

Dinamična Zemlja



Zemlja v Vesolju (1)



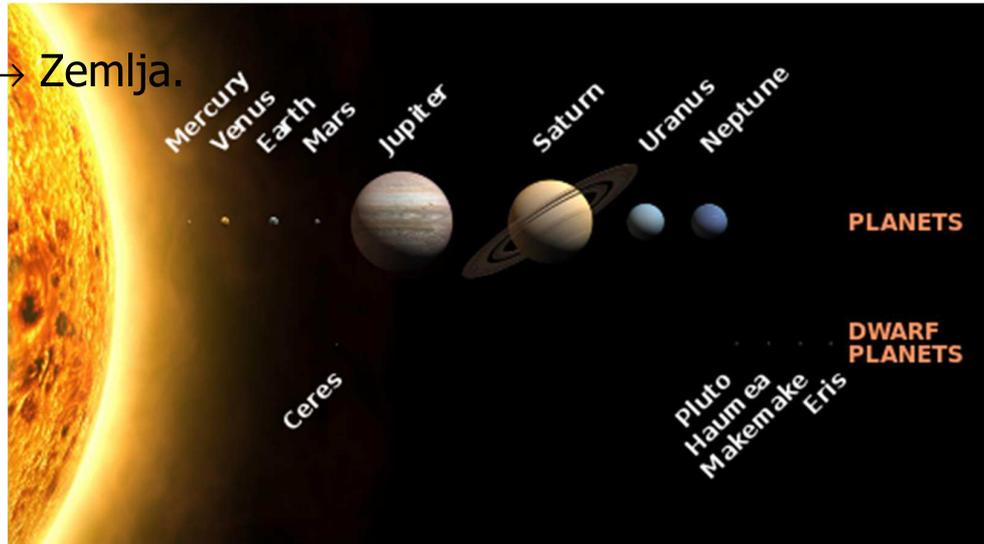
olju:

- per zvezdna kopica
- cesta (druga največja galaksija) "Milky way" → notranji Labodovega kraka →
- cesta: premer 100 000 sv. let
ljeno od središča 26 000



Zemlja v Vesolju (2)

□ → Osončje → Zemlja.



□ Zemlja:

- tretji planet od Sonca in peti po velikosti,
- stara približno 4,5-4,6 mrd. let.

Zemlja – osnovne lastnosti

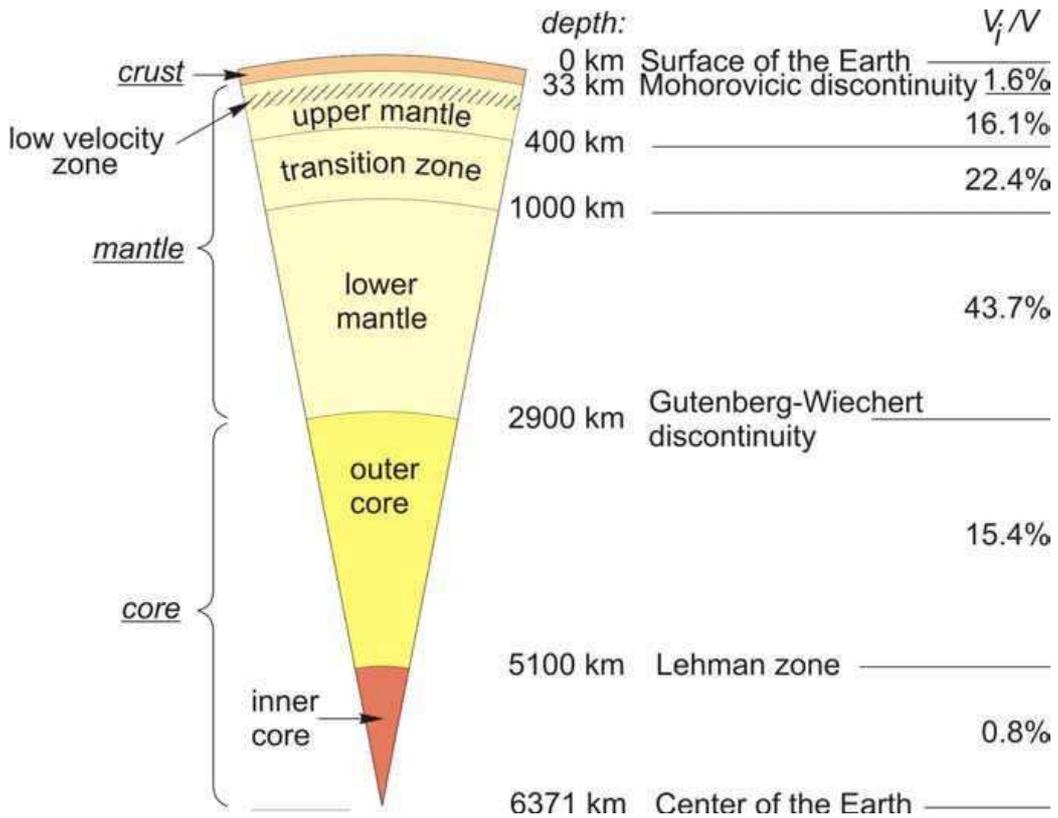
Bulk parameters

Mass (10^{24} kg)	5.9736
Volume (10^{10} km ³)	108.321
Equatorial radius (km)	6378.1
Polar radius (km)	6356.8
Volumetric mean radius (km)	6371.0
Core radius (km)	3485
Ellipticity (Flattening)	0.00335
Mean density (kg/m ³)	5515
Surface gravity (m/s ²)	9.798
Surface acceleration (m/s ²)	9.780
Escape velocity (km/s)	11.186
GM ($\times 10^6$ km ³ /s ²)	0.3986
Bond albedo	0.306
Visual geometric albedo	0.367
Visual magnitude V(1,0)	-3.86
Solar irradiance (W/m ²)	1367.6
Black-body temperature (K)	254.3
Topographic range (km)	20
Moment of inertia (I/MR ²)	0.3308
J ₂ ($\times 10^{-6}$)	1082.63
Number of natural satellites	1
Planetary ring system	No

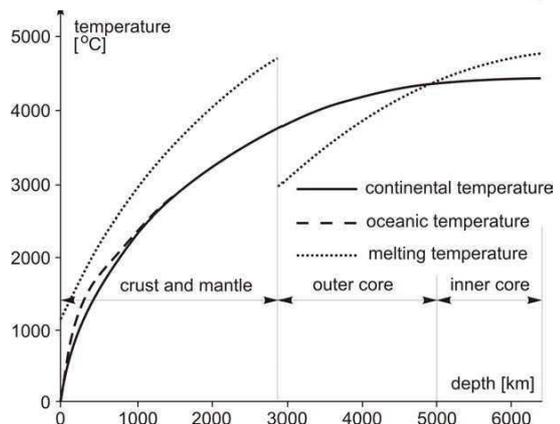
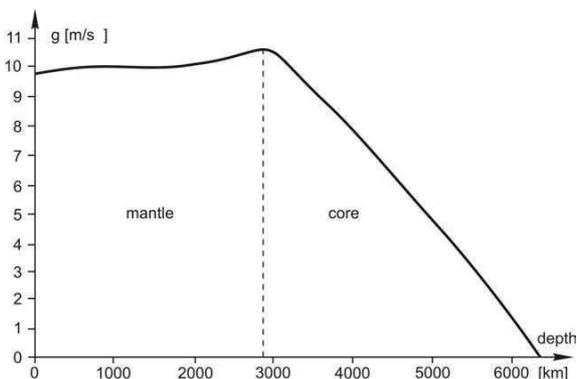
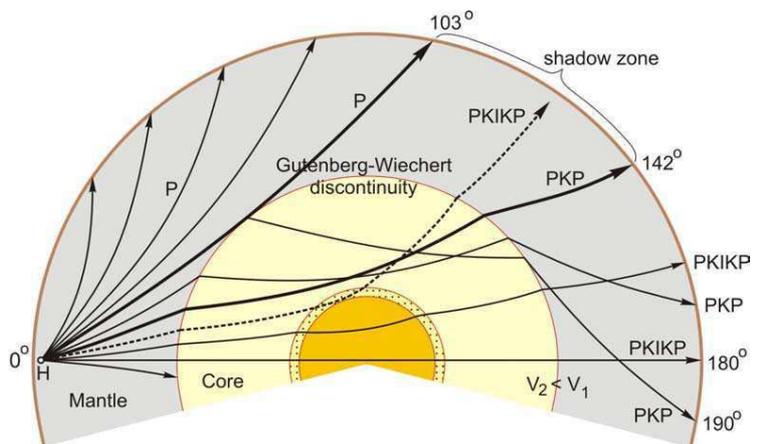
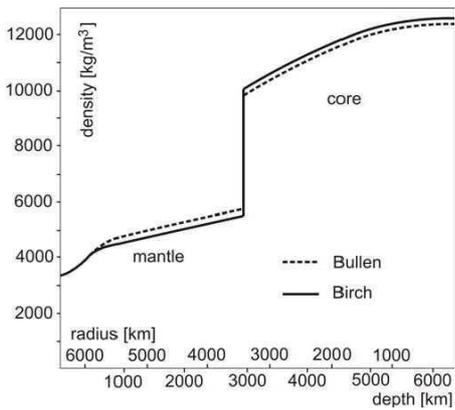
Orbital parameters

Semimajor axis (10^6 km)	149.60
Sidereal orbit period (days)	365.256
Tropical orbit period (days)	365.242
Perihelion (10^6 km)	147.09
Aphelion (10^6 km)	152.10
Mean orbital velocity (km/s)	29.78
Max. orbital velocity (km/s)	30.29
Min. orbital velocity (km/s)	29.29
Orbit inclination (deg)	0.000
Orbit eccentricity	0.0167
Sidereal rotation period (hrs)	23.9345
Length of day (hrs)	24.0000
Obliquity to orbit (deg)	23.45

Zemlja - sestav



Zemlja – sprememba lastnosti v notranjosti

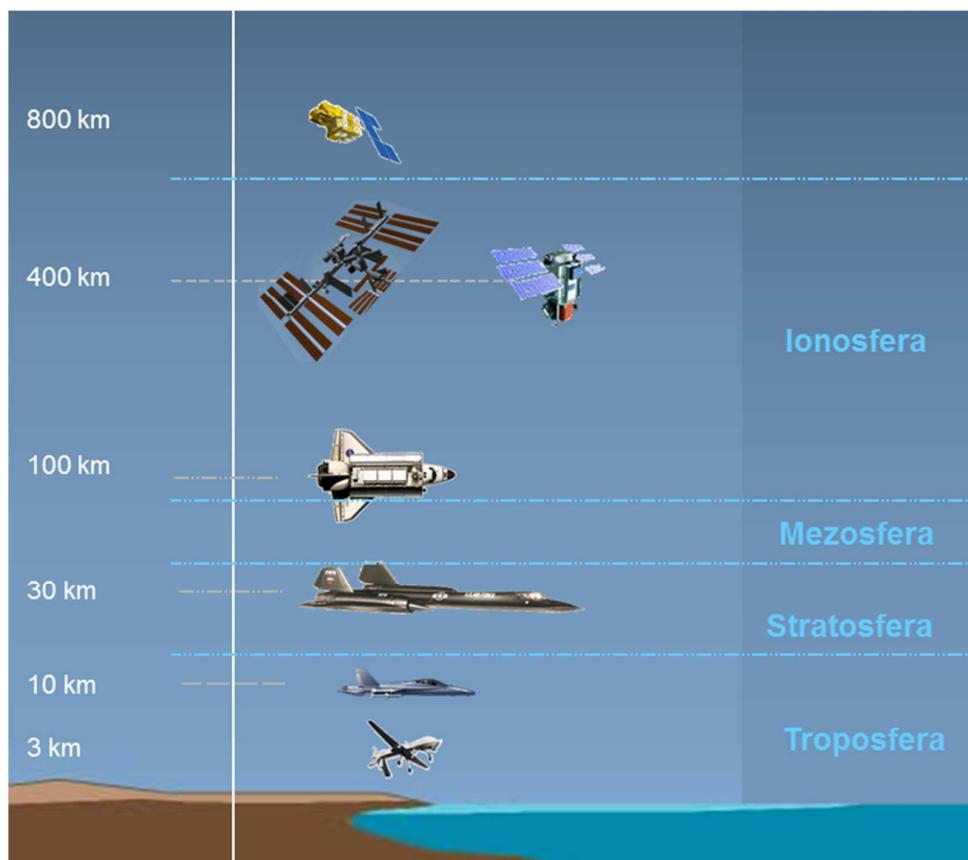


Zemljine plasti v notranjosti

- Zemeljska skorja sega do **Mohorovičićeve diskontinuitete** (35–40 km globoko pod celinami, pod gorstvi do 70 km), pod oceani 6–10 km). Pod Panonsko in Jadransko kotlino je ok. 25 km globoko, pod Alpami prek 55 km, pod Himalajo do 80 km globoko.
- Pod njo zgornji del plašča (**astenosfera**), napol tekoča gmota do okoli 350 km globoko (vir magme, izostatičnih premikov, konvekcijskih tokov).

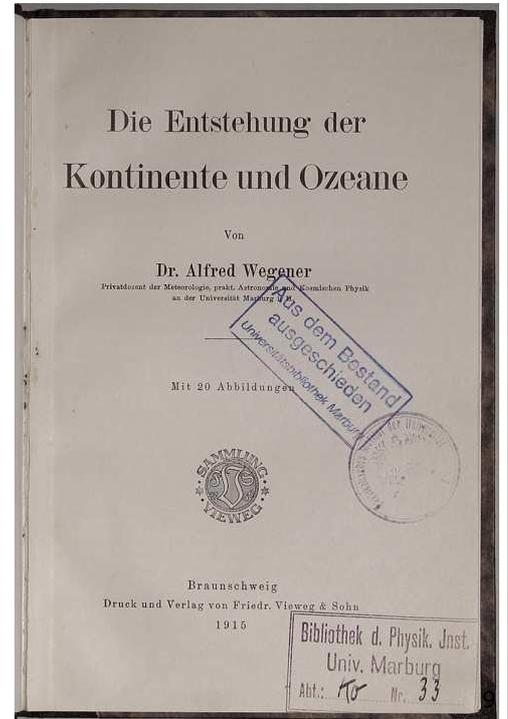
- Dve popolnoma različni reliefni območji:
 - oceansko območje (po starosti mlada, venomer se obnavljajoča); največja starost 200 mil. let;
 - kontinentalno območje (milionletja izpostavljena eksogenim procesom); nešteti sledovi preteklosti, od kamnin, fosilov do reliefnih oblik.

Atmosfera- plasti



Dinamična Zemlja – ploščna tektonika

- Litosfera razdeljena na kakšnih 25 večjih in manjših segmentov, ki sestavljajo mozaiku podobno strukturo → tektonske plošče.
- Teorijo "premikov kontinentov" je predlagal A. Wegener leta 1915. Takrat ni bila sprejeta med geofiziki; kaj je vzrok za gibanje?
- V šestdesetih letih teorija obujena z imenom "tektonika plošč".
- Teorija ni popolna, vendar v veliki meri pojasnjuje lastnosti trdne Zemlje.

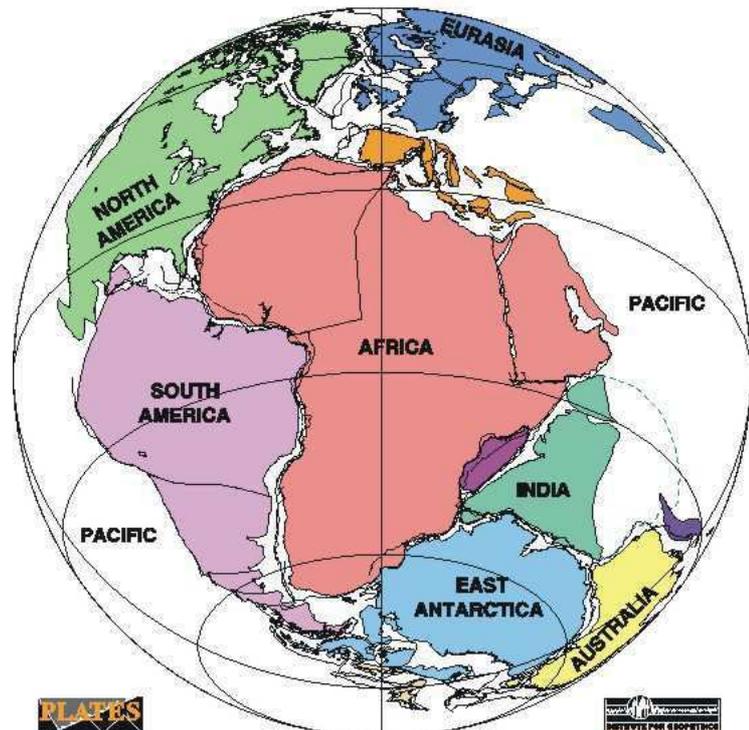


M. Kuhar - Referenčni sistemi v geodeziji

Pangea (1)

PANGEA

- Wegenerjeva teorija pravi: vse celine so nastale iz enega prakontinenta "Pangea".
- Kako pojasniti teorijo in obnašanje same Zemlje?

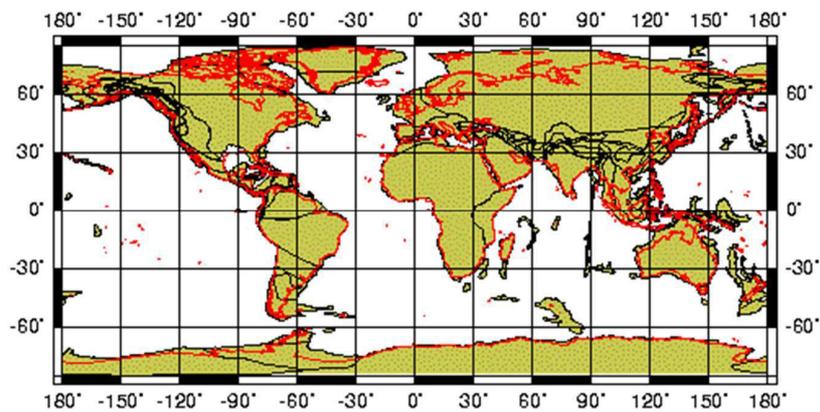


M. Kuhar - Referenčni sistemi v geodeziji

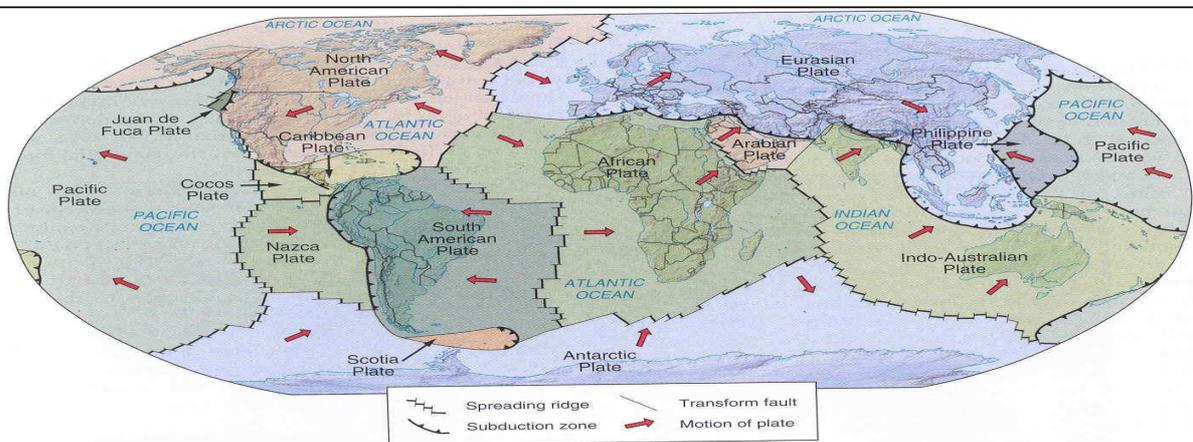
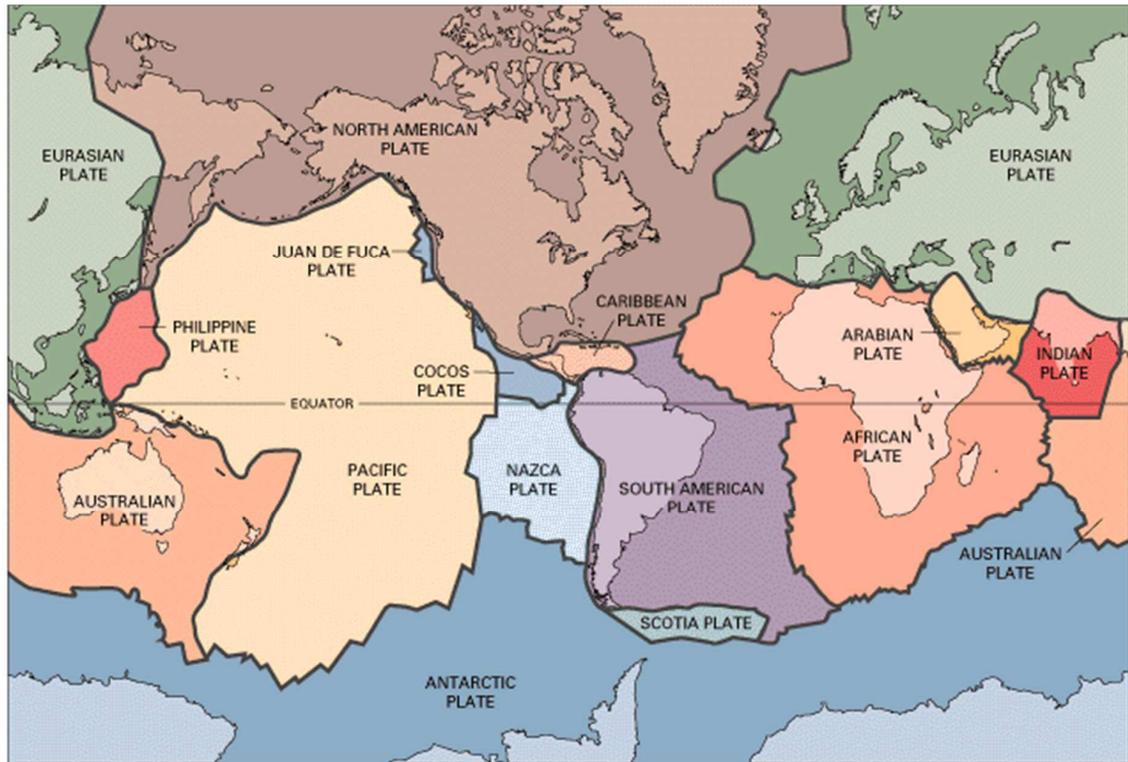
Pangea (2)



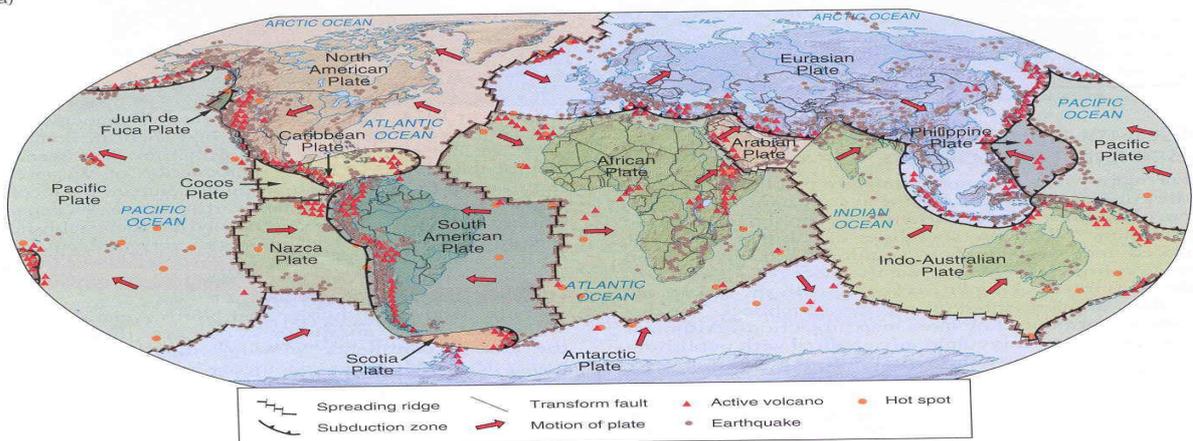
Razvoj skozi čas



Osnovne tektonske plošče



(a)



(b)

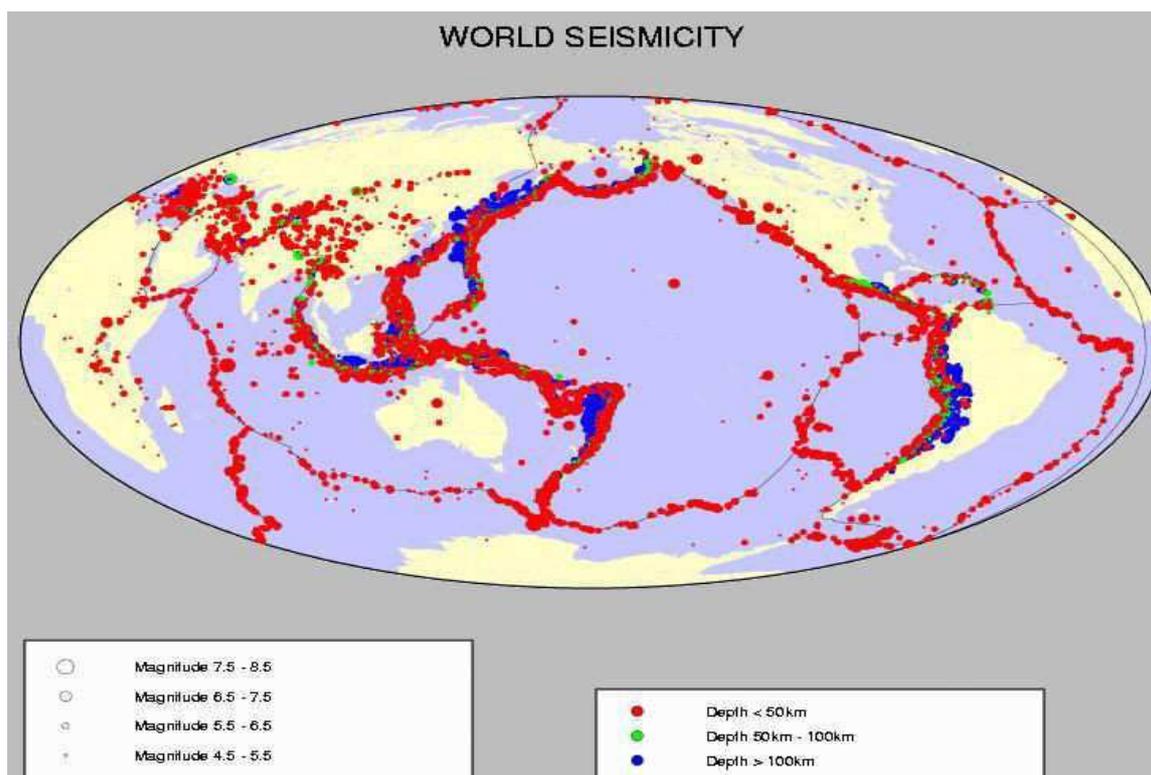
M. Kuhar - Referenčni sistemi v geodeziji

FIGURE 6.1 (a) A world map of the lithospheric plates. The boundaries are defined by subduction zones, by spreading ridges, or by transform faults. (b) The same map showing hot spots, active volcanoes, and areas of abundant seismic activity. (Submarine volcanoes are not shown here.)

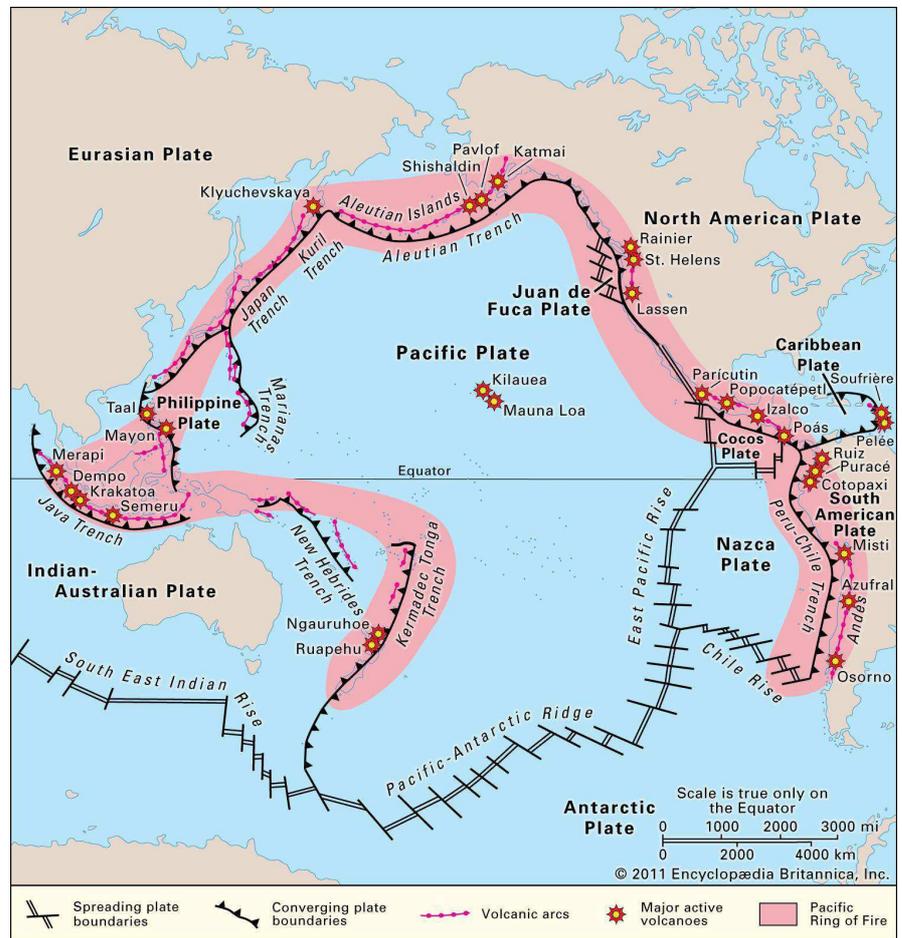
Osnovne značilnosti dinamične Zemlje (2)

- Opazovanja – značilnosti, ki kažejo na tektoniko plošč:
- Topografija:
 - gorske verige, ravnice, oceani (dno) ...
- Mešanica starih in mladih kamnin (fosili).
- Aktivni dinamični procesi na Zemlji:
 - seizmičnost (katalogi potresov),
 - vulkani (več kot 500 aktivnih vulkanov, ki so izbruhnili enkrat v času pisane zgodovine).

Seizmična aktivnost po svetu (katalog potresov)

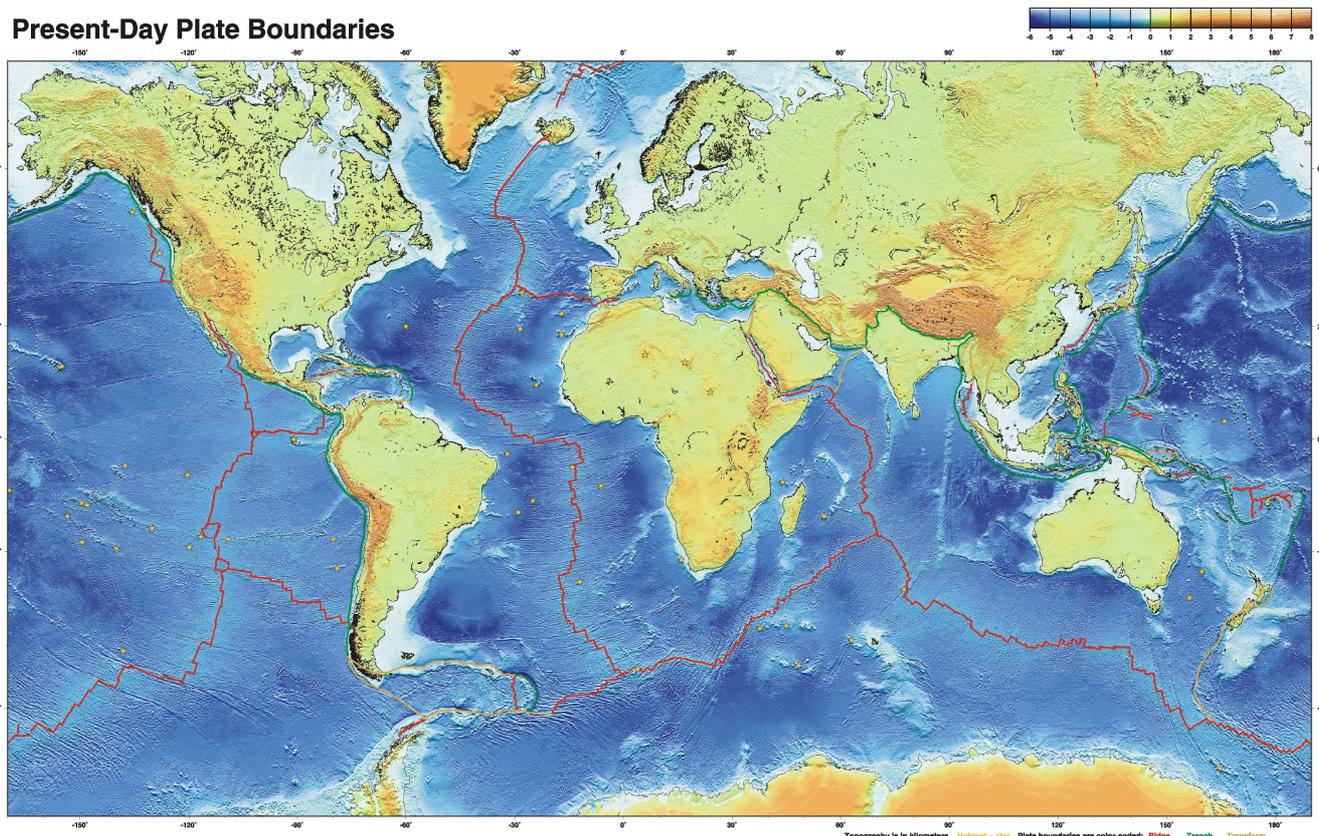


"Ring of fire": prstan aktivnih vulkanov in mej med ploščami



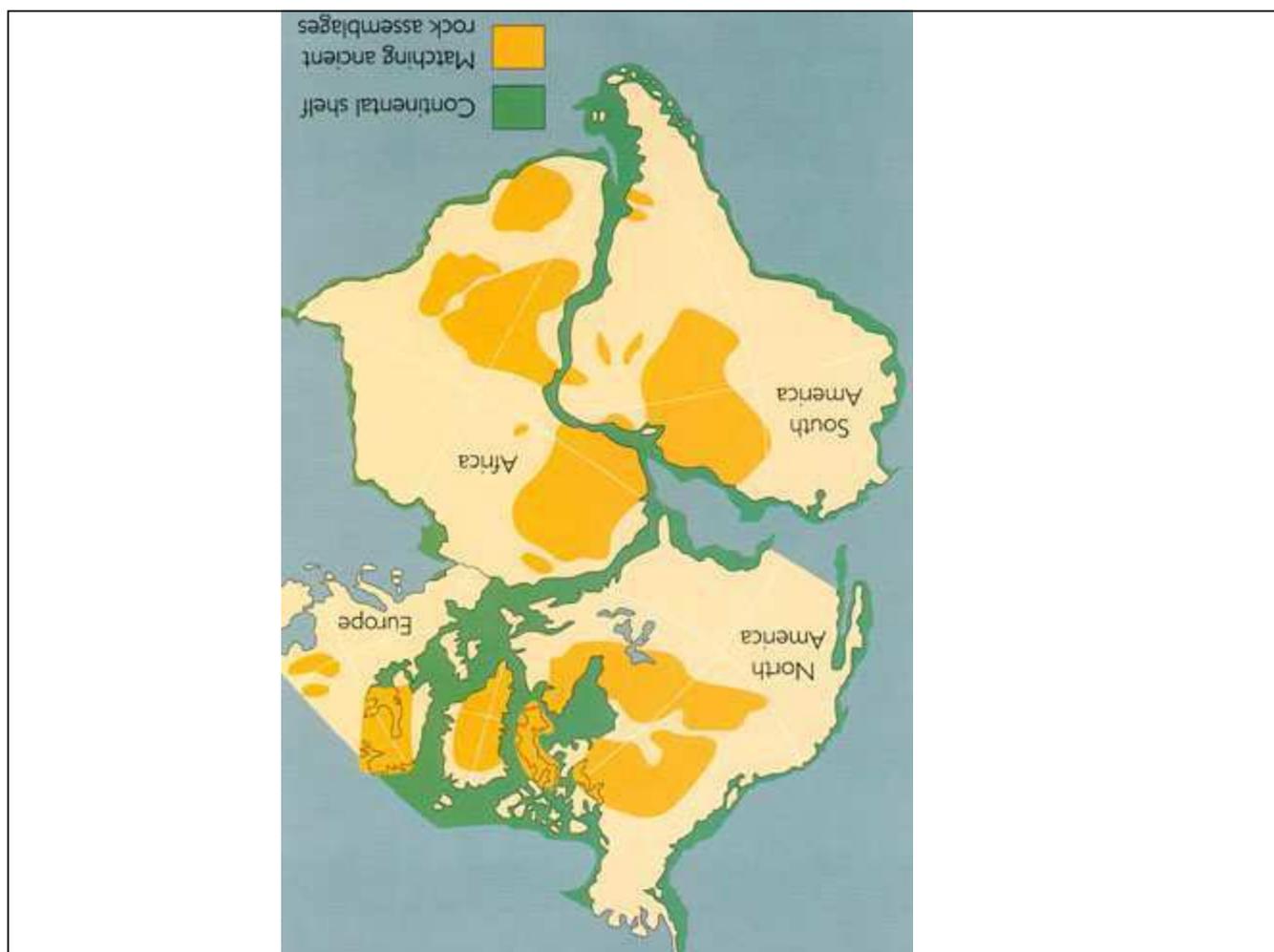
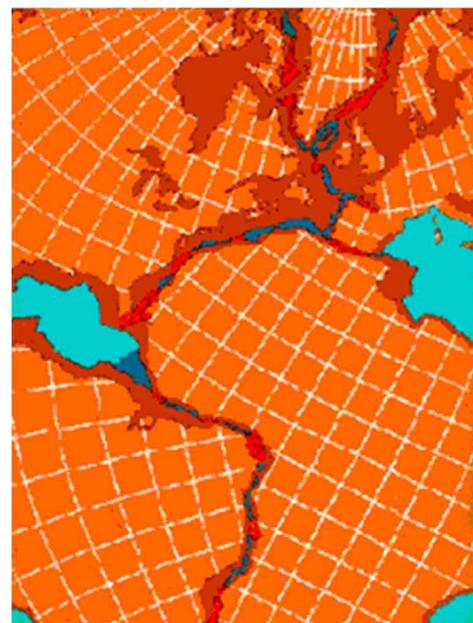
Topografija in batimetrija Zemlje

Present-Day Plate Boundaries

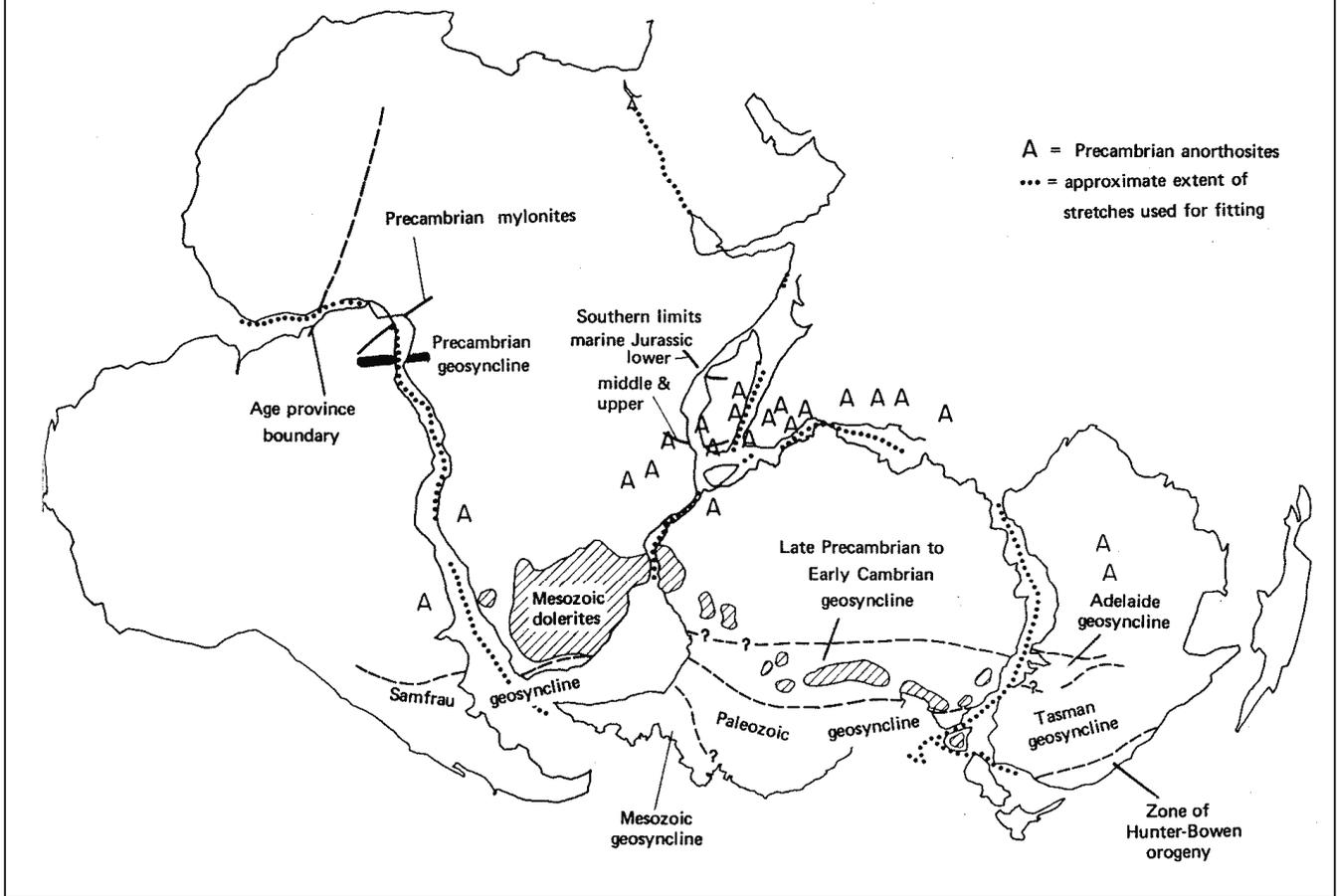


Ploščna tektonika – dokazi (1)

- Geometrijska skladnost obal zahodne Afrike in Južne Amerike.

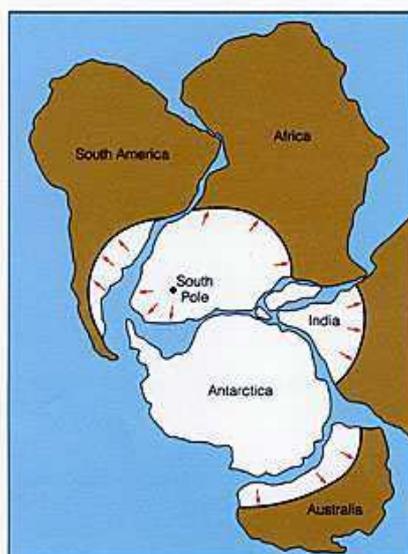
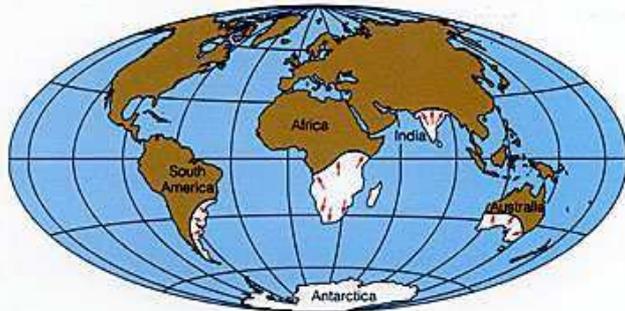


Kontinenti na južni celini



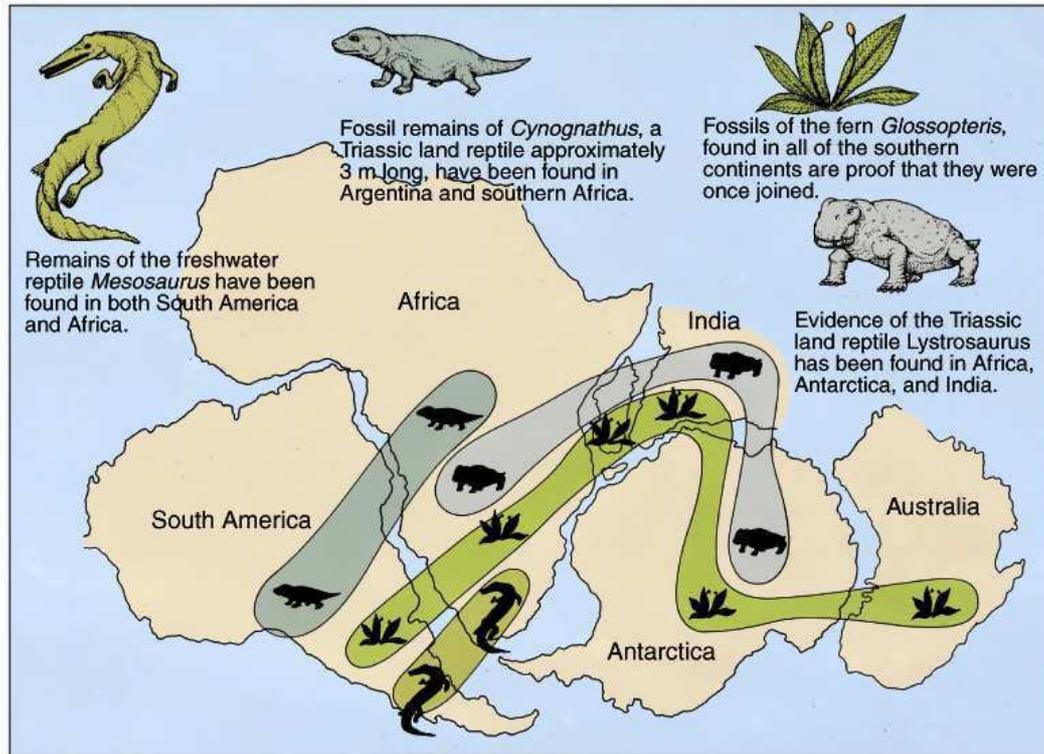
Ploščna tektonika – dokazi

- Kraji, ki so sedaj v toplim pasu, kažejo ostanke poledenitve v preteklosti.
- Poledentiev v poznem Paleozoiku.



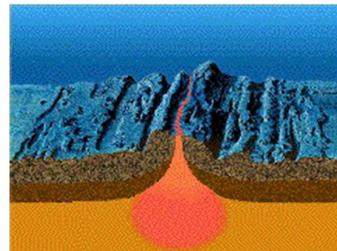
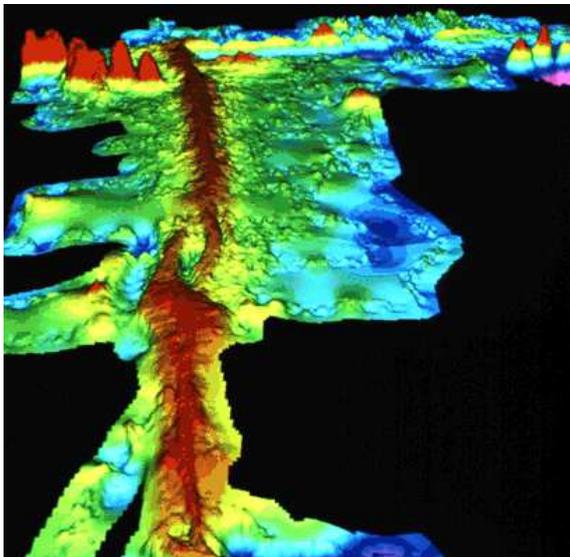
□ Glaciated area.
Arrows indicate the direction of glacial movement based on striations preserved in bedrock.

Ploščna tektonika – dokazi (2)



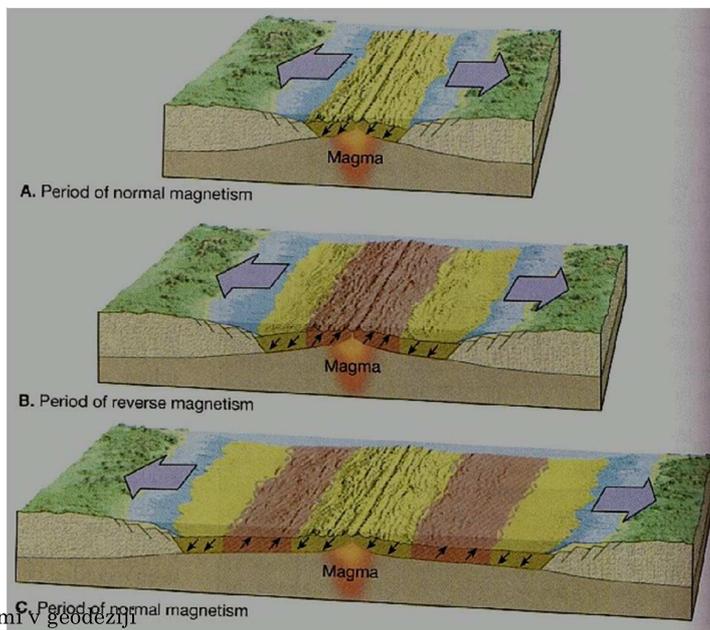
Ploščna tektonika – dokazi (3)

- Srednjeoceanski atlantski hrbet → razširjanje morskega dna ("seafloor spreading").



Ploščna tektonika – dokazi (4)

- Zemljin magnetizem - v zgodovini je večkrat prihajalo do obračanja Zemljinih magnetnih polov. V kamninah se je obdržala takratna polariteta. Pri magnetnih meritvah se pojav odraža v obliki magnetnih trakov ("magnetic stripes") → izmenične plasti s severno in južno polariteto.

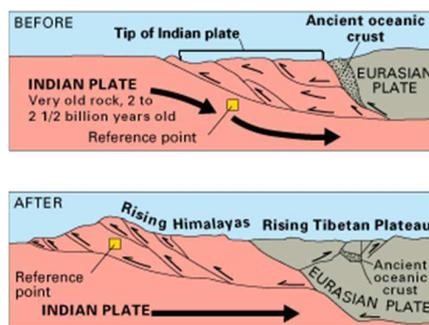


M. Kuhar - Referenčni sistemi v geodeziji

25

Ploščna tektonika – dokazi (5)

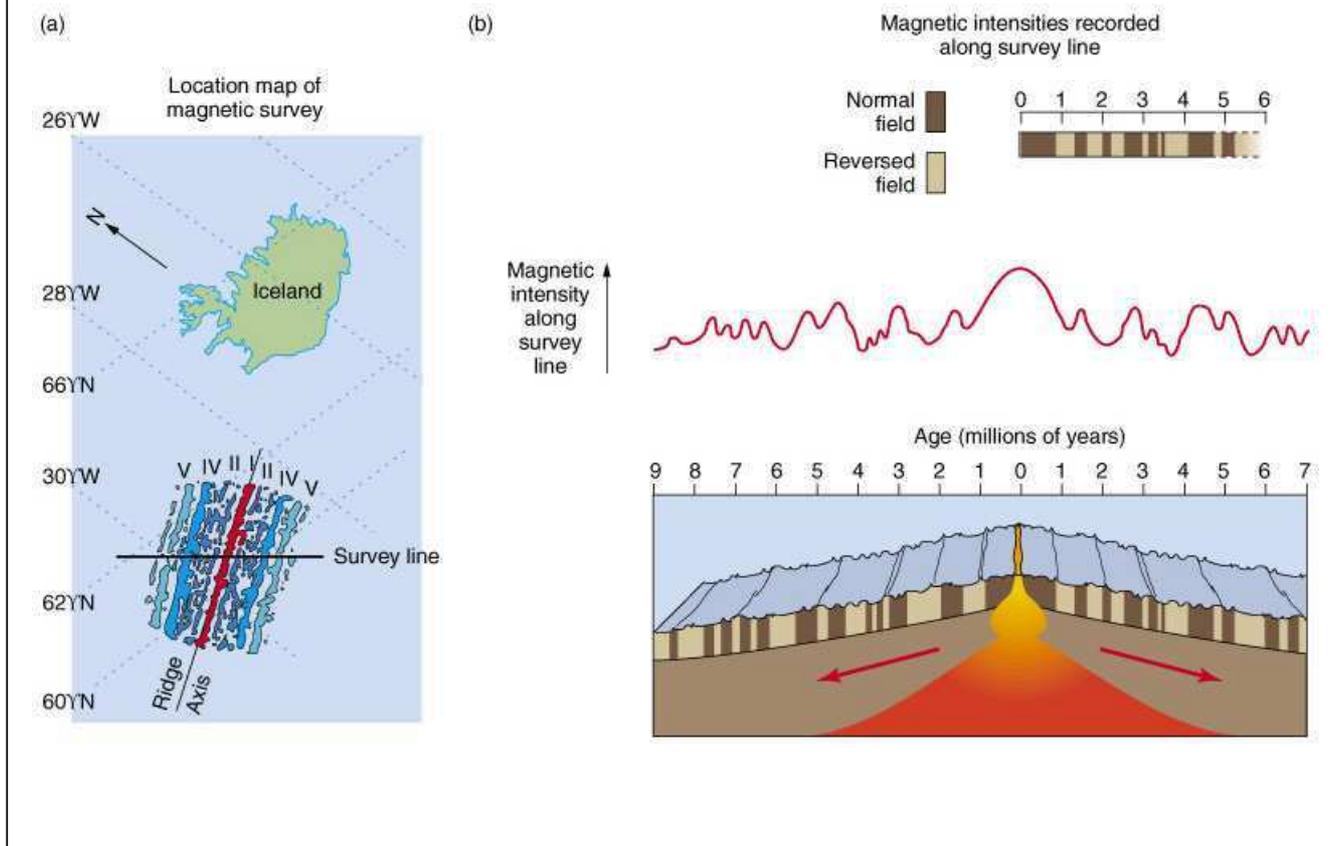
- Procesi na meji med ploščami.



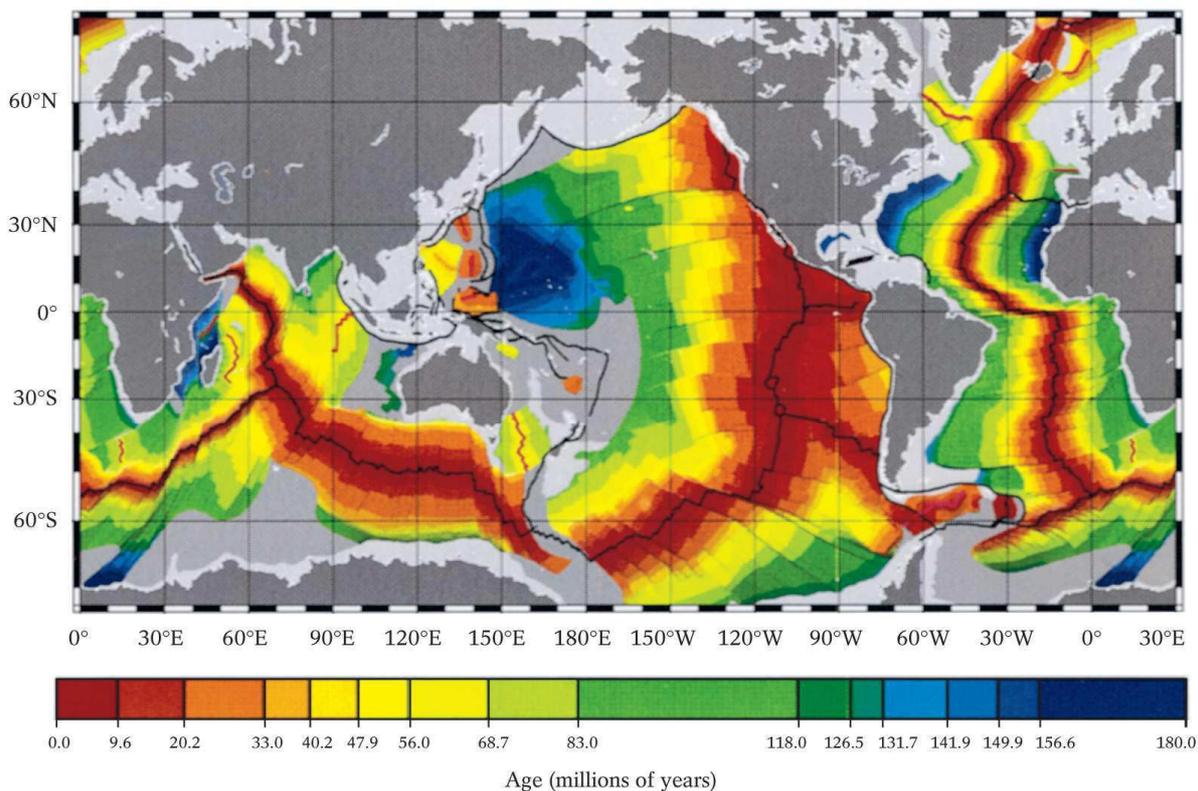
M. Kuhar - Referenčni sistemi v geodeziji

26

Ploščna tektonika – dokazi - magnetna izmera



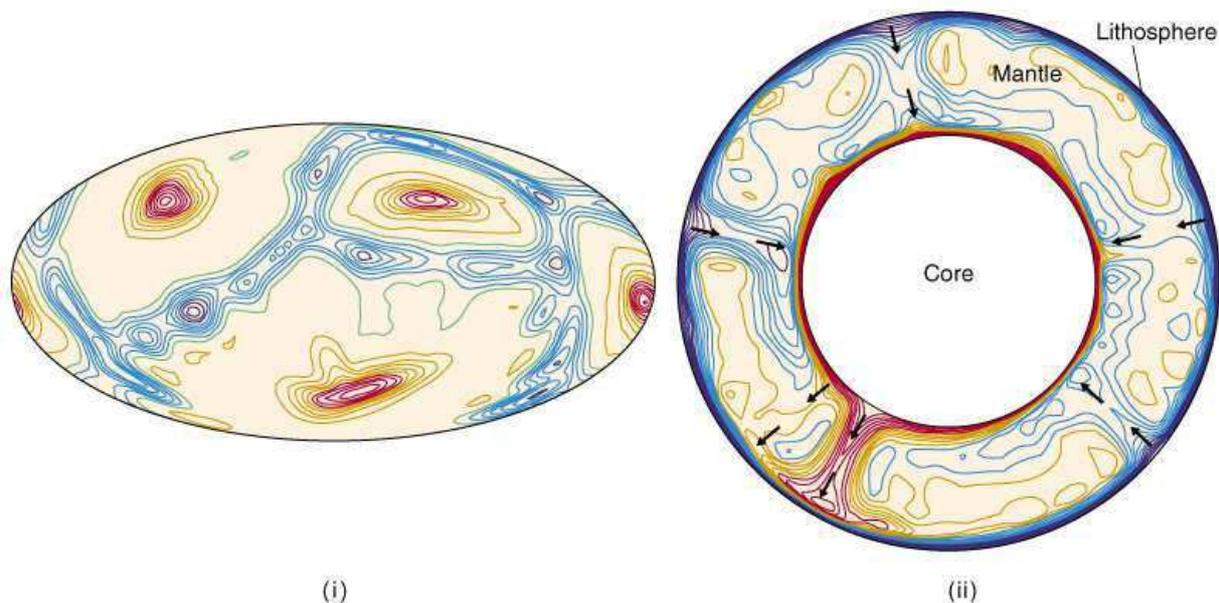
Starost oceanskega dna



Copyright © 2007 Pearson Prentice Hall, Inc.

Zakaj se plošče premikajo?

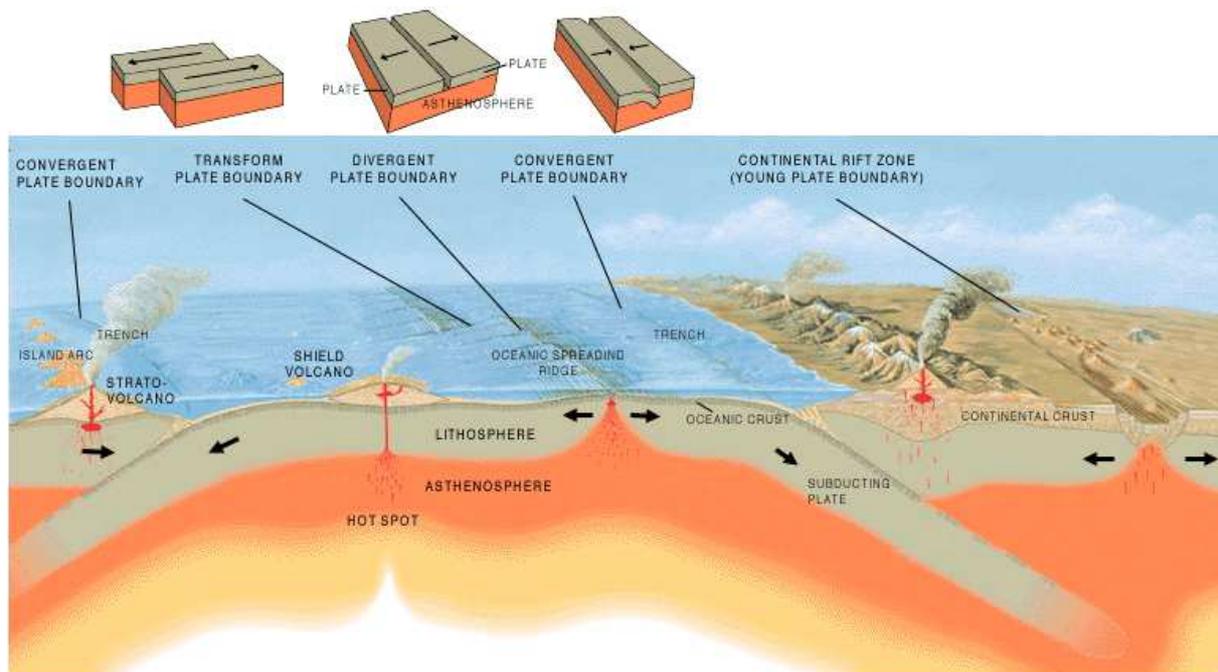
- Konvekcija (prenašanje toplote) med plastmi znotraj plašča.



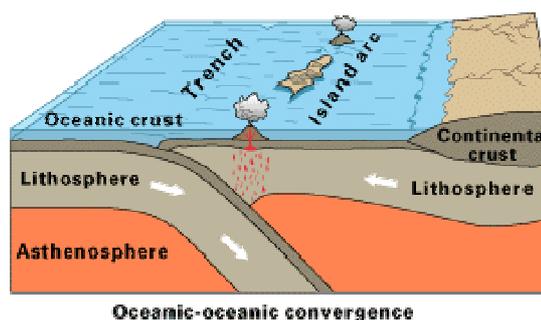
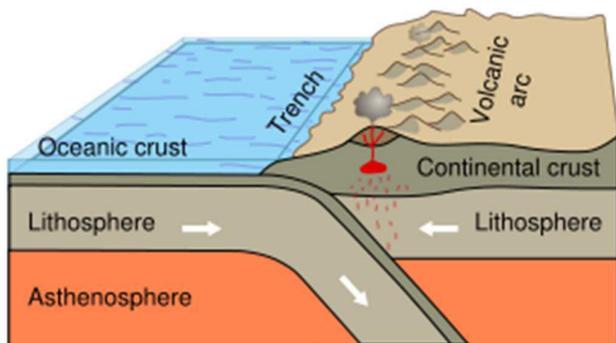
Meje (stiki) med ploščami

- Plošče se medsebojno premikajo mirno in zvezno. Tri vrste mej med ploščami:
- divergentne:
 - plošče se razmikajo (srednjeadlantski hrbet, Islandija, Kalifornijski zaliv, vzhodno afriška razpoka);
- transformne:
 - dve plošči se premikata ena ob drugi (prelom Sv. Andreja, Mrtvo morje, Turčija);
- konvergentne:
 - plošči se stikata in ena podriva drugo (lahko oceanska pod kontinentalno (zahodna stran J. Amerike), ali dve kontinentalni (afriška in evrazijska plošča v Sredozemlju).
- Z vidika geološkega časa so premiki litosferskih plošč izjemno hitri (do več kot 10 cm/leto)

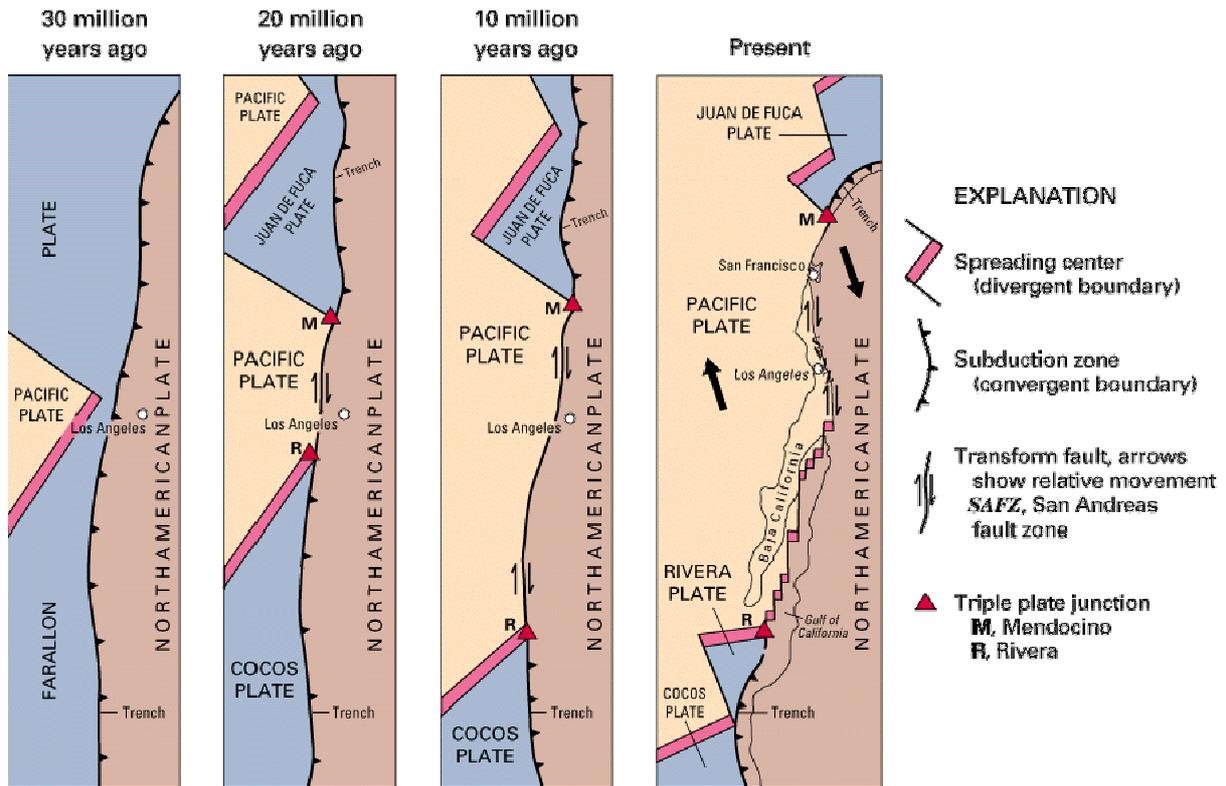
Meje med ploščami



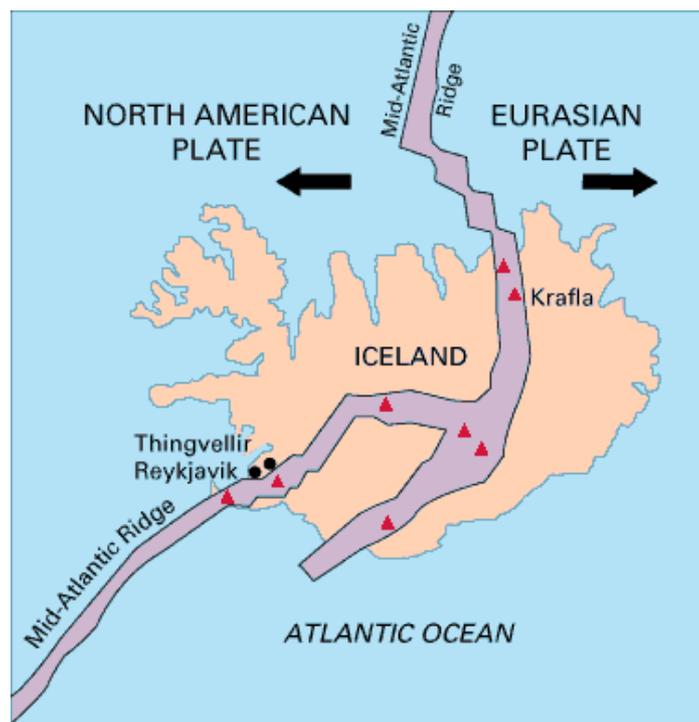
Meje med ploščami



Primer meje med ploščami (1)

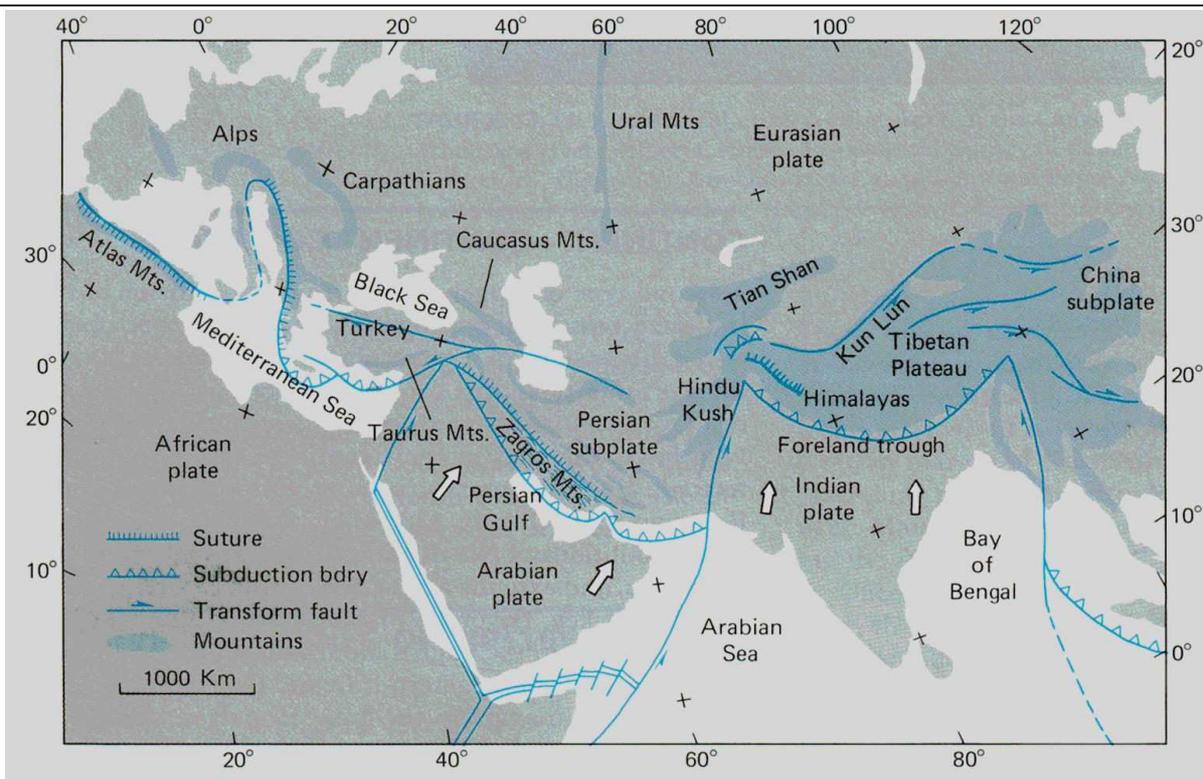


Primer meje med ploščami – Islandija (1)



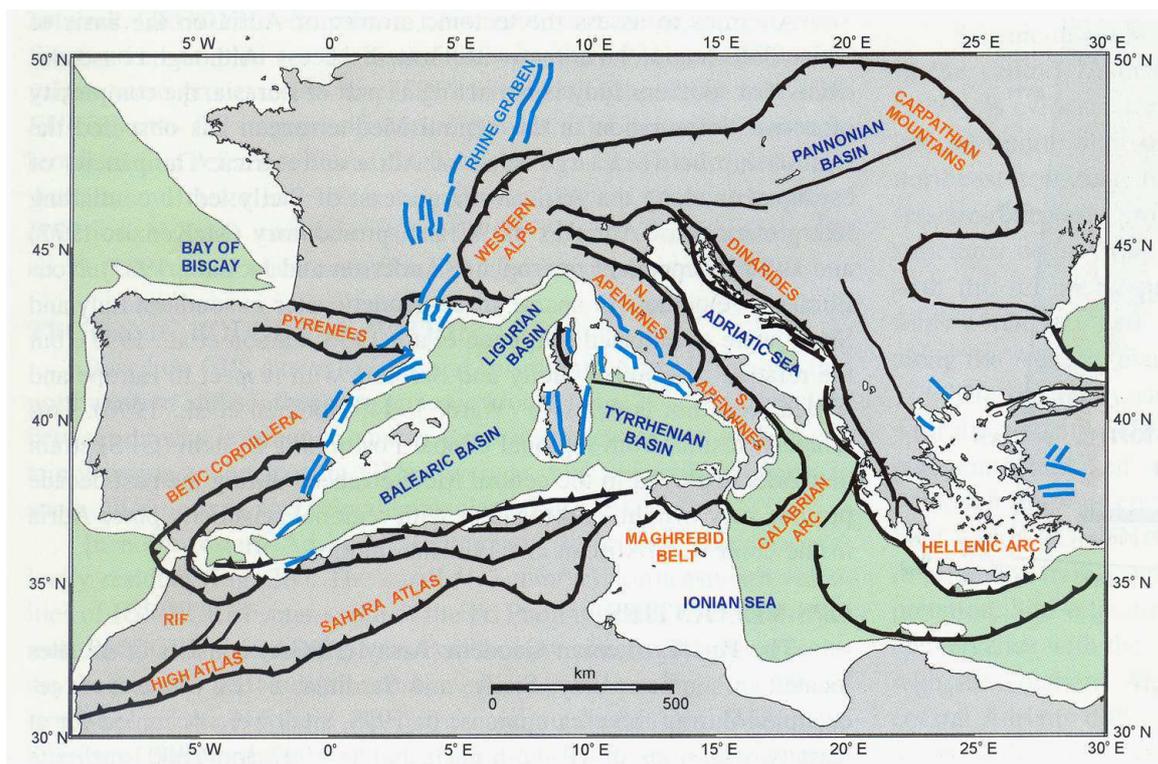
Primer meje med ploščami - Islandija (2)



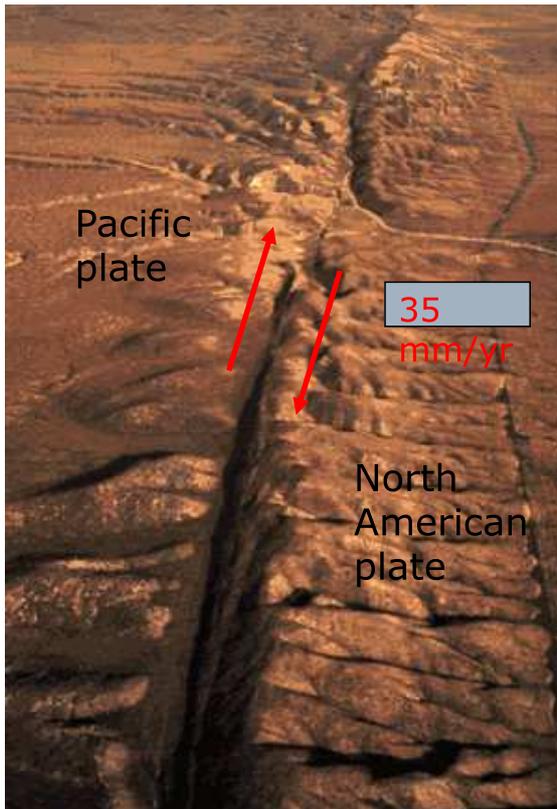


S tektoniko plošč je možno lepo razložiti geološko zgradbo in makrooblike na južnem robu Evrazijske plošče, predvsem dolg niz mlado nagubanih gorstev, ki nastaja že ves kenozoik (3 plošče – 3 segmenti gorstev).

Regionalna tektonika Mediterana



Medsebojno gibanje plošč



Islandija

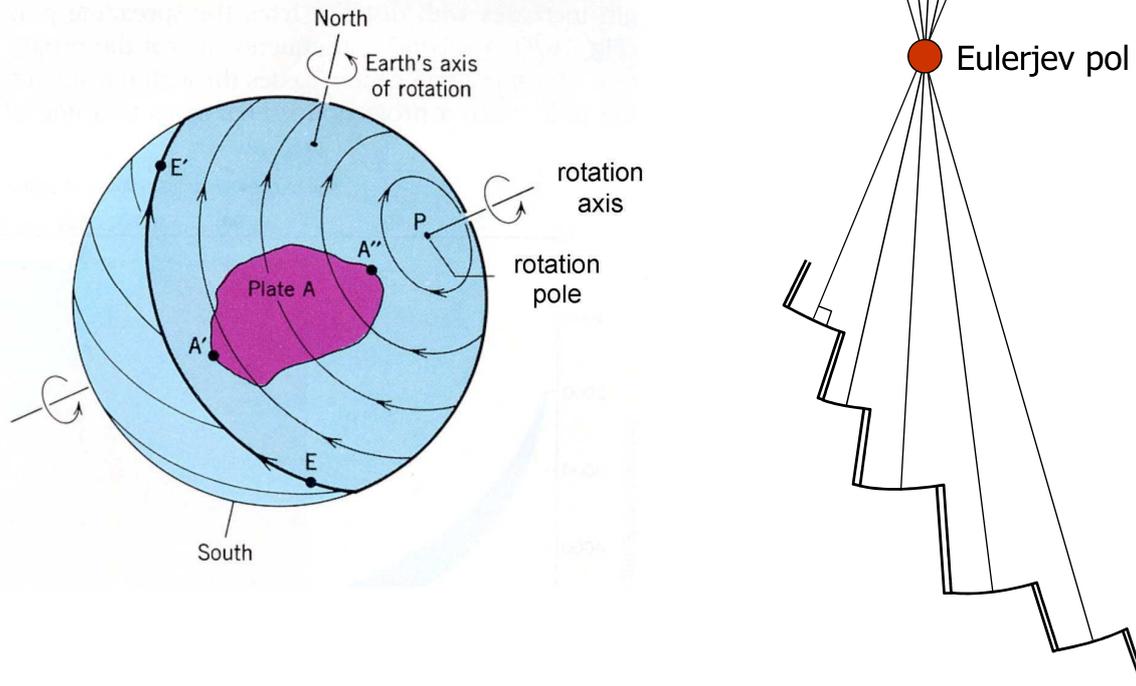
Prelom Sv.Andreja

Medsebojno gibanje plošč - Eulerjev teorem

- Plošče se nahajajo v stalnem medsebojnem gibanju. Relativno medsebojno gibanje med dvema (trdnima) ploščama na Zemlji-krogli lahko opišemo s pomočjo **Eulerjevega teorema**:
 - Poljubna rotacija (ali zaporedje rotacij) okrog neke točke je ekvivalentna eni sami rotaciji okrog neke osi skozi to točko.
 - Rotacija ene plošče glede na drugo se dogaja okoli "geocentrične" osi, ki prebada Zemljo v točki, ki jo imenujemo Eulerjev pol.

Eulerjevo gibanje na krogli

- P – Eulerjev pol



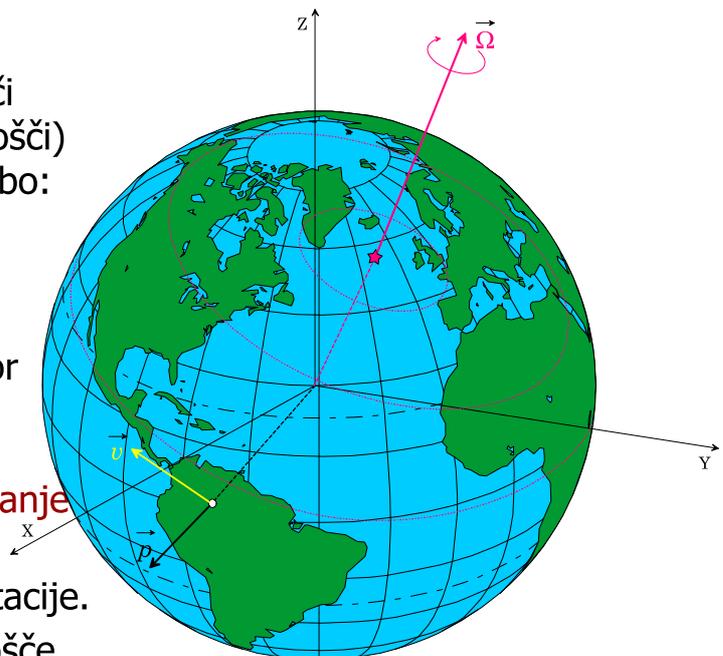
Relativno gibanje med dvema ploščama (1)

- Relativno gibanje točke na plošči glede na pol (določen za dve plošči) lahko opišemo z naslednjo enačbo:

$$\vec{v} = \vec{\Omega} \times \vec{p}$$

kjer so: \vec{p} krajevni vektor točke na gibajoči se plošči, \vec{v} je vektor obodne hitrosti gibanja točke, in $\vec{\Omega}$ (Eulerjev) vektor kotne hitrosti, ki definira **Eulerjevo gibanje** plošče.

- Velikost vektorja Ω je hitrost rotacije.
- Vedno je podana hitrost ene plošče glede na drugo.
- Hitrost Ω je običajno podana v [$^{\circ}$ /mio. let].

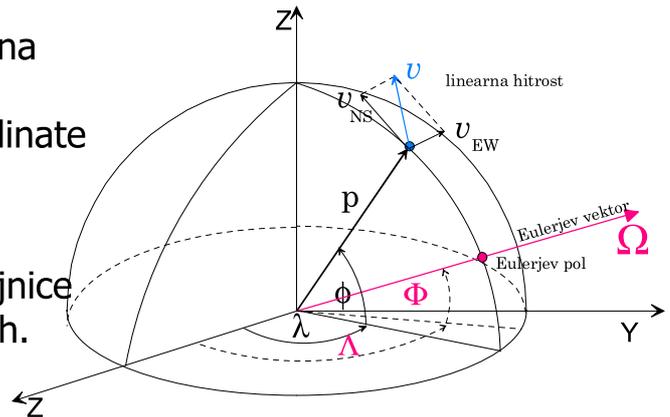


Relativno gibanje med dvema ploščama (2)

- Točka na gibajoči se plošči je podana z geografskimi (elipsoidnimi) koordinatami $P(\phi, \lambda)$. Pol ima koordinate $E(\Phi, \Lambda)$.

- Vektorski produkt iz prejšnje prosojnice rešujemo v pravokotnih koordinatah.

- Položaj E. pola v kart. koordinatah:
 $(\omega, \Phi, \Lambda) \rightarrow (\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z)$



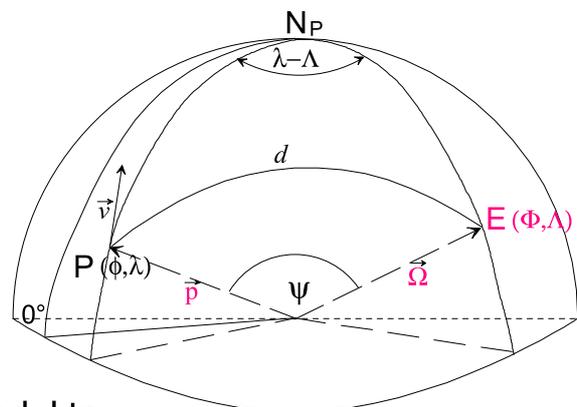
- Ker je gibanje v ravnini, razstavimo obodno hitrost v , na komponento v smeri sever-jug (NS) in komponento v smeri vzhod-zahod (EW).
- Gre za transformacijo iz geocentričnega koord. sistema v lokalni geodetski (LG \rightarrow G) ($X, Y, Z \rightarrow N, E, U$), pri čemer je "up" komponenta usmerjena navzdol (-h).
- ! Vaje! komponente obodne hitrosti: $v_\phi = v_N = v_{NS}$, $v_\lambda = v_E = v_{EW}$.

Relativno gibanje med dvema ploščama (3)

- Do istega rezultata pridemo če obodno hitrost točke izračunamo po enačbi:

$$v = R\omega \sin \psi$$

- pri čemer so:
 ω - hitrost rotacije,
 R - polmer Zemlje (krogle),
 ψ - sferna razdalja med E-polom i točko izračuna, ψ [°]



- Op.: enačba je rezultat vektorskega produkta vektorjev Ω in p :

$$\vec{v} = \vec{\Omega} \times \vec{p} = |\vec{\Omega}| \cdot |\vec{p}| \sin \psi$$

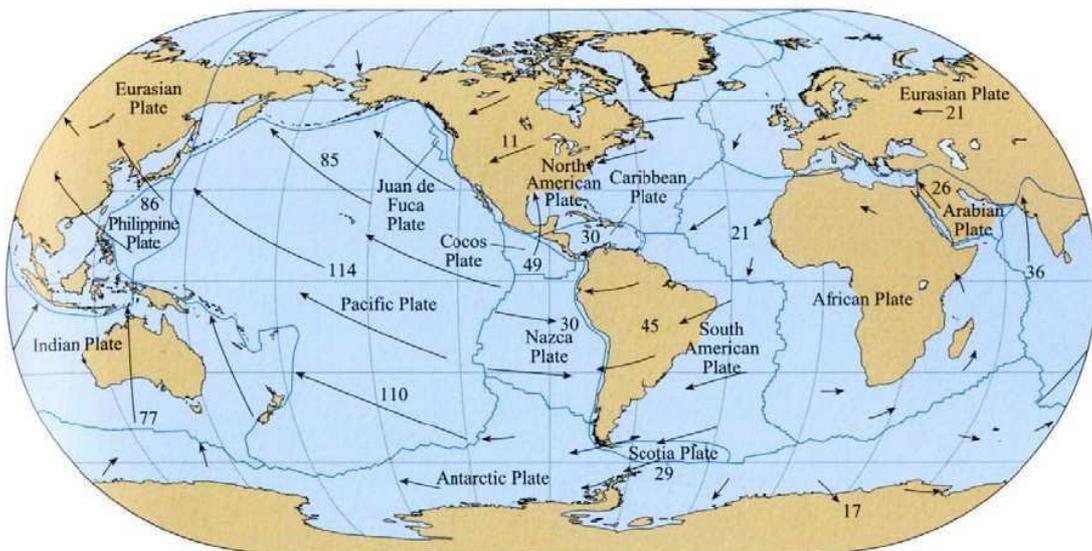
$$|\vec{\Omega}| = \omega$$

$$|\vec{p}| = 1$$

Rotacija Severnoameriške plošče okoli Eulerjevega pola



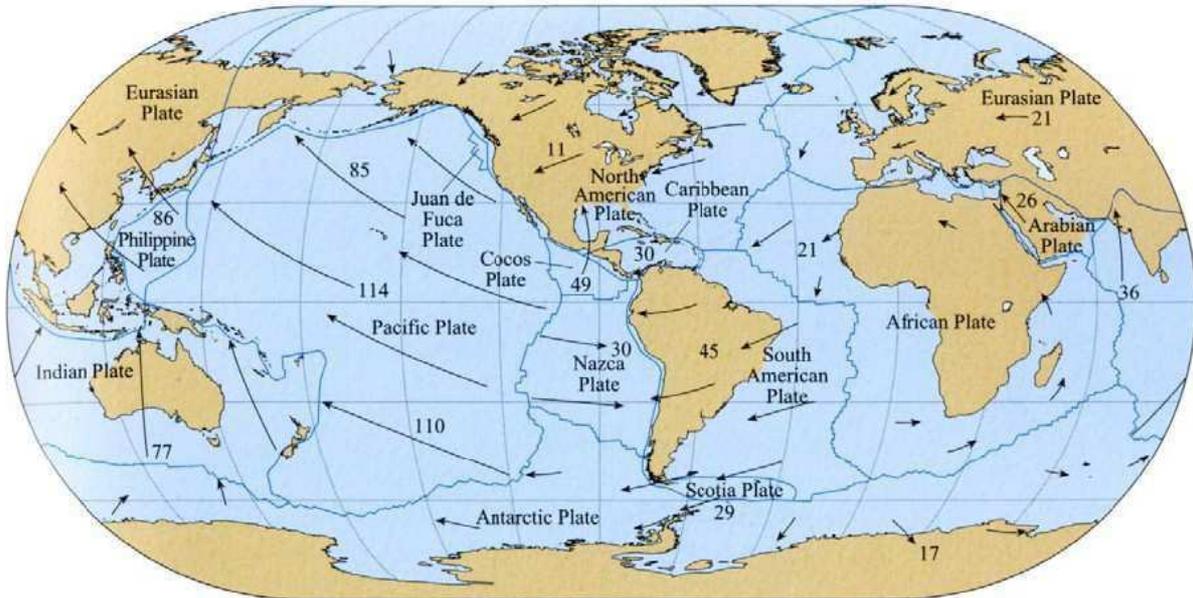
Globalno relativno gibanje plošč



[mm/leto]

Absolutno gibanje plošč

- Absolutno gibanje plošč se določa glede na Zemljin plašč. Merilo [mm/leto]



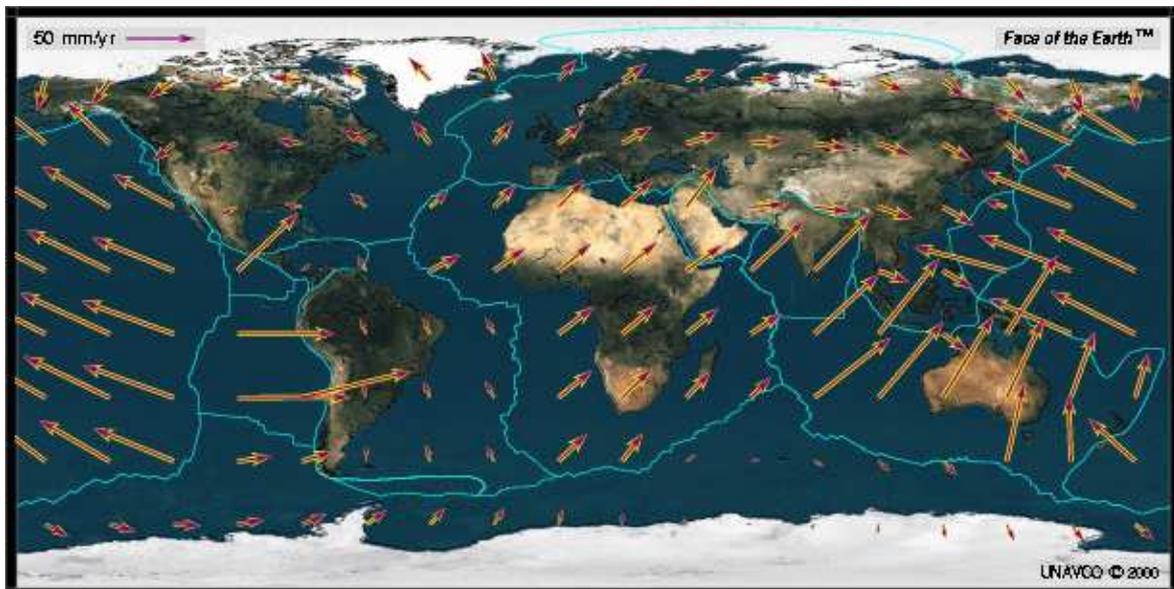
Ploščna tektonika – geodetski prispevek

- Geodetski prispevek ploščni tektoniki je modeliranje časovnih sprememb položaja opazovanih točk. To nam pomaga izboljšati določitev terestričnih referenčnih sestavov oz. referenčnih sistemov in daje vpogled v medsebojen vpliv kinematike plošč in rotacije Zemlje.
- Cilj spremljanja gibanja plošč je določitev Eulerjeva vektorja za različne plošče.

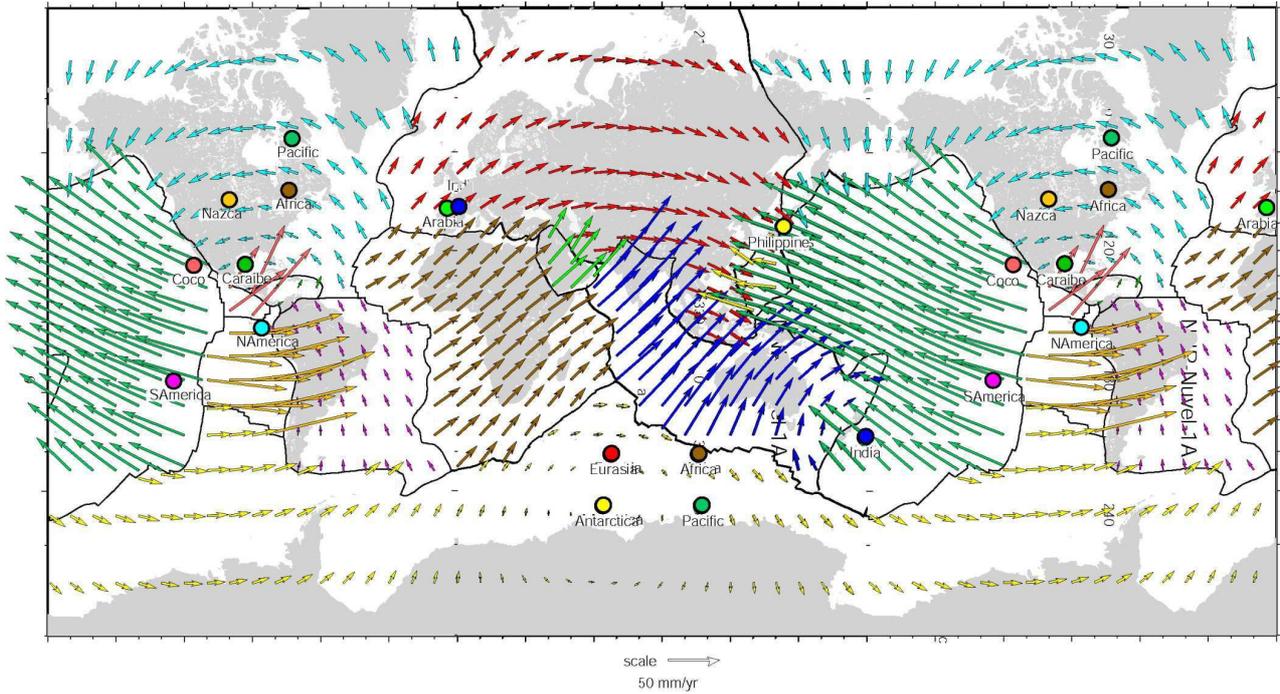
Modeli premikanja plošč

- Geofizikalni modeli (NUVEL-1, NNR-NUVEL-1, MORVEL...) – ki so povprečje gibanja plošč v obdobju milion let in so izvedeni z geofizikalnim modeliranjem premikov oceanskega dna (predvsem podatki paleomagnetizma) in določitve položaja tektonskih prelomnic in azimutov razširjanja potresnih sunkov.
- Geodetski modeli (kinematični, na osnovi rezultatov GNSS-opazovanj in drugih tehnik satelitske geodezije:
 - APKIM – "ActualPlateKinematicModel",
 - REVEL – "Recent VElocity model",
 - GPSVEL – globalno polje GPS-hitrosti

NUVEL 1A

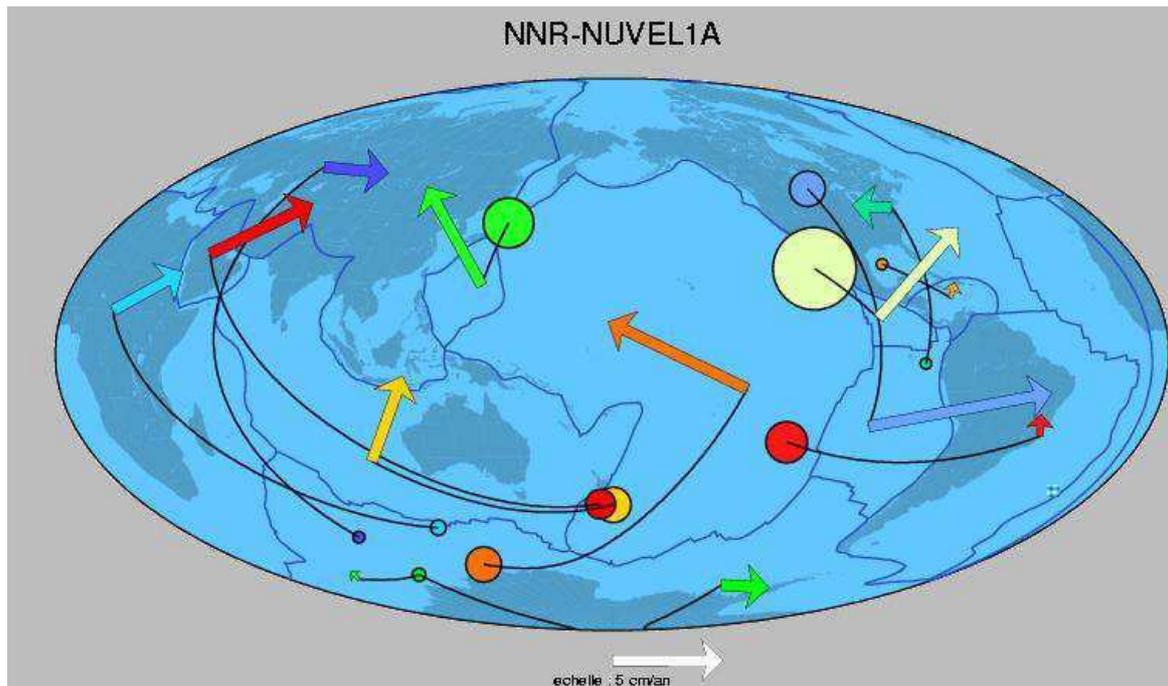


NNR-Nuvel-1A : hitrosti in poli



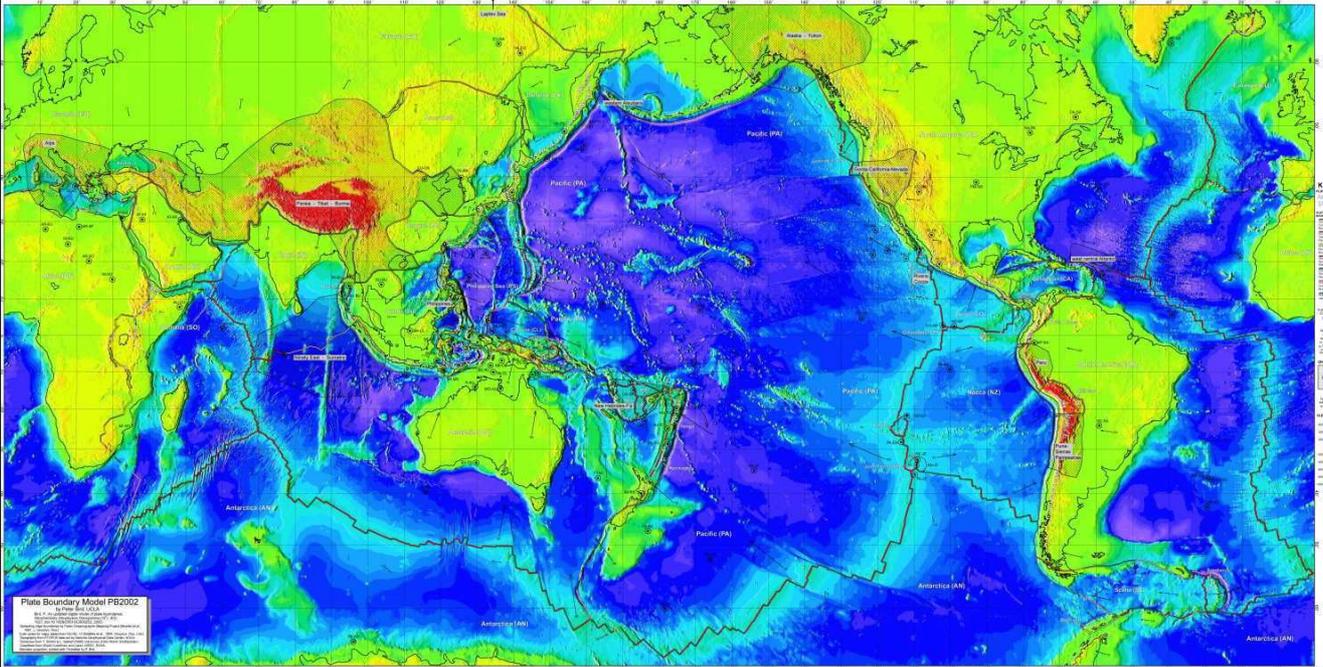
51

NNR-Nuvel-1A poli: položaji in hitrosti

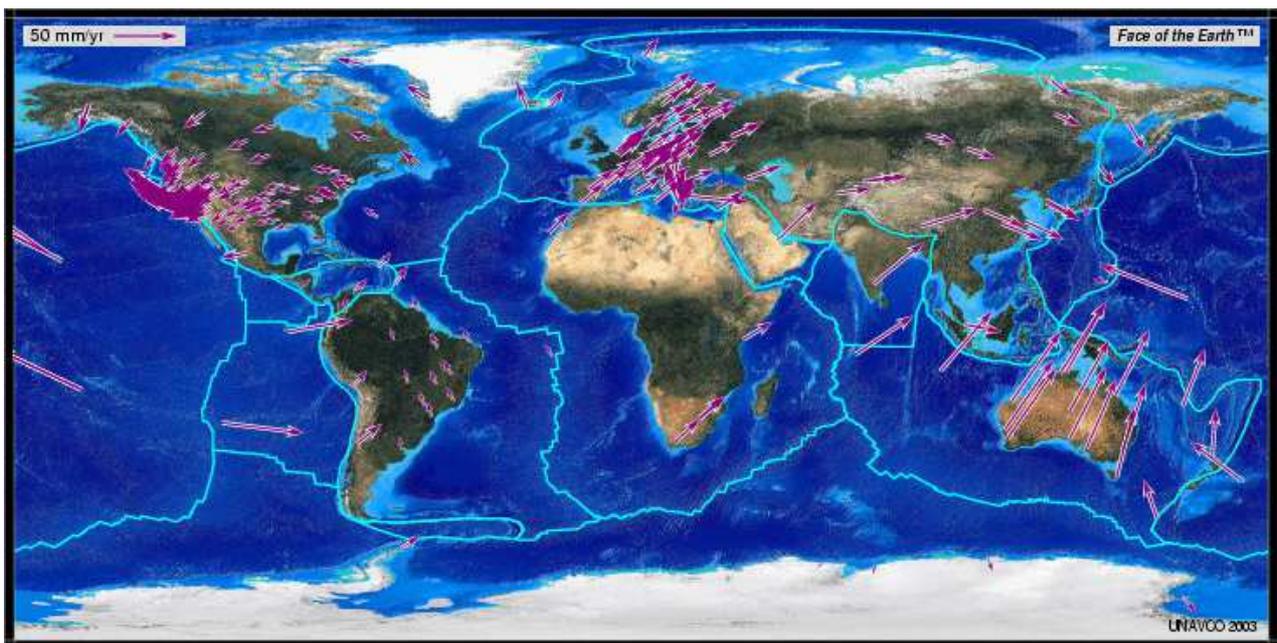


52

PB2002

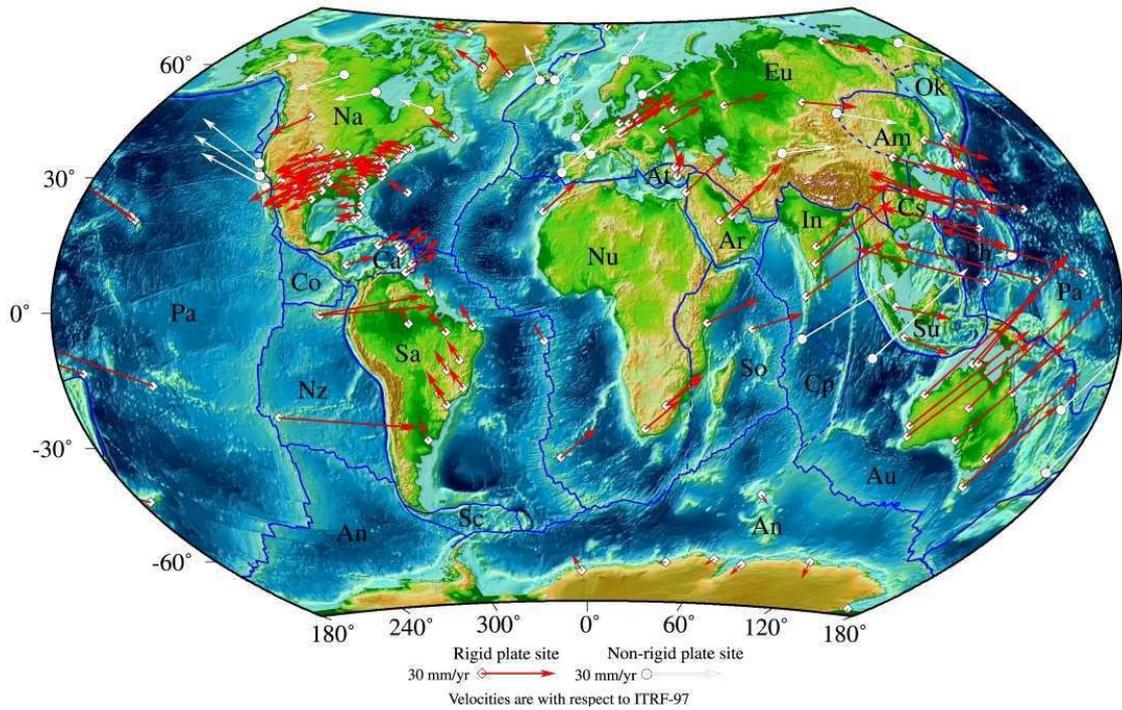


Hitrosti premikov na osnovi GNSS-opazovanj

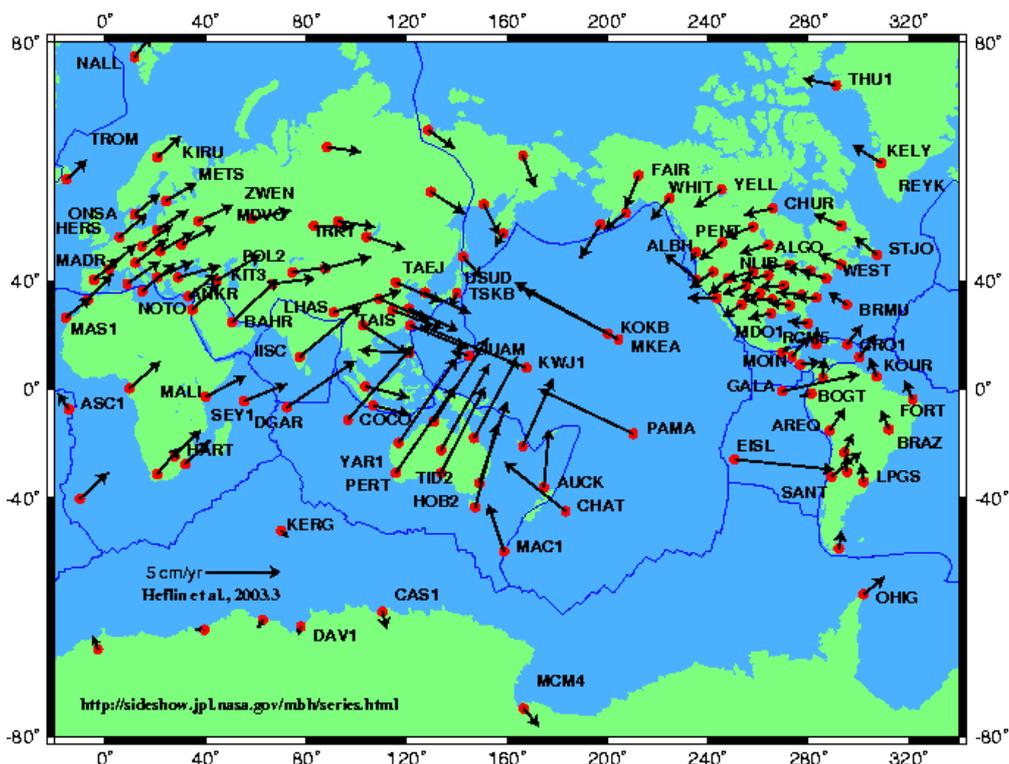


REVEL 2000

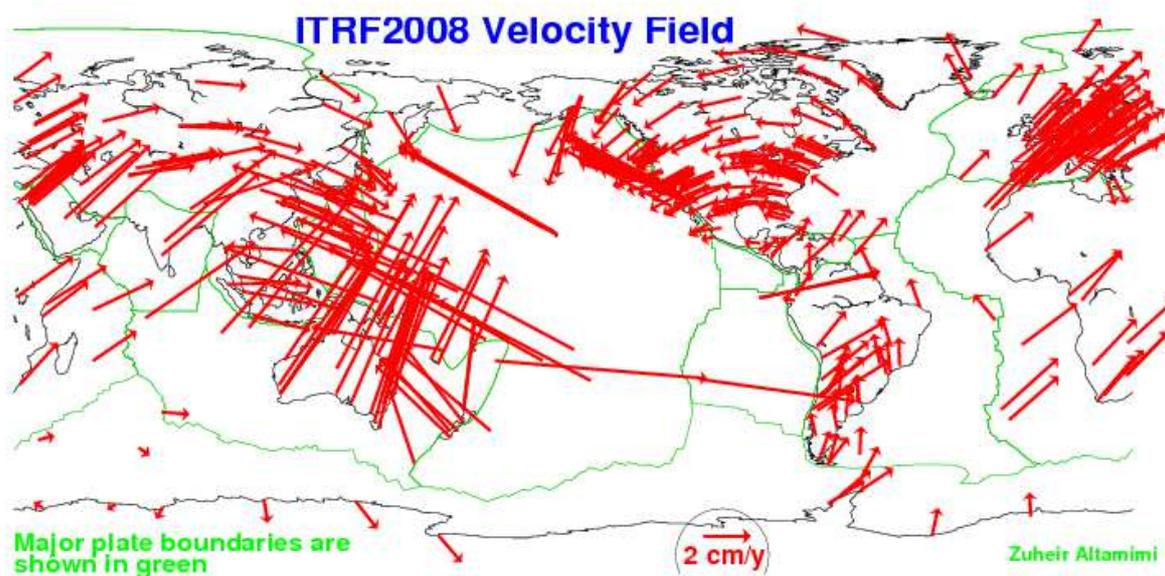
REVEL-2000



Hitrosti premikov na osnovi GNSS-opazovanj

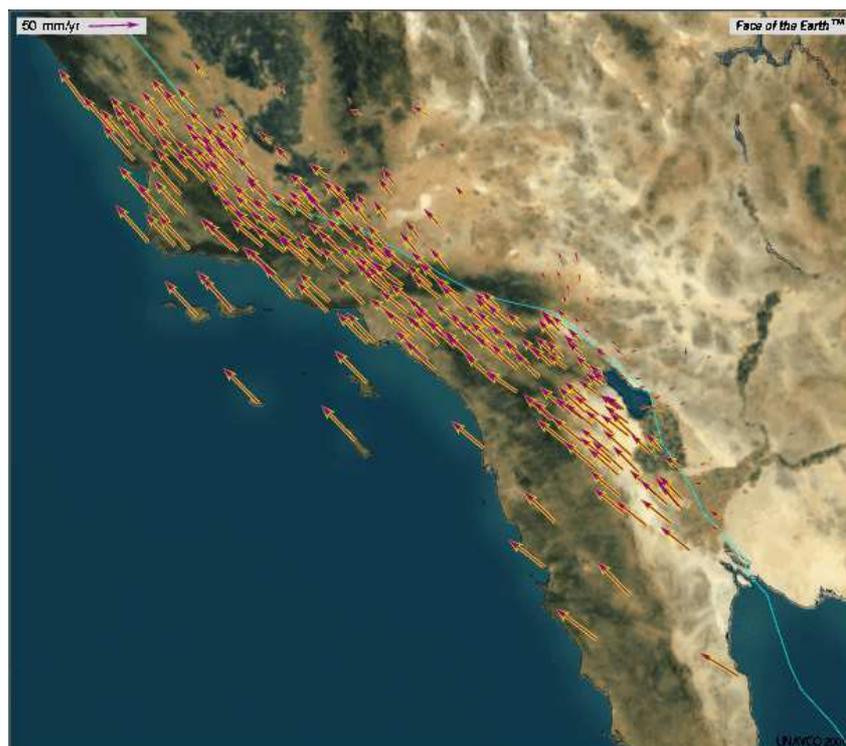


Polje hitrosti ref. sestava ITRF2008



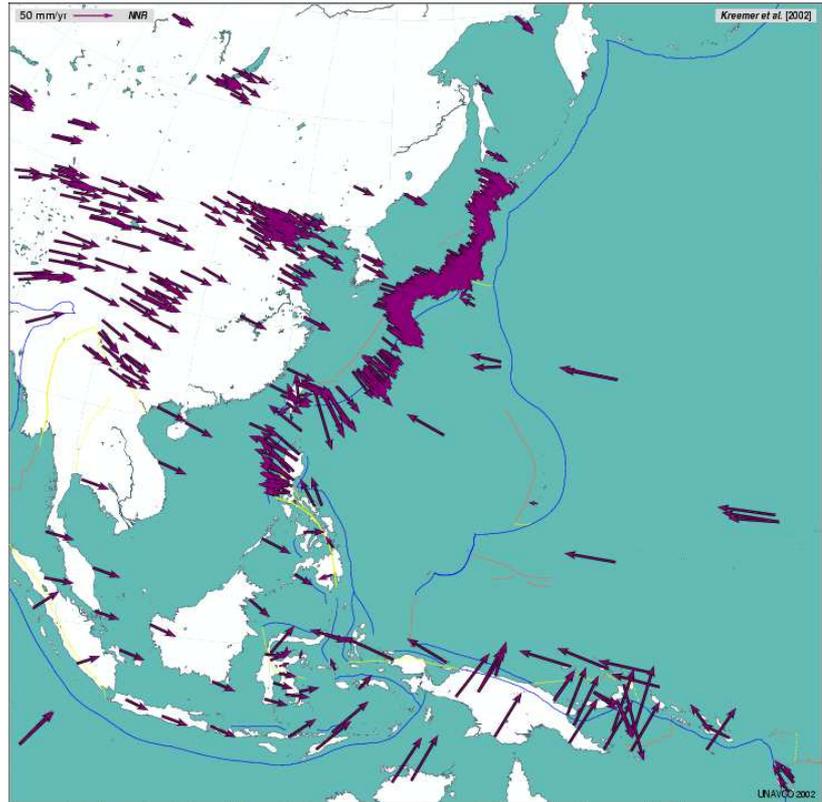
Hitrosti premikov na osnovi GNSS-opazovanj

- Kalifornija



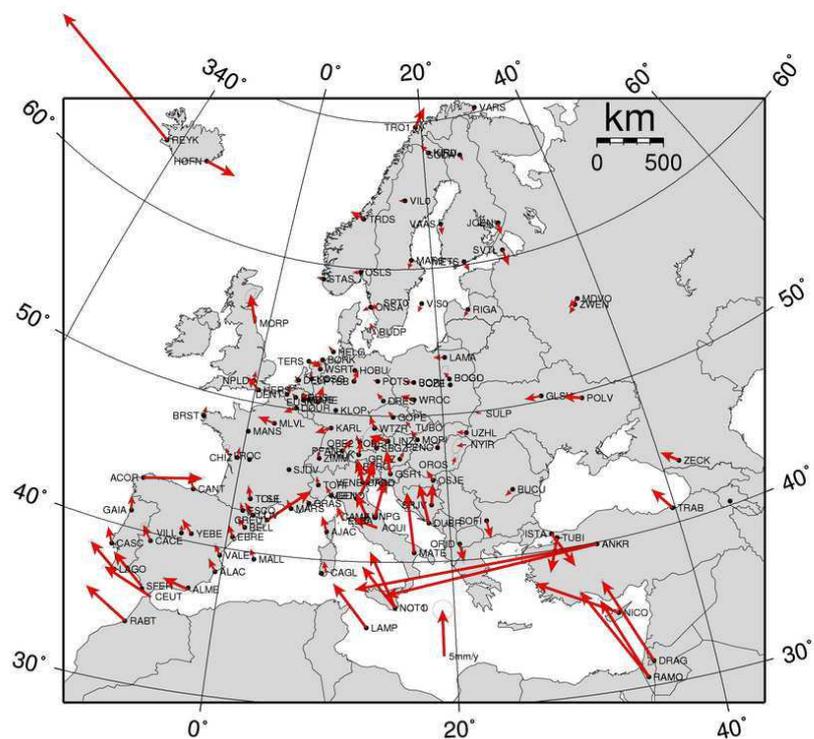
Hitrosti premikov na osnovi GNSS-opazovanj

- Japonska



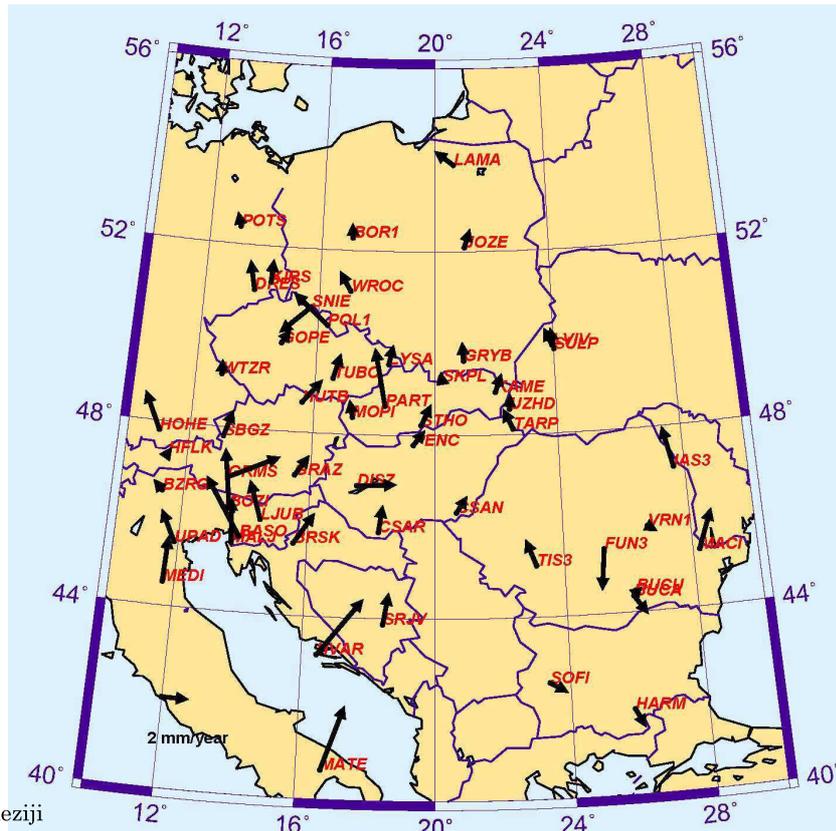
Hitrosti premikov na osnovi GNSS-opazovanj

- Evropa: permanentne GNSS-postaje



Hitrosti premikov na osnovi GNSS-opazovanj

□ Srednja Evropa

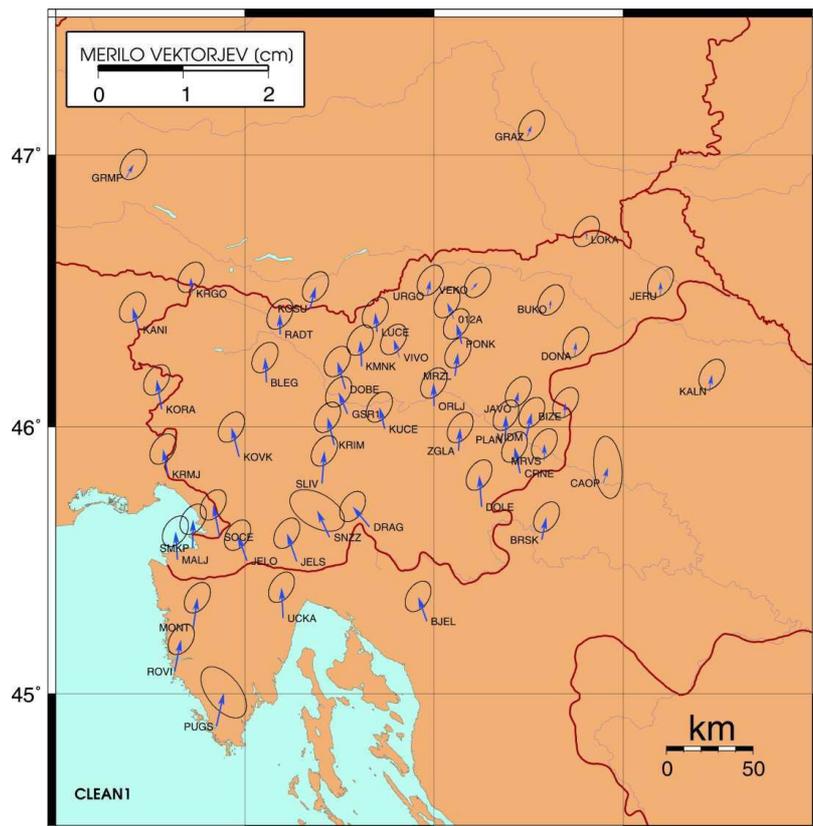


M. Kuhar - Referenčni sistemi v geodeziji

61

Hitrosti premikov na osnovi GNSS-opazovanj

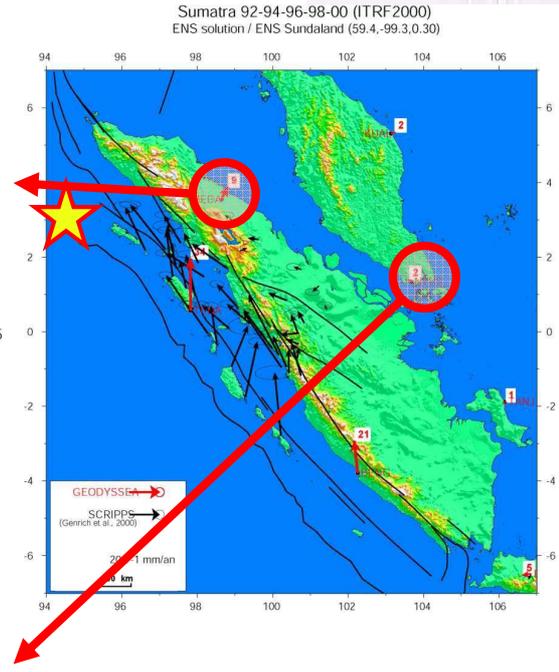
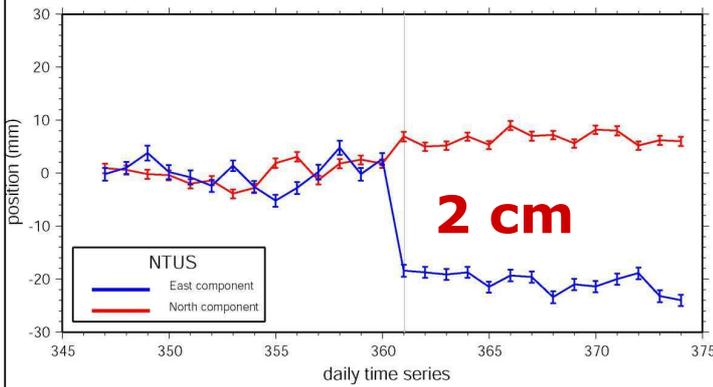
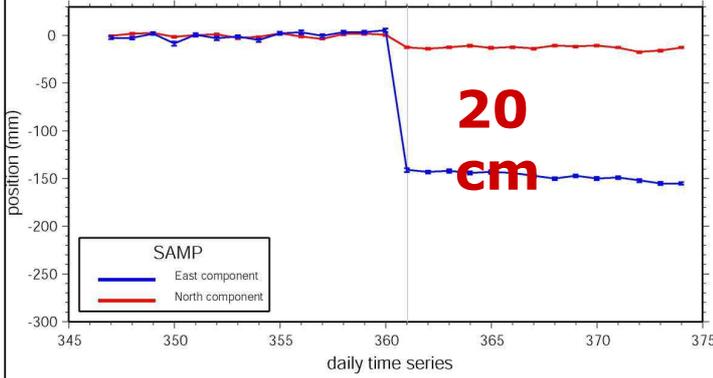
□ Slovenija



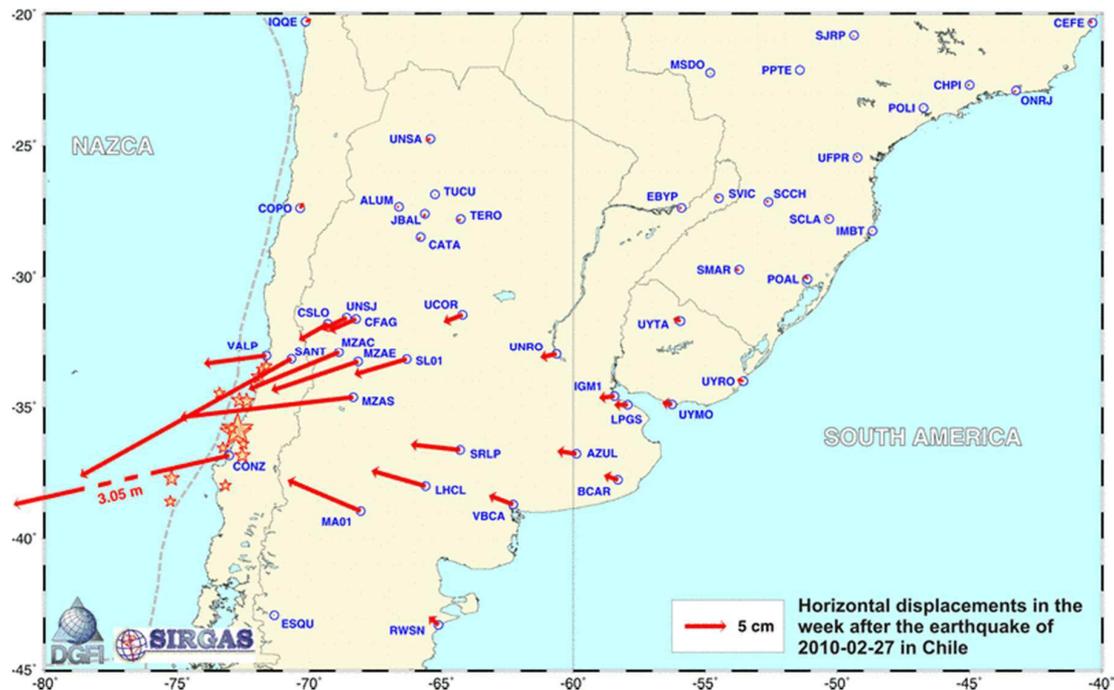
M. Kuhar - Referenčni sistemi v geodeziji

62

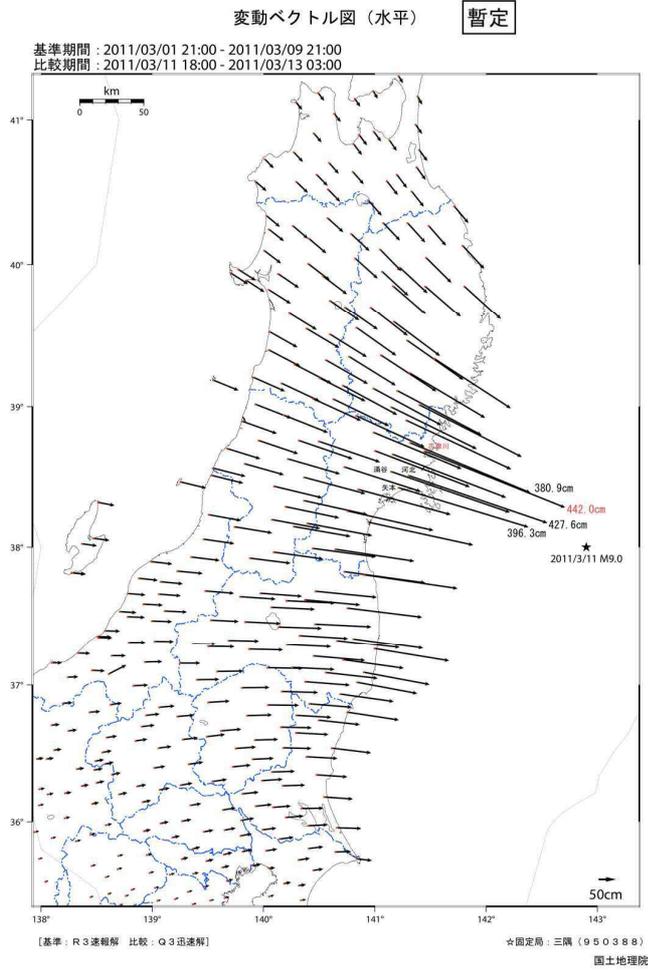
Časovna vrsta ob potresu



Vektorji premika po potresu v Čilu 27.02.2010



Vektorji premika po potresu na Japonskem, leta 2011, horizontalna komponenta



Vektorji premika po potresu na Japonskem, leta 2011, vertikalna komponenta

