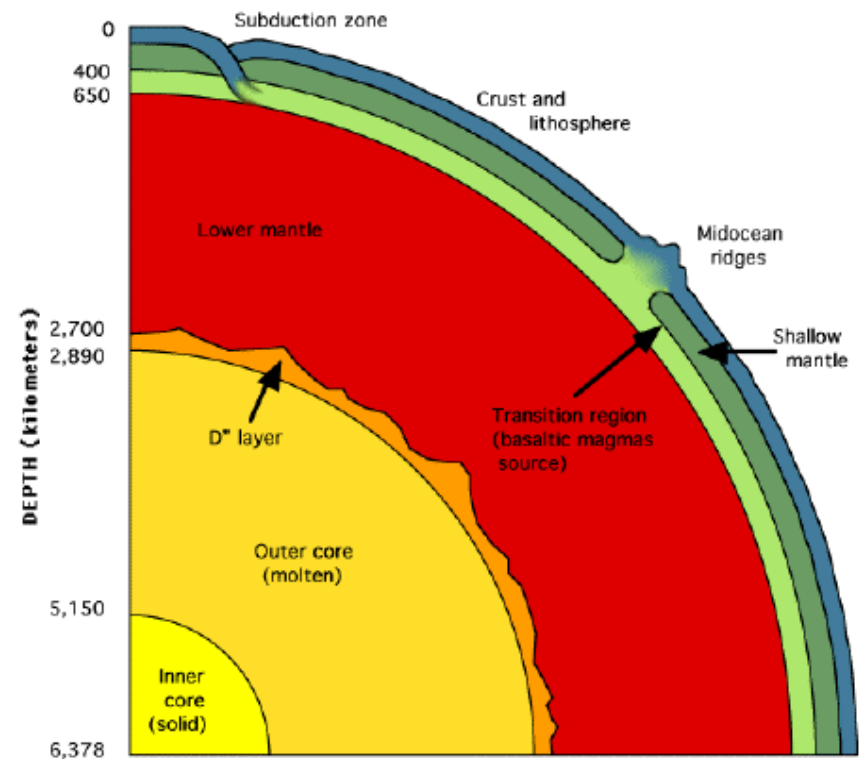


Geochemie endogenních procesů – 6. část

# Chemická diferenciace Země 1

# Struktura Země

- **jádro** – vnější, vnitřní (celková tloušťka 3490 km)
- **plášť** – tloušťka 2800 km a tvoří tak 62 % Země
- spodní, svrchní plášť, transiční zóny
- **kůra** – variabilní mocnost



# Vznik a vývoj Země

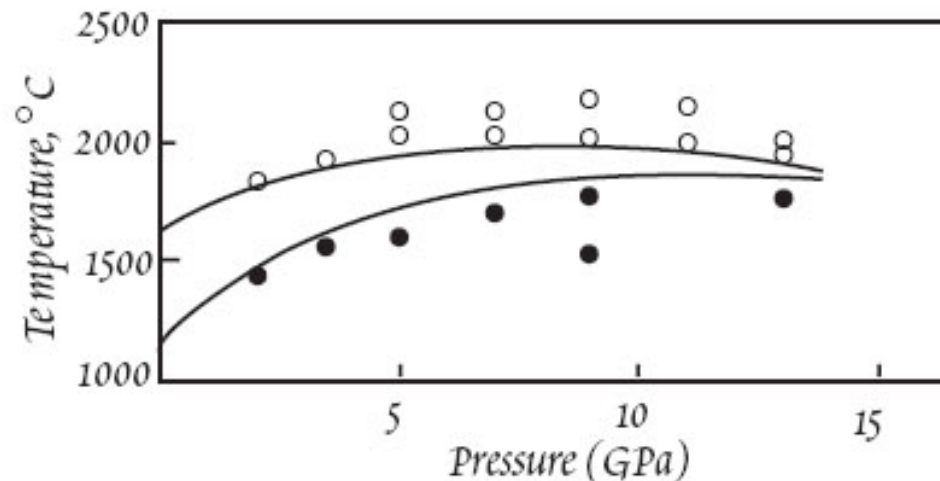
- akrece chondritického (C1) materiálu (4.567 Ga)
- během 50 Ma vytvoření Fe-Ni jádra
- 4.4-4.6 Ga → intenzivní diferenciacce
- 4.5 Ga → vychladnutí pláště
- 4.4 Ga → první “kontinenty”, 4.0 Ga první “oceány”

# Vznik a vývoj zemského jádra

- velmi rychlé vytvoření → pravděpodobně spolu s akrečními procesy
  - fyzikální modelování
  - gravitační energie v důsledku vytvoření jádra by byla schopna zvýšit teplotu Země o 2000 °C → nejstarší korové zirkony 4.1-4.4 Ga
  - velmi rychlé vytvoření jader asteroidů ( $^{107}\text{Pd} \rightarrow ^{107}\text{Ag}$ )

# Vznik a vývoj zemského pláště

- těsně po vzniku prodělala Země extenzivní tavení
  - gravitační energie uvolněná při akreci byla dostatečně velká na tavení celé Země
  - solidus a likvidus peridotitu mají při vysokých tlacích podobný průběh

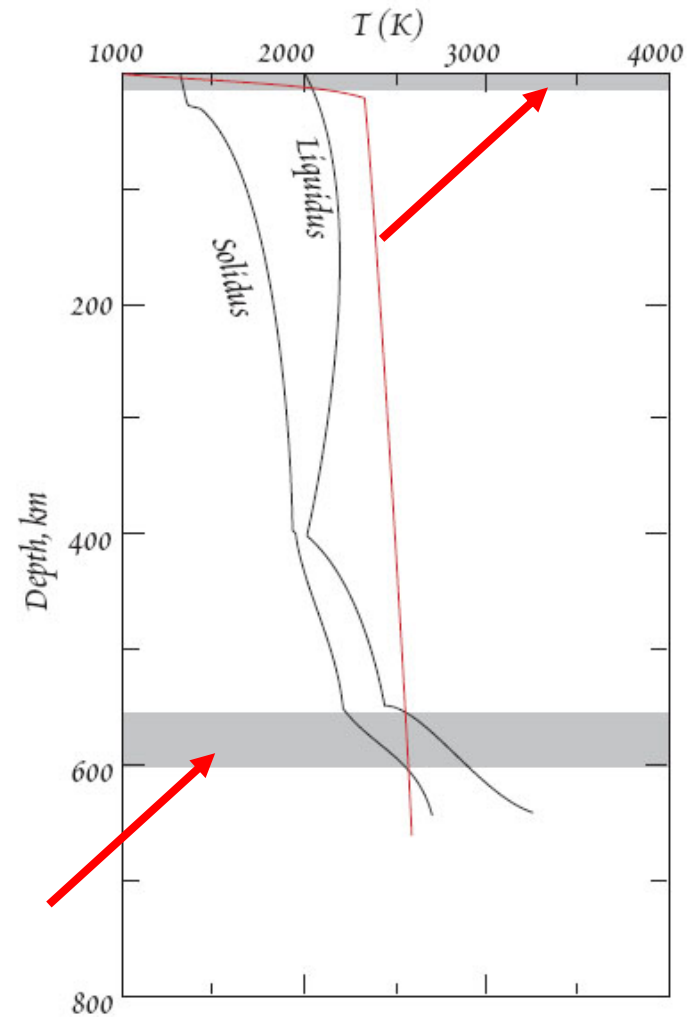


# Vznik a vývoj zemského pláště

- velký vliv měl  
pravděpodobně navíc  
i „**velký impakt**“
- v důsledku  
extenzivního tavení  
vznikl  
pravděpodobně  
„**magma ocean**“
- vznik chemicky  
stratifikovaného  
pláště?

# Model vývoje zemského pláště

1. chladnutí „oceánu“  
→ vytvoření prvotní kůry
2. ve spodních částech krystalizace perovskitu → ochuzení taveniny o Si-Ti, obohacení o Na-Ca-Al
3. krystalizace olivínu a jeho nabohečení ve svrchním plášti



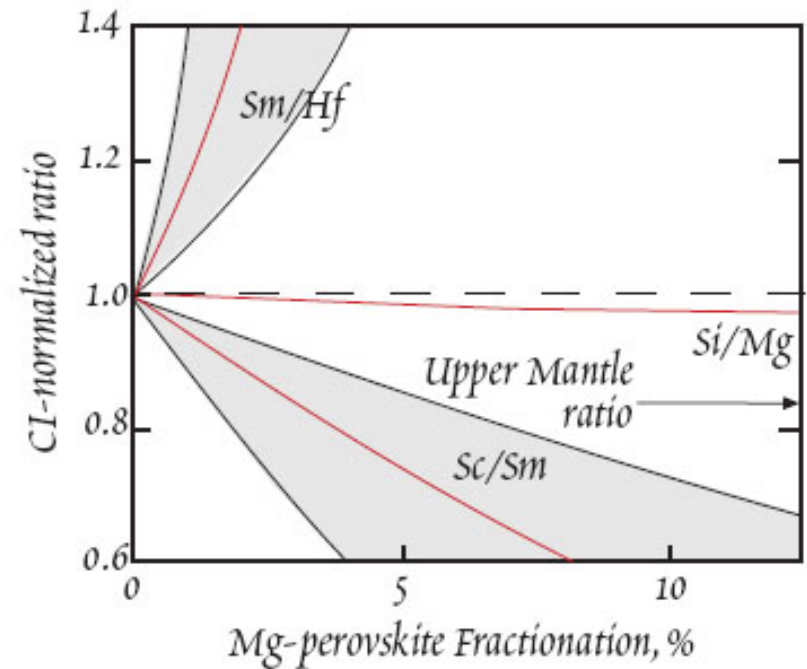
White (2001)

# Model vývoje zemského pláště

4. krystalizace granátu (majoritu) a jeho nabohacení ve spodním plášti (ochuzení svrchního pláště o Al-HREE)

## ALE

- experimenty s perovskitem ukazují na odlišnou frakcionaci (Hf-Sc) než vidíme ve svrchním plášti....
- konvekce byla možná příliš rychlá na uplatnění gravitační diferenciaci.....



White (2001)

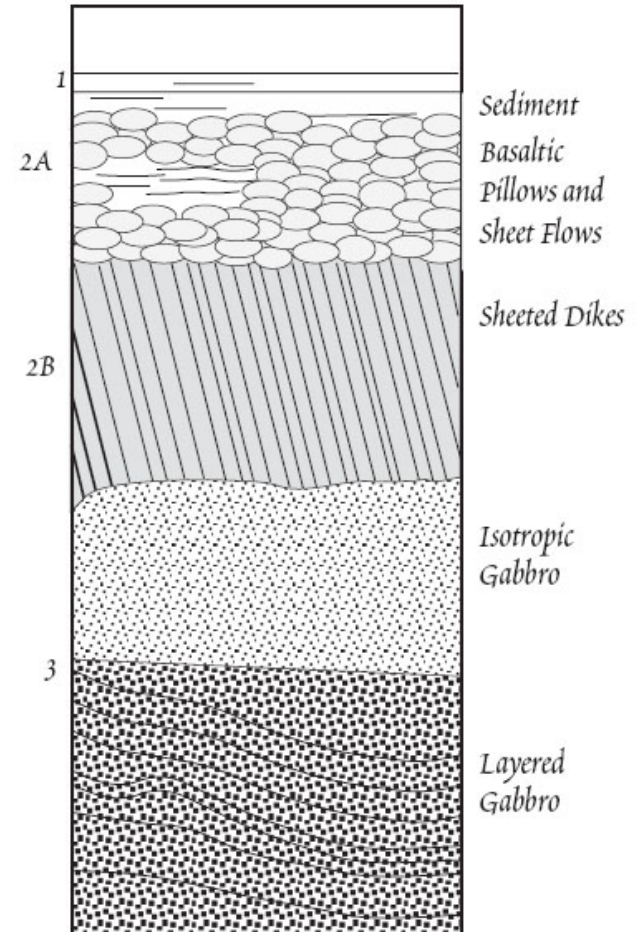


# Vznik a vývoj zemské kůry

- vznik magmatickým procesem spjatým s pláštěm
- prvotní kůra vznikla krystalizací „magma ocean“ → pravděpodobně bohatá na plg jako na Měsíci (anortozit) → max. 30 km
- 2 typy kůry
  - **oceánská** – vznik tavením na středooceánských hřbetech
  - **kontinentální** – velmi komplexní vznik a vývoj (subdukce, intradeskový magmatismus atd.)

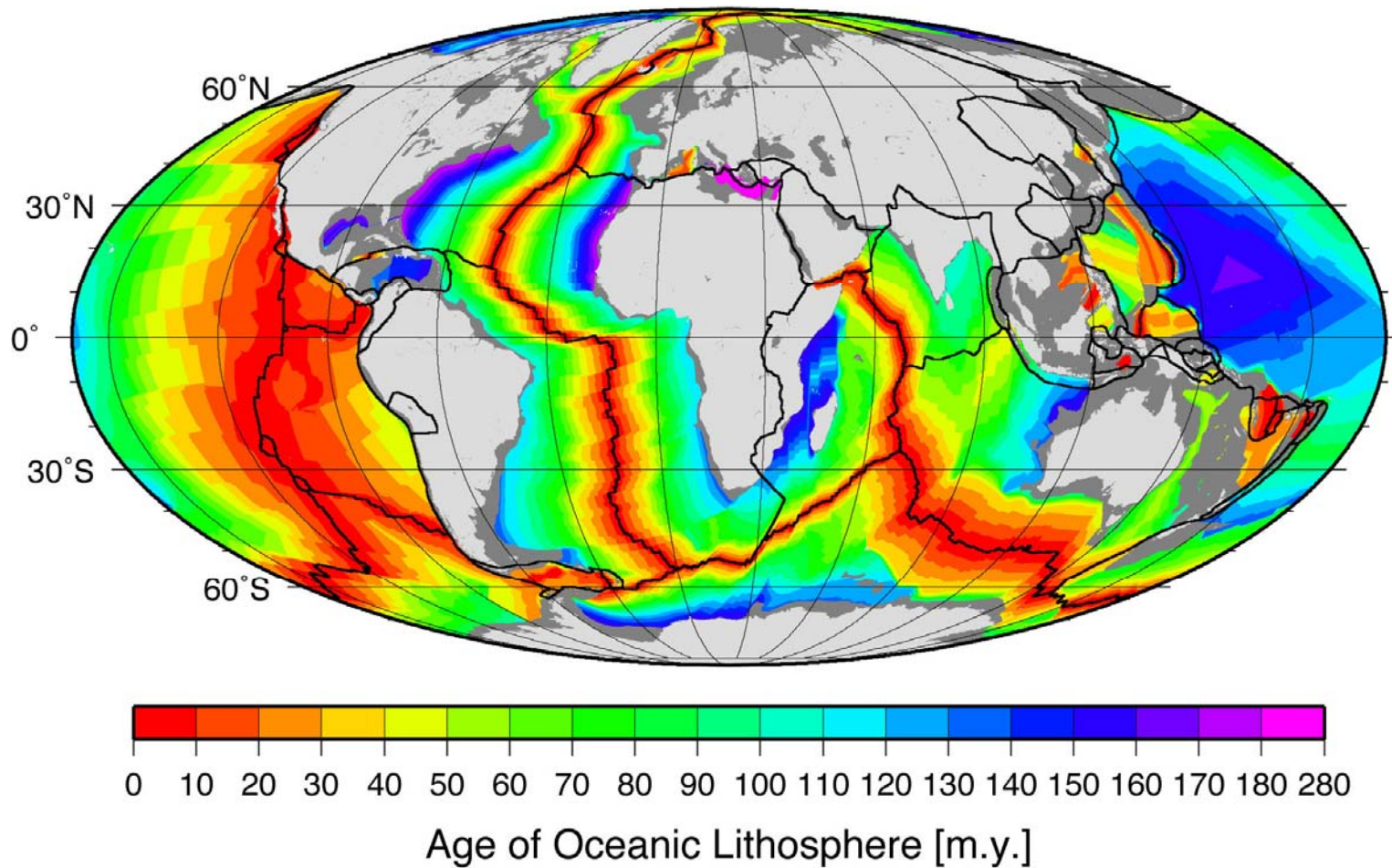
# Vznik a vývoj oceánské kůry

- bazaltická kůra vytvořená magmatismem na MOR
- průměrná tloušťka cca. 6 km
- primitivní složení
- bohatá Mg-Fe, chudá Si



White (2001)

# Vznik a vývoj oceánské kůry



# Vznik a vývoj kontinentální kůry

- komplexní vznik a vývoj přirůstání kůry → magmatismus spojený se subdukcí, rifty, metamorfóza atd.
- extrémně heterogenní složení
- velmi proměnlivé stáří až X Ga
- mocnost až X00 km
- spodní, střední, svrchní kůra

# Vznik a vývoj kontinentální kůry

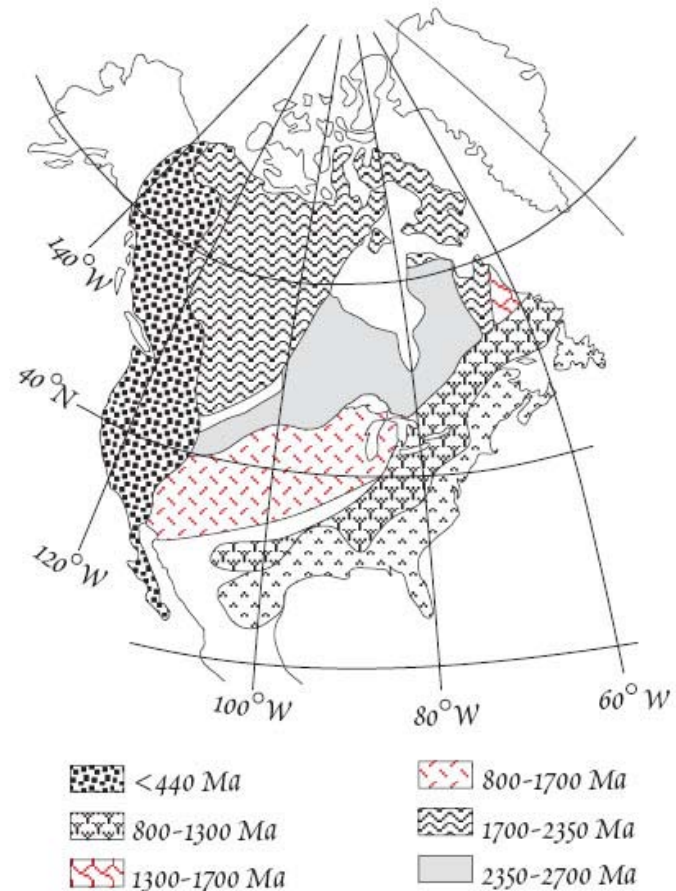
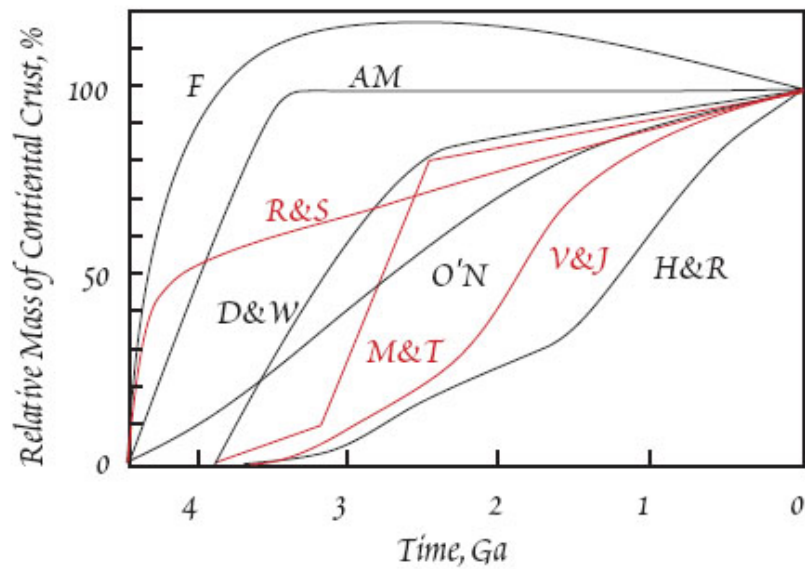


Figure 12.34. Age provinces of the North American continent (after Hurley and Rand, 1969).

# Magma

- **TEPLOTA** : 590 °C (H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>) – 1500 °C (suché taveniny)
- **HUSTOTA** : závisí na obsahu H<sub>2</sub>O
  - *suché bazalty* 2,6 - 2,8 g\*cm<sup>-3</sup>
  - *andezity* 2,4 - 2,5 g\*cm<sup>-3</sup>
  - *granity* 2,2 - 2,3 g\*cm<sup>-3</sup>
- **VISKOZITA** : struktura tavenin a přítomnost volatilních složek (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> (95 %), HCl, H<sub>2</sub>S, SO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, S, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, HF, F, Cl, vzácné plyny atd.)

# Vznik magmatu

- **svrchní plášť** – drtivá většina vzniklých magmat → parciální (částečné) tavení peridotitu, v drtivé většině lherzolitu (více než 5 % klinopyroxenu), intenzita se určuje *stupněm parciálního tavení  $F$  (%)*
- **svrchní a spodní kůra** – klíčovou roli hraje voda a rozpad OH minerálů, pouze omezené množství tavenin

# Vznik magmatu

- **divergentní okraj** – oceánská litosféra
- **transformní zlomy** - oceánská litosféra
- **konvergentní okraj** – na hranicích styku litosferických desek (oceán-oceán, oceán-kontinent) → **subdukce**
- **intradeskový magmatismus** – oceánská i kontinentální litosféra



# Tavení svrchního pláště

- dekompresní tavení → adiabatický výstup pláště
- složení peridotitu (lherzolit → ANO, harzburgit → VELMI TĚŽKO, dunit → NE)
- snížení teploty likvidu (obsah  $H_2O$ ,  $CO_2$  apod.)
- zvýšený tepelný tok
  - riftové oblasti
  - plášťové chocholy
- impaktové procesy

# Tavení svrchního pláště

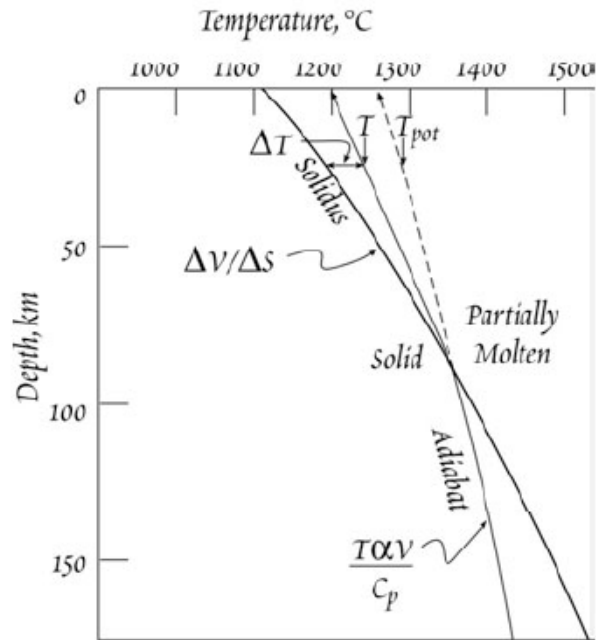
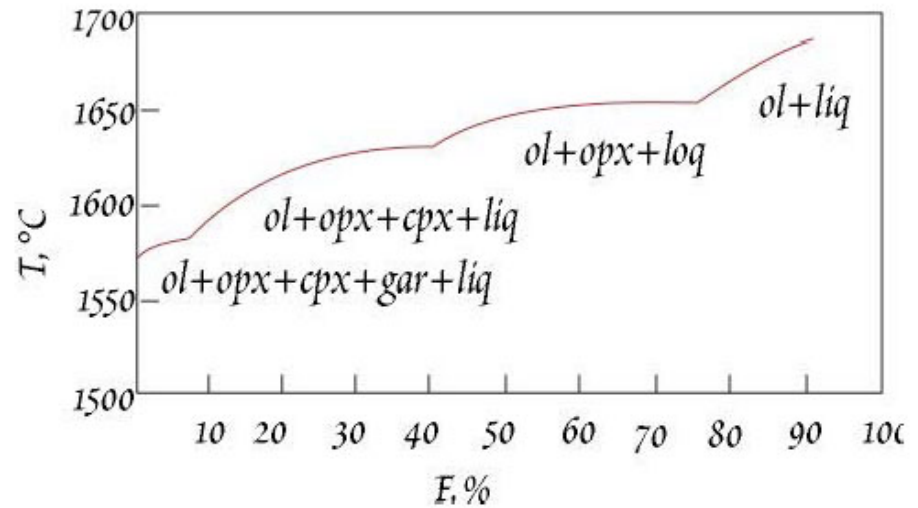


Figure 7.24. Representation of melting of an ascending packet of mantle in temperature and pressure space. Below the solidus, the mantle rises along the adiabat. Once packet intersects the solidus, the T-P path of the mantle packet is deflected by  $\Delta T$ .

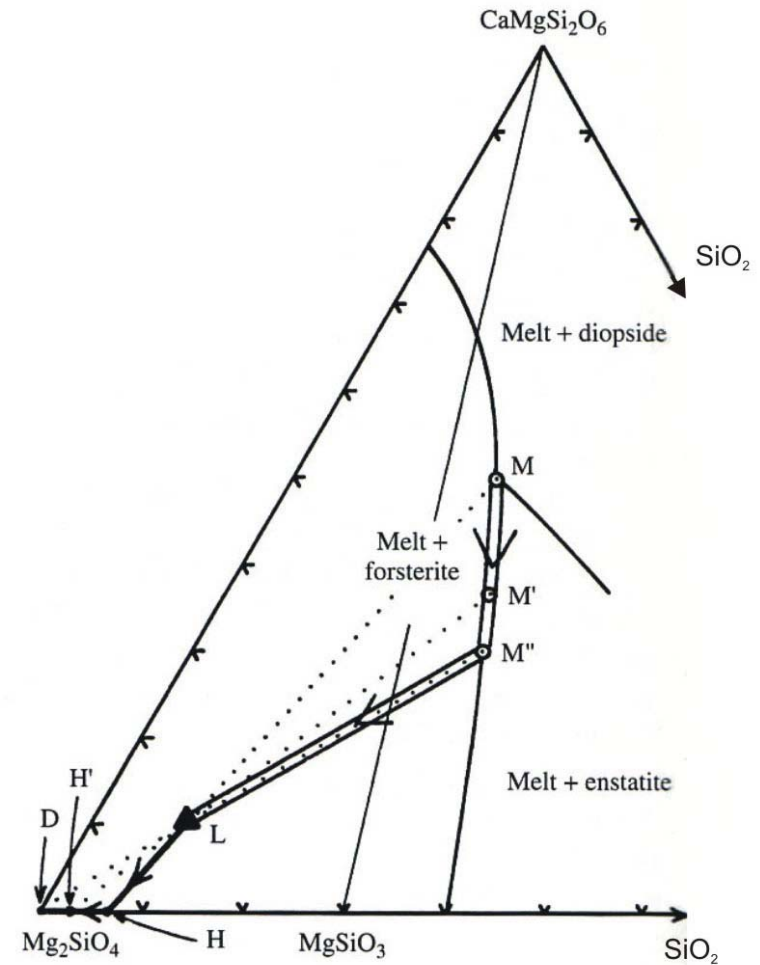


# Parciální tavení svrchního pláště

- **dávkové (batch) rovnovážné tavení** – nejpravděpodobnější, málo propustné prostředí, tavenina se oddělí až po jejím nashromáždění
- **frakční (fractional) nerovnovážné tavení** – pravděpodobně pouze v omezené míře v nižších hloubkách, silně propustné prostředí

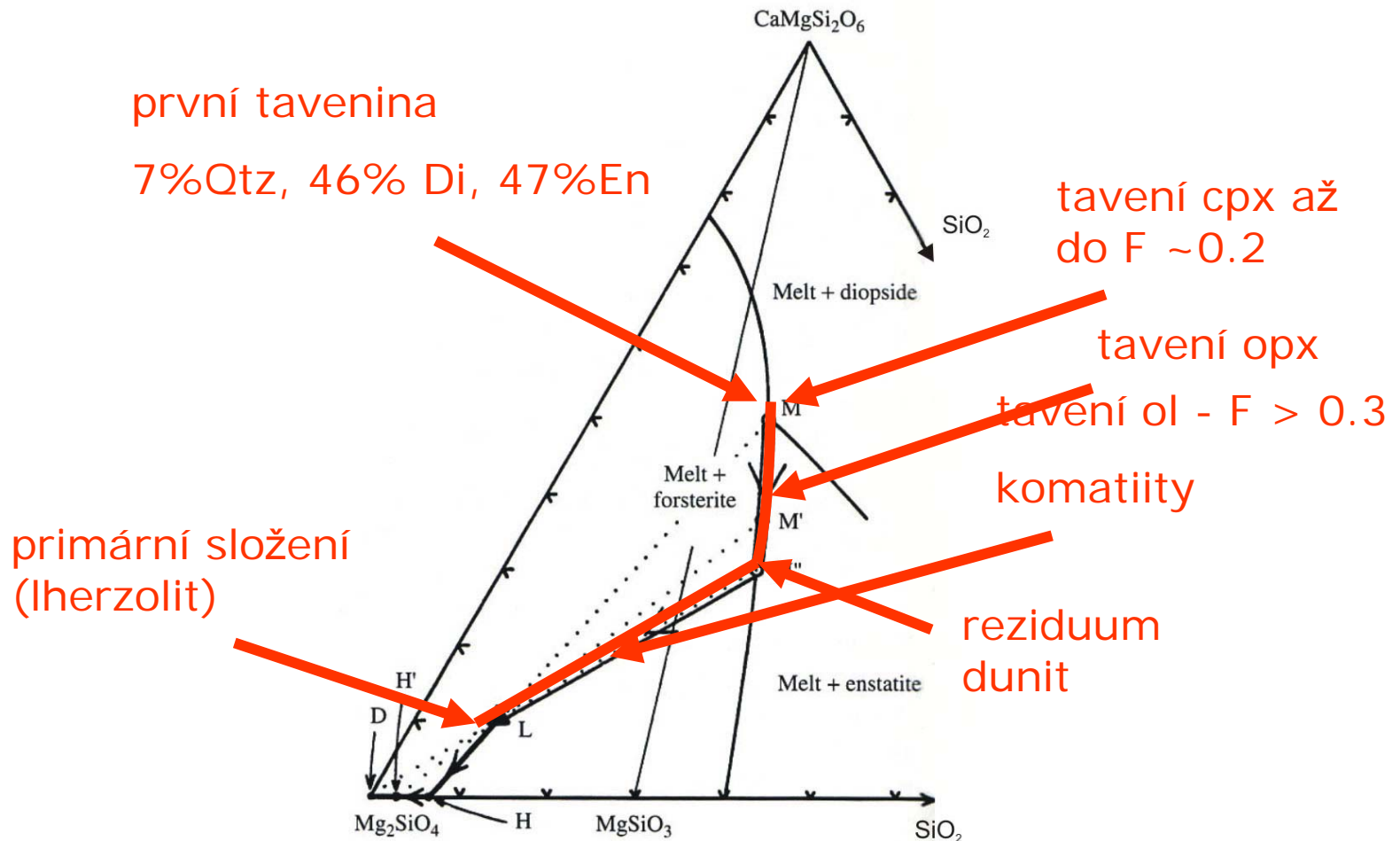
# Dávkové (batch) parciální tavení Iherzolitu

- tavenina je v ekvilibriu z residuem
- neustálá interakce taveniny s residuem
- vratný proces



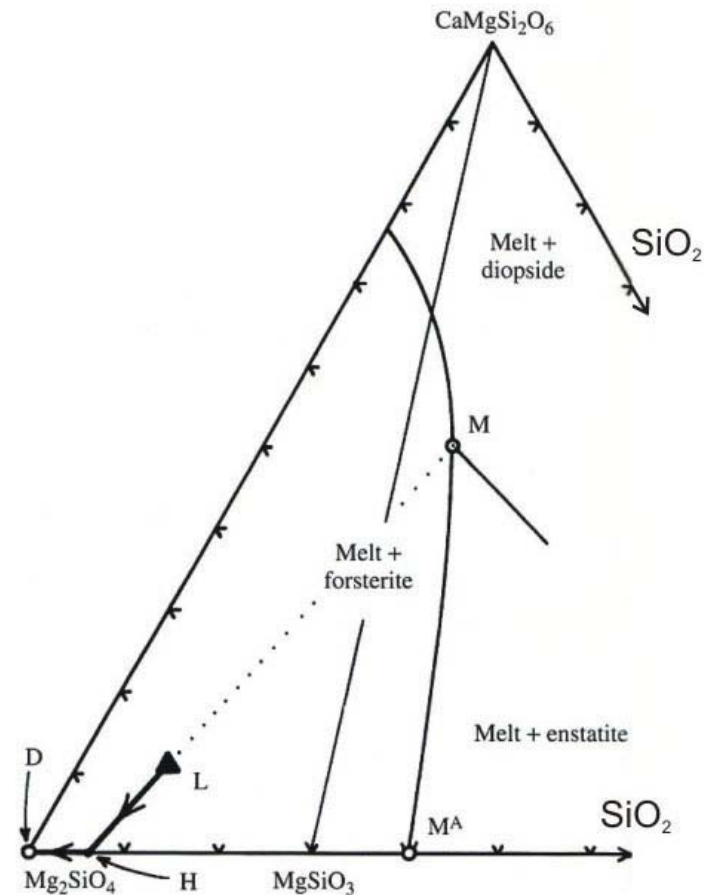
*Best (2006)*

# Dávkové (batch) parciální tavení lherzolitu

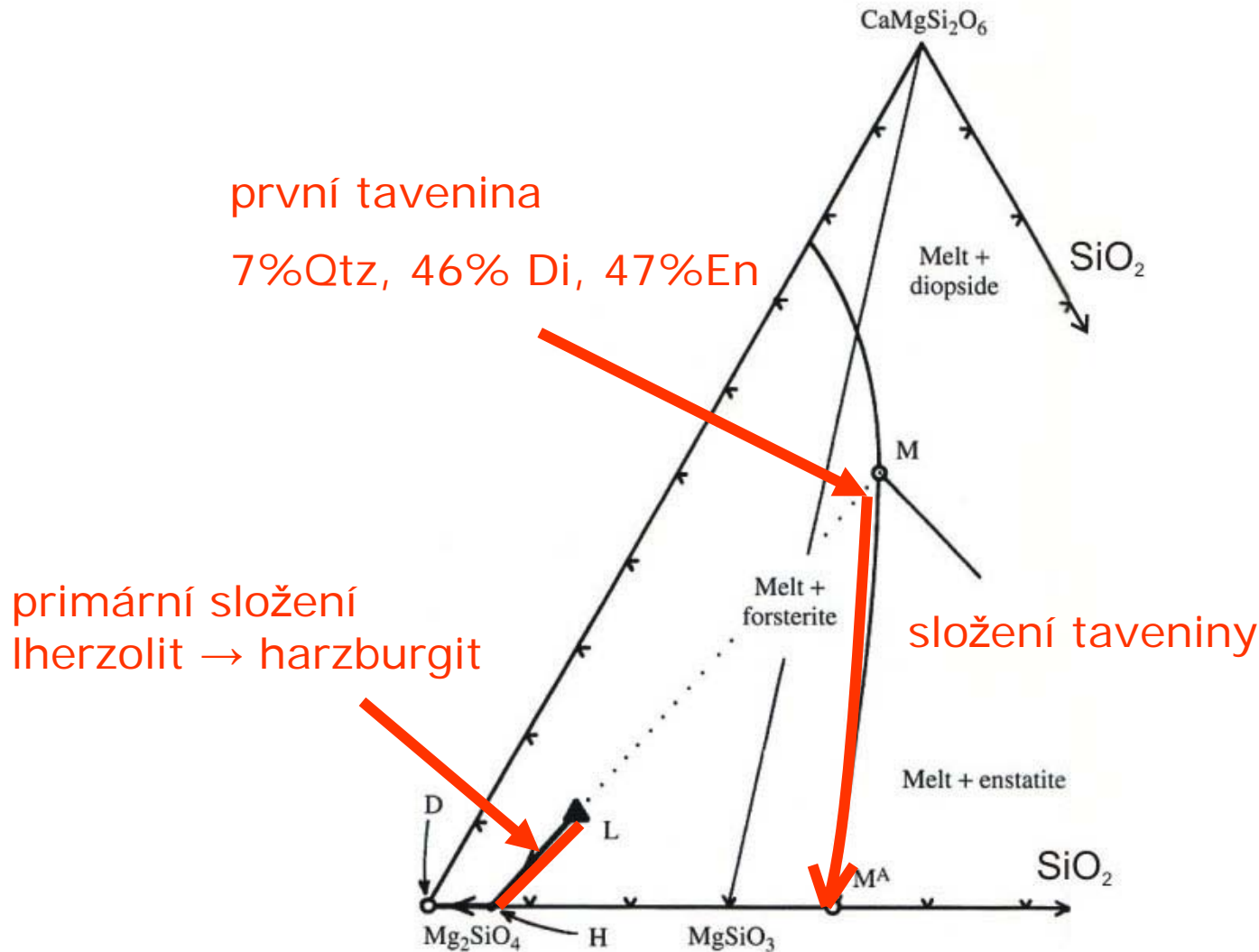


# Frakční tavení lherzolitu

- tavenina okamžitě oddělena od rezidua
- změna zdrojového materiálu při frakcionaci
- nevratný proces

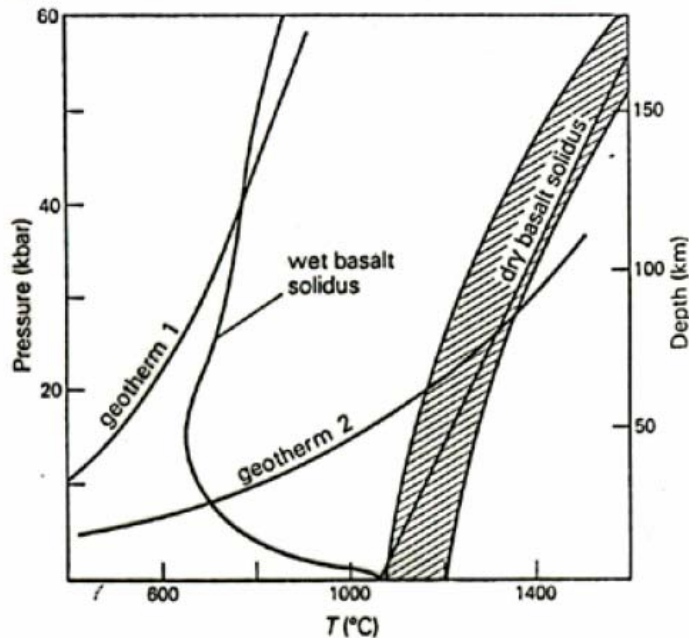


# Frakční tavení lherzolitu

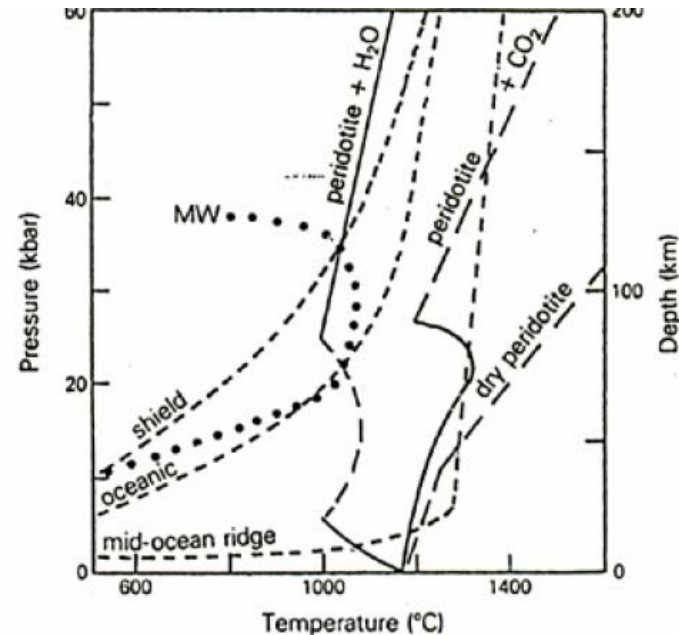


# Tavení svrchního pláště

## Role vody



**Figure 6.9** Solidi for basic rocks under anhydrous and water-saturated conditions. The shaded area represents the range of andesite liquidus temperatures. Geotherms 1 and 2 are two possible thermal gradients within the upper part of the subducted slab. Geotherm 1: a cold slab model in which the upper part of the slab is cooled by endothermic dehydration reactions. Geotherm 2: a warm slab model in which the upper surface of the slab is heated by frictional effects. (After Gill 1981, Fig. 8.1, p. 232).



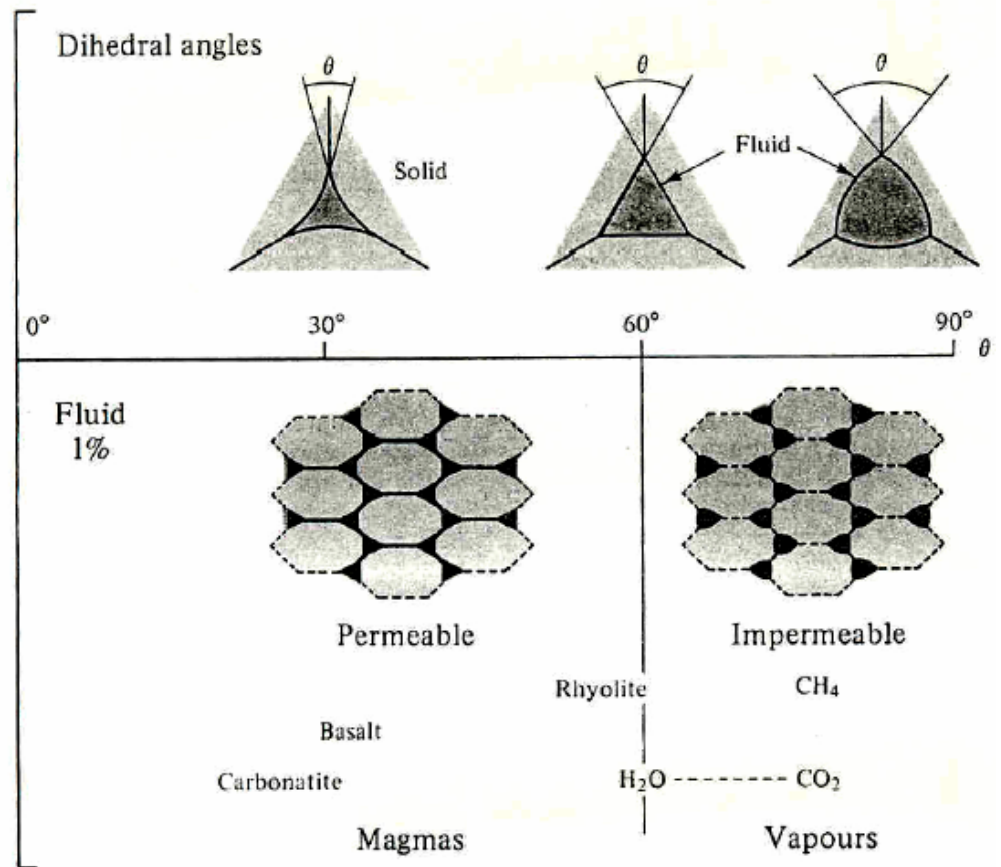
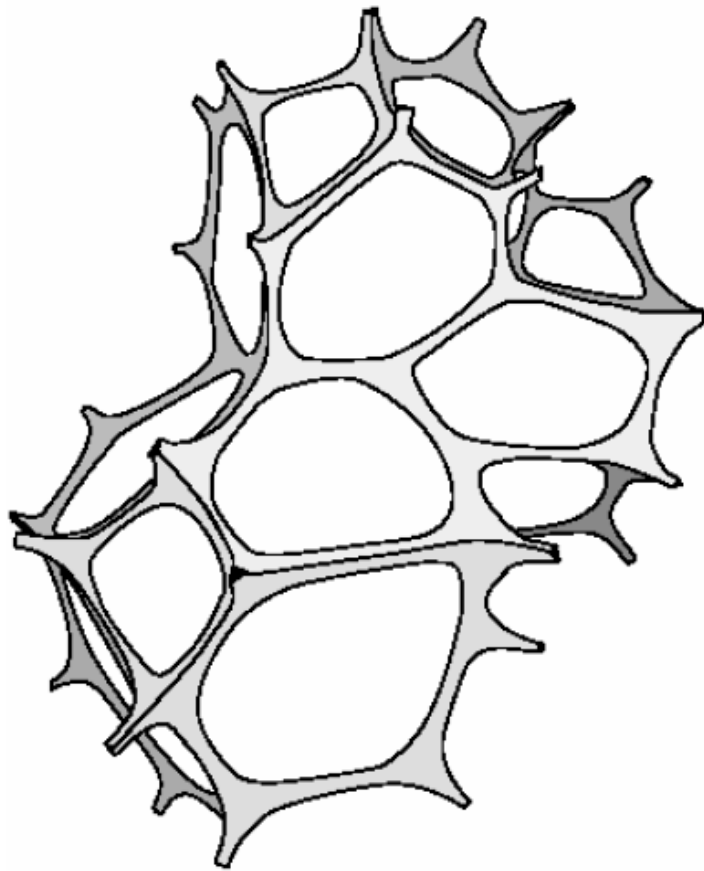
**Figure 6.10** Peridotite (lherzolite) solidi in the presence of  $H_2O$  (0.4%) and  $CO_2$  (5%) compared to the anhydrous (dry) solidus. Note that these volatile contents are not necessarily sufficient to generate a free vapour phase. The solid lines depict those portions of the solidi with a coexisting vapour phase. The short dashed lines are schematic shield, oceanic and mid-oceanic ridge geotherms. The dotted line MW represents the geothermal gradient in the mantle wedge beneath the arc in Figure 6.8 (after Wyllie 1981, Fig. 3).



# Oddělení taveniny

- míra oddělení taveniny ze systému závisí na propustnosti prostředí a na stupni „smáčivosti“ (povrchové napětí mezi zrnem a taveninou) fází
- dihedralní úhel → úhel vytvořený taveninou na triple-junction
  - úhel =  $0^\circ$  → tavenina vytvoří pouze film
  - úhel 0 až  $60^\circ$  → tavenina vytvoří navzájem propojené kanálky
  - úhel  $> 60^\circ$  → tavenina tvoří izolované kapsy

# Oddělení taveniny



# Faktory ovlivňující chemismus tavenin

- tlak
  - vyšší P → menší množství SiO<sub>2</sub>, více Na<sub>2</sub>O
  - více alkalická magmata
- obsah CO<sub>2</sub> (stejně jako P)
- obsah H<sub>2</sub>O (opačný efekt)
- stupeň parciálního tavení (F)
  - <10 % alkalické basalty
  - 10-25 % basalty
  - > 25 %, pikrity, komatiity

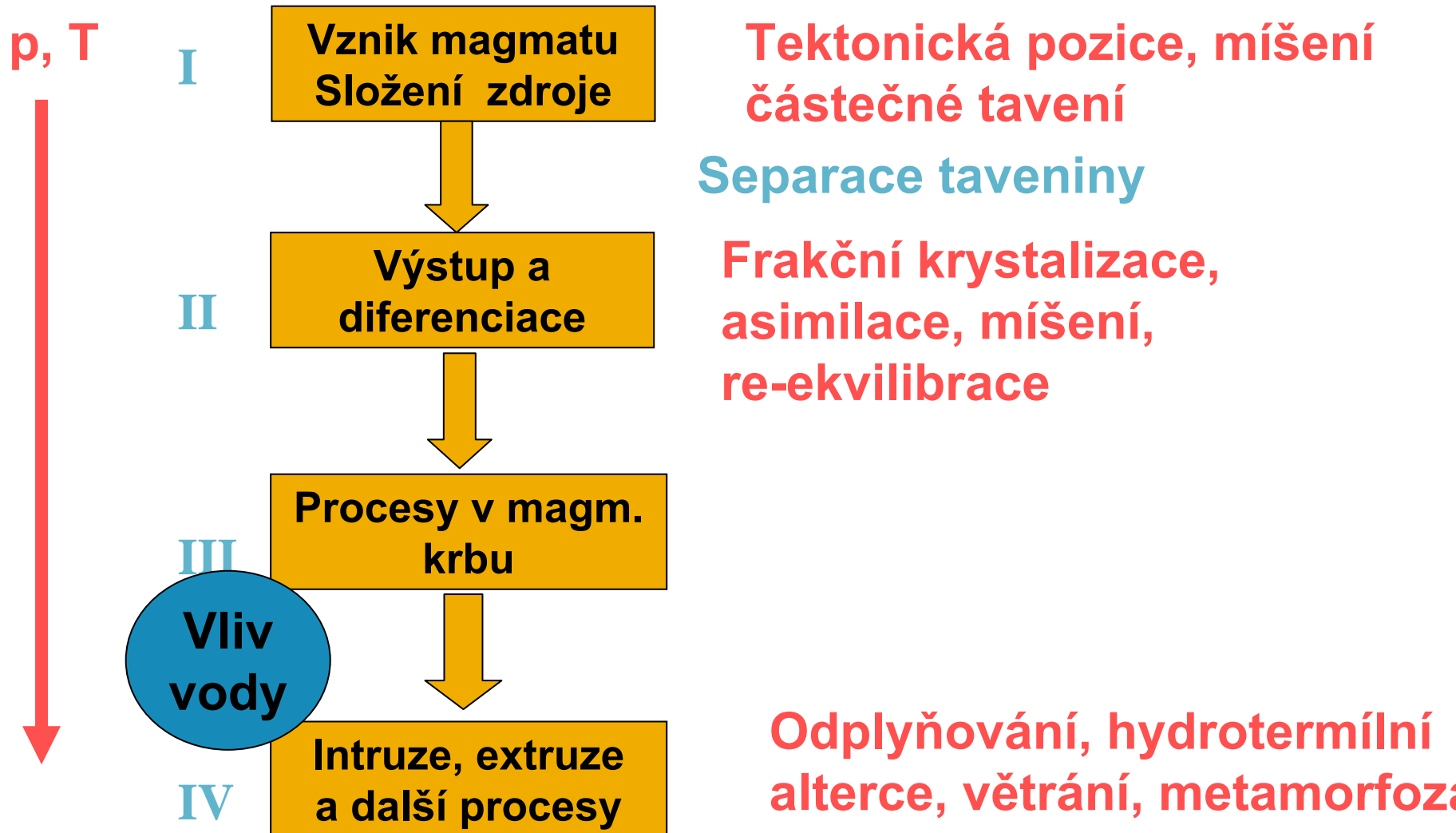
# Faktory ovlivňující chemismus tavenin

- rozpustnost většiny volatilií je závislá na  $P$  a  $T \rightarrow$  snížení tlaku  $\rightarrow$  snížení rozpustnosti volatilií a rostoucí tendence magmatu k odplynění
- s klesající  $T$  roste rozpustnost  $\text{CO}_2$  ve většině silikátových tavenin
- klesající obsah  $S$  souvisí s redukcí teploty
- rozpustnost  $\text{CO}_2$ ,  $\text{S}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  a  $\text{Cl}$  také závisí na složení taveniny přičemž  $\text{Ca-Mg-Fe}$  a alkálie zvyšují rozpustnost

# Tavení kůry

- **dekomprese** – výstup korového materiálu (např. při exhumaci orogénů)
- **zahřátí** - prohřátí v důsledku orogeneze apod.) → rozpad OH- minerálů (slídy, amfibol apod.) → snížení T likvidu a následné tavení, intradeskové tavení (dacity-ryolity)
- **přidání vody nebo dalších volatilních komponent (např. B-F apod.)** → snížení T likvidu a následné tavení

# Magmatický proces



# Magmatický proces

- v každém kroku magmatického procesu dochází ke změnám složení taveniny a přerozdělení chemických prvků
  - rovnováha - tavenina-reziduum, tavenina-okolí
  - složení - závislé na charakteru zdroje a rozsahu
  - zdroj - nejlepší charakteristika pomocí izotopických poměrů (nejsou ovlivňovány během tavení a procesů v krbu), ostatní prvky distribuce závislá na P-T, přítomnosti fluid a dalších procesech ovlivňujících krystalizaci magmatu

# Chemické prvky v taveninách

- **Hlavní** -  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}^-$ , LOI
- **Stopové** - koncentrace *nižší než 0.5 %* → nejdůležitější pro geochemii (např. LILE, HFSE, HSE atd.)