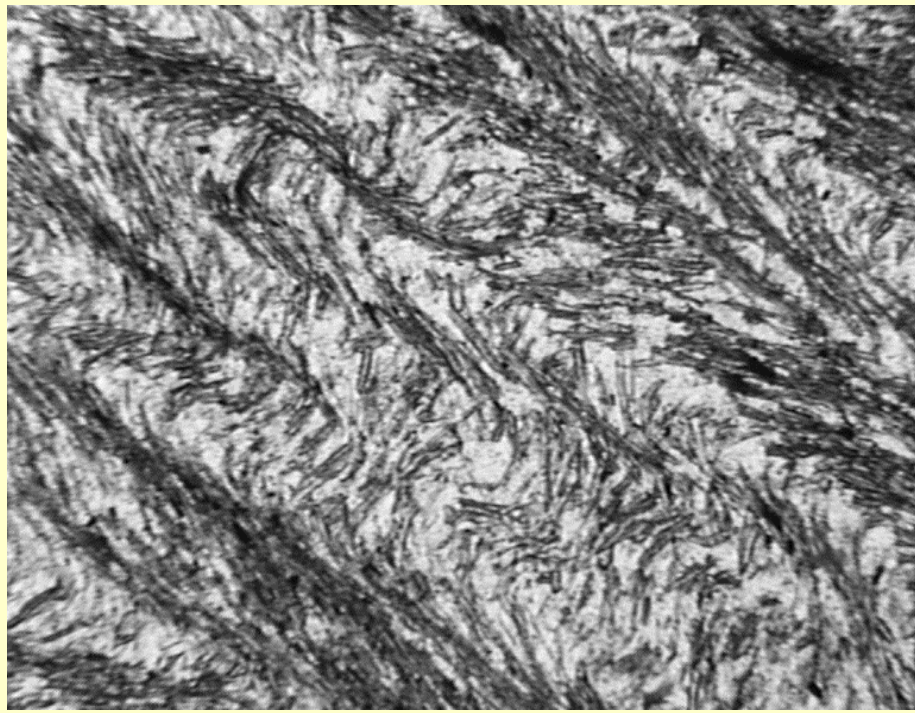
- Obr. Deformovaný konglomerát

Indikátory působení orientovaného tlaku



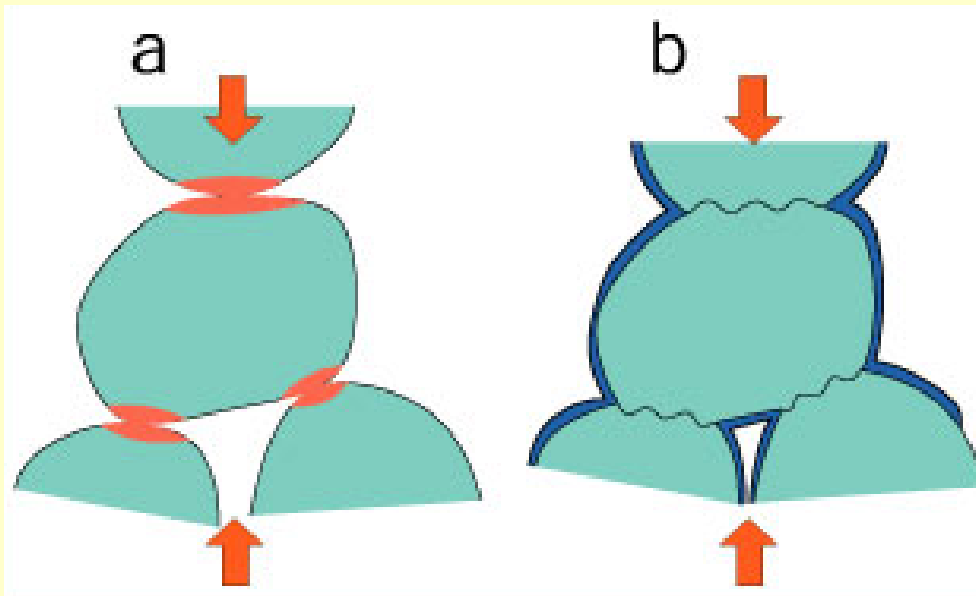
- 1) Stylolity: vznikají v důsledku tlakového rozpouštění horniny. Část horniny je odnesena v roztoku a na místě zůstává jen nerozpustný zbytek.





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

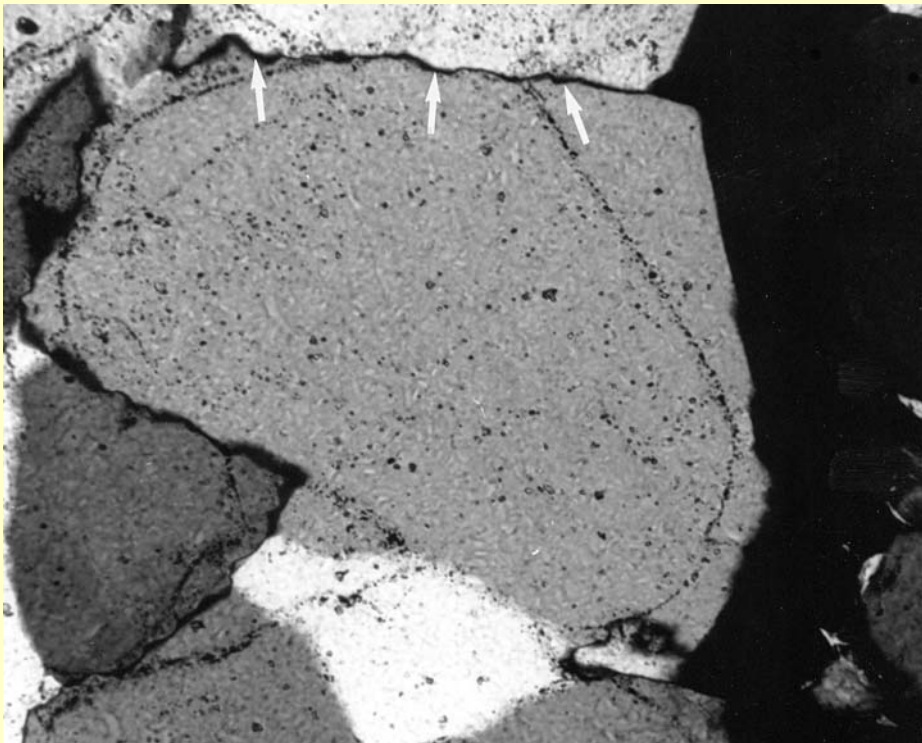
3) Tlakové dvojčatění: *V důsledku tlaku dojde k potočení částí mřížky původně jednoduchého krystalu a vzniku dvojčete.*



4) Tlakové rozpouštění:

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

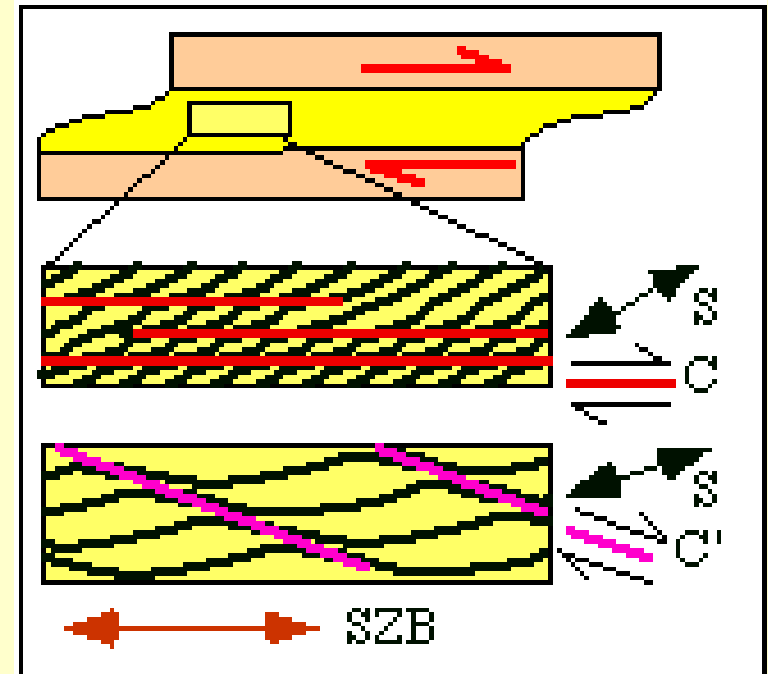
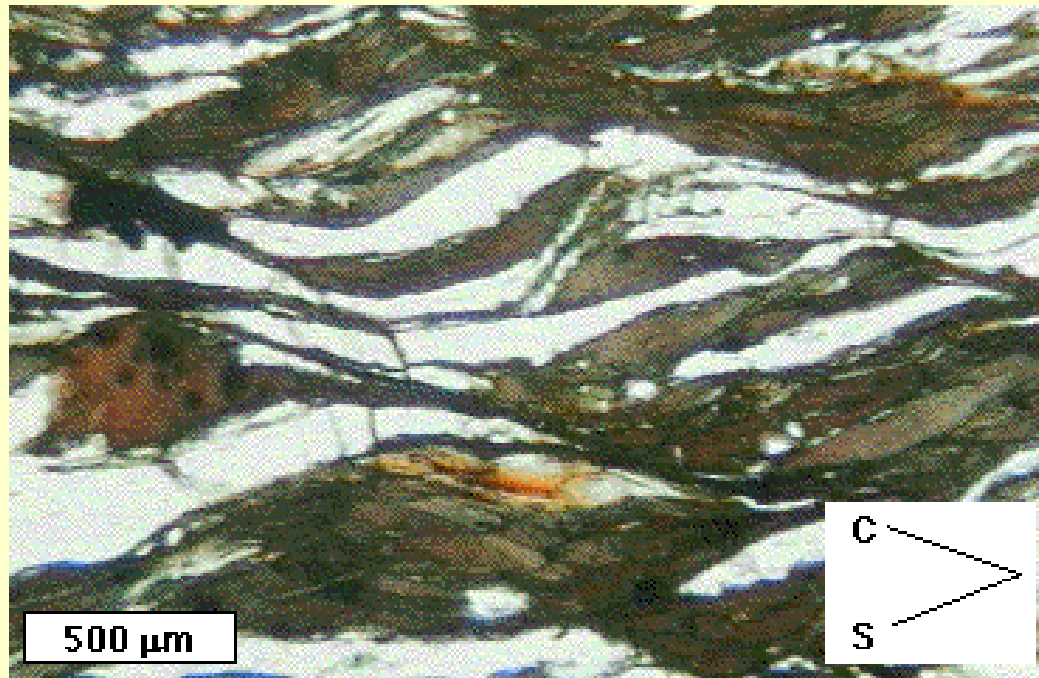
Tento proces je možné pozorovat již v podmínkách diagenese např. na klastech křemene (c) velikost zrna je asi 0,5mm.



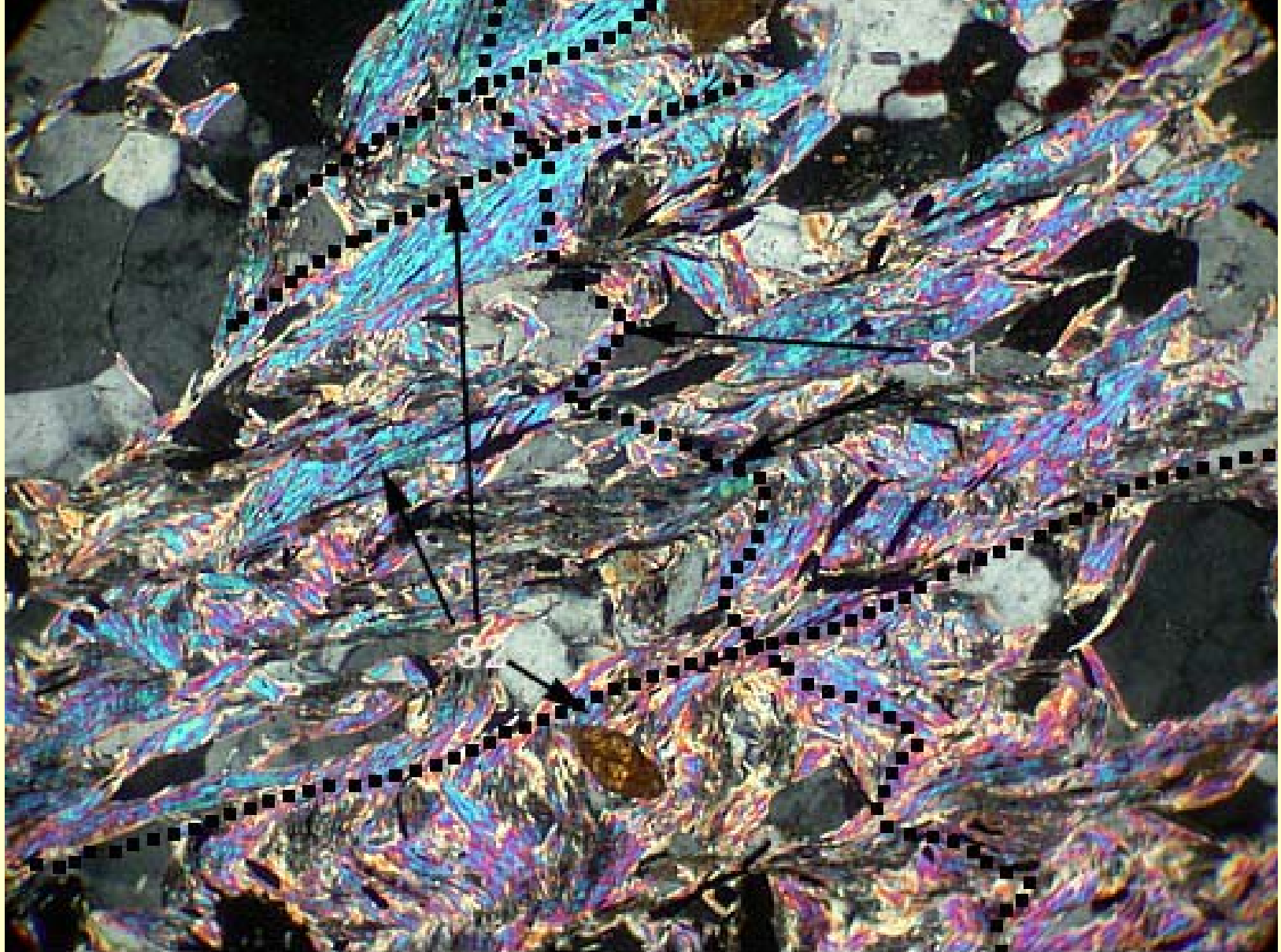


- Vtisky na valounech vzniklé v důsledku diagenese - vznikly na styku valounu (eocenní slepence).

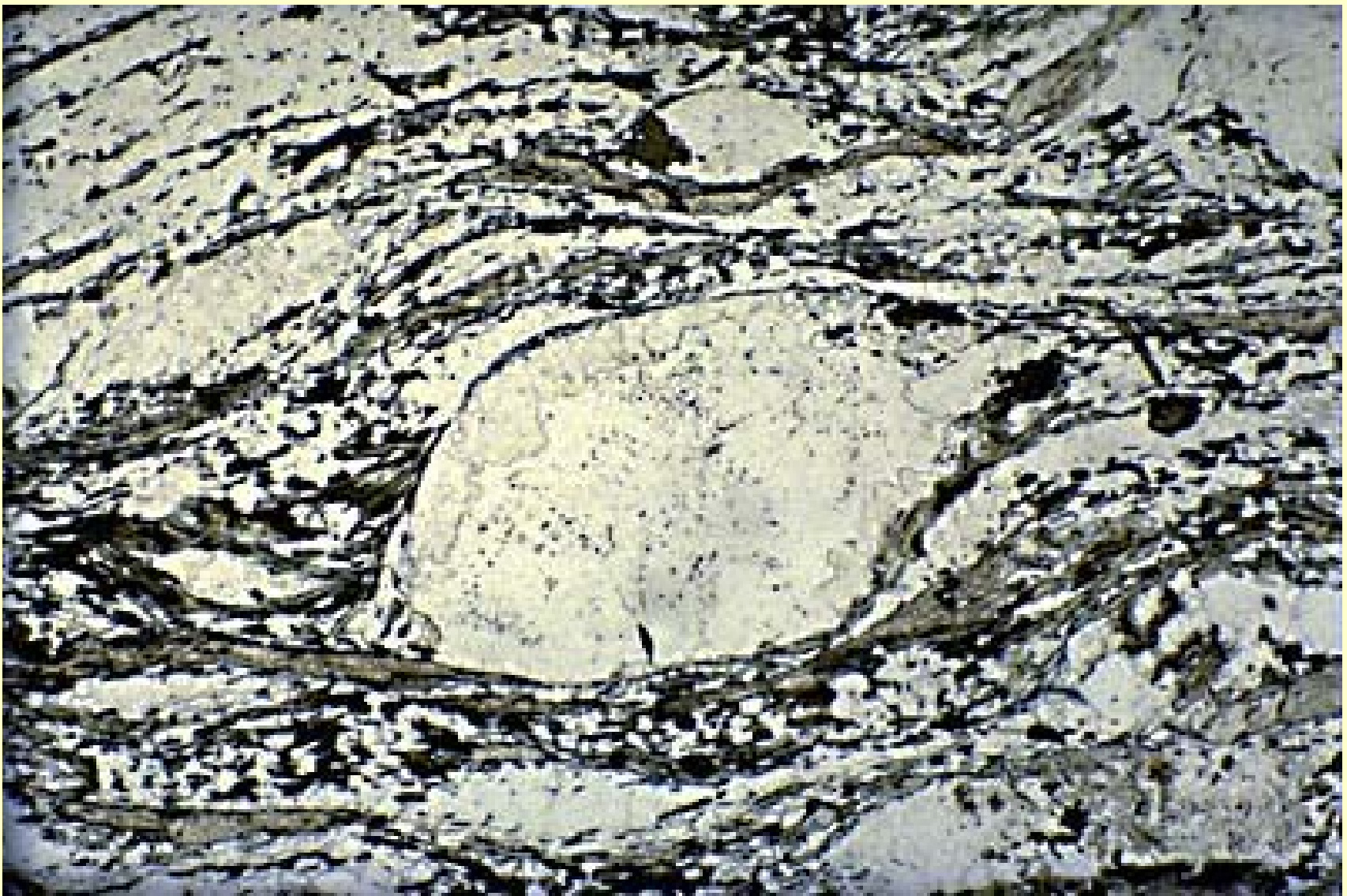
Indikátory směru pohybu na střižných zónách



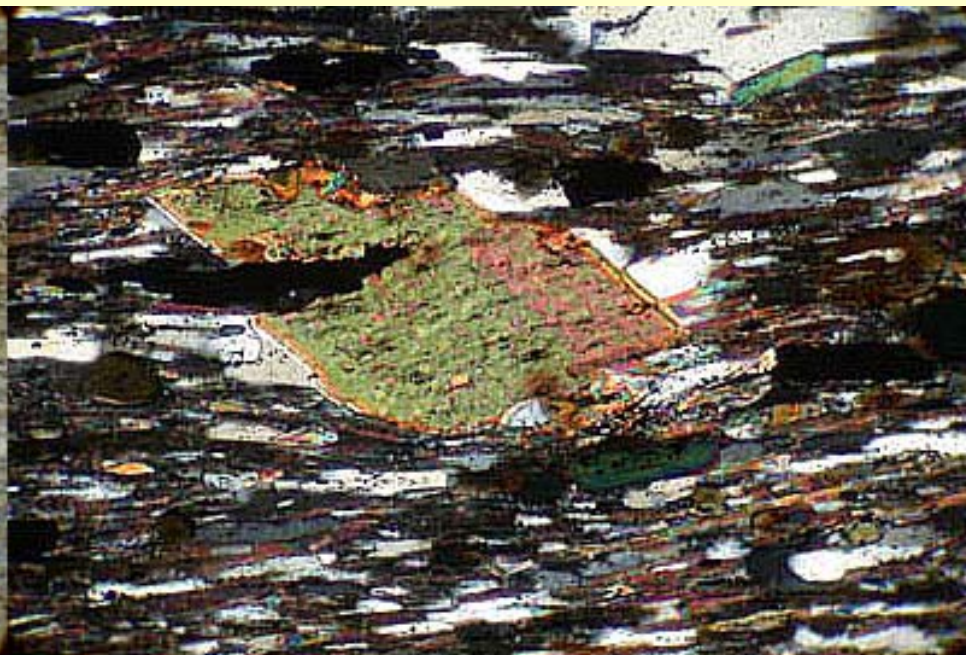
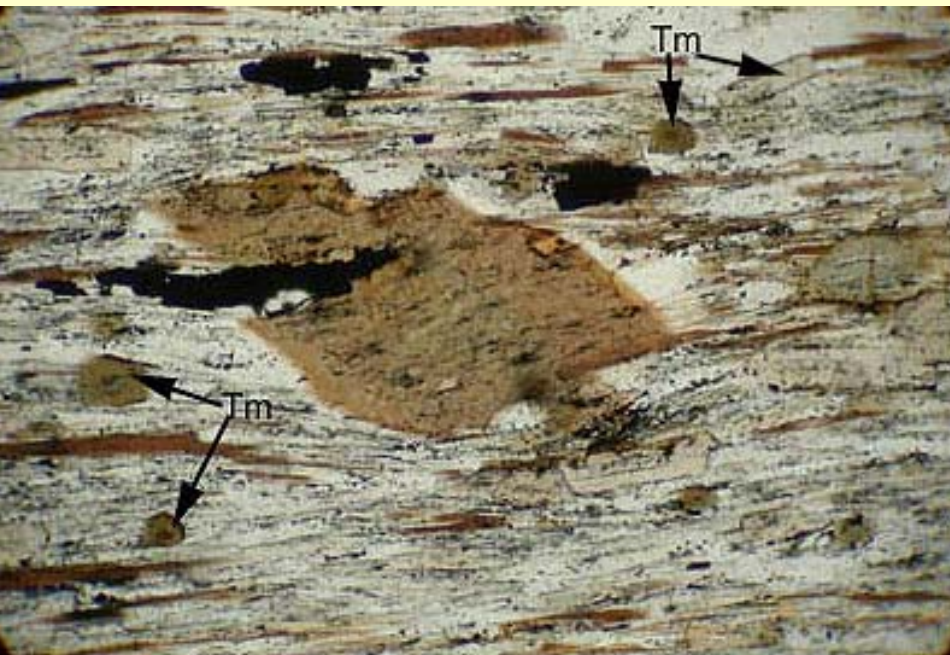
- 1) SC-stavby: vznikají kombinací ploch foliace a střižných ploch



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.

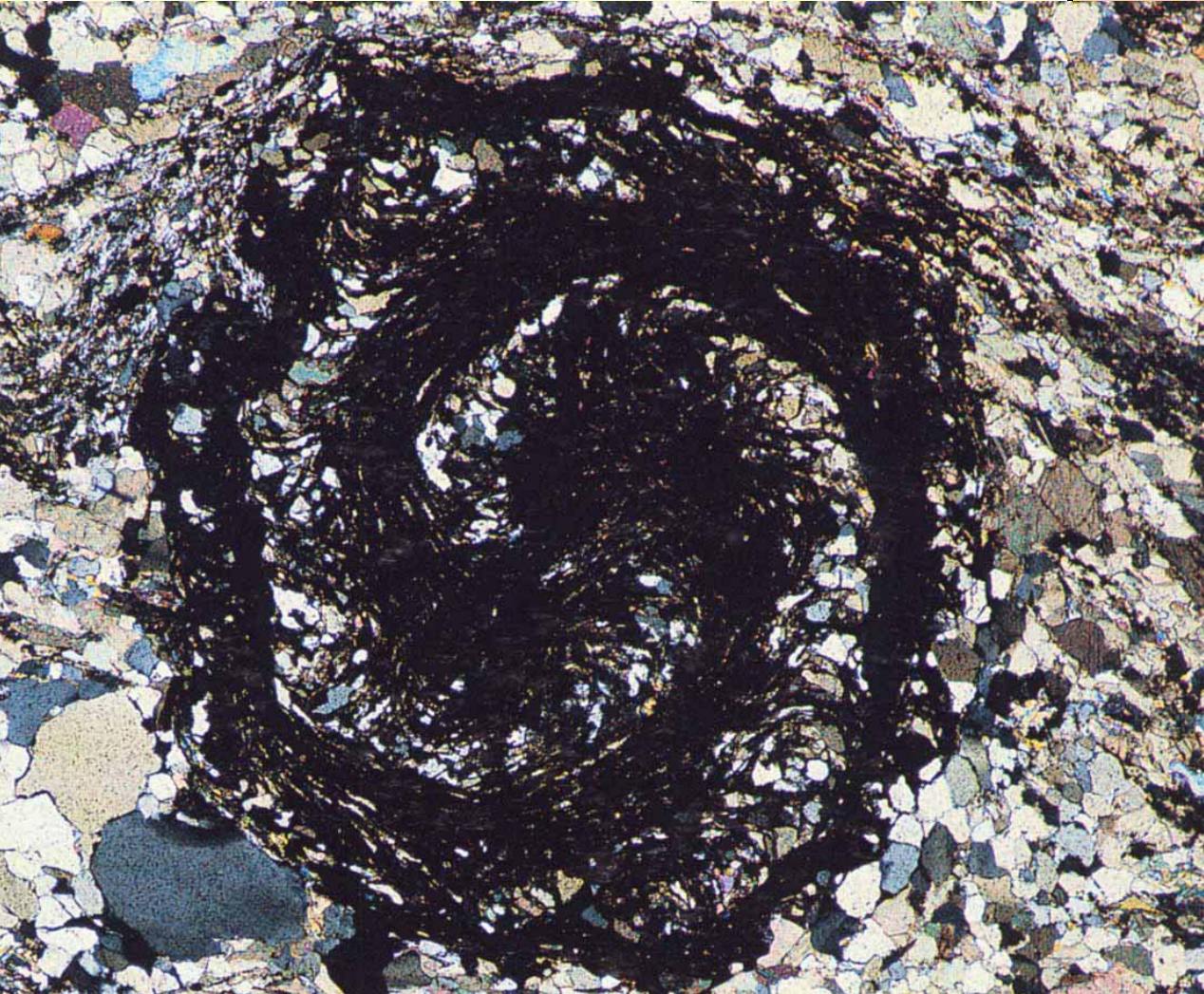
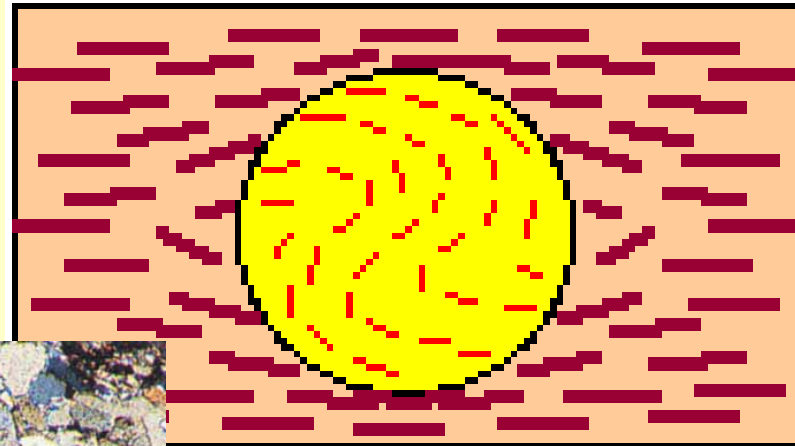


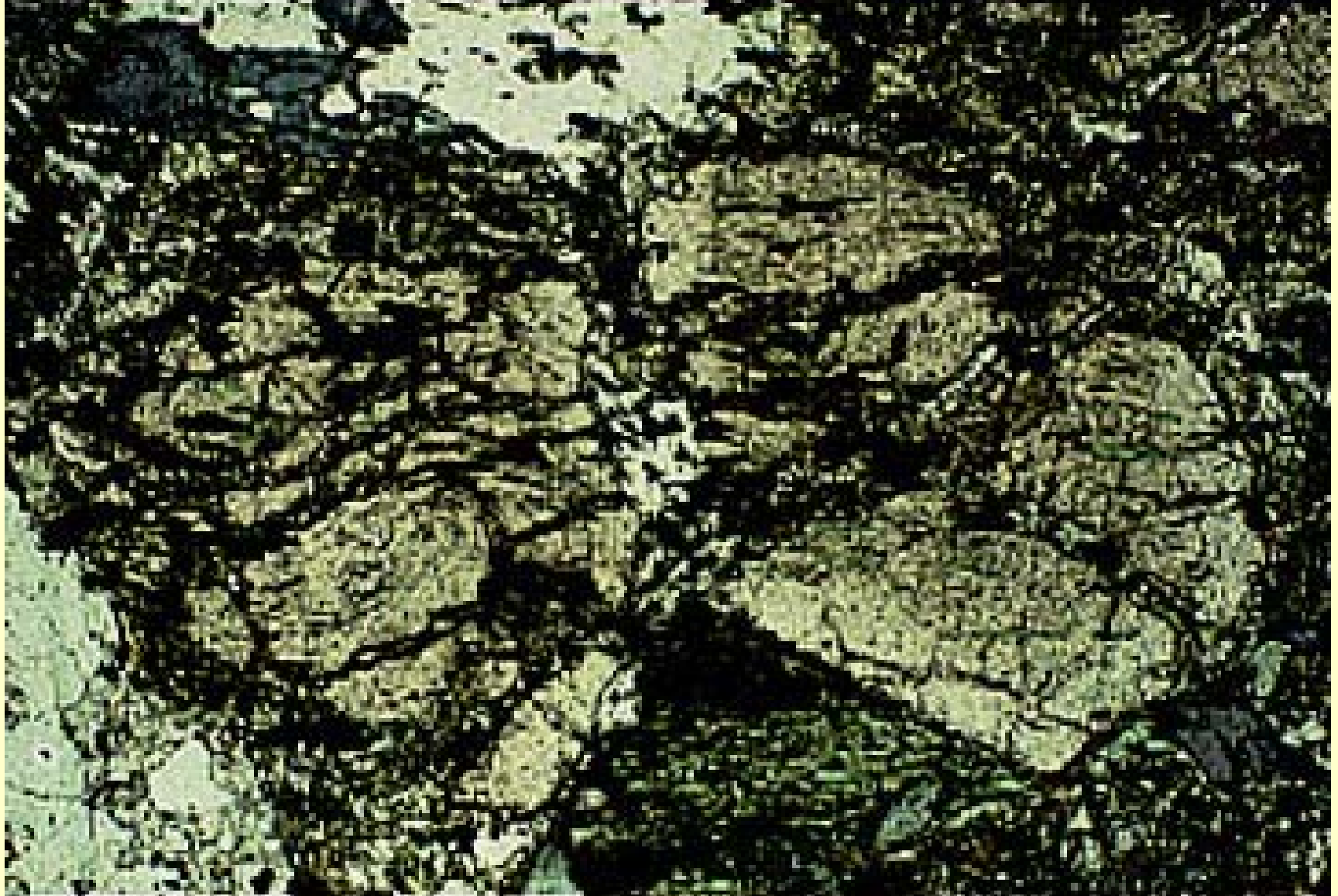
- 3) Budiny granodioritu na střižné zóně.



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

- 4) Rotované porfyroblasty



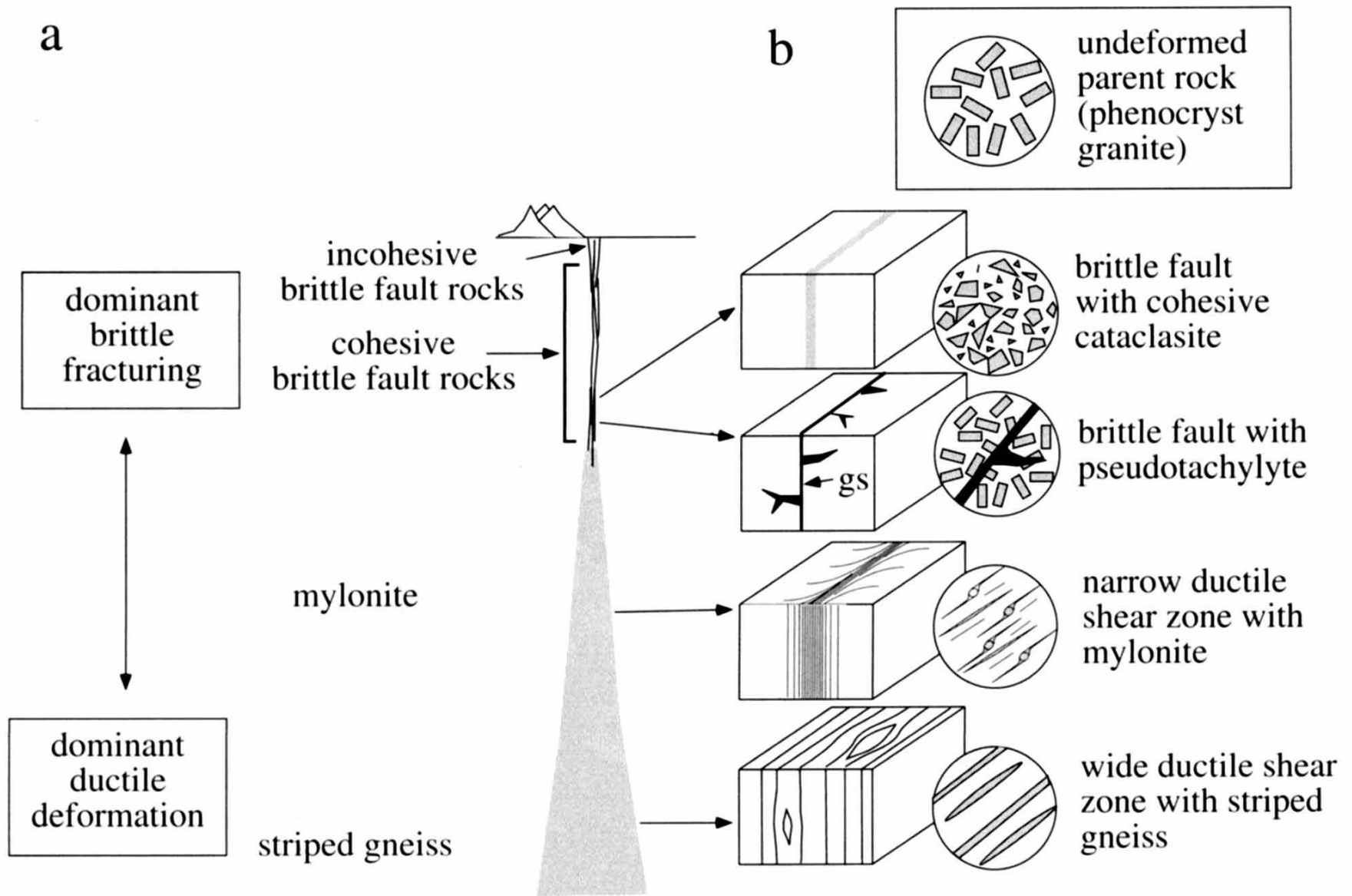


Helicitic texture defined by garnet porphyroblasts overgrowing the original foliation defined by omphacite inclusions (green). Plane polarized light.

Mylonitizace



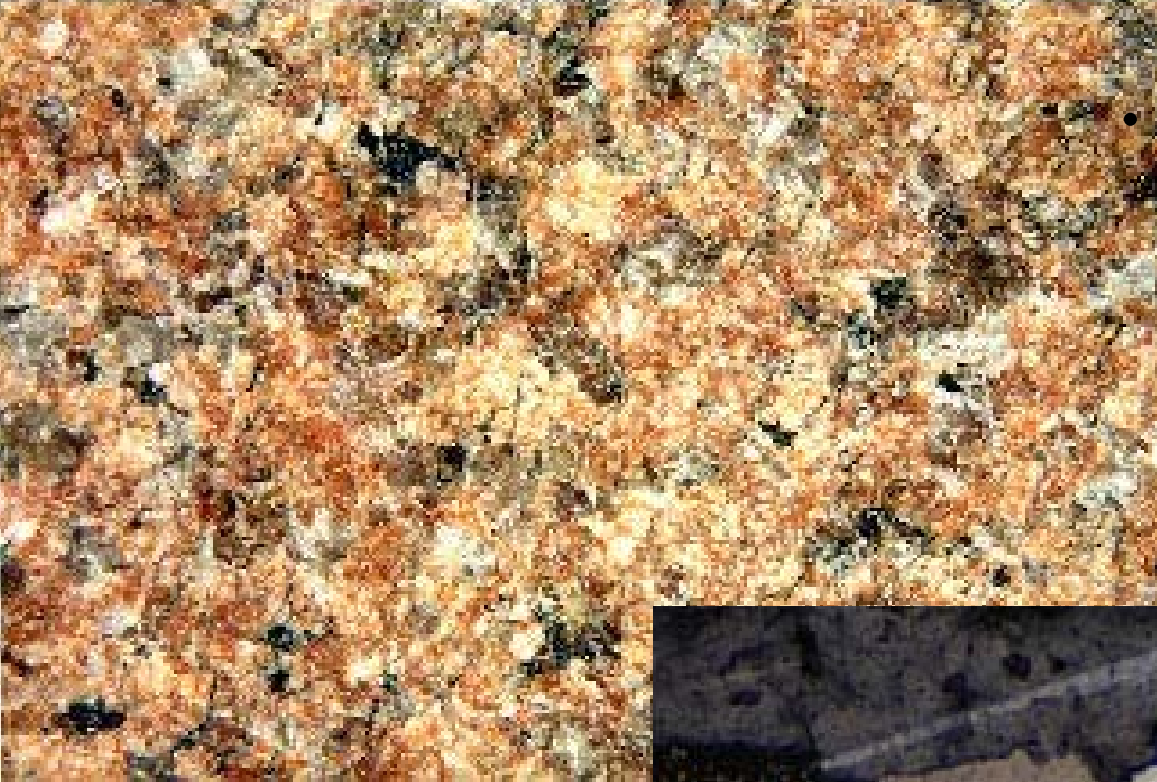
- Střížná zóna v rule



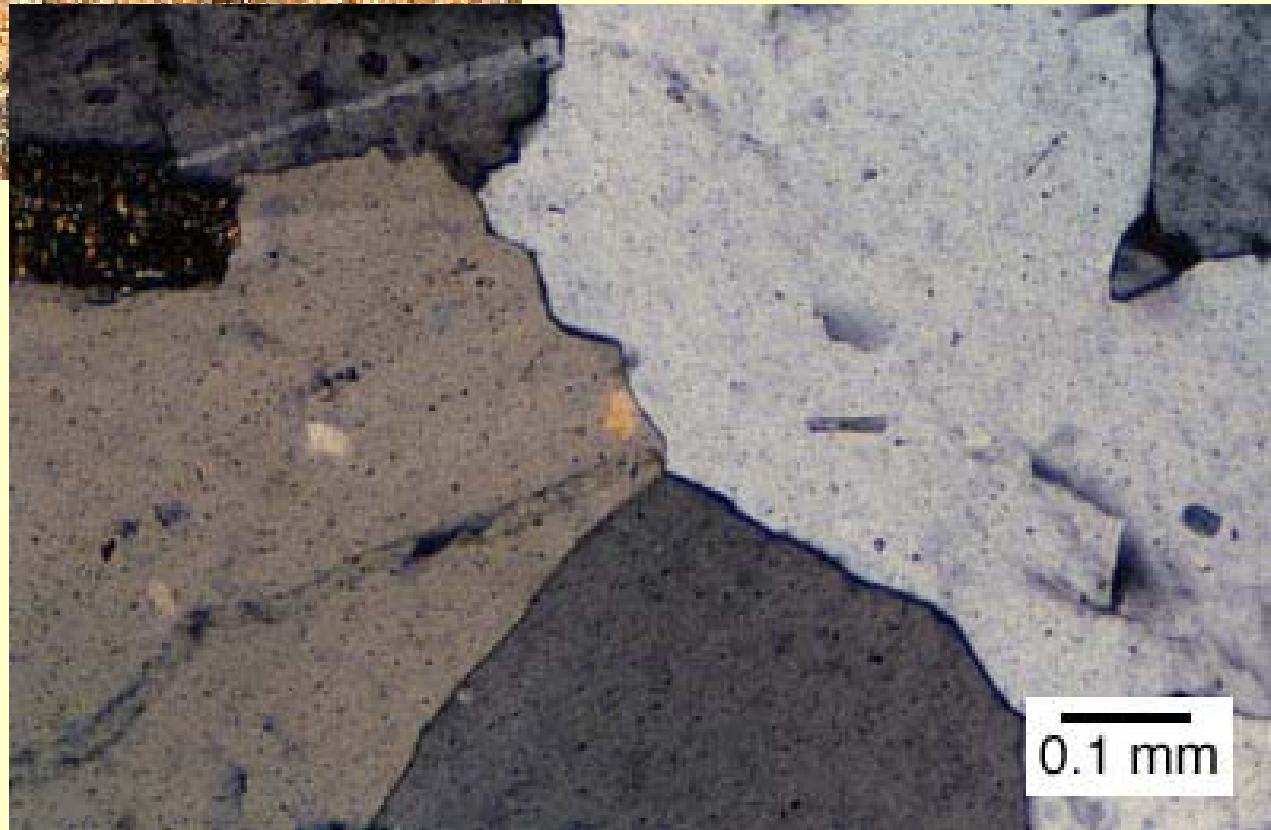
- Vývoj struktur na střižné zóně s hloubkou od křehké deformace po páskovanou rulu

- mylonitová zóny

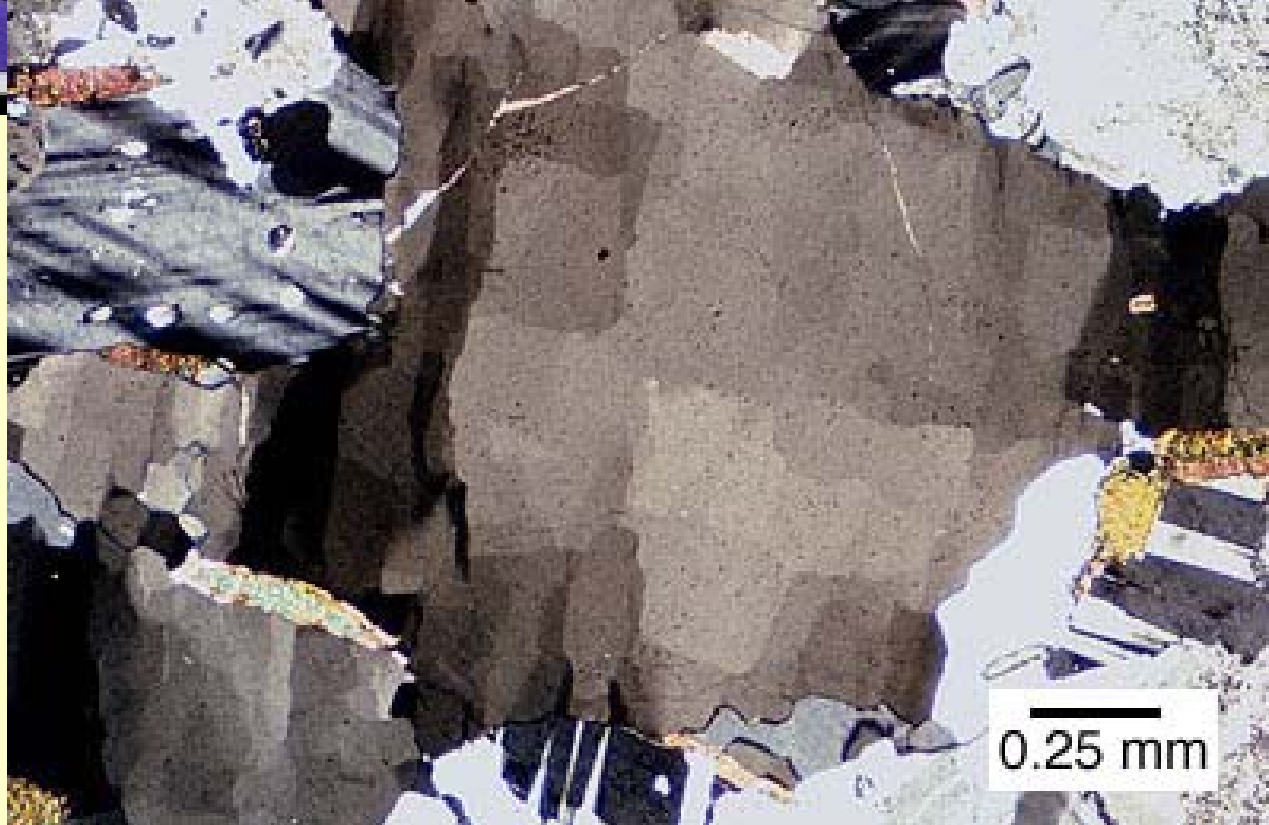




- Minerál který nebyl postižen deformací zháší na celé ploše zrna současně.

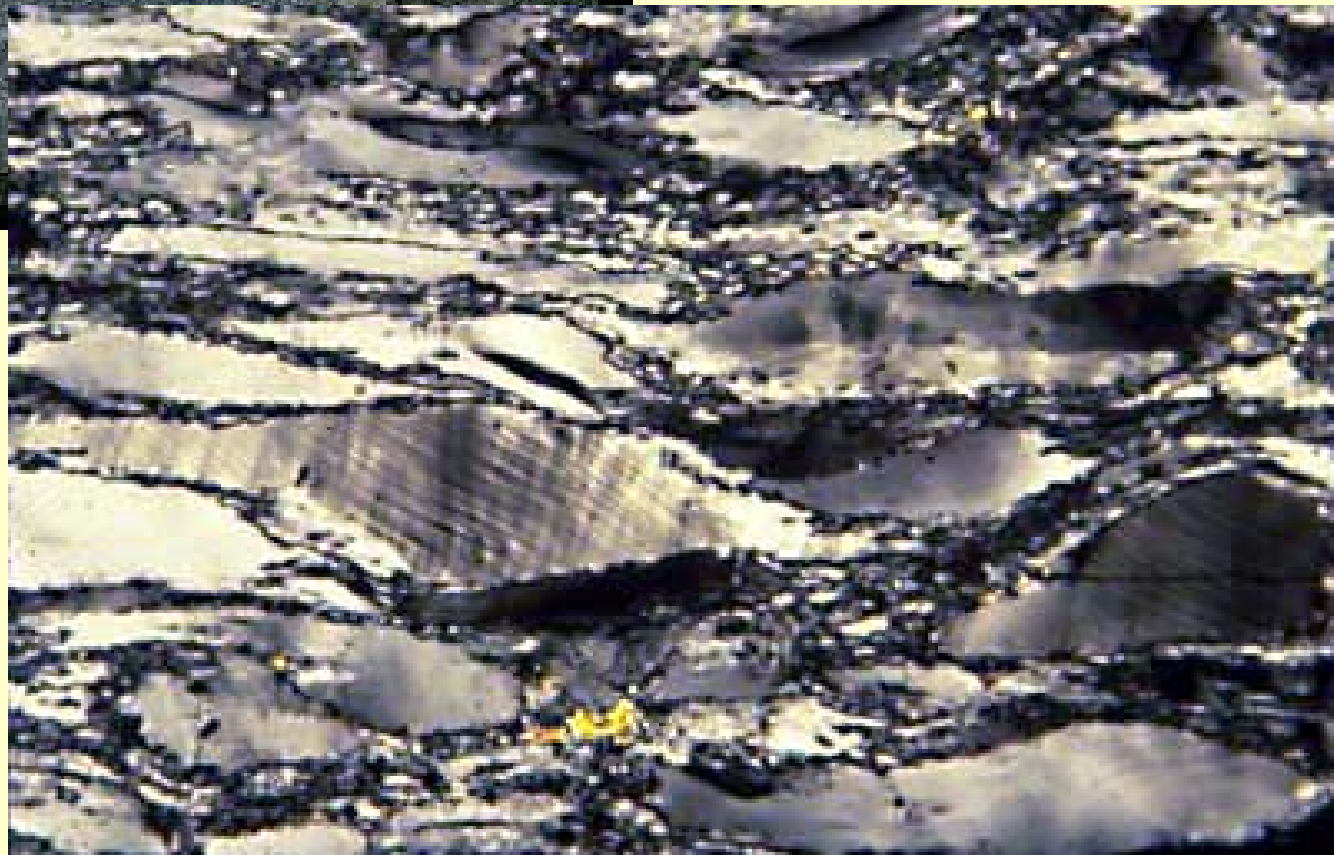


Deformace se začíná projevovat undulárním zhášením a při pokračování deformace se původně jednolitě zrně rozdělí na několik subzrn.



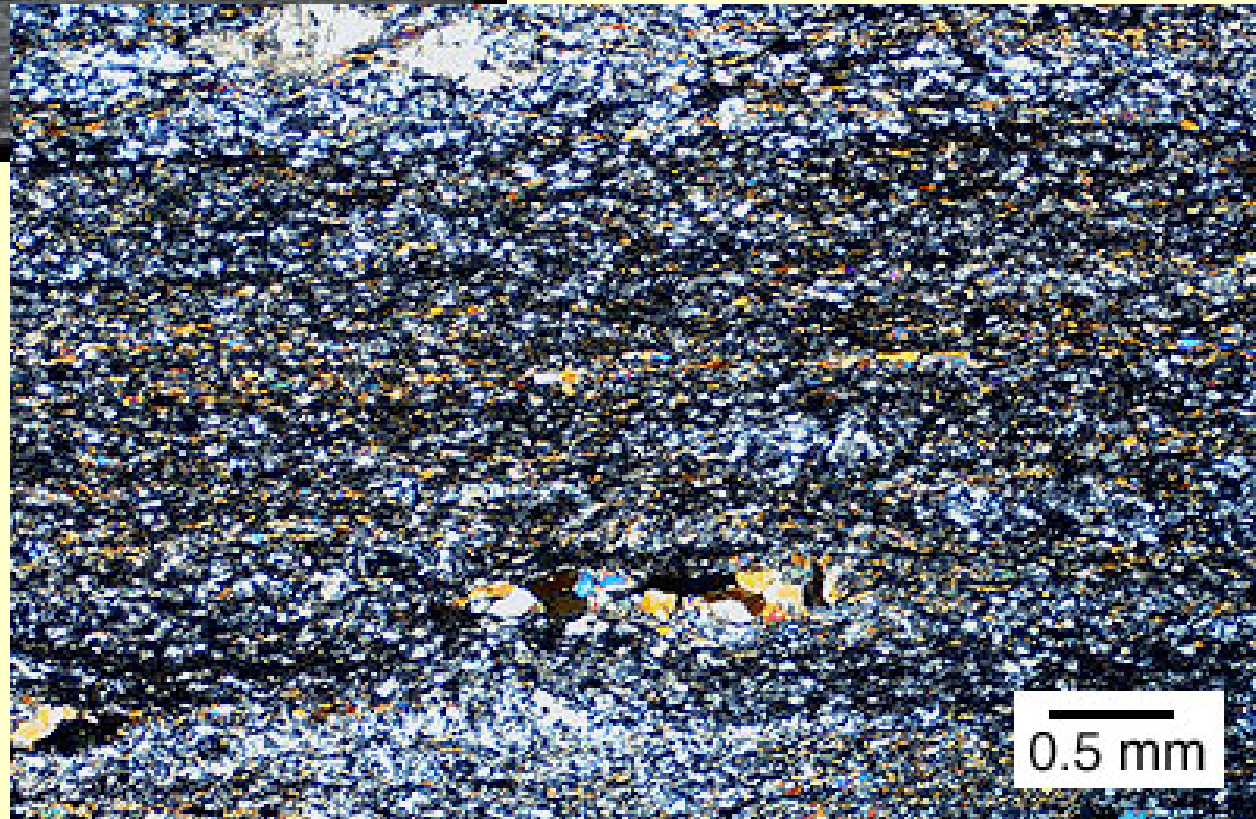


Při drcení se nejdříve drtí okraje zrn a vyniká z nich jemnější matrix, která obklopuje větší porfyroklasty.



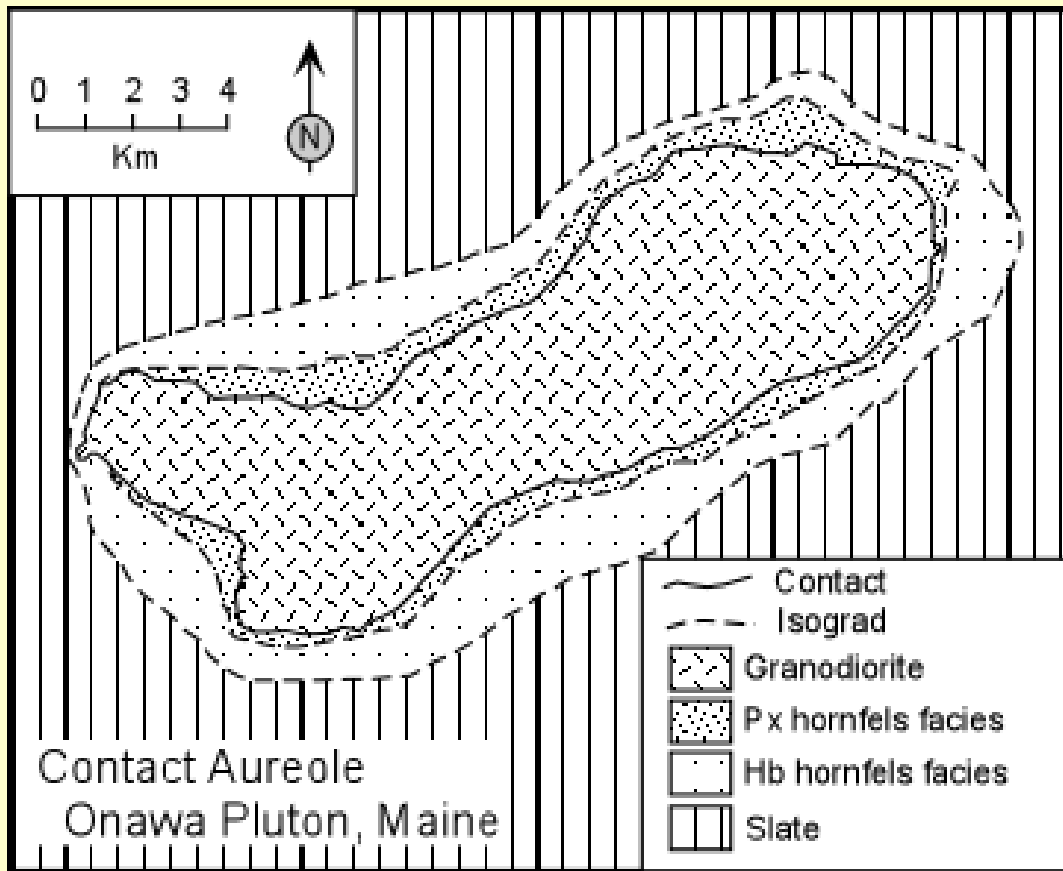


V průběhu další deformace jsou zrna dále drcena a v hornině vzniká velké množství drobných zrn v nichž se občas vyskytnou porfyroklasty.



0.5 mm

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

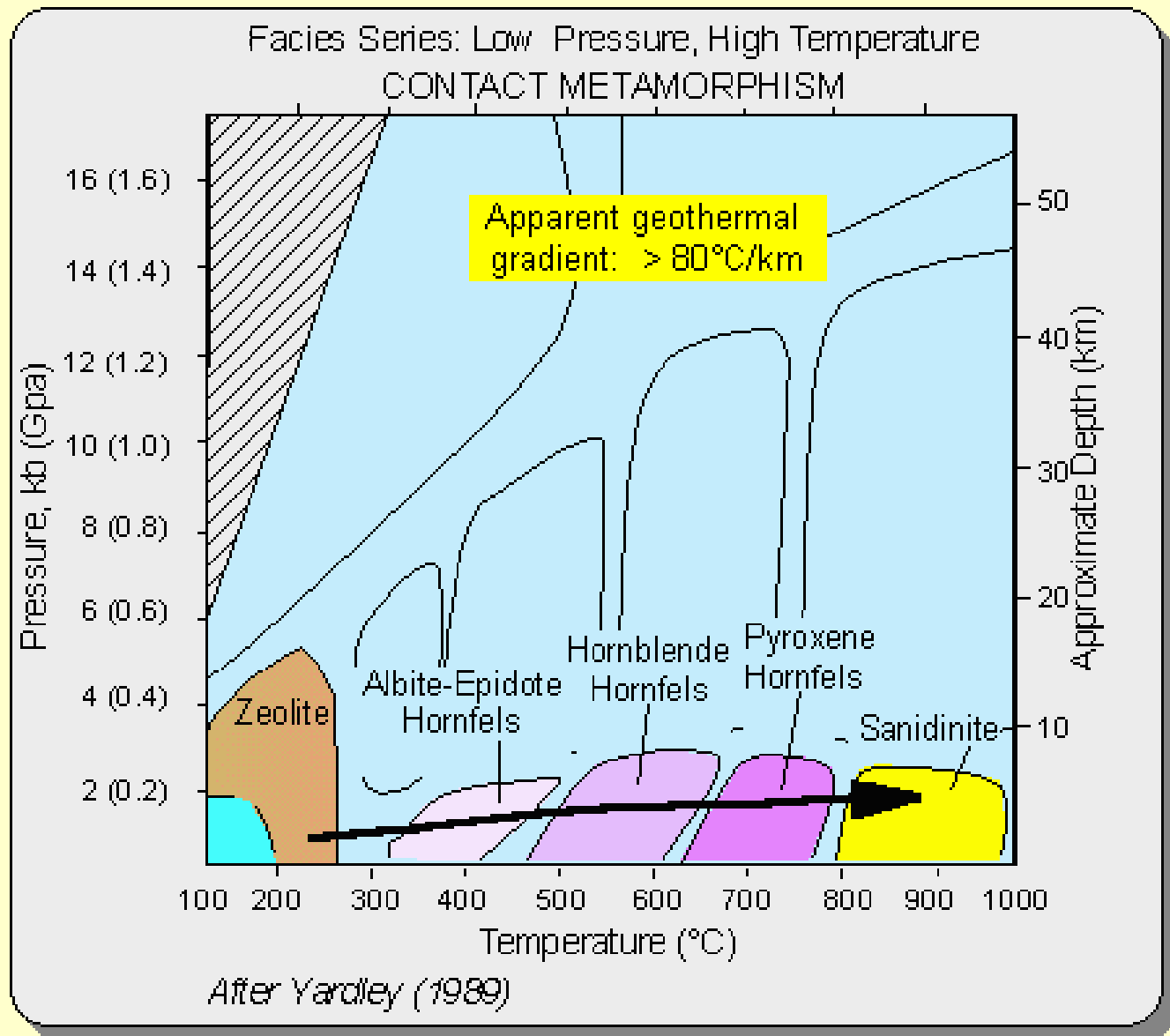


After Philbrick (1936) & Moore, 1960)

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

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.

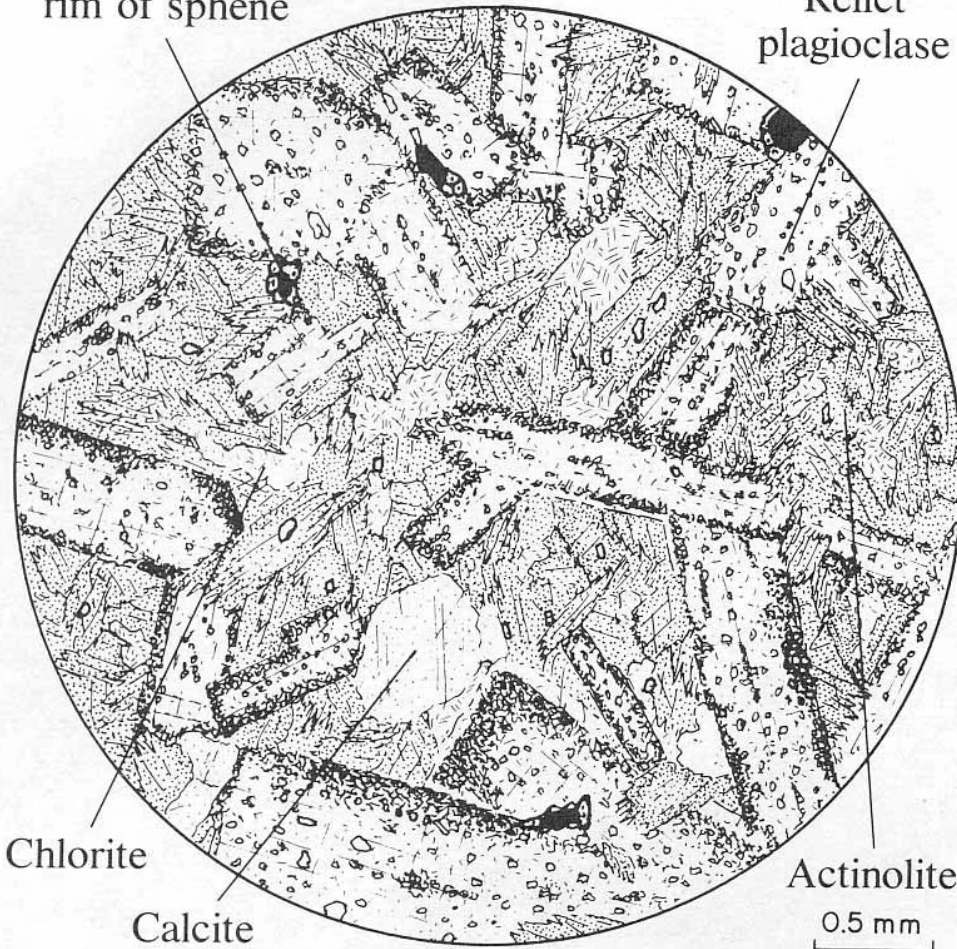


- *Kontaktní metamorfóza probíhá za velmi nízkých tlaků a je způsobena teplem magmatu na povrchu nebo těsně pod ním.*

Zeolitová facie-reliktní struktura

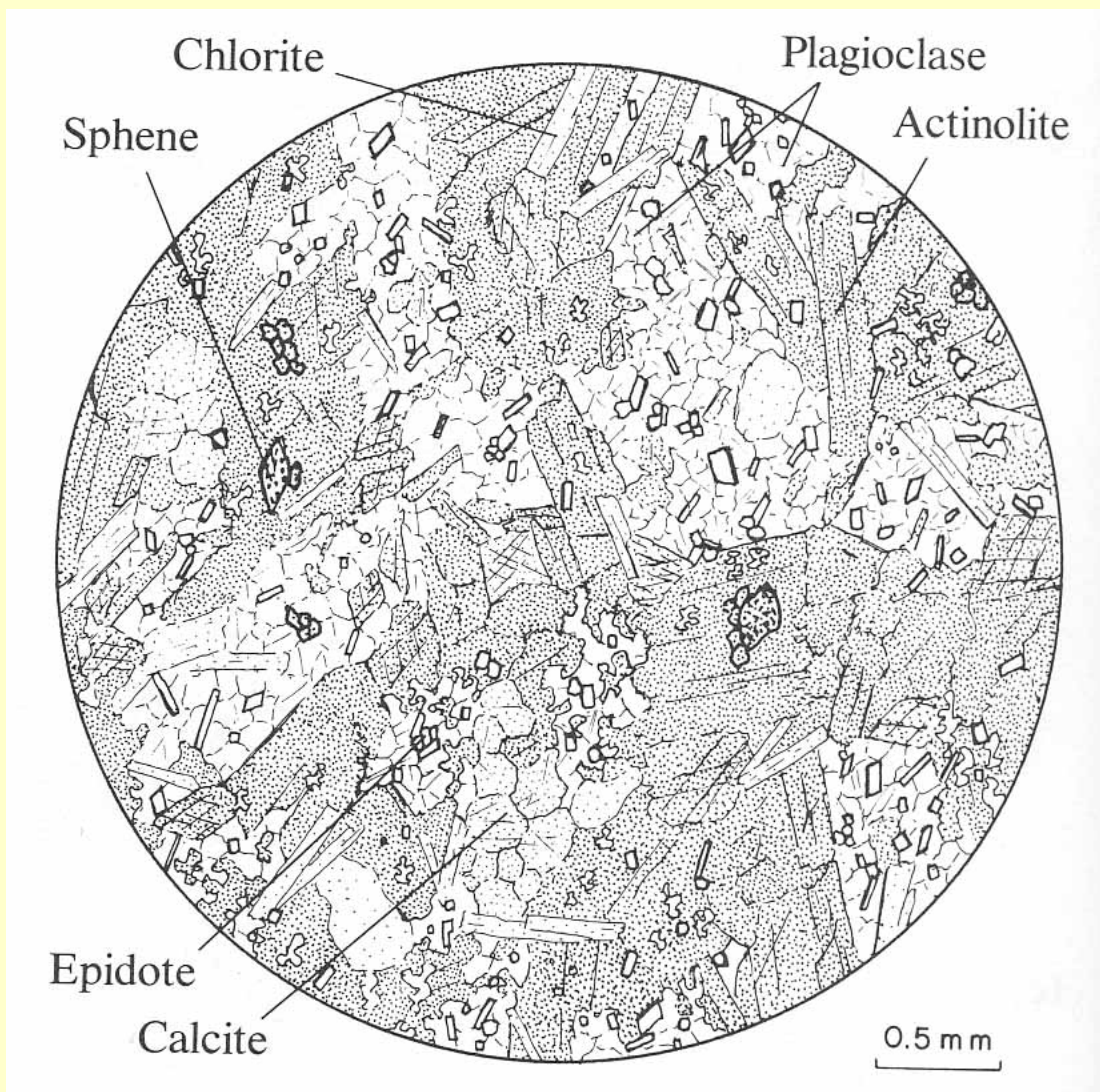
Fe-Ti oxide with
rim of sphene

Relict
plagioclase



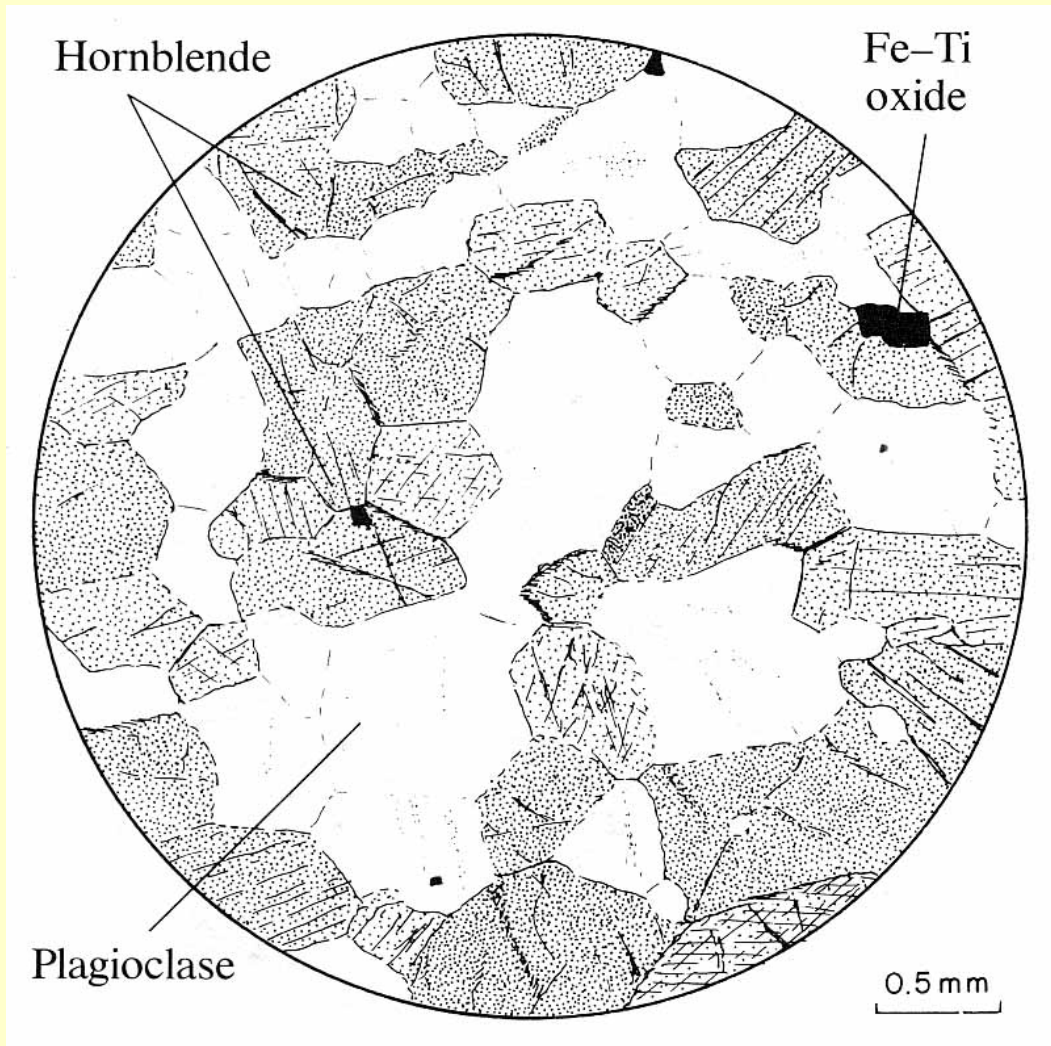
- Kontaktně metamorfovaný dolerit (hrubozrnný bazalt): změnila se minerální asociace ale zůstaly zachovány relikty původní ofitické struktury.

Albit-epidotické rohovec

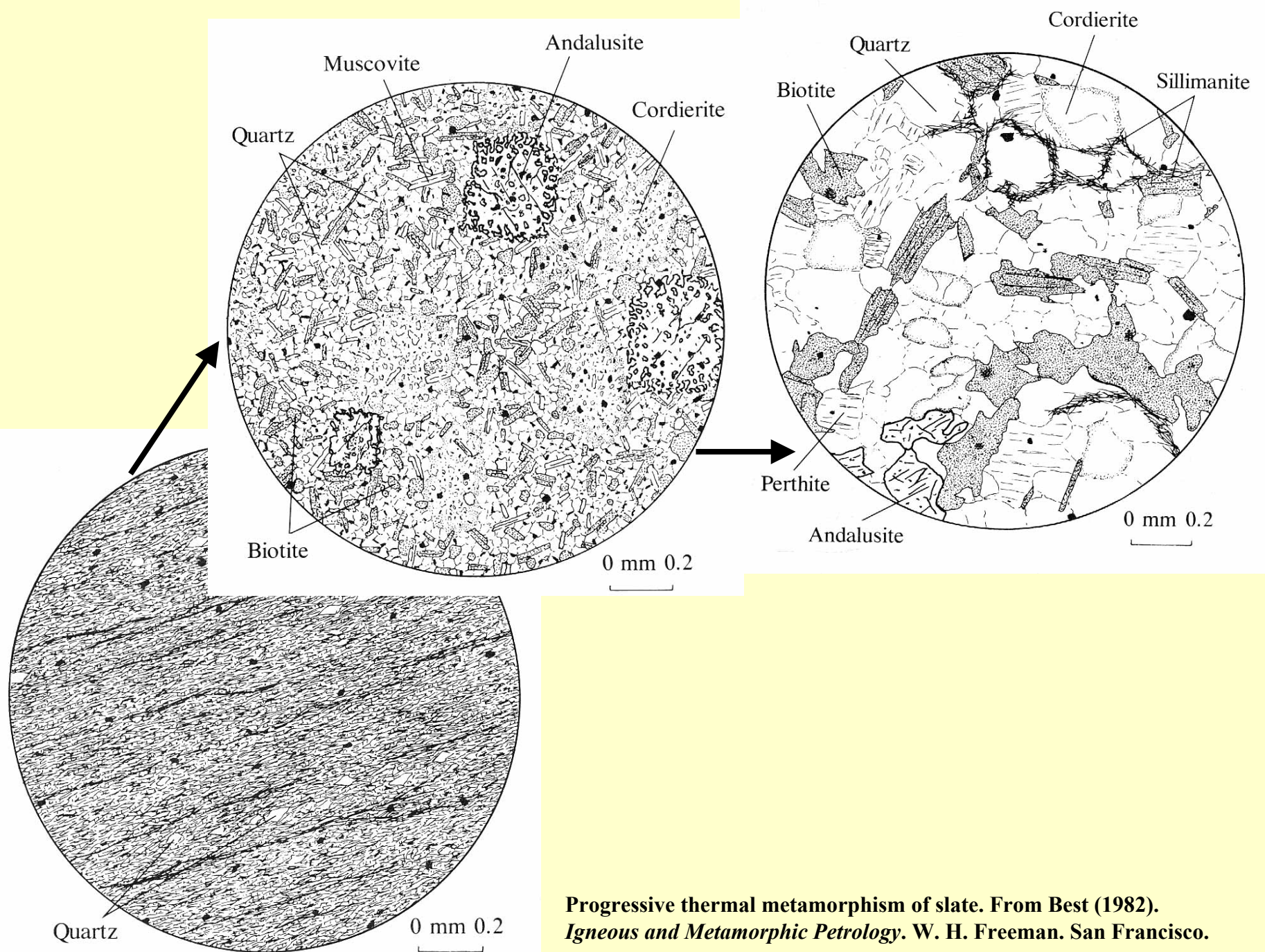


- Původní minerály rekrystalují mění se jejich chemizmus i tvar a vznikají nové minerální fáze.

Amfibolické rohovce



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

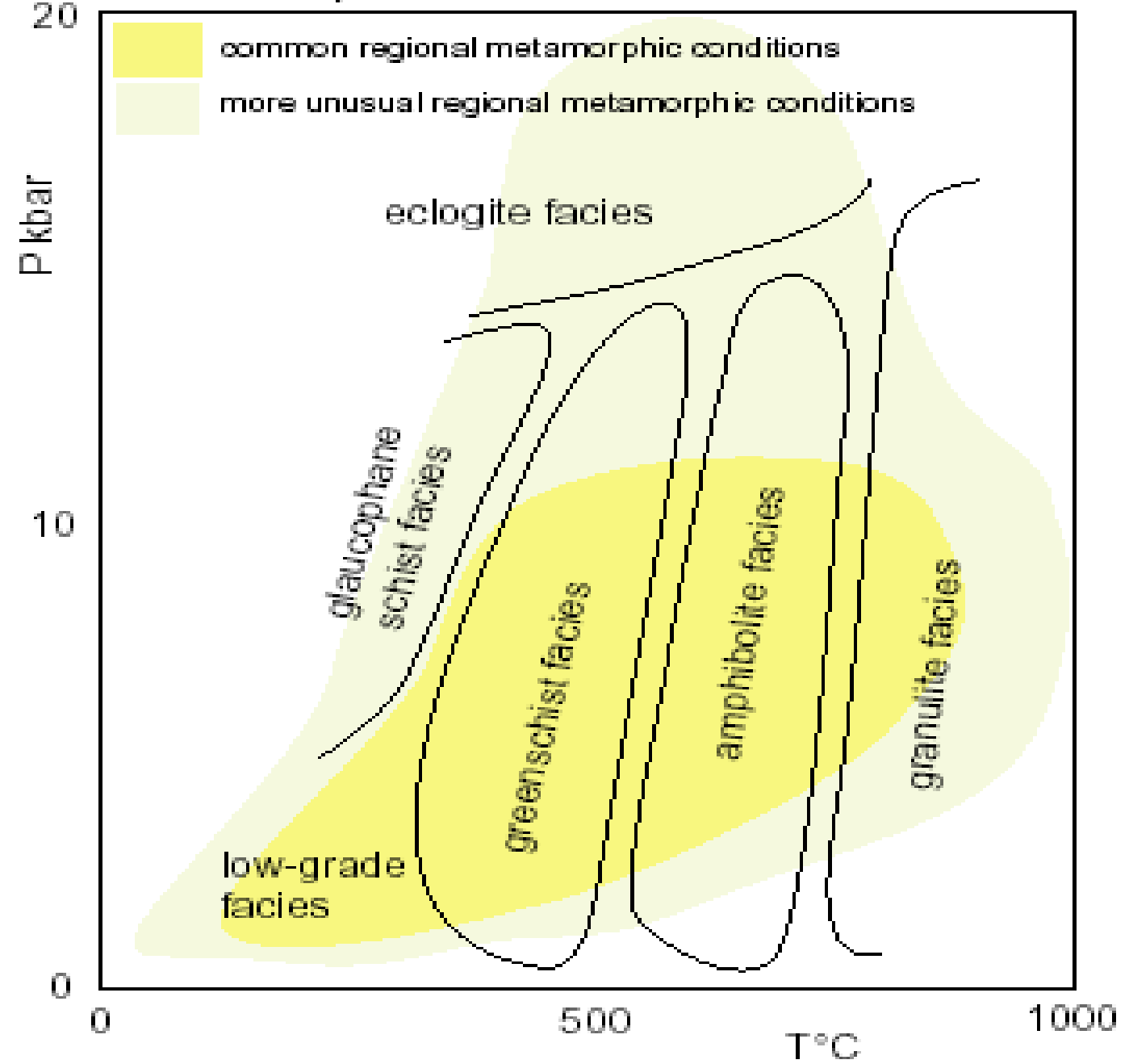


**Progressive thermal metamorphism of slate. From Best (1982).
Igneous and Metamorphic Petrology. W. H. Freeman. San Francisco.**

3) Stavby hornin typické pro regionální metamorfózu

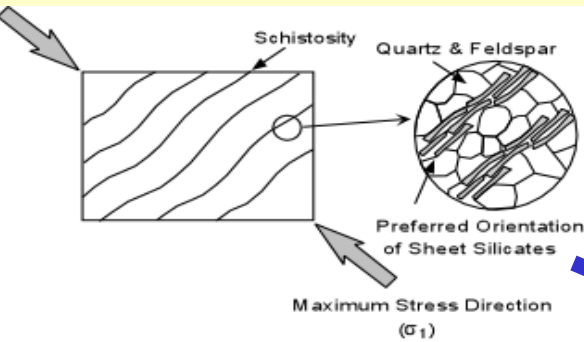
- dynamicko-termální metamorfóza
- vázaná na orogenezi
- metamorfovaná hornina je často výsledkem několika deformačních a metamorfních událostí
- Délka trvání regionální metamorfózy se počítá na desítky miliónů let zatímco kontaktní metamorfóza 10000 let.

metamorphic facies

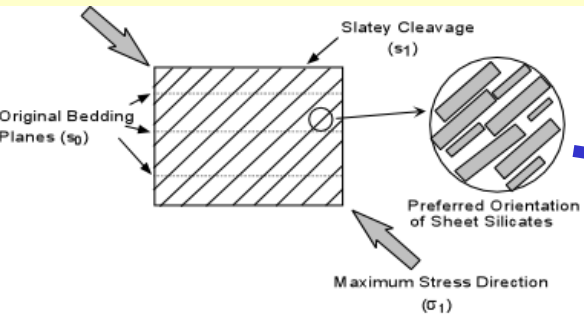


- Stavební změny v metapelitech s nárůstem metamorfózy

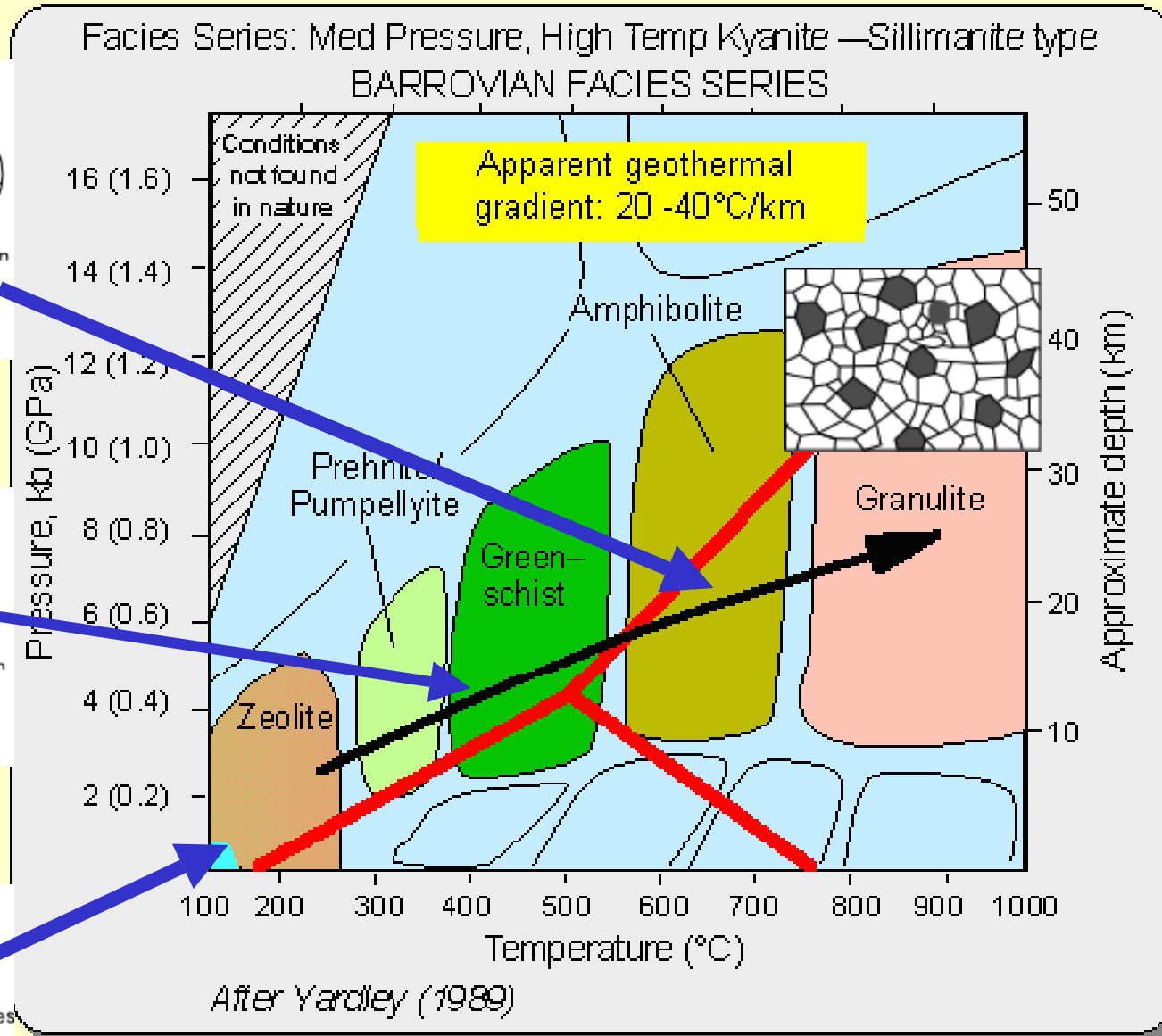
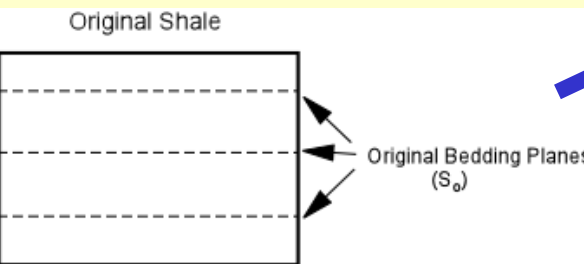
Rula



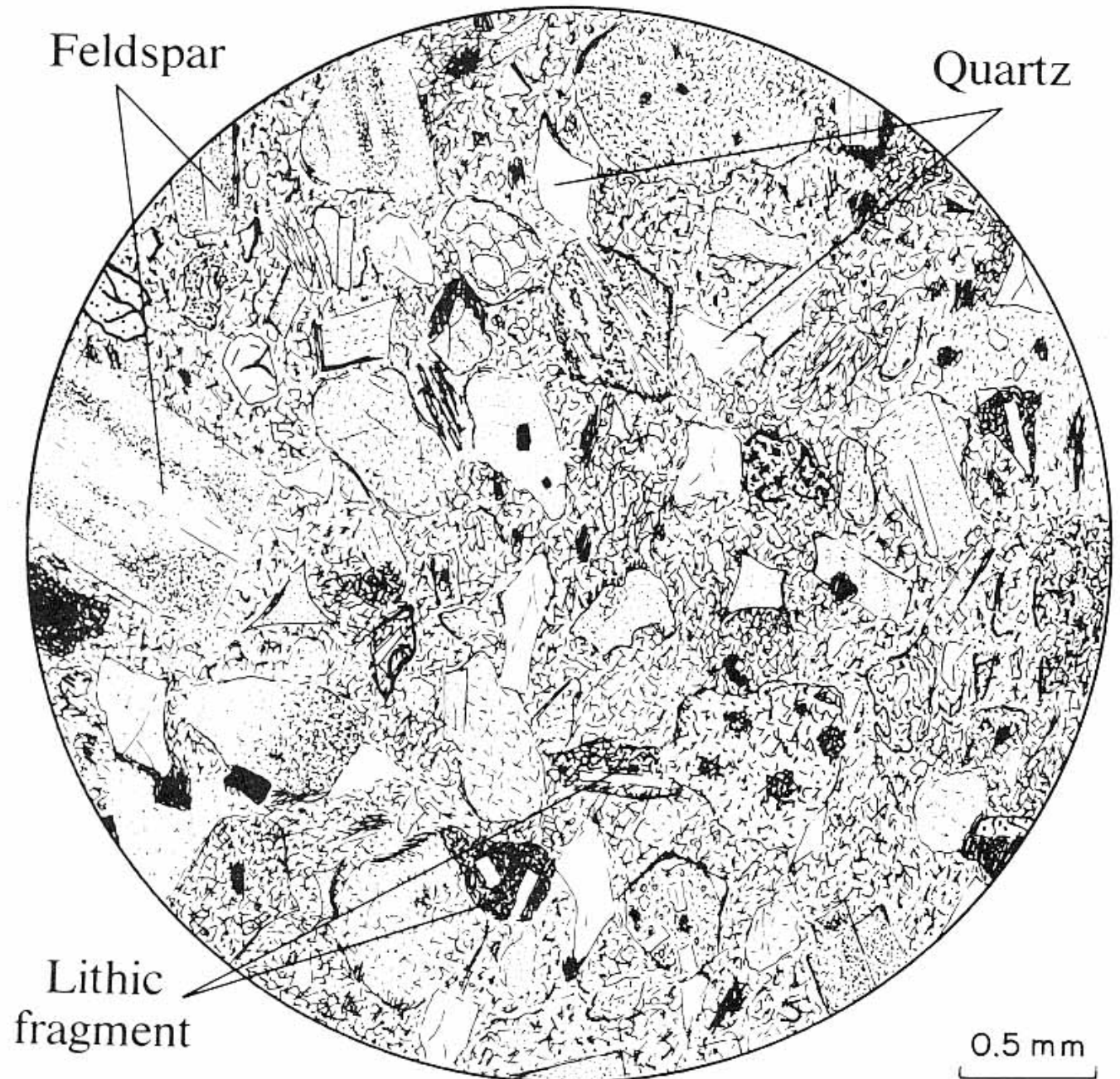
Fylit



Břidlice

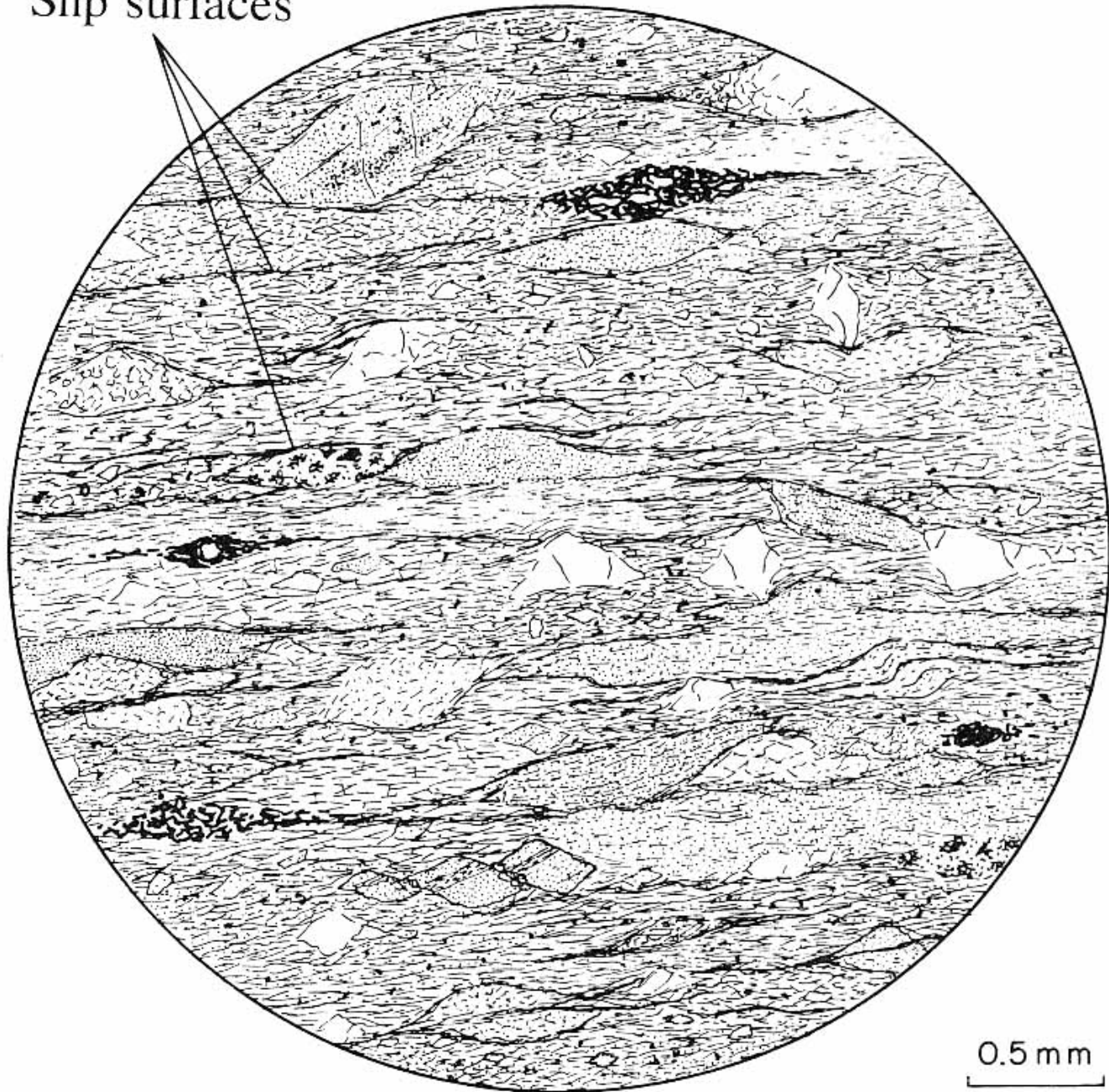


Původní hornina
složená z úlomků
minerálů a hornin.



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

Slip surfaces



Zeolitová facie

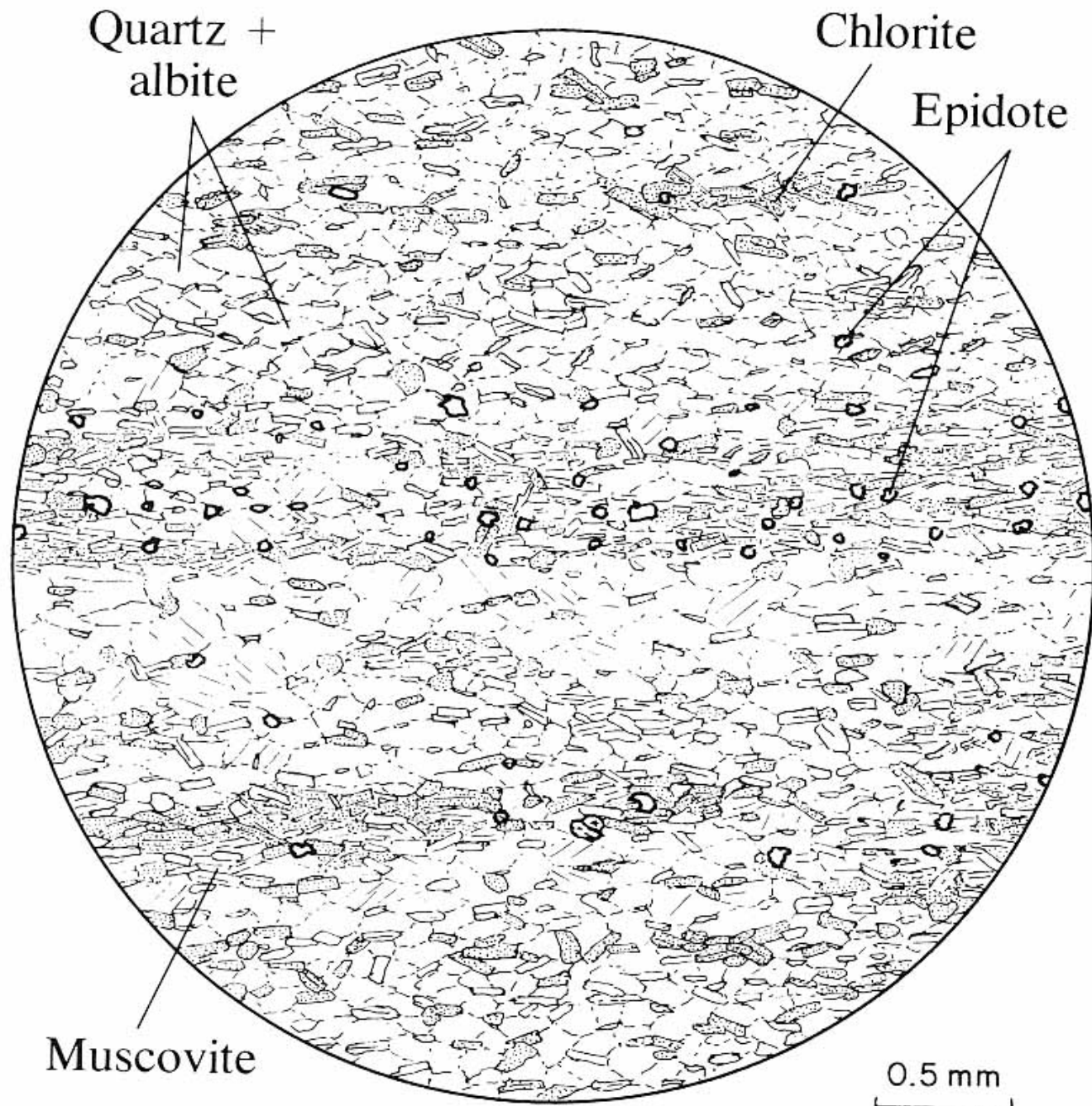
- 1) jílové minerály
rekrytalují
- 2) klasty jsou
deformovány
- 3) vzniká kliváž

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

0.5 mm

Facie zelených břidlic

- 1) rekrystalizace
- 2) vznik nových minerálů

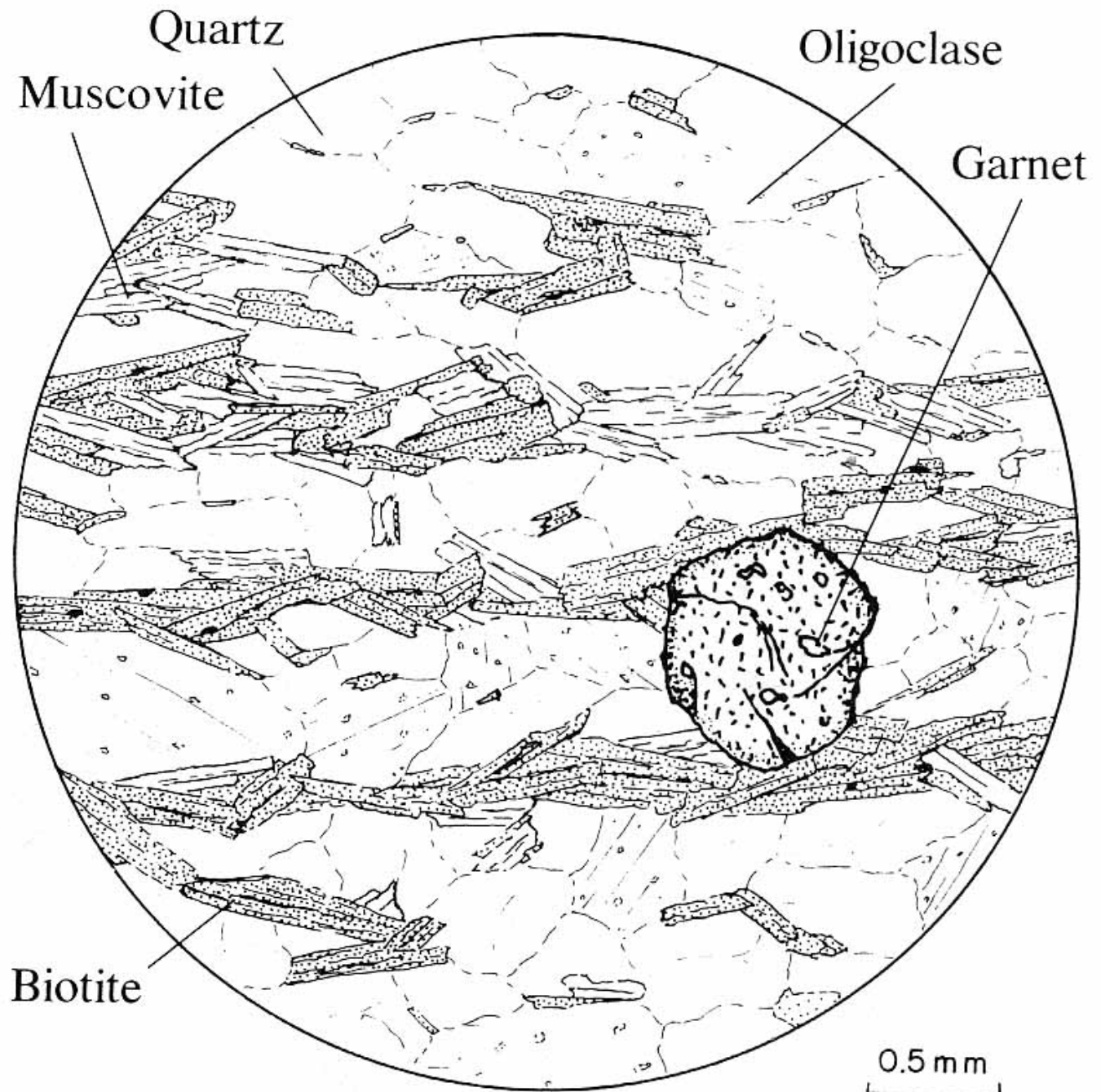


Progresivní syntektonická metamorfóza droby (Best (1982). *Igneous and Metamorphic Petrology*. W. H. Freeman. San Francisco).

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. – Klápová H. – Schulmann K. (1998): Metamorfnní petrologie
- Naprostá většina obrazového materiálu pochází z celé řady internetových stránek věnujících se metamorfnní petrologii