

# ZEMĚ JAKO TEPELNÝ STROJ

**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**

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

**KATEDRA GEOFYZIKY**

[Hlavní stránka](#)

[O katedře](#)

[Lidé](#)


[Výuka](#)

[Výzkum](#)

[Publikace](#)

[Konference](#)

[Seismické stanice](#)



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](#).

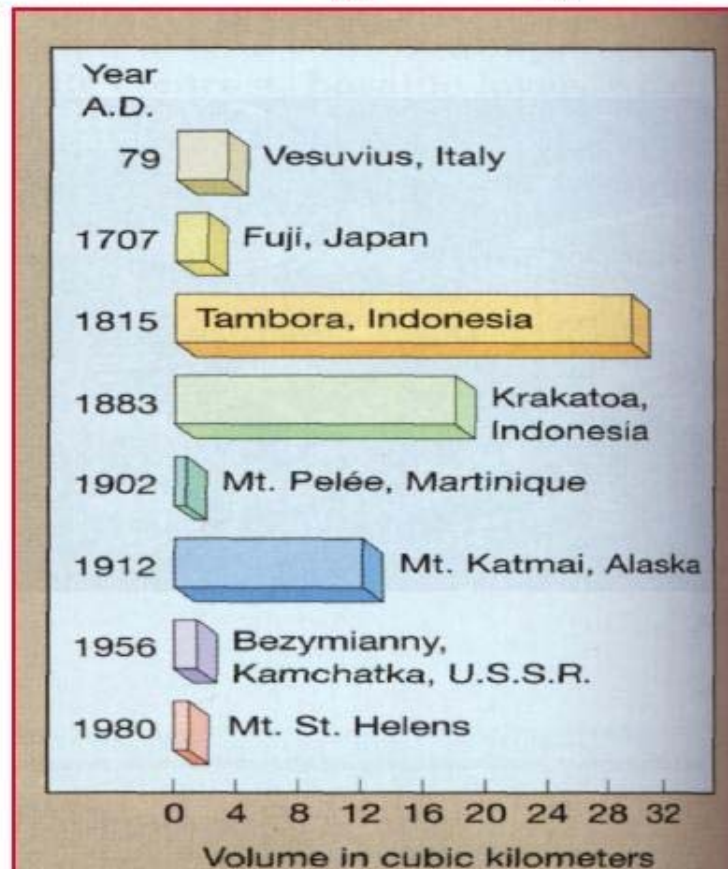


Západní Řecko je unikátní "přírodní laboratoř" s největší seismickou aktivitou v Evropě. Proto přitahuje pozornost vědců celého světa. Cílem je zjistit, jaké fyzikální procesy při

Document: Done

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

# Some Large Eruptions



**Figure 7.A**

*Approximate volume of volcanic debris emitted during some well-known eruptions. The 1815 eruption of Tambora, the largest-known eruption in historic time, ejected over 30 times more ash than did Mount St. Helens in 1980.*

# Earthquake Effects - Ground Shaking



 **USGS**

Northridge, CA 1994

# Earthquake Effects - Ground Shaking



Loma Prieta, CA 1989

# Earthquake Effects - Ground Shaking



Kobe, Japan 1995

# Earthquake Effects - Ground Shaking



Kobe, Japan 1995

# Earthquake Effects - Surface Faulting



Landers, CA 1992



# Earthquake Effects - Landslides



Source: National Geophysical Data Center



# Earthquake Effects - Fires



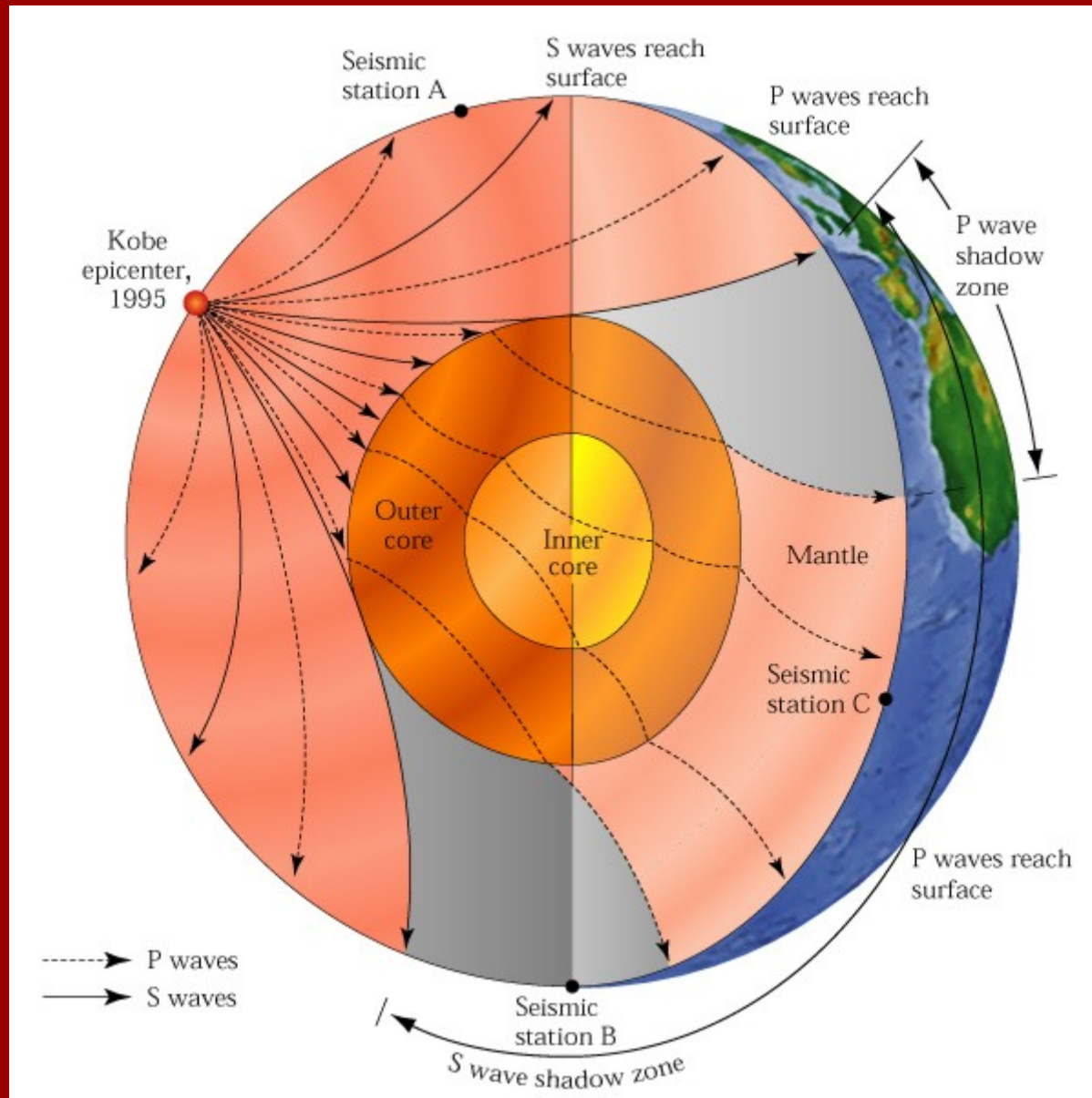
Loma Prieta, CA 1989

# Earthquake Effects - Tsunamis

## 1957 Aleutian Tsunami

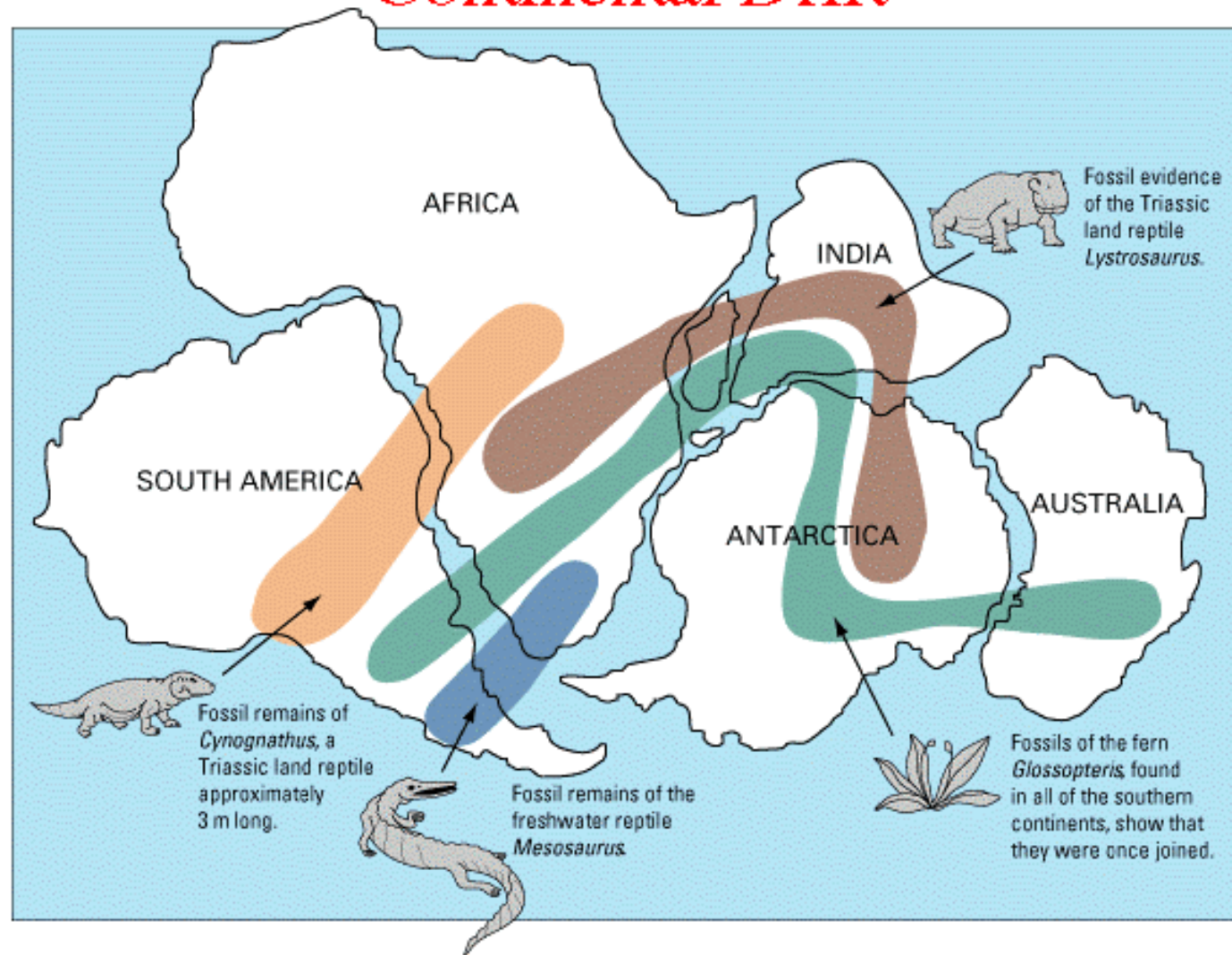


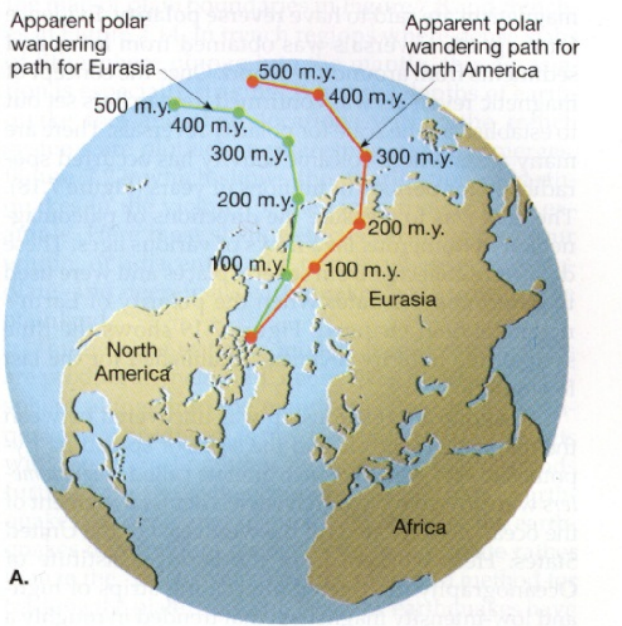
Photograph Credit: Henry Helbush. Source: National Geophysical Data Center



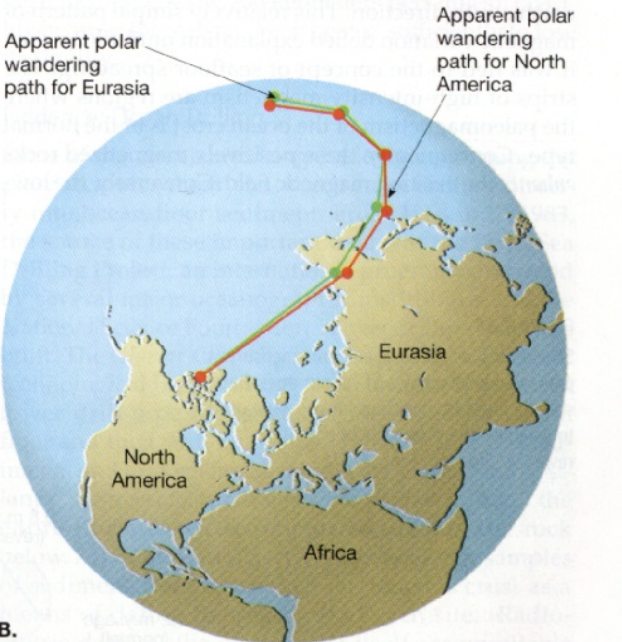
# History

## Continental Drift

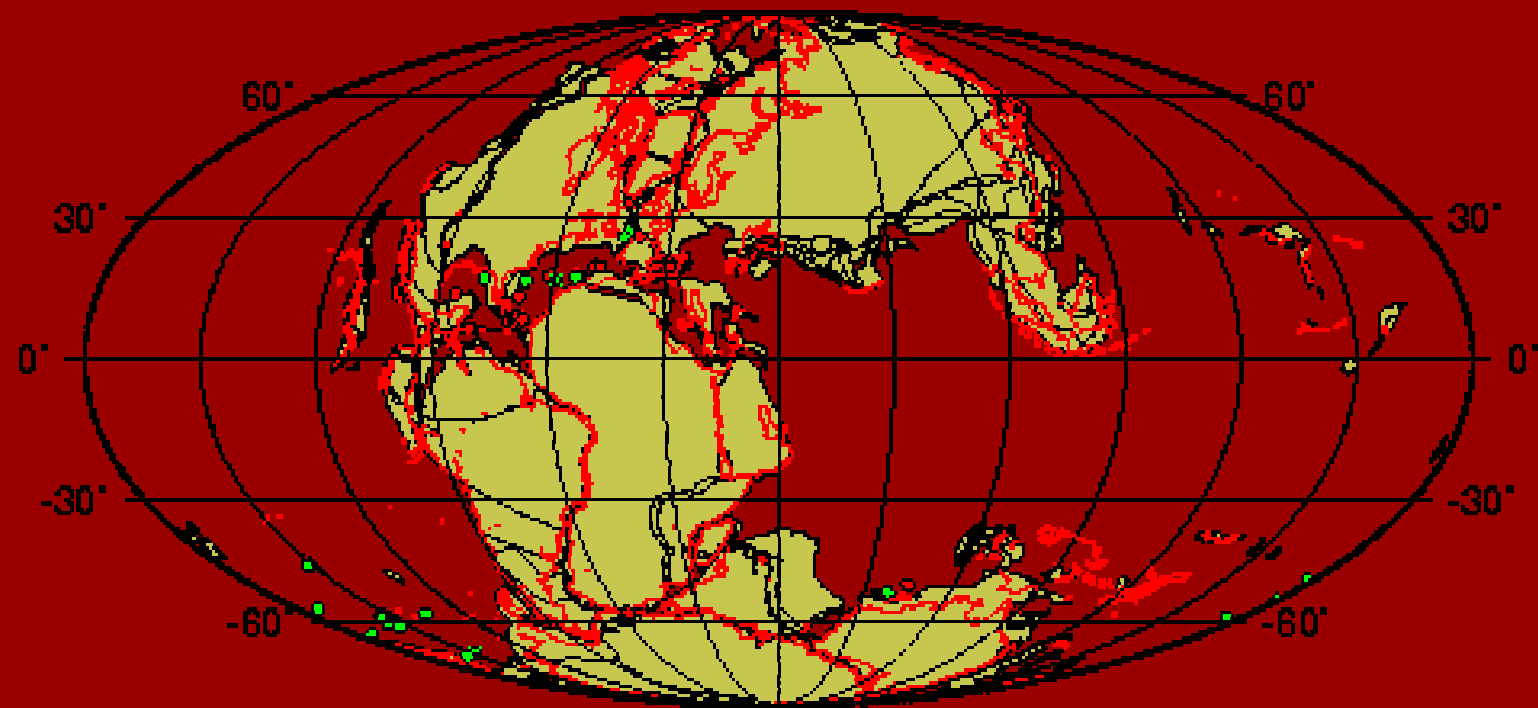




A.



B.

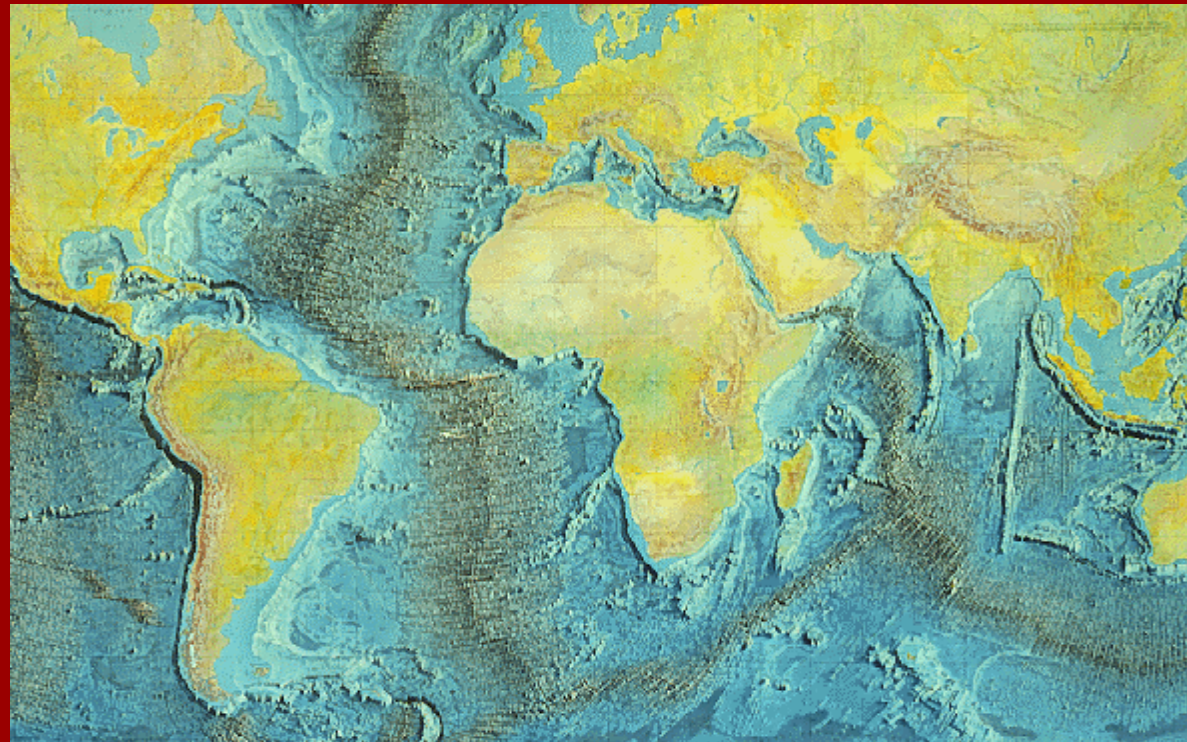


150 My Reconstruction

# ROZPAD PRAKONTINENTU PANGEA (225 MILIONŮ LET)



**Středoocéánské hřbety**  
**Hlubokomořské příkopy**

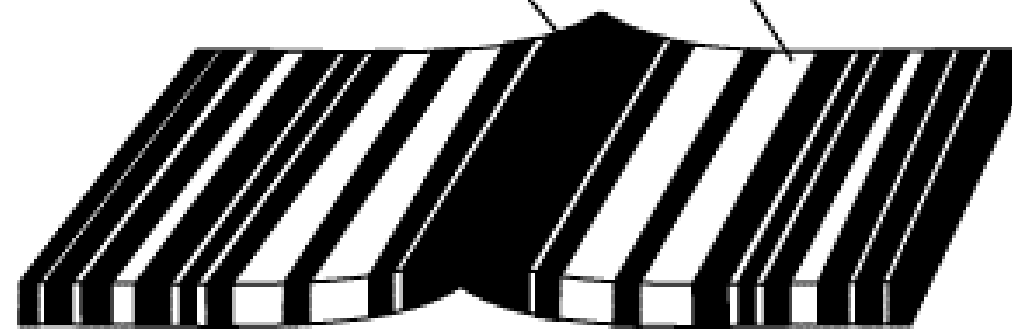




positive magnetic anomaly      negative magnetic anomaly  
Earth's magnetic field

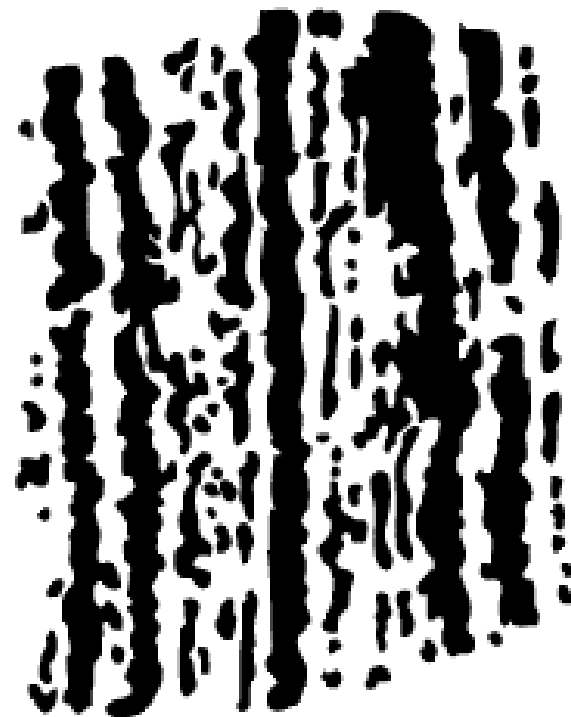


positive      negative



magnetic stripes

magnetic stripes



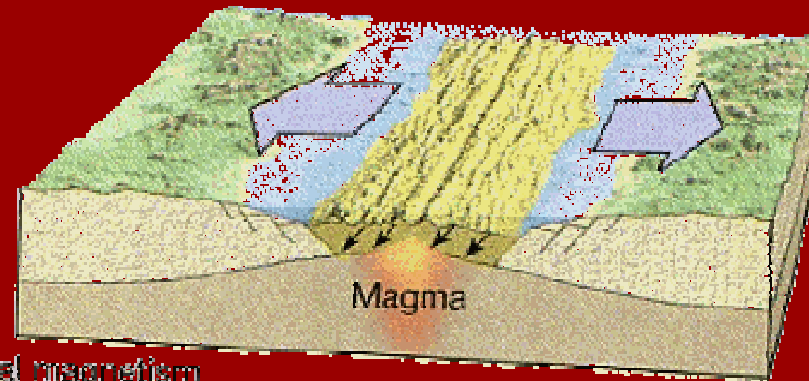
10 5 0 5 10 million years



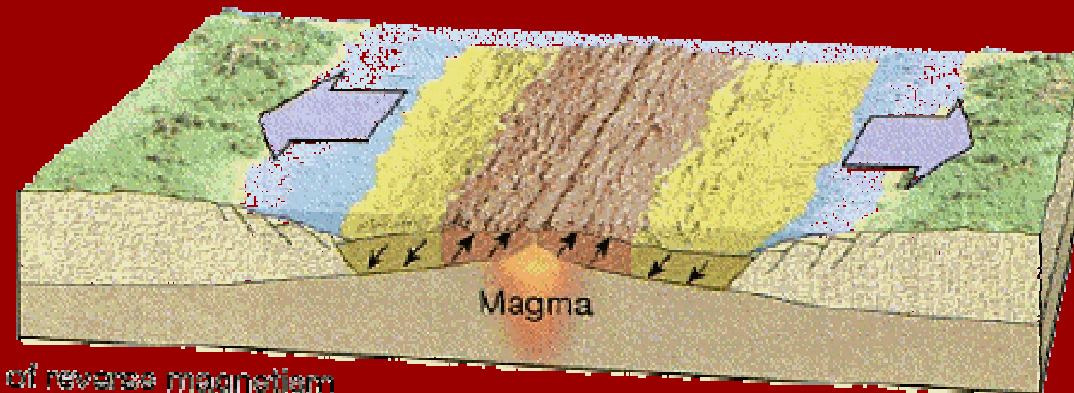
ridge axis

Pattern created by magnetic stripes along the Mid-Atlantic Ridge south of Iceland.

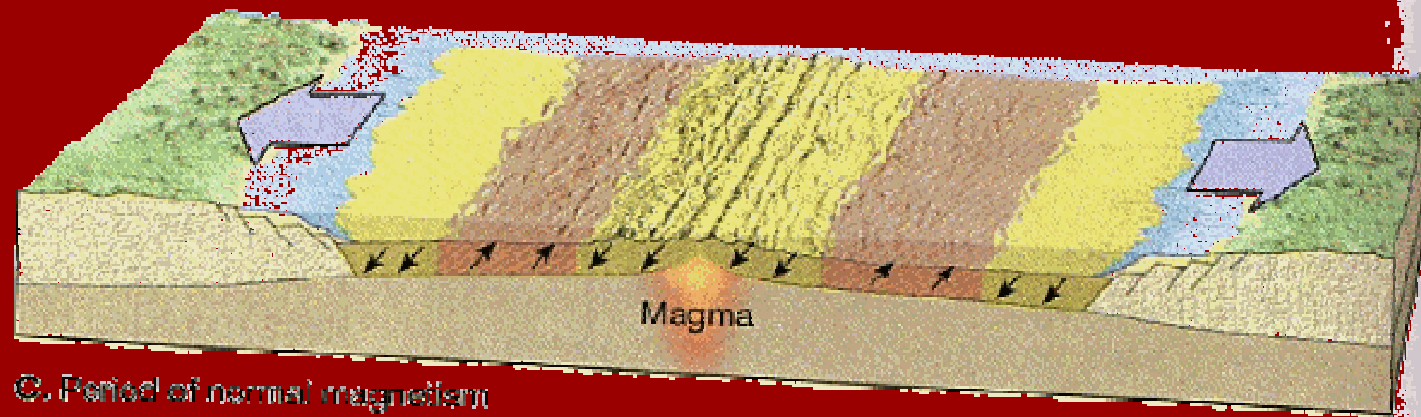
# History Sea-Floor Spreading



A. Period of normal magnetism

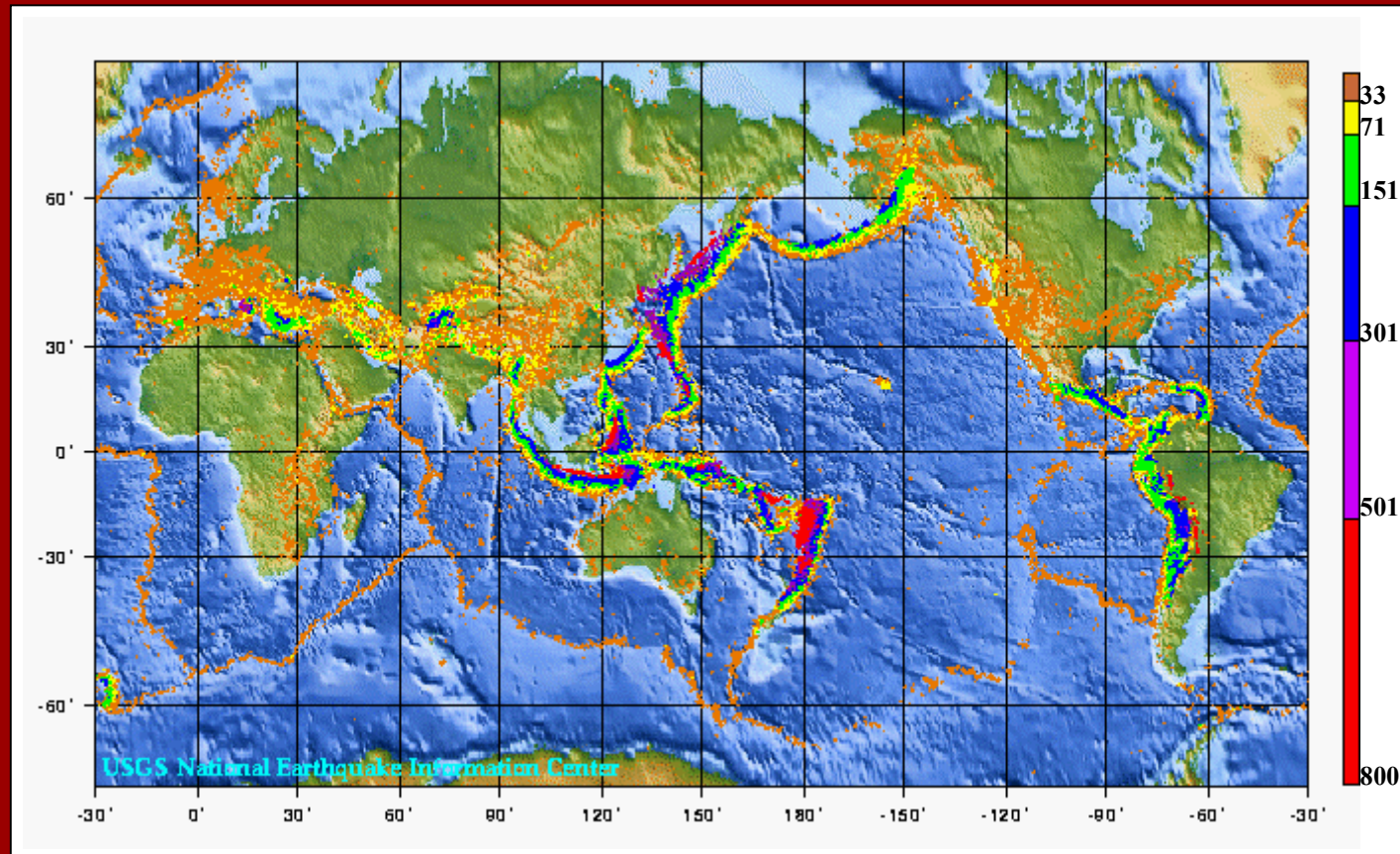


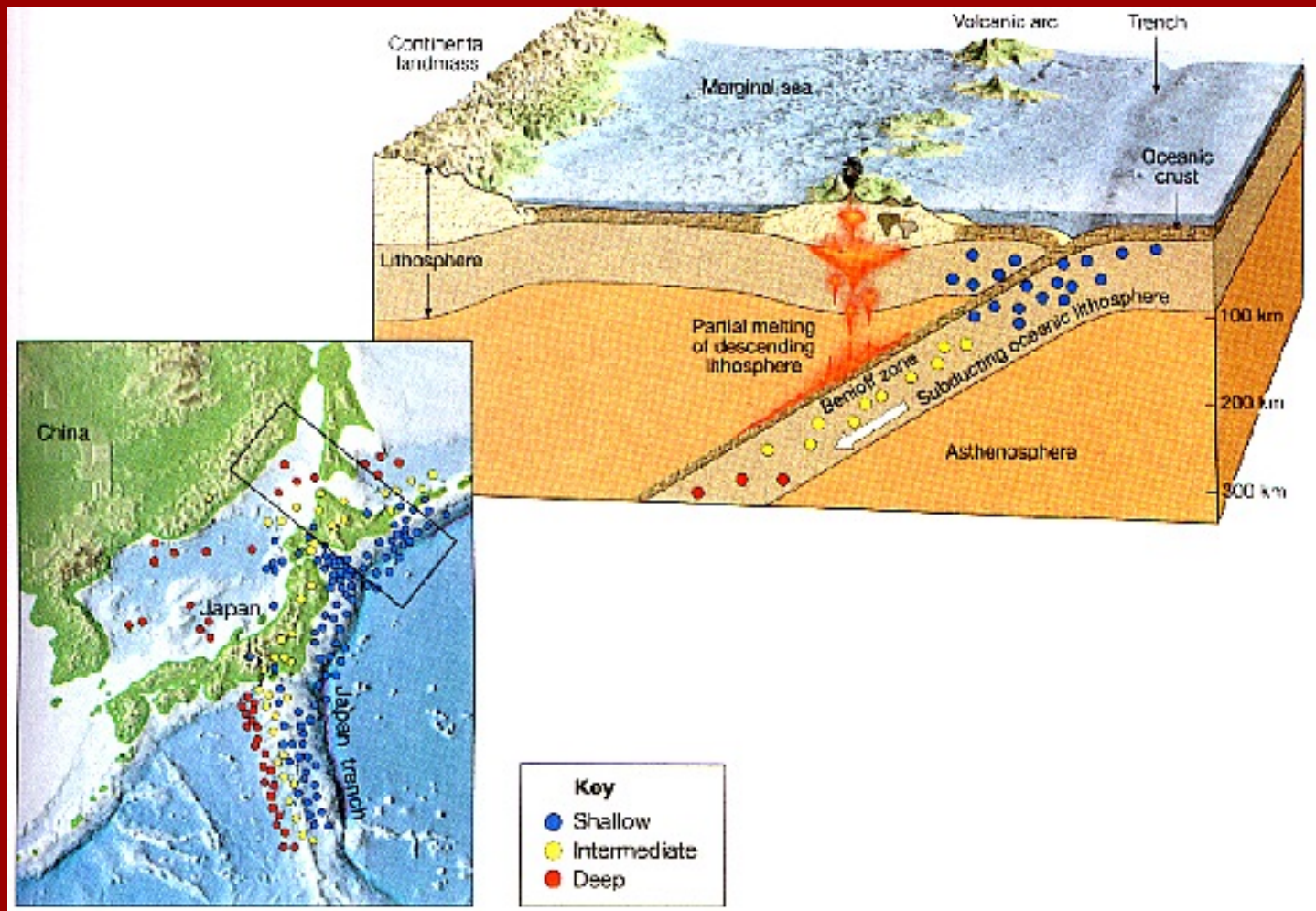
B. Period of reverse magnetism



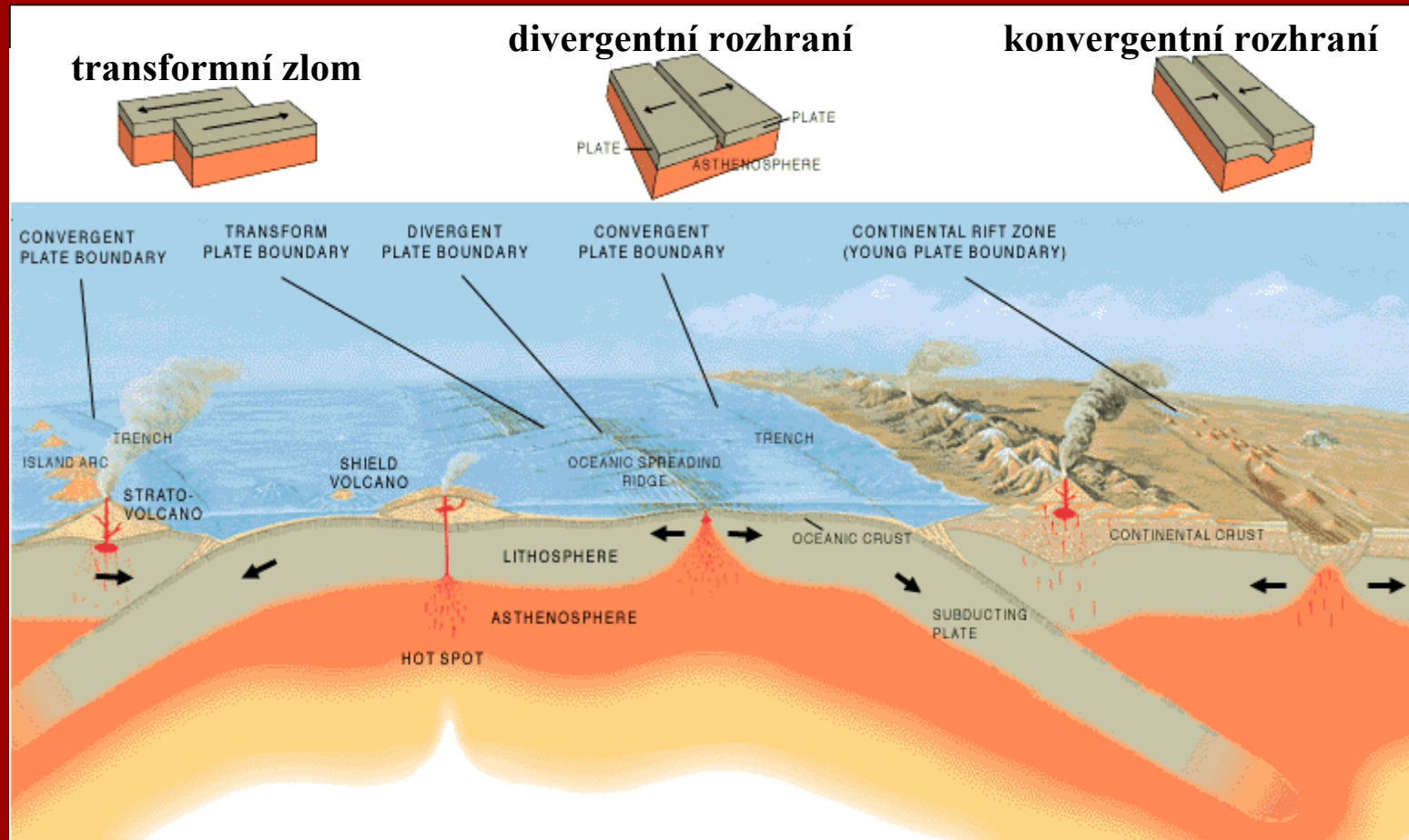
C. Period of normal magnetism

## Rozložení ohnisek zemětřesení 1975 - 1995

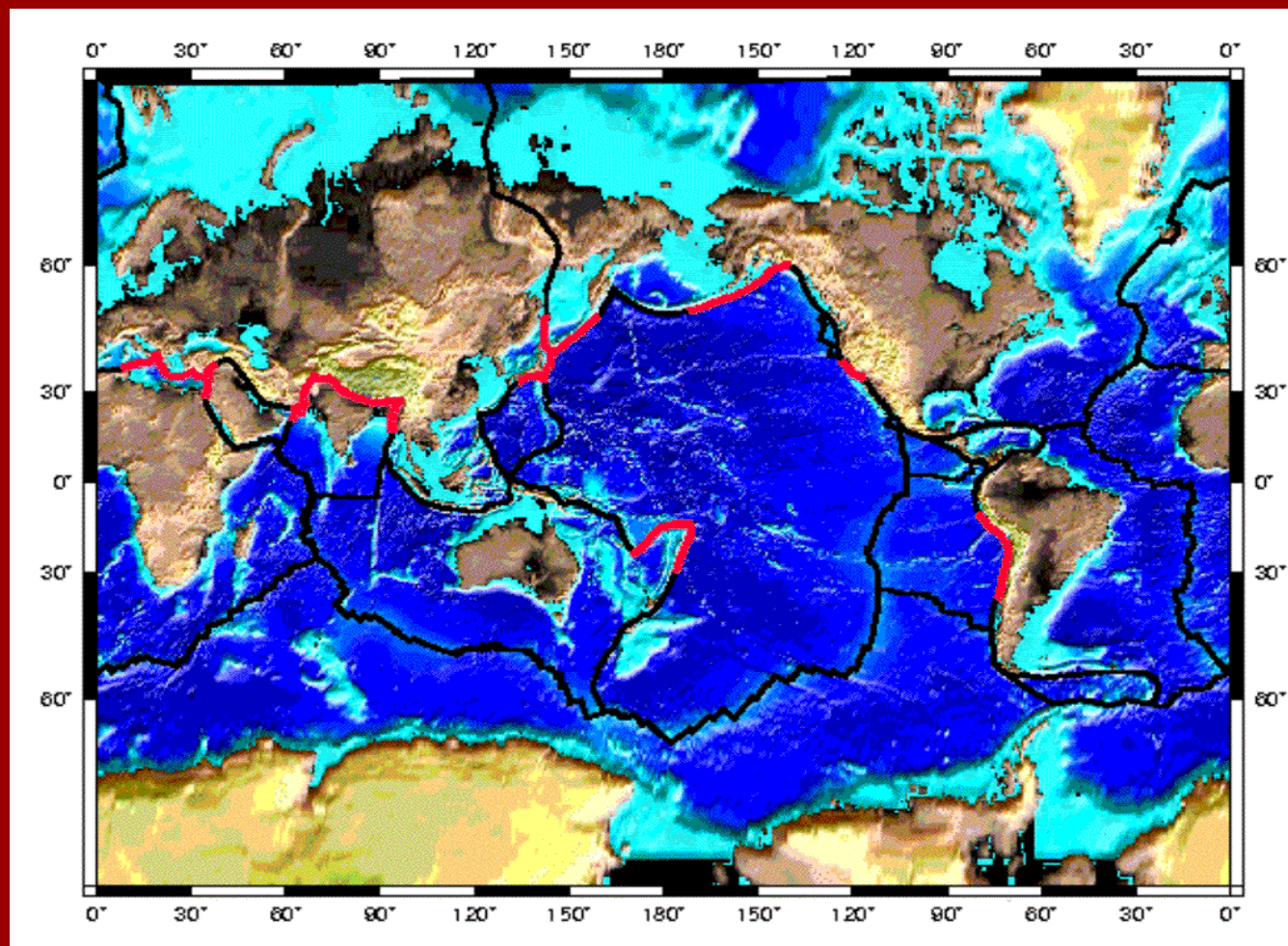




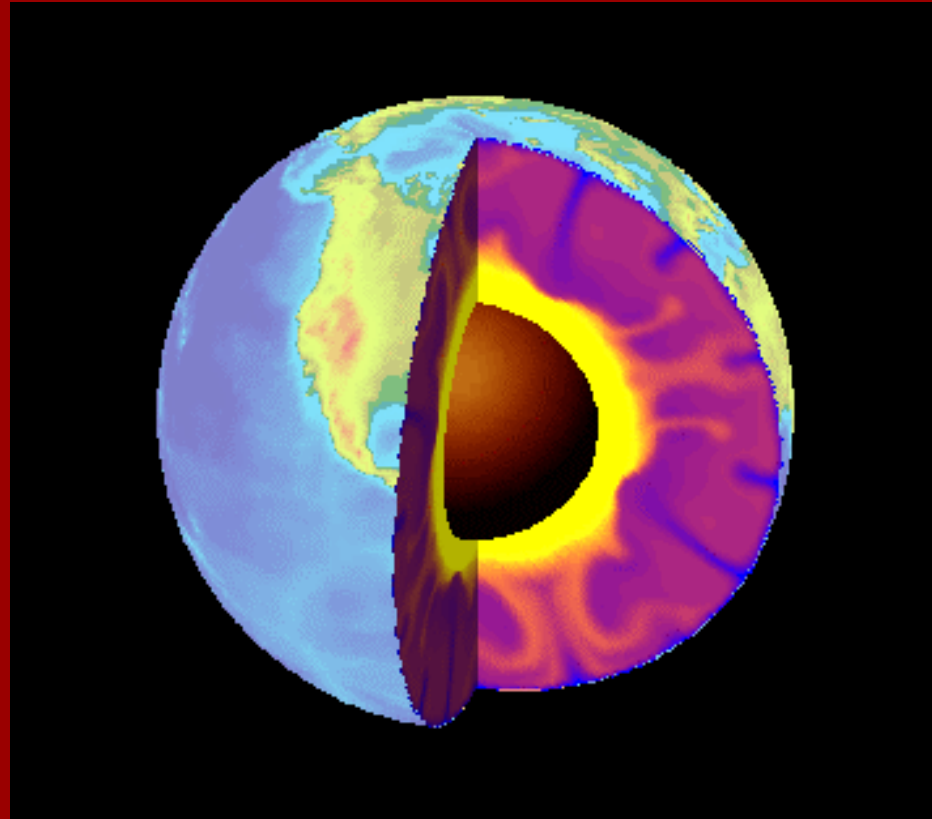
# PROCESY NA OKRAJÍCH DESEK



# DESKOVÁ ROZHRAŇÍ

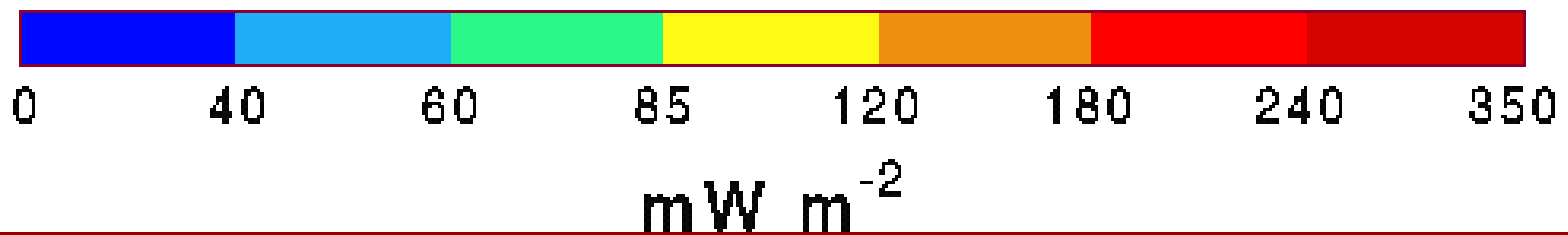
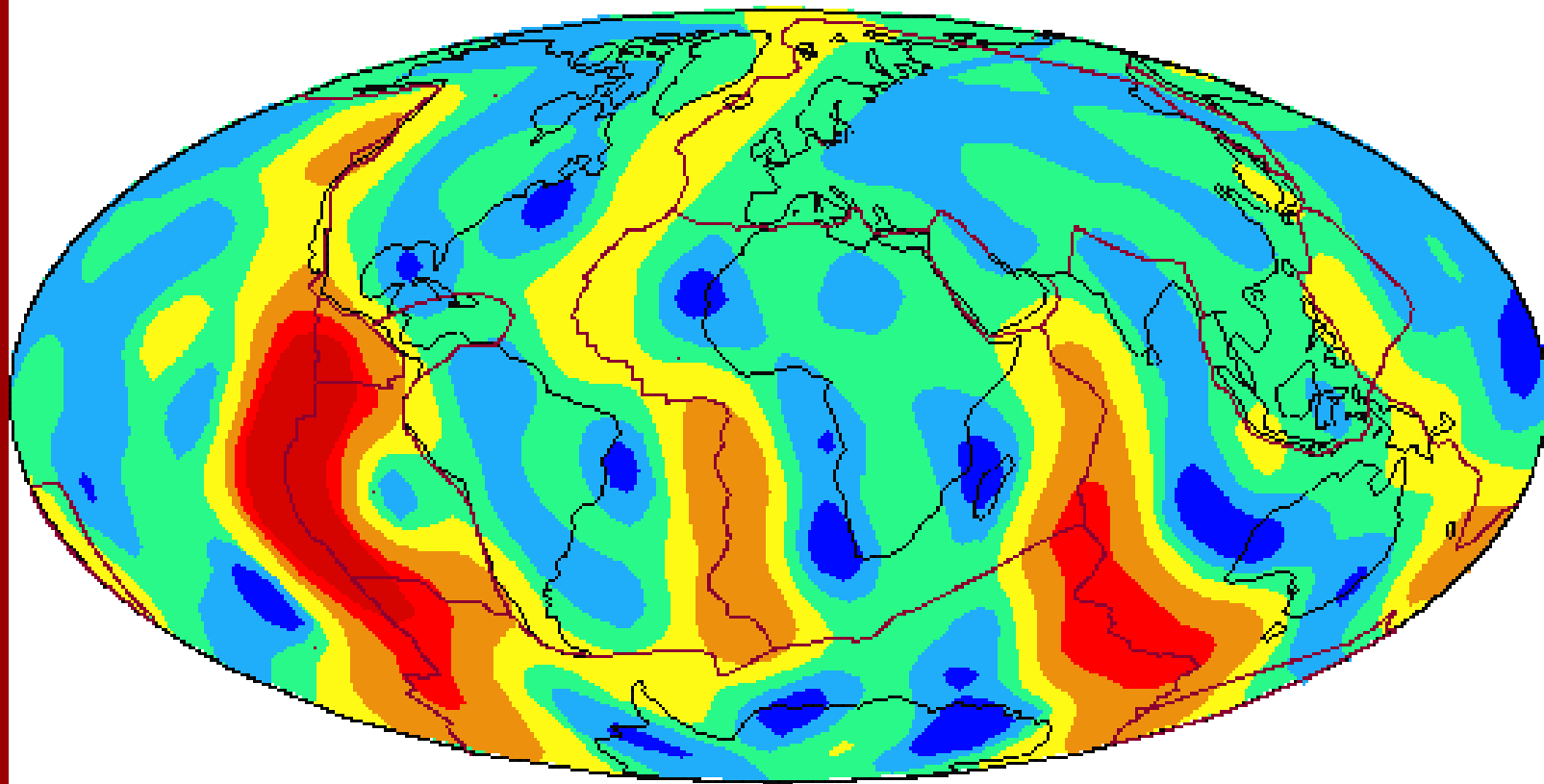


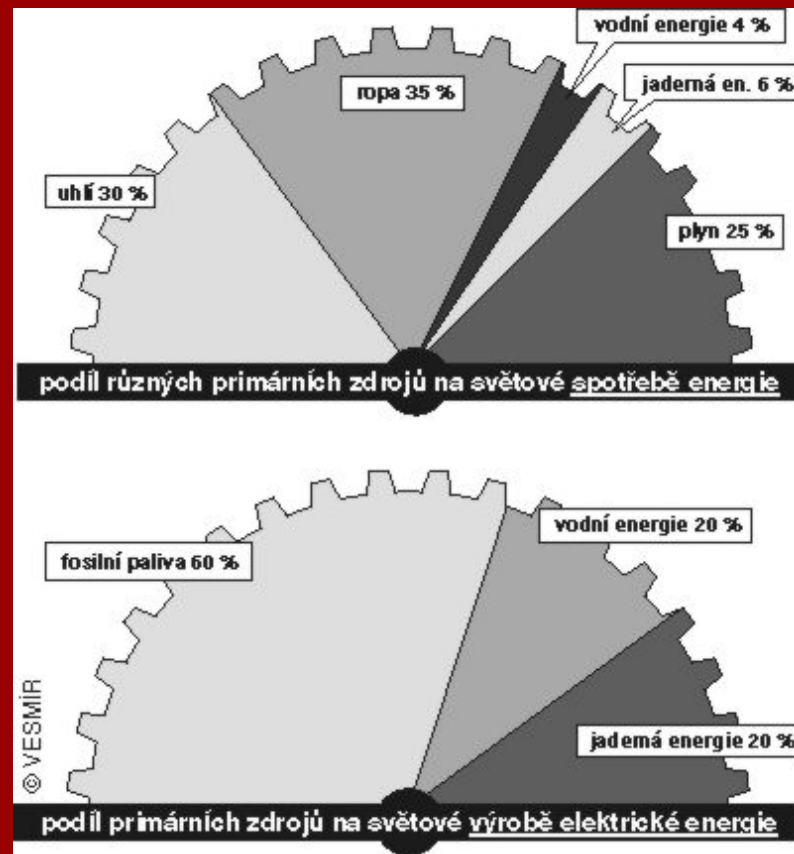
**Zdroje energie pro deskové pohyby:  
TERMÁLNÍ KONVEKCE V ZEMSKÉM PLÁŠTI**





# Heat Flow





Světová spotřeba energie v roce 1995 pravděpodobně přesáhla  $12 \cdot 10^9$  t „uhelného ekvivalentu“ (též „měrné palivo“ = 31.5 GJ/t). Průměrný obyvatel Země dnes spotřebuje o málo více než 2 t „měrného paliva“ ročně. Hlavními spotřebiteli primárních energetických zdrojů jsou elektrárny a doprava; na všechny ostatní spotřebitele zbývá necelá polovina.

The basic equations in the region  $V(t) \setminus \Sigma(t)$  are:

*Equation of continuity*

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0.$$

*Equation of continuity of radioactive heat sources*

$$\frac{\partial R}{\partial t} + \nabla \cdot (R \mathbf{v}) = - \sum_i \rho c_i \frac{Z_i}{\lambda_i} e^{-\frac{t}{\lambda_i}}.$$

*Momentum equation*

$$\nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{g} - 2\rho \boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{v} - \rho \boldsymbol{\Omega} \times (\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{r}) = \rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \rho \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v}.$$

*Conservation of moment of momentum*

$$\boldsymbol{\tau} = (\boldsymbol{\tau})^T.$$

*Rheological relationship*

$$\boldsymbol{\tau} = -p \mathbf{I} + \boldsymbol{\sigma}(\mathbf{v}), \quad \lim_{\mathbf{v} \rightarrow 0} \boldsymbol{\sigma}(\mathbf{v}) = 0,$$

*Heat equation*

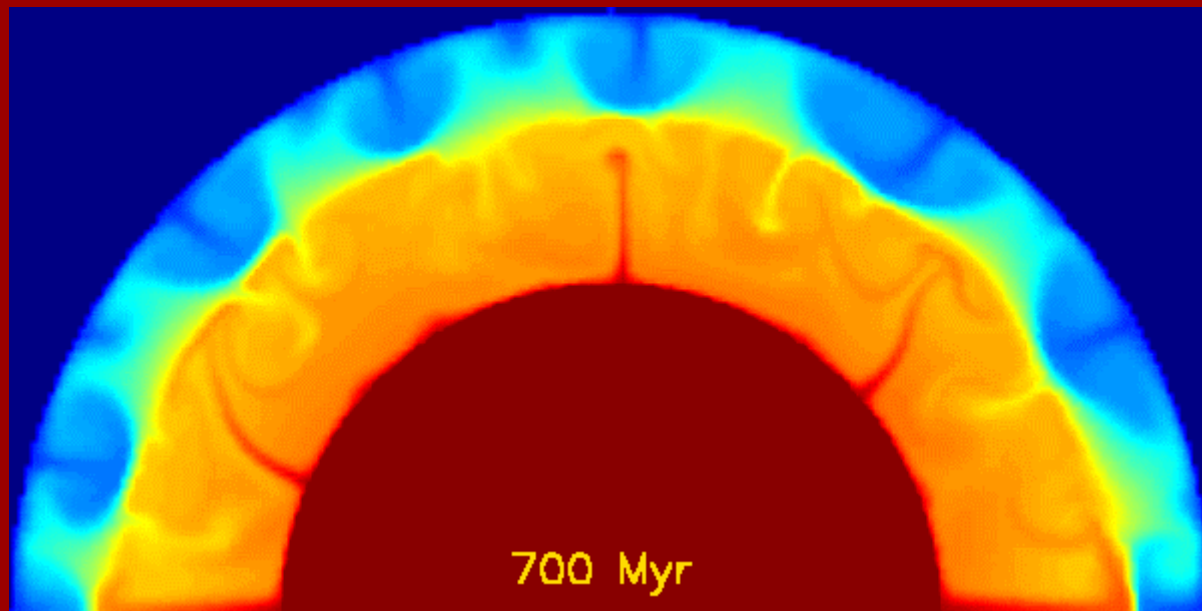
$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\mathbf{k} \cdot \nabla T) - \rho c_p \mathbf{v} \cdot \nabla T - \rho v_r \alpha T g + \boldsymbol{\sigma} : \nabla \mathbf{v} + R + H.$$

*Equation of state*

$$\rho = \rho(p, T).$$

# ROZLOŽENÍ TEPLOT V ZEMSKÉM PLÁŠTI

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



0 3000

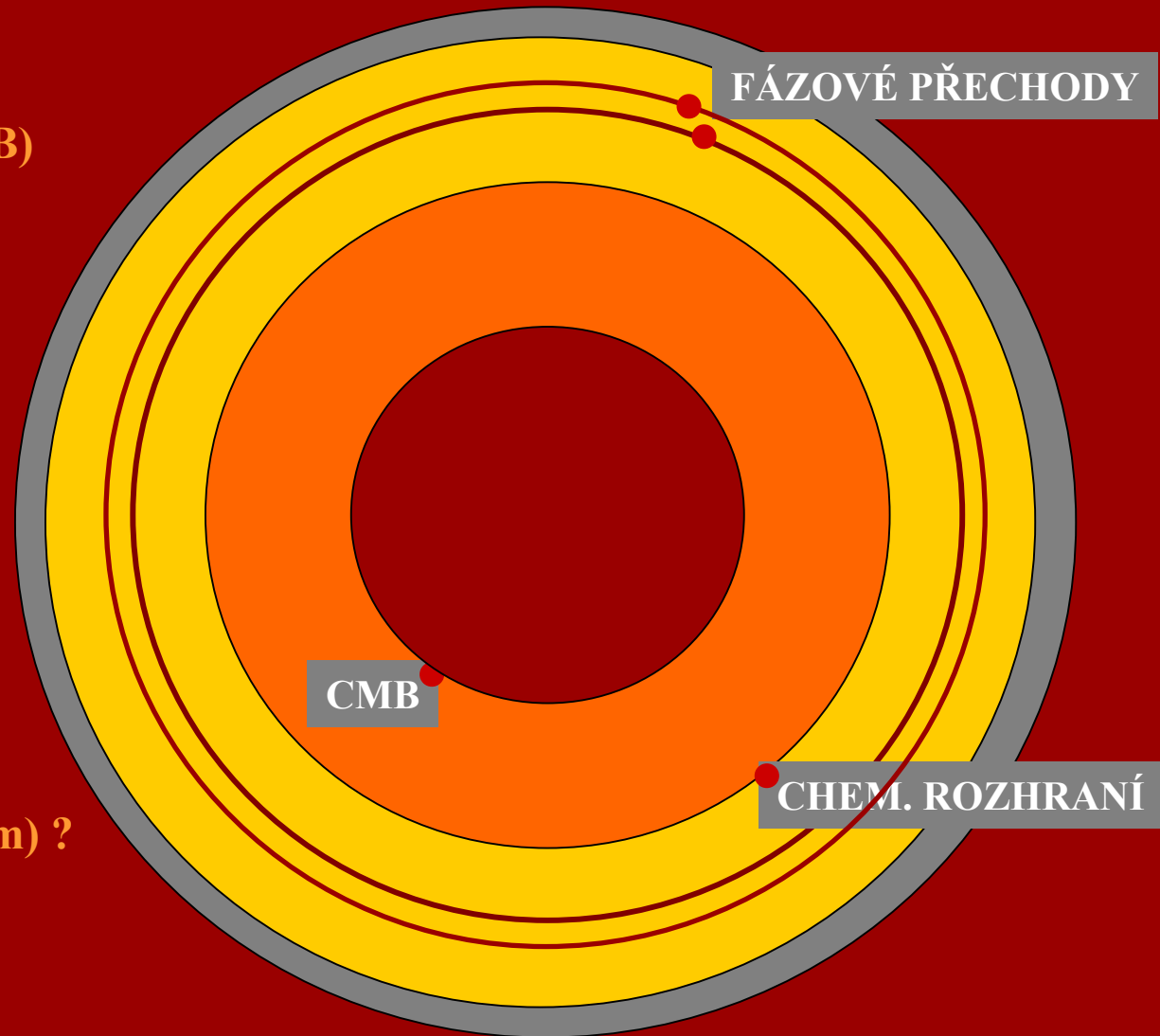
T (°C)

# ŘEZ ZEMSKÝM NITREM

**Rozhraní jádro-plášť (CMB)**  
hloubka 2890 km  
teplota asi 4000 K

**Fázové přechody**  
(410 km a 660 km)

**Chemické rozhraní (1000 km) ?**



# KOMPOZITNÍ REOLOGIE

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

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

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

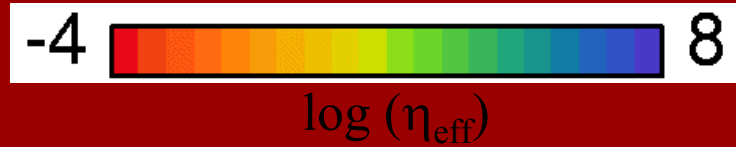
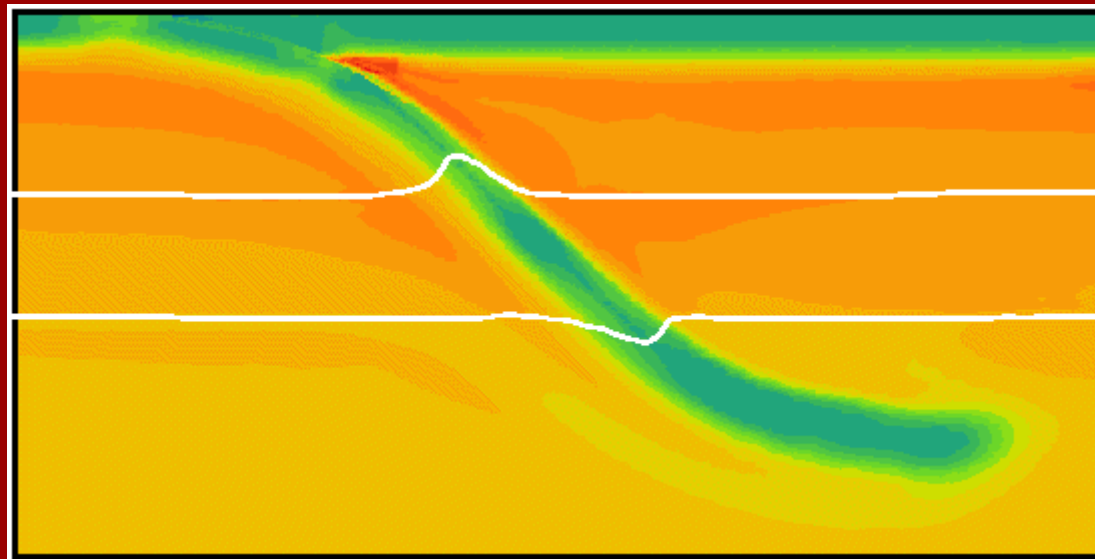
$$\eta_N = A_2 d^m \exp\left(\frac{E_2 + pV_2}{RT}\right)$$

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

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

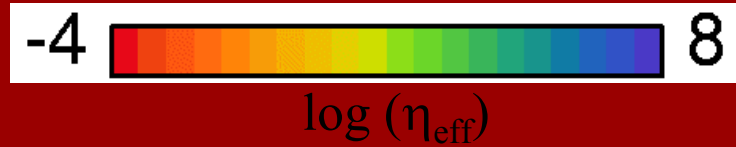
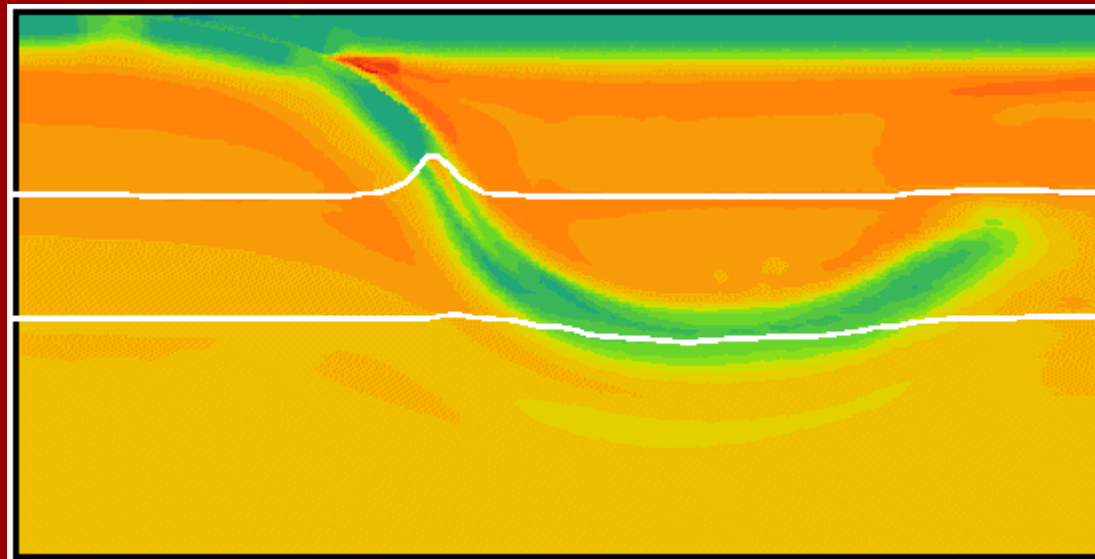
# Rychlost zpětného pohybu subdukce 4 cm/rok Bez redukce velikosti zrna

*délka animace 20 milionů let*



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

*délka animace 22 milionů let*

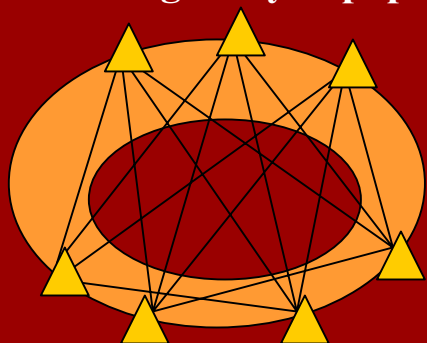




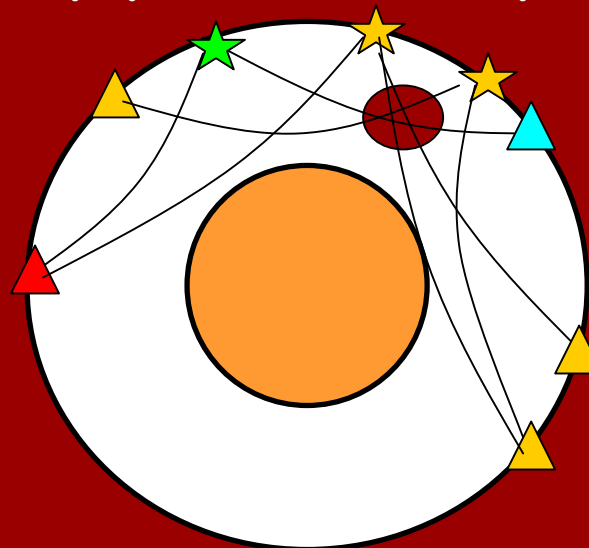
# ZDROJ INFORMACÍ O STRUKTUŘE ZEMSKÉHO PLÁŠTĚ

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

útlum rentgenových paprsků



odchyly časů šíření seismických vln

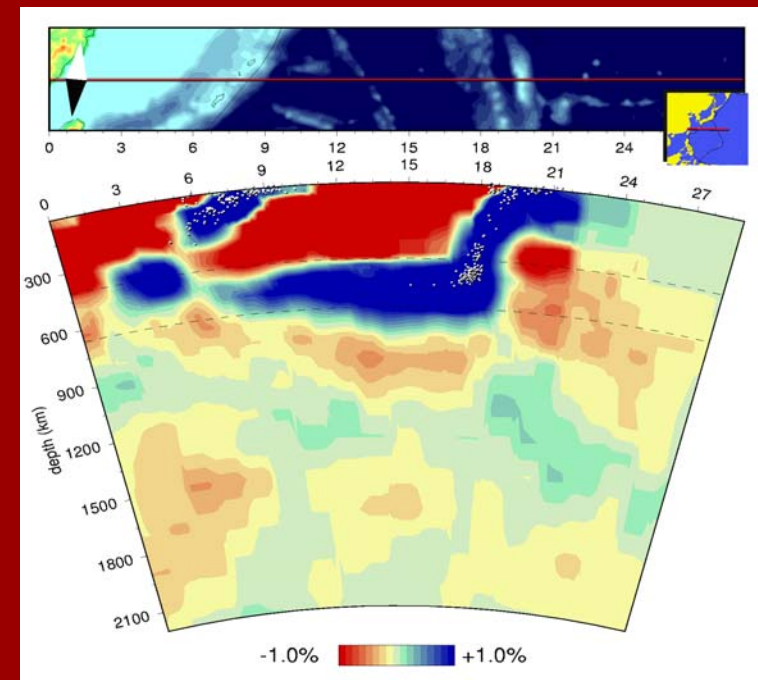
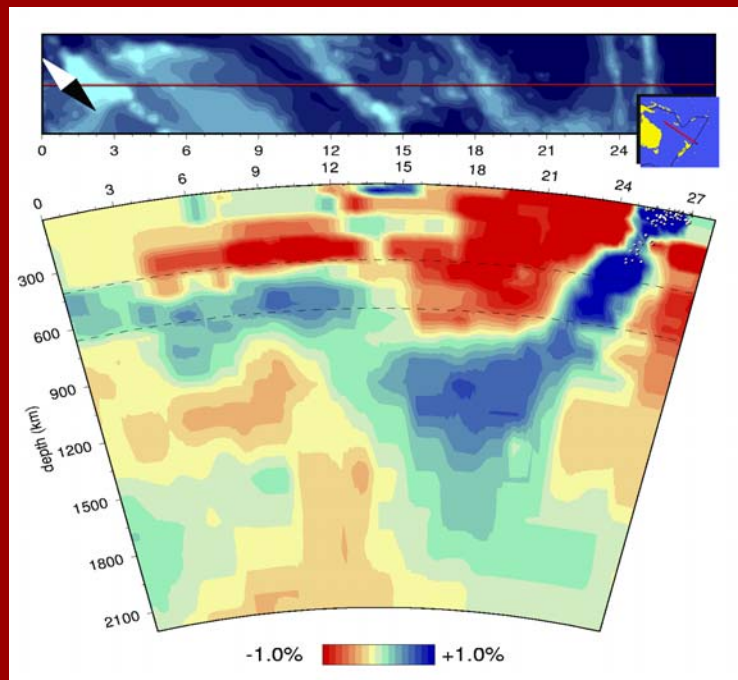


Výsledek: třírozměrný model odchylek rychlostí šíření seismických vln  
od radiálně symetrického modelu ( → rozložení hustot)

Problém: špatné rozlišení

# TOMOGRAFICKÝ OBRAZ PLÁŠTĚ

Bijwaard et al., 1998

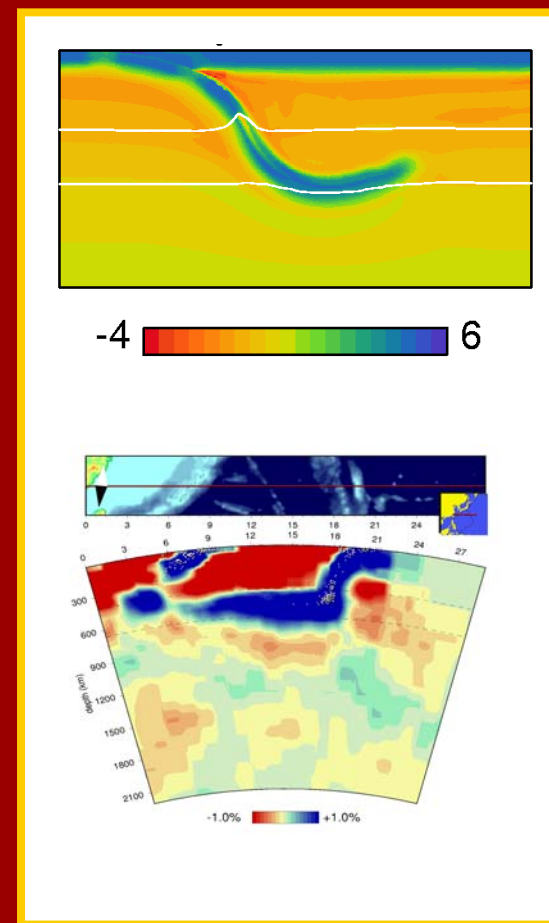
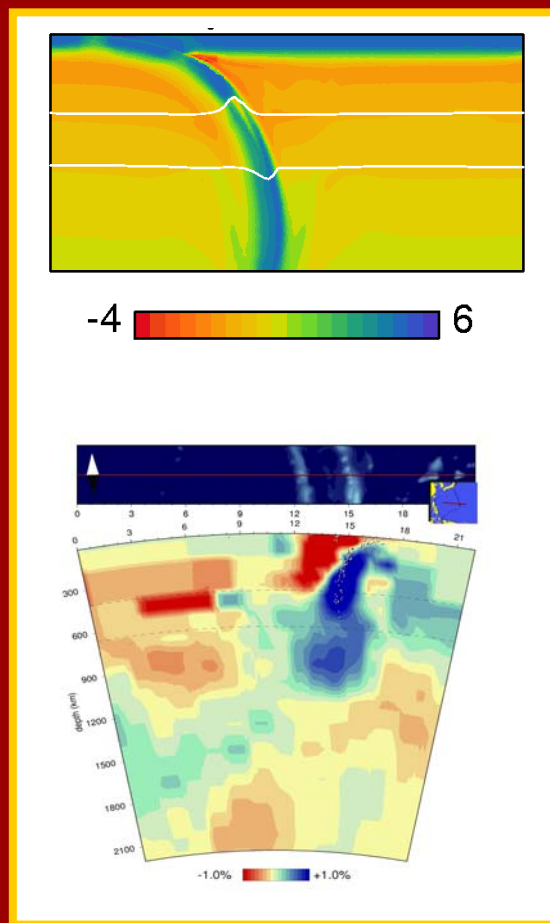


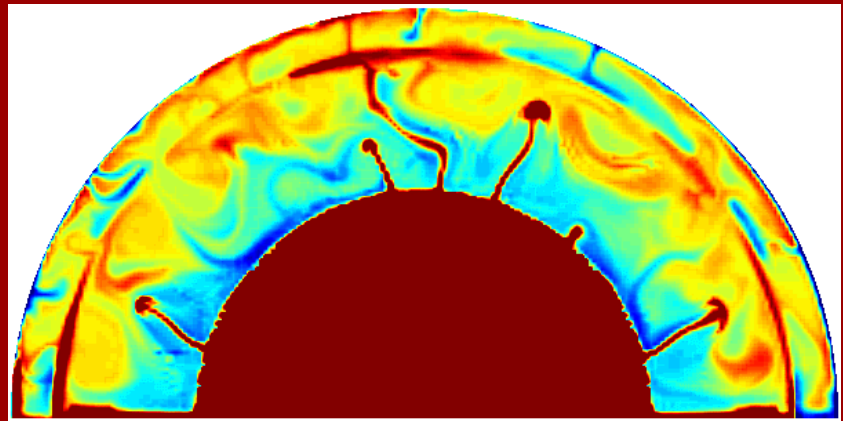
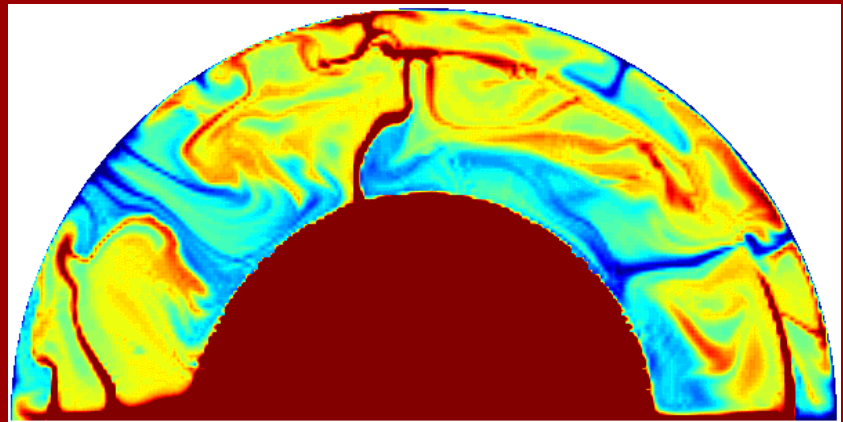
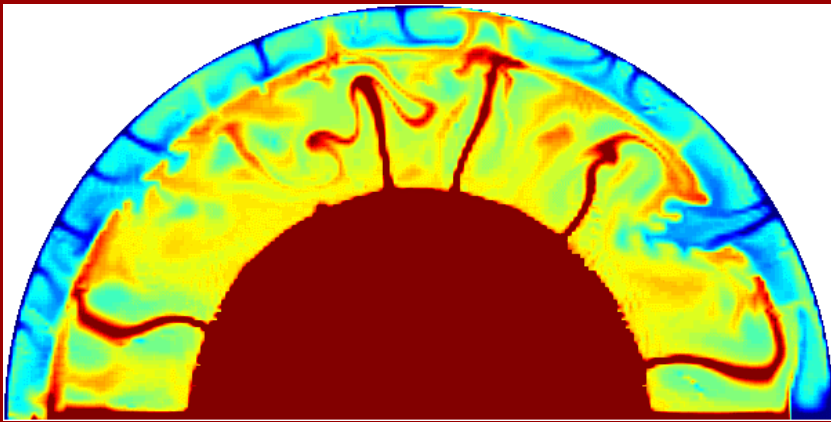
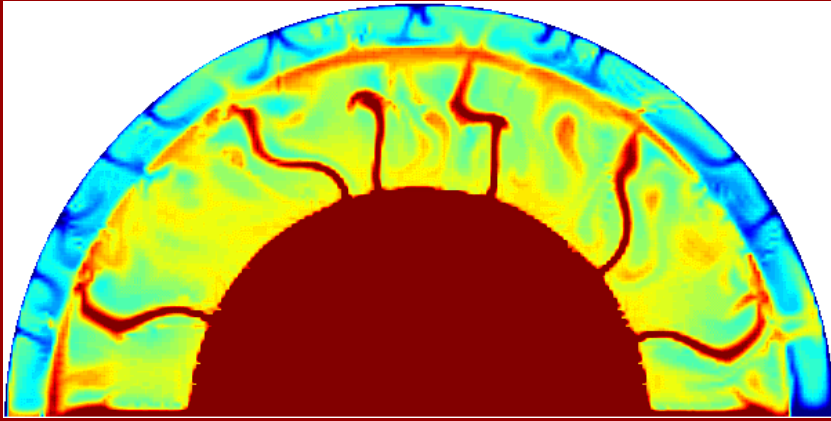
# SHODA NUMERICKÝCH MODELŮ S VÝSLEDKY TOMOGRAFIE

rychlost zpětného pohybu subdukční zóny:

1 cm/rok

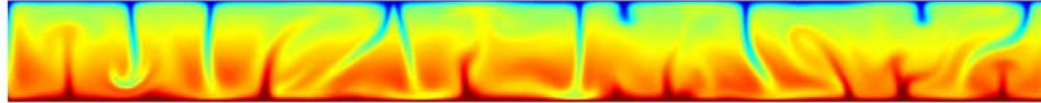
4 cm/rok



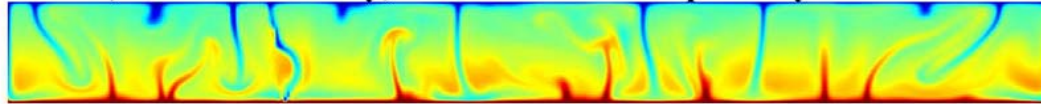


No phase changes,  $k=1$ ,  $Di=0.5$ ,  $R=3$

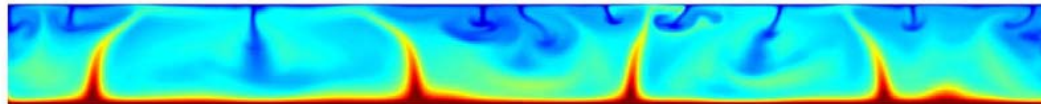
$Ra=10^6$ , constant viscosity, constant thermal expansivity



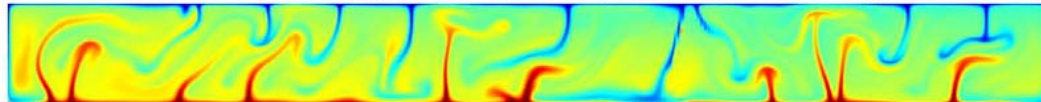
$Ra=10^7$ , constant viscosity, constant thermal expansivity



$Ra_S=10^7$ , depth-dependent viscosity, constant thermal expansivity



$Ra_S=10^7$ , constant viscosity, old depth-dependent thermal expansivity



$Ra_S=10^7$ , constant viscosity, new depth-dependent thermal expansivity



IASPEI formula

$$M_s = \log (A/T) + 1.66 \log D + 3.3$$

where

**A**

is the maximum ground amplitude in micrometers (microns) of the vertical component of the surface wave within the period range  $18 \leq T \leq 22$ .

**T**

is the period in seconds.

**D**

is the distance in geocentric degrees (station to epicenter) and  $20^\circ \leq D \leq 160^\circ$ .

$$M_w = (2/3) \log M_o - 3.7$$

$$M_e = (2/3) \log E_s - 2.9$$