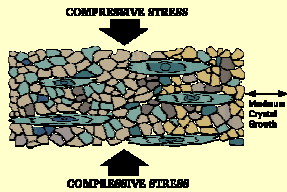


Petrologie G3021

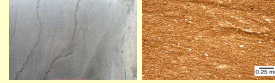
1a. Úvod do metamorfních procesů



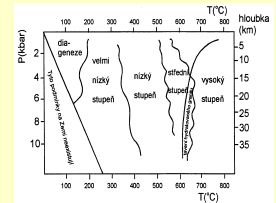
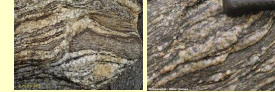
hornina - odráží **geologické procesy**
 -chemické složení
 -minerály
 -struktura

metamorfóza z řec. slova „metamorphosis“ (přeměna)

Hranice:
 diagenéze (asi 200 °C)



tavení (asi 650 °C – 1100 °C)

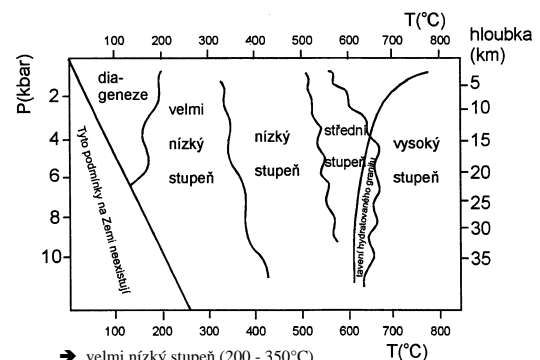
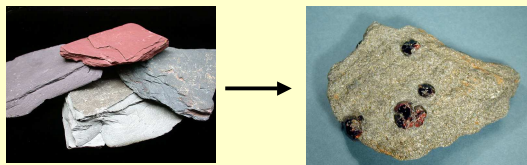


Schematický PT diagram s vyznačením polí pro různé stupeň metamorfózy (Konopásek et al. 1998).

1. Úvod do metamorfních procesů

Osnova:

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



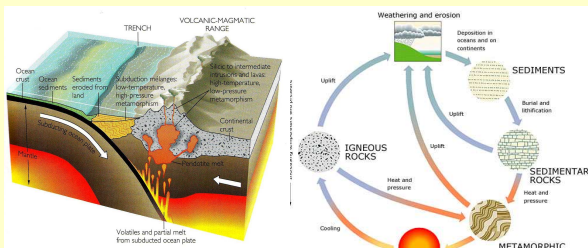
- ➔ velmi nízký stupeň (200 - 350°C)
- ➔ nízký stupeň (350 - 550°C)
- ➔ střední stupeň (550 - 650°C)
- ➔ vysoký stupeň (nad 650°C)

Horniny - odraz geologických procesů

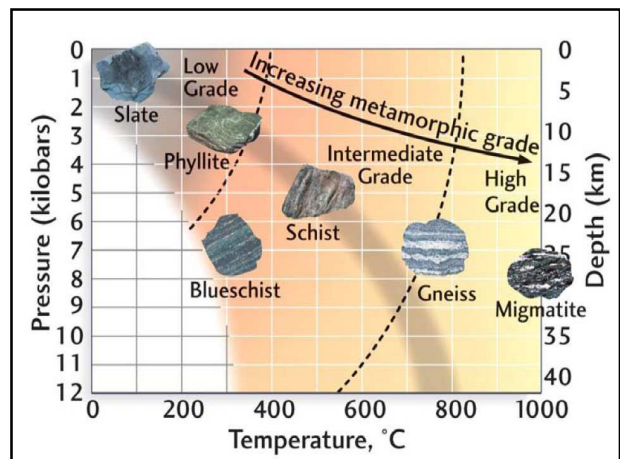
➢ sedimentární horniny = větrání+eroze, uložení, pohřbení a litifikace

➢ metamorfované horniny = vyšší P a T, rekrystalizace minerálů v pevném stavu

➢ magmatické horniny = tavení hornin v kůře/svr. plášti – krystalizace z taveniny



Horninový cyklus (Hutton 1785, 1795)



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 zvětřování 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.

Přeměny při metamorfóze

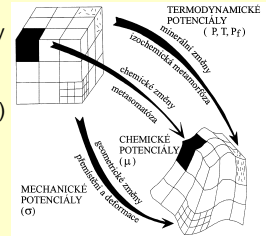
minerály a horniny jsou stabilní jen za podmínek za nichž vznikly

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) – ↑ T:
probíhají snadno a vesměs kompletně (s rostoucí teplotou roste rychlost reakcí), často uvolňují vodu – dehydratační

retrográdní (hydratační) – ↓ 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.)

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

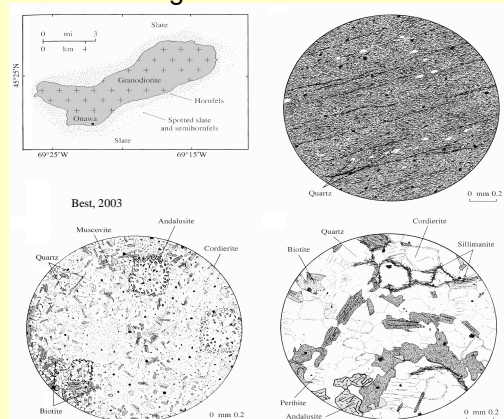
Metamorphism is a subsolidus process leading to changes in mineralogy and/or texture (for example grain size) and often in chemical composition in a rock.

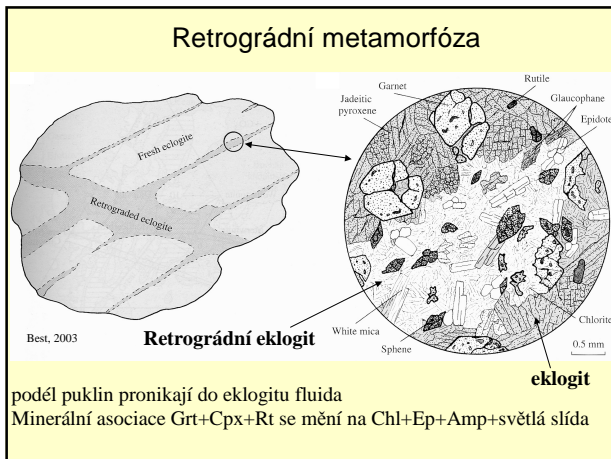
These changes are due to physical and/or chemical conditions that differ from those normally occurring at the surface of planets and in zones of cementation and diagenesis below this surface.

They may coexist with partial melting.

	TEXTURE	ROCK NAME	MINERALS PRESENT
FOLIATED	fine grained	SLATE	CLAY FAMILY
	medium grained	PHYLITE	CLAY FAMILY
	thick bedded	SCHIST	MICA FAMILY QUARTZ MAGNETITE/HEMLOCKITE FAMILY TELDUPANITE
	coarse grained	GNEISS	QUARTZ MAGNETITE/HEMLOCKITE FAMILY TELDUPANITE
	banded		
NONFOLIATED	very fine grained	HORNFELS	
	fine grained	QUARTZITE	
	medium grained	MARBLE	
	coarse grained	SERPENTINITE	CALCITE
	porphyritic		PEROVSKITE

Prográdní metamorfóza





Přeměny při metamorfóze

→ změny v chemismu

- isochemická metamorfóza
- metasomatóza

skarn

→ natavení (anatexe)

- magmatické horniny

migmatit

Přeměny při metamorfóze

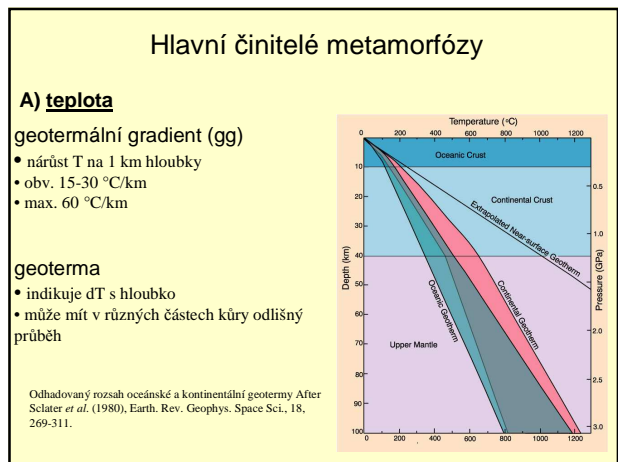
→ texturní (strukturní) změny

- změna velikosti zrna,
- deformace tvaru zrna,
- změny uspořádání minerálů (makrostavby – mikromikrostavby)

textura, struktura, stavba

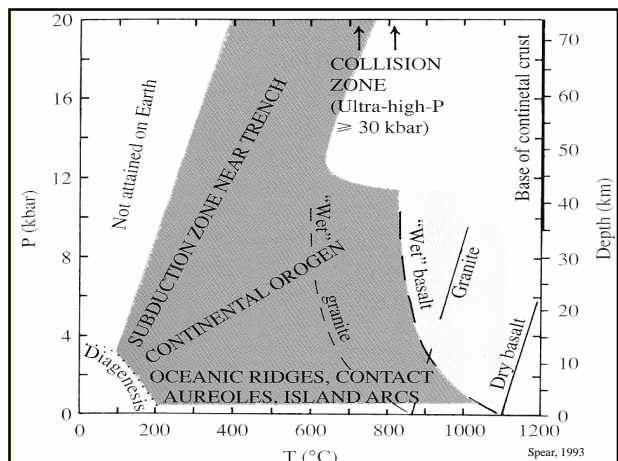
Důležité pojmy

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



Přeměny při metamorfóze

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

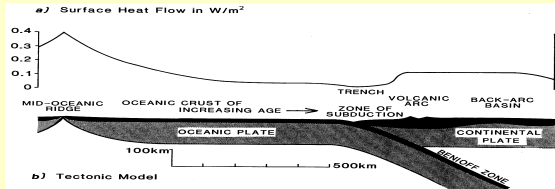


Hlavní činitelé metamorfózy

A) teplota

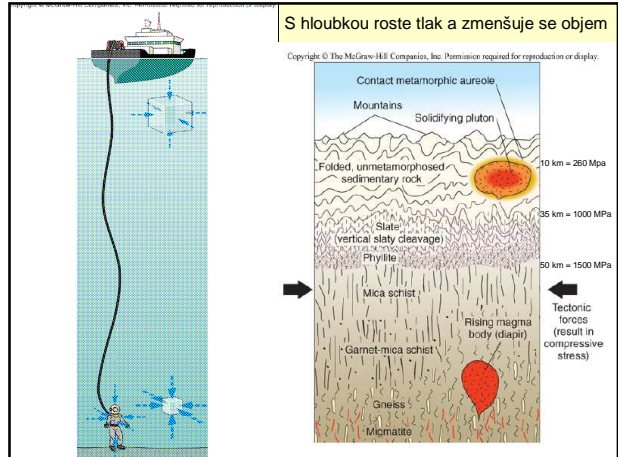
zdroje tepla

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



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

S hloubkou roste tlak a zmenšuje se objem

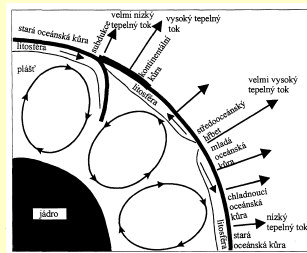


Přenos tepla:

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

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

c) **advекce** - pohyb určitého bodu v hornině přes tepelný gradient



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

$q = \text{konduktivní tepelný tok [Wm}^{-2}\text{]}$

$q = 40 \text{ mWm}^{-2}$ kratony;

$q = 60 - 150 \text{ mWm}^{-2}$ vulkanických oblouků

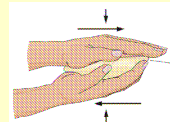
$q = Cp \cdot \delta \cdot dT/dh$, $Cp = \text{tepelná kapacita}$ $\delta = \text{hustota látky}$ $T = \text{teplota}$, $h = \text{hloubka}$

Hlavní činitelé metamorfózy

B) tlak

2) orientovaný tlak (stress)

- neovlivňuje fázové rovnováhy
- vznik orientované stavby v horninách
- kolem 10-150 Mpa, max. 700 Mpa



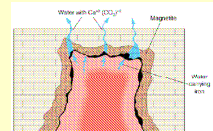
C) fluida

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



Hlavní činitelé metamorfózy

B) tlak

1) litostatický tlak (confining pressure, všesměrný)

důsledek zatížení horniny sloupcem hornin v jejím nadozří

$$P = \rho gh$$

ρ - hustota hornin nadozřího 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 0,25-0,3 kbar na 1 km hloubky = cca 1 kbar/3-4 km

používané jednotky: 1 bar = 10^5 Pa = 0,1 MPa

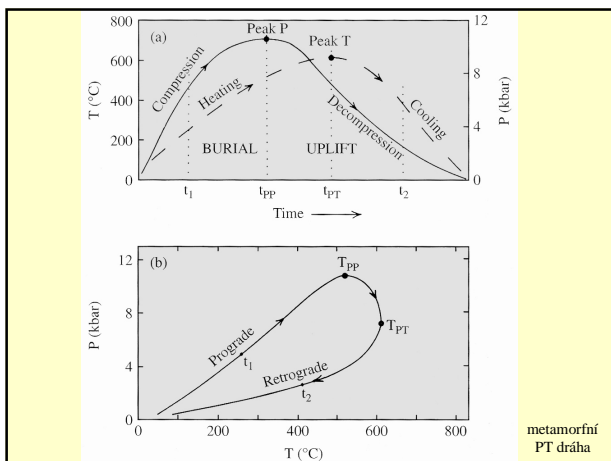
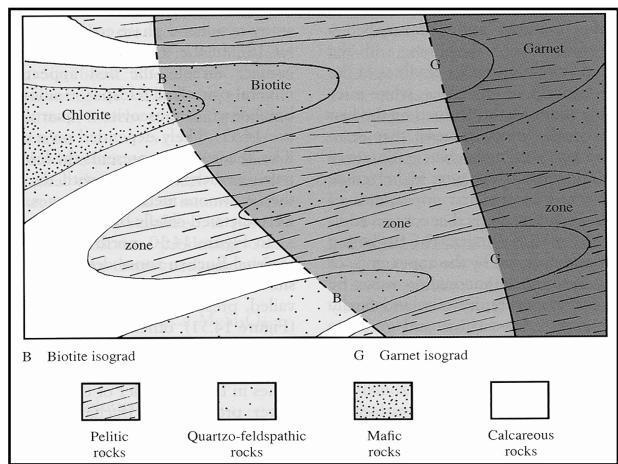
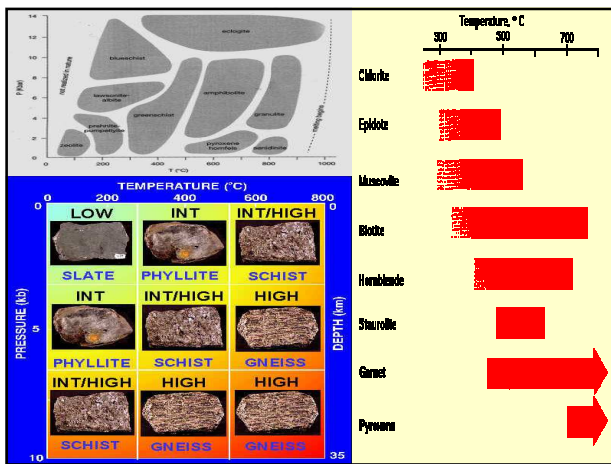
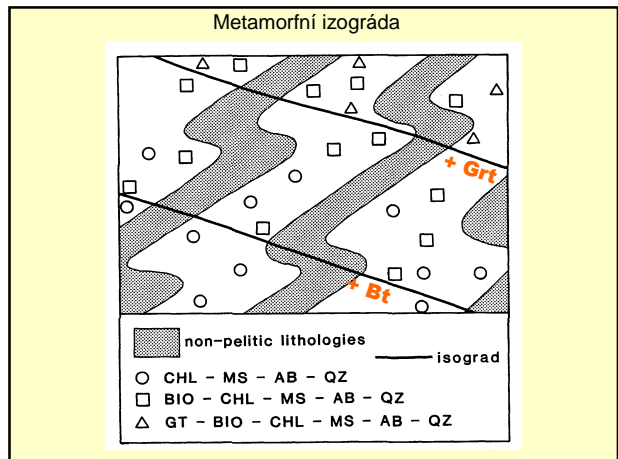
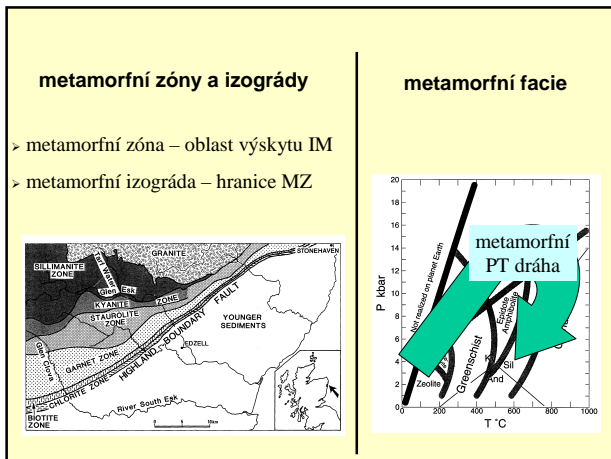
1 kbar = 0,1 GPa

mocnosti zemské kůry v km: oceanická – 5-10
kontinentální kratony – 35-40 (10 kbar)
kontinentální orogenní oblasti – 70-80 (20 kbar)
subdukční zóna - 100 (30 kbar)

Základní termíny

používané pro popis metamorfózy

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



Literatura

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