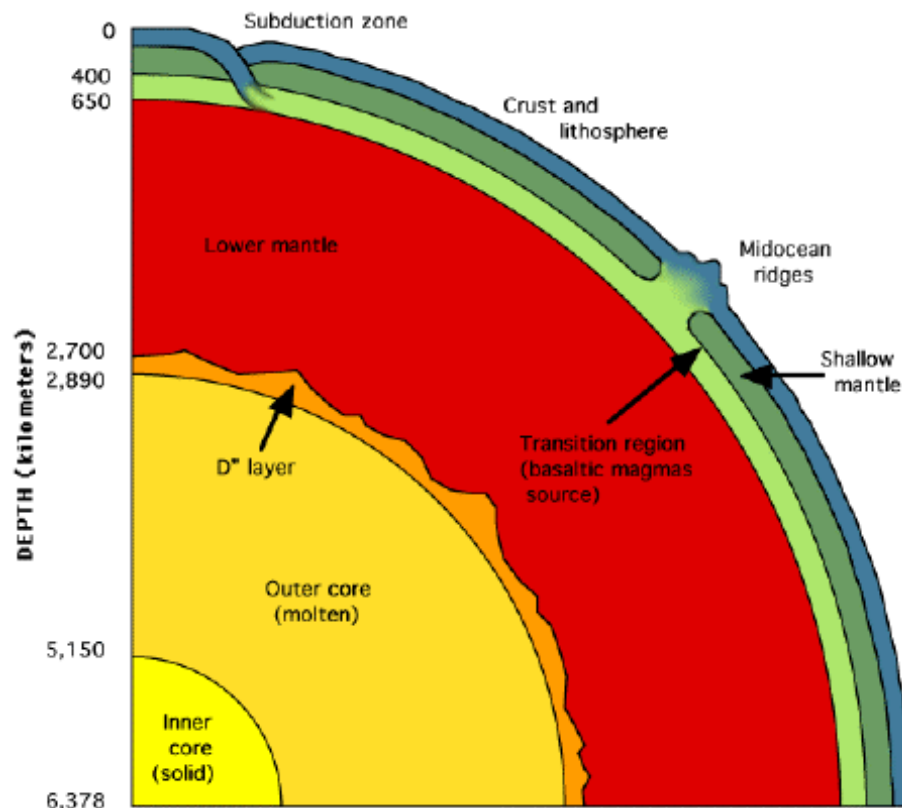


Geochemie endogenních procesů – 8. část

Geochemie jádra a pláště

Struktura Země



- zemský plášť má tloušťku 2800 km a tvoří tak 62 % Země
- spodní, svrchní plášť, transiční zóny
- diskontinuity (410 km a 660 km)

Geochemie zemského jádra

- velmi málo informací (převážně geofyzika a meteority)
- Fe-Ni slitina (Ni pravděpodobně 5-6 %)
- cca. 10 % lehkého prvku
 - Síra – ochuzení v plášti a kůře, volatilní prvek, nálezy FeS v meteoritech, mísivost s Fe
 - Železo – ochuzení v plášti, FeO je mísitelné s Fe ve velmi vysokých tlacích
 - C, Si, P, Mg, H?

Geochemie zemského jádra

- v jádru je koncentrována převážná většina PGE (Os-Ir-Ru-Rh-Pd-Pt), Re, Au a dalších silně siderofilních prvků → všechny v relativních chondritických koncentracích
- pokud je v jádru S → velmi pravděpodobný obsah dalších chalkofilních prvků (např. Pb apod.)

Klíčové otázky

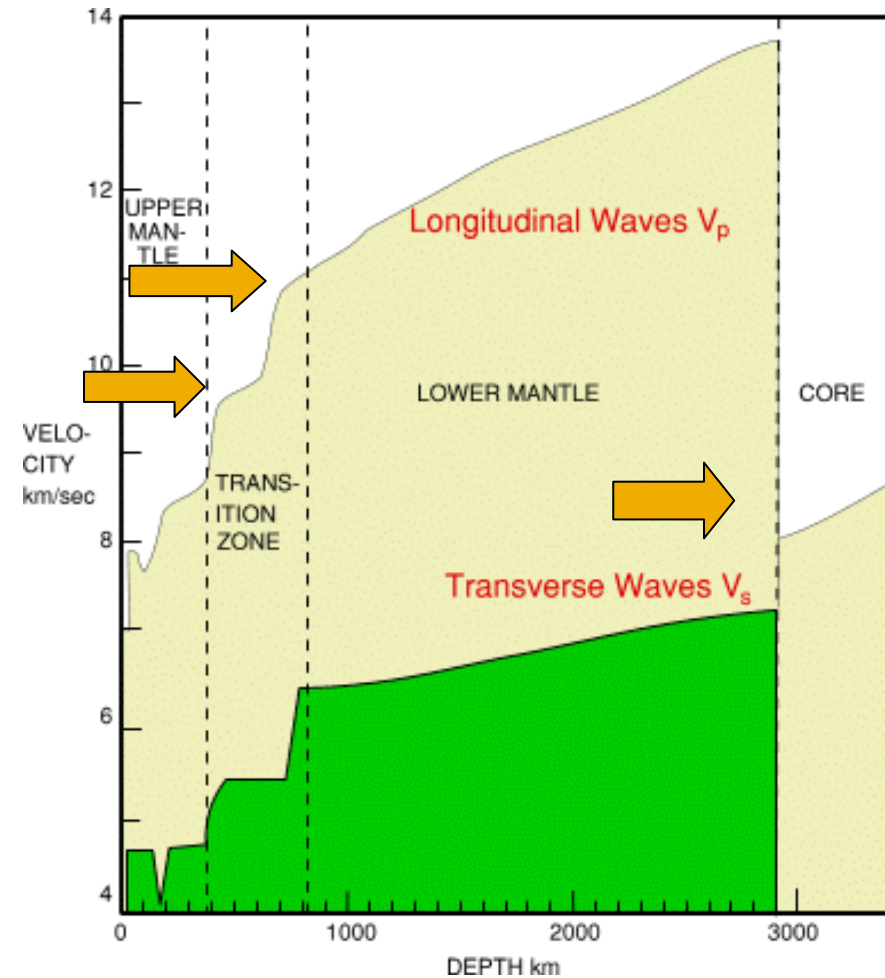
- jak moc a jak hluboko probíhá recyklace oceánské litosféry do svrchního pláště? Jak rychle?
- jaká je struktura svrchního pláště? Heterogenita vs. homogenita, páskování atd.
- probíhá látková výměna mezi pláštěm a jádrem?
- jaká je charakteristika plášťové konvekce? míchaní a homogenizace
- je seizmická heterogenita výsledkem rozdílných teplot nebo chemismu?
- jaké aspekty struktury pláště jsou primární a jaké sekundární
- geochemie prvků ve svrchním plášti

Metody studia zemského pláště

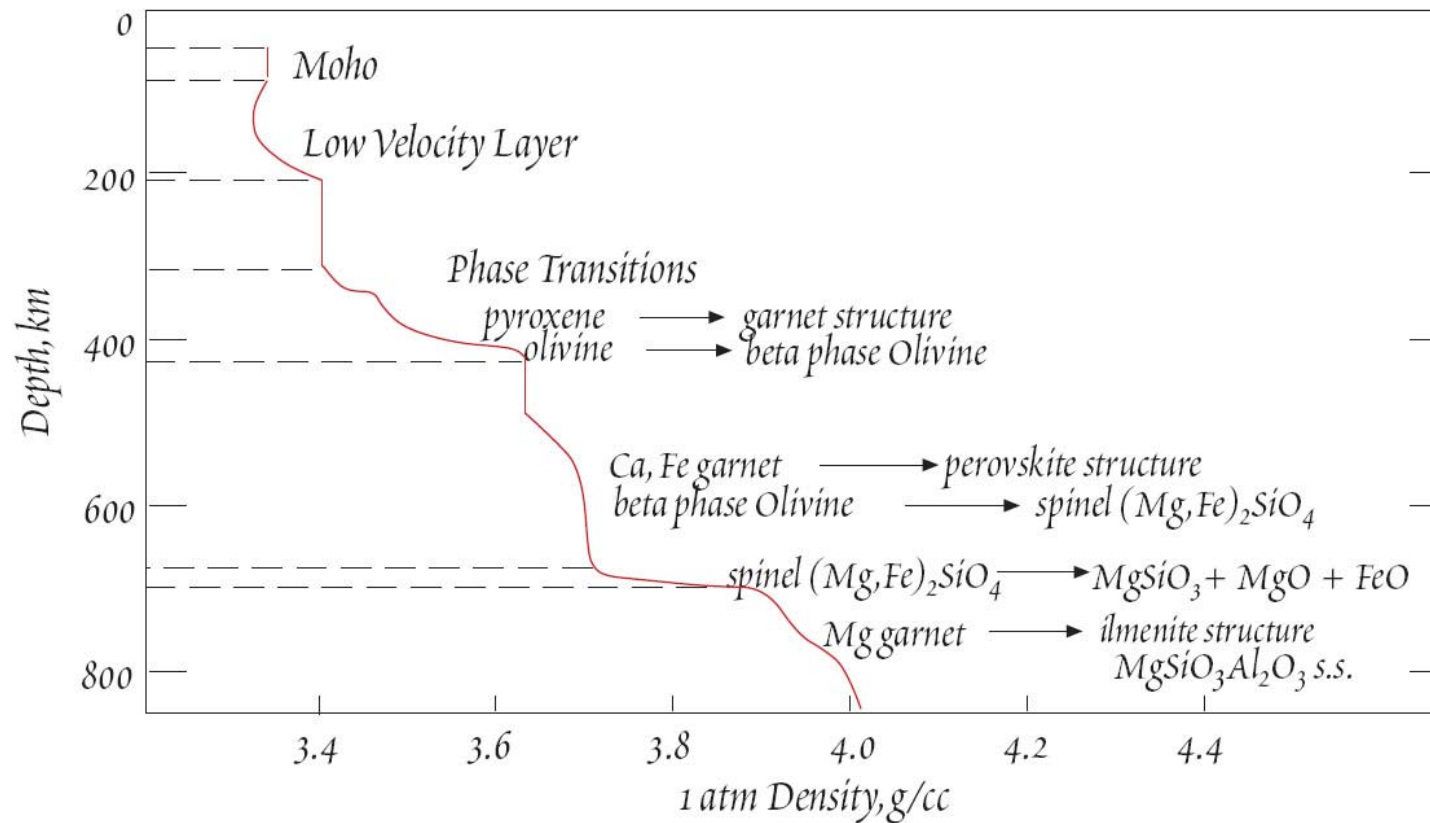
- nepřímé
 - seismologie – pouze omezené použití (nízké rozlišení, ale přesné určení hloubky)
 - experimentální práce
- přímé
 - xenolity svrchního pláště
 - orogenní peridotity
 - ofiolity

Seizmický profil Země

- zóna snížených rychlostí seizmických vln
- seizmické diskontinuity → fázové změny minerálů
- chemické změny?
- D'' na hranici pláště-jádro



Fázový profil pláštěm



White (2001)

Zóna D“

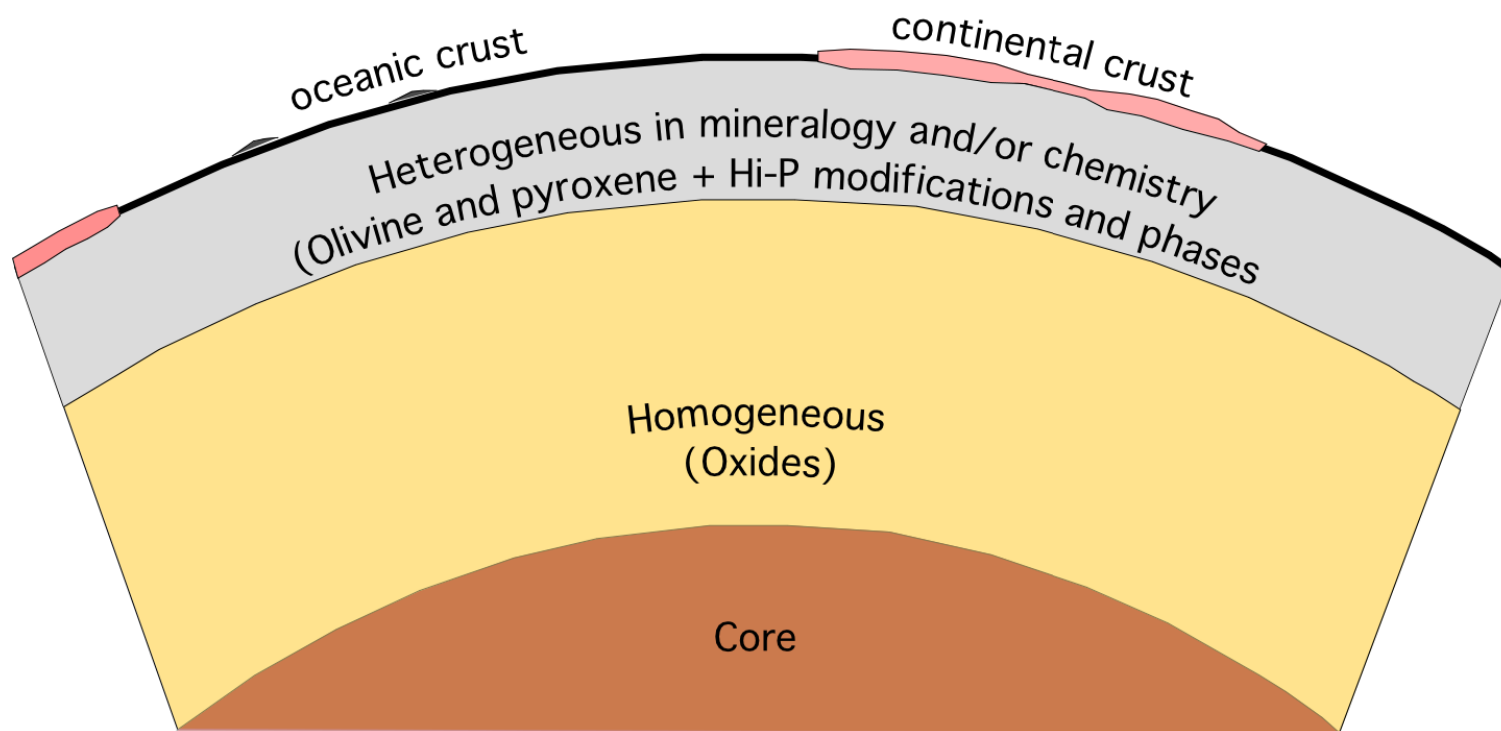
- zóna snížených rychlostí P a S vln na hranici jádro-plášť
- extrémně heterogenní
 - reakce mezi silikáty a Fe-Ni jádrem?
 - role subdukované desky?

Hlavní procesy v zemském plášti

- parciální tavení → vznik magmat
- subdukce litosferických desek → vznik magmat, recyklace oceánské kůry
- obohacení (metasomatóza) taveninami vzniklými v plášti nebo vlivem subdukce

Model složení pláště (1950-1986)

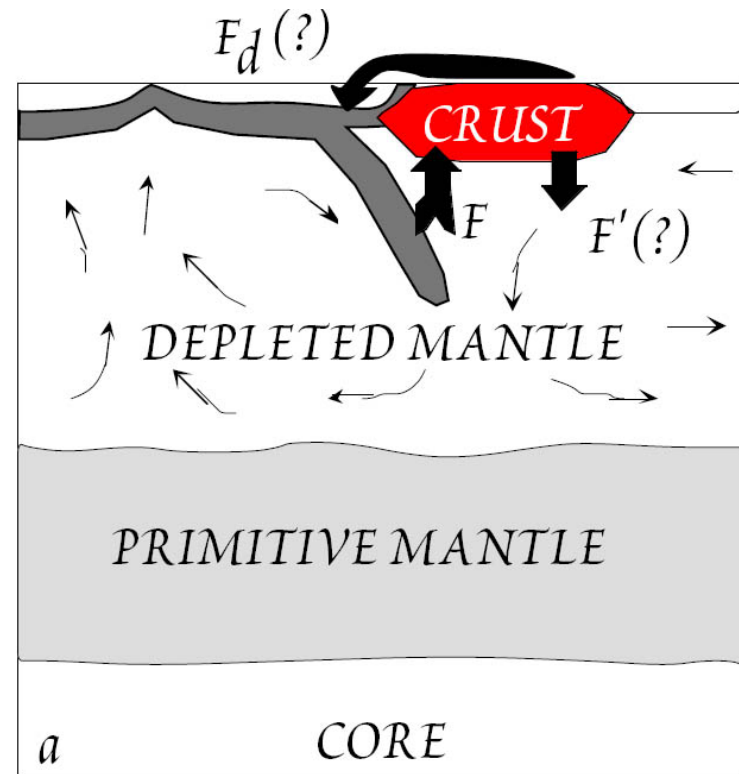
The Birch (1952) Mantle



Based primarily on V_p and V_s

Model dvou rezervoárů

- 2 rezervoáry → ochuzený plášť (DMM) a primitivní plášť (PUM)
- ostrá hranice na ~ 660 km (sv.-sp. plášť)
- omezená konvekce



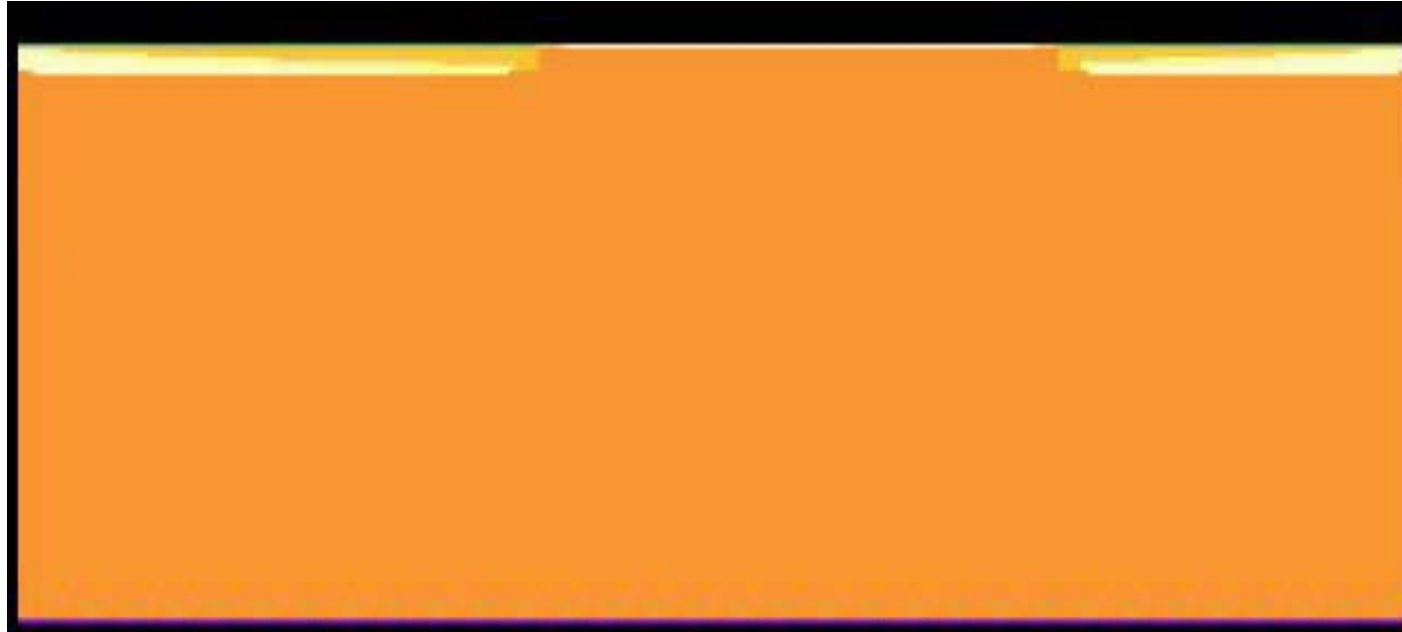
White (2001)

„Marble cake“ model



- velký vliv subdukce
→ recyklace
(obohacení pláště)
- mantle plumes
- značná heterogenita
- míchání a konvekce
v celém rozsahu
pláště
- částečně potvrzeno
seizmickou
tomografií

Marble cake model (Davies, 2002)



4 kroky – 4 Ga, 3 Ga, 2 Ga, současnost

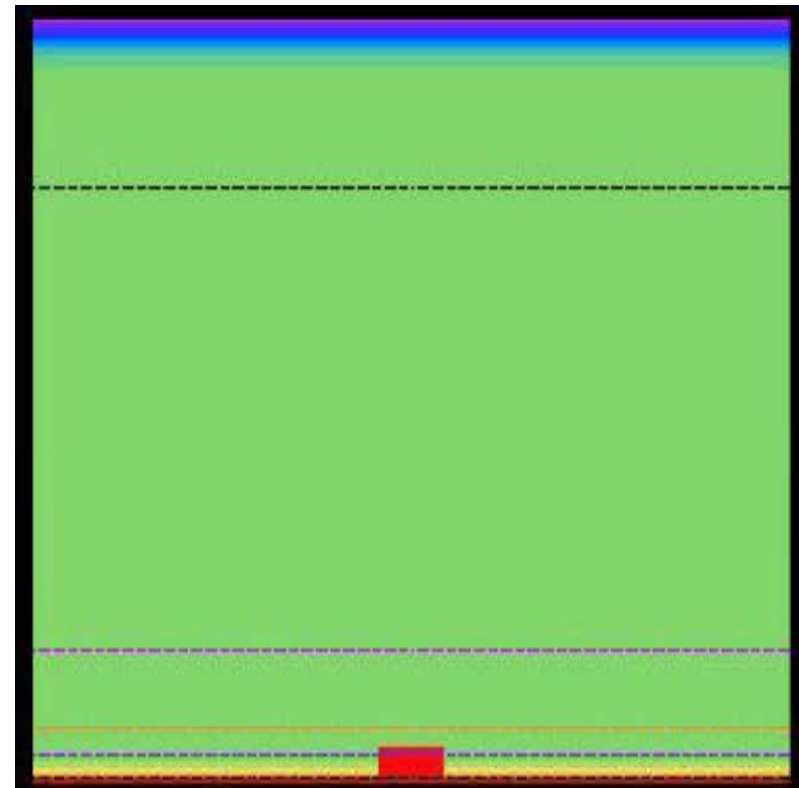
Plášťové chocholy - plumes

- vznik v místě kde je konduktivní přenos tepla → D'' vrstva nebo 660 km diskontinuita
- konvekce v tekutině je poháněna vztlačovými silami



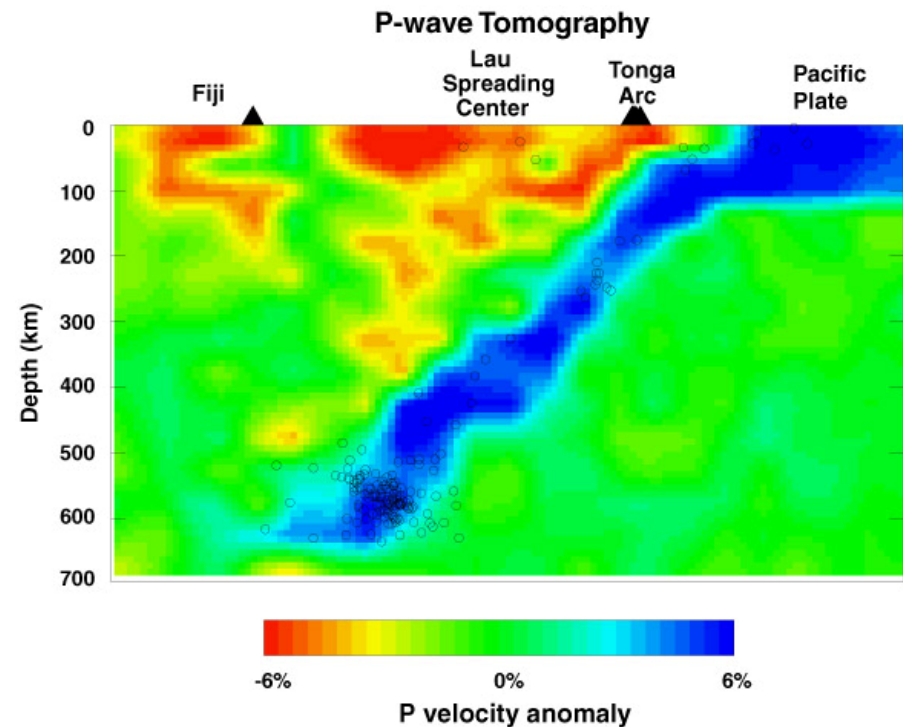
Plášťové chocholy - plumes

- silně heterogenní složení → závislé na složení recyklované litosféry?



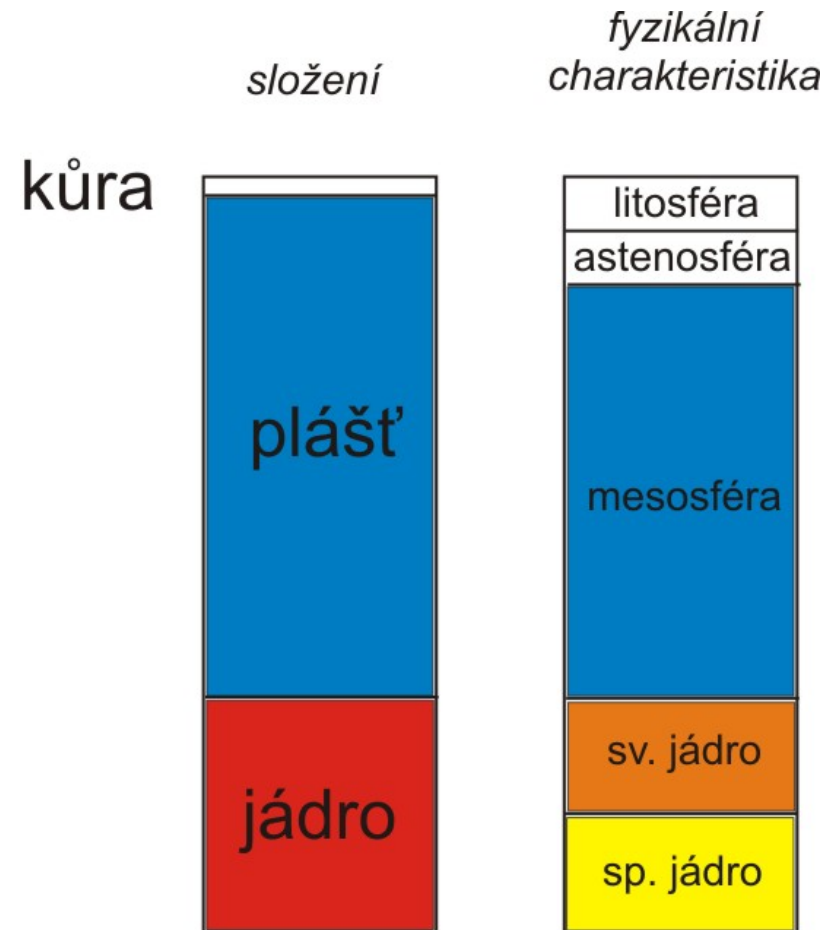
Seismická tomografie

- tomografická rekonstrukce → různý čas šíření seismických vln z různých směrů
- složení → termální odchylky



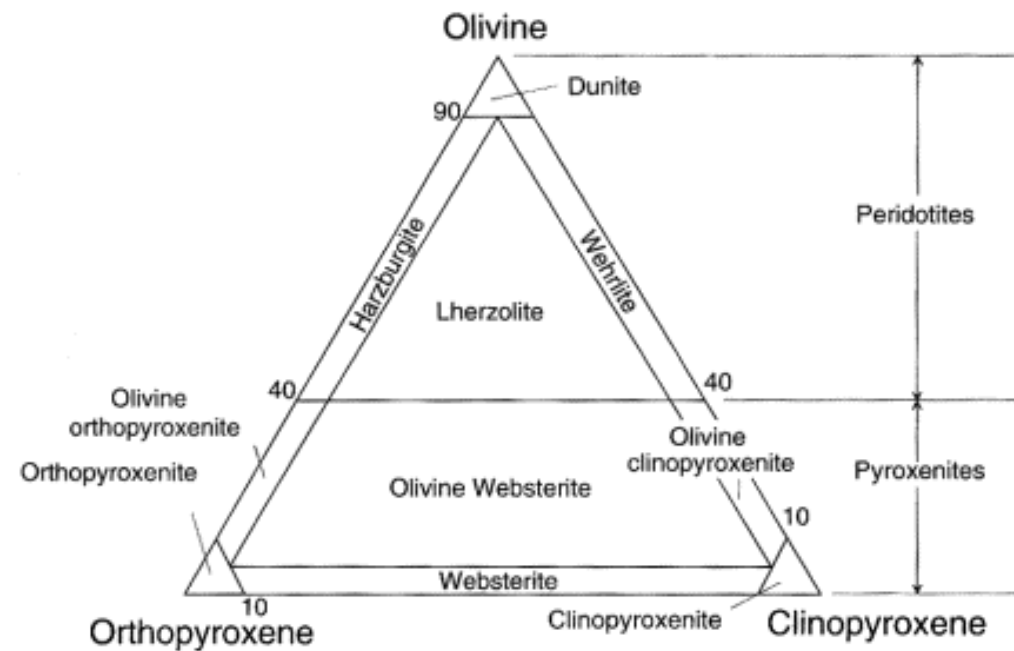
Svrchní plášť

- pouze 16 % Země
- klíčová vrstva Země pro její diferenciaci
 - zdroj basaltových magmat a oceánské kůry
 - zdroj kontinentální kůry



Mineralogie svrchního pláště

- peridotity +/- pyroxenity
- olivín +/- ortopyroxen, clinopyroxen, Al-fáze
- eklogity



Chemické složení svrchního pláště



- analýzy hornin svrchního pláště (xenolity, orogenní pd, ofiolity)
- analýzy meteoritů
- výpočty z chemického složení sluneční nebuly

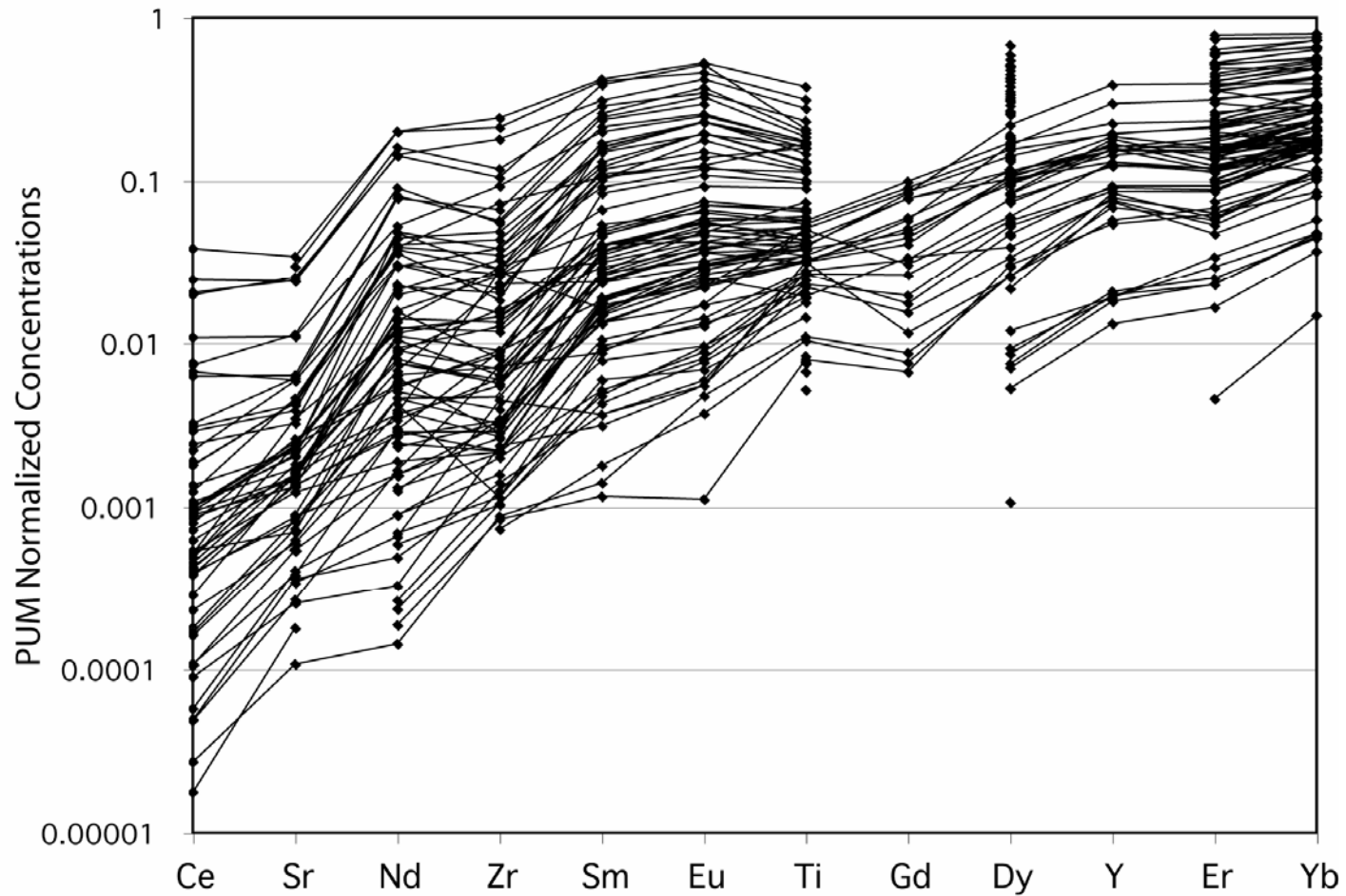
Chemické složení svrchního pláště II

- několik geochemických rezervoárů svrchního pláště
 - DMM – depleted MORB mantle
 - PUM – primitive upper mantle
 - EM – enriched mantle

Depleted MORB mantle (DMM)

- zdroj MORB-bazaltů
- téměř 30 % z celkového obsahu Země
- studium abysálních peridotitů, izotopické složení MORB a poměrů prvků
- silně ochuzen o LREE, LILE
- nízké $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ a vysoké $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
- reziduum po vytvoření kůry
- heterogenní složení (N-MORB, E-MORB) → role plášťových „chocholů“?

Abysální peridotity



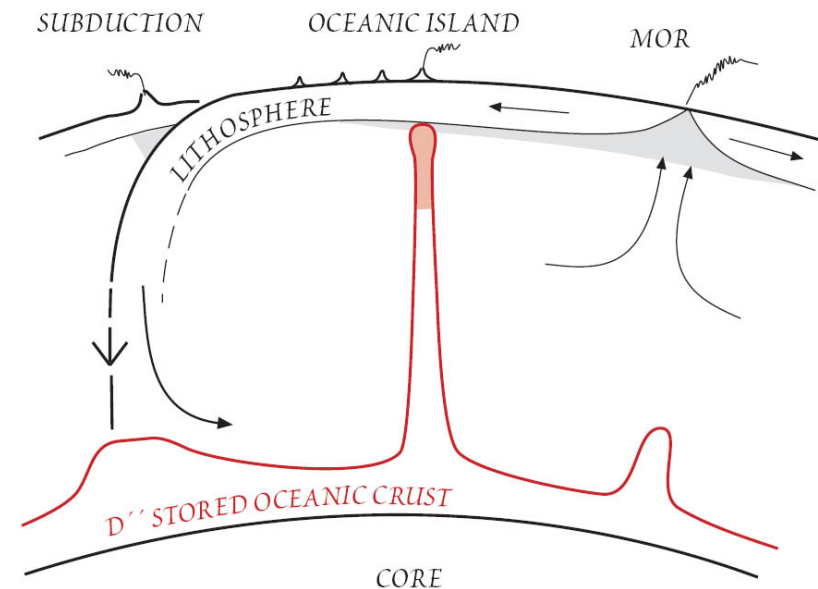
Dick (1984), Dick (1989), Johnson et al. (1990), Johnson & Dick (1992), Dick & Natland (1996), Salters & Dick (2002), Hellebrand et al. (2002), Tartorotti et al. (2002)

Primitive upper mantle (PUM)

- primitivní plášť vzniklý po separaci jádra, ale před vznikem kůry
- „chondritické“ složení, ale....
 - ochuzený o silně siderofilní prvky (PGE, Fe, Ni) → separace do jádra
 - ochuzený o volatilní prvky
- hypotetické složení, nejsou známa žádná magmata, která by byla odvozena z PUM

Enriched mantle (EM) – typ I.

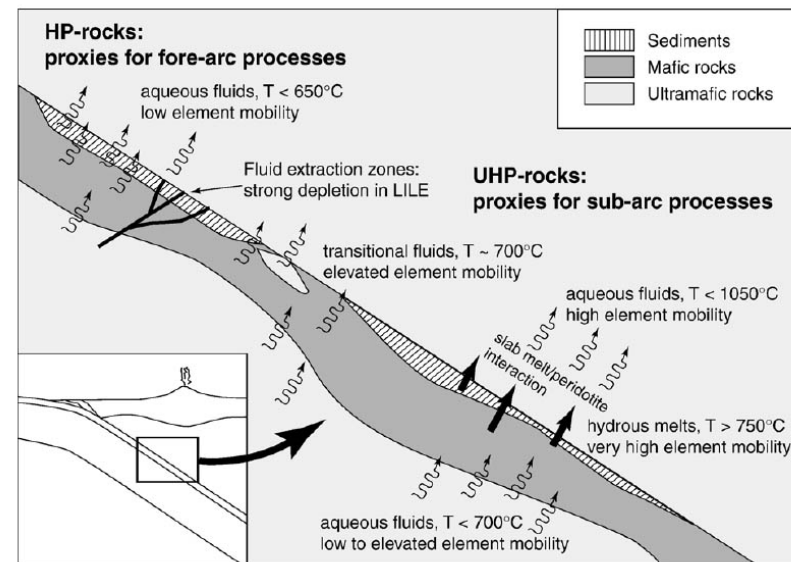
- části pláště obohacené o LILE, REE atd.
- místa, kde se generují tzv. „plášťové chocholy“ (plumes) – rozhraní sp. plášť-svrchní jádro – vrstva D''
- zdrojový materiál pro OIB (Havaj, Azory apod.)
- velmi pravděpodobně silná role recyklované oceánské litosféry



Hofmann & White (1982)

Enriched mantle (EM) – typ II

- části pláště obohacené o LILE, REE ale ochuzené o HFSE
- obohacení fluidy/taveninami vzniklými při subdukci
- vysoký $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ při „normálním“ $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$



Spodní plášť

- pouze nepřímé pozorování (experimentální petrologie) + seizmické vlny
- chemické složení velmi pravděpodobně stejné jako svrchní plášť
- perovskit (80 %) + magnesiowustit
- PUM vs. marble cake

Procesy ve svrchním plášti

- parciální tavení
 - hlavní proces „ochuzení pláště“
 - klíčový pro vznik kůry
 - určuje chemismus magmatu
- metasomatóza
 - proces výměny prvků
 - „obohacení“ pláště
 - určuje chemismus magmatu

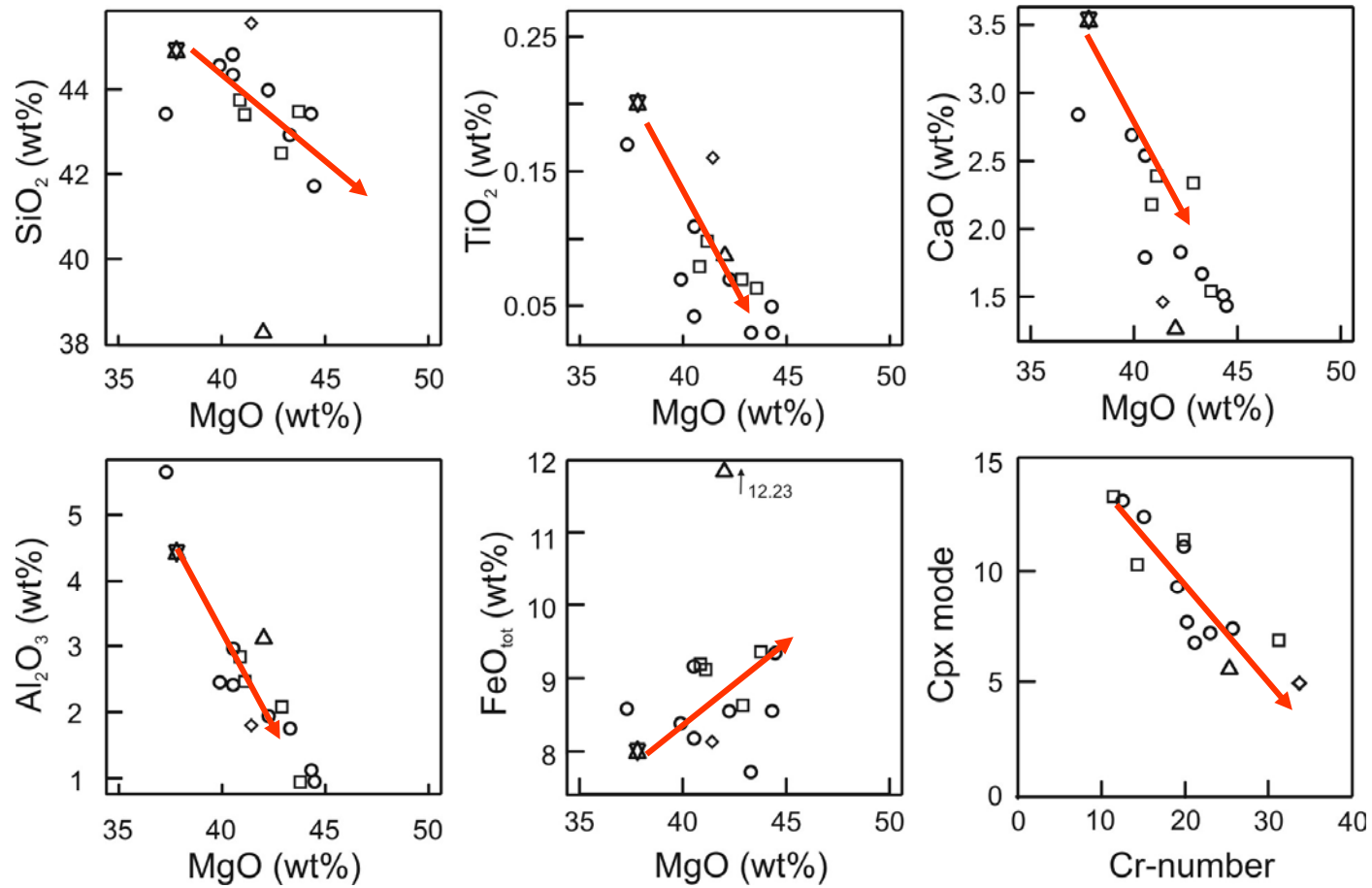
Parciální tavení

- částečné tavení
- důsledkem zvýšeného tepelného toku (rift), přínos fluid (subdukce), přínos tepla (plumes)
- 2 typy
 - dávkové (batch) parciální tavení
 - frakční parciální tavení
- stupeň parciálního tavení (F)

Geochemie hornin svrchního pláště Efekt parciálního tavení

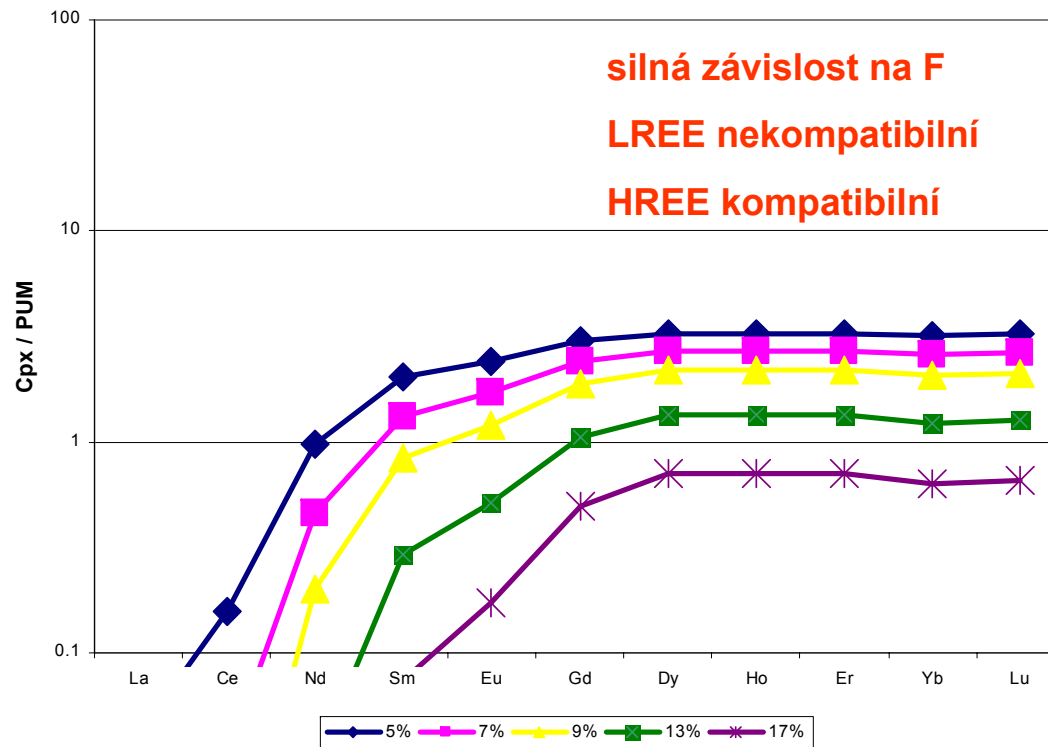
- klíčová role D
- kompatibilita vs. nekompatibilita prvků
- kompatibilní prvky
 - Mg, HREE, NiO
- nekompatibilní prvky
 - LREE, LILE, Na, K
- při stoupajícím F → stoupá # Mg, klesá Na₂O, K₂O, klesá obsah cpx

Efekt parciálního tavení – hlavní prvky



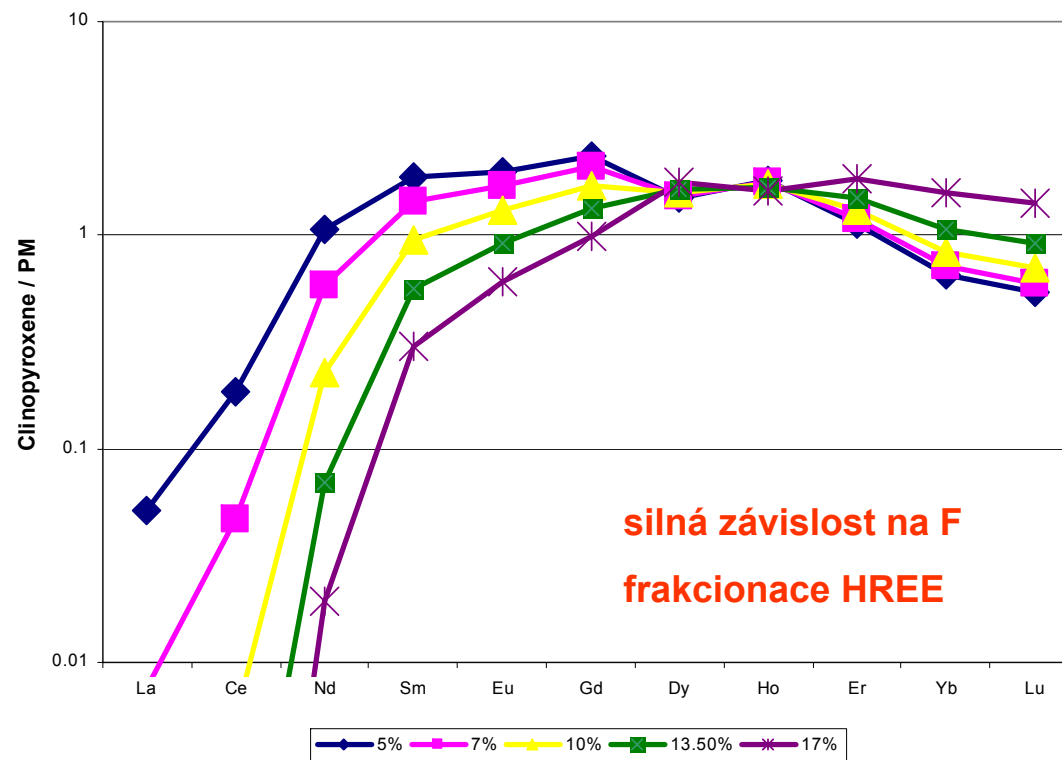
Efekt parciálního tavení (spinelový lherzolit) – REE

- primární neobohacený pd → REE koncentrovány v cpx
- obohacený pd → cpx a metasomatické minerály (ap, amf, phl)



Efekt parciálního tavení (granátický lherzolit) – REE

- REE koncentrovány v cpx a grt
- grt koncentruje a silně frakcionuje HREE



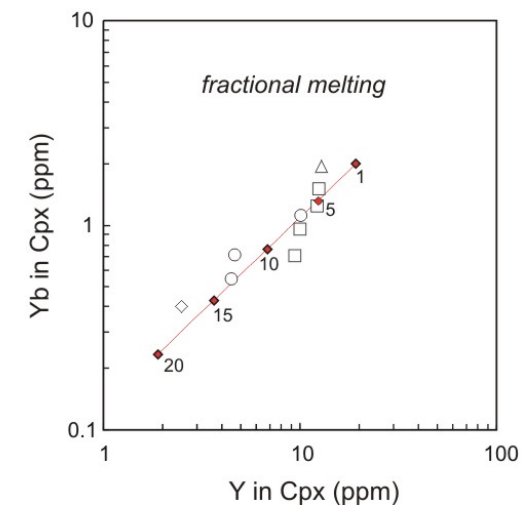
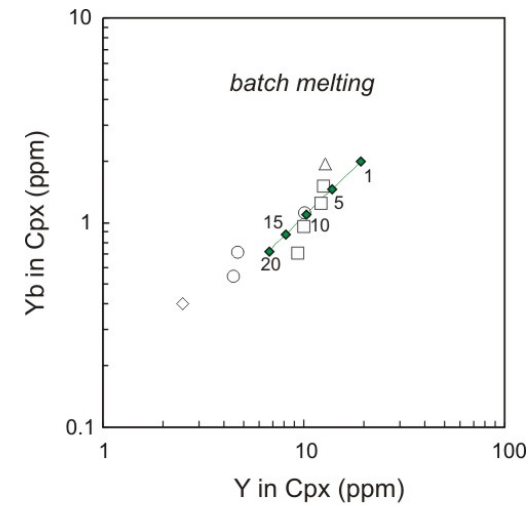
Efekt parciálního tavení

LILE, HFSE

- large ion lithophile elements (LILE)
 - silně nekompatibilní
- high field strength elements (HFSE)
 - Nb, Ta nekompatibilní
 - Zr, Hf, Ti středně nekompatibilní až kompatibilní (závisí na obsahu fluid, tlaku apod.)

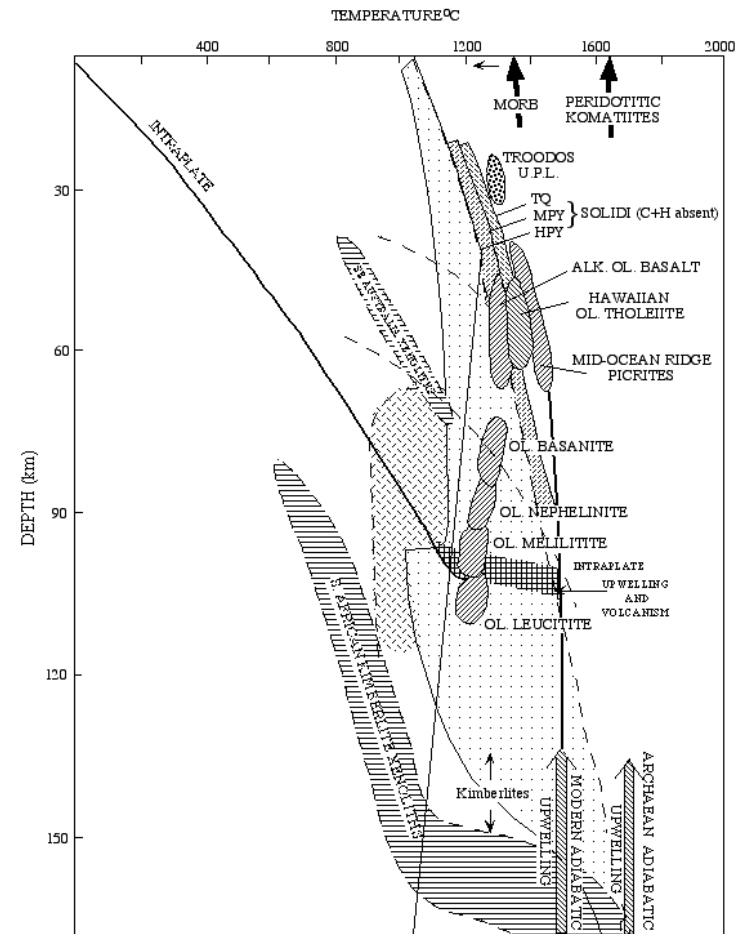
Určení stupně parciálního tavení

- modální složení horniny
- modelování obsahu stopových prvků
- experimentální práce



Závislost chemismu tavenin na P-T

- se vzrůstající hloubkou
 - klesá stupeň saturace SiO_2
 - stoupá množství alkálií v taveninách
- více alkalické taveniny vznikají při nižších teplotách než subalkalické



D. H. Green