

A Föld belső szerkezete és összetétele

Meteoritok (kémiai összetétel)

Földrengéshullámok (fizikai állapot)

Primer hullámok: longitudinális, nyomáshullámok,
szilárd anyagban és folyékonyban

Szekunder hullámok: transzverzális, nyíráshullámok,
szilárd anyagban

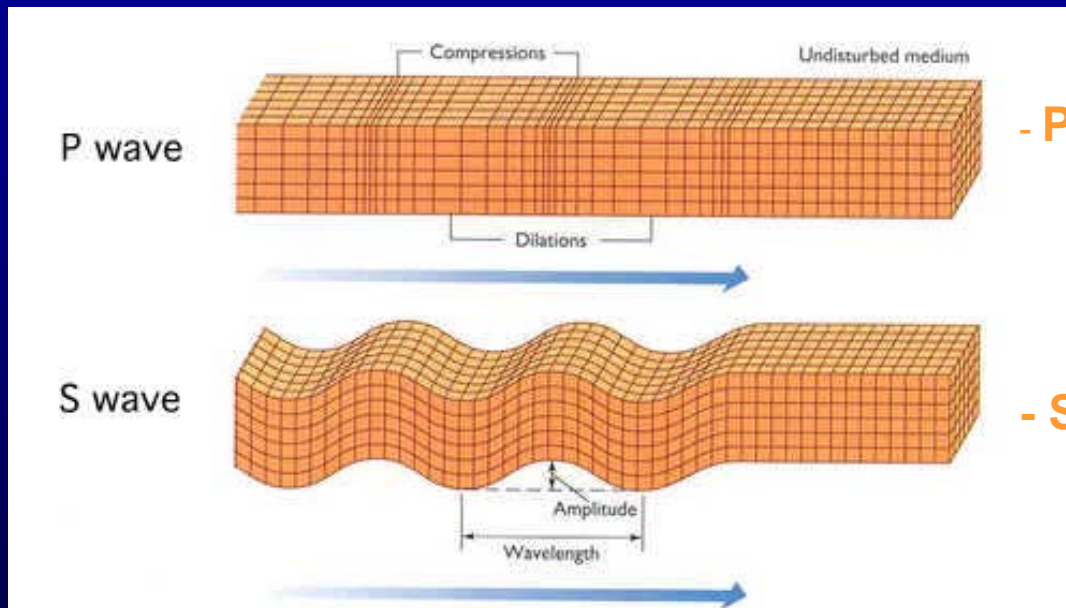
Felületi hullámok: pusztító

Terjedési sebesség sűrűségtől függ (sűrűség, T)

Diszkontinuitási felületek

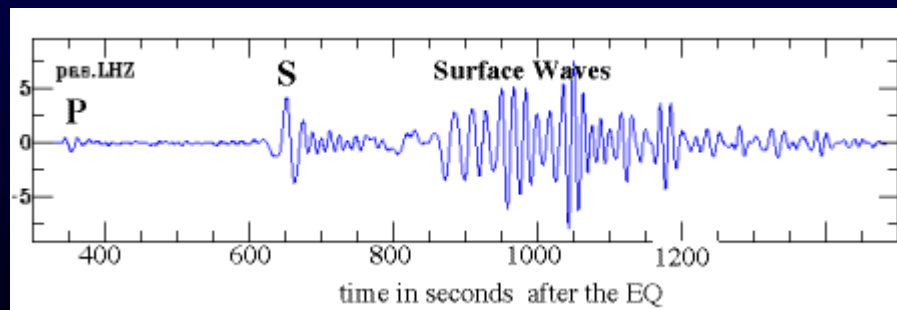
Szeimológia – szeizmika

A földrengéshullámok

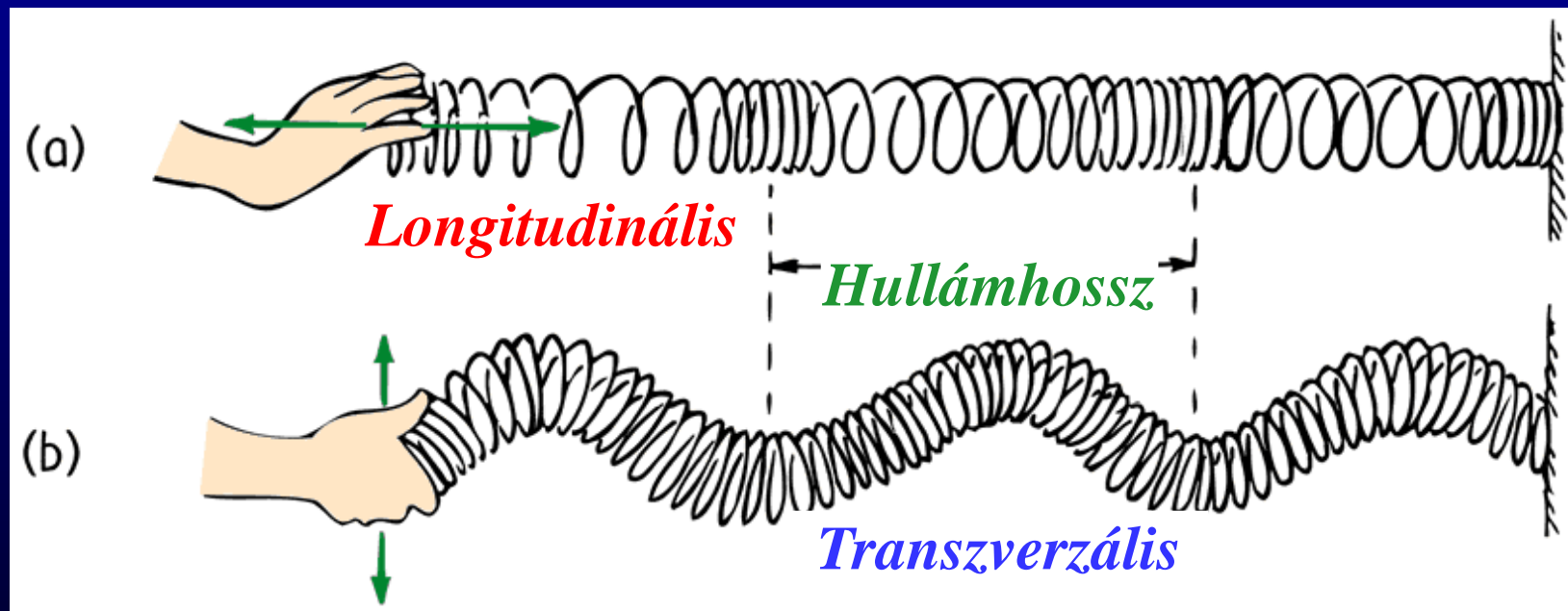


- P hullám kb. 1.7x gyorsabban terjed

- S hullám folyadékon nem halad át

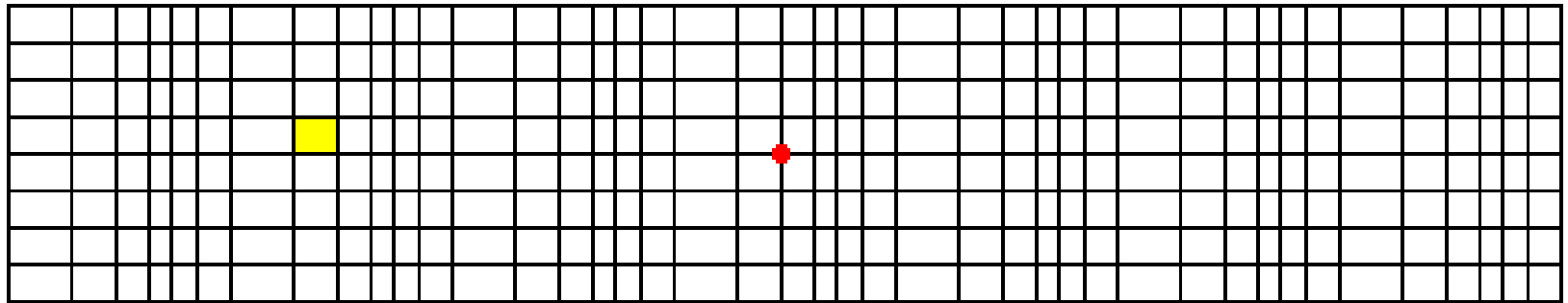


A földrengéshullámok

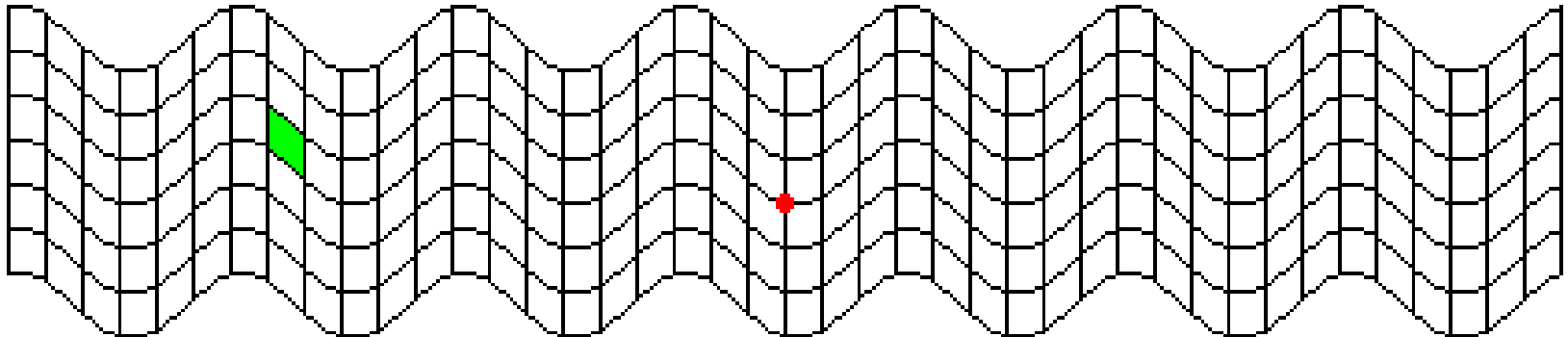


A földrengéshullámok

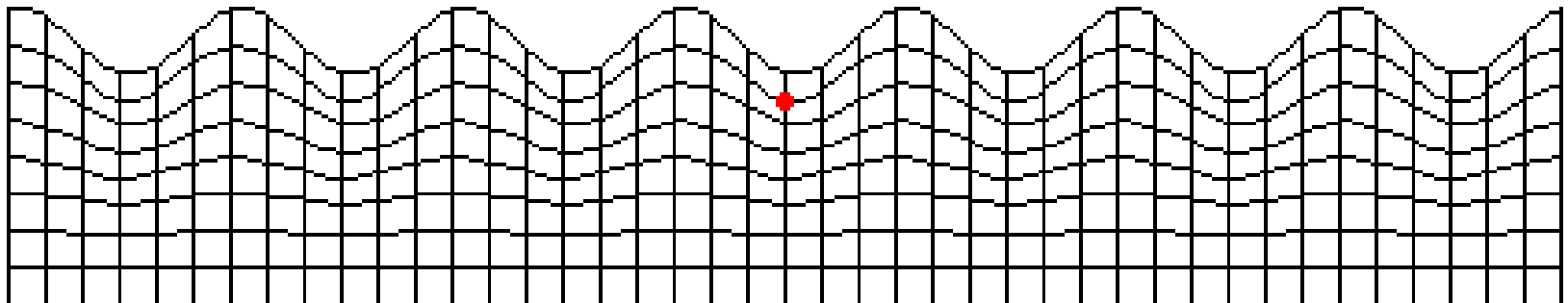
P-Wave



S-Wave

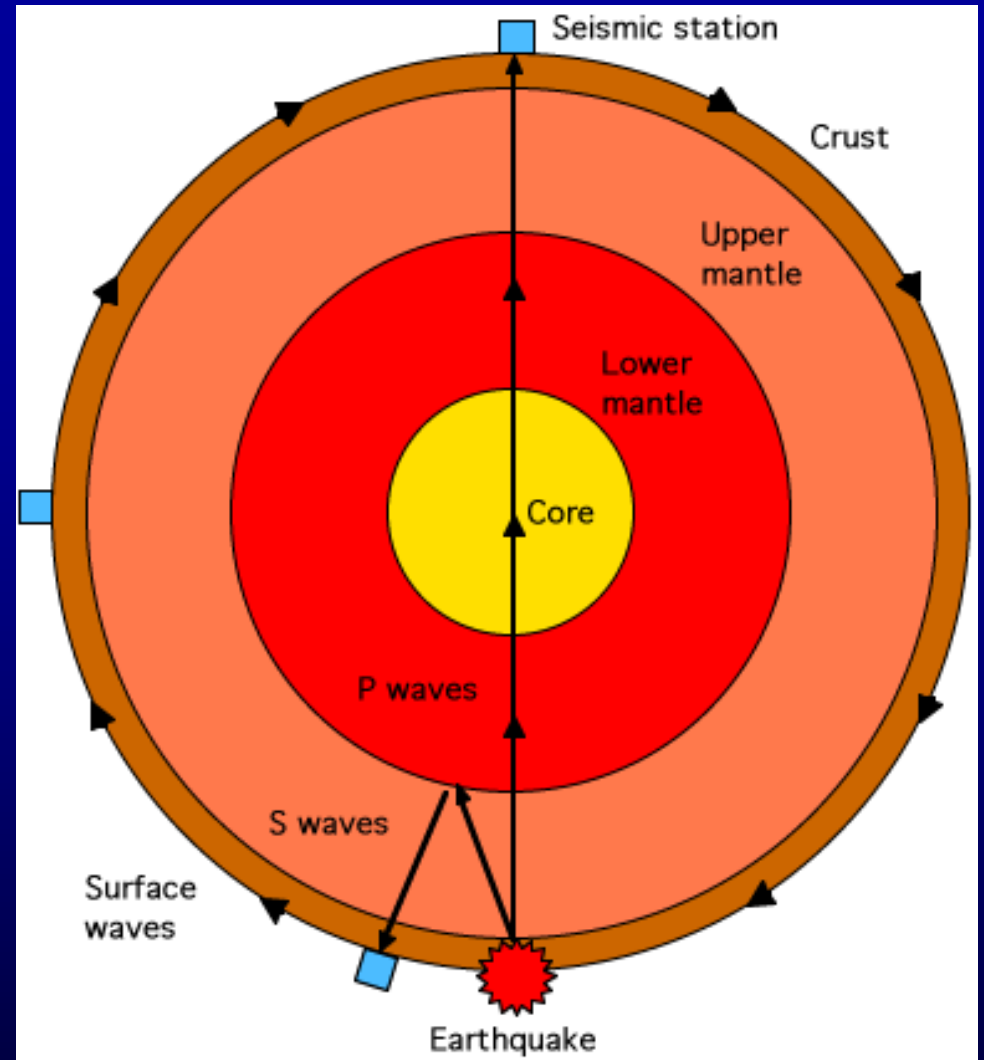


**Surface
Wave**



A földrengés- hullámok

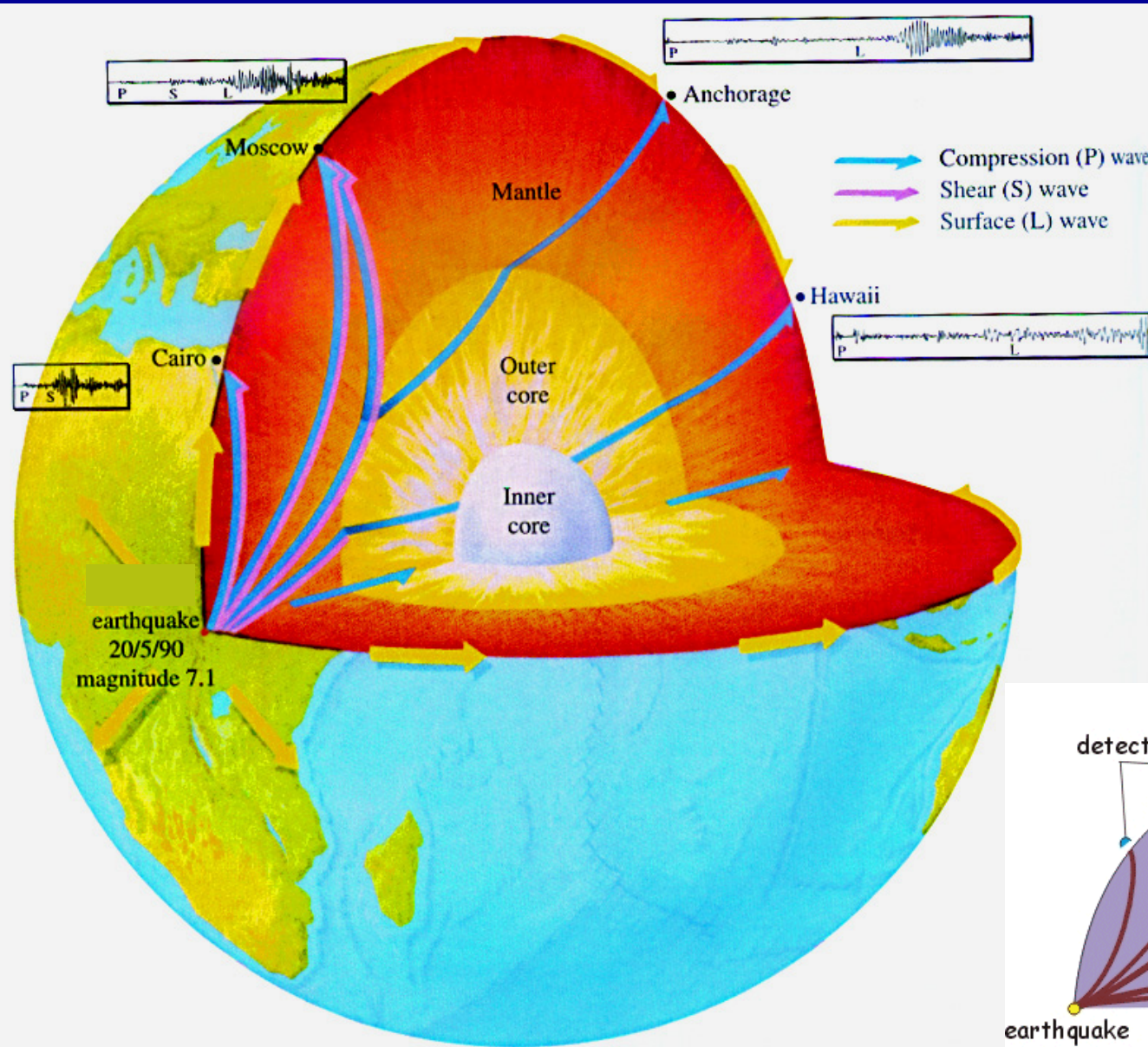
The types of seismic waves travelling around the Earth and through the Earth. The speeds of the waves range from 3 to 15 km/s. Two of the waves travel around the surface of the Earth in rolling swells. The other two, **Primary (P)** or compression waves and **Secondary (S)** or shear waves, penetrate the interior of the Earth.



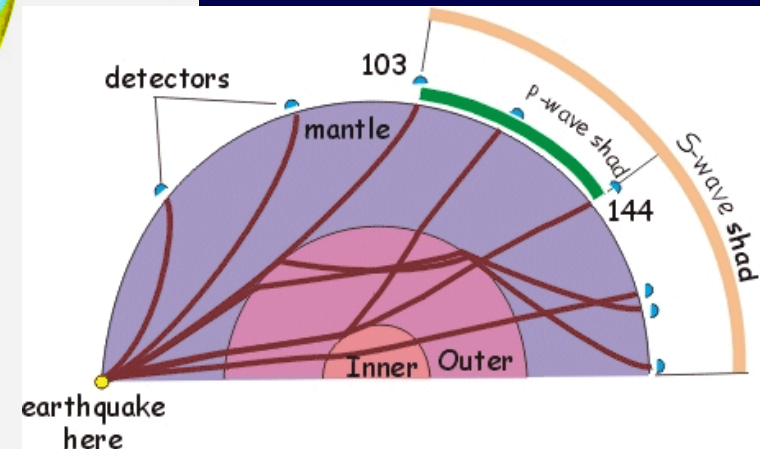
P waves compress and dilate the matter they travel through (either rock or liquid) similar to sound waves. They can move twice as fast as S waves. S waves propagate through rock but are not able to travel through liquid.

Both P and S waves refract or reflect at points where layers of differing physical properties meet. They also reduce speed when moving through hotter material. These changes in direction and velocity are the means of locating discontinuities.

A földrengéshullámok



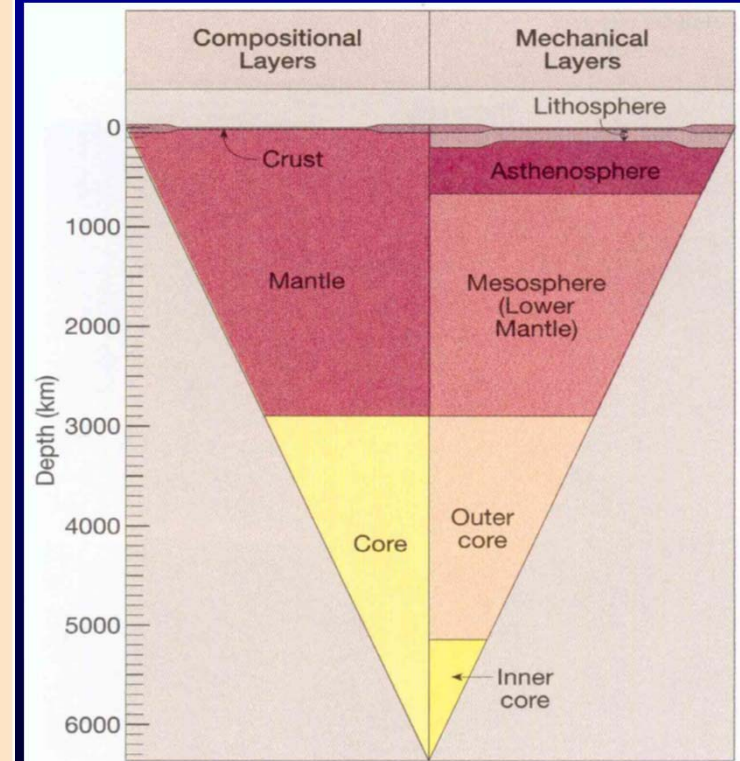
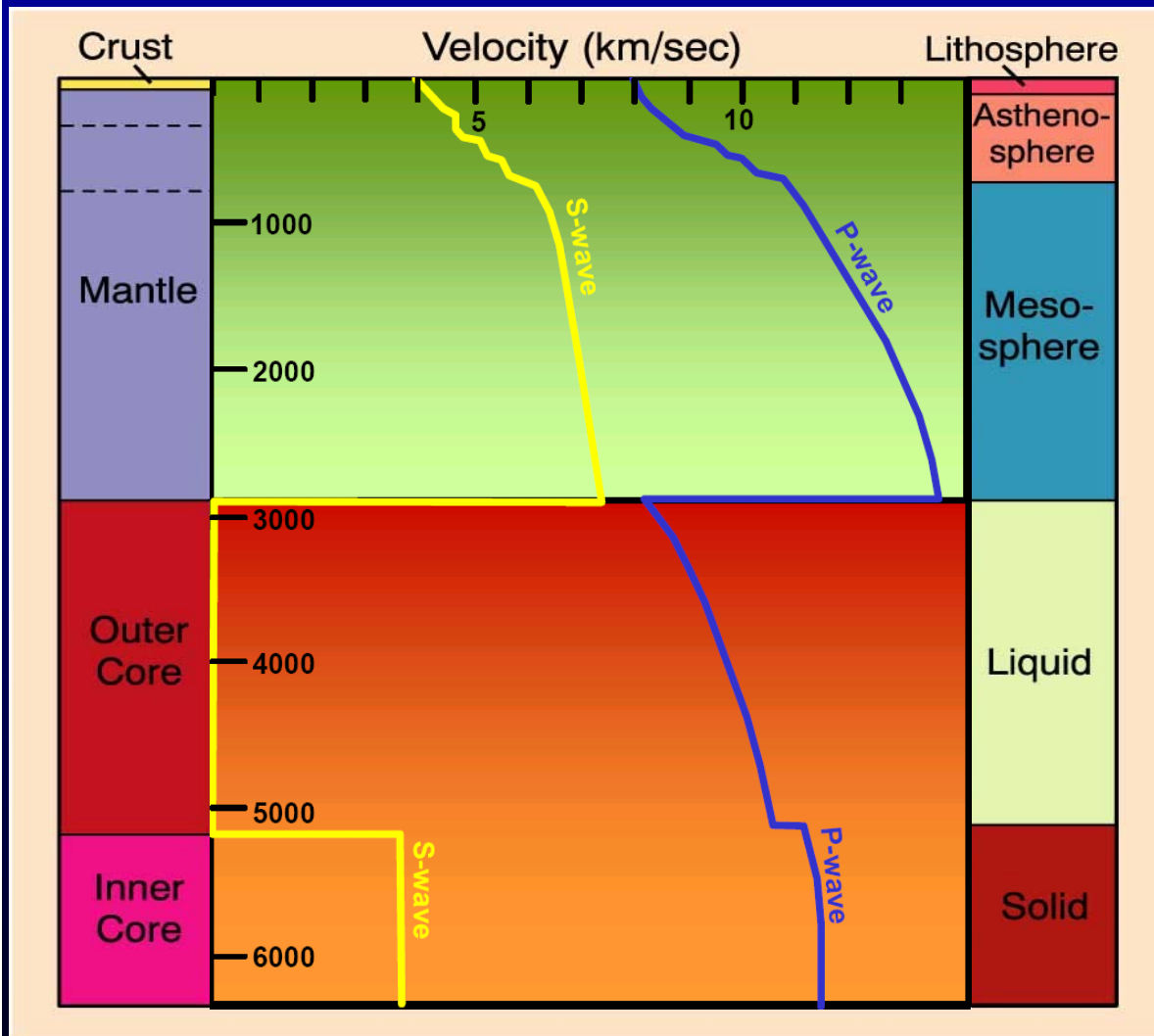
S-hullám
árnyék
P-hullám



A Föld belső szerkezete

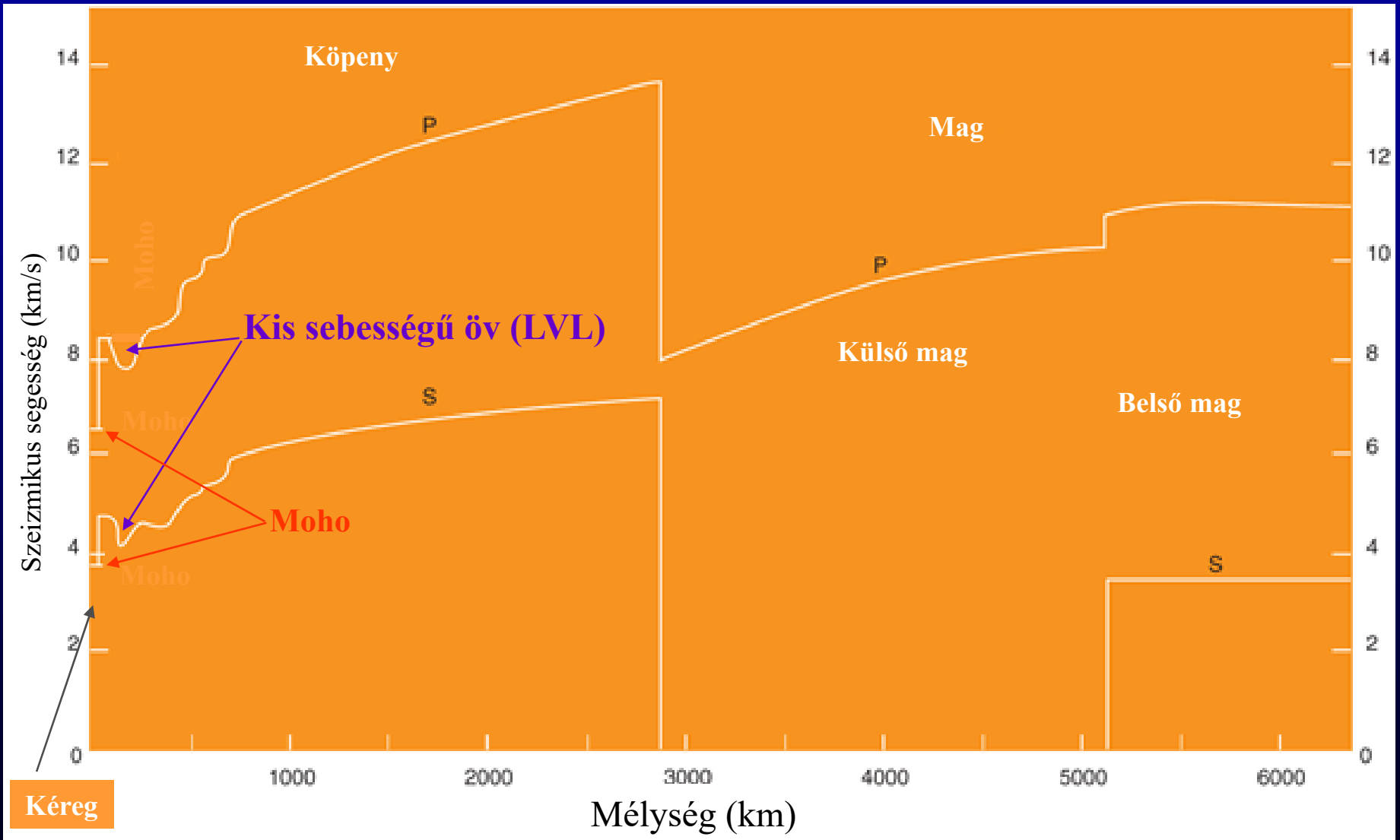
Kémiai

Mechanikai

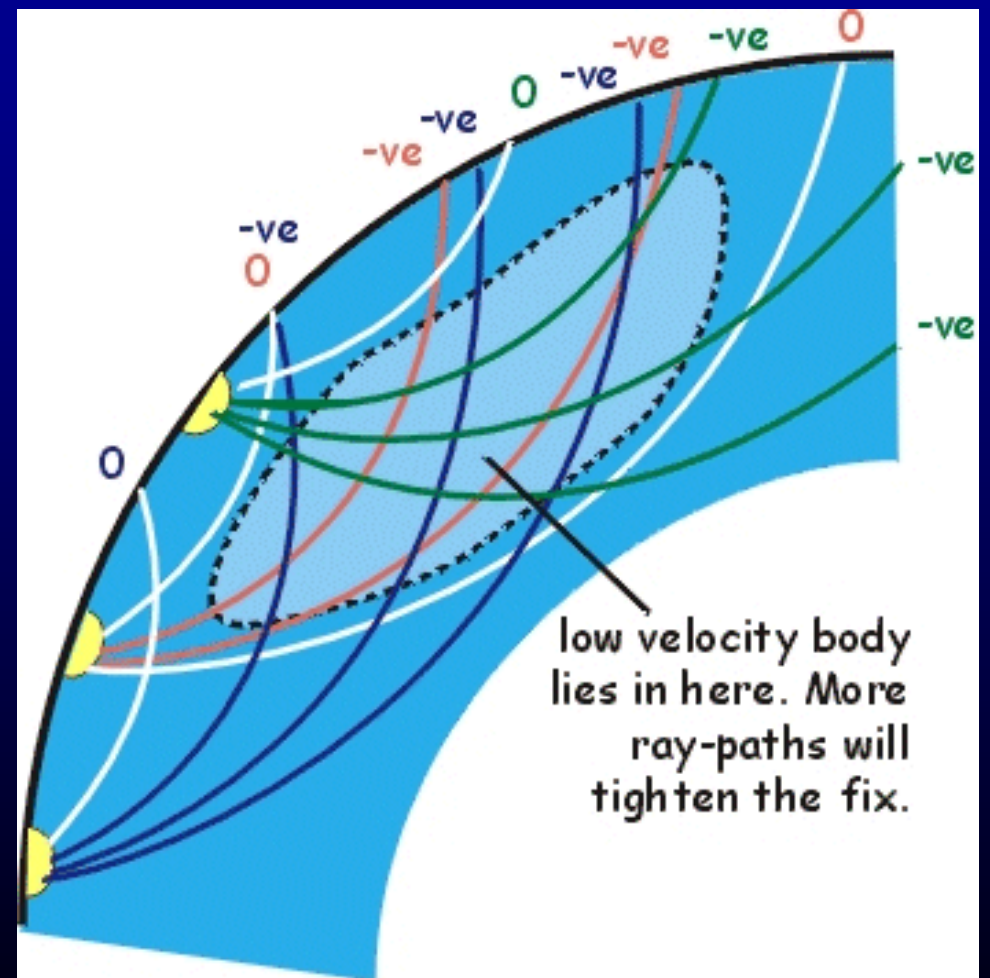
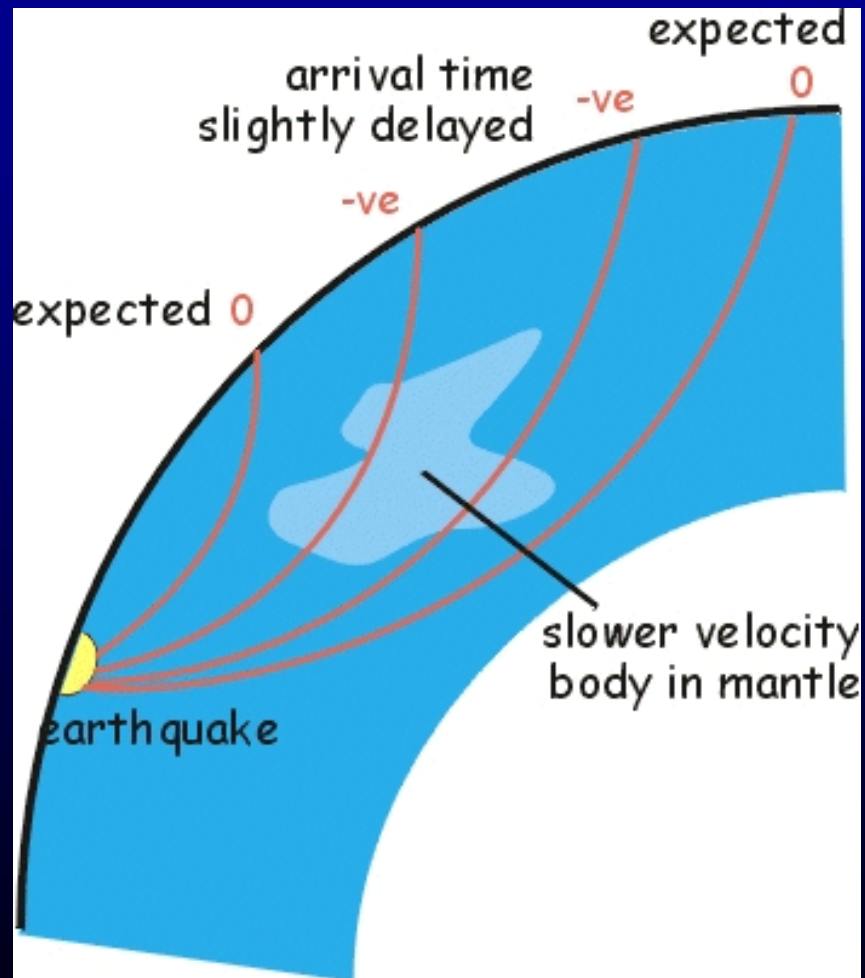


Variation in P and S wave velocities with depth. Compositional subdivisions of the Earth are on the left, rheological subdivisions on the right. After Kearey and Vine (1990), *Global Tectonics*. © Blackwell Scientific. Oxford.

A Föld belső szerkezete



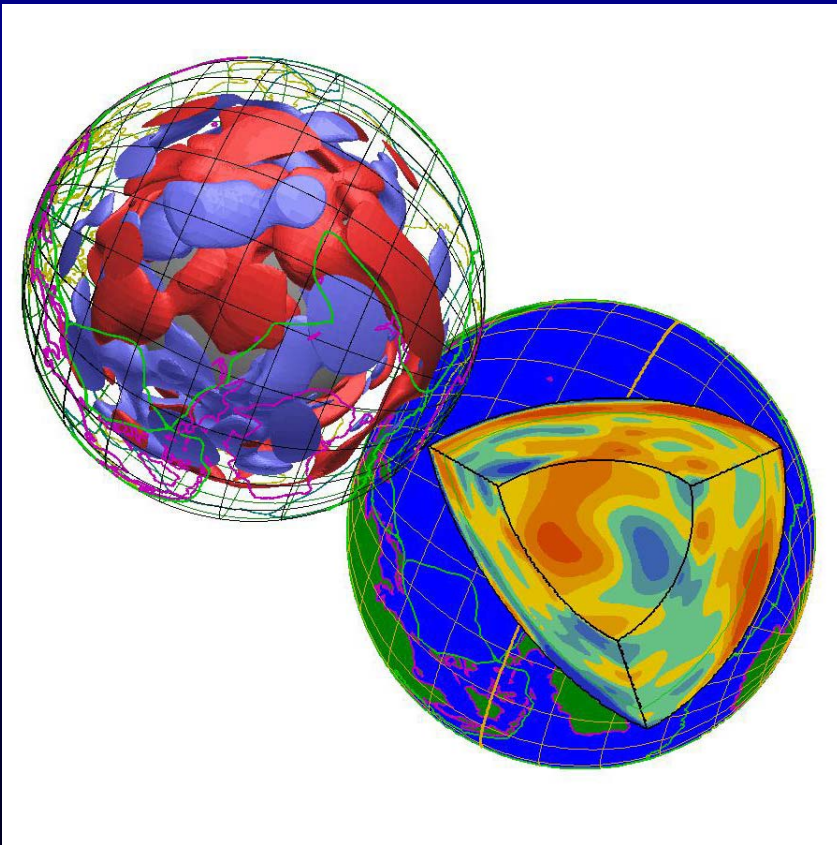
A Föld belső szerkezete



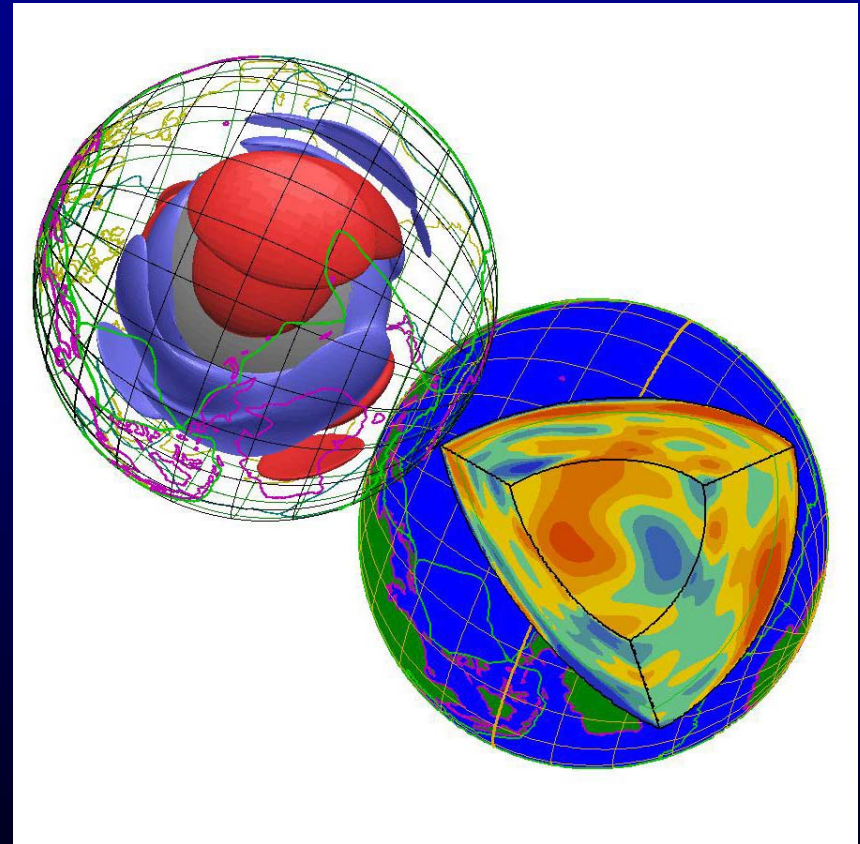
A Föld belső szerkezete

Szeizmikus tomográfia

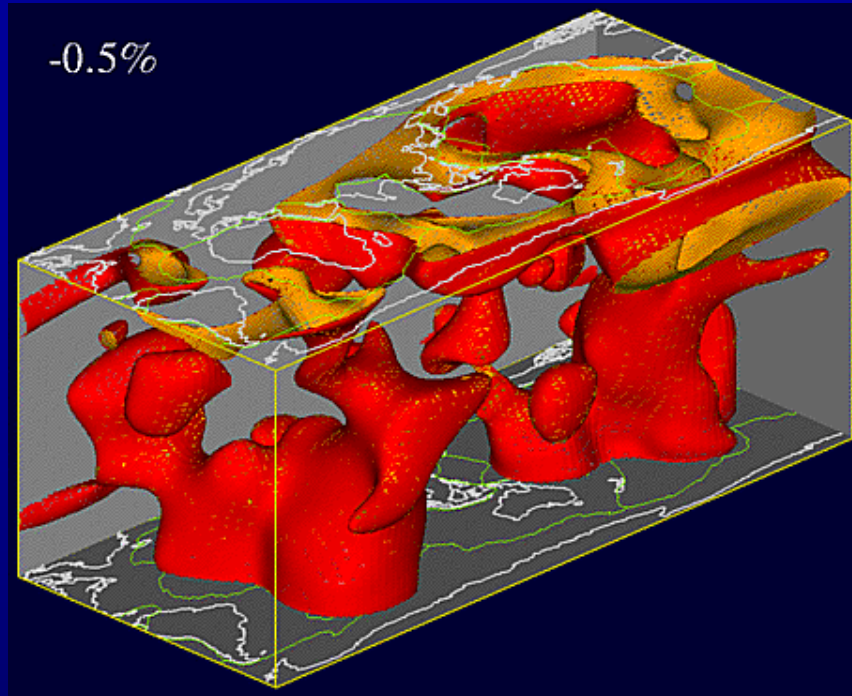
Nagy sűrűségű (hideg) és kis sűrűségű (meleg) testek a Csendes-óceán alatt



Felső köpeny

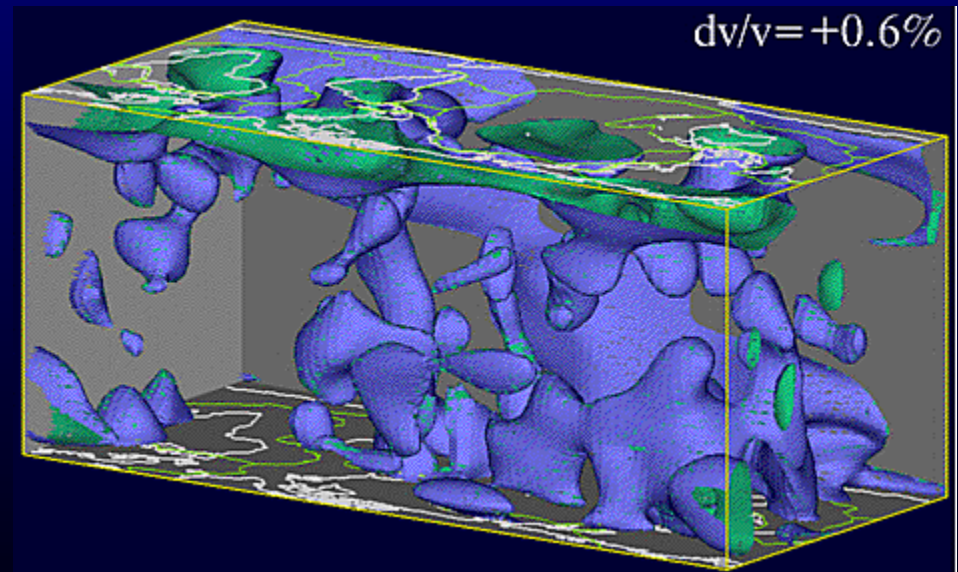


Alsó köpeny

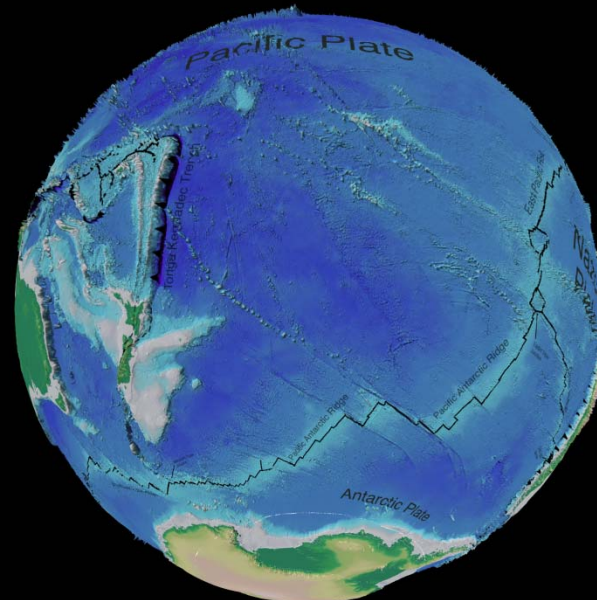
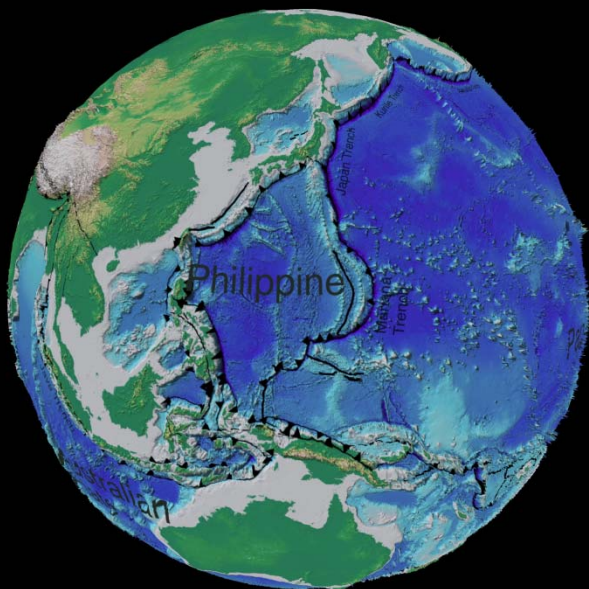
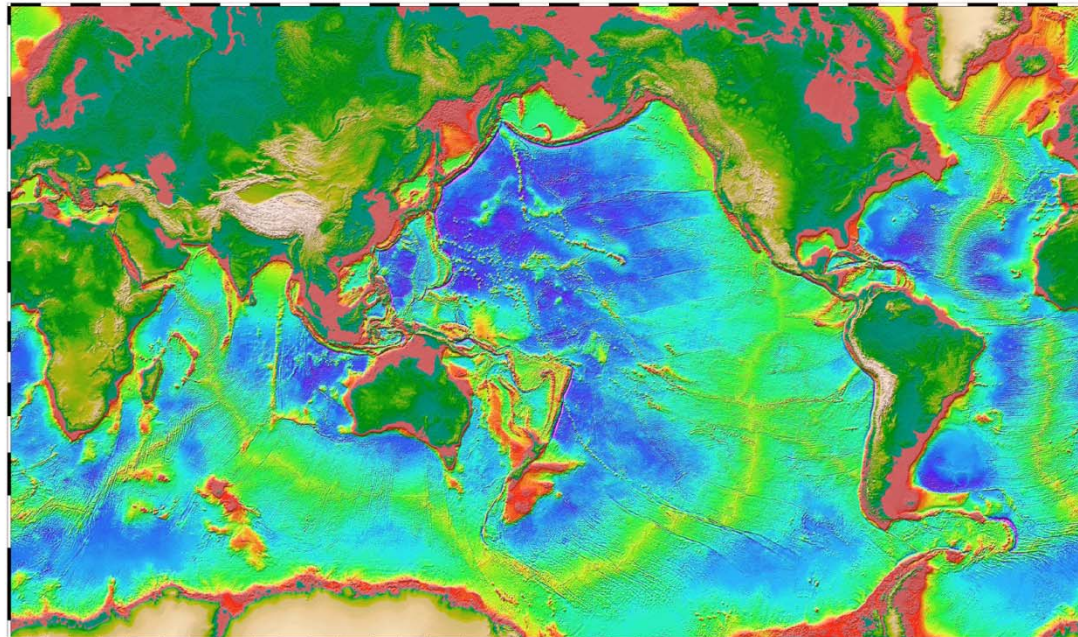


A 3-d view of a mercator projection of the mantle, with orange surfaces surrounding warm blobs of mantle, which should be rising plumes (Harvard University).

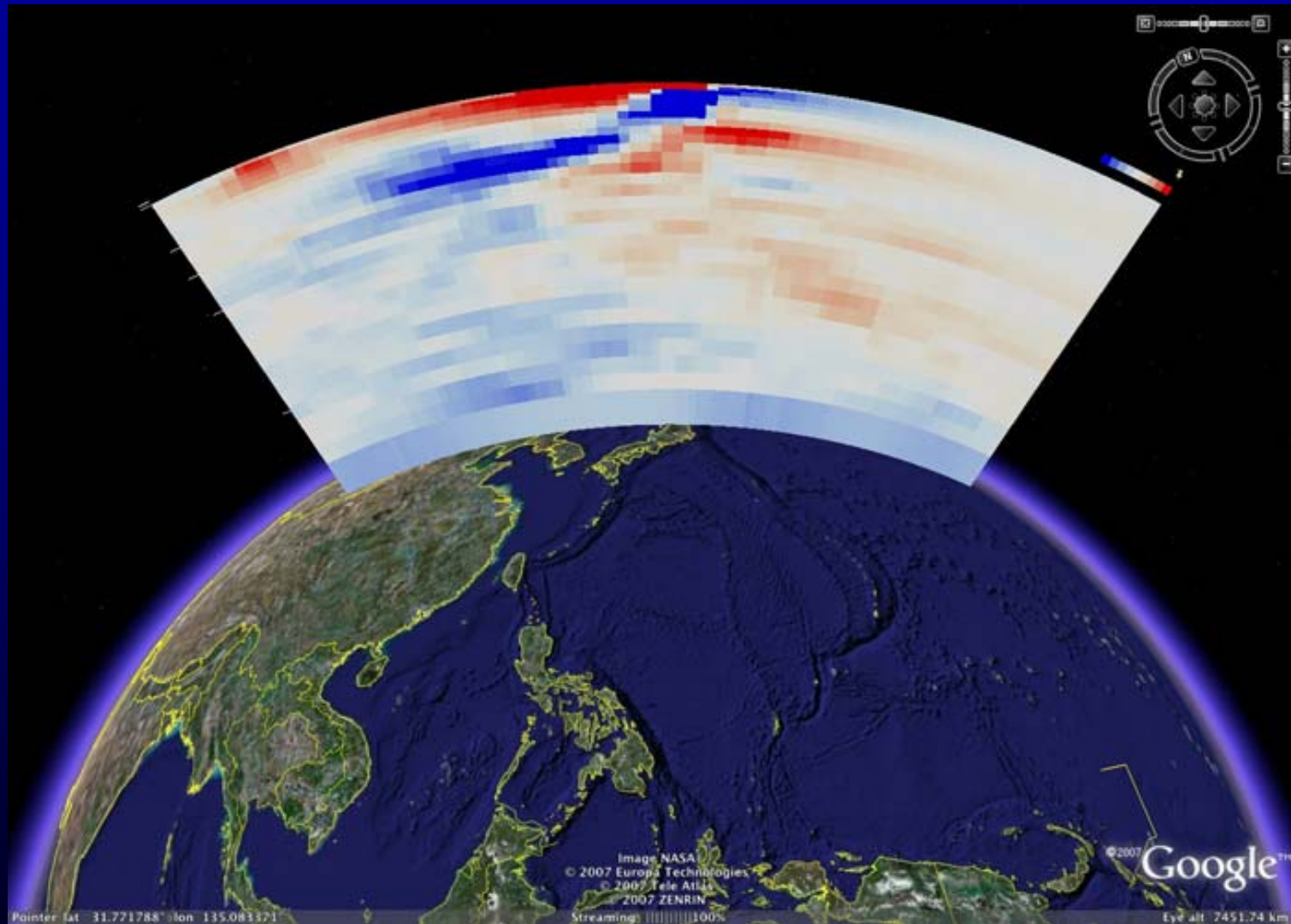
A 3-d view of a mercator projection of the mantle, with blue surfaces surrounding cold blobs of mantle, which should be sinking slabs (Harvard University).



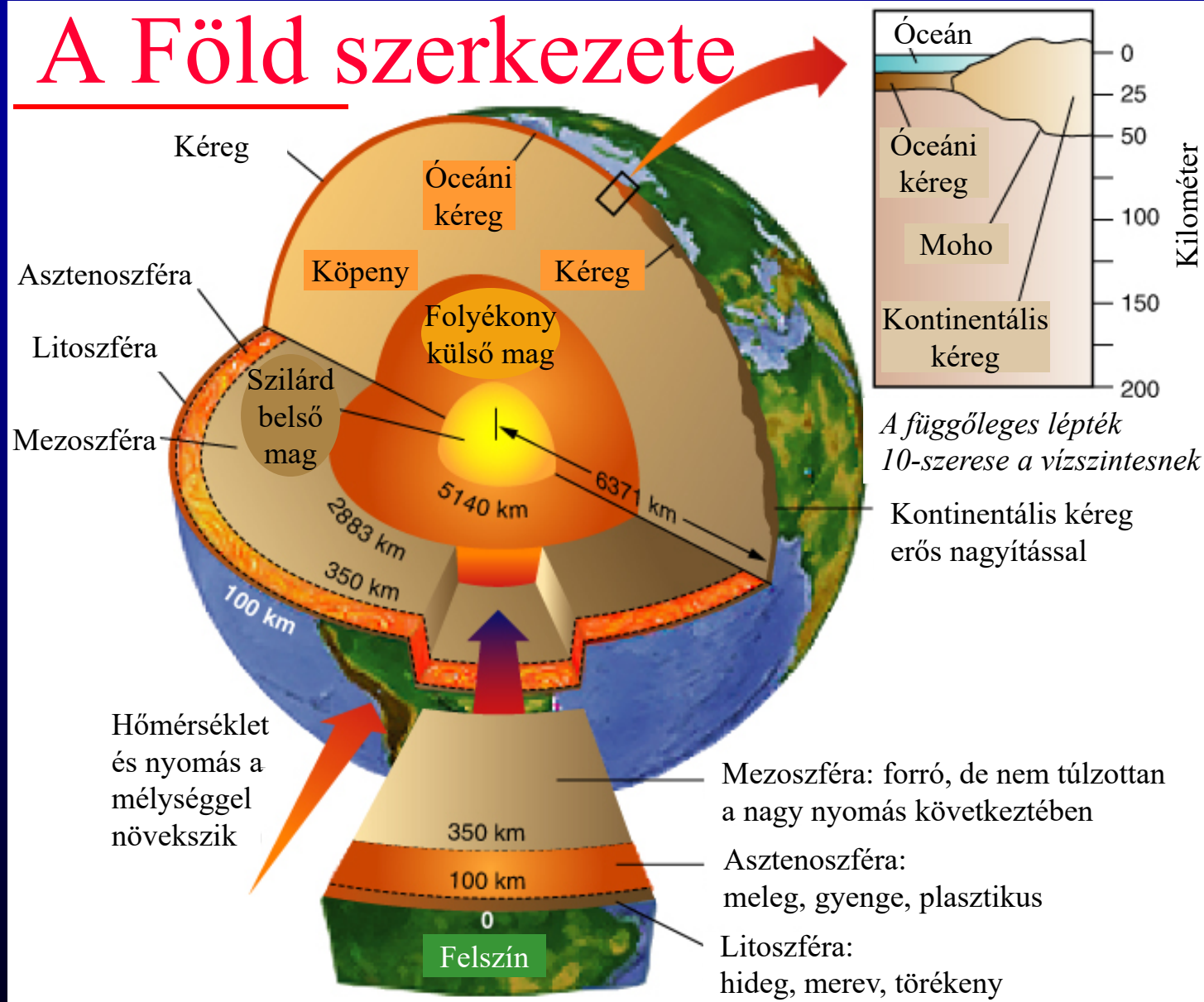
Csendes-óceán



Pacifikus lemez szubdukciója



A Föld szerkezete



A Föld szerkezete és összetétele

Kéreg:

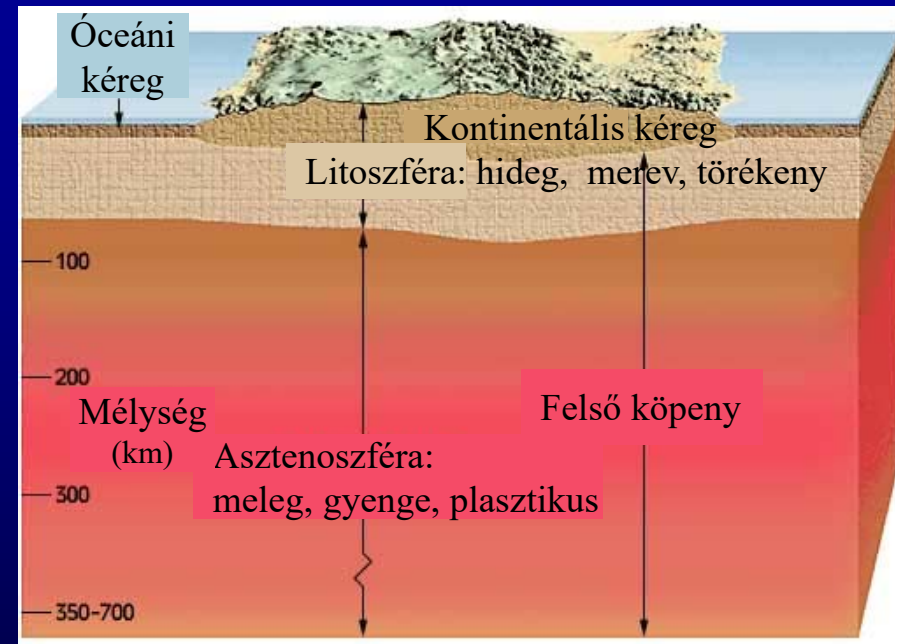
Óceáni kéreg

Vékony: 10 km, 3,0-3,3 g/cm³

Rétegtanilag egyszerű

= ofiolit sorozat:

- ☞ üledék (~0.3 km vastag)
 - ☞ párnaláva (bazalt)
 - ☞ függőleges (réteges) telér (bazalt)
 - ☞ masszív gabbró
 - ☞ ultrabázisos tömeg (köpeny: kumulátum és reziduális)
- ◆ Átlagos ~ bazaltos (Mg-Fe-szilikát + kevés Ca-Al-szilikát)
legidősebb a Csendes-Óceán (~180 millió év, jura korú)



A Föld szerkezete és összetétele

Kéreg:

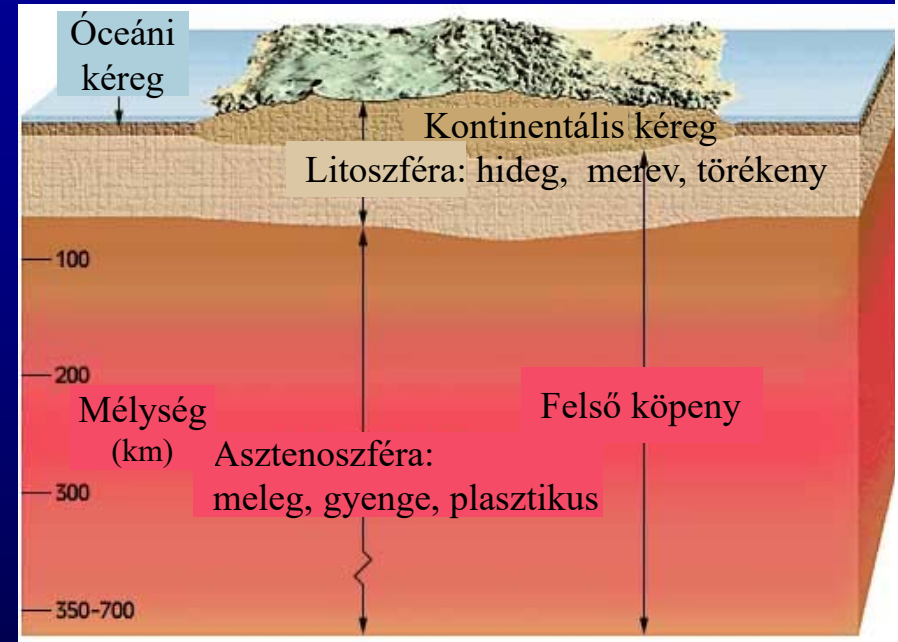
Kontinentális kéreg

Vastag: 20-90 km, átlagosan ~35 km

Erősen változó összetétel:

- ☞ üledék (~1.8 km vastag)
- ☞ felső kéreg: gránitos, ~2,7 g/cm³
- ☞ alsó kéreg: bazaltos, 3,0-3,3 g/cm³

- ◆ Átlagos ~ granodiorit
(Ca-Al-szilikát + kevés Mg-Fe-szilikát)



legidősebb a Kanadai, Dél-Afrikai és Ausztráliai pajzs (~4,25 milliárd év)

A Föld szerkezete és összetétele

Köpeny:

Peridotit (ultrabázisos kőzet)

Felső köpeny 410 km-ig (olivin → spinell)

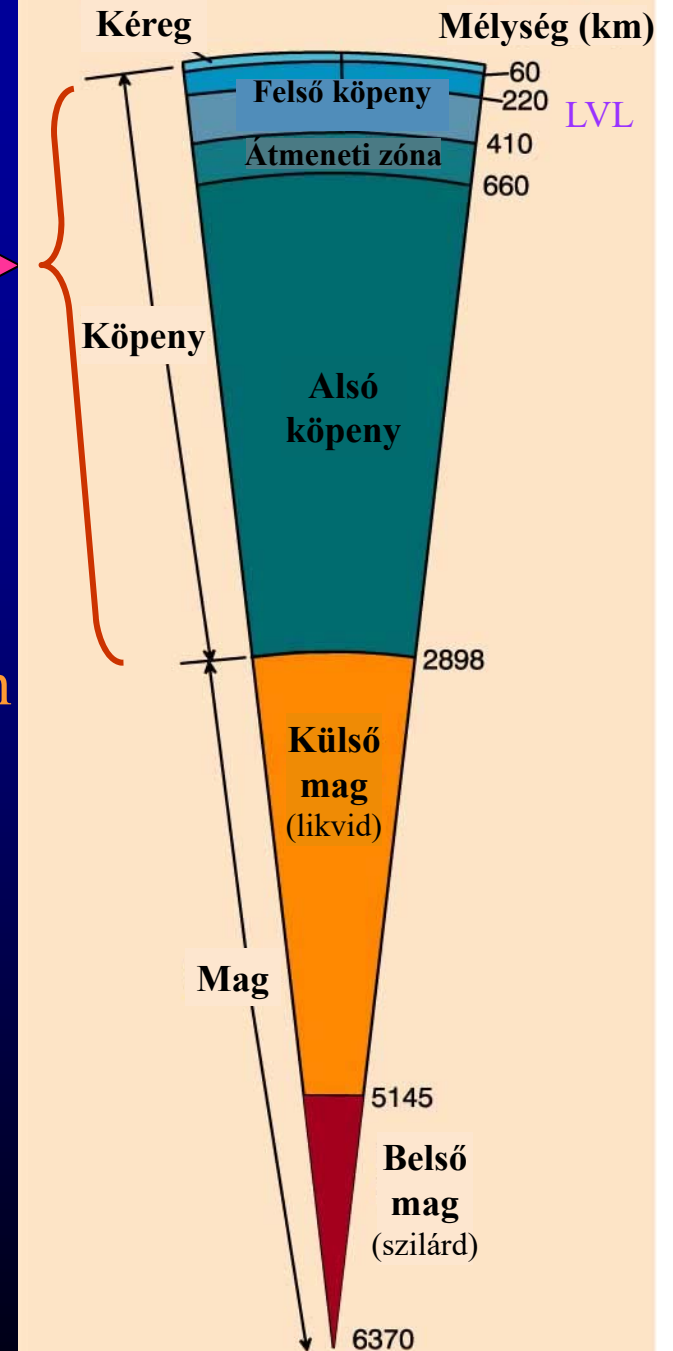
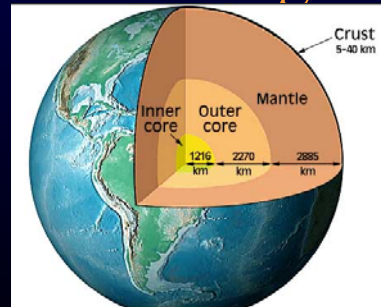
- ◆ Felső köpeny felső része (60-220 km)
- ◆ Asztenoszféra
- ◆ Kis sebességű zóna (LVL)

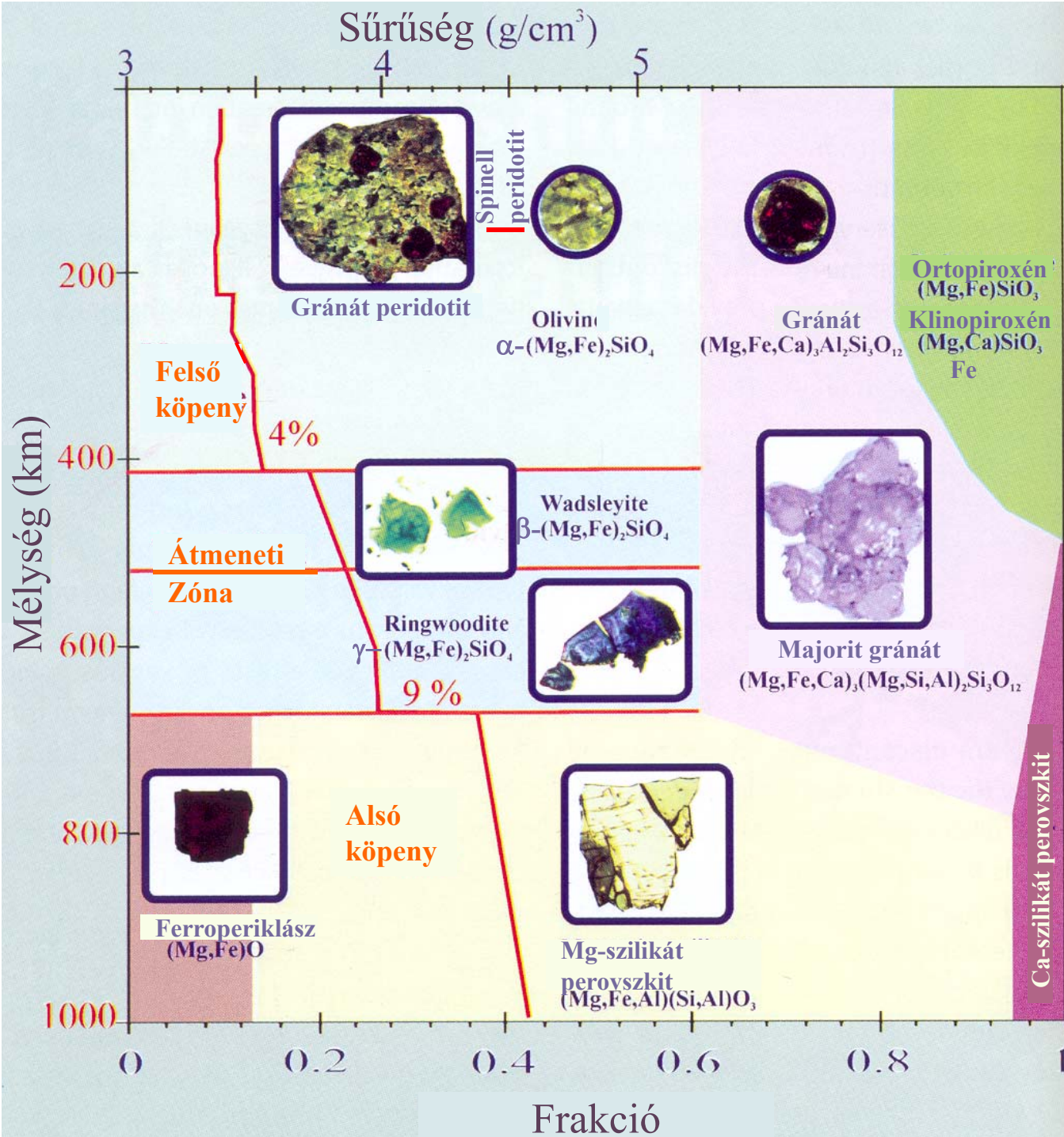
Átmeneti zóna sebesség növekszik ~ gyorsan

- ◆ 660 km spinell- → perovszkit-típus
☞ $\text{Si}^{\text{IV}} \rightarrow \text{Si}^{\text{VI}}$
- ◆ Gazdag geokémiaailag → olvad

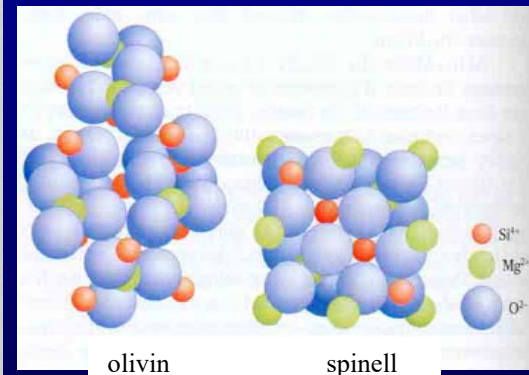
Alsó köpeny további fokozatos sebesség növekedés

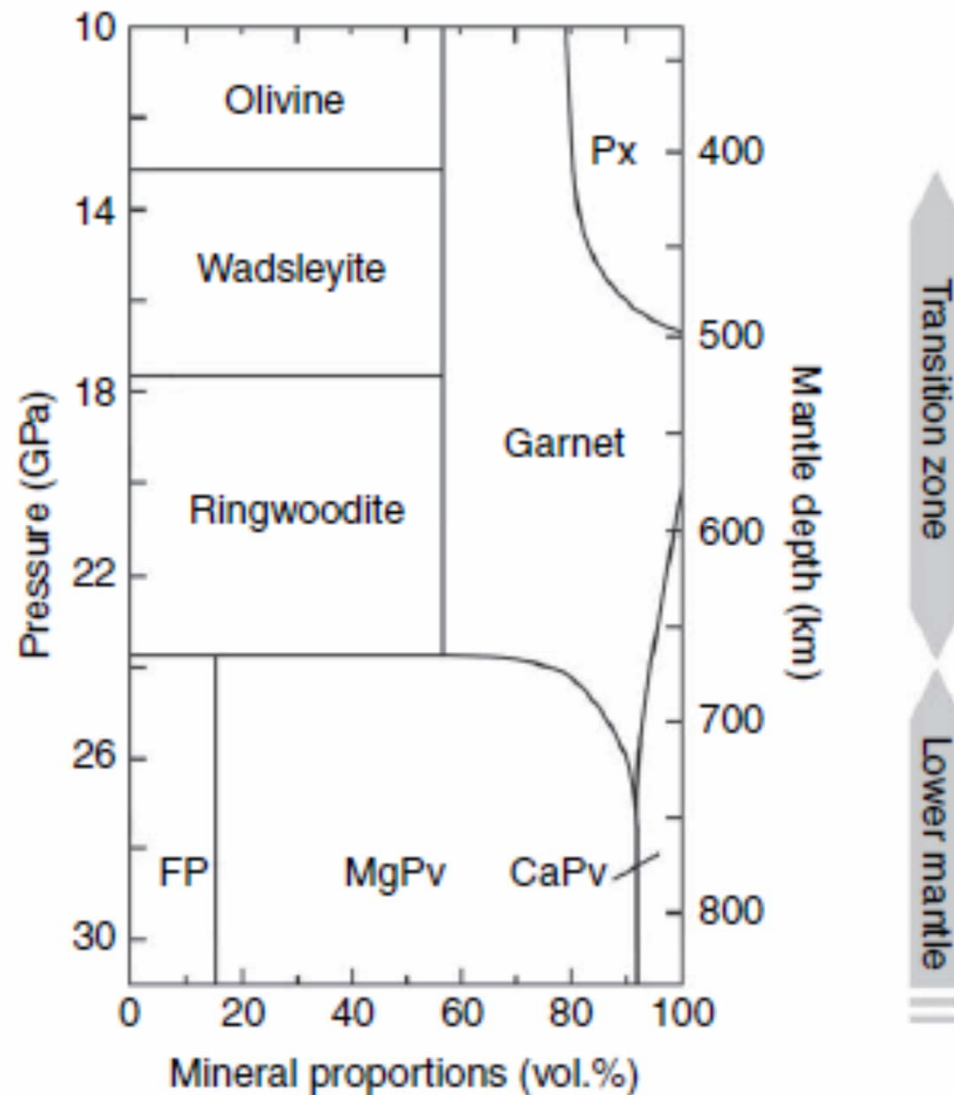
Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.



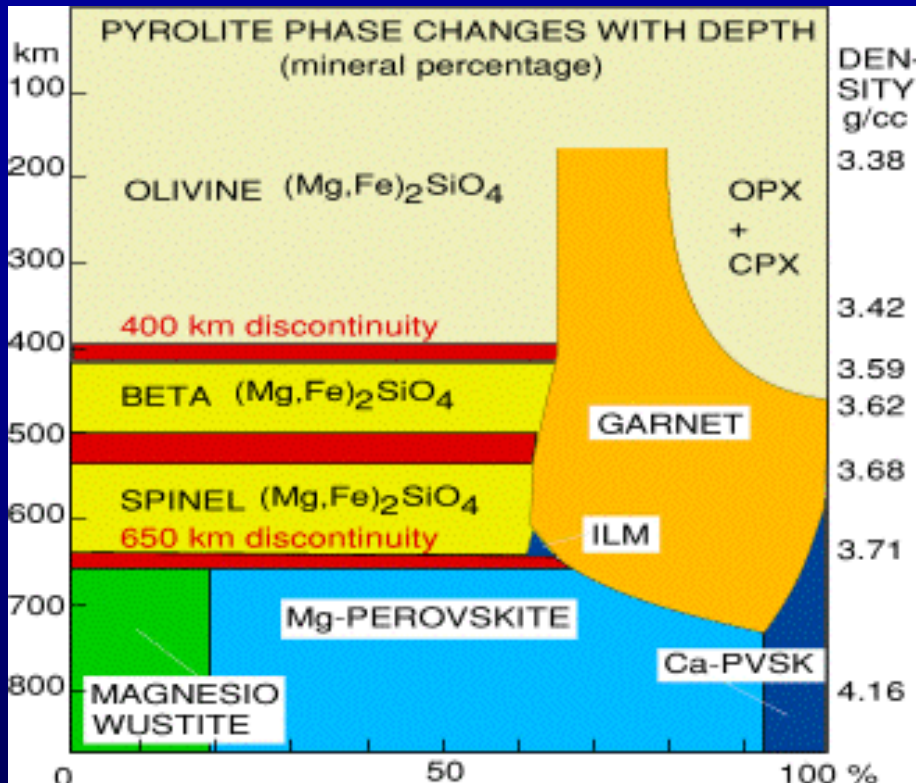


A felső köpeny, az átmeneti zóna és az alsó köpeny ásványi összetétele, továbbá a sűrűség változása a mélység függvényében





Mineral proportions in a peridotite composition as a function of pressure or depth (modified from Ringwood (1991) and Irifune (1994)). Symbols used are: Px, pyroxene; FP, ferropericlase; MgPv, magnesium silicate perovskite; CaPv, calcium silicate perovskite.



One of the problems of plate tectonics is the fate of the subducting slab. This can be traced, from seismic evidence, to descend to about 650 km; but the evidence is somewhat conflicting regarding the extent to which it penetrates the dense 650 km discontinuity. (See references by Jordan and Hilst). Because the phase changes with depth are now known in some detail, both for ultramafic mantle material and for subducted basaltic ocean crust, it is possible to calculate their modal compositions with depth. For instance, the modal composition of pyrolite with depth is shown in Fig. 10:

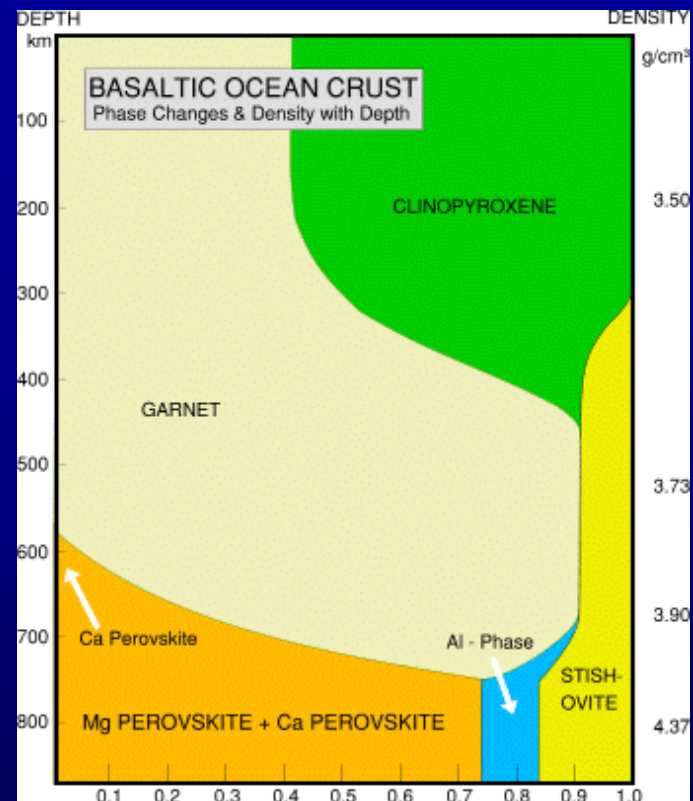


Fig. 11 shows the same calculations for basaltic ocean crust. Note that the plate which is subducting is not uniform mantle pyrolite but, because of melting at the ridge axis, it has segregated into a basaltic ocean crust (ca 5 km thick), residual harzburgite (from which the basalts were extracted) underlain by ordinary pyrolite. Knowing the mineral proportions and the densities of the minerals in each of the main rock types, undepleted pyrolite, depleted harzburgite, and basaltic ocean crust, it is then possible to calculate the density changes in each of these rock types with depth.

Fate of the subducted slab: Ringwood 1991 Model

A Föld szerkezete és összetétele

Mag:

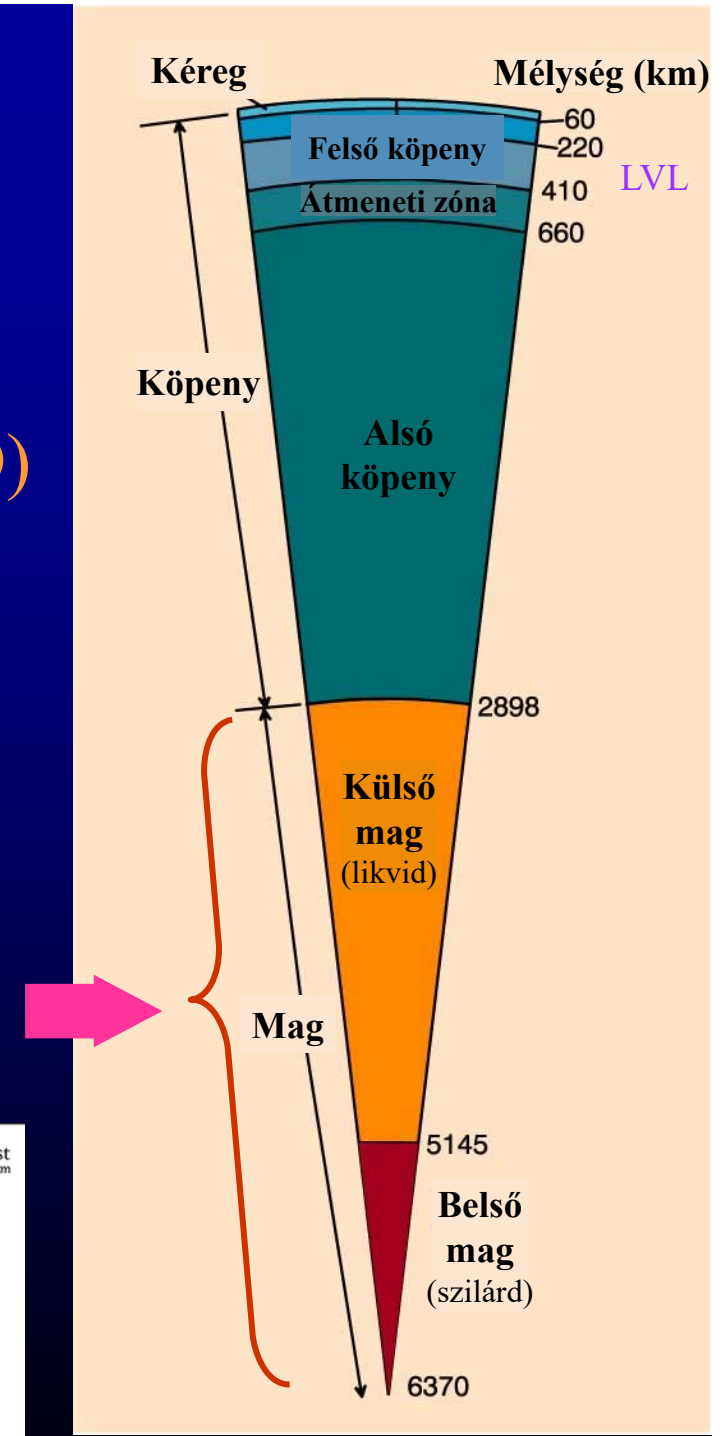
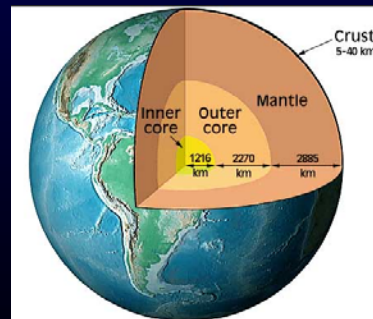
Fe-Ni(+Co) fémötvözet (+ S és O)

Külső mag folyékony, vezető,
áramlás, dinamó hatás →
mágneses tér

◆ nincs S-hullám

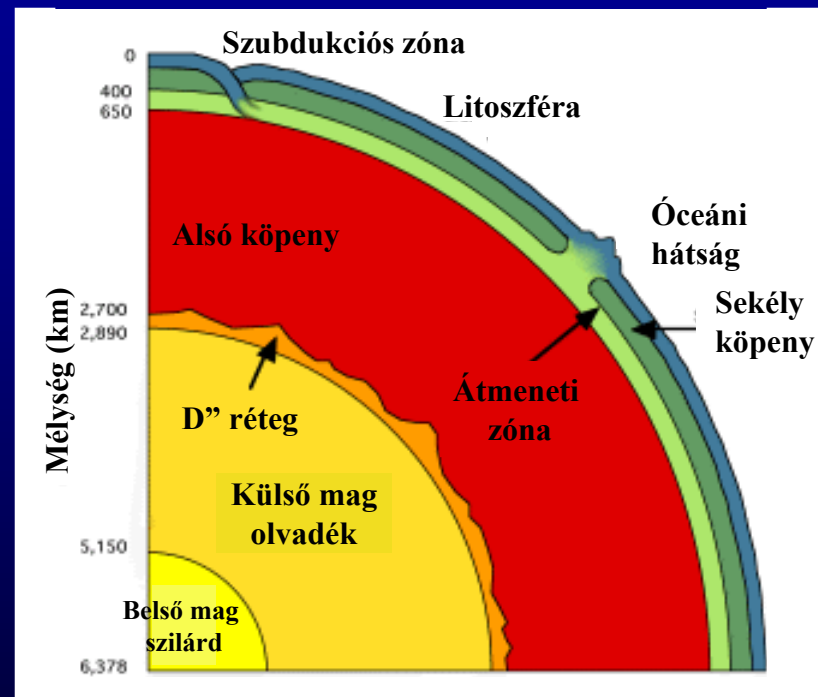
Belső mag szilárd (“P-fagyás”)

Winter (2001) An Introduction to Igneous
and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.



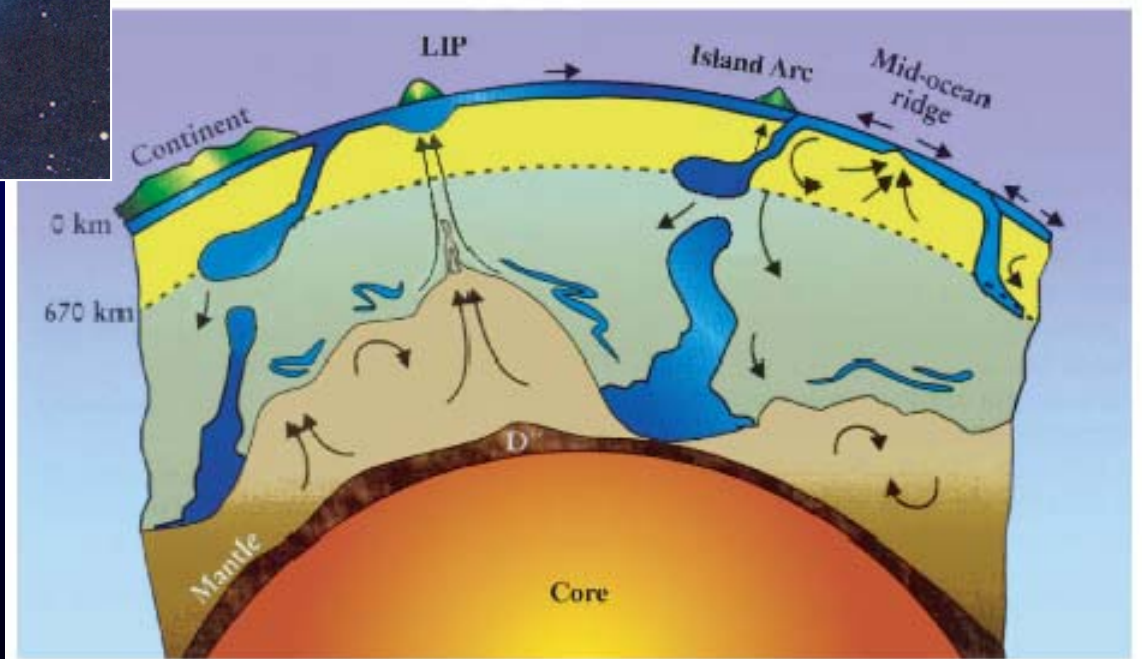
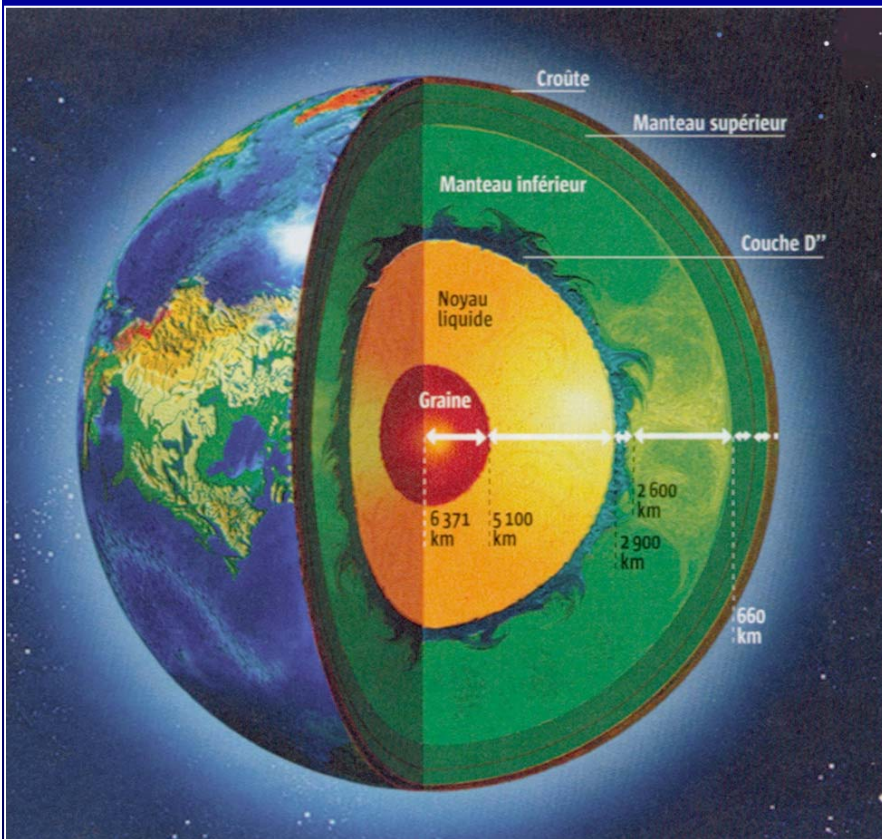
A Föld belső szerkezete és összetétele

D" réteg: 200-300 km vastag, összetétele különbözik az alsó köpenytől

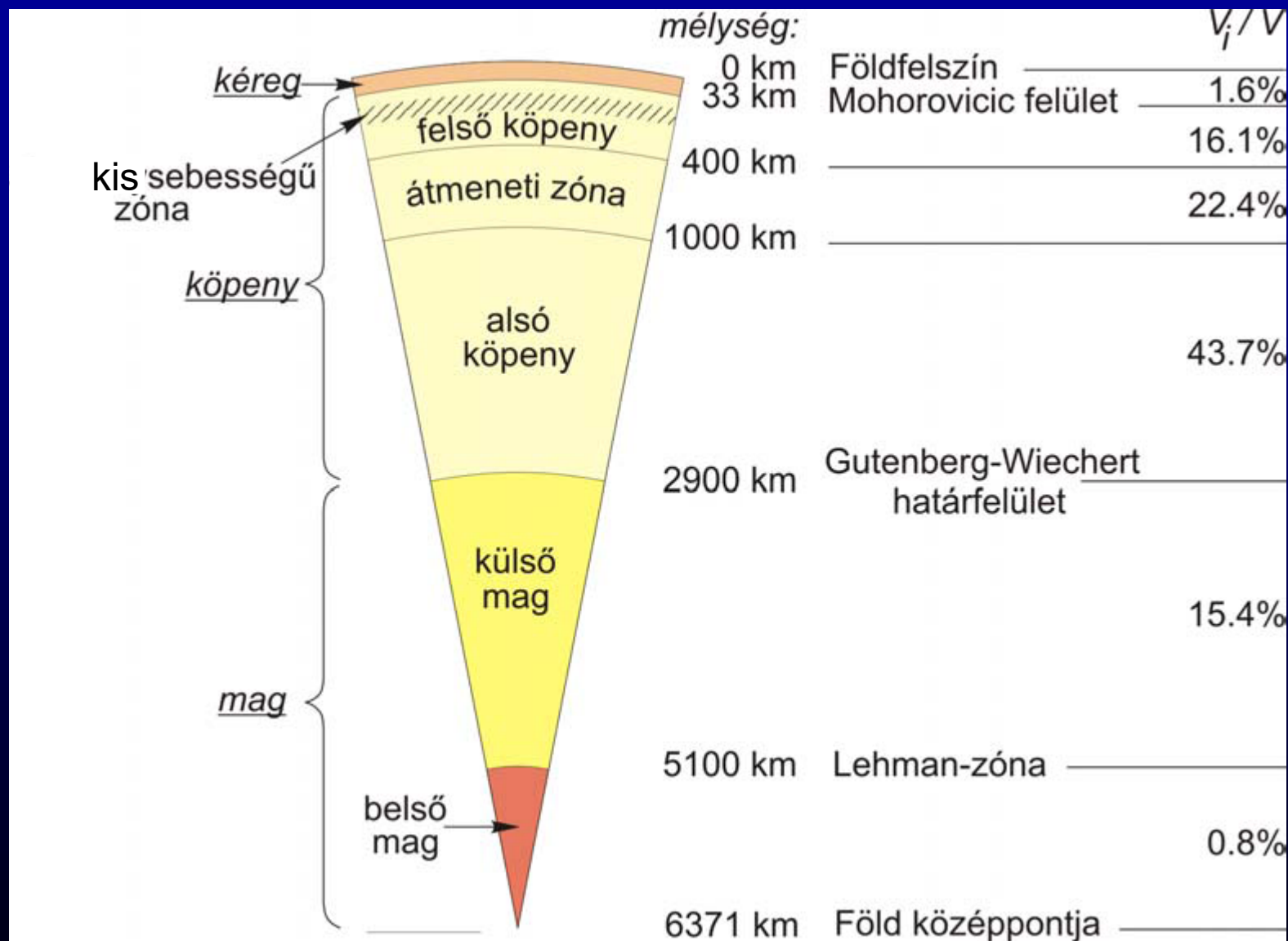


Cross-section of the Earth showing its layered structure (source Dziewonski and Anderson, 1981)

A Föld belső szerkezete és összetétele



A Föld övei



P és T változása a mélységgel



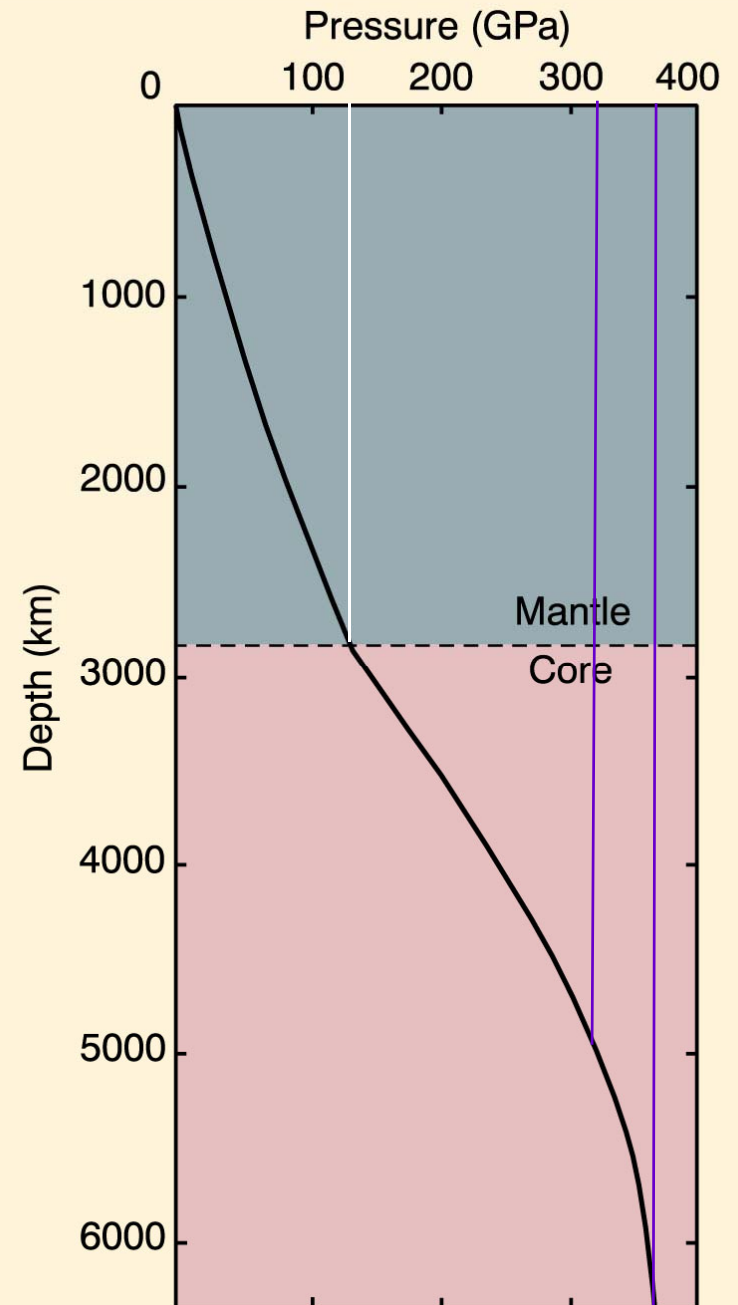
- A fizikai feltételek változás a milyen átalakulást (változást) von maga után a föld anyagaiban?

intenzív <--> extenzív változók

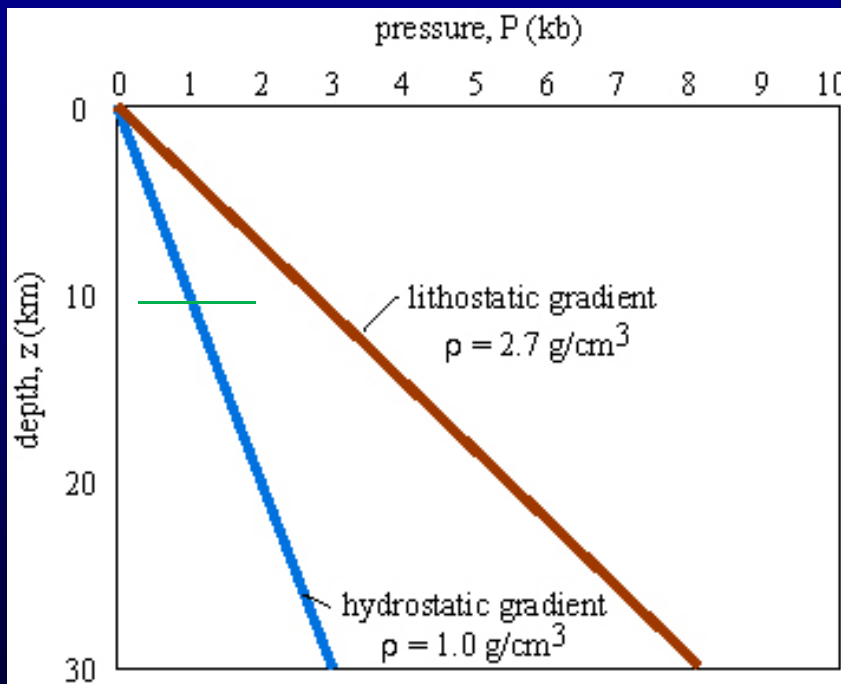
Nyomás gradiens

- P növekszik = ρgh (tömeg)
(Pa, de bar, kbar is)
 - ◆ hidrosztatikus és litosztatikus
- Közel lineáris a kéregben és köpenyben
 - ◆ $\sim 30 \text{ MPa/km}$ (0,33 kbar/km)
 - ◆ $\approx 1 \text{ GPa}$ az átlagos kéreg alatt
- Mag: ρ erőteljesen növekszik \rightarrow a fém ötvözet sűrűbb

Pressure variation with depth. From Dziewonski and Anderson (1981). *Phys. Earth Planet. Int.*, 25, 297-356. © Elsevier Science.



Nyomás gradiens



Hydrostatic pressure: the pressure caused by a column of water. In the upper crust of the Earth, there are enough fractures, cracks and porosity that the fluid within these voids is under hydrostatic pressure.

Lithostatic pressure: the pressure caused by a column of rock.

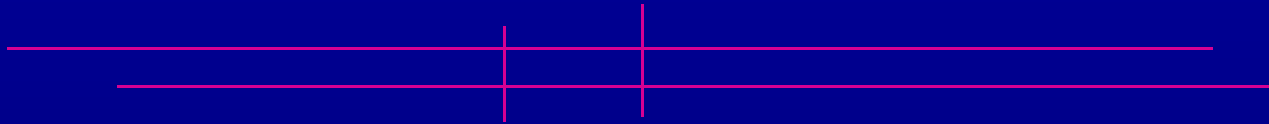
Hő és forrása a Földben



1. Hő ← a Föld korai akkréciójából és a differenciációjából (mag képződés) → hűlés
2. Hő ← az instabil atommagok radioaktív bomlásából (ma főleg a kéregből)
Hőtermelő képesség: gránit: $2,6 \cdot 10^{-13}$, bazalt: $3,8 \cdot 10^{-14}$, peridotit: $2,9 \cdot 10^{-16}$, kondrit: $1,2 \cdot 10^{-15}$, sziderolit: $1,0 \cdot 10^{-18}$ cal*g⁻¹*sec⁻¹ (kémiai összetétel)
3. Apály-dagály erők okozta súrlódási hő
 - ◆ **ma is lassan és folyamatosan a felszín felé áramlik (a Föld forgási energiájából)**
4. Napenergia

Információ: megfigyelés (mérés), modellezés, kísérlet, elméleti számolás, mag képződés (kémiai), fizikai tulajdonságok változása, radioaktív hőproduktivitás

Hő és forrása a Földben

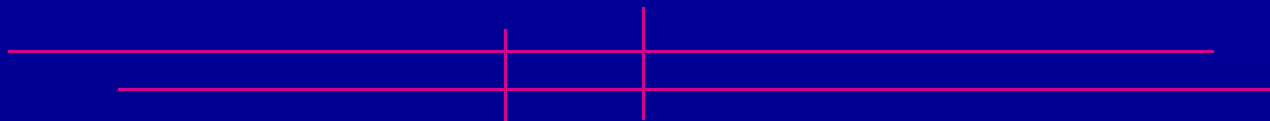


Föld hőáram értékei (Brown & Mussett, 1981):

	Kontinentális átlag (W/m ²)	Óceáni átlag (W/m ²)	Teljes hő- mennyiség (W)
Föld felszín:	$53 \cdot 10^{-3}$	$62 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{13}$
MOHO	$28 \cdot 10^{-3}$	$57 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{13}$
Mag/köpeny			$0,4-1,6 \cdot 10^{13}$

Különbség a kontinentális és óceáni kéreg között:

Hő és forrása a Földben



Radioaktív elem koncentráció és hőtermelés a Földben (Brown & Mussett, 1981):

	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Totál $\mu\text{W}/\text{m}^3$
Kontinentális kéreg	1,6	5,8	1,7-3,0	1,0-1,1
Óceáni kéreg	0,9	2,7	0,4	0,5
Köpeny	0,015	0,08	0,1	0,02

Kéreg (radioaktív elemek) > köpeny (tömeg) > mag (külső mag olvadt)

Wilson, 1989

Geotermikus gradiens (Geoterma)

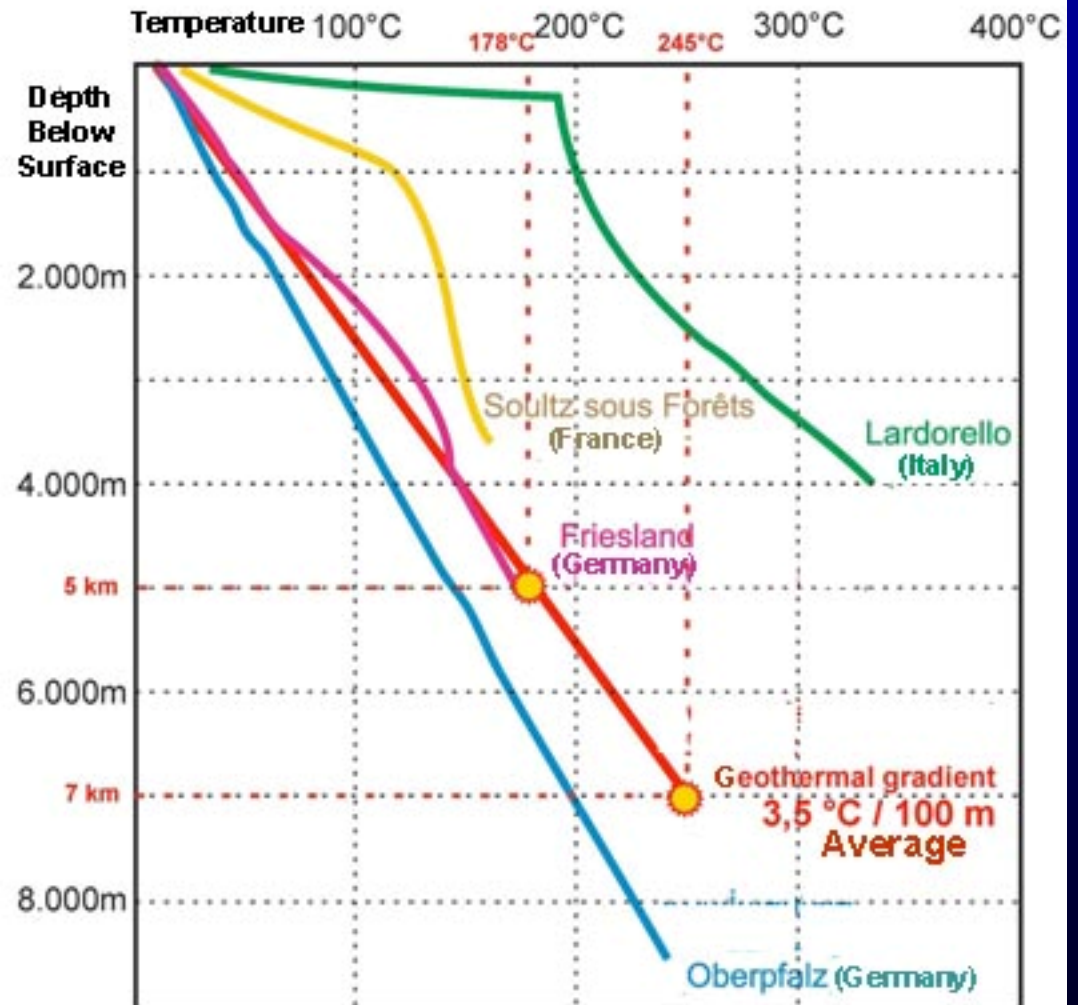
T változása a mélységgel
kőzet fizikai tulajdonságától
(porozitás) és a tektonikai
környezettől függ

Felszín közelben:

mélyfúrás-RU,
bánya-RSA:

20-40 °C/km

Earth's Crust Temperature Profile at Different Locations



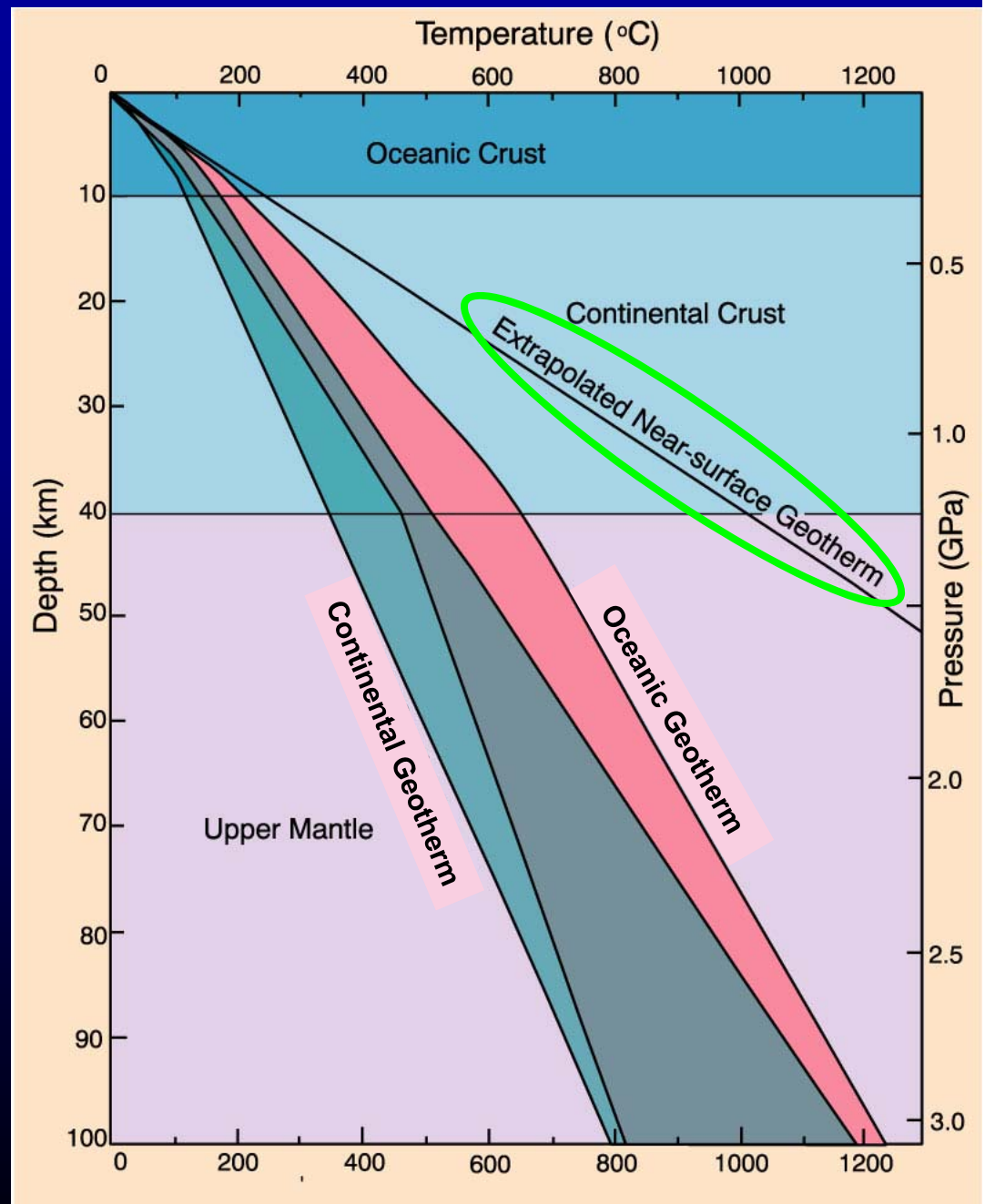
Geotermikus gradiens (Geoterma)

T változása a mélységgel (kb.
200 km-ig) tektonikai
környezet függvényében
(fiatal<->idős,
kontinens <->óceán)

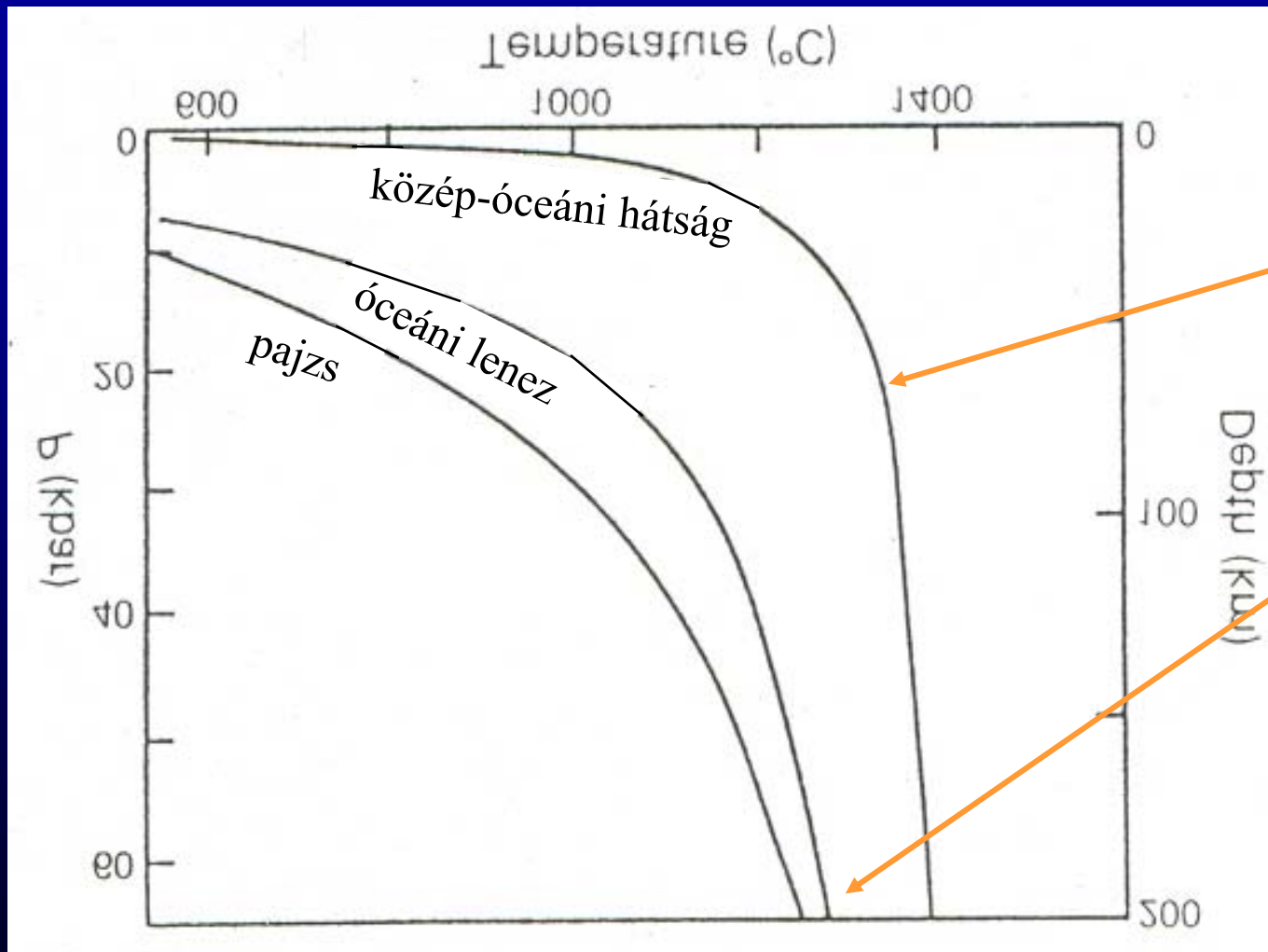
20-40 °C/km

Mag/Köpeny: (3000 +/- 500 °C)

Estimated ranges of oceanic and continental steady-state geotherms to a depth of 100 km using upper and lower limits based on heat flows measured near the surface. After Sclater *et al.* (1980), *Earth. Rev. Geophys. Space Sci.*, 18, 269-311.



Geotermikus gradiens



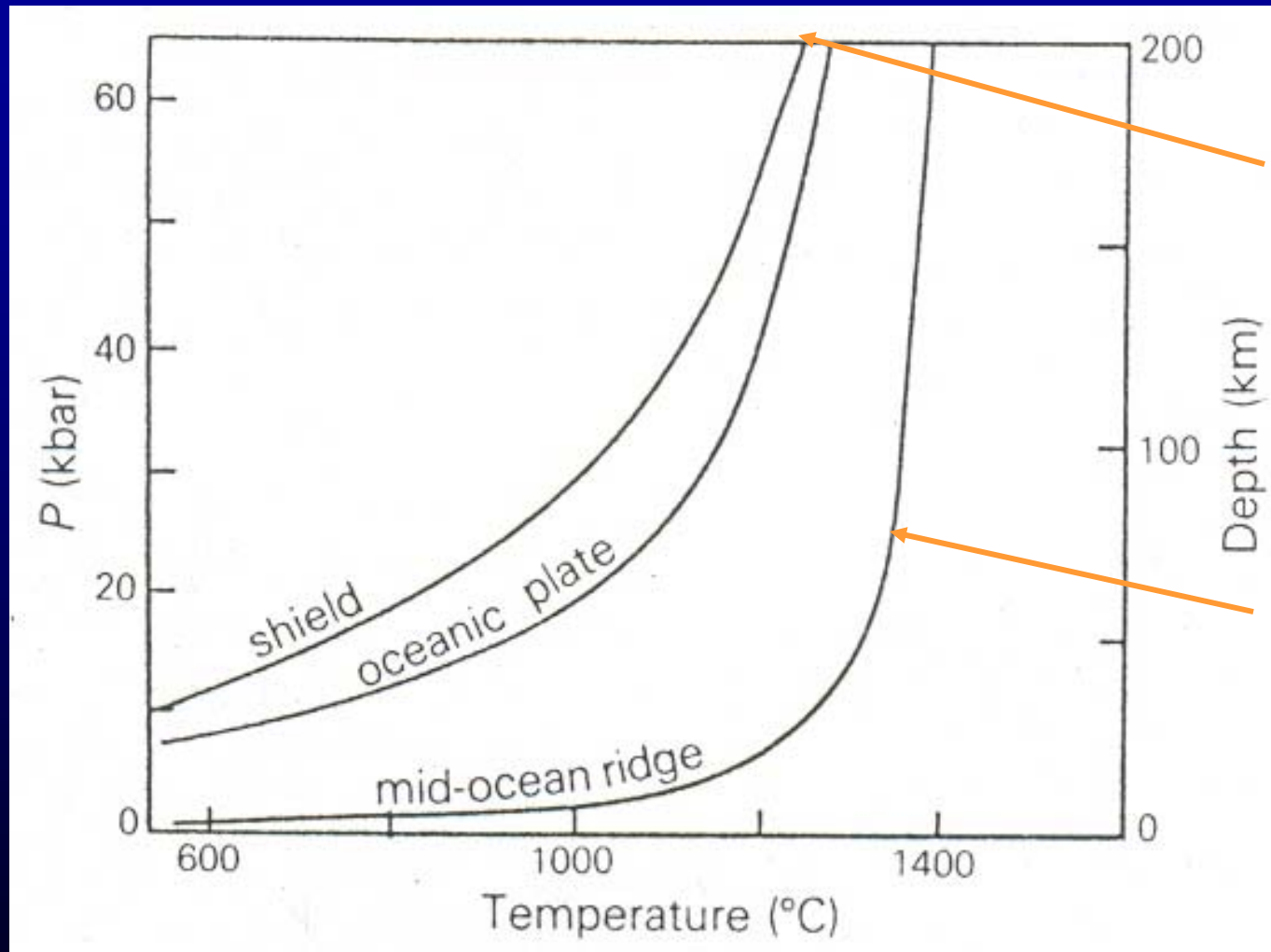
a MOR már kb. 75 km-től adiabatikus

kb. 200 km –től lefelé adiabatikus gradiens:
0.3-0.5 °C/km
(a hőmennyiség konstans)

Variation in geothermal gradient within the upper 200 km of the Earth (Wyllie, 1981)

Wilson, 1989

Geotermikus gradiens



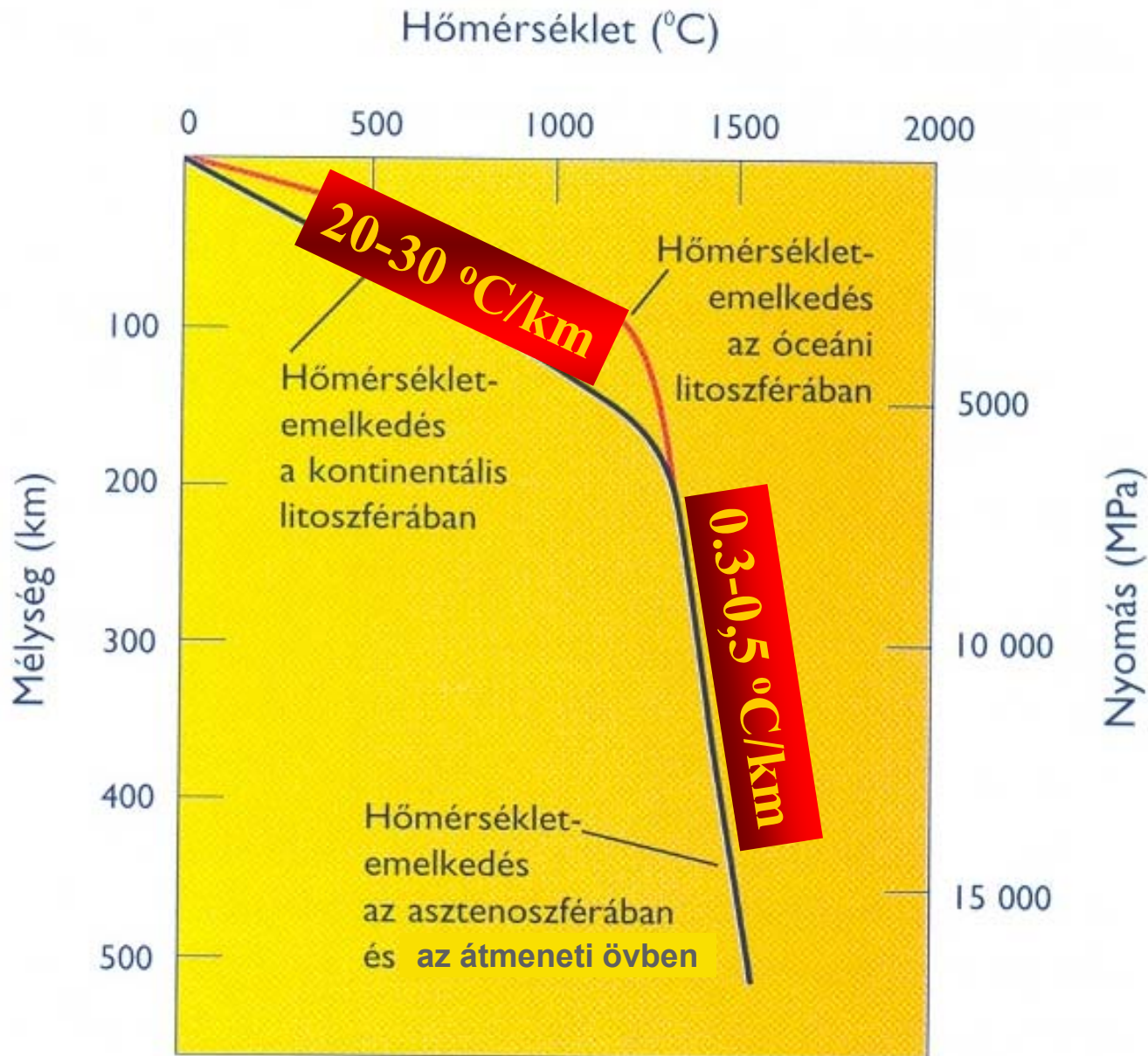
kb. 200 km –től
lefelé adiabatikus
gradiens:
0.3-0.5 °C/km
(a hőmennyiség
konstans)

a MOR már kb. 75
km-től adiabatikus

Variation in geothermal gradient within the upper 200 km of the Earth (Wyllie, 1981)

Wilson, 1989

Geotermikus gradiens

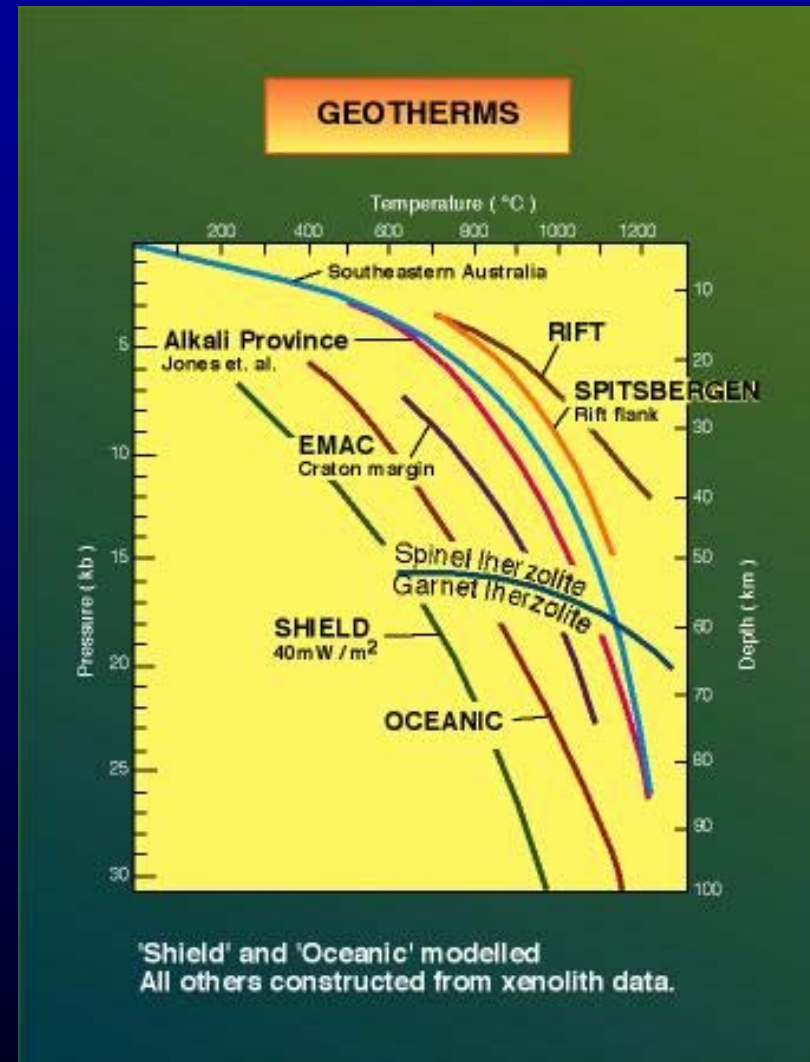


Geotermikus gradiens a kontinentális és óceáni litoszférában. Az utóbbiban a hőmérséklet emelkedés jelentősebb (**hővezetésben** különbség).

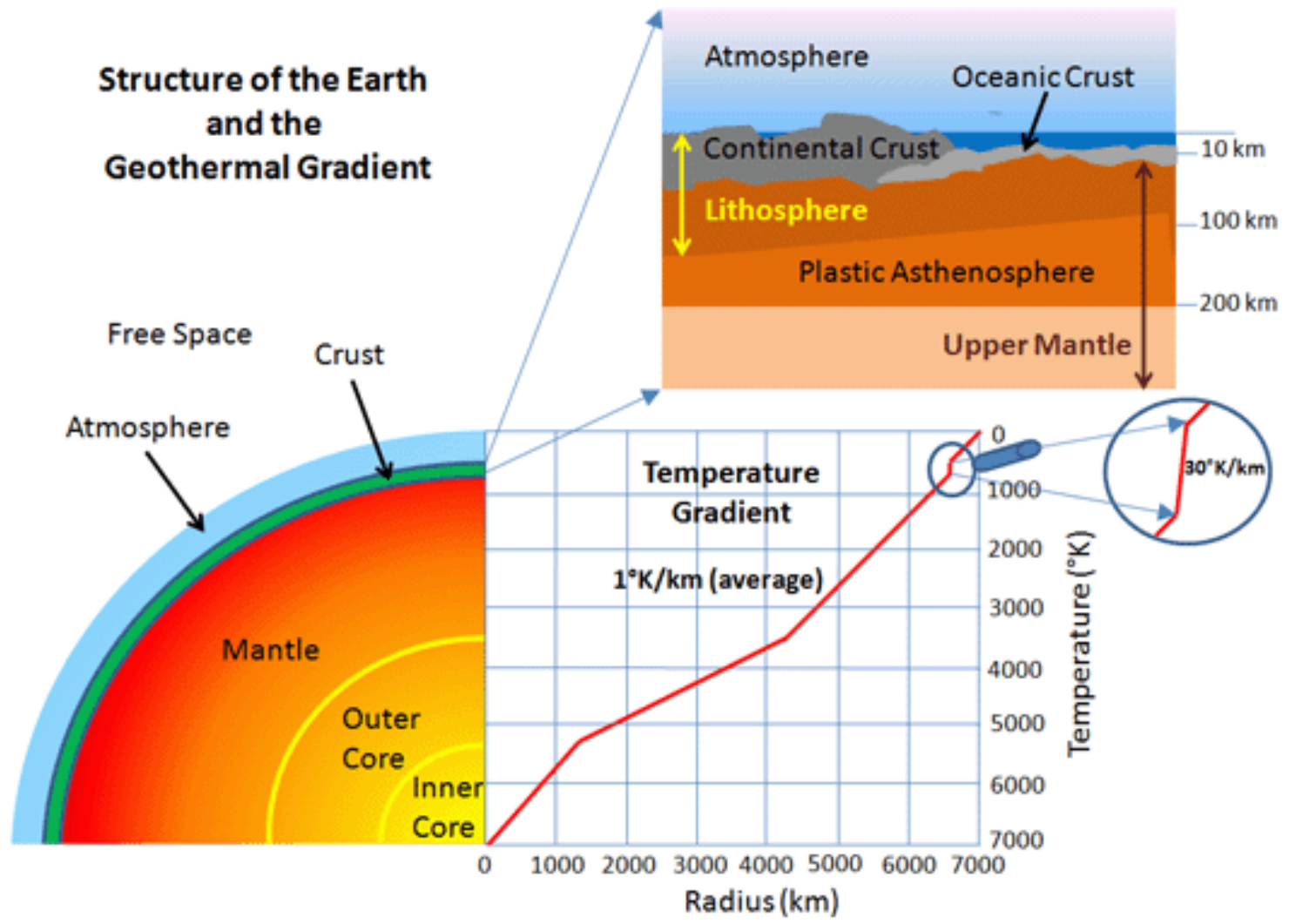
Az asztenoszférában és az átmeneti övben a gyorsabb **konvekciós** hőátadás és az **adiabatikus** tágulás miatt a geotermikus gradiens nagymértékben csökken, ill. állandó lesz.

Geotermikus gradiens

DK-Ausztrália,
DNy-USA,
Kárpát-Pannon régió xenolitokból



Structure of the Earth and the Geothermal Gradient



Hő transzfer (transzport)

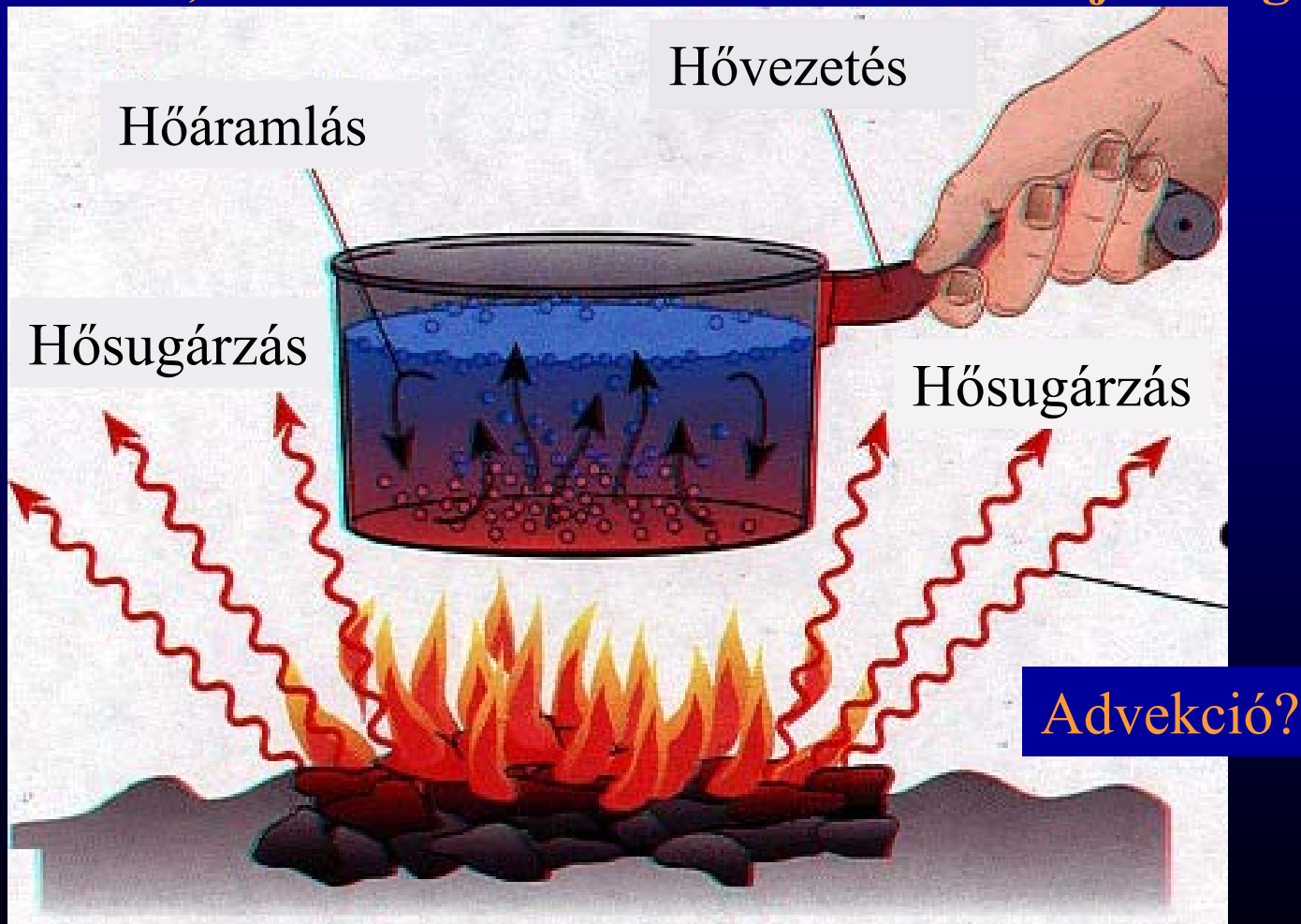


Mechanizmus: melegebb → hidegebb

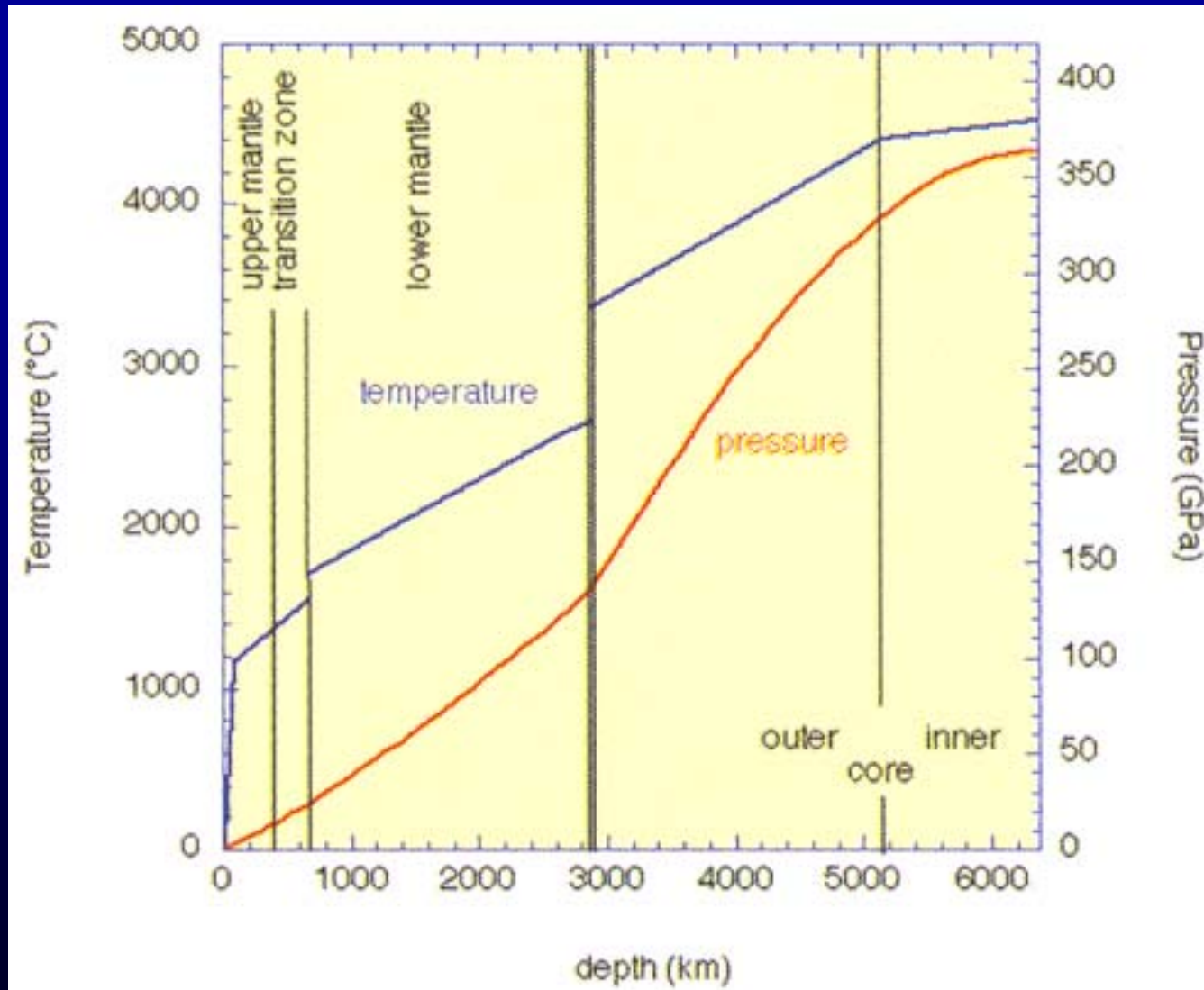
1. Hősugárzás (radiáció): elektromágneses hullámokkal (Föld az űrbe, Nap a Földre) (transzparens közeg)
2. Hővezetés (kondukción): hőenergia átadás forróbb részecskék rezgőmozgásával – szilárd, függőleges, litoszféra és D” réteg (fém < - > szilikát) (lassú, közetek?)
3. Hőáramlás (konvekcion): hőenergia átadás anyagáramlással (képlékeny anyag, olvadék, fluidum) – függőleges, asztenoszférában és külső magban: a belső felhajtóerő okozza, amit a termális tágulás vezérel (gyertya lángja - hol a legforróbb?; konvekciós cella), hatásos
4. Hőcsere (advekción): hőenergia átadás mozgó anyaggal (közettel, pl. kiemelkedés) a hajtóerő megjelölése nélkül – vízszintes?

Hő transzfer (transzport)

Összefoglalás: kontrolálja a metamorfózist, magmás olvadást, kristályosodást, a Föld kőzeteinek mechanikai tulajdonságait

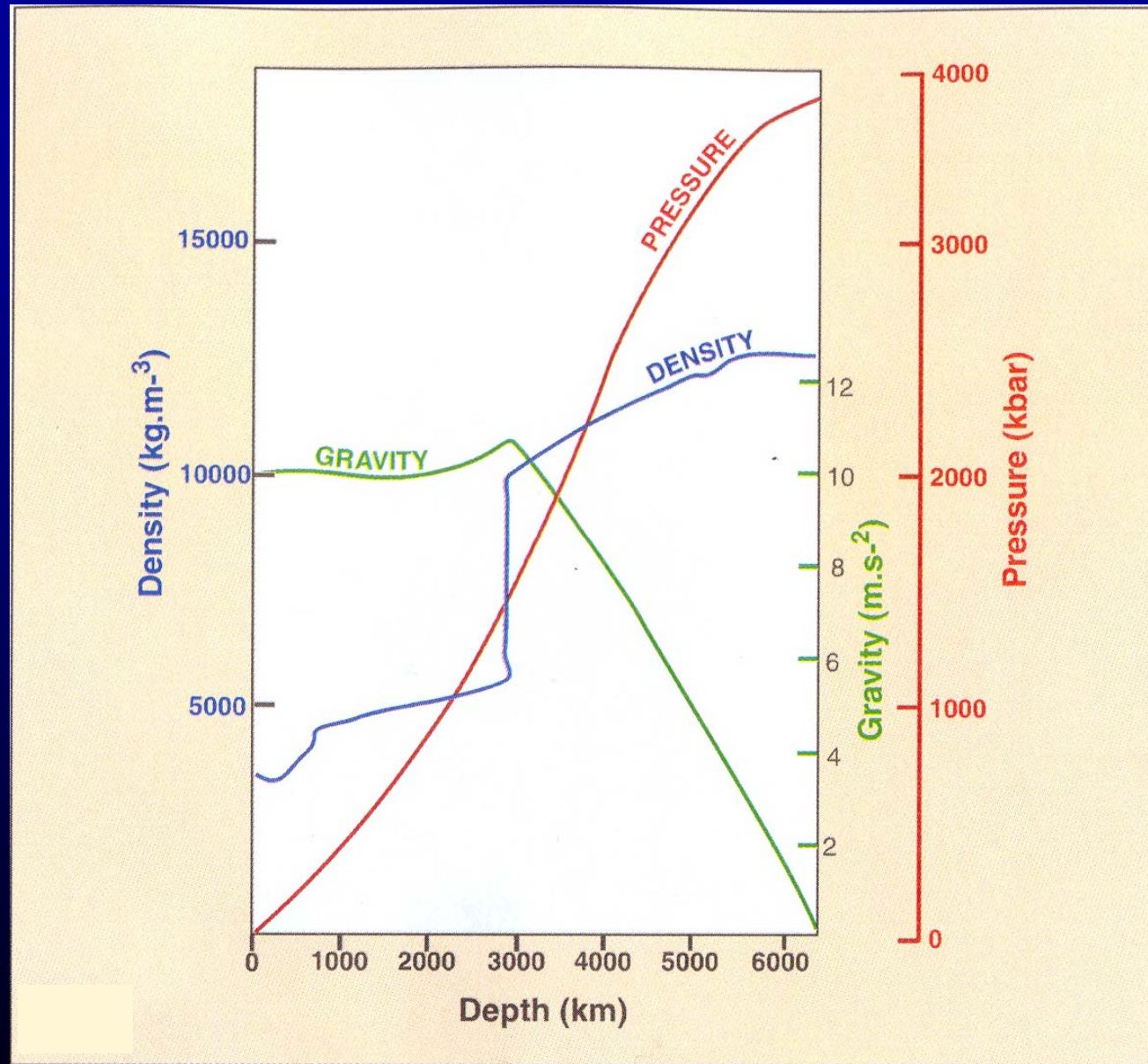


Nyomás és hőmérséklet változása a Földben



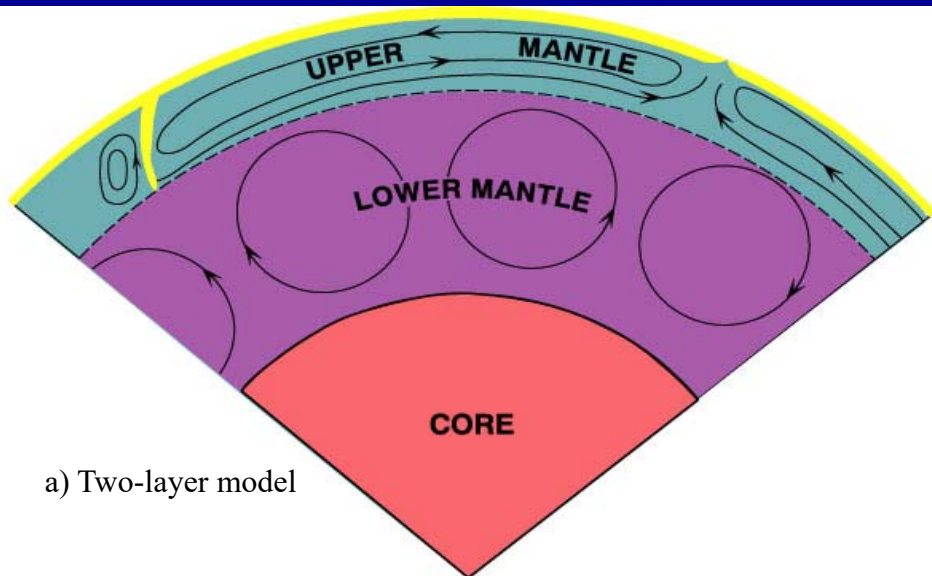
Pressure and temperature distribution in the Earth. The temperature estimate is uncertain, and at large depths is on the order of at least 1000°C.

Nyomás, sűrűség és gravitáció változása a Földben

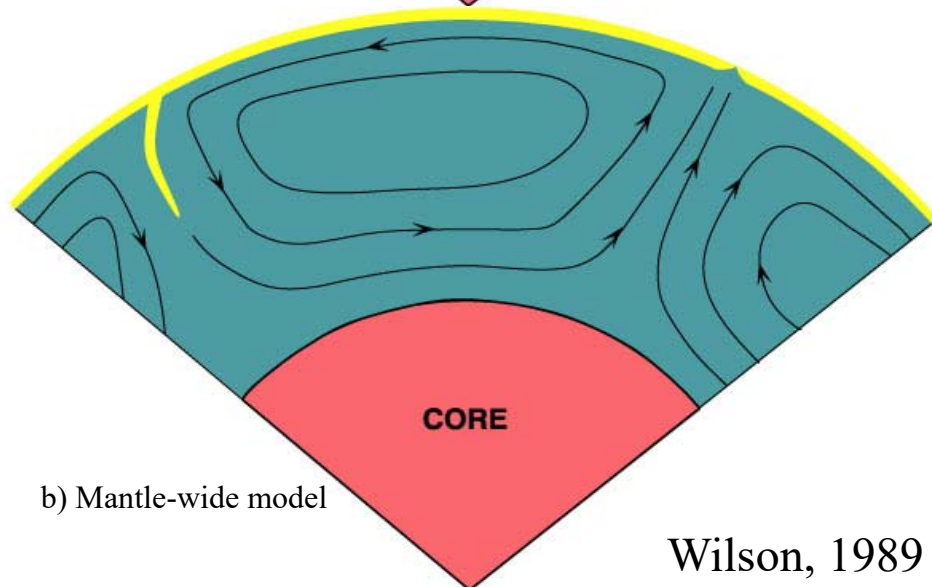


Hő transzfer (transzport)

Hőáramlás a Földben:



a) Two-layer model



b) Mantle-wide model

Wilson, 1989

Lemeztektonikai elmélet:
anyag mozgás, ami a termális
áramláson alapul

A litoszféra nem passzív utas,
óceáni kéreg: ha idős, hideg és sűrű
→ lesüllyed a köpenybe

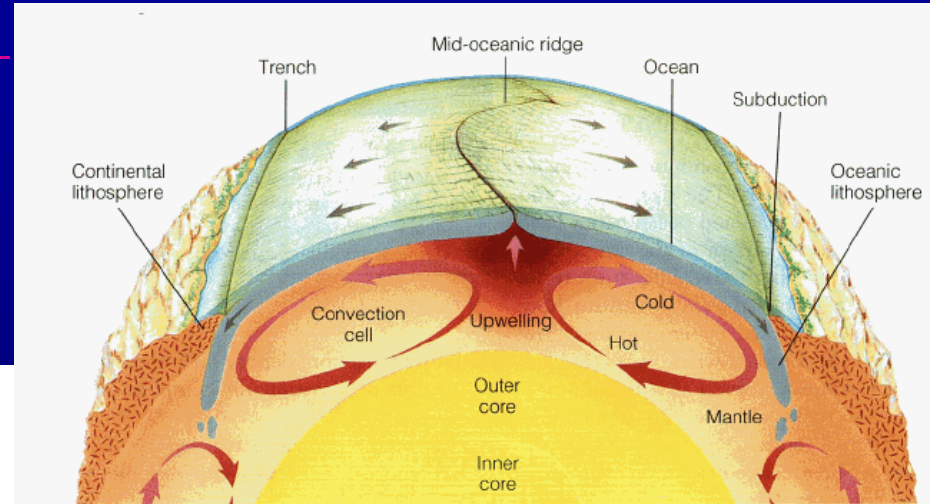
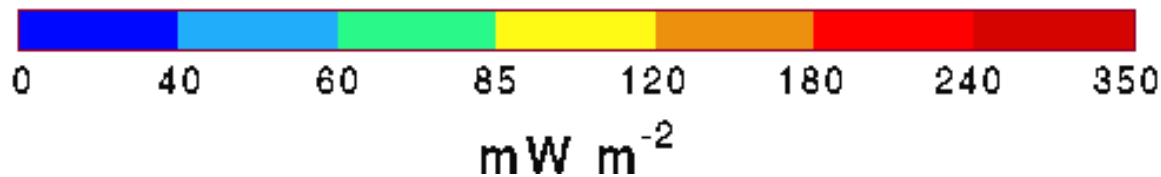
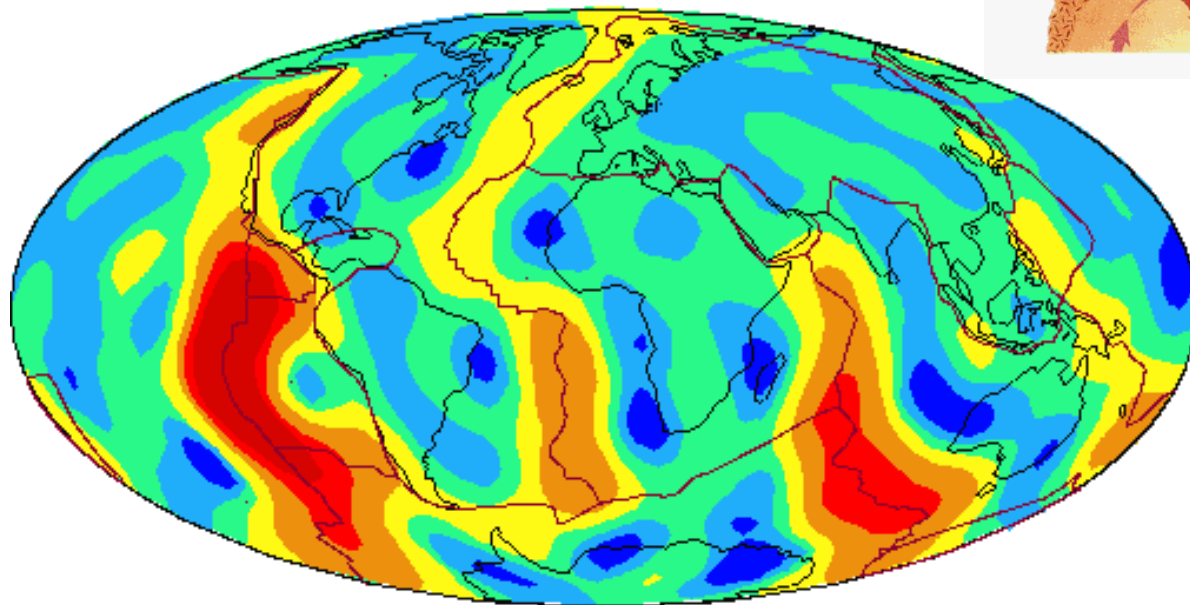
- a) kétrétegű modell (átmeneti zóna,
forró pontok)
- b) egyrétegű modell (hő a felszínre,
aktív hajtóerő, plume - hőoszlop)

Models of convection in the mantle
(Basaltic Volcanism Study Project, 1981)

Globális hőáramlás

Elfogadott modell

Heat Flow

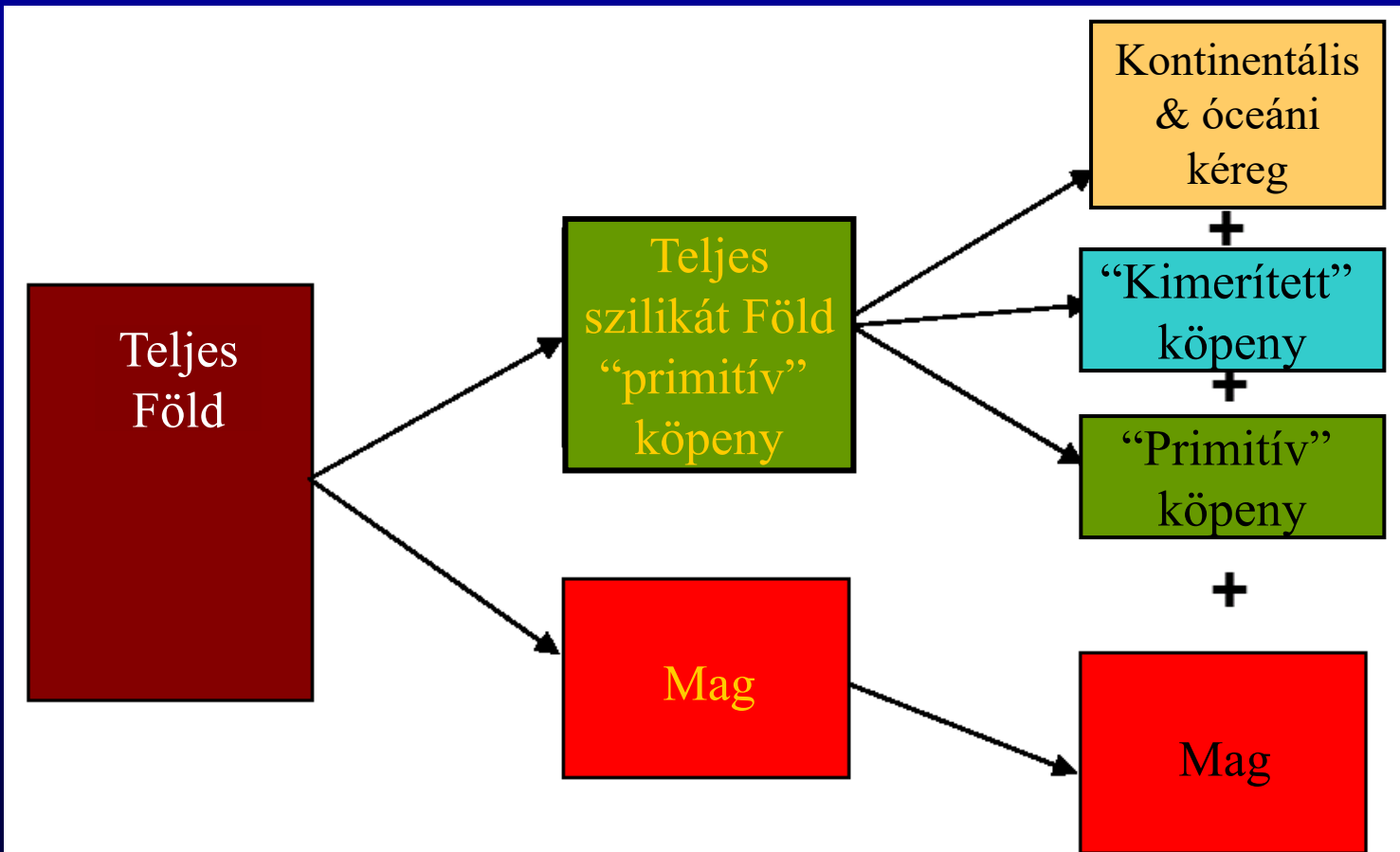


Hőáramlás:

meleg: közel az óceán-
középi hatásghoz

hideg: a kratonokon

A Föld teljes összetétele



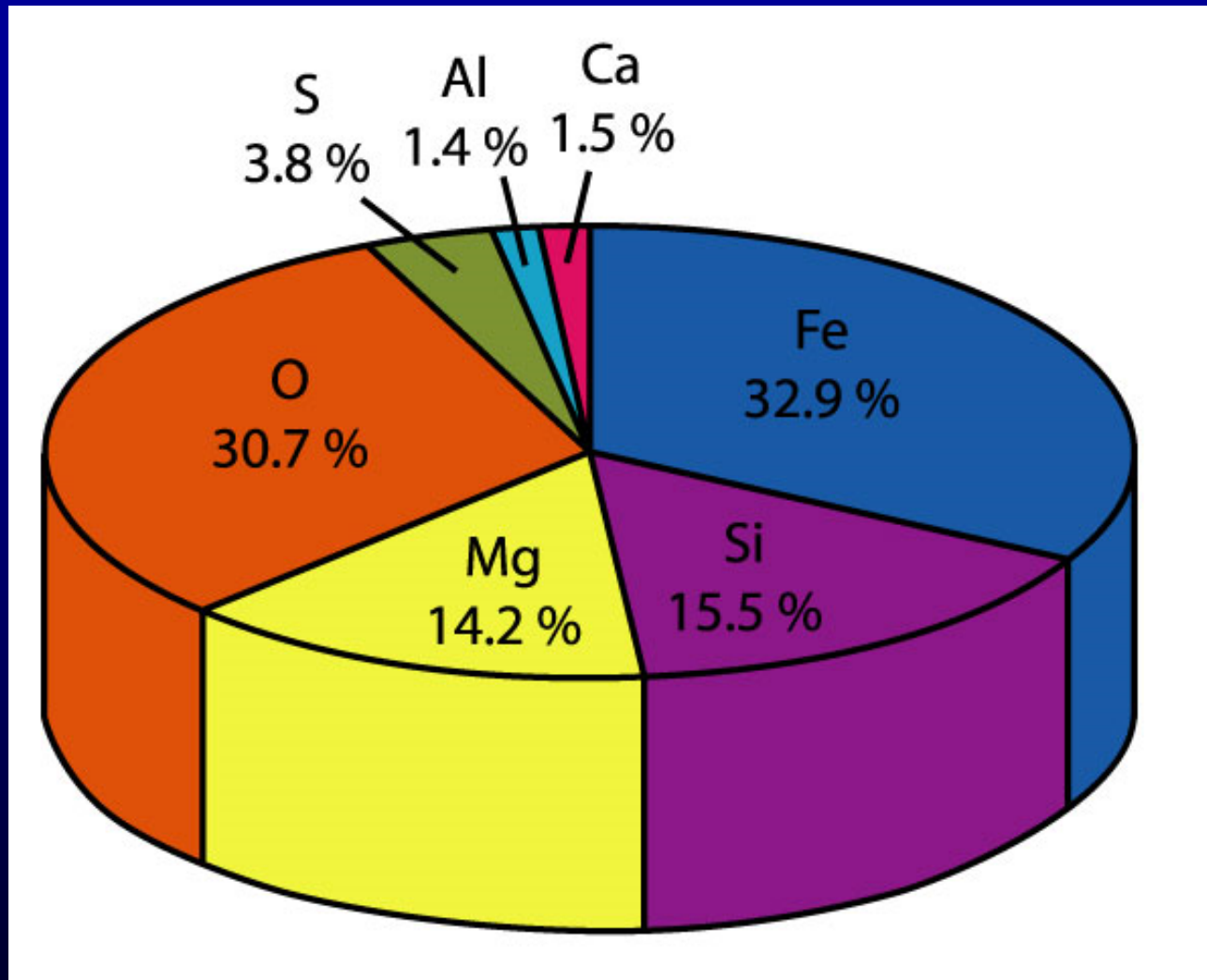
A kezdet

Az első 30 Mév

Ma

Figure 2.4. Schematic diagram illustrating the simple concept of determining the bulk composition of the Earth by adding up all the reservoirs that have formed.

A hét leggyakoribb elem a Földben



Relative atomic abundances of the seven most common elements that comprise 97% of the Earth's mass. An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology, by John Winter , Prentice Hall.