

FYZIKÁLNÍ VÝZKUM SUBDUKCE LITOSFÉRICKÝCH DESEK

Hana Čížková
Katedra geofyziky MFF UK

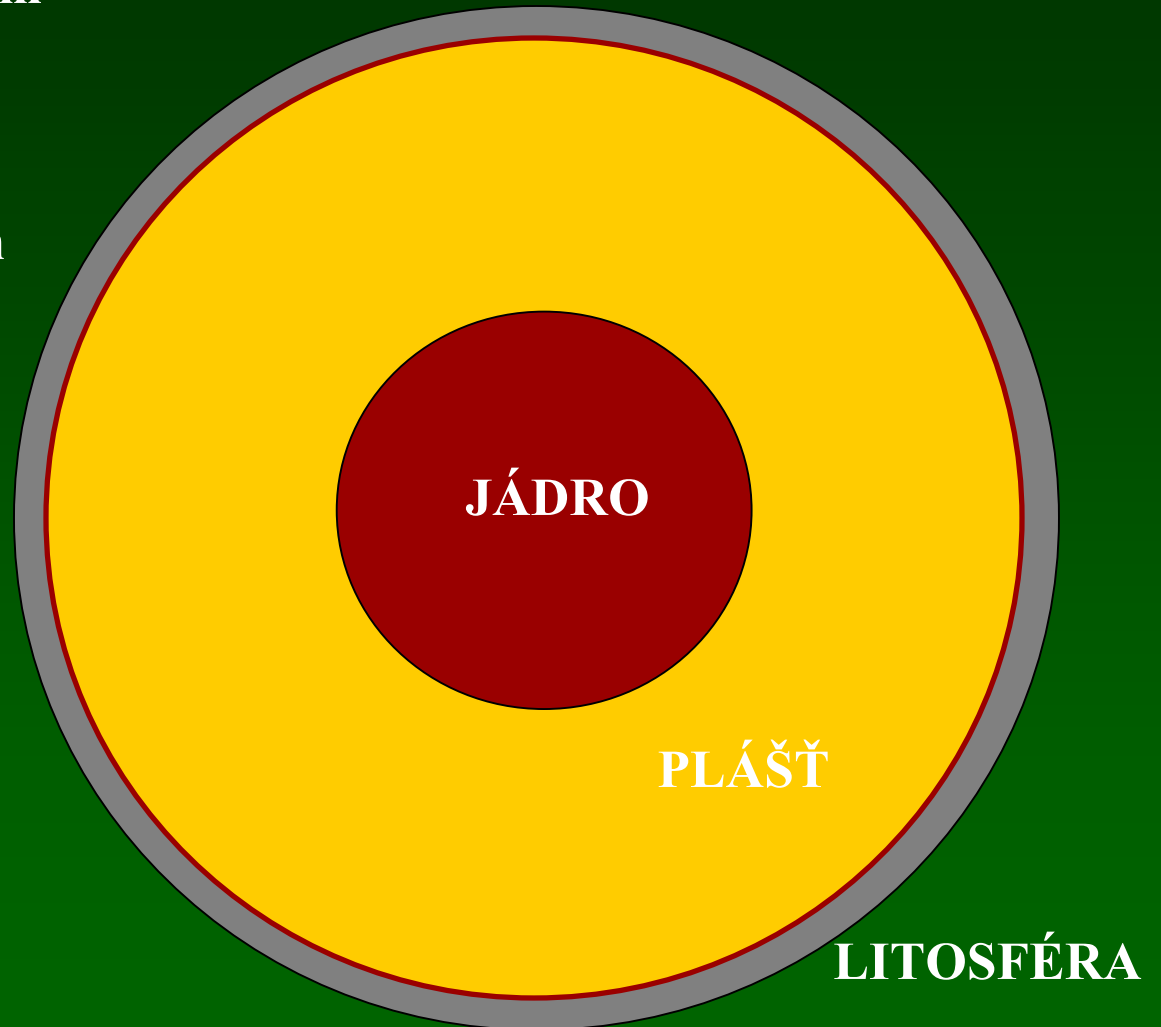
<http://geo.mff.cuni.cz>

ŘEZ ZEMSKÝM NITREM

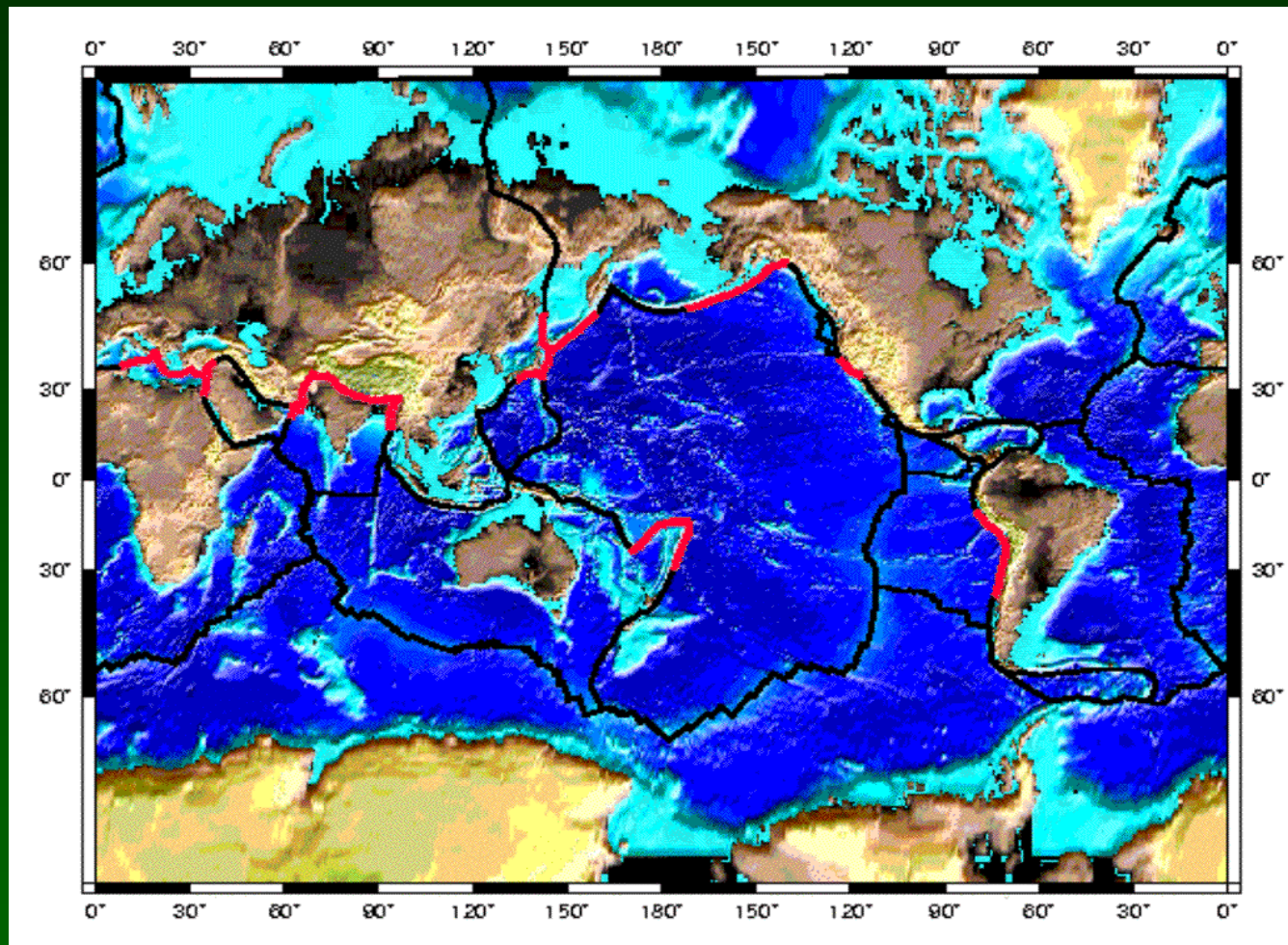
LITOSFÉRA: hl. 0 - 100 km

PLÁŠŤ: hl. 100 - 2900 km

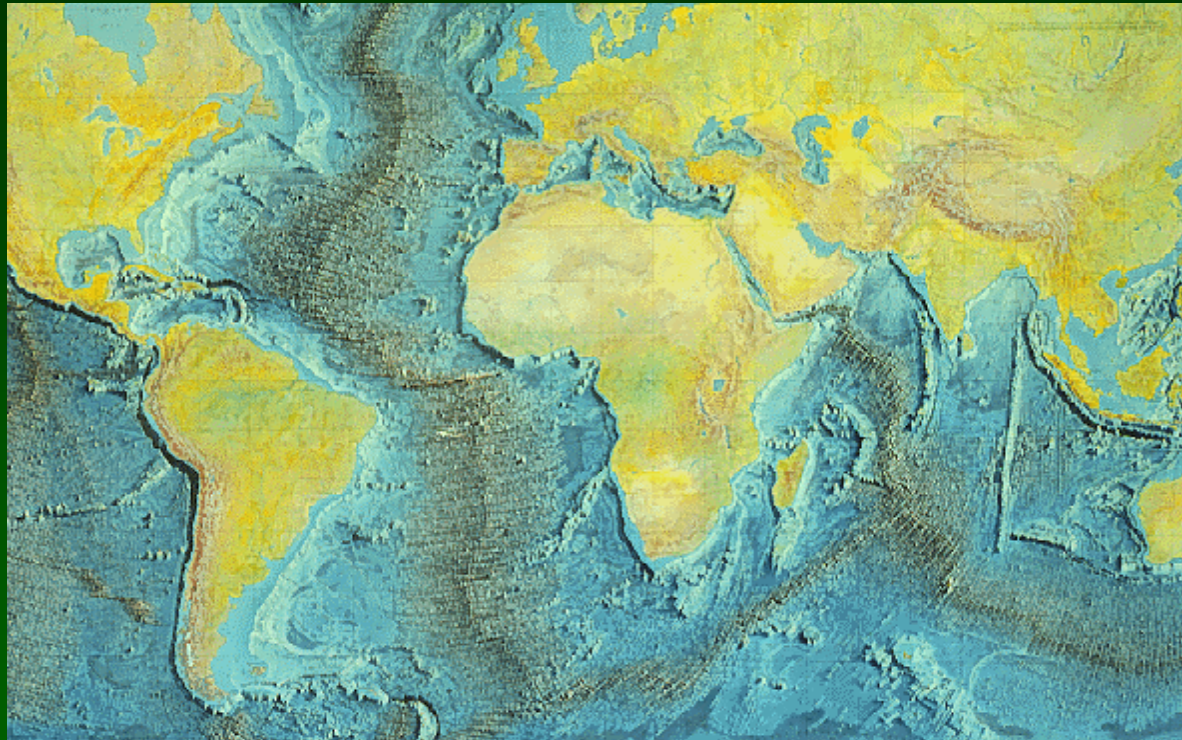
JÁDRO: poloměr 3471 km



DESKOVÁ ROZHHRANÍ

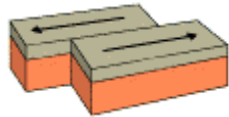


Středoocéánské hřbety
Hlubokomořské příkopy

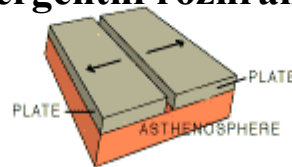


PROCESY NA OKRAJÍCH DESEK

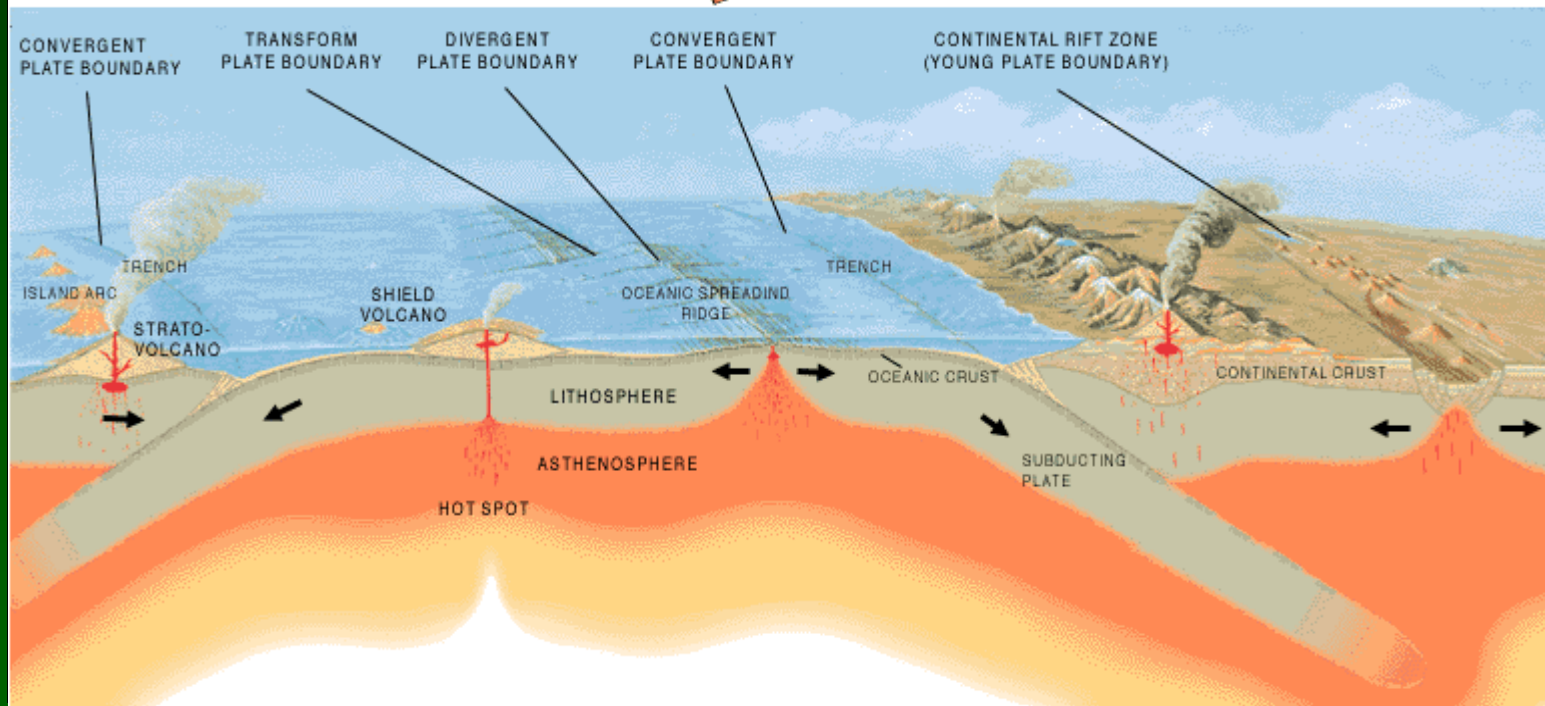
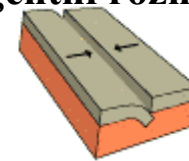
transformní zlom



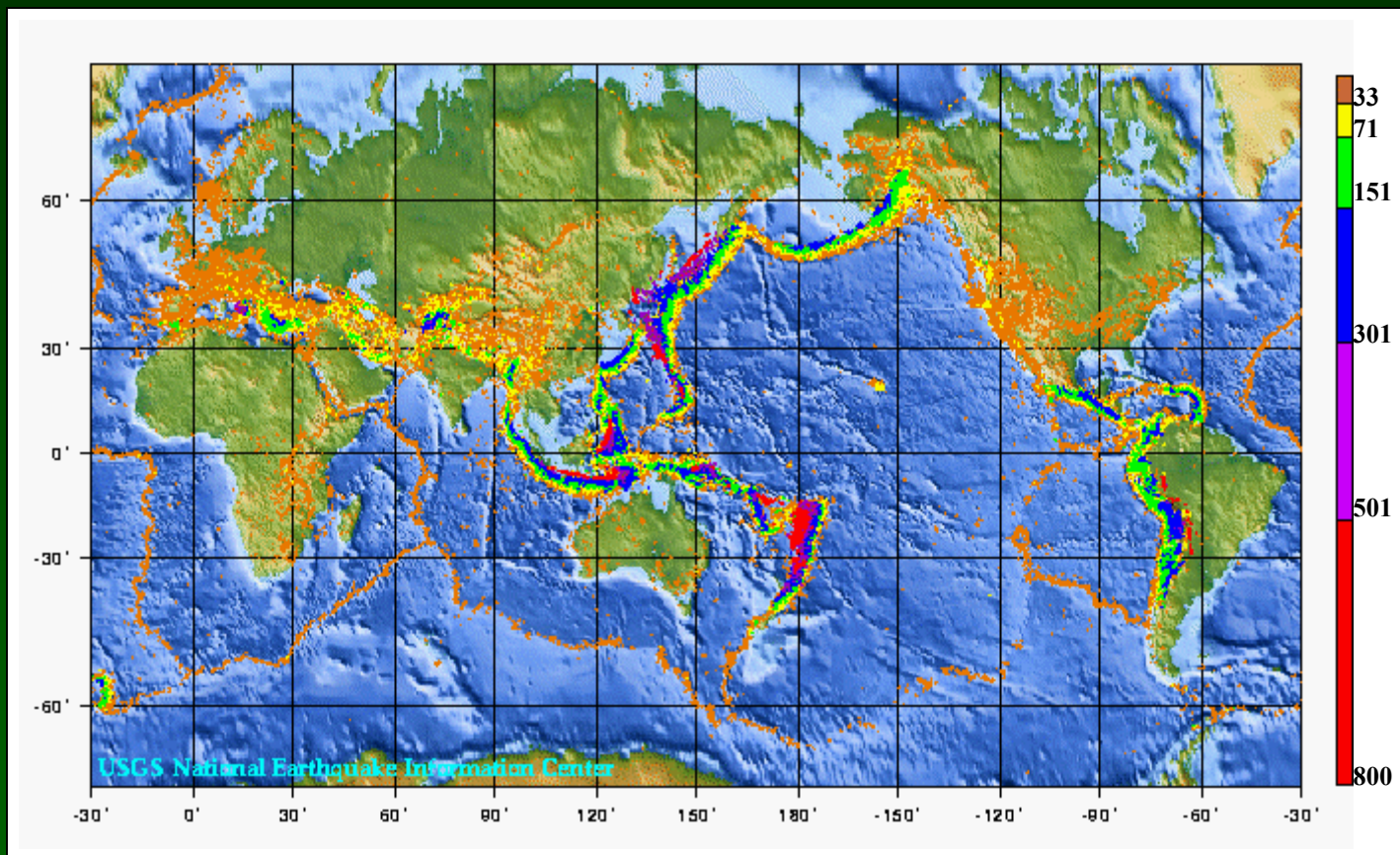
divergentní rozhraní



konvergentní rozhraní



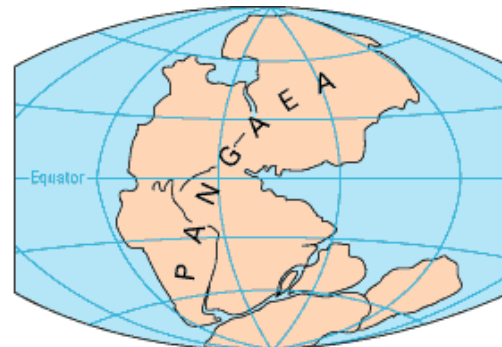
Rozložení ohnisek zemětřesení 1975 - 1995



ROZPAD PRAKONTINENTU PANGEA (225 MILIONŮ LET)



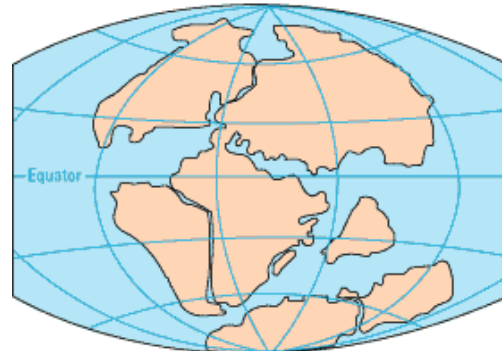
PUTOVÁNÍ DESEK



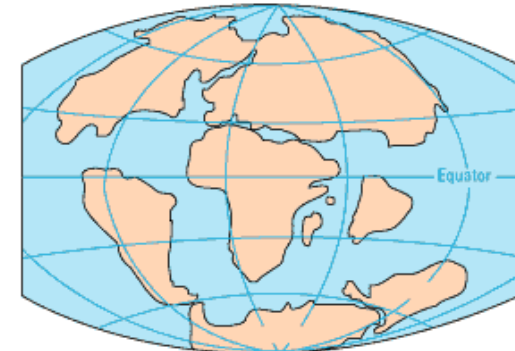
PERMIAN
225 million years ago



TRIASSIC
200 million years ago



JURASSIC
135 million years ago

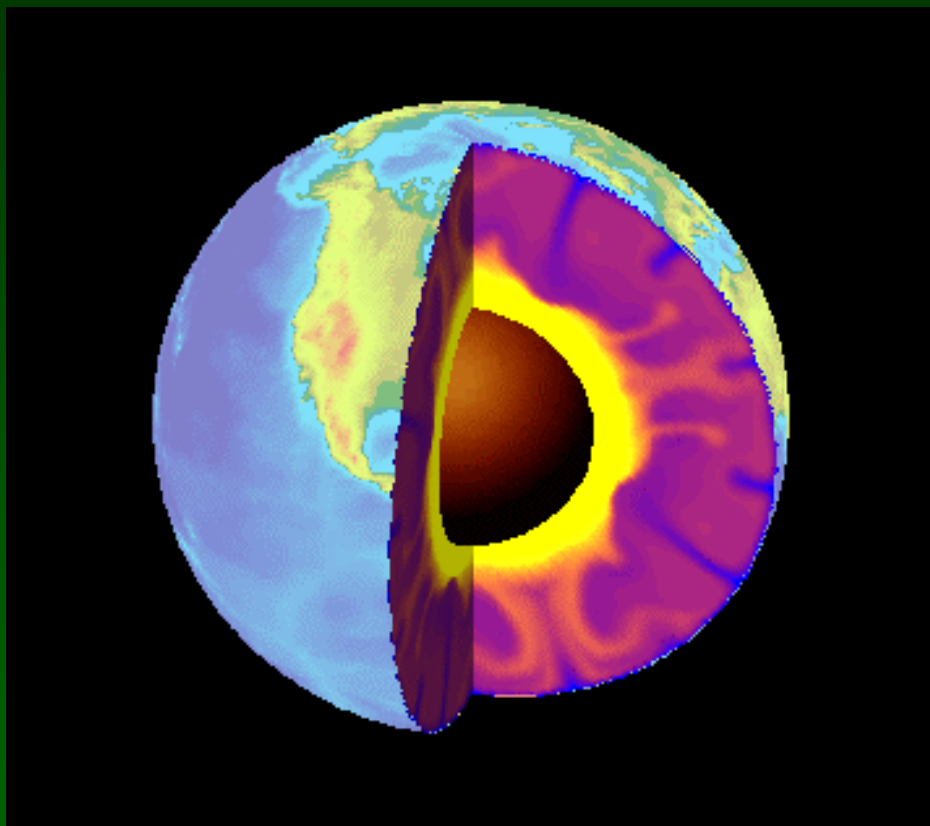


CRETACEOUS
65 million years ago



PRESENT DAY

**Zdroje energie pro deskové pohyby:
TERMÁLNÍ KONVEKCE V ZEMSKÉM PLÁŠTI**



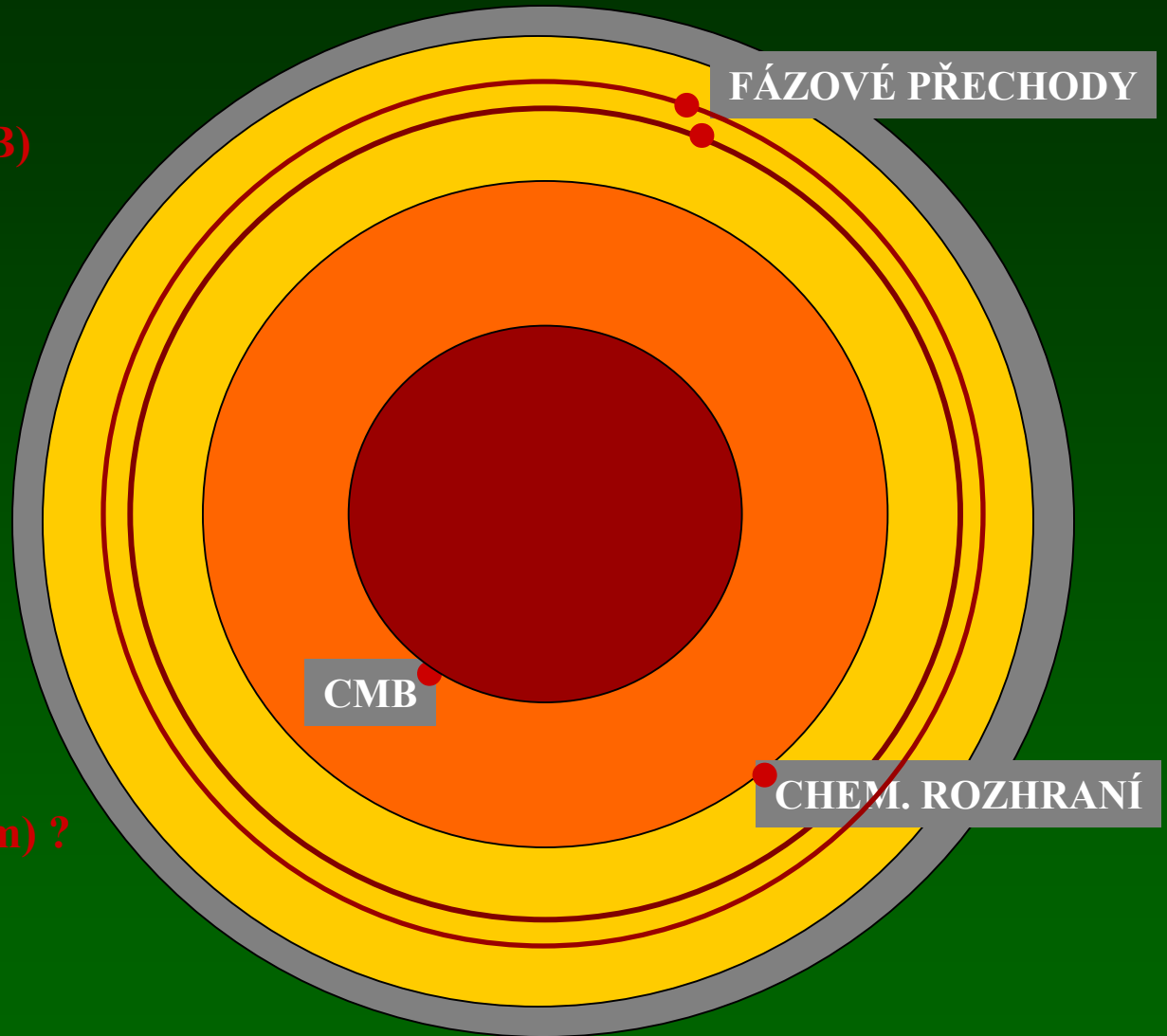
ŘEZ ZEMSKÝM NITREM II

Rozhraní jádro-plášť (CMB)

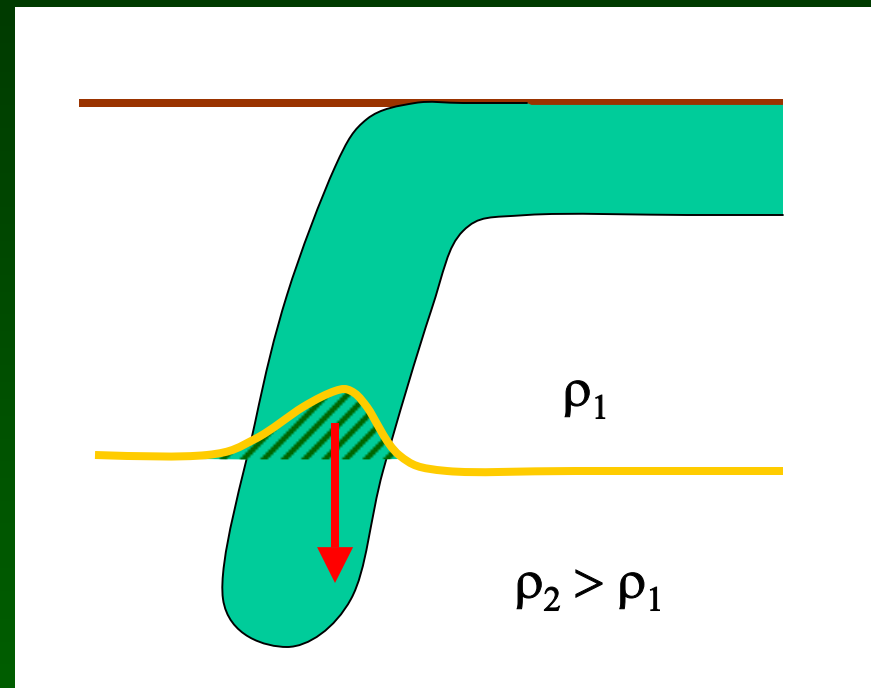
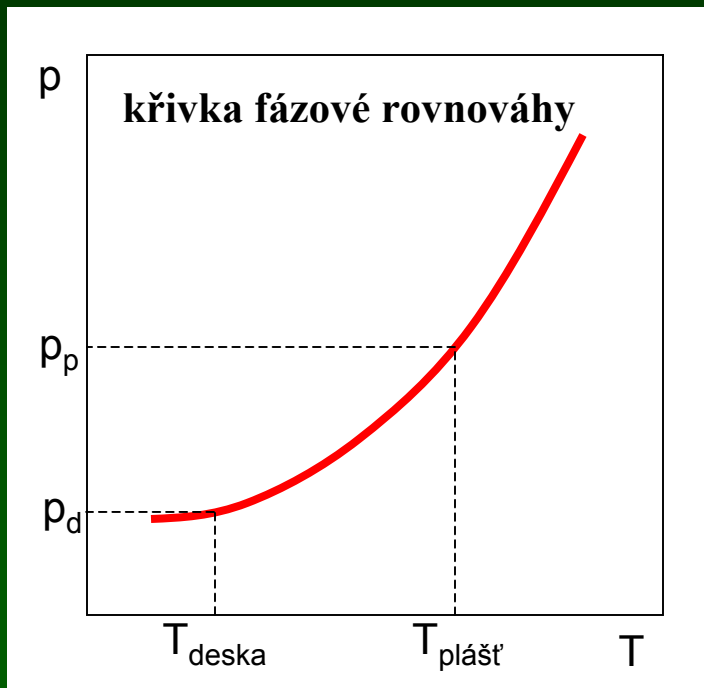
hloubka 2900 km
teplota asi 3000 K

**Fázové přechody
(410 km a 660 km)**

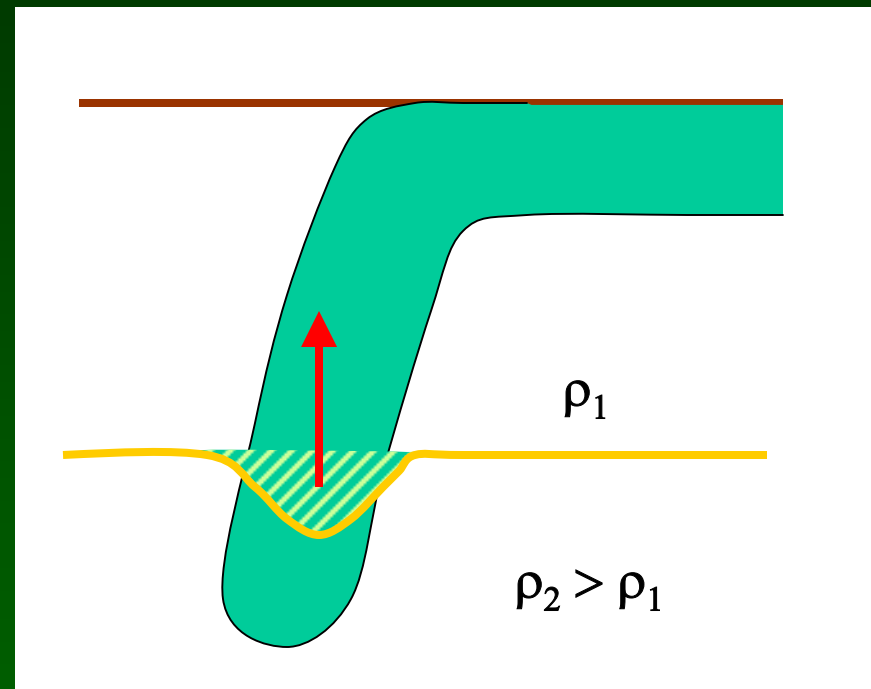
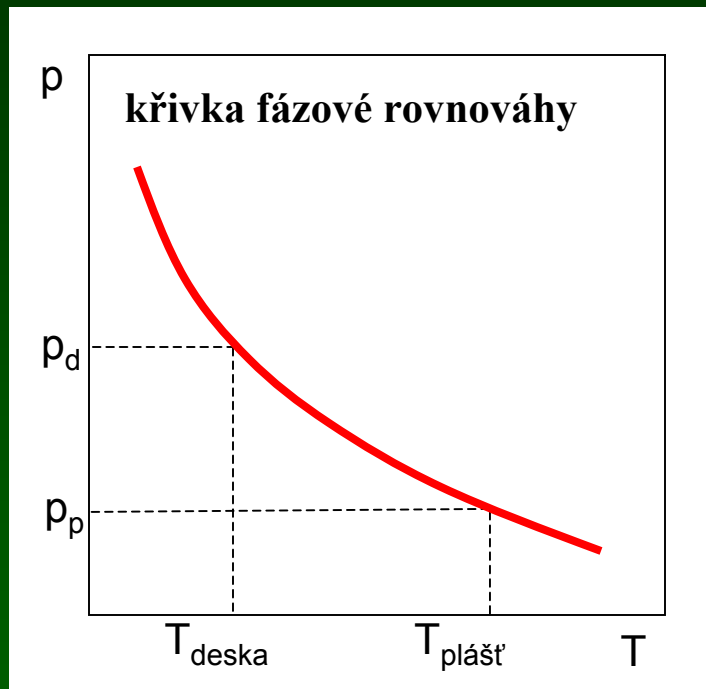
Chemické rozhraní (1000 km) ?



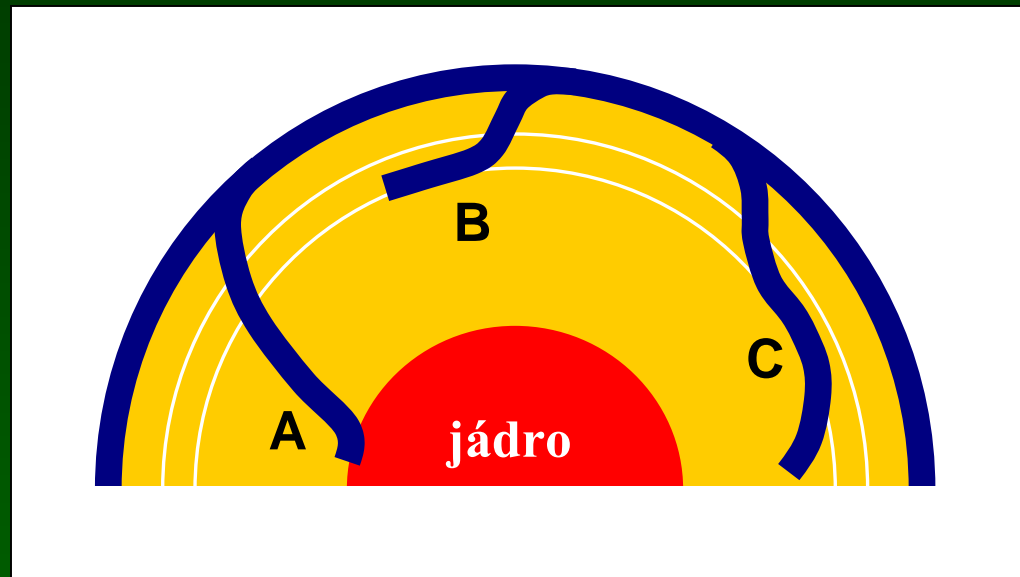
Exotermní fázový přechod v hloubce 410 km



Endotermní fázový přechod v hloubce 660 km



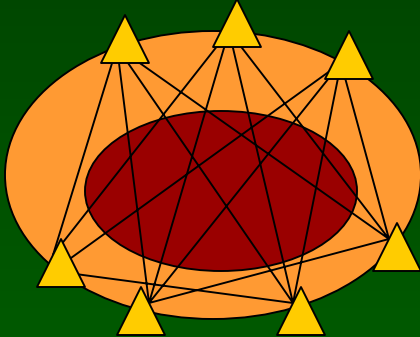
Možné scénáře deformace subdukovaných desek



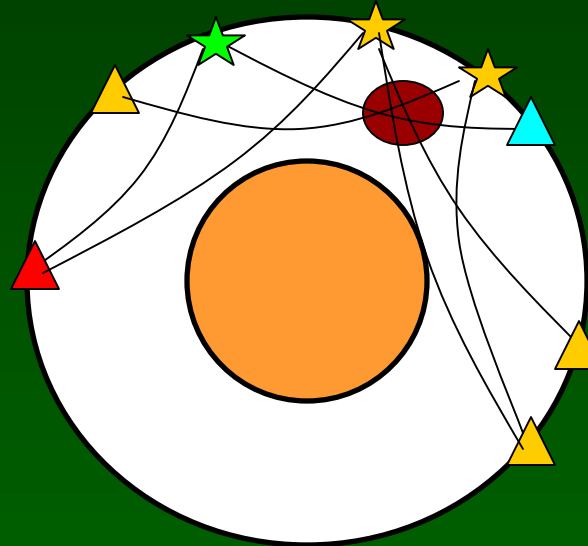
ZDROJ INFORMACÍ O STRUKTUŘE ZEMSKÉHO PLÁŠTĚ

SEISMICKÁ TOMOGRAFIE - „rentgenování“ zemského nitra
- analogie lékařské tomografie

útlum rentgenových paprsků



odchyly časů šíření seismických vln

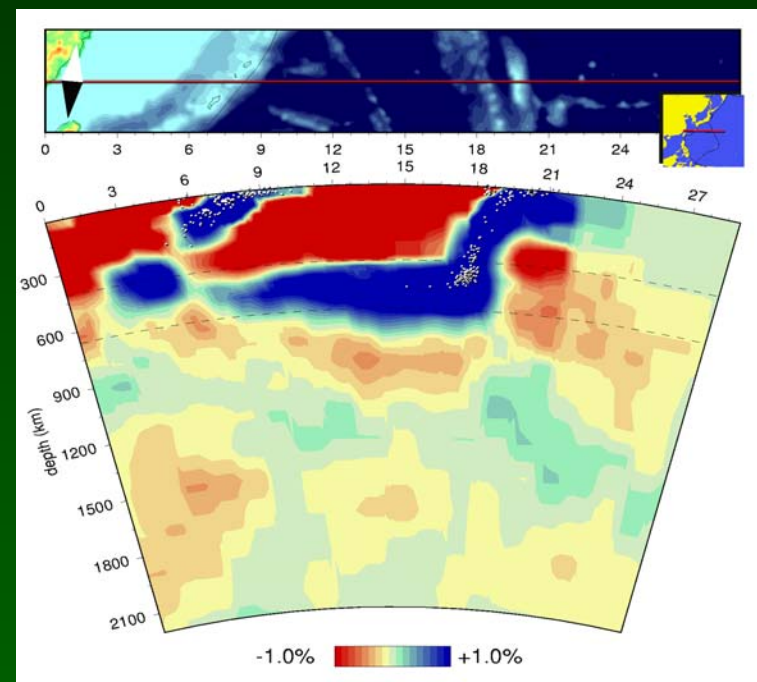
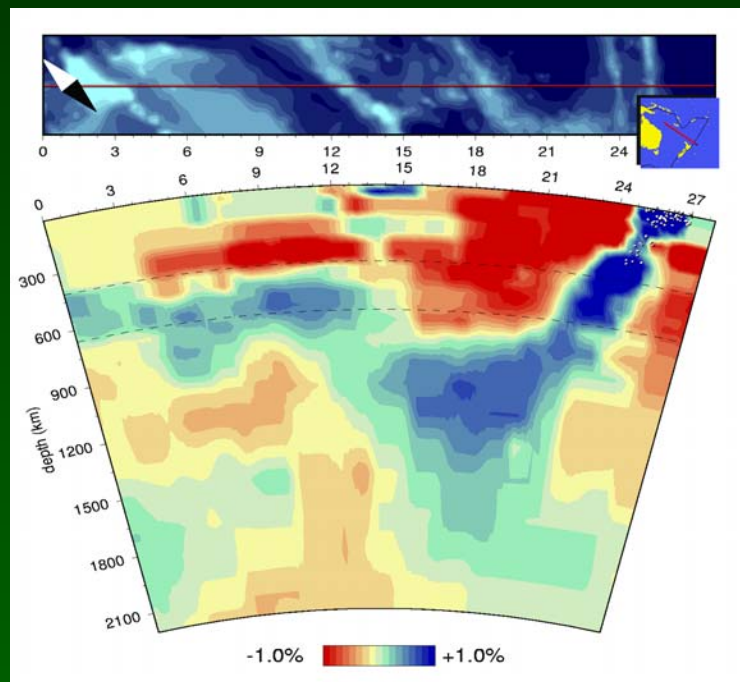


Výsledek: třírozměrný model odchylek rychlostí šíření seismických vln
od radiálně symetrického modelu (→ rozložení hustot)

Problém: špatné rozlišení

TOMOGRÁFICKÝ OBRAZ PLÁŠTĚ

Bijwaard et al., 1998



Rychlé procesy (šíření seismických vln) - elastická Země

Pomalé procesy (plášťová konvekce) - viskozní Země

- kapalina o viskozitě asi 10^{21} Pa s
- tečení s rychlostmi řádově cm/rok



Numerické modelování tečení v plášti (termální konvekce)

SOUSTAVA ROVNIC POPISUJÍCÍ PROUDĚNÍ V PLÁŠTI

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$$

rovnice kontinuity

$$\nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{g} = 0$$

pohybová rovnice

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\mathbf{v} \cdot \nabla T + \kappa \nabla^2 T$$

rovnice přenosu tepla

$$\kappa = \frac{k}{\rho C_p}$$

$$\boldsymbol{\tau} = -p\mathbf{I} + \eta(\nabla \mathbf{v} + \nabla^T \mathbf{v})$$

reologický vztah

$$\rho = \rho_0(1 - \alpha(T - T_0))$$

stavová rovnice

APROXIMACE

- plášť nestlačitelný
- setrvačné síly zanedbatelné
- hustota lineárně závisí na teplotě
- není vnitřní zahřívání

PARAMETRY ZEMSKÉHO PLÁŠTĚ

Teplota: 0 - 3000 °C

Hustota: 4500 kg/m³

Viskozita: 10²¹ Pa s

Rychlosti pohybů řádově 1 - 10 cm/rok

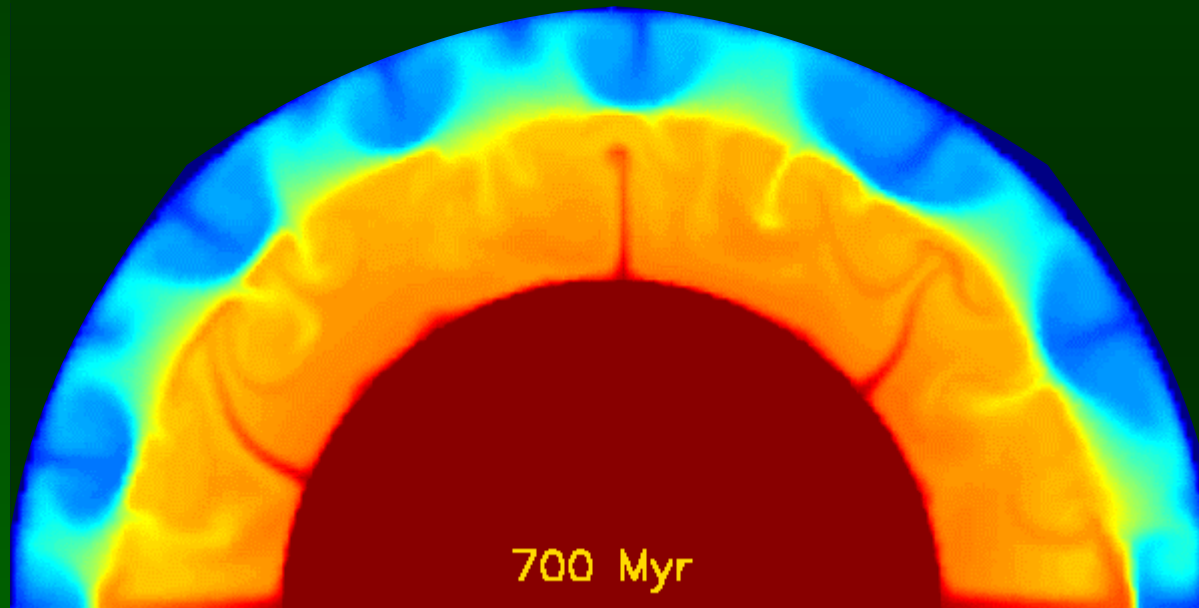
SIMULACE VÝVOJE TEPLOTNÍHO POLE

startovací model teploty T_{ini} \longrightarrow rovnice kontinuity + pohybová rovnice

\longrightarrow model rychlostí v_1 \longrightarrow rovnice přenosu tepla $\longrightarrow T_1$

ROZLOŽENÍ TEPLŮT V ZEMSKÉM PLÁŠTI

- dvourozměrný, osově symetrický model
- viskozita závislá na tlaku a průměrné teplotě
- kompoziční rozhraní v hloubce 1000 km



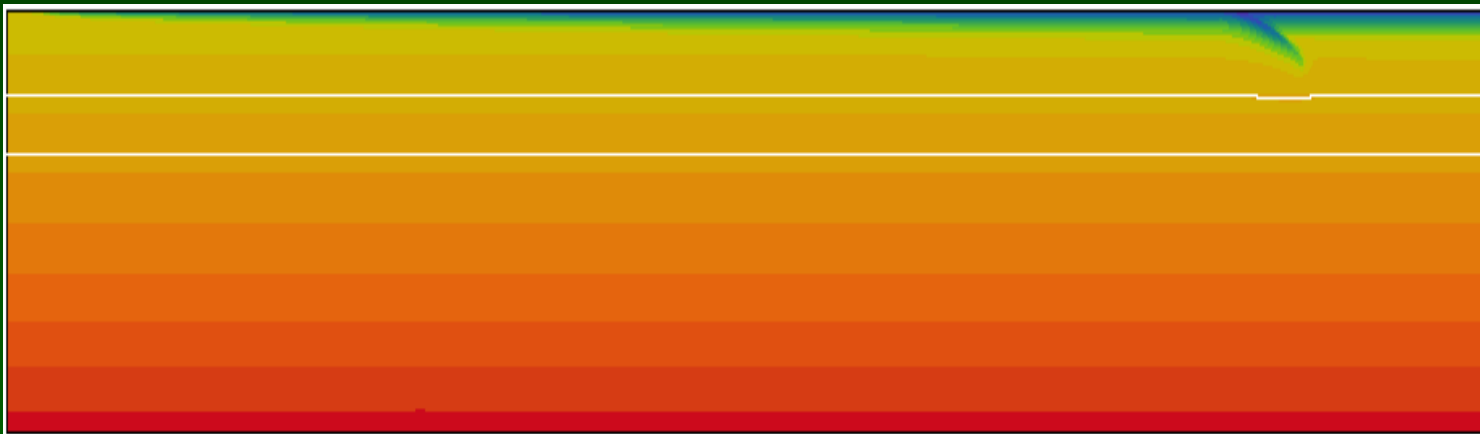
0 3000

T (°C)

REGIONÁLNÍ MODELOVÁNÍ

Kartézská oblast

Složitější modely (reologie atd.)



DISKRETIZACE ÚLOHY

METODA KONEČNÝCH ELEMENTŮ

1. Slabá formulace problému

parciální diferenciální rovnice \longrightarrow integrální rovnice

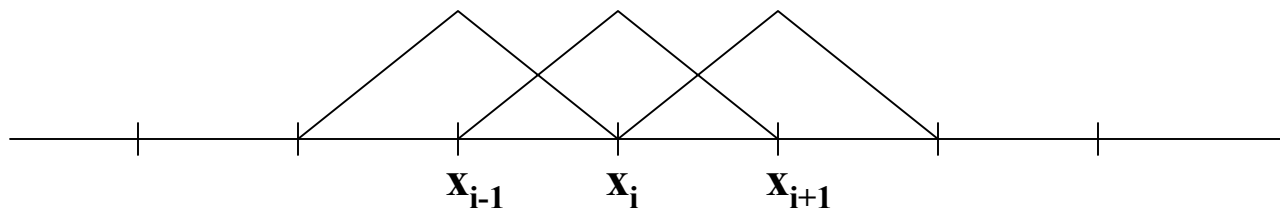
2. Aproximace polí vystupujících v rovnicích lineární kombinací bázových funkcí s lokálním nosičem

soustava integrálních rovnic



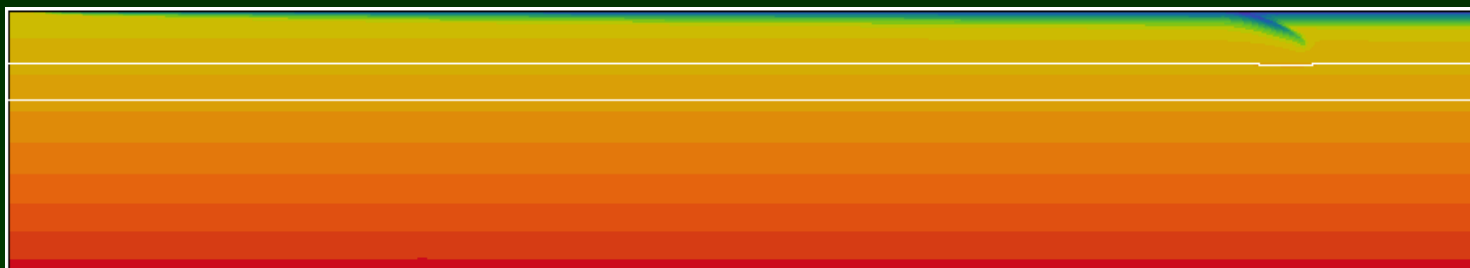
soustava lineárních algebraických rovnic s řídkou maticí

Příklad bázových funkcí v 1-D případě:



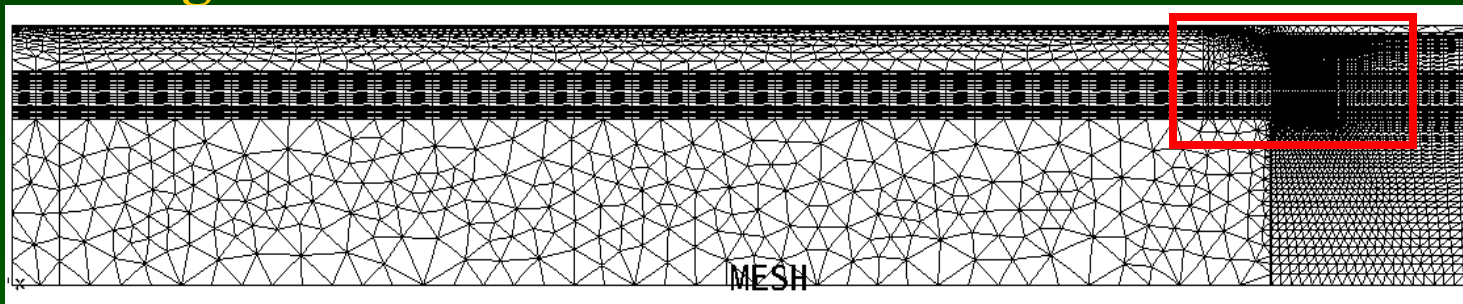
Modelová oblast

2100 km

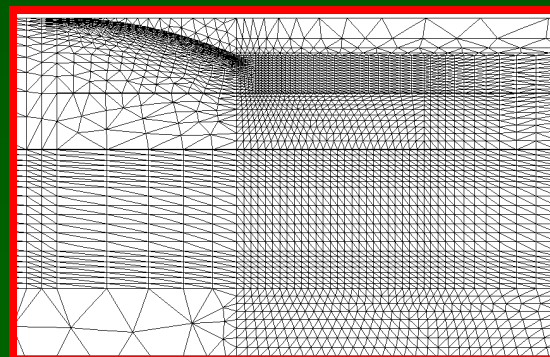


12000 km

Triangulace modelové oblasti



Detail sítě - oblast okolo zlomu



MODELOVÉ PARAMETRY

- fázové přechody v hloubkách 410 km a 660 km
- kompozitní reologie
- dvourozměrný kartézský model
- 100 mil. let stará deska subdukující rychlostí 10 cm/rok
- předdefinovaný zlom

Okrajové a počáteční podmínky

RYCHLOST

$$v_x = 10 \text{ cm/rok} \quad v_y = 0$$

$$v_x = v_y = 0$$



volný prokluz

$$v_y = 0$$

TEPLOTA



KOMPOZITNÍ REOLOGIE

- Tři mechanismy:**
- lineární newtonovský
 - mocninný
 - obecný mechanismus limitující napětí

$$\frac{1}{\eta_{eff}} = \frac{1}{\eta_N} + \frac{1}{\eta_M} + \frac{1}{\eta_L}$$

$$\eta_M = A_1 \dot{\varepsilon}^{(1-n)/n} \exp\left(\frac{E_1 + pV_1}{nRT}\right)$$

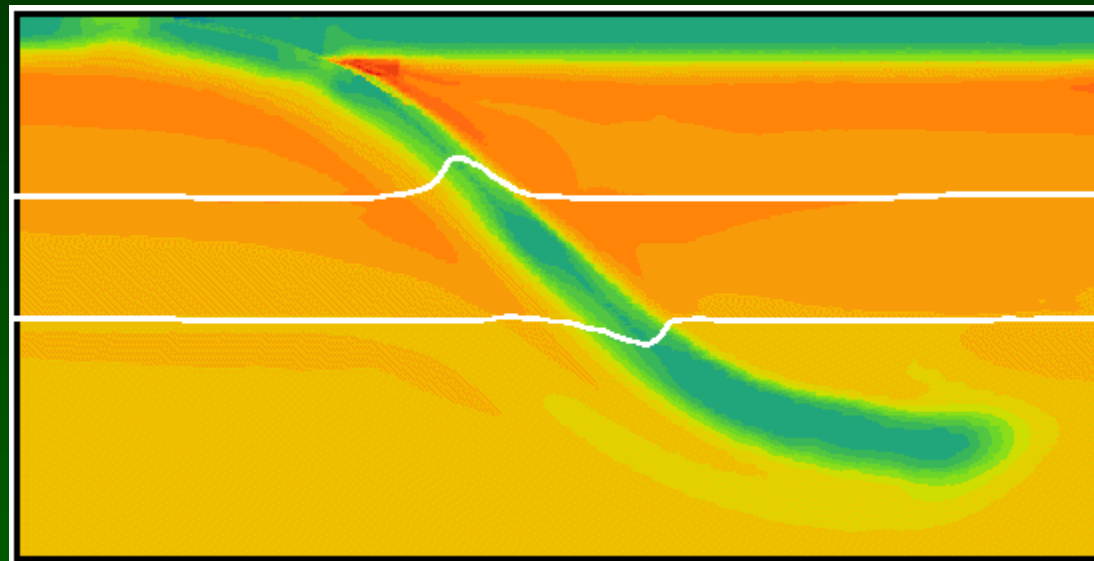
$$\eta_N = A_2 d^m \exp\left(\frac{E_2 + pV_2}{RT}\right)$$

$$\eta_L = \sigma_L \dot{\varepsilon}^{-1/n_L} \varepsilon^{1/n_L - 1}$$

$$n = 3, m = 2, n_L = 5, \sigma_L = 10^9 Pa$$

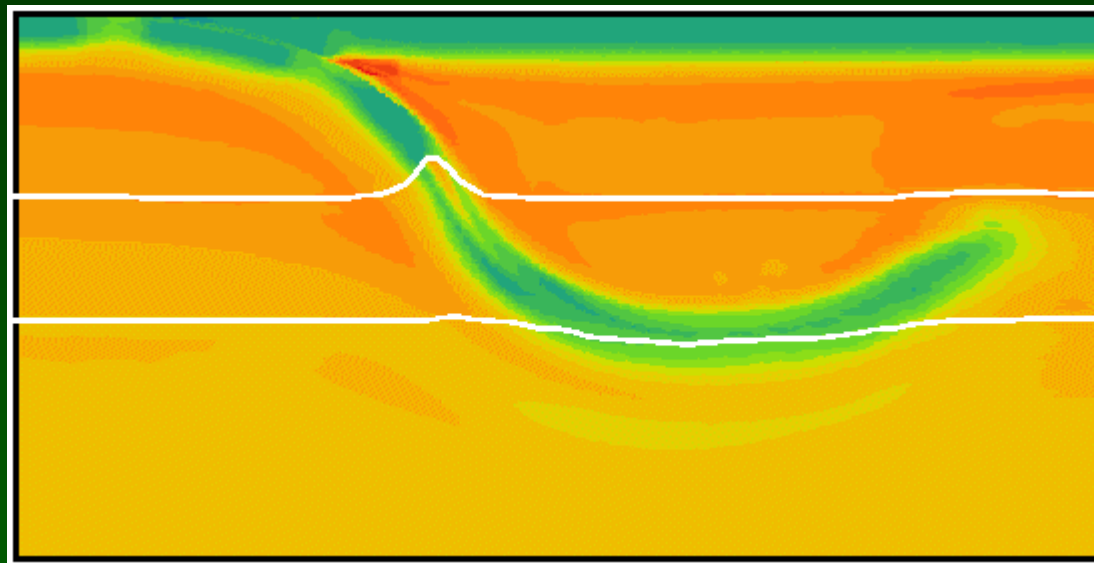
Rychlost zpětného pohybu subdukce 4 cm/rok Bez redukce velikosti zrna

délka animace 20 milionů let



Rychlost zpětného pohybu subdukce 4 cm/rok Vliv redukce velikosti zrna

délka animace 22 milionů let



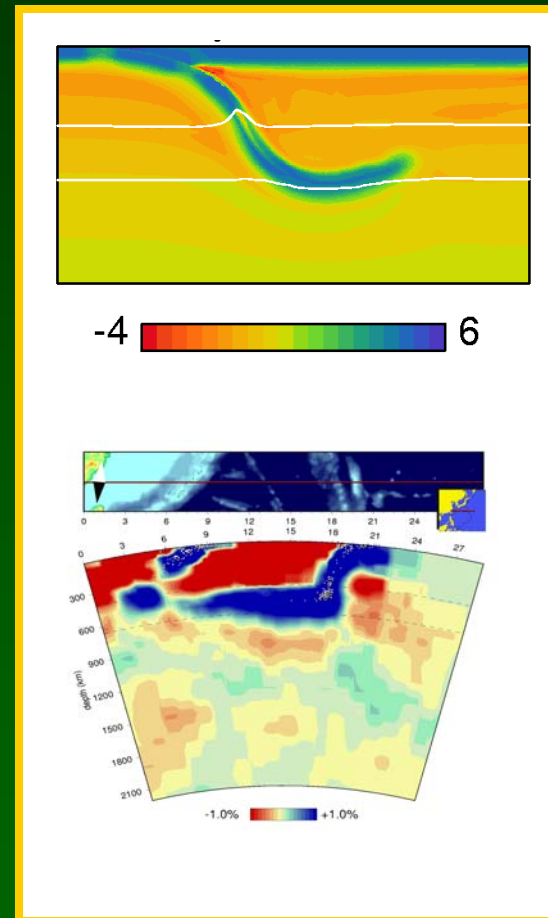
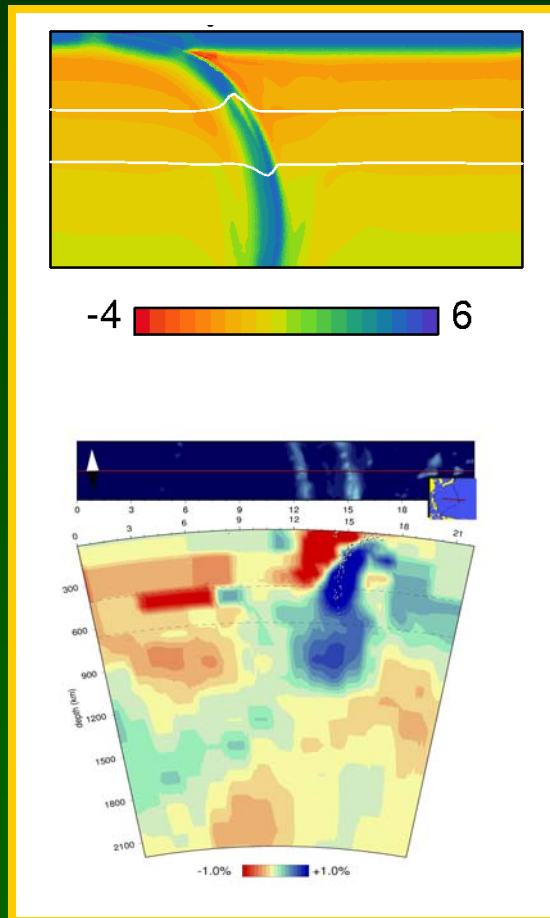
-4  8
 $\log(\eta_{\text{eff}})$

SHODA NUMERICKÝCH MODELŮ S VÝSLEDKY TOMOGRAFIE

rychlost zpětného pohybu subdukční zóny:

1 cm/rok

4 cm/rok



Katedra geofyziky MFF UK - Netscape

File Edit View Go Communicator Help

Back Forward Reload Home Search Netscape Print Security Shop Stop

Bookmarks Netsite: <http://geo.mff.cuni.cz/> What's Related



KATEDRA GEOFYZIKY

[Hlavní stránka](#)

[O katedře](#)

[Lidé](#)

[Výuka](#)

[Výzkum](#)

[Publikace](#)

[Konference](#)

[Seismické stanice](#)

KATEDRA GEOFYZIKY

[Matematicko-fyzikální fakulty](#) [Univerzity Karlovy v Praze](#)

Evropskou komisí byl schválen projekt MAGMA (Pražské centrum matematické geofyziky, meteorologie a jejich aplikací). Cílem projektu je posílení mezinárodního postavení geofyziky a meteorologie na naší fakultě a dokončení integrace těchto oborů do Evropské výzkumné oblasti. Jedná se o součást programu Energie, prostředí a udržitelný rozvoj. Zahnuje zejména dlouhodobé pobyty zahraničních doktorandů a post-doktorandů na MFF, krátké návštěvy špičkových odborníků u nás, ale též organizaci minisymposií a spoluorganizaci větších konferencí. Projekt je tříletý a celkem se má v jeho rámci uskutečnit zhruba 20 dlouhodobých a 130 krátkodobých pobytů na MFF. Navštivte [domovskou stránku projektu MAGMA](#).



Západní Řecko je unikátní "přírodní laboratoř" s největší seismickou aktivitou v Evropě. Proto přitahuje pozornost vědců celého světa. Cílem je zjistit, jaké fyzikální procesy při



Document: Done

Start NC - NCMAN Katedra geofyziky MF... En 21:07