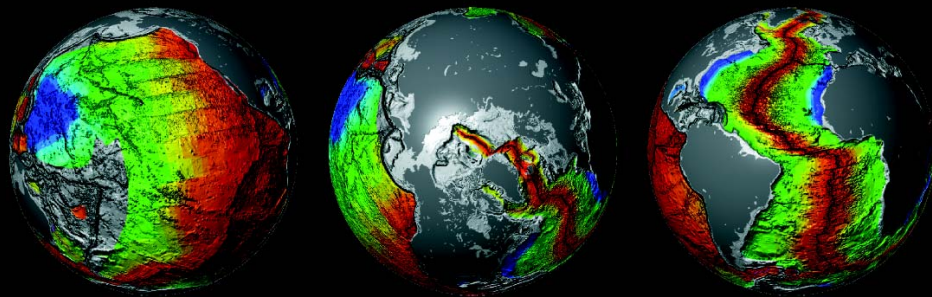


PALEOMAGNETISMUS



Martin Chadima
Agico, Brno & Geologický ústav, AV ČR, Praha

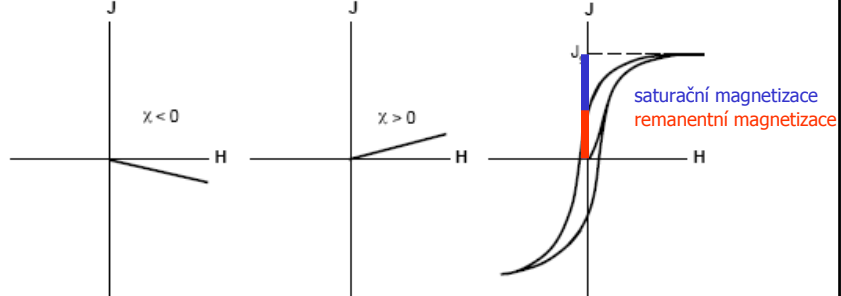
Osnova

PALEOMAGNETISMUS

1. Ferromagnetické minerály
2. Přírozená remanentní magnetizace
3. Měření a zpracování paleomagnetických dat
4. Geochronologické aplikace
5. Paleogeografické aplikace
6. Tektonické aplikace

Magnetické vlastnosti látek (minerálů)

Remanentní a indukovaná magnetizace



Diamagnetismus

- indukovaná magnetizace působí proti směru vnějšího pole
- magnetická susceptibilita je malá, záporná
- bez vnějšího pole je indukovaná magnetizace rovna nule

- *křemen*
- *kalцит*

Paramagnetismus

- indukovaná magnetizace ve směru vnějšího pole
- magnetická susceptibilita je malá, kladná
- bez vnějšího pole je indukovaná magnetizace rovna nule

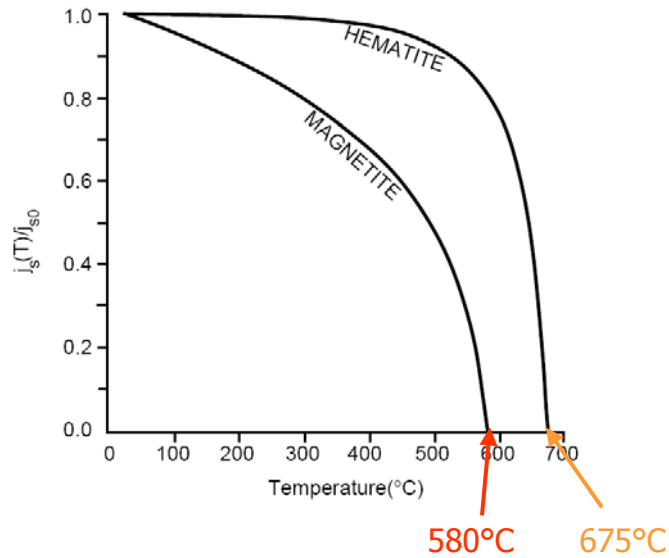
- *pyroxeny*
- *amfiboly*
- *olivín*
- *slídy*

Ferromagnetismus

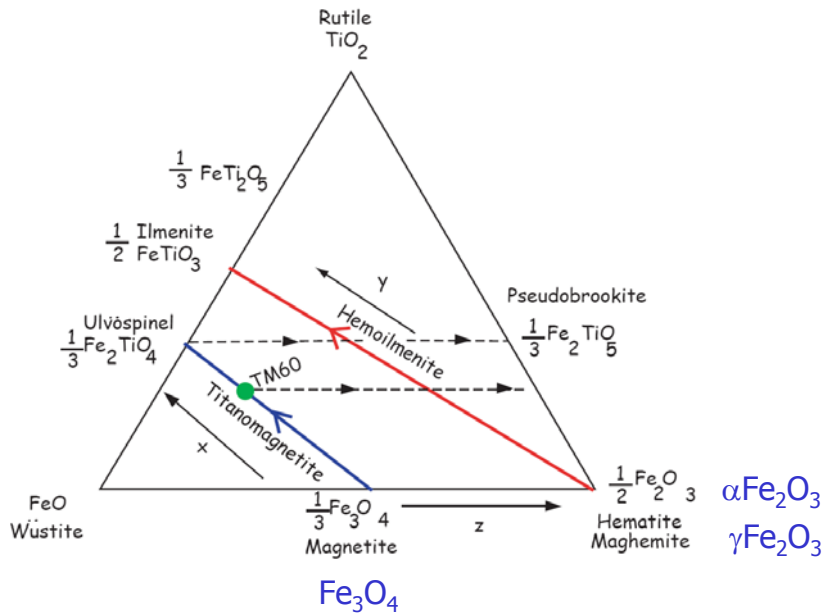
- složitější závislost mezi vnějším polem a indukovanou magnetizací
- magnetická susceptibilita vysoká
- bez vnějšího pole zůstává zbytková (remanentní) magnetizace

- *železo*
- *magnetit*
- *hematit*
- *pyrrhotin*

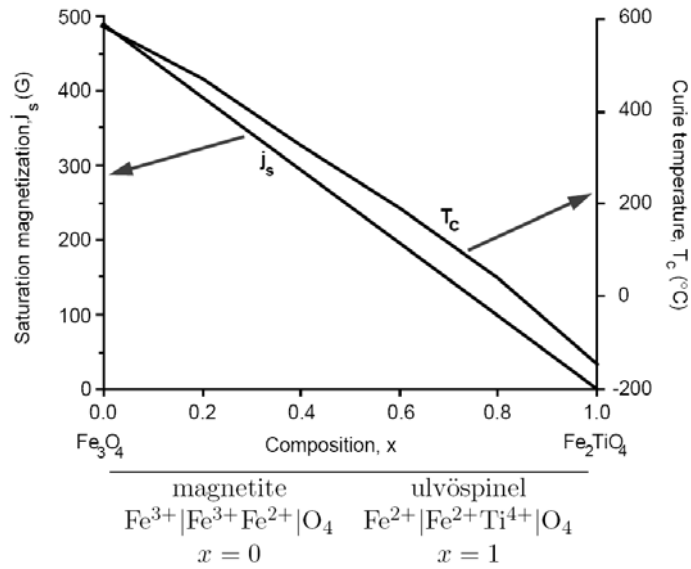
Curiova teplota ferromagnetických minerálů



Oxidy železa (a titanu)

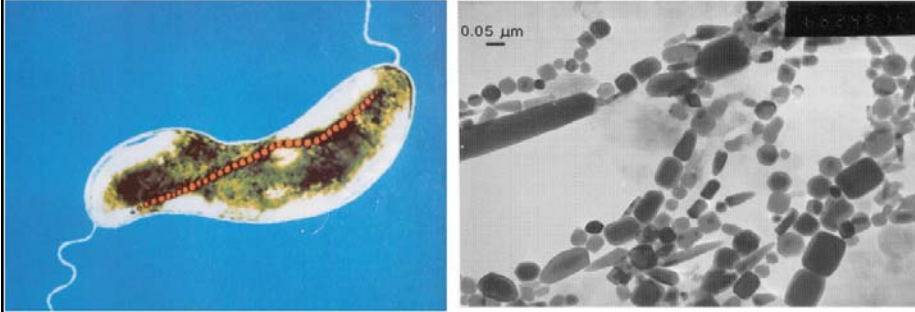


Oxidy - titanomagnetitová série

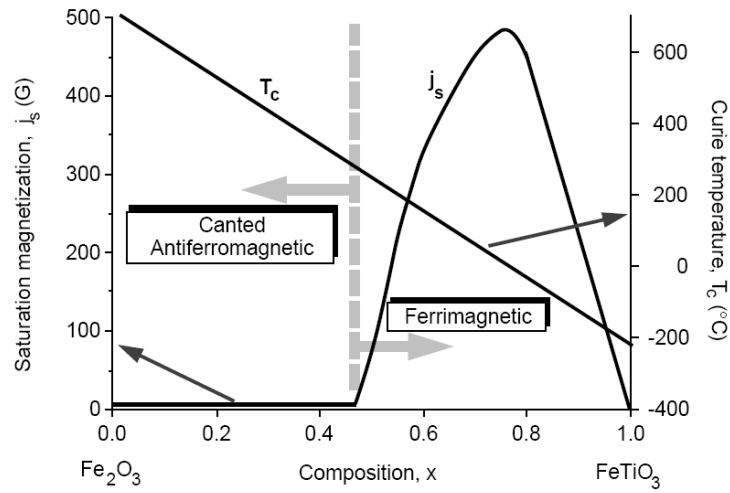


Biogenní magnetit

Magnetotaktické bakterie



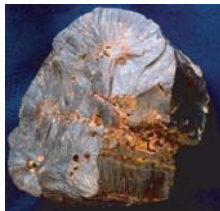
Oxidy - hematito-ilmetinová série



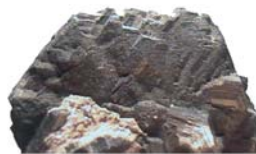
Oxidy - přehled vlastností

<p>Magnetite</p> <p>Density = 5197 kg m⁻³ Curie temperature = 580°C Saturation Magnetization = 92 Am²kg⁻¹ Anisotropy Constant = -2.6 Jkg⁻¹ Volume susceptibility = ~ 1 SI Typical coercivities are 10's of mT Verwey transition: 110-120 K Cell edge = 0.8396 nm</p>	<p>TM60</p> <p>Density = 4939 kg m⁻³ Curie temperature = 150°C Saturation Magnetization = 24 Am²kg⁻¹ Anisotropy Constant = 0.41 Jkg⁻¹ Coercivity ~ 8 mT Verwey transition: suppressed Cell edge = 0.8482 nm</p>
<p>Maghemite</p> <p>Density = 5074 kg m⁻³ Curie temperature = 590-675°C Saturation Magnetization = 74 Am²kg⁻¹ Anisotropy Constant = 0.92 Jkg⁻¹ Verwey transition: suppressed Breaks down to αFe₂O₃: between 250 → 750°C</p>	<p>Hematite</p> <p>Density = 5271 kg m⁻³ Néel temperature = 675°C Saturation Magnetization = 0.4 Am²kg⁻¹ Anisotropy Constant = 228 Jkg⁻¹ Volume susceptibility = ~ 1.3 x 10⁻³ SI Coercivities vary widely and can be 10's of teslas Morin Transition: ~ 250-260 K (for > 0.2 μm)</p>

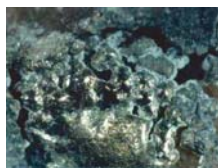
Hydroxidy a sulfidy železa



Goetit
αFeOOH



Pyrrhotin
Fe₇S₈



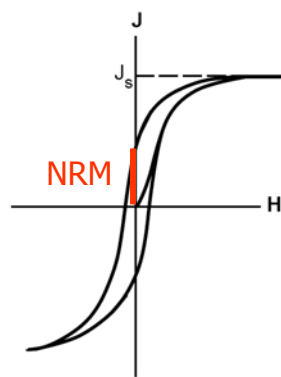
Greigit
Fe₃S₄

<p>Goethite</p> <p>Density = 4264 kg m⁻³ Néel temperature: 70 → 125°C Saturation Magnetization = 10⁻³ → 1 Am²kg⁻¹ Anisotropy Constant = 0.25 → 2 Jkg⁻¹ Volume susceptibility = ~ 1 x 10⁻³ SI Coercivities can be 10's of teslas Breaks down to hematite: 250 → 400°C</p>	<p>α-FeOOH</p> <p>Dunlop and Ozdemir [1997] O'Reilly [1984] O'Reilly [1984] Dekkers [1989] Dekkers [1989]</p>
<p>Pyrrhotite</p> <p>Density = 4662 kg m⁻³ Monoclinic: Curie temperature = ~ 325°C Hexagonal: Curie temperature = ~ 270°C Saturation Magnetization = 0.4 → 20 Am²kg⁻¹ Volume susceptibility = ~ 1 x 10⁻³ → 1 SI Anisotropy Constant = 20 Jkg⁻¹ Coercivities vary widely and can be 100's of mT Has a transition at ~ 34 K Hexagonal pyrrhotite: transition near 200° Breaks down to magnetite: ~ 500°C</p>	<p>Fe₇S₈</p> <p>Dunlop and Ozdemir [1997] Dekkers [1989a] Dekkers [1988] Worm et al. [1993] Collinson [1983]; O'Reilly [1984] O'Reilly [1984] O'Reilly [1984] Dekkers et al. [1989] Rochette et al. [1990] Dunlop and Ozdemir [1997]</p>
<p>Greigit</p> <p>Density = 4079 kg m⁻³ Néel temperature = ~ 330°C Saturation Magnetization = ~ 25 Am²kg⁻¹ Anisotropy Constant = ~ 25 Jkg⁻¹ Coercivity 60 → 100 mT Has high M_s/χ ratios ~ 70 x 10³ Am⁻¹ Breaks down to magnetite: ~ 270-350°C</p>	<p>Fe₃S₄</p> <p>Dunlop and Ozdemir [1997] Roberts [1995] Spender et al. [1972] Dunlop and Ozdemir [1997] Roberts [1995] Snowball and Thompson [1990] Roberts [1995]</p>

Ferromagnetické minerály (s.l.) - přehled

Minerál	Vzorec	T_c [°C]	J_s [kAm ⁻¹]	B_c [T]
<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-bottom: 5px;"> Curiova teplota Sytná magnetizace Koercivita </div>				
Oxidy				
Magnetit	Fe ₃ O ₄	575	480	0,3
Maghemit	γ-Fe ₂ O ₃	590 – 675	380	0,3
Hematit	α-Fe ₂ O ₃	675	2,5	1 – 5
Goetit	α-FeOOH	60 – 130	2	> 5
Sulfidy				
Pyrrhotin	FeS _{1+x}	<= 320	80	0,5 – 1
Greigit	Fe ₃ S ₄	330	125	0,03

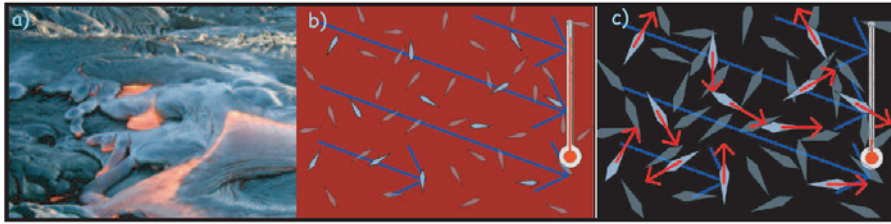
Přerozená remanentní magnetizace (NRM)



Natural remanent magnetization (NRM)

- Tepelná remanentní magnetizace (TRM)
- Detritická remanentní magnetizace (DRM)
- Chemická remanentní magnetizace (CRM)
- Viskózní remanentní magnetizace (VRM)
- Isotermální remanentní magnetizace (IRM)
- Anhysteretická remanentní magnetizace (ARM)

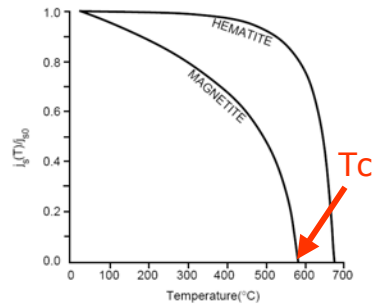
Tepelná remanentní magnetizace (TRM)



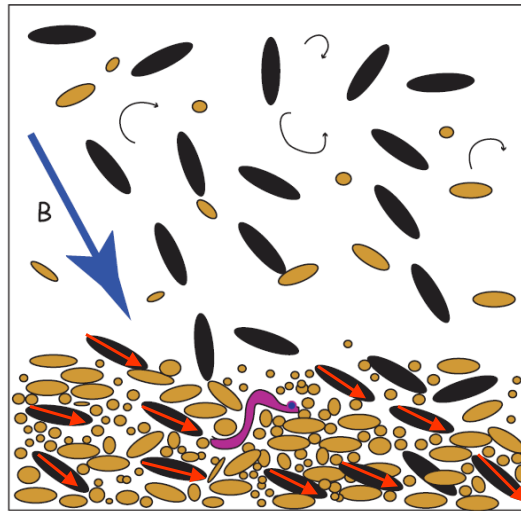
• lávová tavenina

- $T > T_c$
- krystaly rostou
- nejsou magnetické

- $T < T_c$
- magnetické momenty se fixují ve směru „easy axis“
- proporcionalně k orientaci krystalu



Detritická remanentní magnetizace (DRM)



Turbulent Water

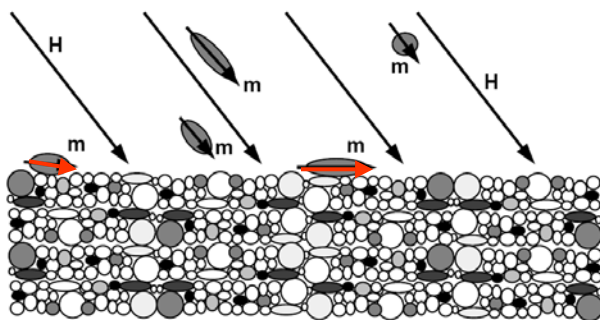
Still water or laminar flow

sediment/water interface
bioturbation
consolidation
"lock-in depth"

compaction

DRM - změlčení inklinace

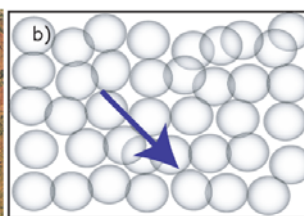
inclination shallowing



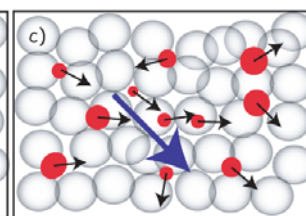
Chemická remanentní magnetizace (CRM)



Červené půdní horizonty,
Chiji Formation, Siwaliks,
Pákistán

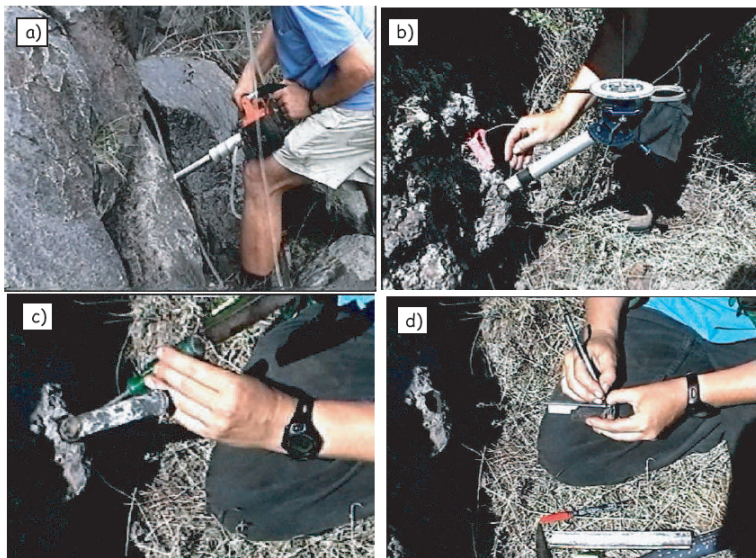


Nemagnetická matrix



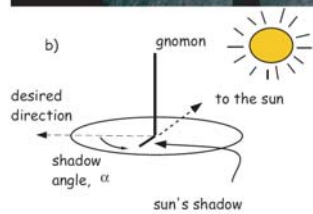
Růst hematitu s přednostní
orientací odrážející magnetické
pole

Odběr paleomagnetických vzorků



Odběr paleomagnetických vzorků

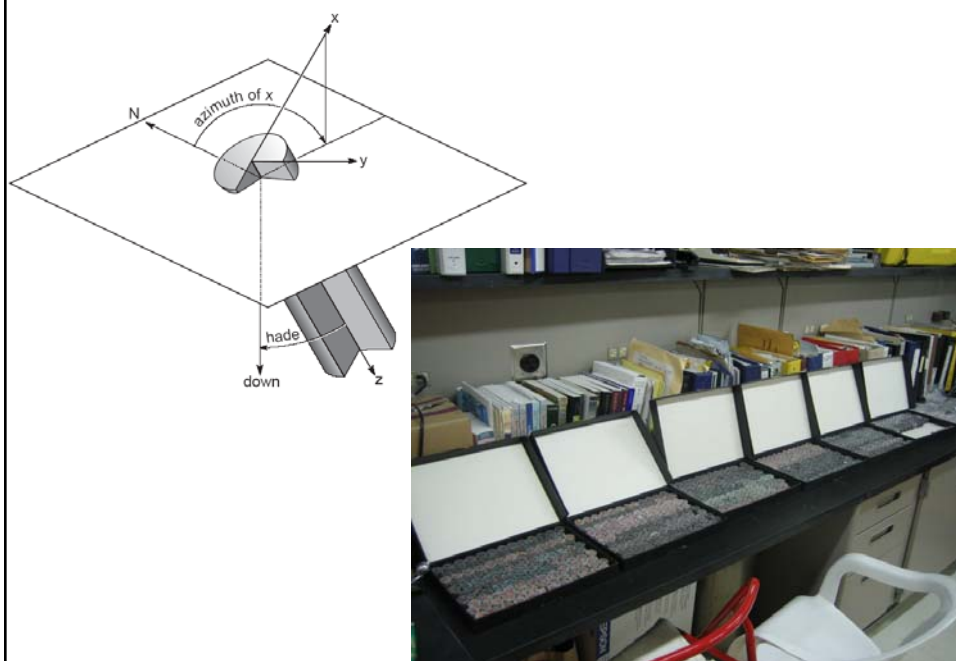
sluneční kompas



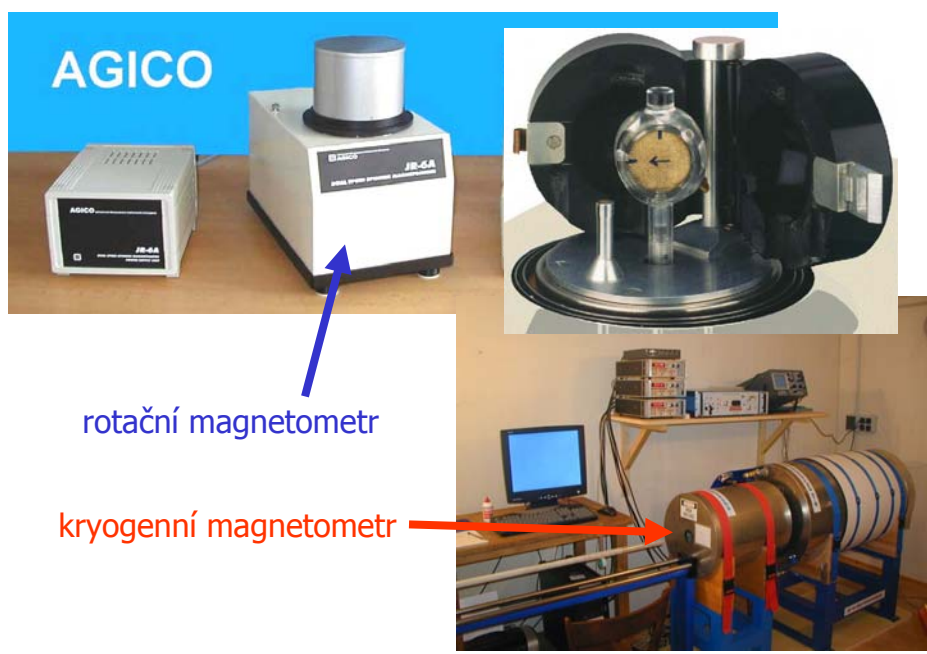
orientace pomocí dGPS



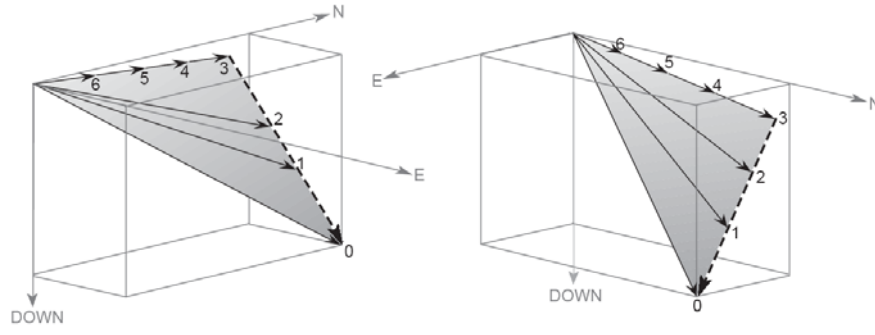
Odběr paleomagnetických vzorků



Měření paleomagnetických vzorků

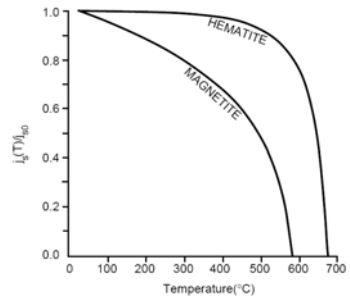


Postupná demagnetizace

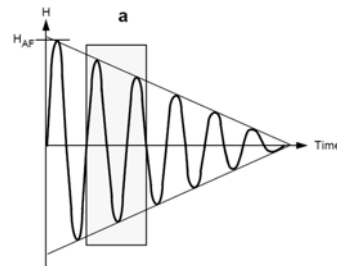
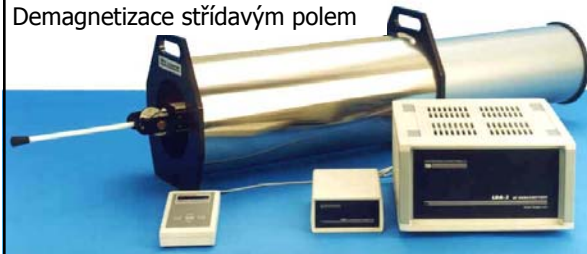


Postupná demagnetizace

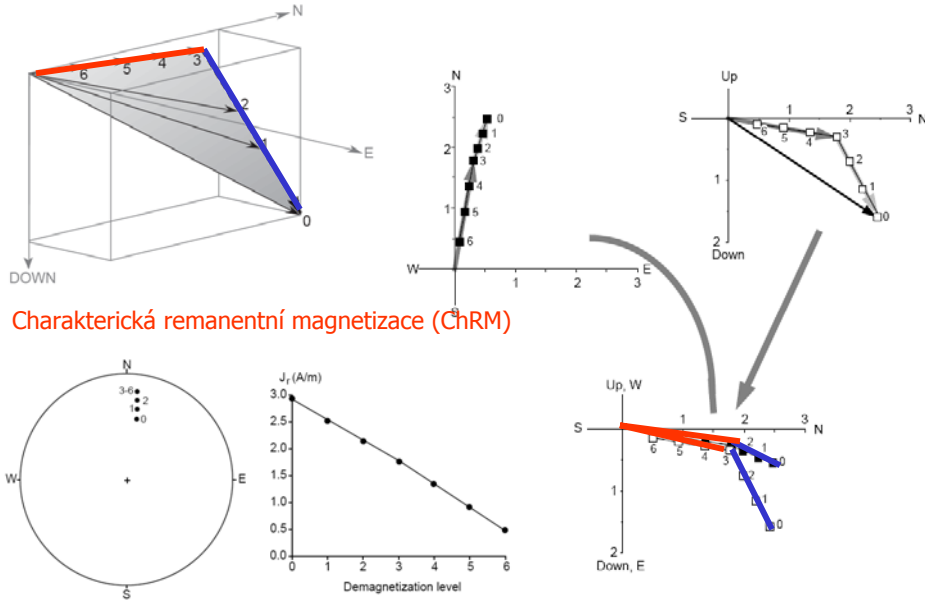
Teplotní demagnetizace



Demagnetizace střídavým polem

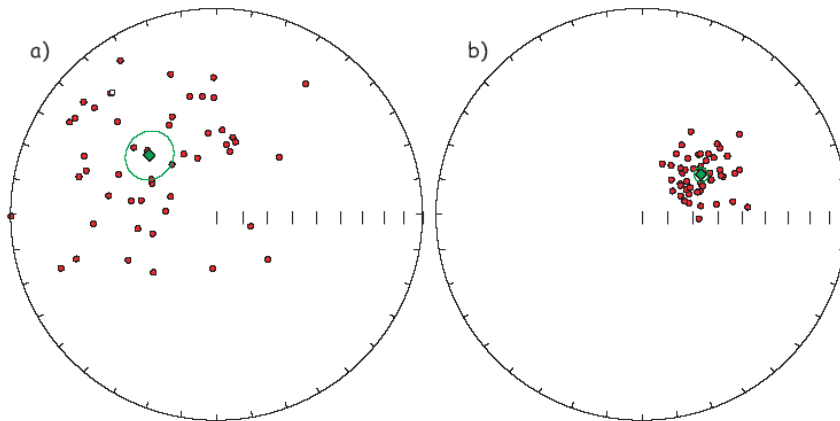


Zobrazení a analýza postupné demagnetizace



Charakterická remanentní magnetizace (ChRM)

Zobrazení a analýza postupné demagnetizace



Terénní zkoušky

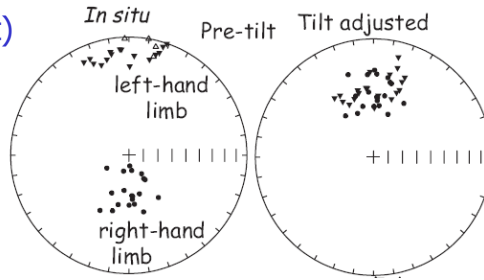
vrásová zkouška (fold test)

PREFOLDING MAGNETIZATION

Orientation during magnetization

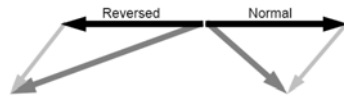


Observed orientation

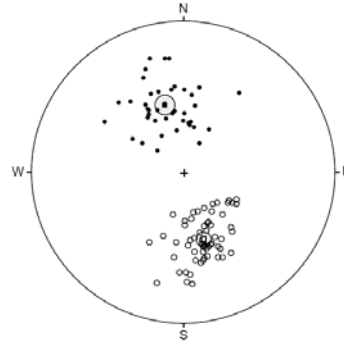


reversal test

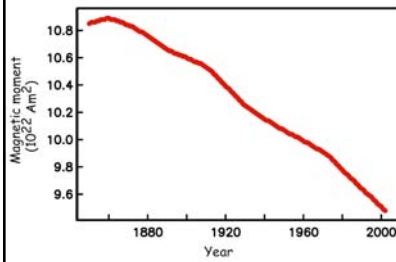
Reversals Test



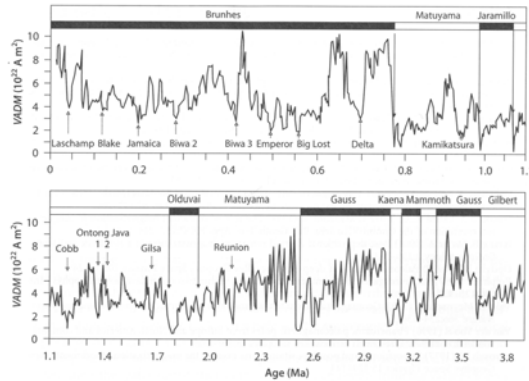
- Primary
- Secondary
- Resultant



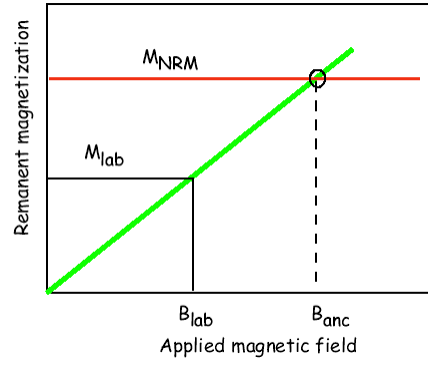
Záznam zemského magnetismu v geologické historii



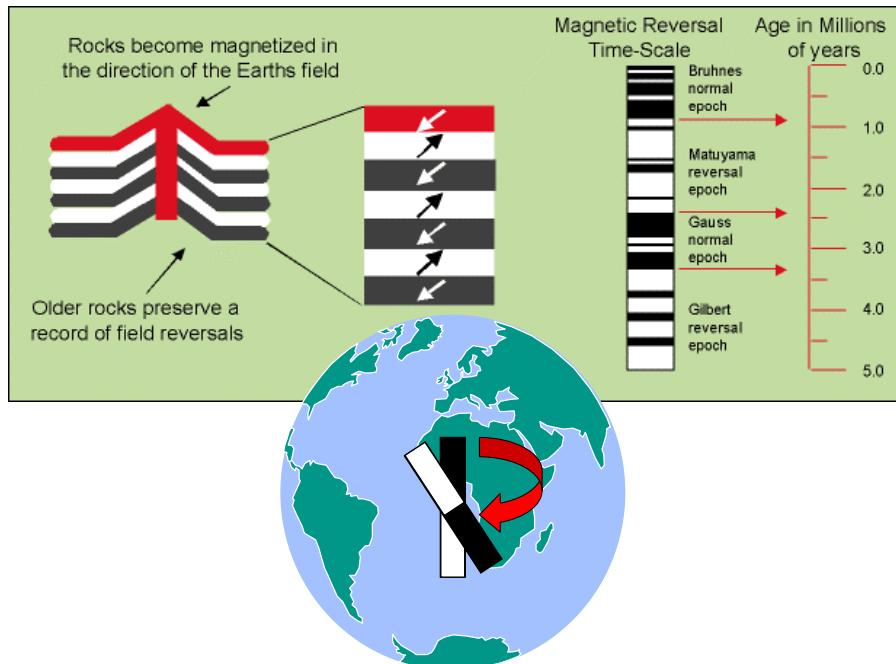
Od prvního změření absolutní intenzity magnetického pole Gaussem v roce 1839 intenzita klesla o 10%



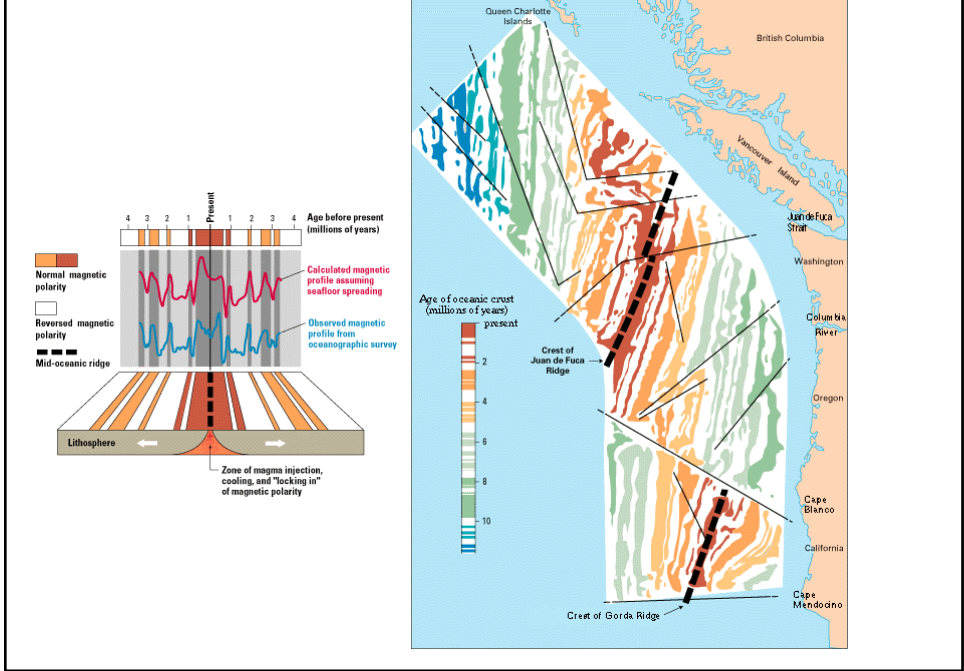
Paleointenzita magnetického pole



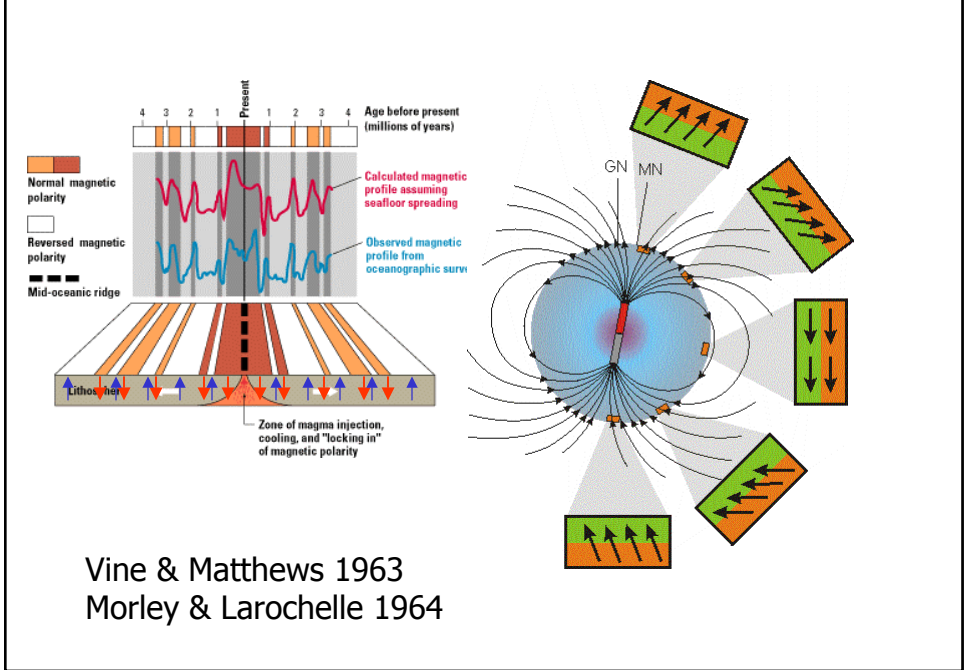
Magnetické přepólování Země



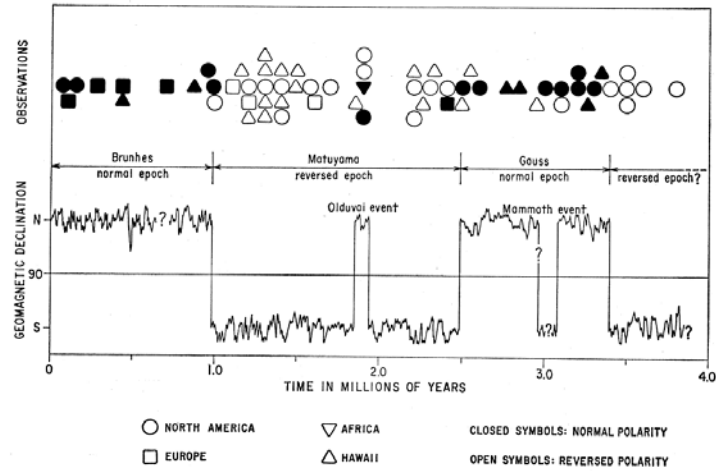
Záznam magnetických inverzí na oceánském dně



Záznam magnetických inverzí na oceánském dně

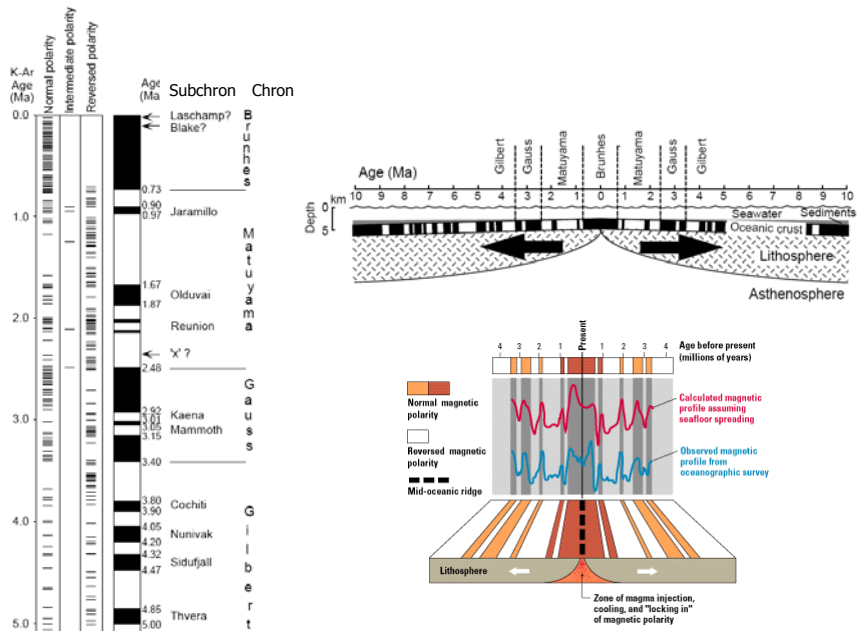


Lávové proudy < 5 Ma

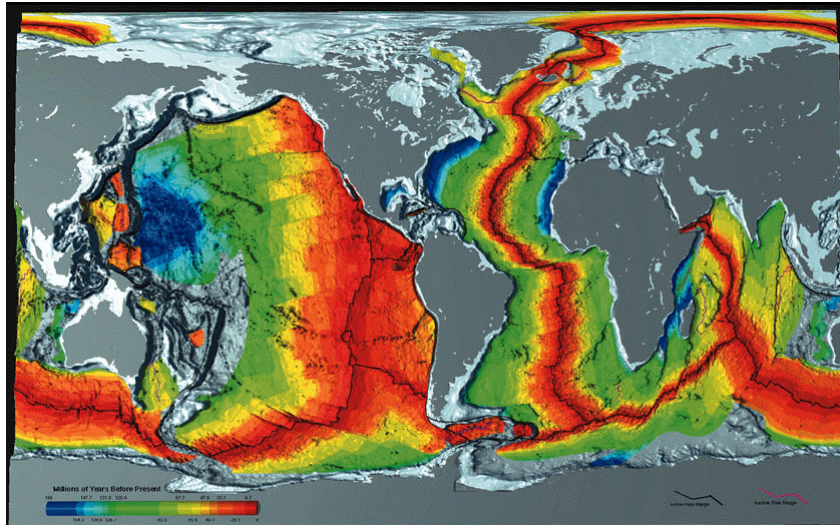


Cox et al. 1964

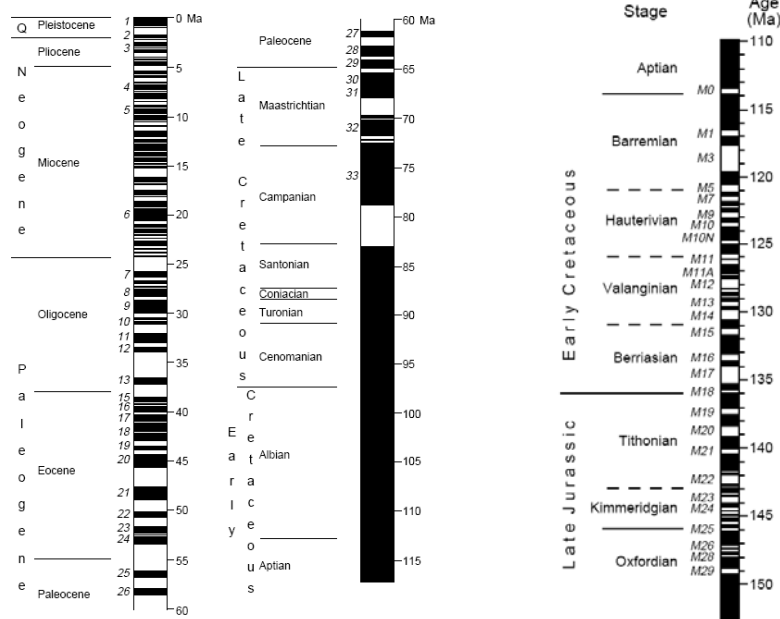
Magnetostratigrafie < 5 Ma



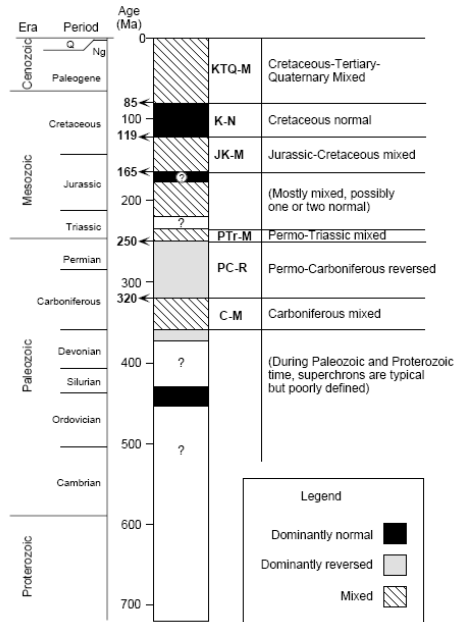
Stáří oceánské kůry < 180 Ma



Geomagnetic Polarity Time Scale (GPTS) < 180 Ma

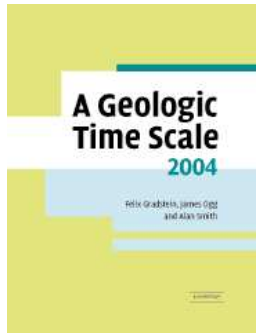


Geomagnetic Polarity Time Scale (GPTS)

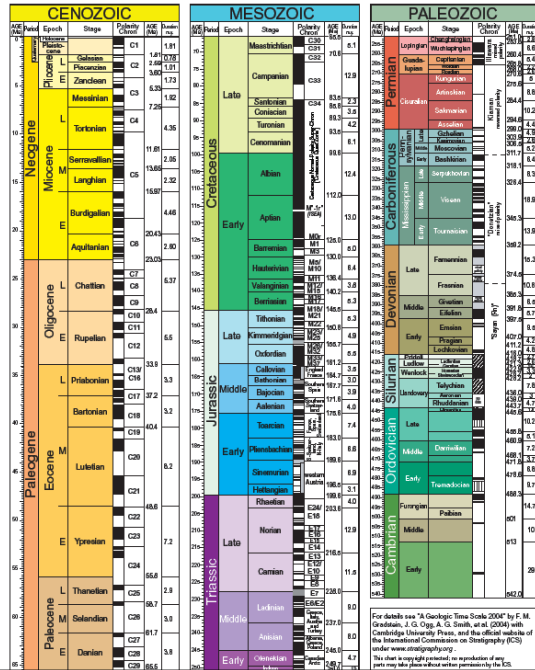


A Geologic Time Scale 2004

Geomagnetic Polarity Time Scale

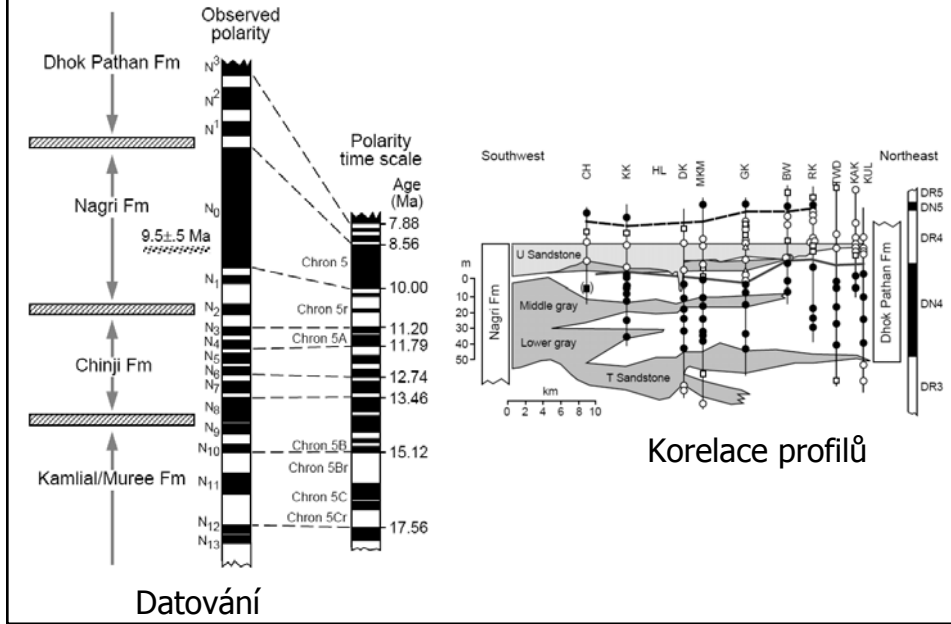


Gradstein & Ogg 2004

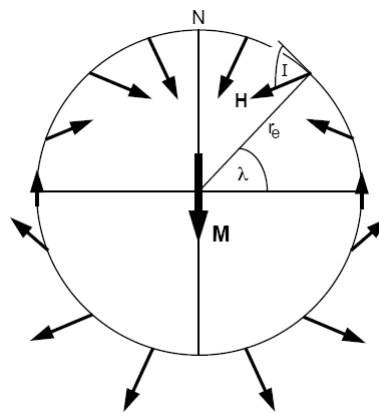


For details see "A Geologic Time Scale 2004" by F. M. Gradstein, J. G. Ogg, A. G. Smith, et al. (2004) with Cambridge University Press, and the official website of the International Commission on Stratigraphy (ICS) under www.stratigraphy.org

Magnetostratigrafie v sedimentech

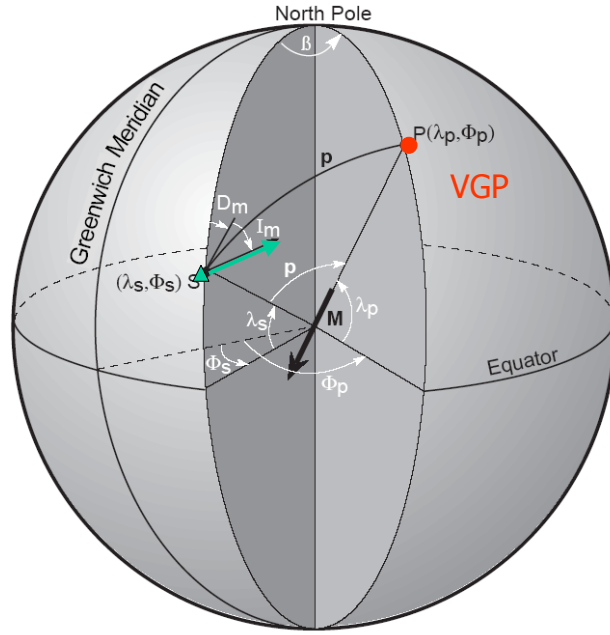


Geocentrický axiální dipól

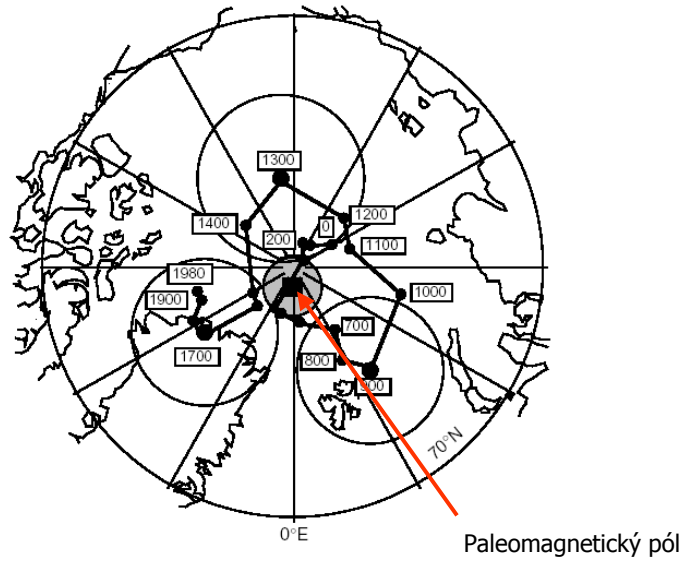


$$\tan I = 2 \tan \lambda$$

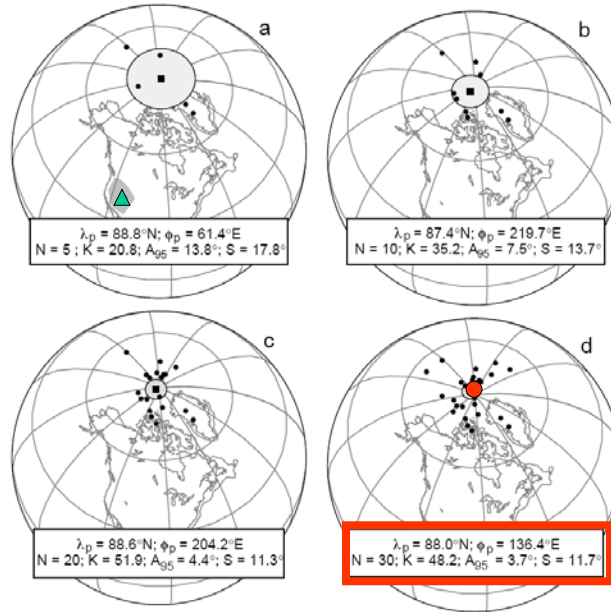
Virtuální geomagnetický pól (VGP)



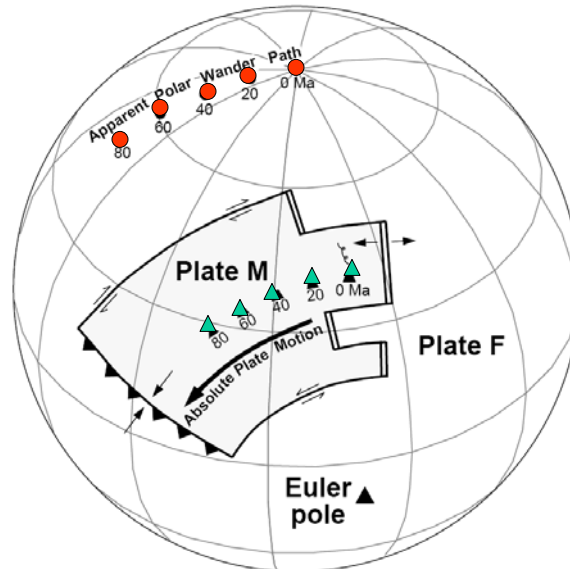
Geocentrický axiální dipól



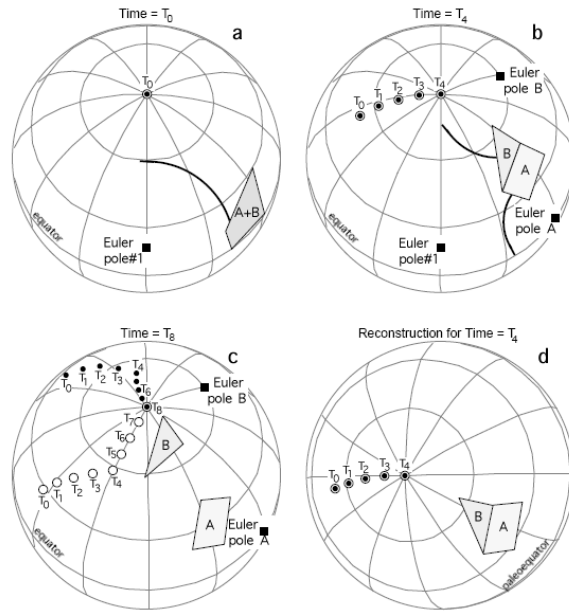
Paleomagnetický pól



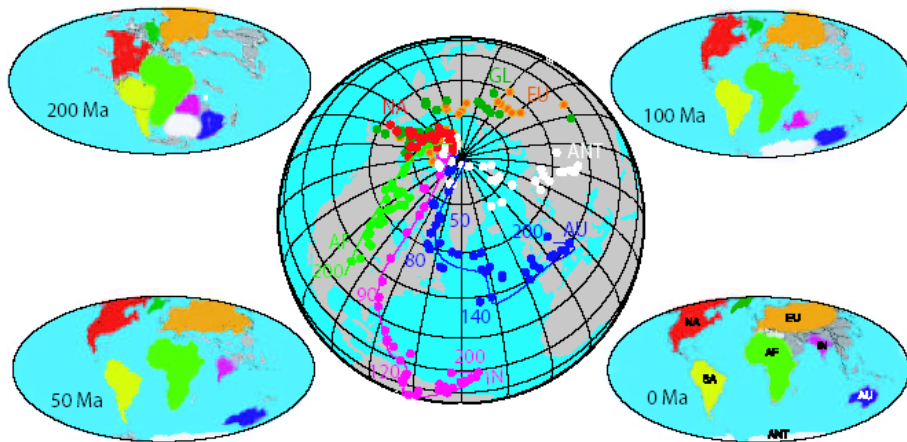
Zdánlivé putování pólů (APWP)



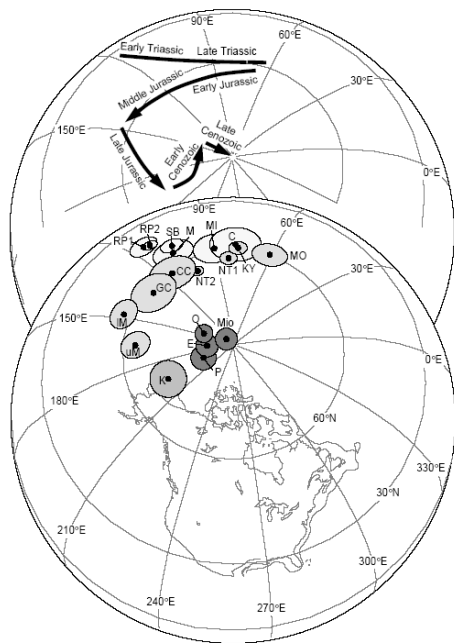
Paleogeografické rekonstrukce



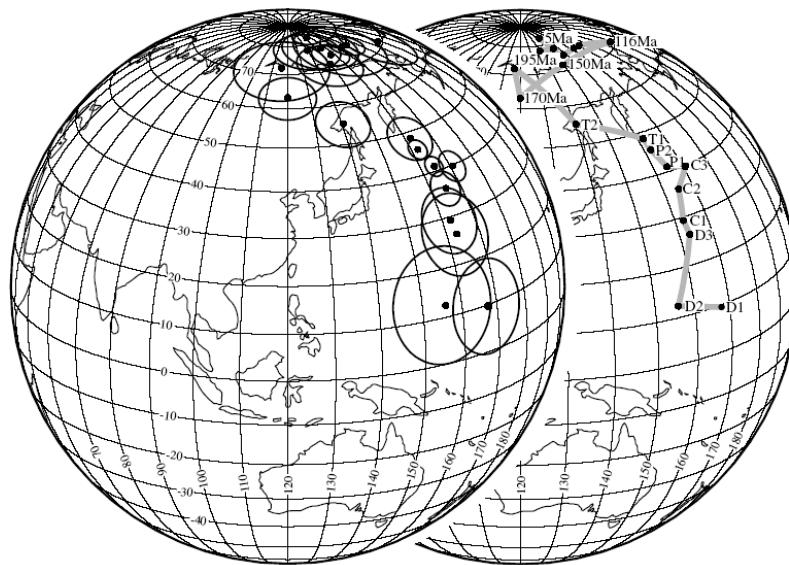
Paleogeografické rekonstrukce



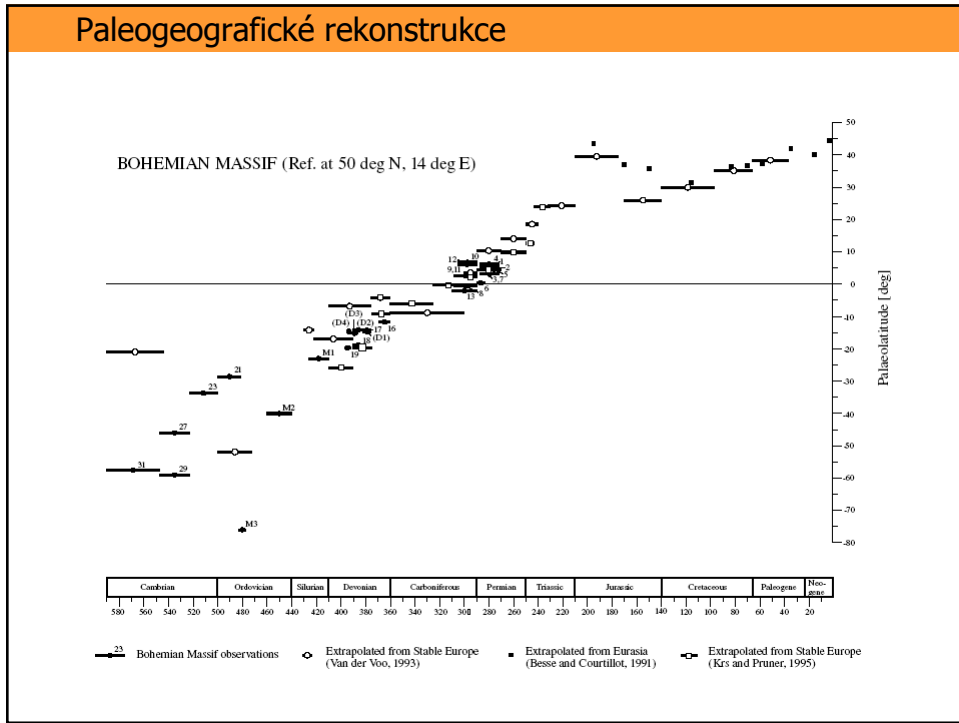
Zdánlivé putování pólů (APWP)



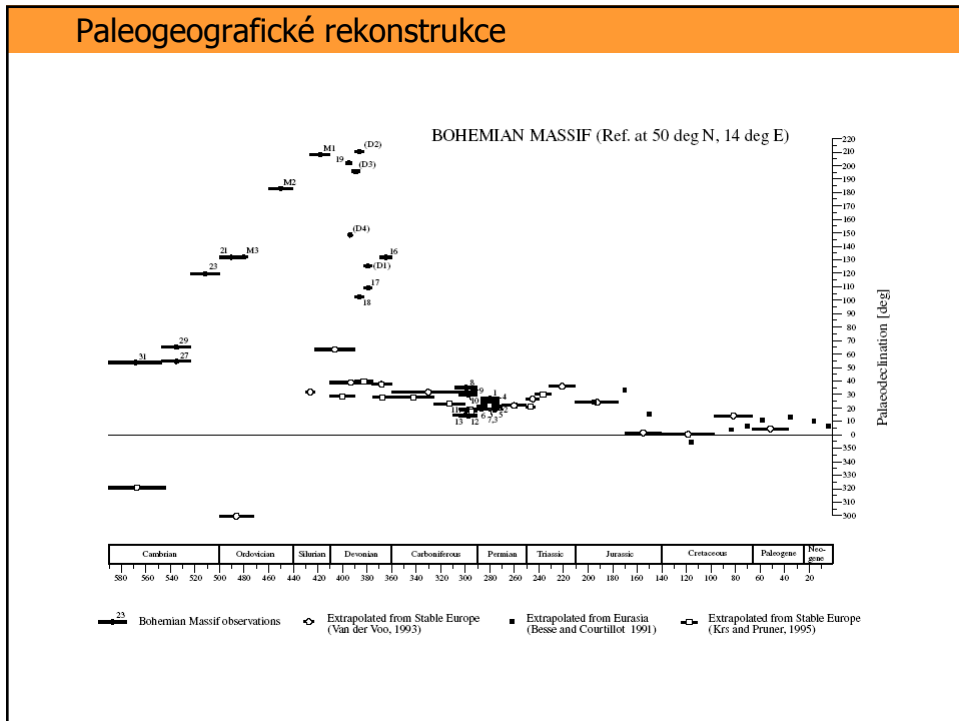
Paleogeografické rekonstrukce



Paleogeografické rekonstrukce

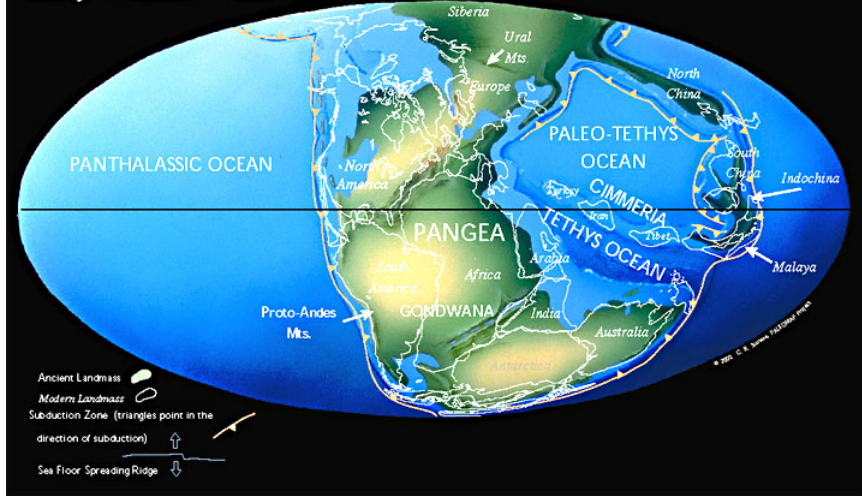


Paleogeografické rekonstrukce



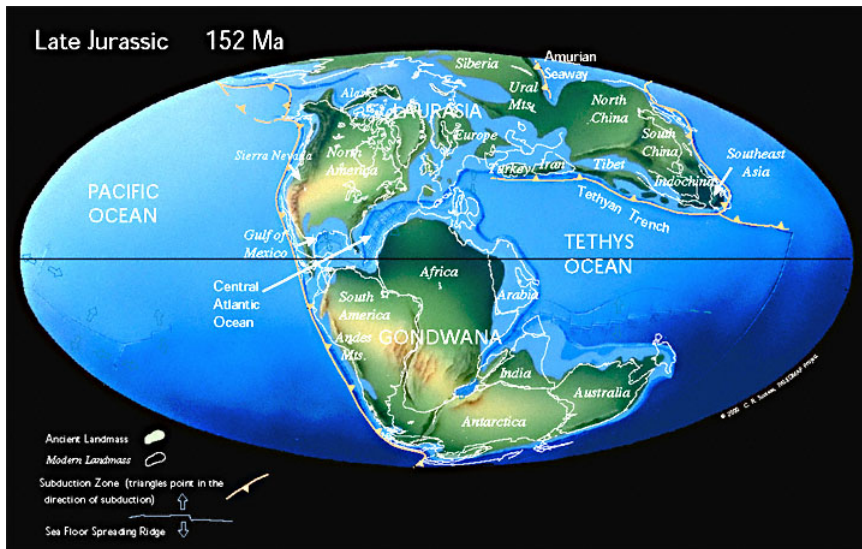
Paleogeografické rekonstrukce

Early Triassic 237 Ma

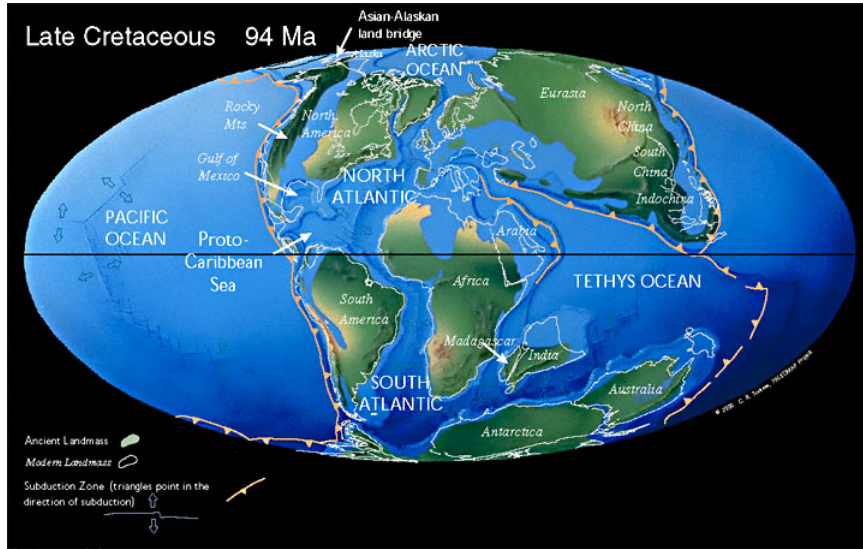


Paleogeografické rekonstrukce

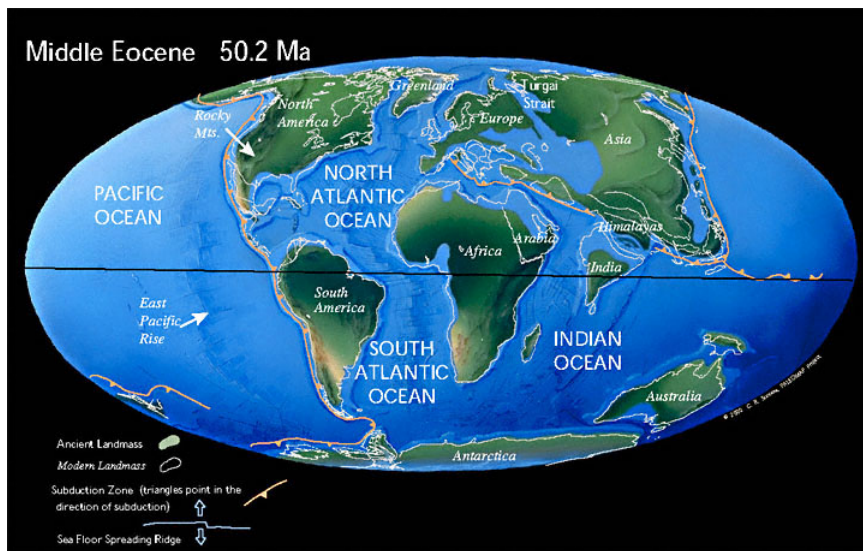
Late Jurassic 152 Ma



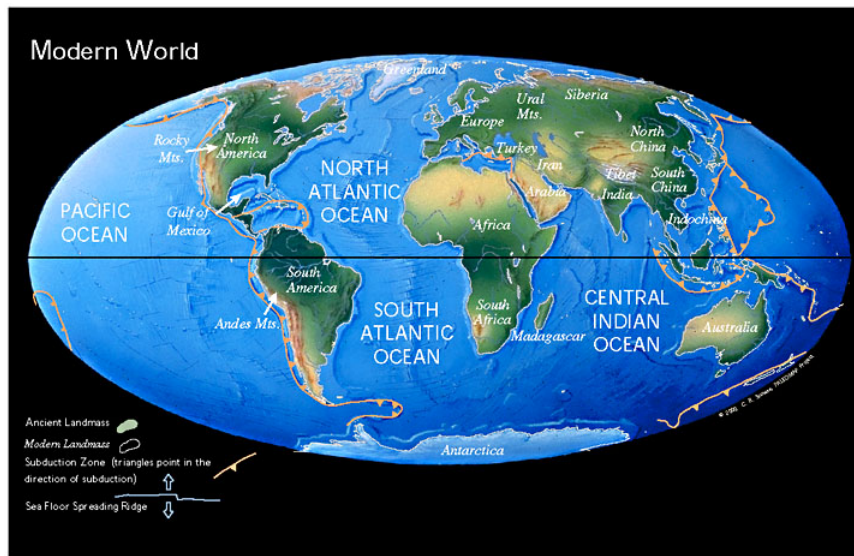
Paleogeografické rekonstrukce



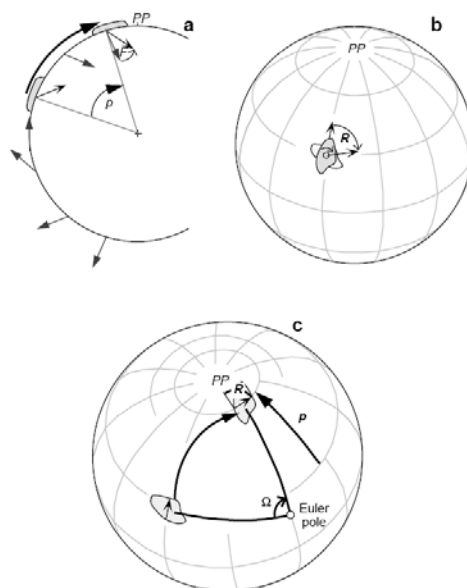
Paleogeografické rekonstrukce



Paleogeografické rekonstrukce



Tektonické rekonstrukce

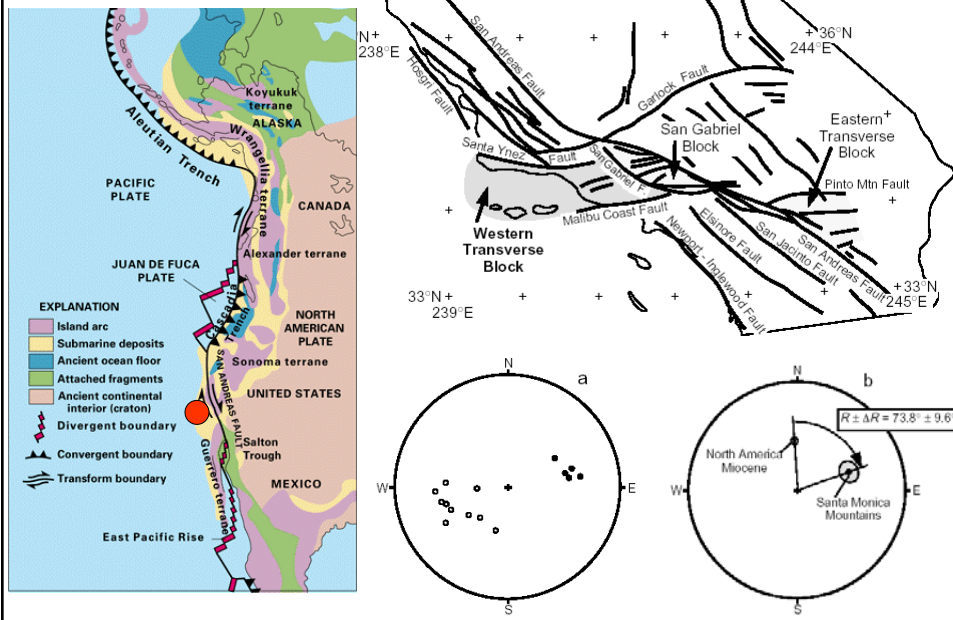


Západní pobřeží Severní Ameriky

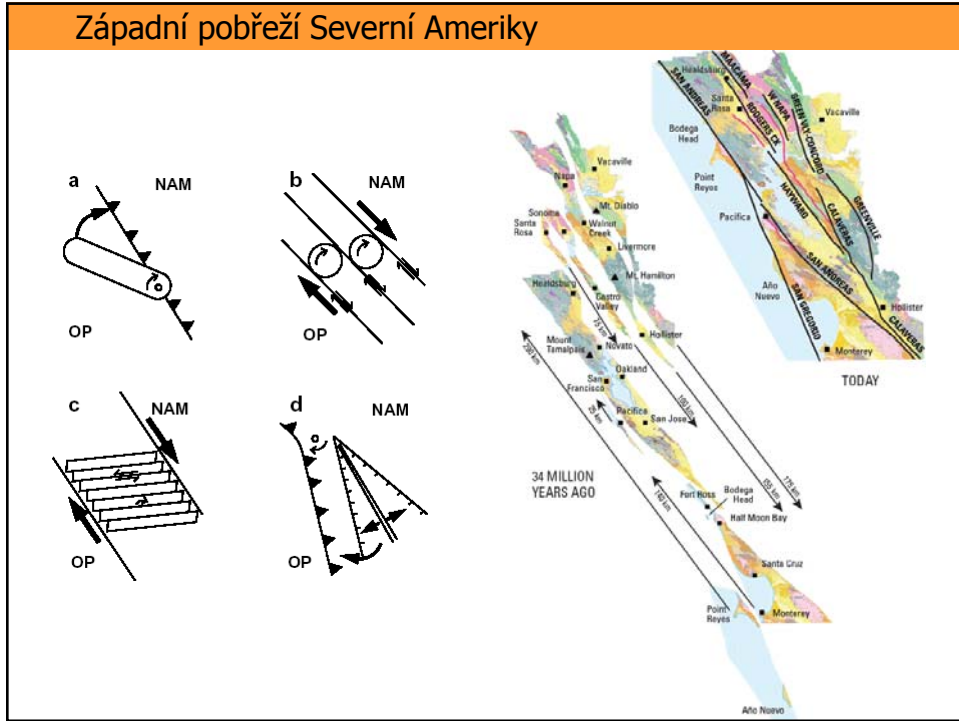
Západní pobřeží Severní Ameriky



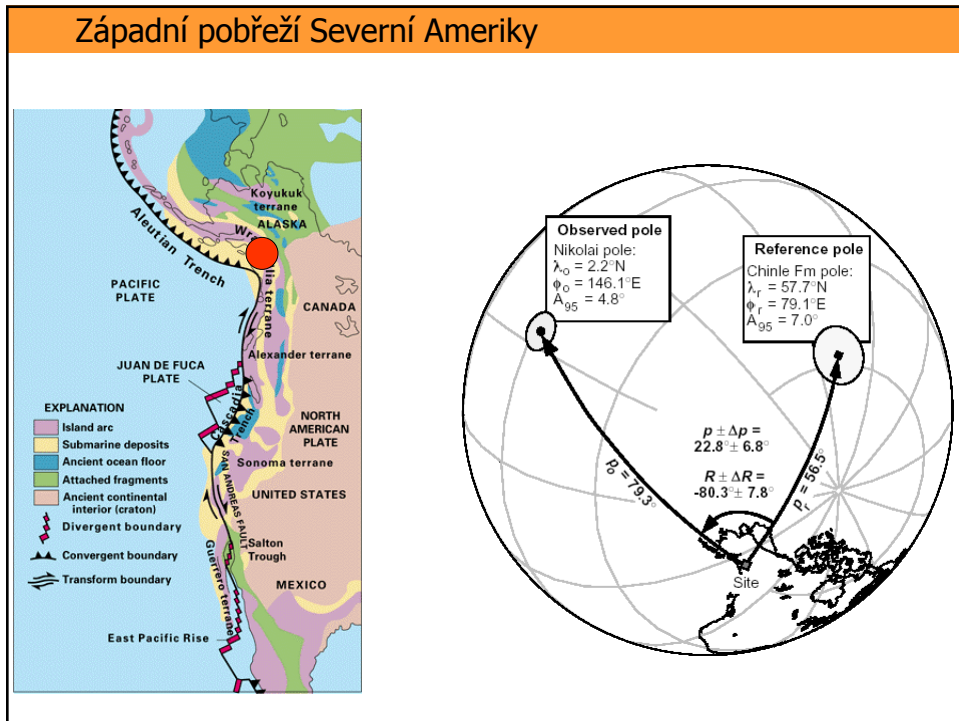
Západní pobřeží Severní Ameriky



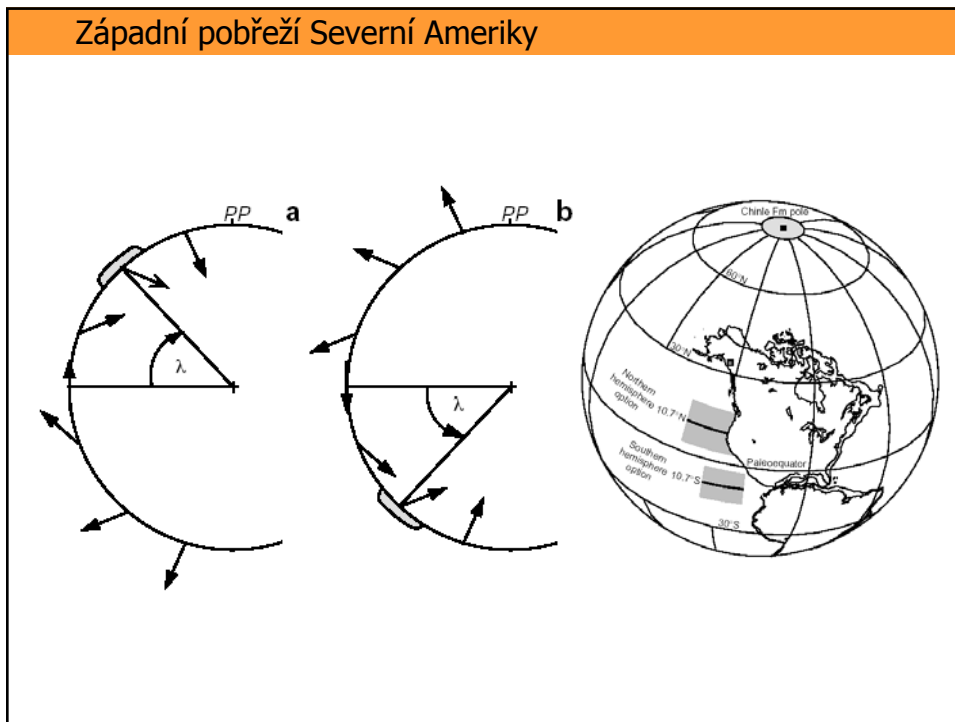
Západní pobřeží Severní Ameriky



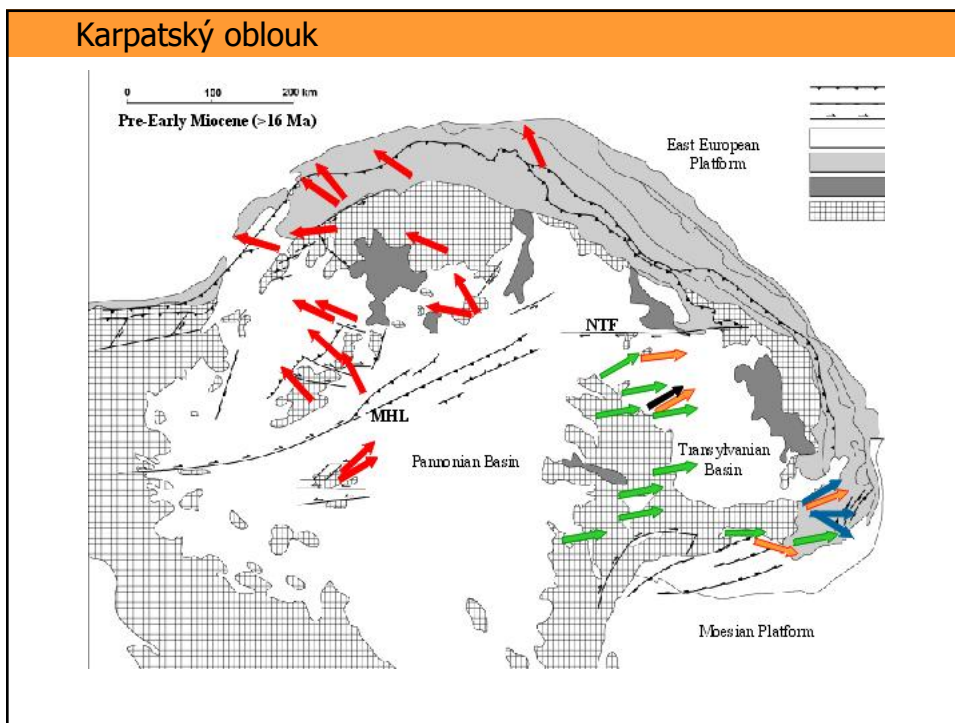
Západní pobřeží Severní Ameriky



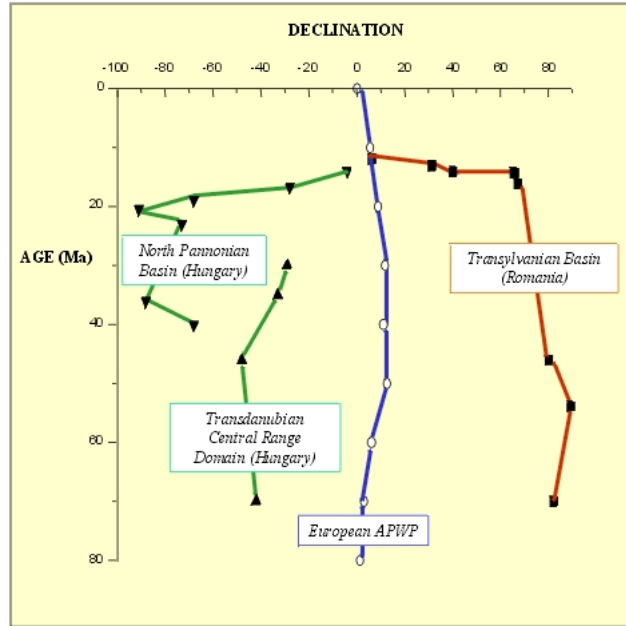
Západní pobřeží Severní Ameriky



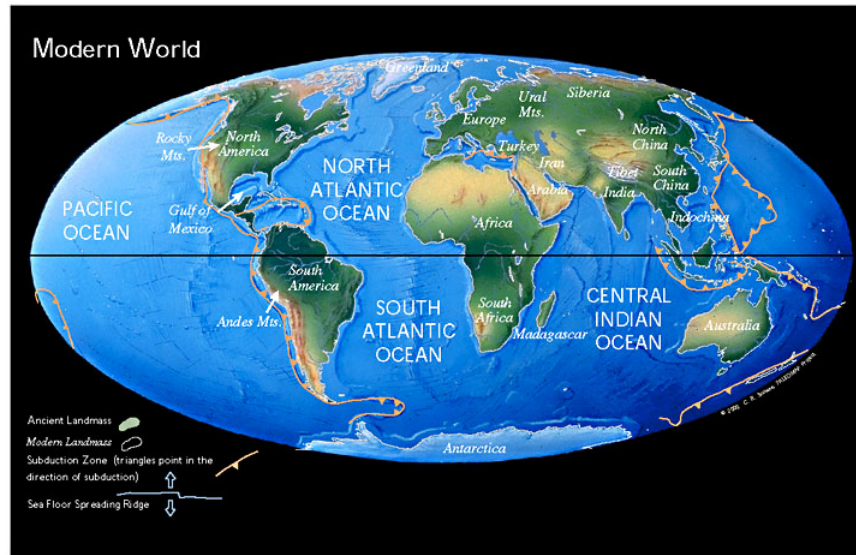
Karpatský oblouk



Karpatský oblouk

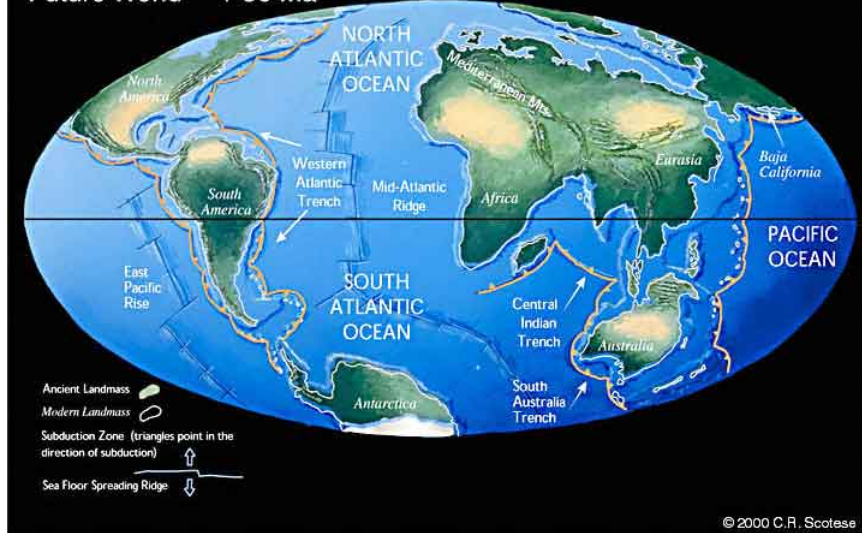


Pohled do budoucnosti



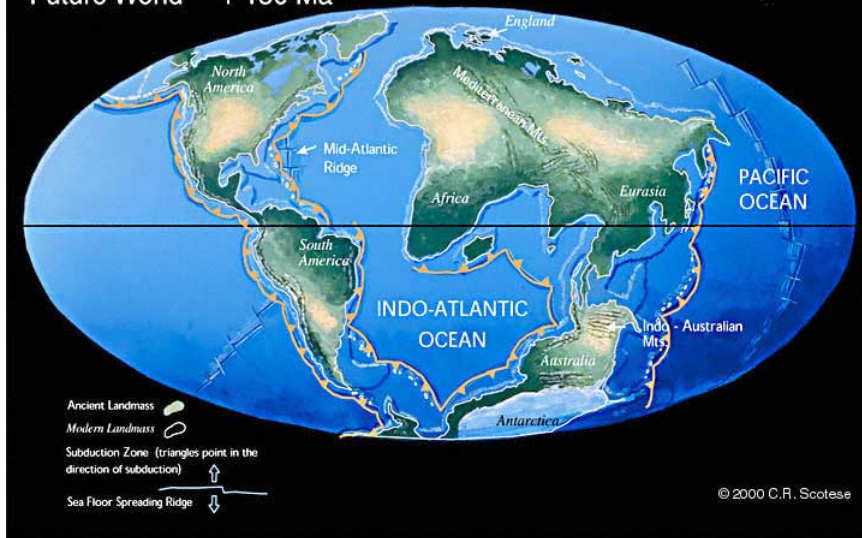
Pohled do budoucnosti

Future World + 50 Ma



Pohled do budoucnosti

Future World + 150 Ma



Pohled do budoucnosti

Future World + 250 Ma

