



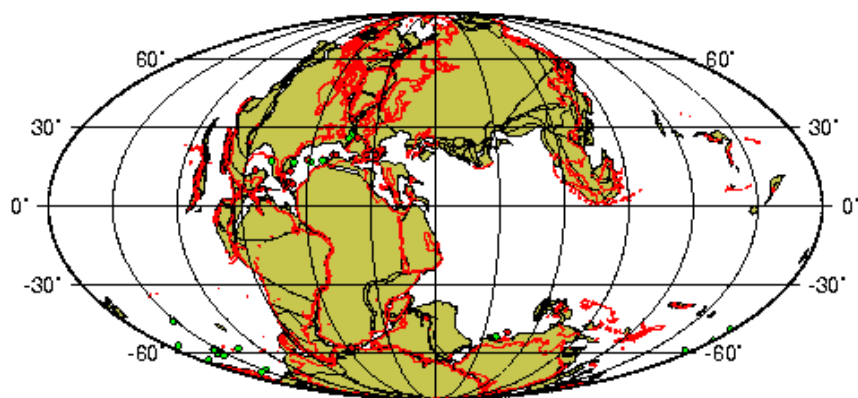
GEOFYZIKÁLNÍ ÚSTAV  
AKADEMIE VĚD ČESKÉ REPUBLIKY, v. v. i.



MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ  
FAKULTA  
Univerzita Karlova

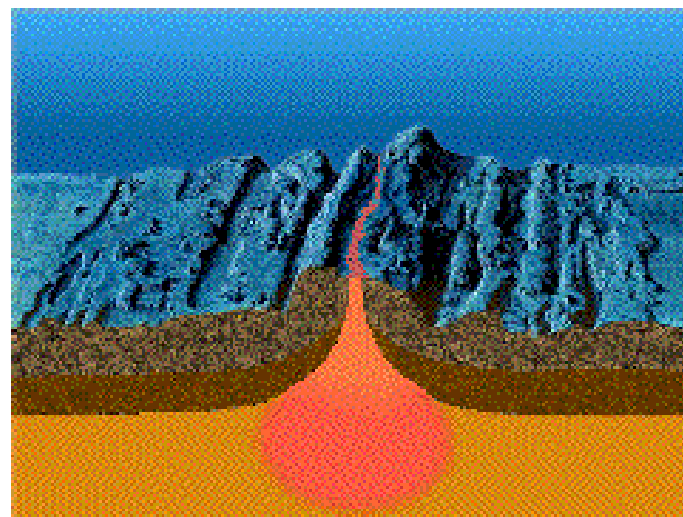
# ZEMĚ V POHYBU: desková tektonika a její fascinující důsledky

Aleš Špičák



150 My Reconstruction

*Copyright 2005 - 2015 Terry A. McDonald*



## osnova přednášky:

- vývoj hypotézy tektoniky litosférických desek a její stavební kameny
  - podobnost pobřežní linie kontinentů
  - podobnost paleontologických nálezů
  - přítomnost „nepatřičných“ sedimentárních hornin
  - konvekce hmoty zemského pláště
  - morfologie, stáří a fyzikální vlastnosti oceánského dna
  - rozložení zemětřesení a aktivních sopek
- současné uspořádání litosférických desek a jejich vzájemné pohyby
- morfologie zemského povrchu, zemětřesení, sopky a desková tektonika
- projevy procesů odehrávajících se mimo deskovou tektoniku
- možnosti moderních věd o Zemi při poznávání detailů geologických procesů
- desková tektonika v Českém masívu
- počátek deskové tektoniky (?)
- projevy deskové tektoniky online

# stavební kameny teorie deskové tektoniky 1: podobnost pobřežní linie kontinentů

1596 – holandský geograf **Abraham Ortelius** ve druhém vydání své práce **Thesaurus Geographicus** uvažuje o tom, že Amerika byla v minulosti „odtržena“ od Afriky a Evropy, patrně zemětřesením a potopami, a dodává:

„Stopy po této trhlině se prozrazují samy, když srovnáme pobřežní linie těchto tří kontinentů“.

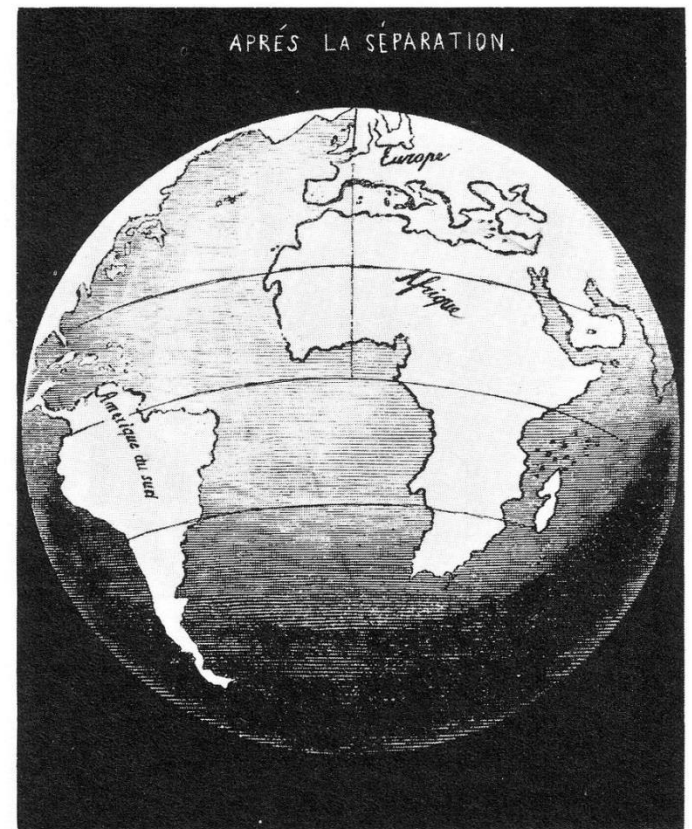
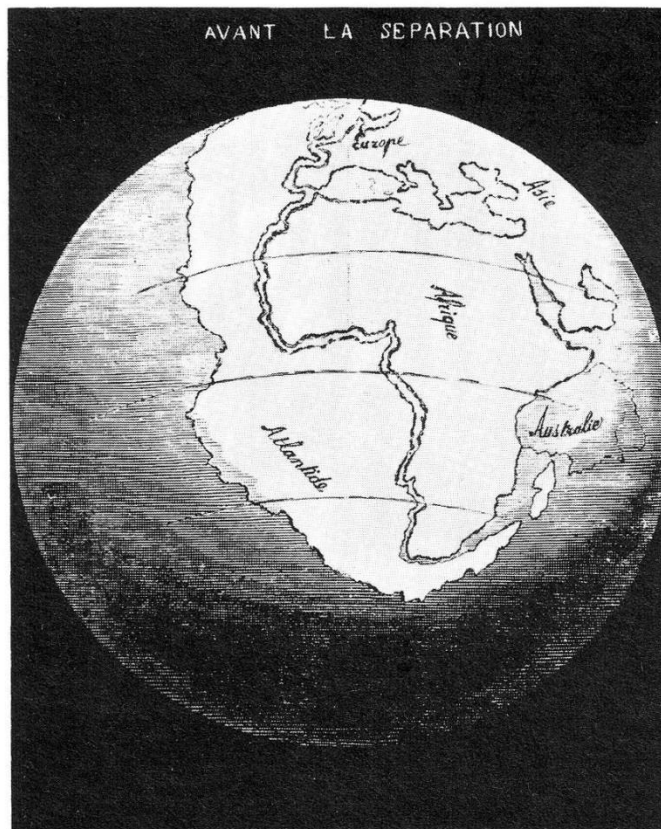




## stavební kameny teorie deskové tektoniky 2: podobnost paleontologických nálezů



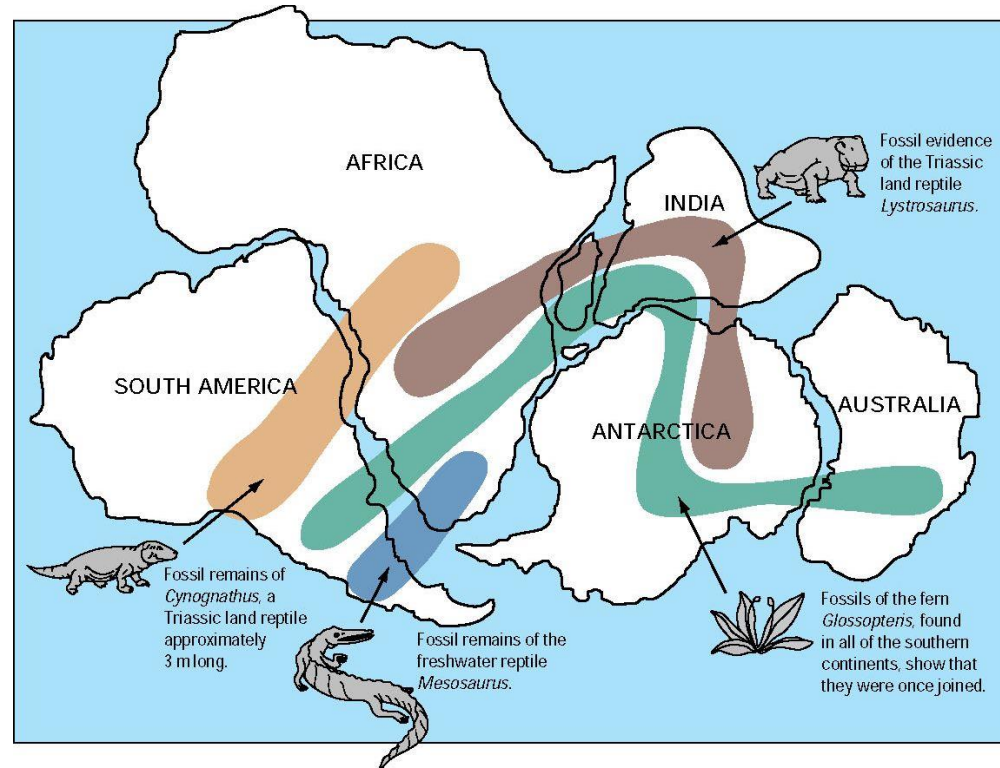
1858 – francouzský geograf **Antonio Snider-Pellegrini** ve své práci *„La Création et ses mystères dévoilés“* dokládá stejné rostlinné zkameněliny nalezené v Americe a v Evropě a toto pozorování vysvětluje posunem kontinentů v geologické historii



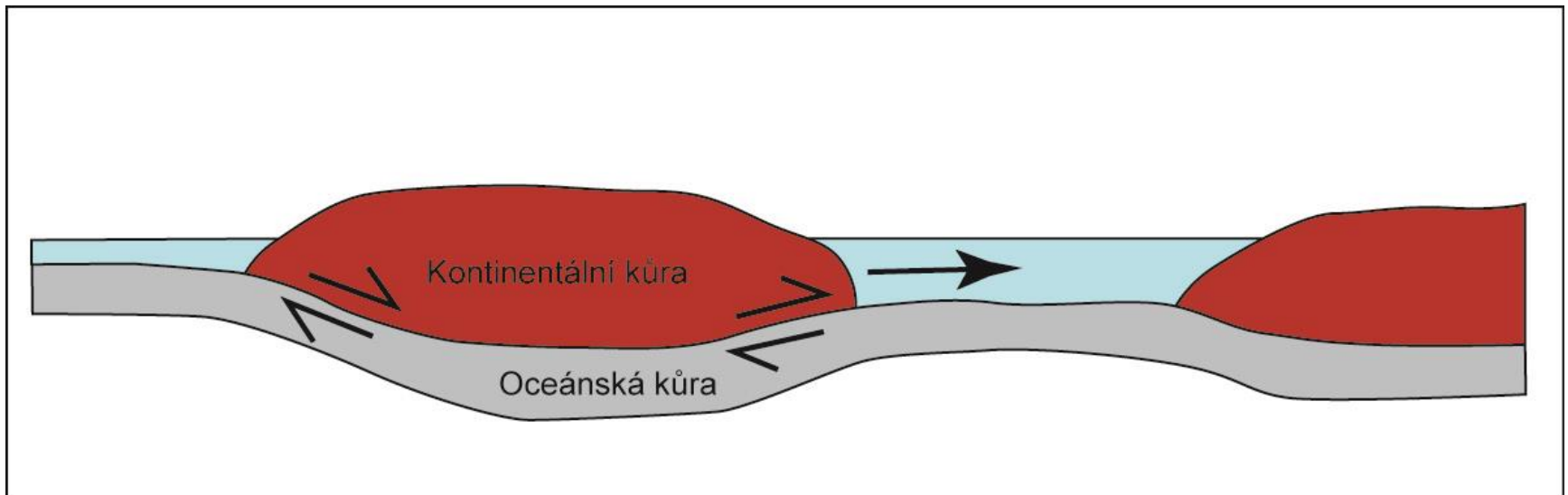
### stavební kameny teorie deskové tektoniky 3: přítomnost „nepatřičných“ sedimentárních hornin

1912 a 1915 – **Alfred Wegener** představil **teorii „kontinentálního driftu“**, která vysvětluje jinak nepochopitelná pozorování geologů:

- ledovcové sedimenty v afrických pouštích
- uhelné sloje v Antarktidě
- stejné fosílie od Austrálie přes Indii, Afriku až do Jižní Ameriky



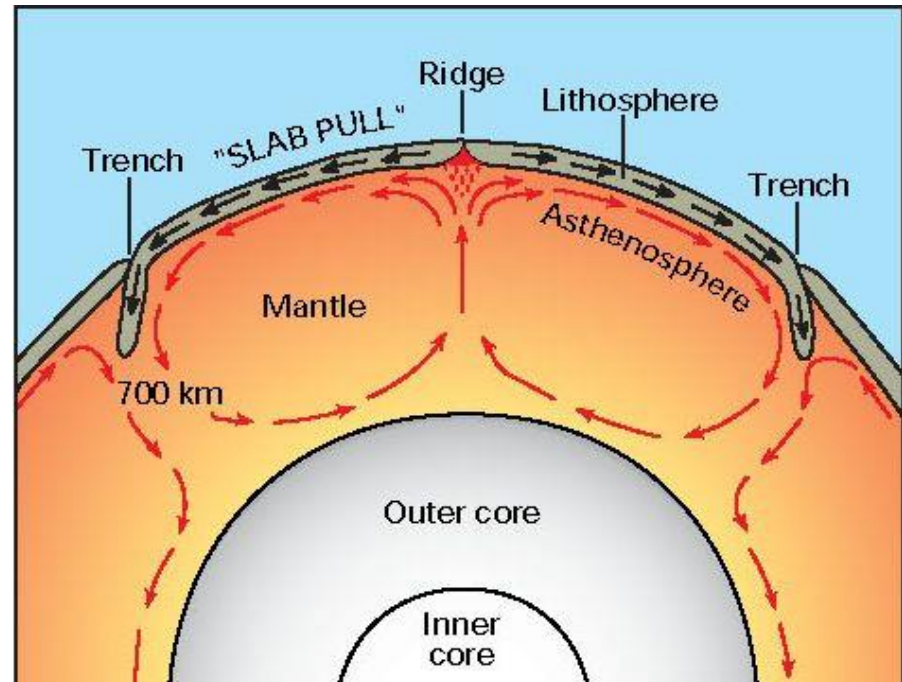
Wegener však nedokázal zdůvodnit mechaniku pohybu kontinentů reálným fyzikálním modelem – předpokládal, že kontinenty kloužou po oceánské kůře a pohybuje jimi odstředivá síla zemské rotace. Námitka proti fyzikální podstatě hypotézy vedla chybně k jejímu celkovému odmítnutí geovědní komunitou.





## stavební kameny teorie deskové tektoniky 4: konvekce hmoty zemského pláště

1929 – britský fyzik a geolog **Arthur Holmes** přijímá myšlenku kontinentálního driftu a jako hlavní sílu řídící pohyb kontinentů navrhuje **konvektivní pohyb hmoty v zemském plášti**



## konvektivní pohyb grafitových částic v oleji zahříváném svíčkou

popis experimentu viz

[https://www.ig.cas.cz/wp-content/uploads/2018/01/Brozura\\_s\\_pokusy.pdf](https://www.ig.cas.cz/wp-content/uploads/2018/01/Brozura_s_pokusy.pdf)

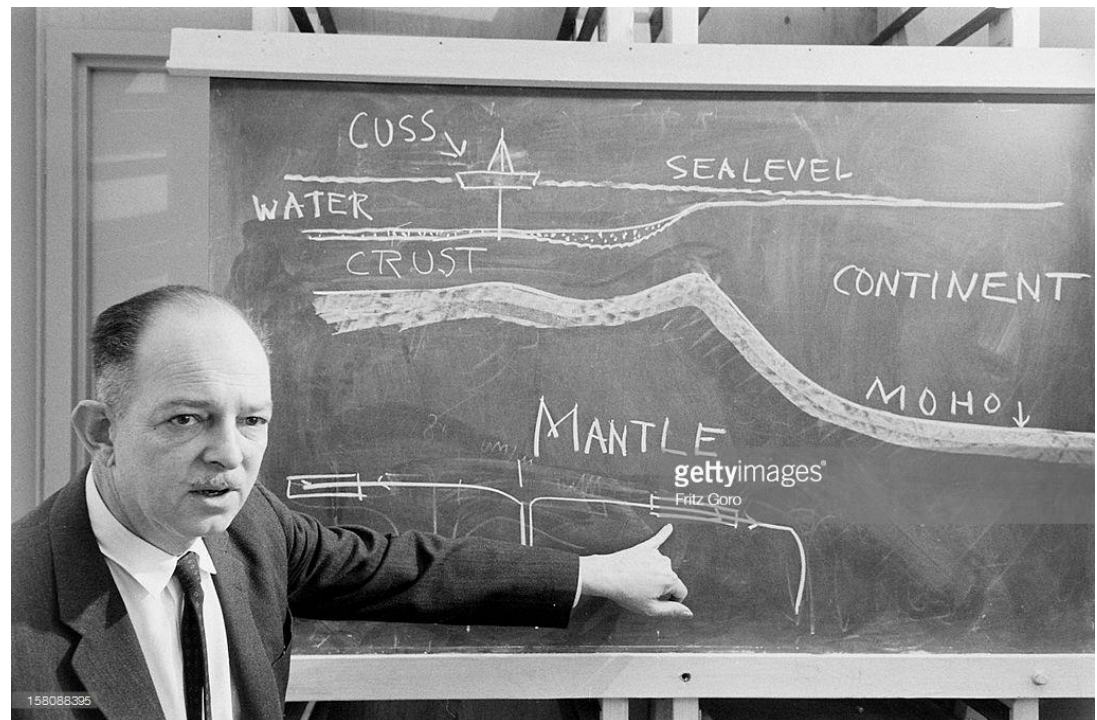




## stavební kameny teorie deskové tektoniky 5: morfologie, stáří a fyzikální vlastnosti oceánského dna

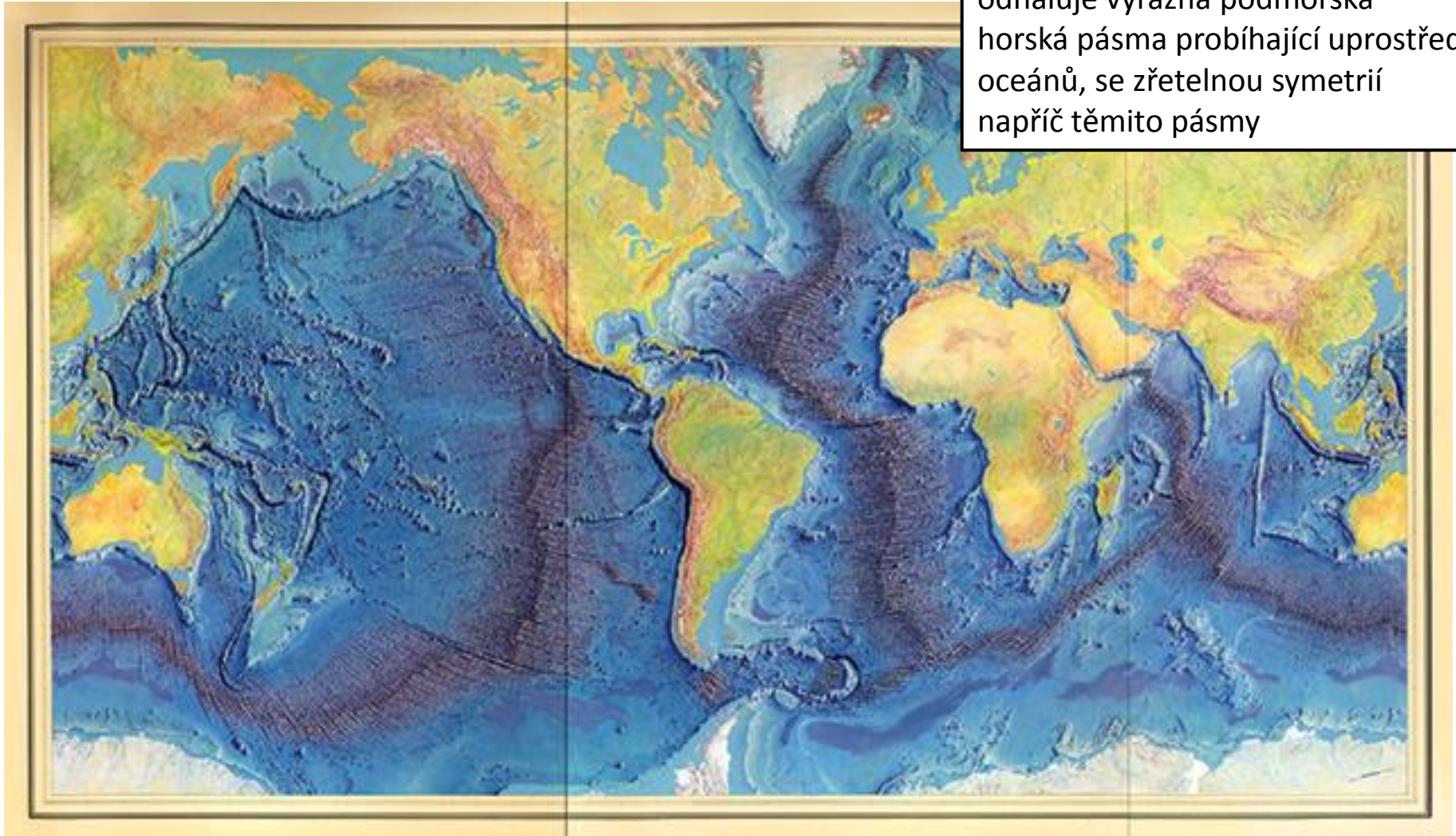
1959-1962 – americký geolog **Harry Hess** využívá svých vlastních měření v americkém loďstvu během 2. WW a po ní a na základě rozsáhlého mapování oceánského dna představil model vzniku oceánské kůry na středooceánském hřbetu a jejího podsouvání (subdukce) zpět do zemského pláště na základě tří argumentů:

1. morfologie oceánského dna
2. stáří vulkanických hornin oceánského dna
3. proměnlivost orientace magnetických minerálů vulkanických hornin oceánského dna



## stavební kameny deskové tektoniky 5: morfologie, stáří a fyzikální vlastnosti oceánského dna

topografie oceánského dna  
odhaluje výrazná podmořská  
horská pásma probíhající uprostřed  
oceánů, se zřetelnou symetrií  
napříč těmito pásmy

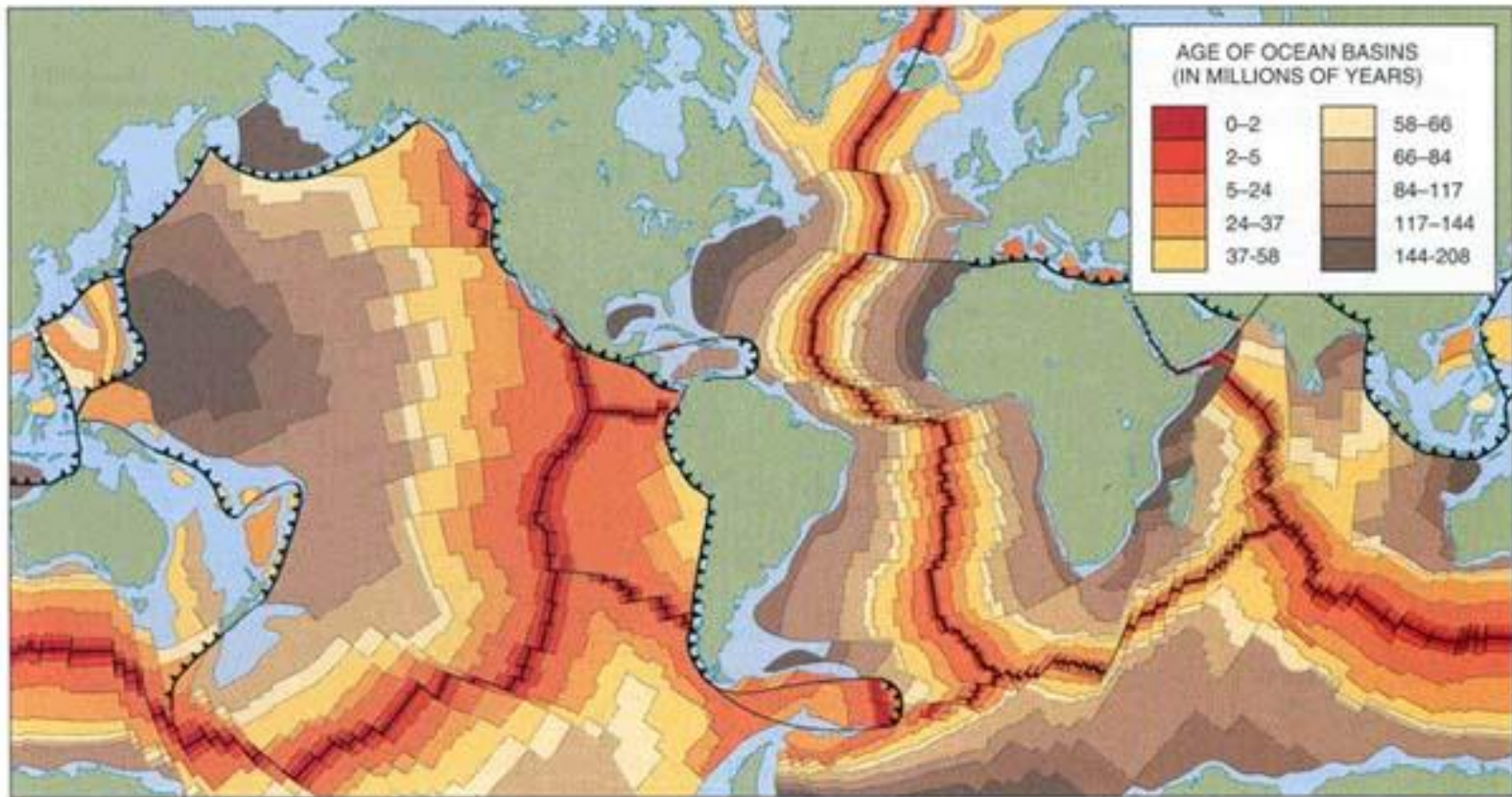


*From "World Ocean Floor Panorama", Authors Marie Tharp and Bruce C. Heezen, 1977.*

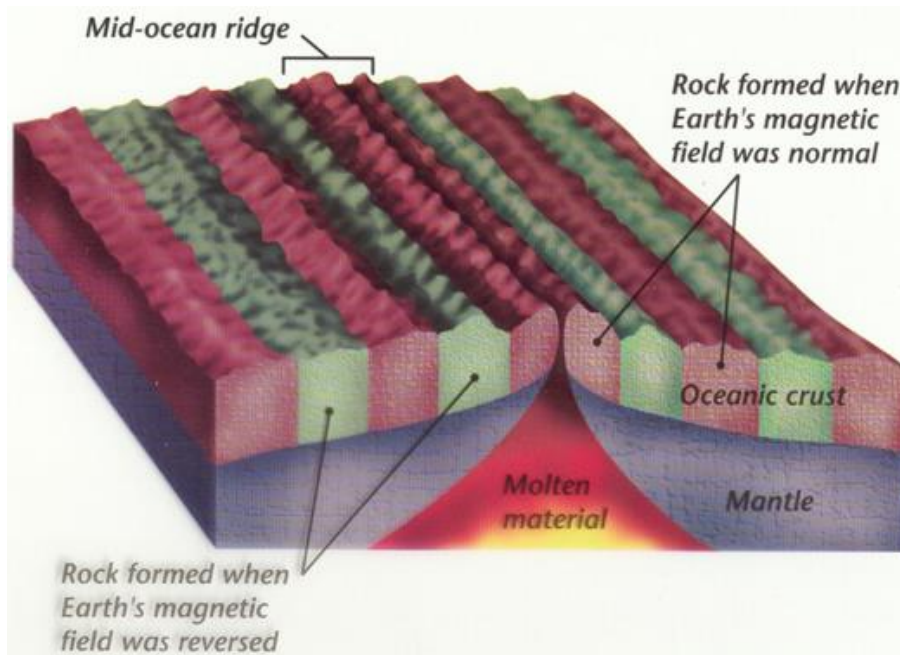


## stavební kameny deskové tektoniky 5: morfologie, stáří a fyzikální vlastnosti oceánského dna

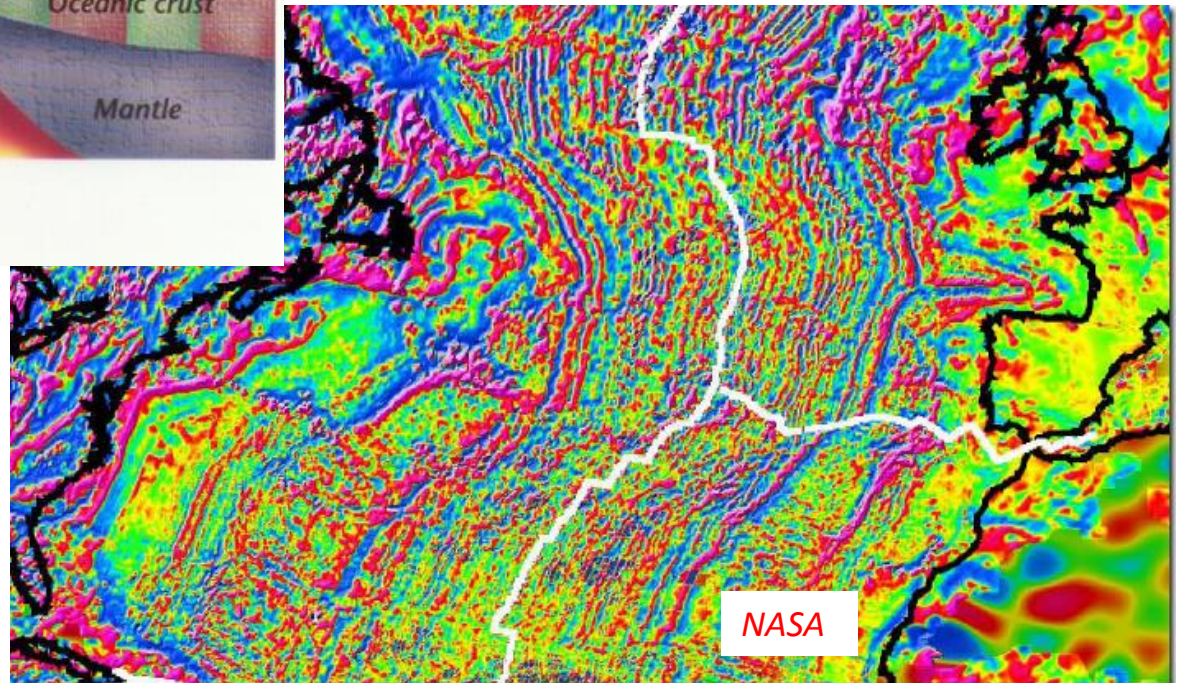
stáří hornin oceánského dna narůstá se vzdáleností od středooceánských hřbetů (zřetelná symetrie)



## stavební kameny deskové tektoniky 5: morfologie, stáří a fyzikální vlastnosti oceánského dna



symetrie záznamu přepólování  
magnetického pole Země v minulosti  
v horninách na stranách  
středooceánského hřbetu





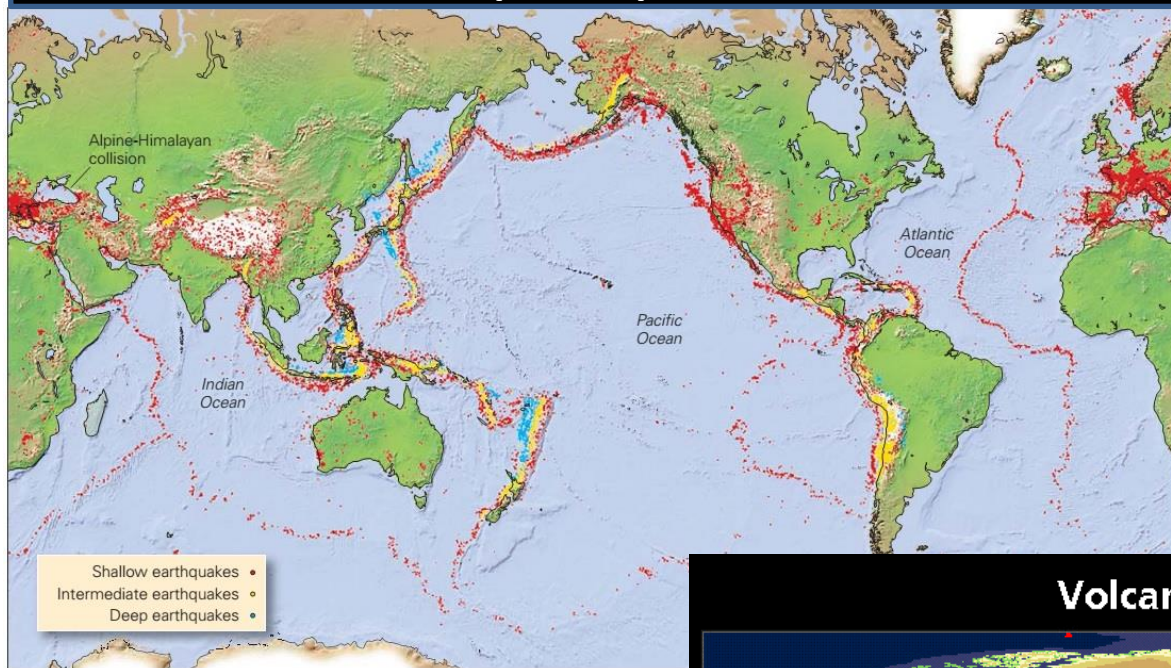
## **stavební kameny deskové tektoniky 6:** rozložení zemětřesení a aktivních sopek



Smithsonian Institution  
*National Museum of Natural History*  
Global Volcanism Program

<https://volcano.si.axismaps.io/>

## Earthquake Epicenters

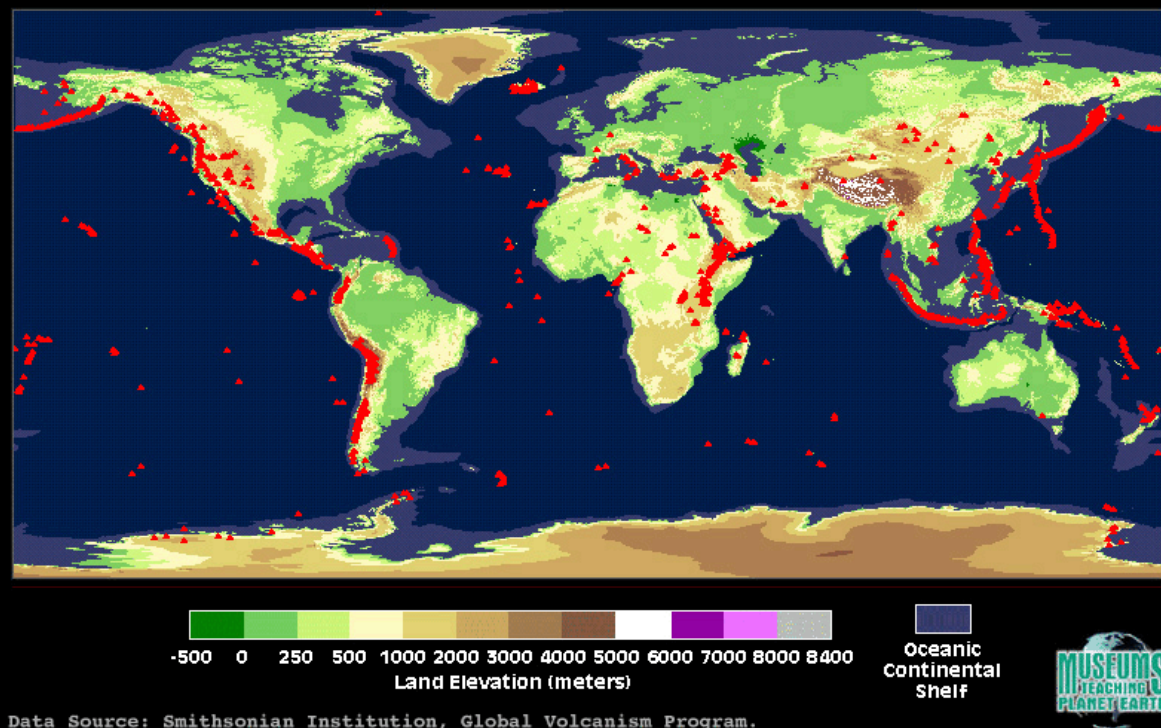


stavební kameny deskové  
tektoniky 6:  
rozložení zemětřesení  
a aktivních sopek

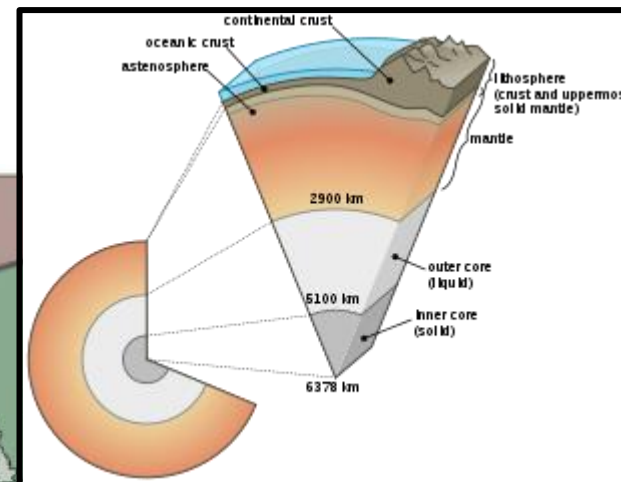
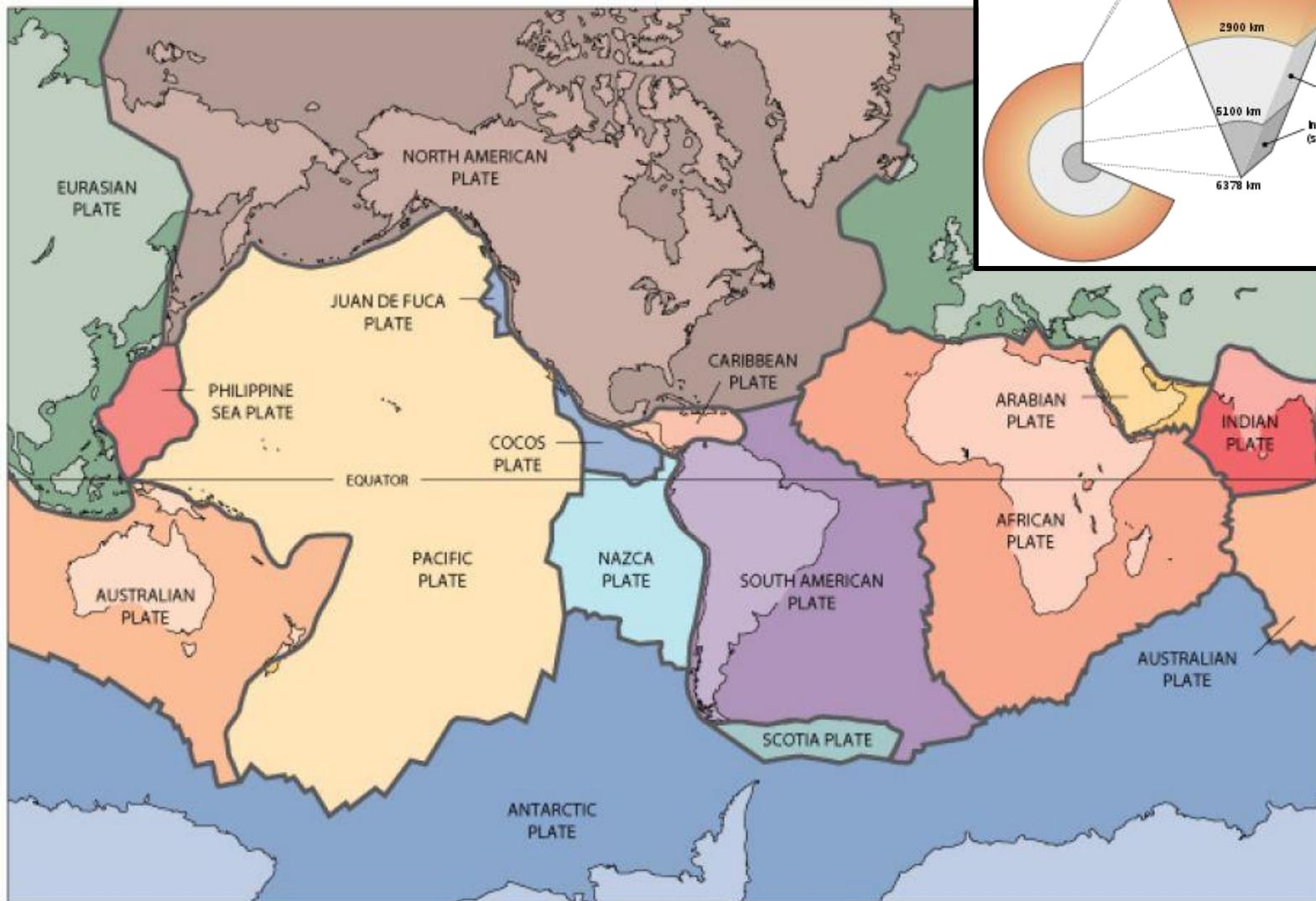
O. Khattak,  
<http://geologylearn.blogspot.cz/2015/11/where-and-why-do-earthquakes-occur.html>

Smithsonian Institution,  
Global Volcanism Program

## Volcanoes of the World

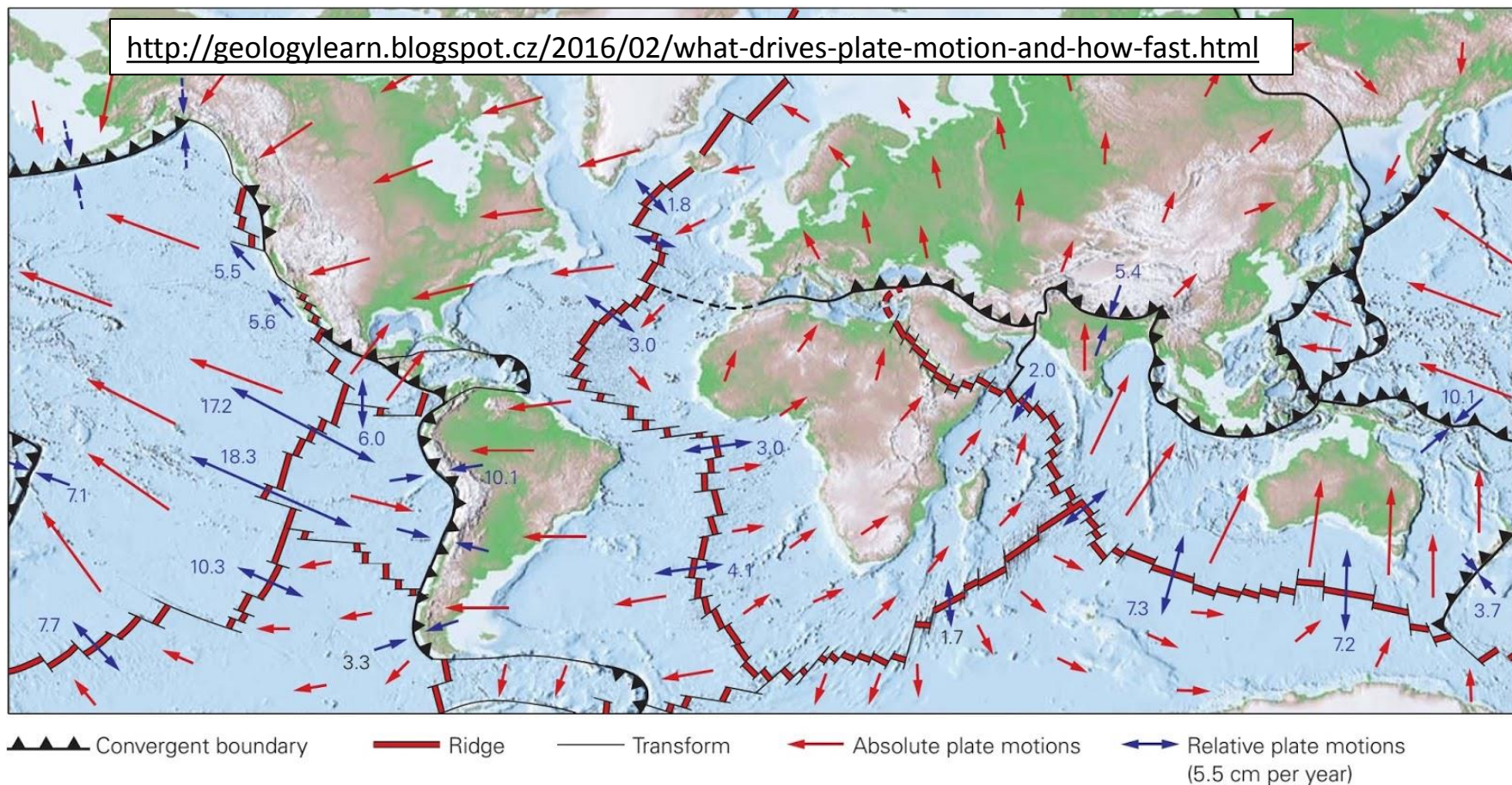


# současné uspořádání litosférických desek



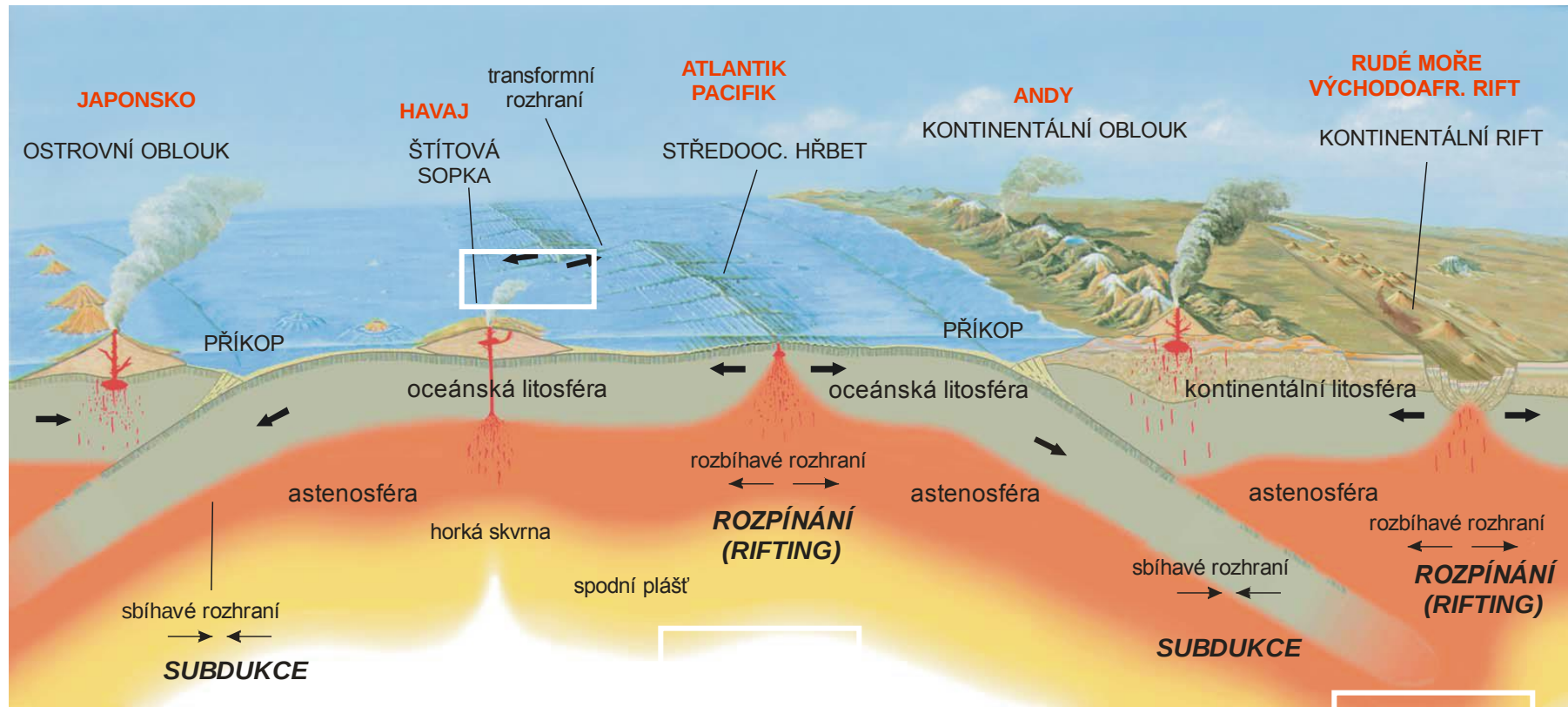


# rychlost horizontálních pohybů litosférických desek podél jejich rozhraní



**Relative plate velocities:** The blue arrows show the rate and direction at which the plate on one side of the boundary is moving with respect to the plate on the other side. The length of an arrow represents the velocity. **Absolute plate velocities:** The red arrows show the velocity of the plates with respect to a fixed point in the mantle.

# nedůležitější procesy deskové tektoniky



## 4 klíčové geovědní instituce 60' let 20. století, jejichž výzkumníci rozhodujícím způsobem přispěli ke zformulování hypotézy:

- Cambridge University
- Lamont Geological Observatory at the Columbia University
- Scripps Institution of Oceanography at the University of California
- Princeton University

### zásadní publikace - 1968:

Morgan, W. Jason (1968): Rises, Trenches, Great Faults, and Crustal Blocks . *Journal of Geophysical Research*, **73** (6)

Le Pichon, Xavier (1968): Sea-floor spreading and continental drift. *Journal of Geophysical Research*, **73** (12)

B. Isacks, J. Oliver, L. R. Sykes (1968): Seismology and the new global tectonics. *Journal of Geophysical Research*, **75** (18)



# typy rozhraní litosférických desek

**divergentní  
(rozbíhavé)**

**konvergentní  
(sbíhavé)**

**transformní**

| Type of Margin     | Divergent                                     | Convergent                                     | Transform                                                  |
|--------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Motion             | Spreading                                     | Subduction                                     | Lateral sliding                                            |
| Effect             | Constructive<br>(oceanic lithosphere created) | Destructive<br>(oceanic lithosphere destroyed) | Conservative<br>(lithosphere neither created or destroyed) |
| Topography         | Ridge/Rift                                    | Trench                                         | No major effect                                            |
| Volcanic activity? | Yes                                           | Yes                                            | No                                                         |

(a)

(b)

(c)



## DIVERGENTNÍ rozhraní v oceánu - středoatlantský hřbet

- produkce cca 65% veškerého magmatu na Zemi, zpravidla bez ničivých erupcí
- velmi častá středně silná zemětřesení (cca do M 6,5), zpravidla bez ničivých účinků
- výrazná morfologie (centrální deprese – rift, s ním paralelní hřbety, na rift kolmé transformní zlomy)

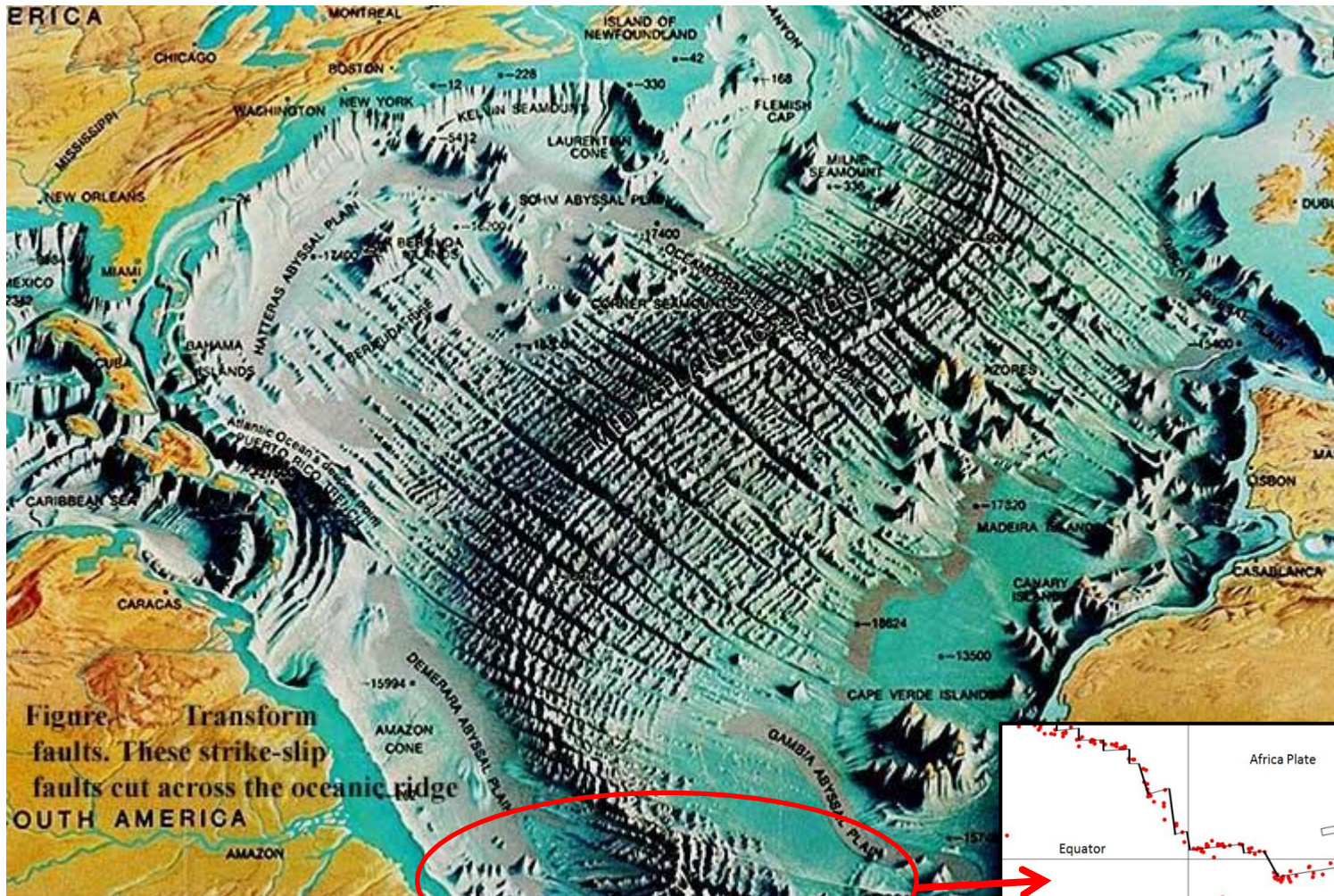
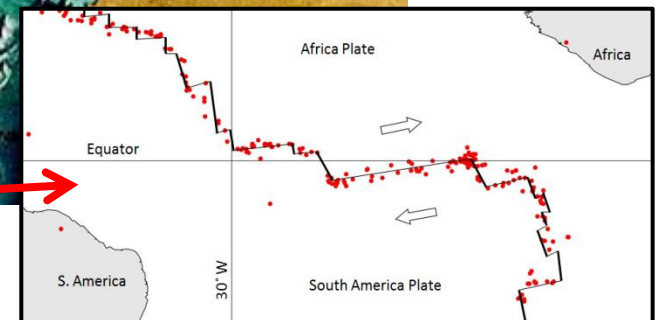


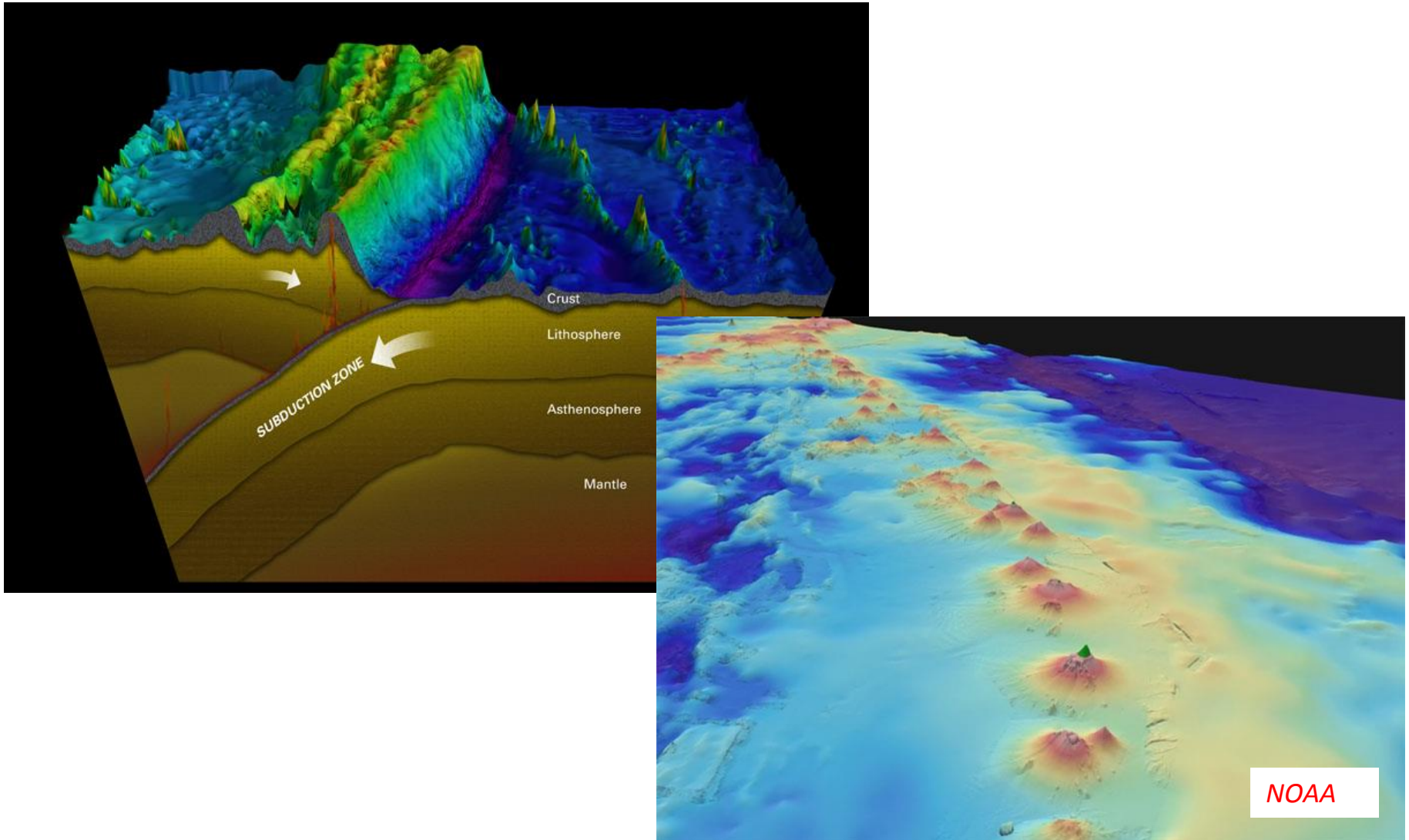
Figure Transform faults. These strike-slip faults cut across the oceanic ridge SOUTH AMERICA





## sbíhavé (KONVERGENTNÍ) rozhraní

- nejčastěji konvergence oceánské a pevninské litosféry: podsouvání (SUBDUKCE) oceánské pod pevninskou
- morfologické důsledky subdukce: hlubokomořský příkop, pásemné pohoří, řetězec vulkánů

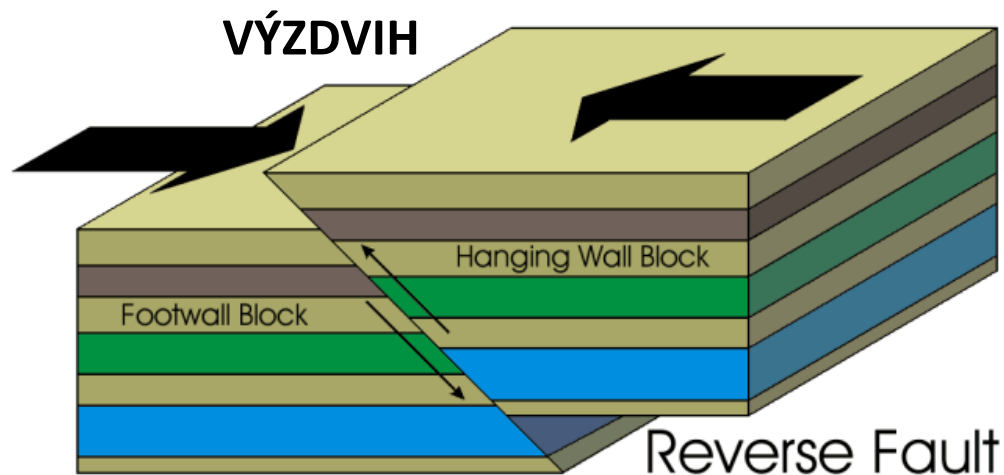
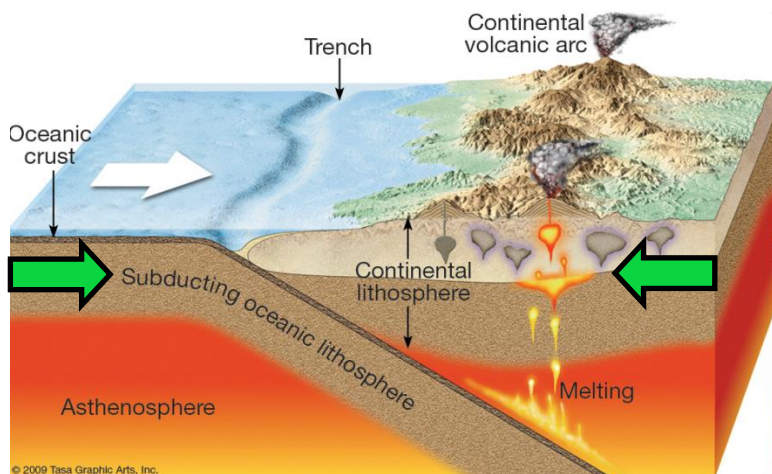
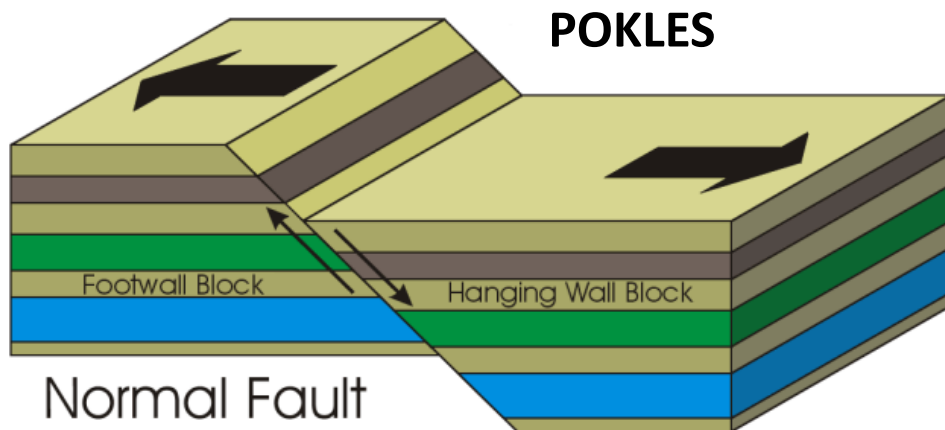
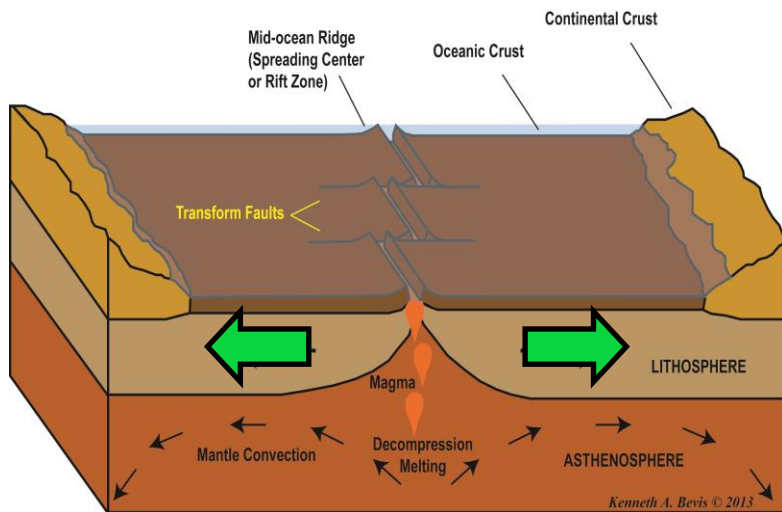




# DIVERGENTNÍ vs. KONVERGENTNÍ rozhraní

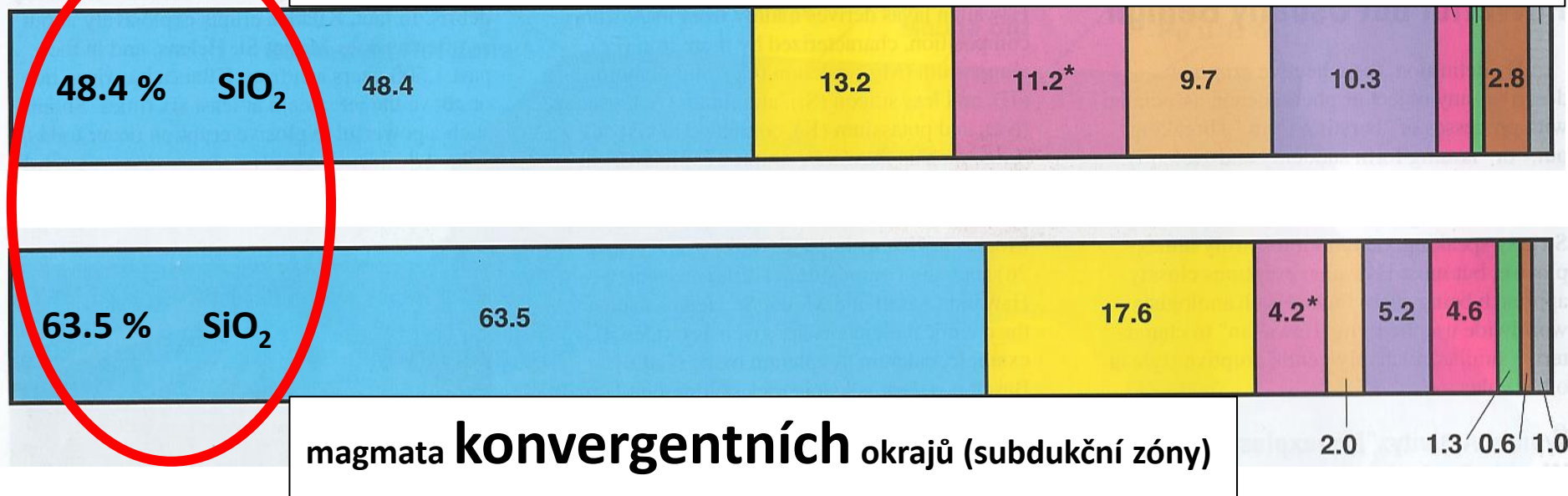
magmata: plášťová (mobilní) vs. korová (viskózní)

zemětřesení: poklesová (slabší) vs. přesmyková (silnější)



příčina rozdílné viskozity: rozdíly v chemickém složení magmat vystupujících na  
DIVERGENTNÍCH vs. KONVERGENTNÍCH okrajích litosférických desek

magmata **divergentních** okrajů (středooceánské hřbety) a horkých skvrn



Silicon



Aluminum



Iron \*



Magnesium



Calcium



Sodium



Potassium



Titanium



Other  
elements

\*Total iron as ferrous oxide (FeO)

# vulkanismus DIVERGENTNÍCH rozhraní: málo viskózní, mobilní magma



vulkán Nyiragongo,  
východoafrický rift, Kongo





## **vulkanismus KONVERGENTNÍCH rozhraní:**

viskózní magma – **strmé svahy sopek**, **nízká mobilita magmatu**, jeho nesnadné  
odplynění



Fuji, Japonsko



Kelut, Jáva

## **vulkanismus KONVERGENTNÍCH rozhraní:**

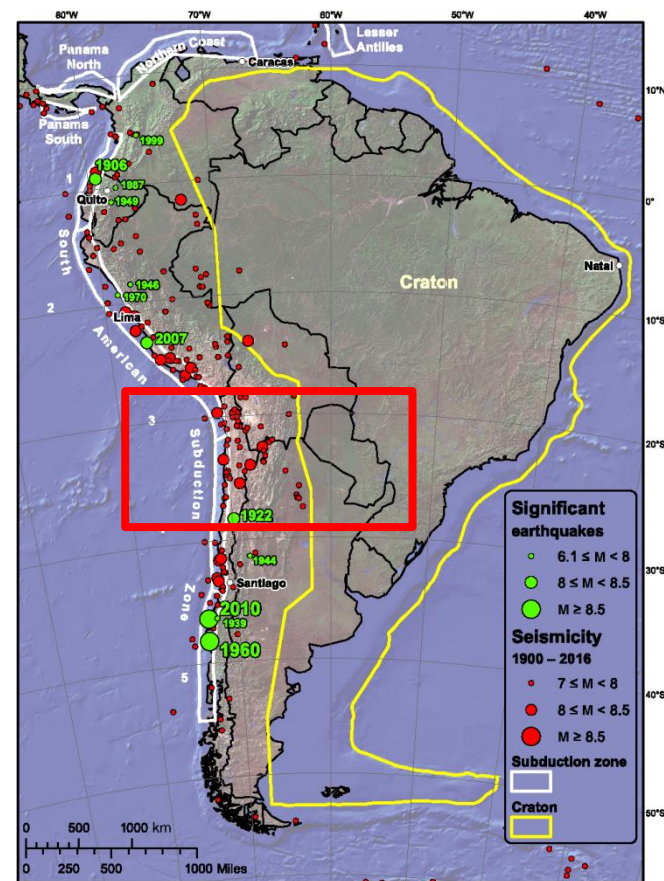
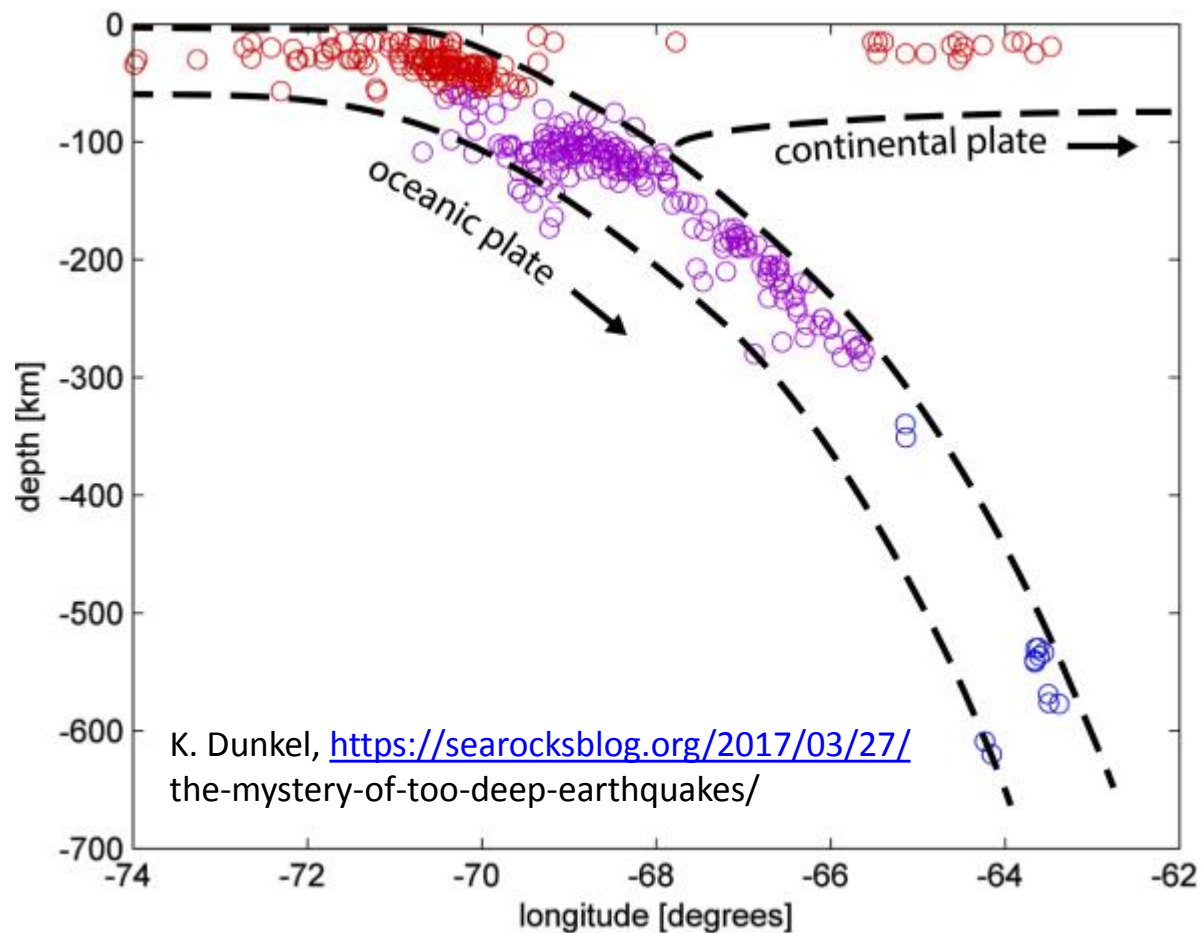
viskózní magma – **strmé svahy**, nízká mobilita, **nesnadné odplynění**



Soufriere Hills, Montserrat,  
Karibská oblast



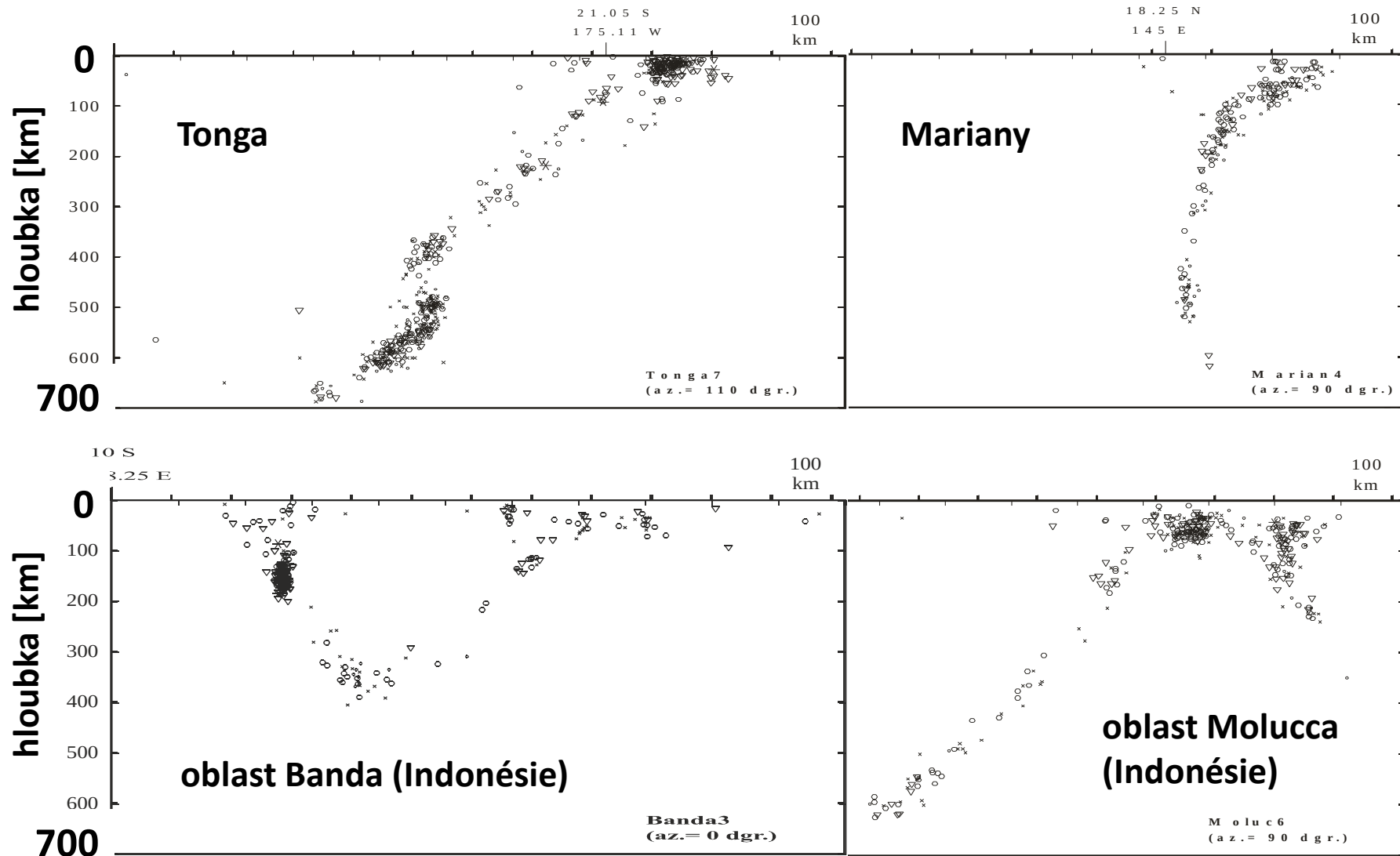
# rozložení ohnisek zemětřesení s hloubkou v subdukčních zónách KONVERGENTNÍCH rozhraní: Wadati-Benioffova zóna



Data: [International Seismological Centre](https://www.seismology.org/).

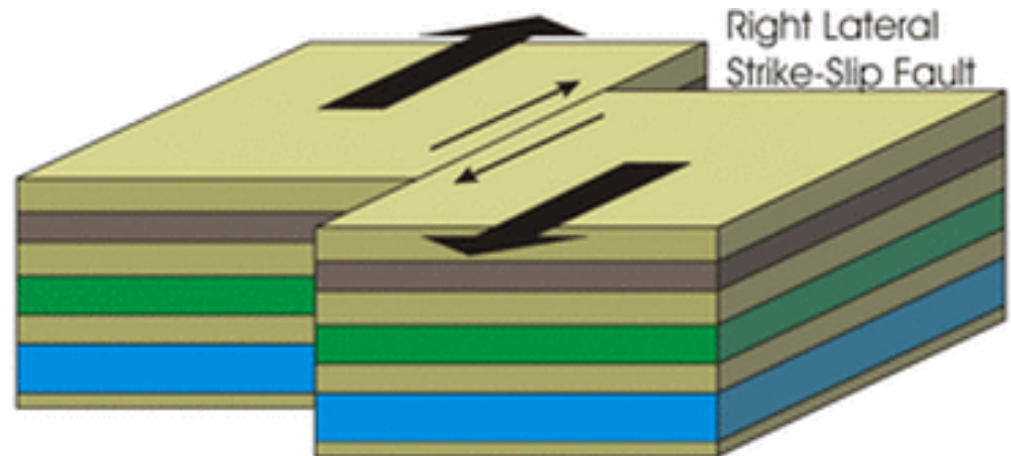


# variabilita Wadati-Benioffovy zóny



**TRANSFORMNÍ rozhraní** – zpravidla svislé, dochází na něm k horizontálnímu posunu horninových bloků („strike-slip“)

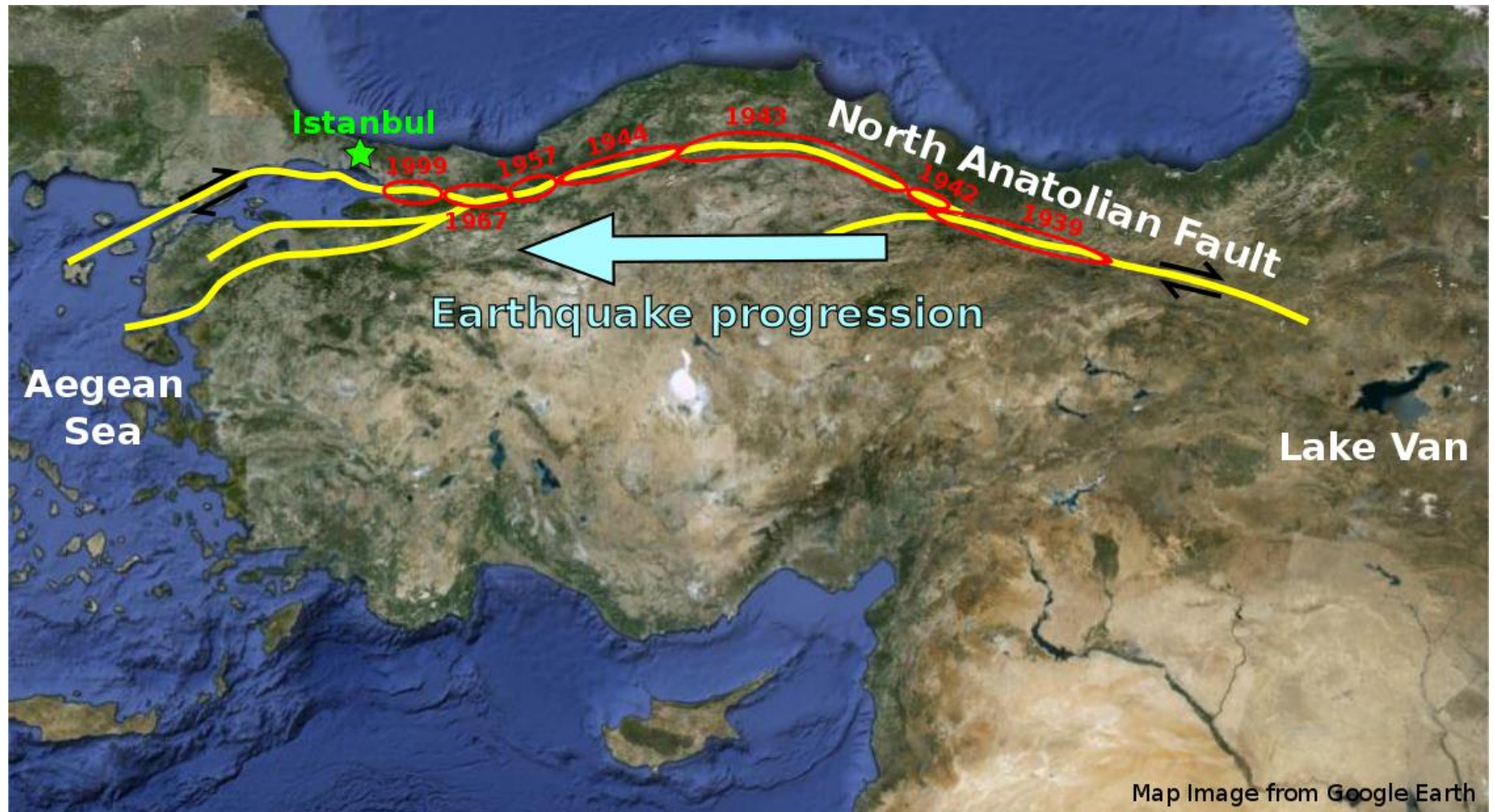
zlom San Andreas, Kalifornie





# TRANSFORMNÍ rozhraní

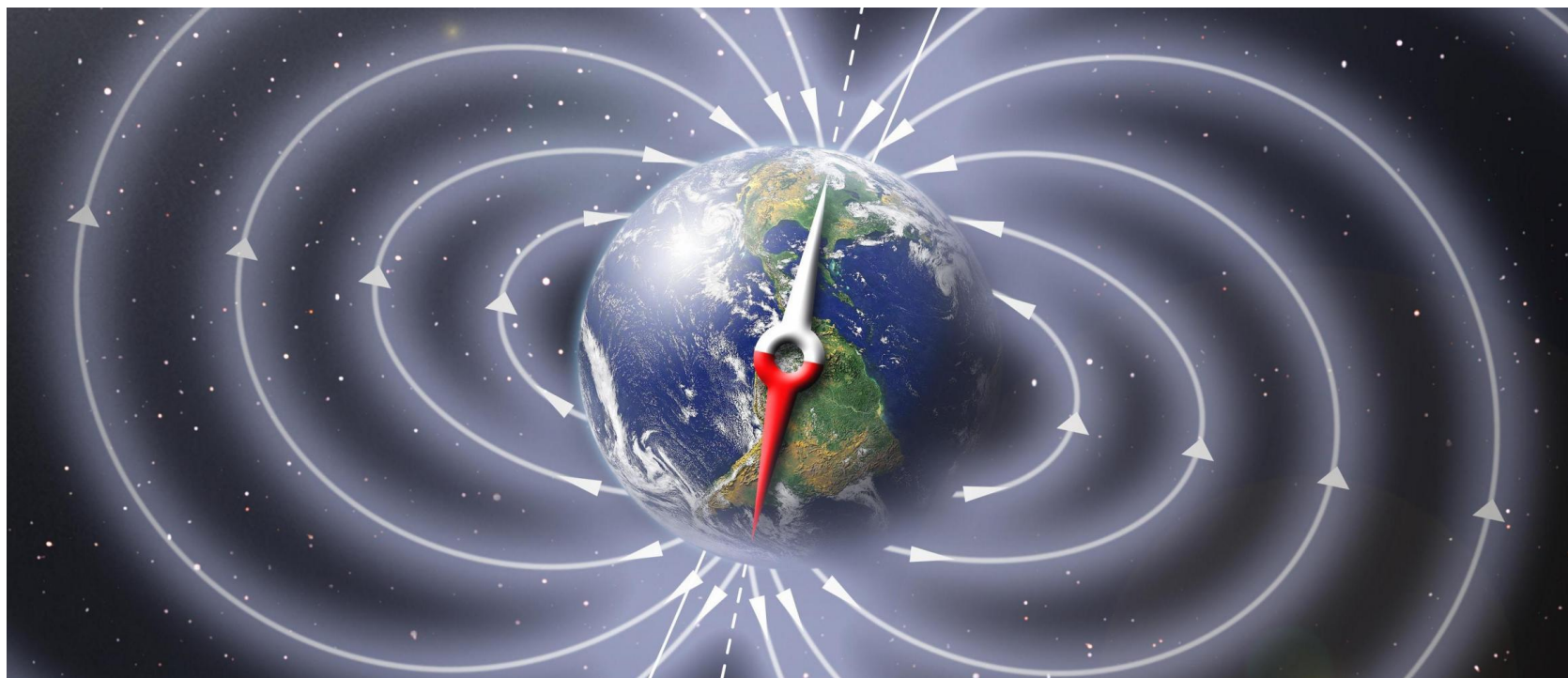
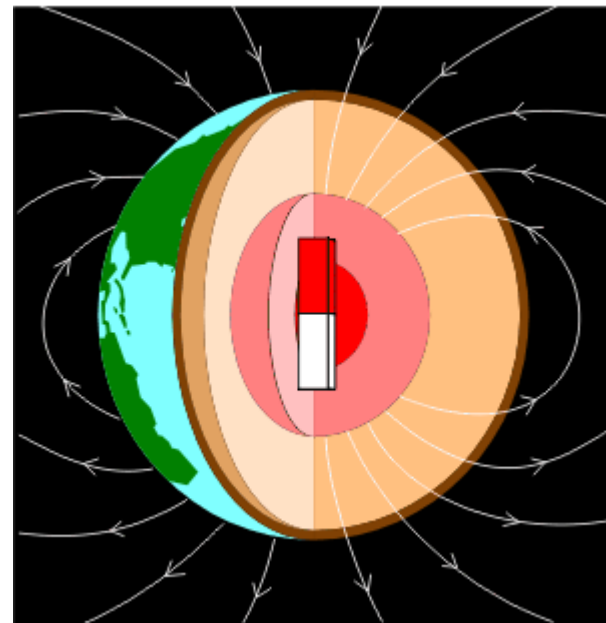
severní anatolský zlom, Turecko



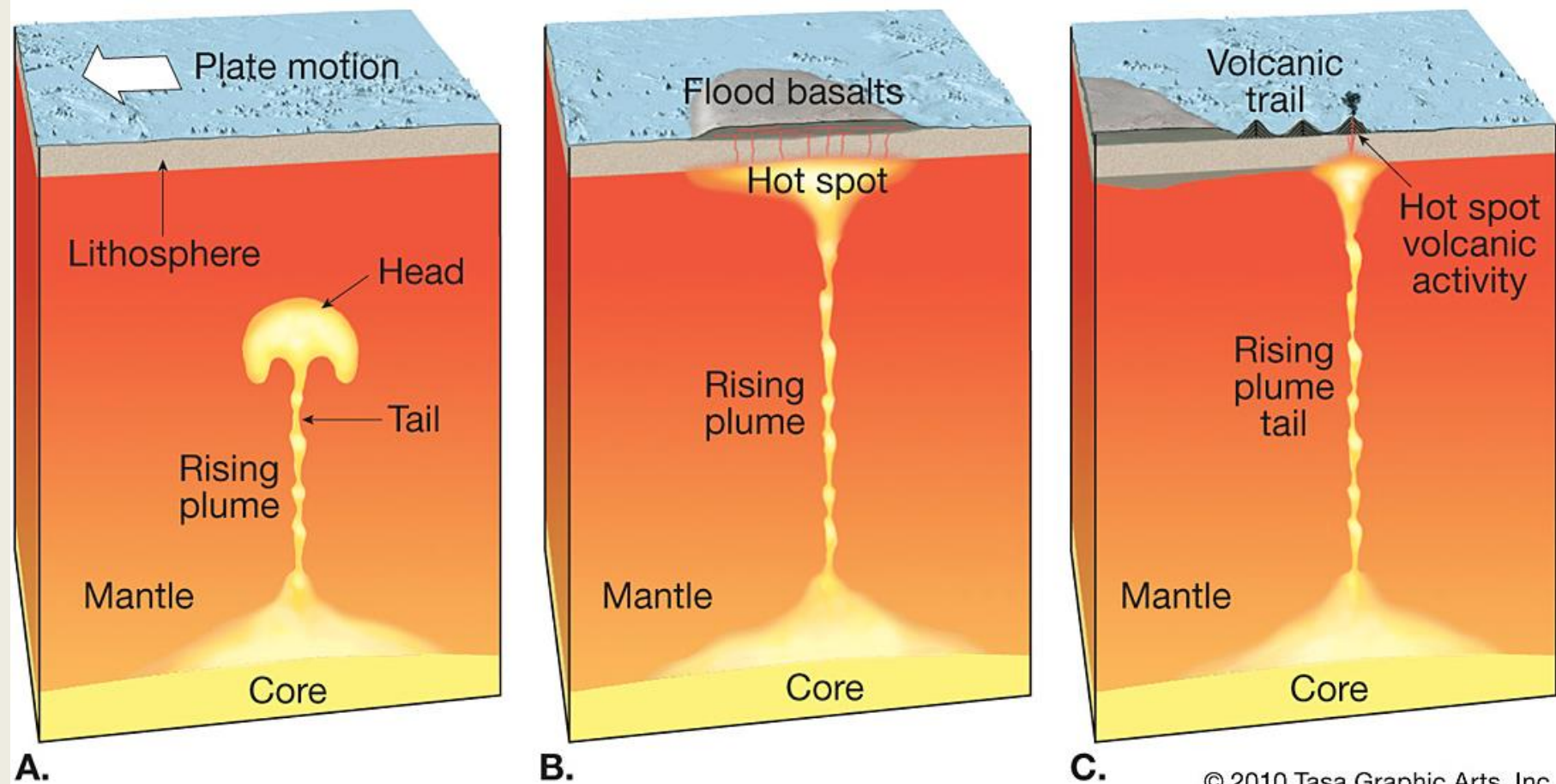


## projevy procesů odehrávajících se mimo deskovou tektoniku 1:

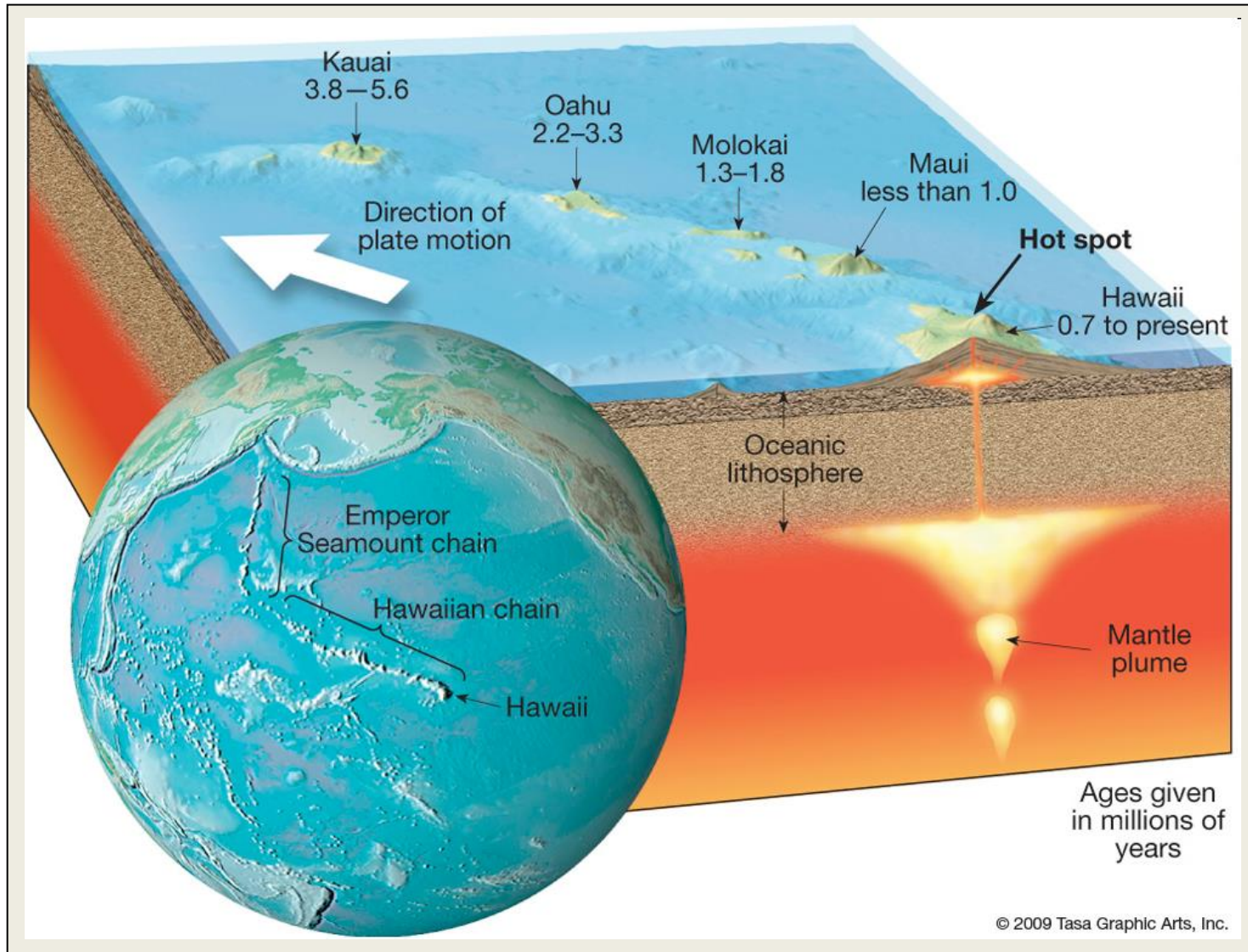
magnetické pole Země se tvoří v zemském  
jádrě, hluboko pod litosférickými deskami



## projevy procesů odehrávajících se mimo deskovou tektoniku 2: plášťové chocholy a horké skvrny

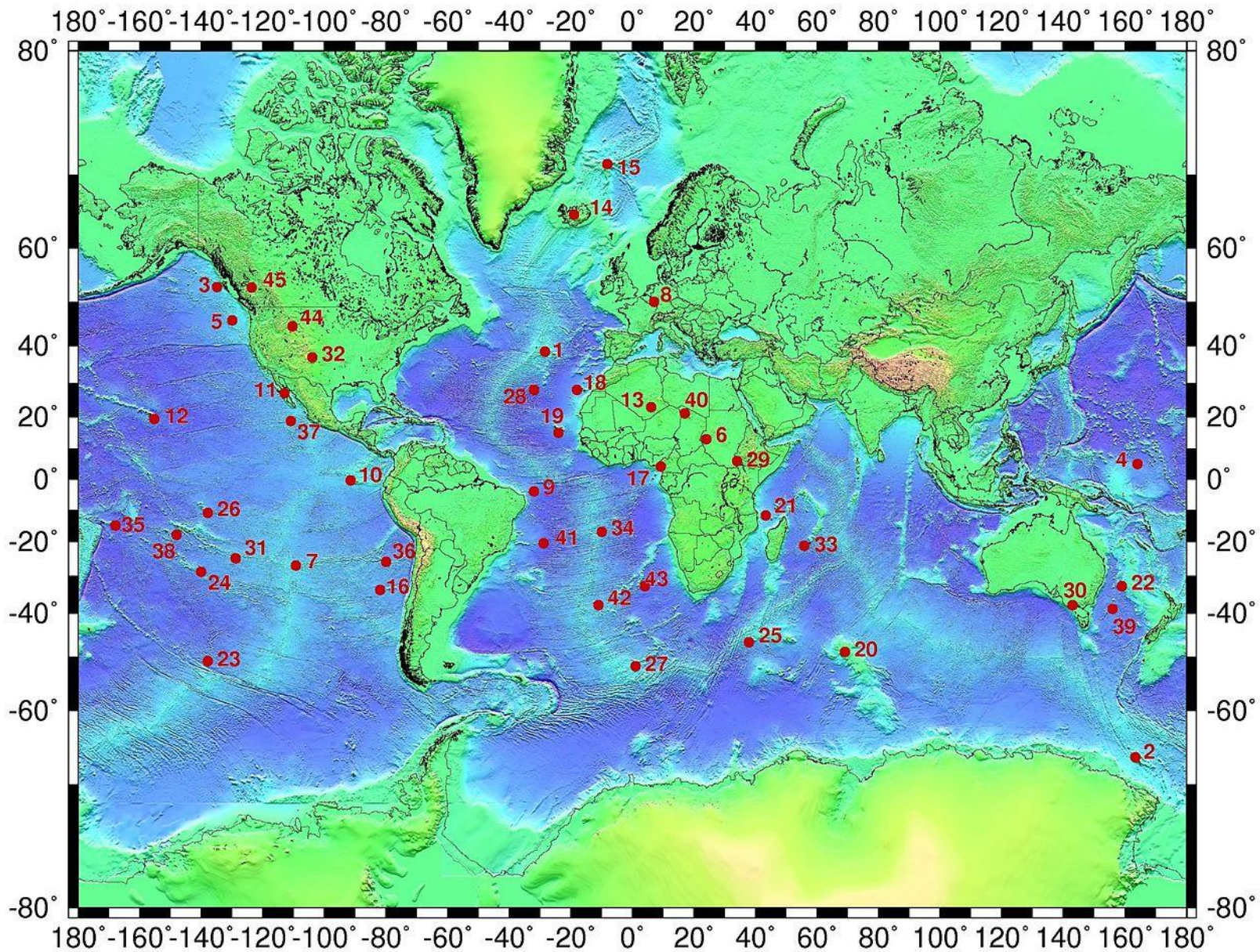


## projevy procesů odehrávajících se mimo deskovou tektoniku 2: plášťové chocholy a horké skvrny





## projevy procesů odehrávajících se mimo deskovou tektoniku 2: rozložení 45 horkých skvrn na zemském povrchu

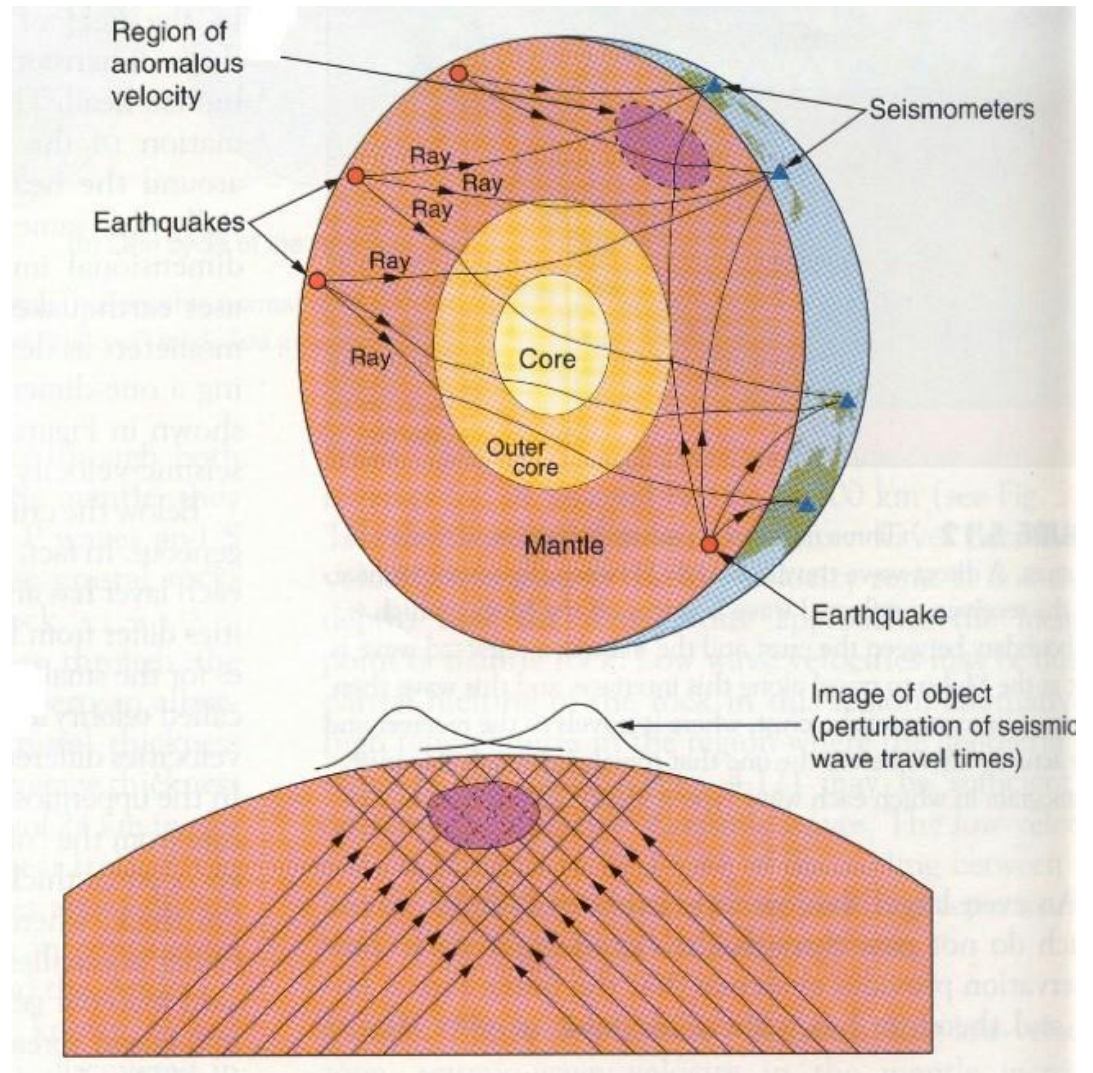




# možnosti moderních věd o Zemi při poznávání detailů geologických procesů:

seismická tomografie –  
- princip

Seismická tomografie  
využívá seismických vln,  
šířících se podél různých  
paprsků, k získání  
trojrozměrného obrazu  
rychlosti seismických  
vln v Zemi  
(= vymapování struktur  
s různou rychlostí šíření  
seismických vln)



[Seth Stein](#)

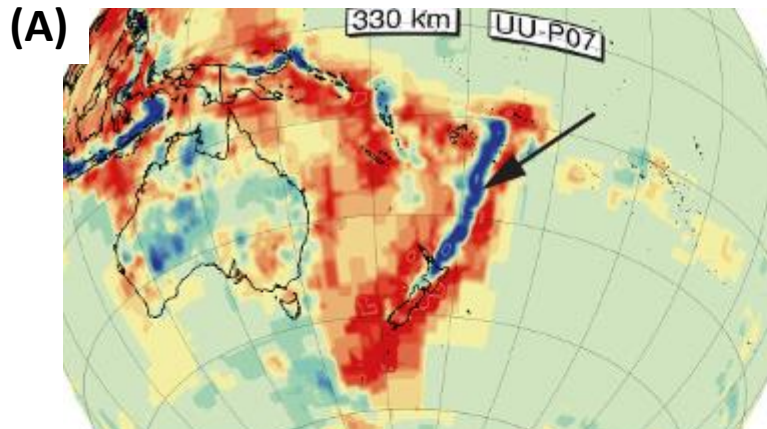
Department of Earth and Planetary Sciences, Northwestern University

# možnosti moderních věd o Zemi při poznávání detailů geologických procesů:

seismická tomografie –

- subdukční zóna Tonga-Kermadec-Hikurangi

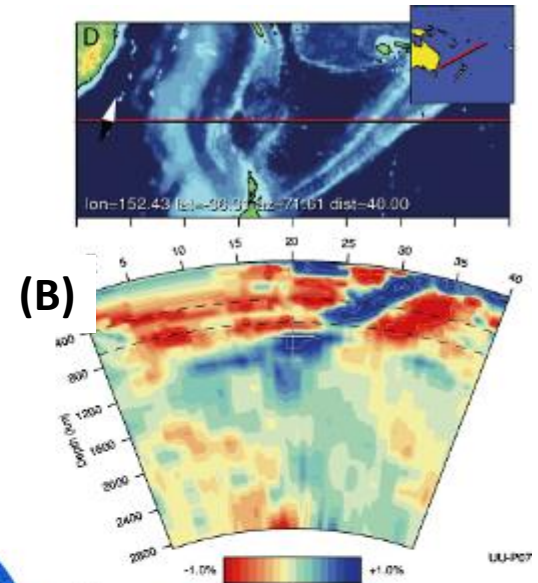
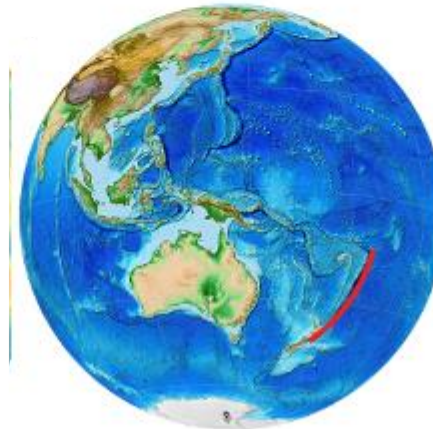
(tomografické zobrazení ve formě horizontálního (A) a svislého (B) řezu



Tonga-Kermadec-Hikurangi - TKH

anomaly:  
lon, lat: 174°, -28°  
base: 1600±100 km  
top: 0 km

interpretation:  
base age: 85-30 Ma  
top age: 0 Ma



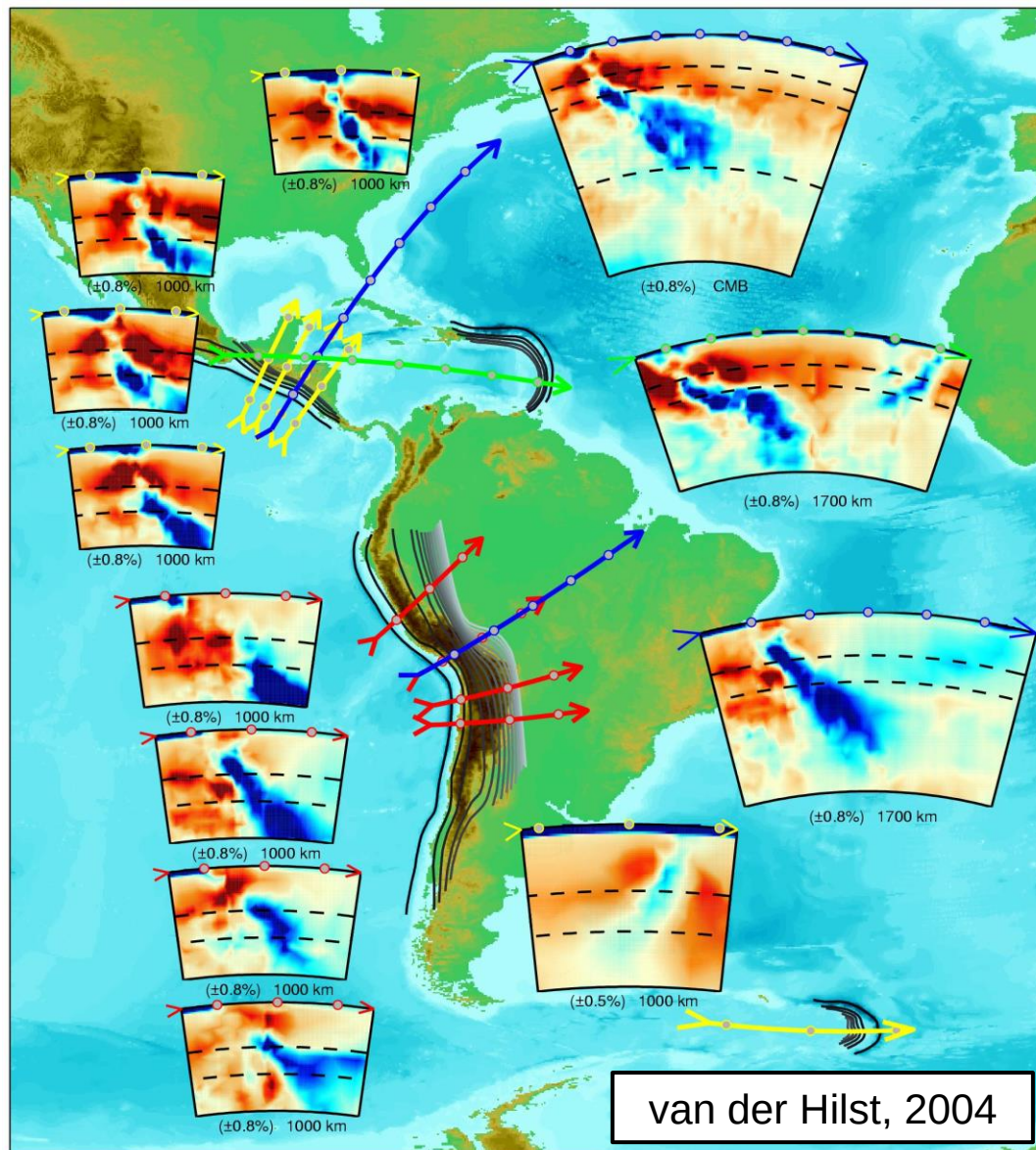
barevná škála: ± 1%

van der Meer, D.G., van Hinsbergen, D.J.J., and Spakman, W., 2018, Atlas of the Underworld: slab remnants in the mantle, their sinking history, and a new outlook on lower mantle viscosity, Tectonophysics 723, p. 309-448



možnosti moderních věd o  
Zemi při poznávání detailů  
geologických procesů:

seismická tomografie



- 0.8 %

+ 0.8 %

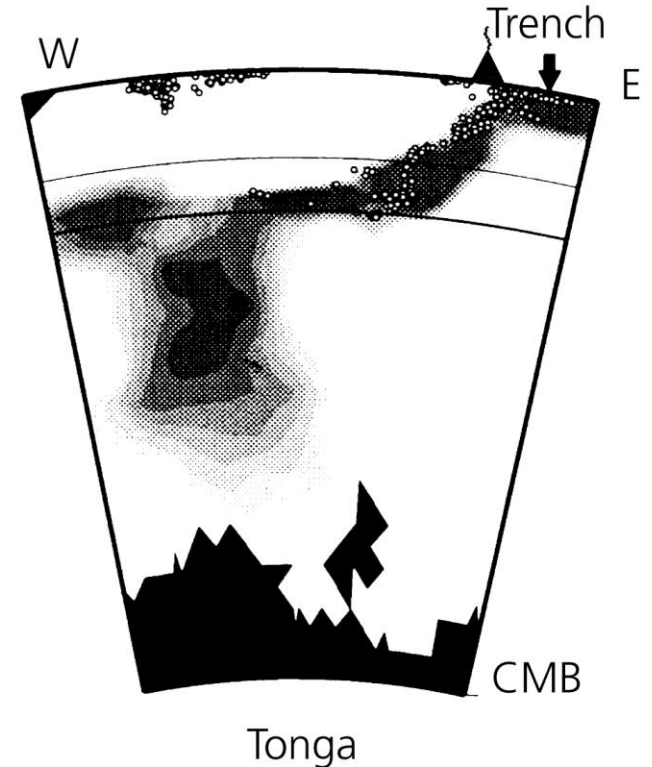
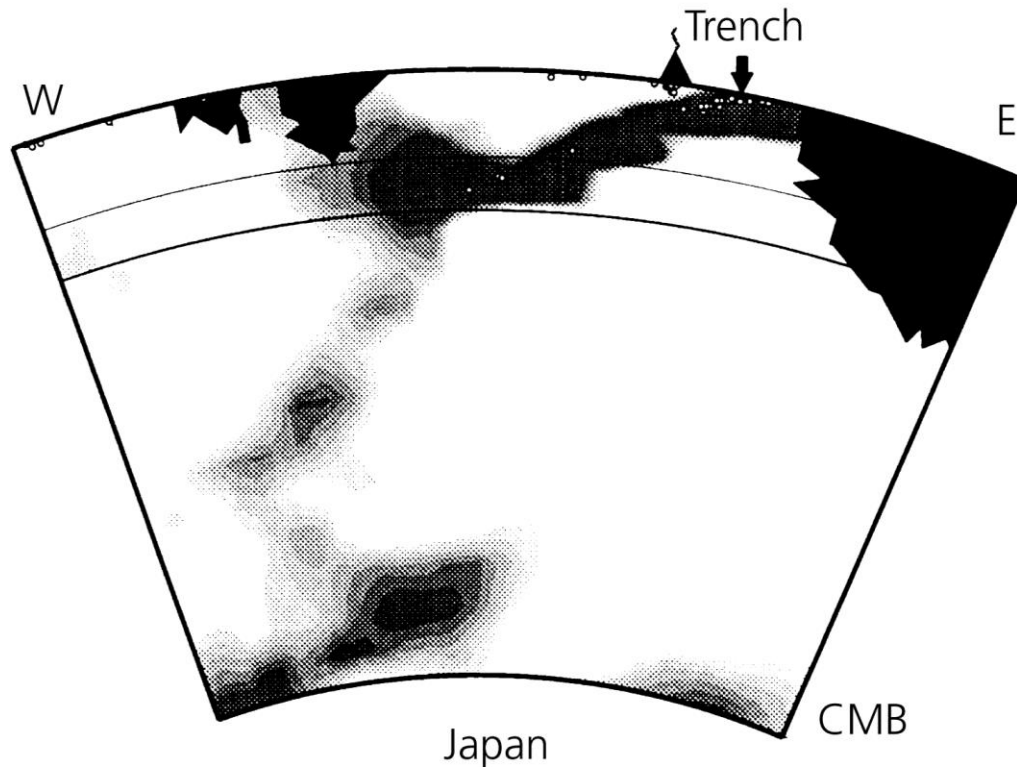
slow



fast

**možnosti moderních věd o Zemi při poznávání detailů geologických procesů:**  
seismická tomografie umožnila sledovat hloubkový dosah subdukce

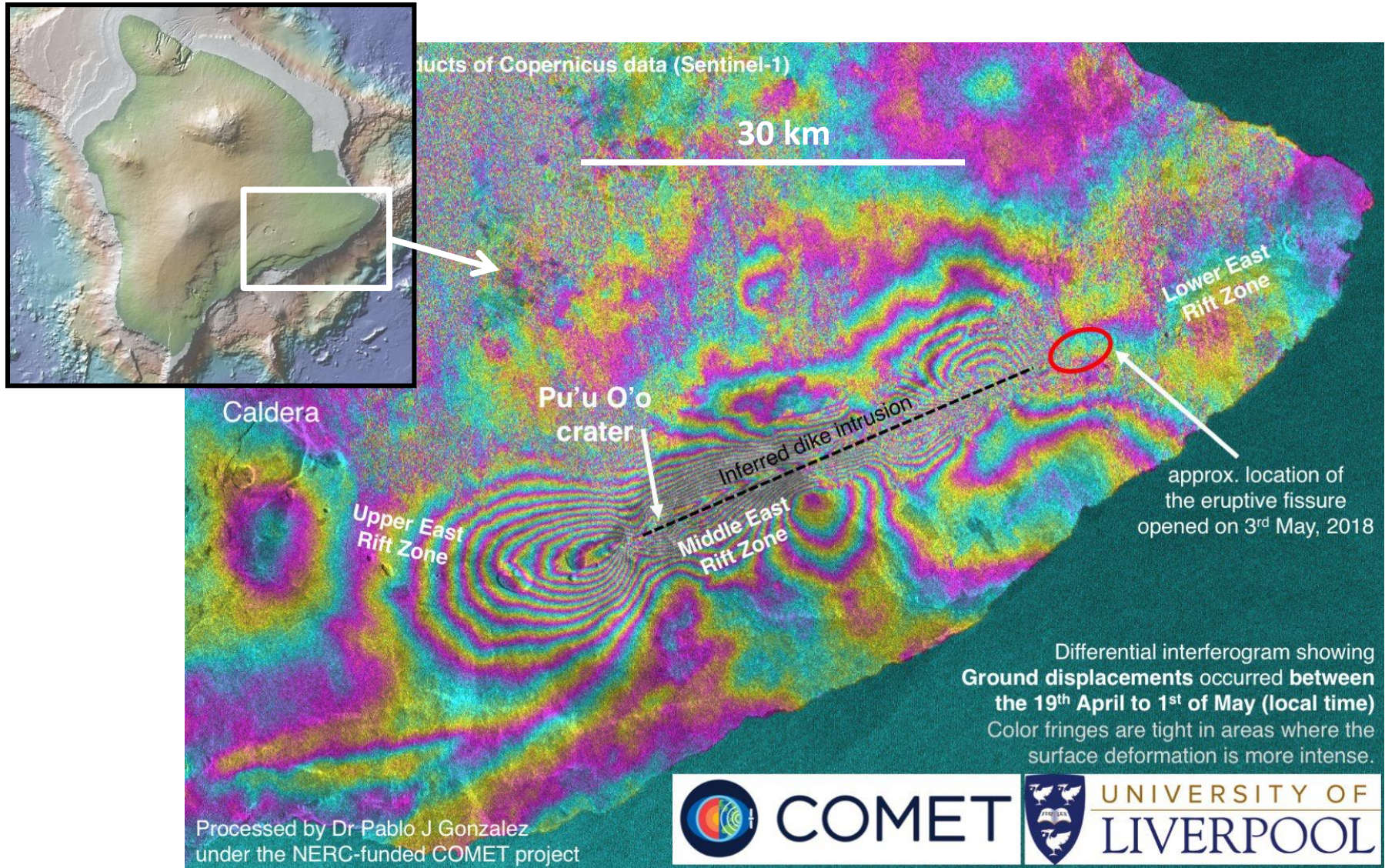
svislý řez napříč Japonskem, resp. oblastí Tonga, až k rozhraní jádro – plášť



Van der  
Hilst et al.,  
1998

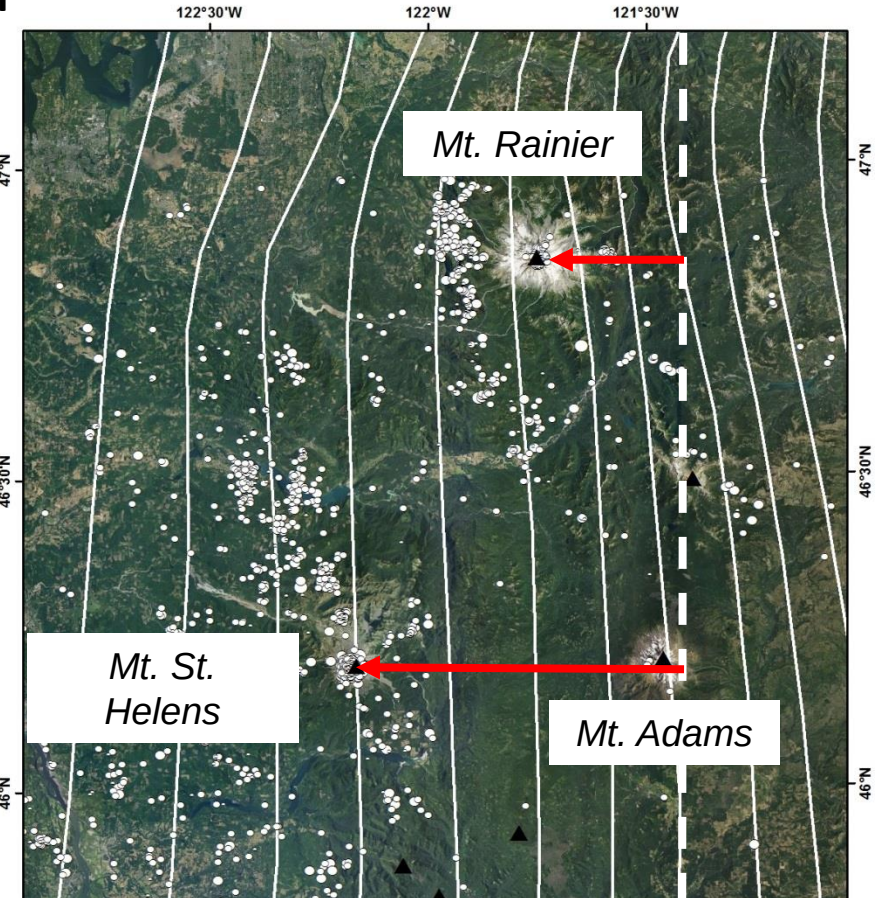


**možnosti moderních věd o Zemi při poznávání detailů geologických procesů:**  
satelitní geodetická pozorování – zobrazení svislých pohybů zemského povrchu  
podél východního riftu sopky Kilauea, Havaj, v období 19. 4. – 1. 5. 2018

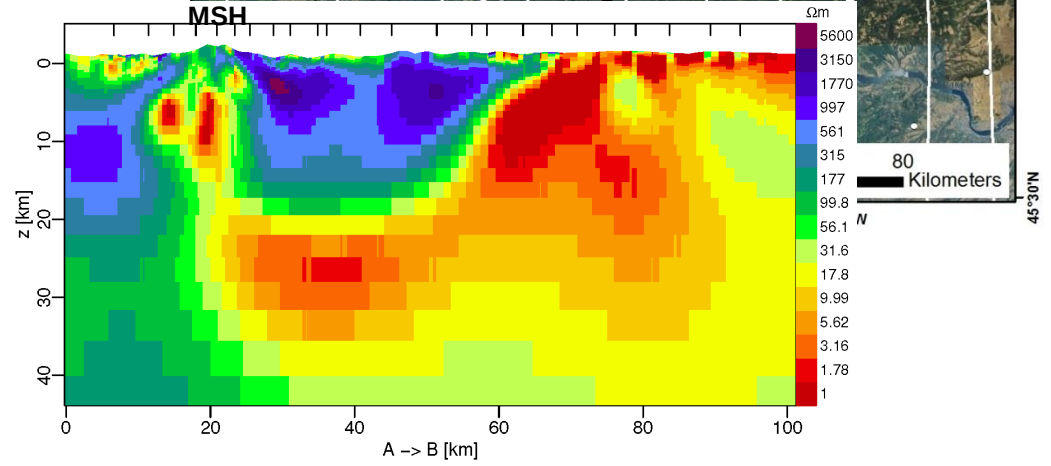
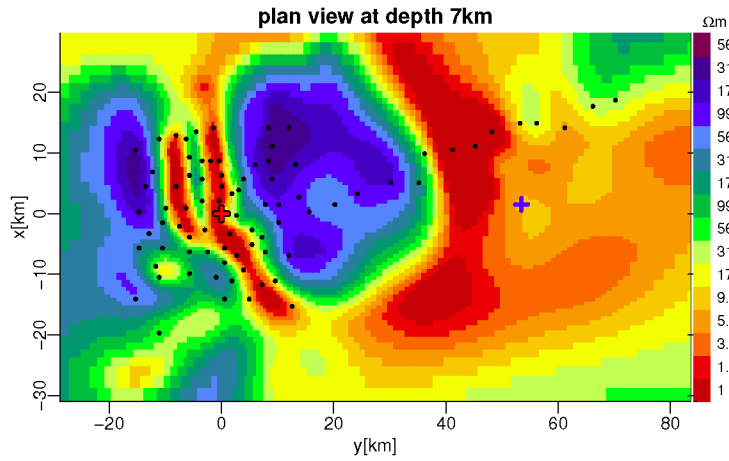




možnosti moderních věd o Zemi při poznávání  
detailů geologických procesů:  
magnetotelurická metoda



G. HILL, NAT. GEOSCI, 2015





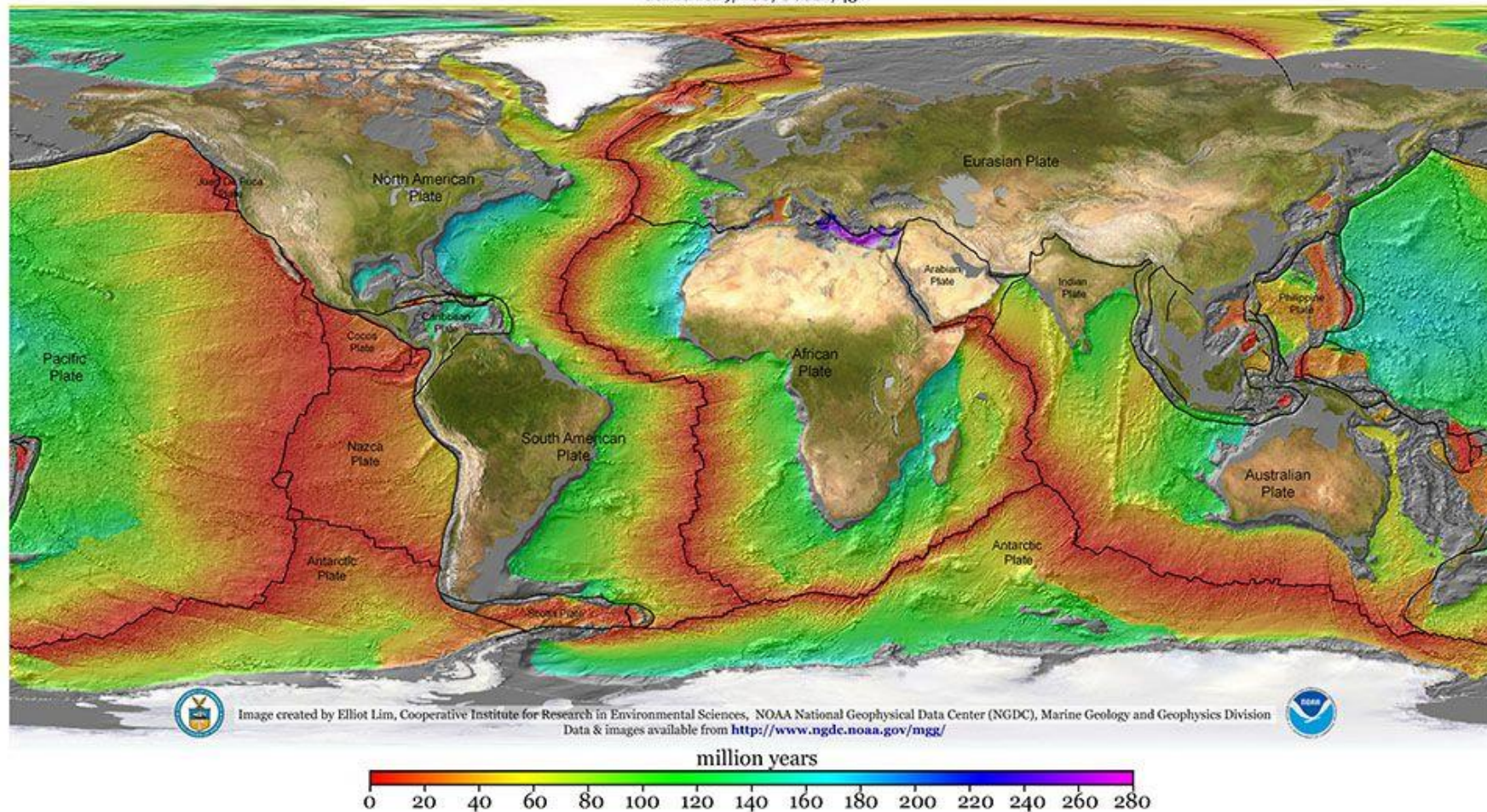
## počátek deskové tektoniky

je obtížné určit – např. nejstarší dochovaná oceánská litosféra má stáří jen cca 180 mil let

### mapa stáří oceánské litosféry v mil. let

**Data source:**

Muller, R.D., M. Sdrolias, C. Gaina, and W.R. Roest 2008. Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, Q04006, doi:10.1029/2007GC001743.

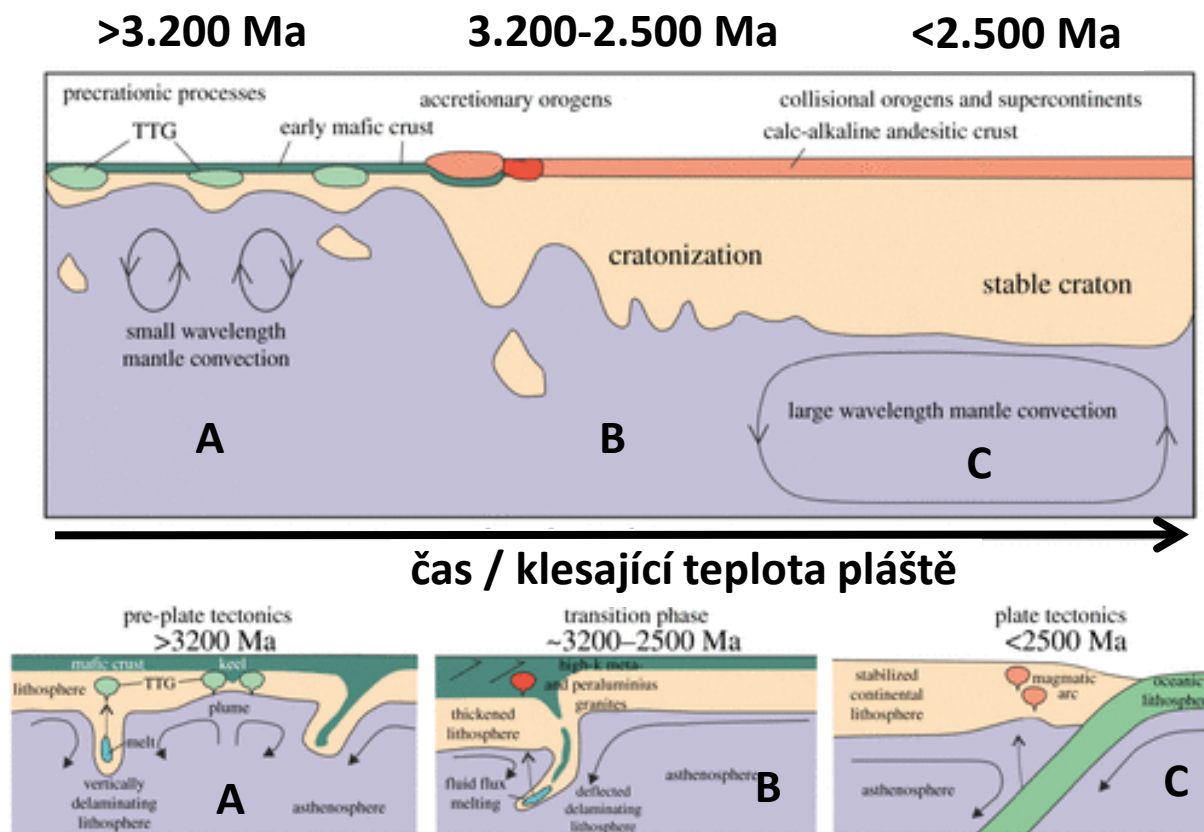


MAP COURTESY NOAA

## počátek deskové tektoniky

je patrně dán určitým vývojovým stadiem litosféry před 2.500 Ma; vývoj litosféry souvisí s chladnutím zemského pláště:

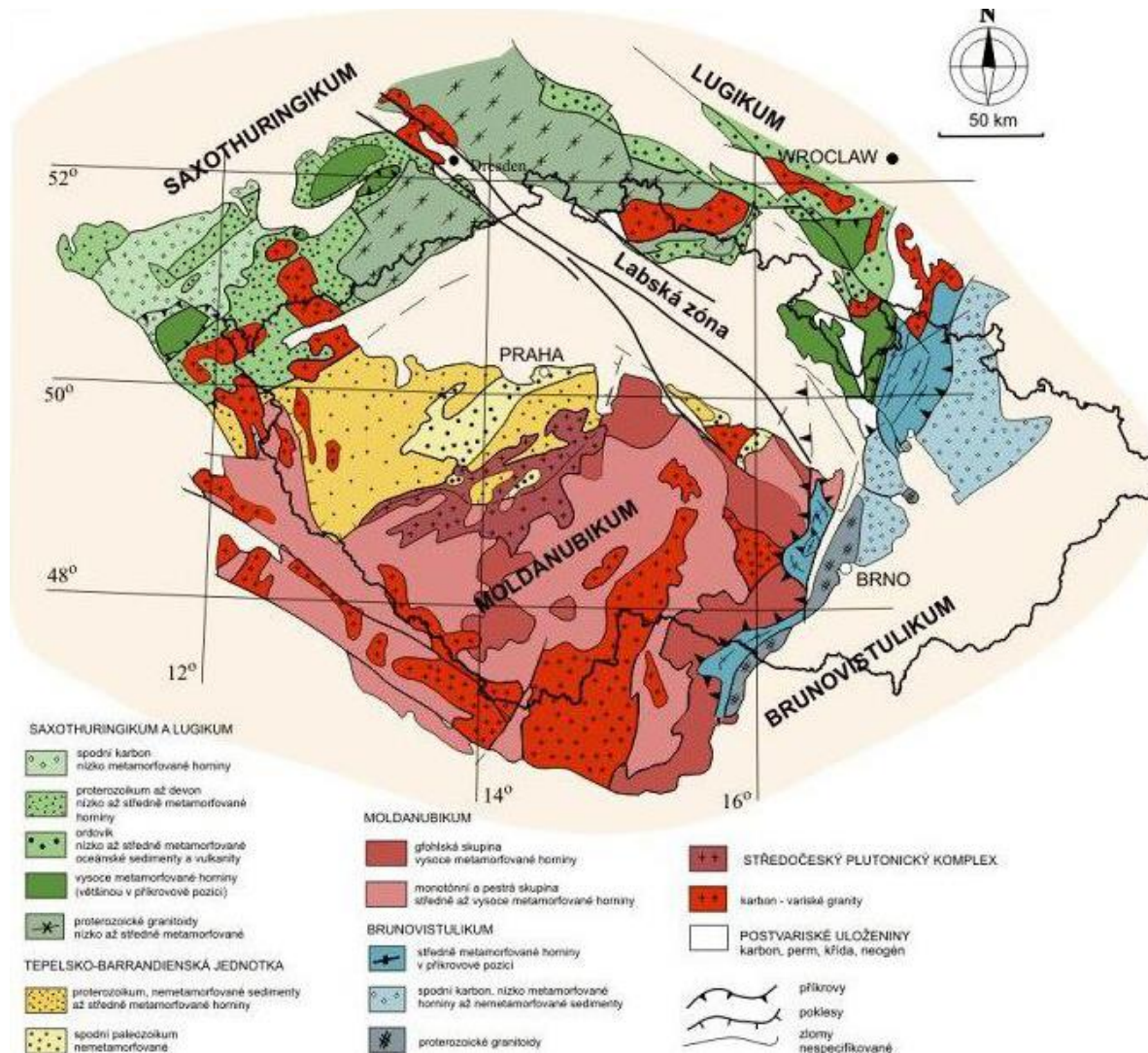
- A. období před 3.200 Ma – desková tektonika ještě nefunguje, hlavním zdrojem vulkanismu jsou plášťové chocholy, plášťová konvekce v malých buňkách
- B. přechodné období – diferenciaci kontinentální a oceánské litosféry, nárůst mocnosti kontinentální litosféry
- C. začátek deskové tektoniky před 2.500 Ma, plášťová konvekce zaujímá velký prostor





# desková tektonika v Českém masívu

geologická mapa Českého – na první pohled zřetelná koexistence odlišných geologických jednotek



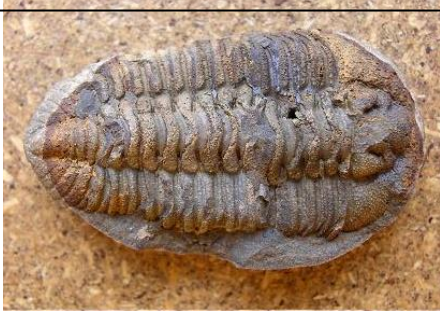
# desková tektonika v Českém masívu

## Saxothuringikum

- pozůstatky oceánské kůry,  
minerální složení hornin svědčí o  
jejich vzniku za vysokých tlaků a  
nízkých teplot

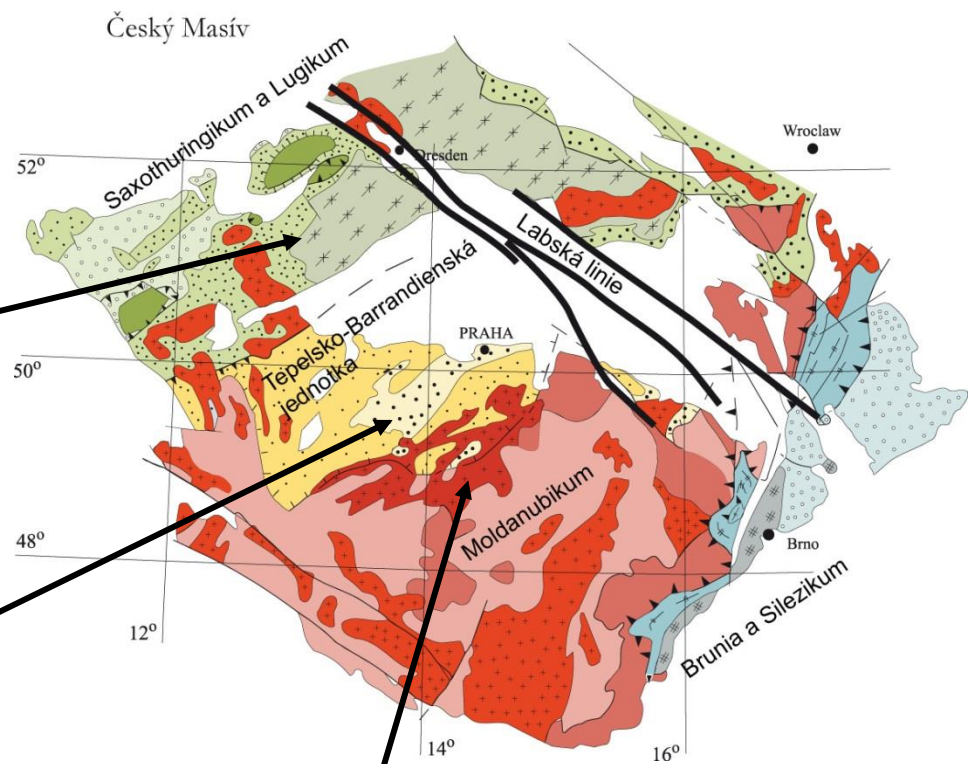
## Tepelsko-Barrandienská jednotka

- málo přeměněné sedimentární  
horniny s pozůstatky fosilií



## Středočeský plutonický komplex

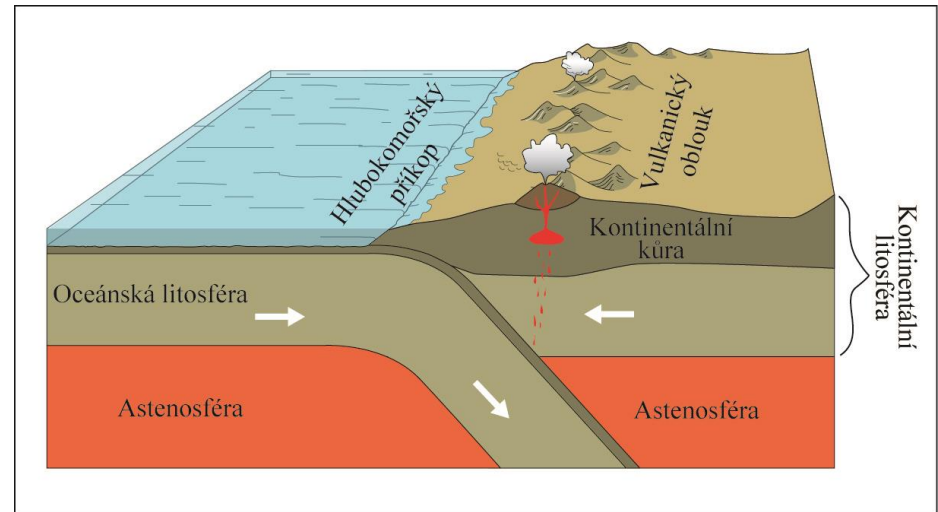
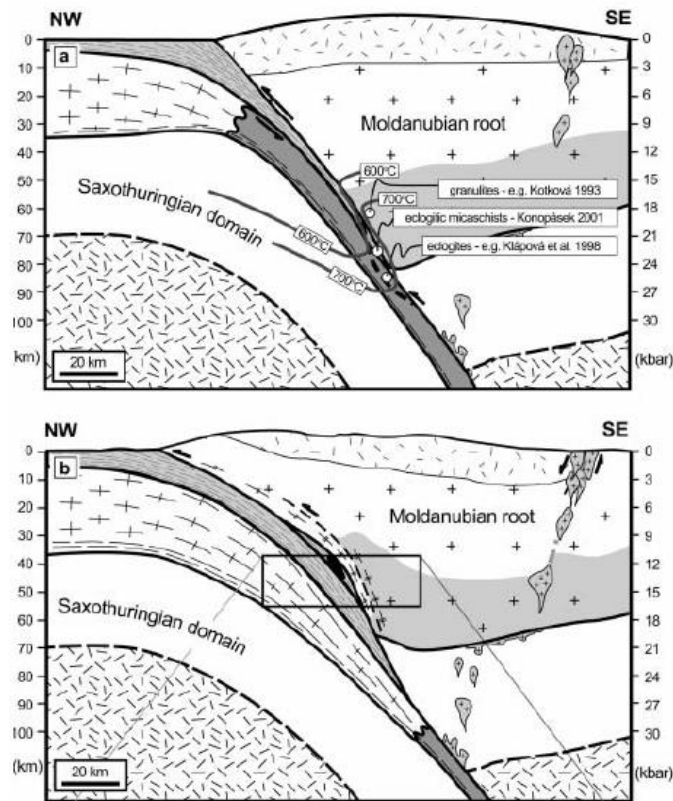
- magmatické horniny  
typické pro vulkanický  
oblouk





# desková tektonika v Českém masívu:

## interpretace tektonického vývoje západního okraje Českého masívu



1. Subdukce tzv. saxothuringického oceánu následovaná podsunutím stenčeného kontinentálního okraje a vznikem Středočeského plutonického komplexu
2. Vysouvání plochých horninových těles – příkrovů, oddělených z podsouvané desky podél subdukční zóny zpět k povrchu

## **projevy deskové tektoniky online**

aktuální obraz zemětřesné činnosti na světě –

stránka americké geologické služby USGS

(Earthquake Hazards – Latest Earthquakes – Interactive Map)

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/>