

Éghajlatváltozások a Föld történetében amit tudunk és amit tudni vélünk nyolc pontban



Szalai Zoltán

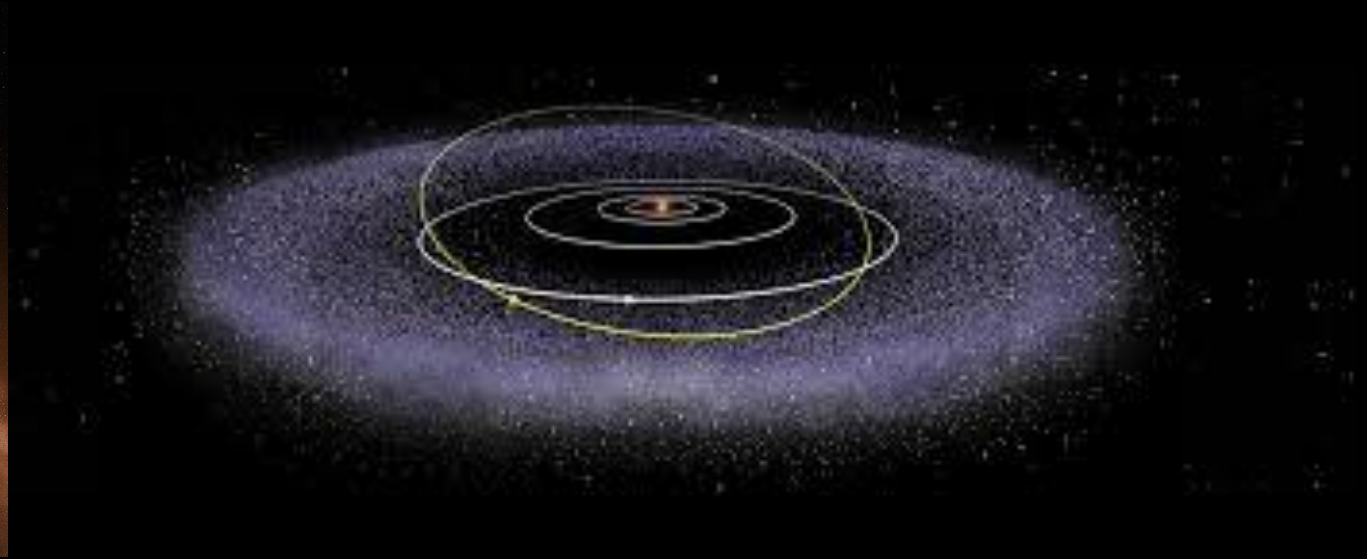
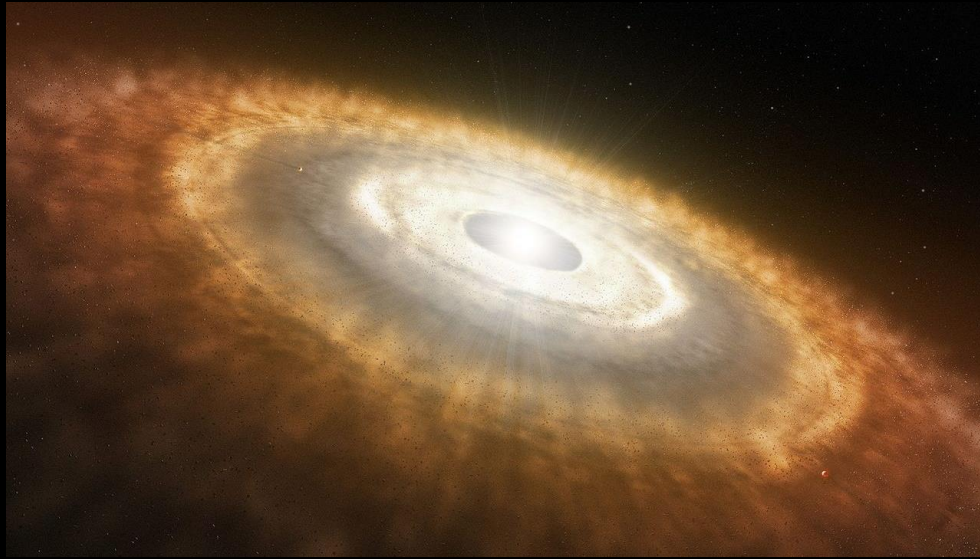
HUN-REN CSILLAGÁSZATI ÉS FÖLDUDOMÁNYI KUTATÓKÖZPONT

ELTE TTK Környezet és Tájföldrajzi Tanszék

szalai.zoltan@csfk.org

1. Rövid áttekintés a kőzetbolygók (Vénusz - Föld - Mars) planetáris történetéről - Miért is lettünk ilyen jó hely?
2. A földtörténeti időskála
3. Mely tényezők befolyásolják nagy időléptékben a Föld klímáját?
4. A légköri CO₂ koncentráció változásának mozgatórugói: hova tűnt az a rengeteg szén?
5. Geenhouse - Coldhouse - Icehouse időszakok a Föld történetében és ezek kapcsolata a légköri CO₂ koncentráció változással.
6. Na de mit is teszünk most? (Azaz honnan jön az a rengeteg szén?)
7. Színre lépnek többiek (dinitrogén-oxid, metán, szintetikus vegyületek)...
8. Mit hoz a jövő?

A NAPRENDSZER 4,6 MILLIÁRD ÉVE ÉS MA



Mercury

Venus

Earth

Mars



Jupiter



Saturn

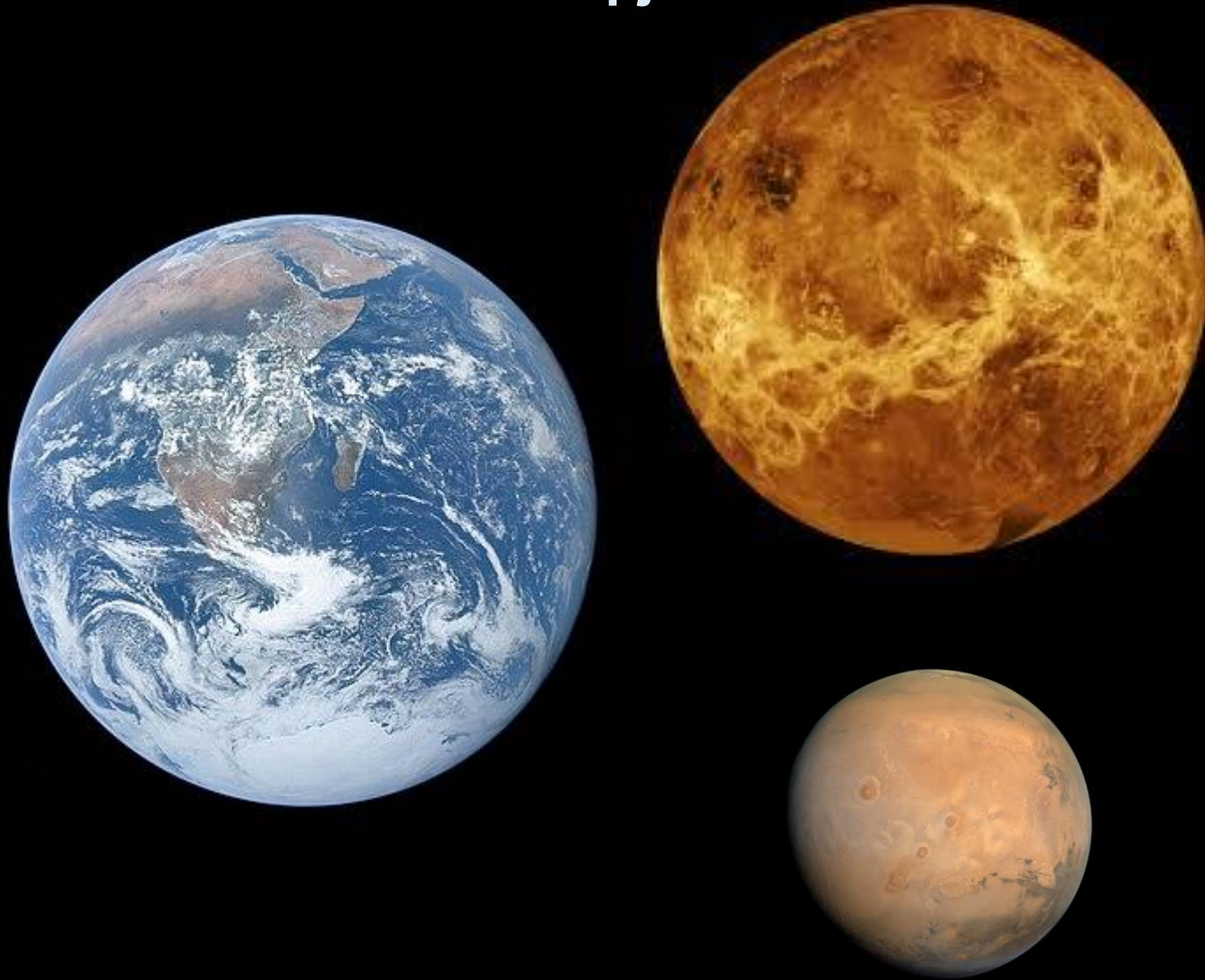


Uranus

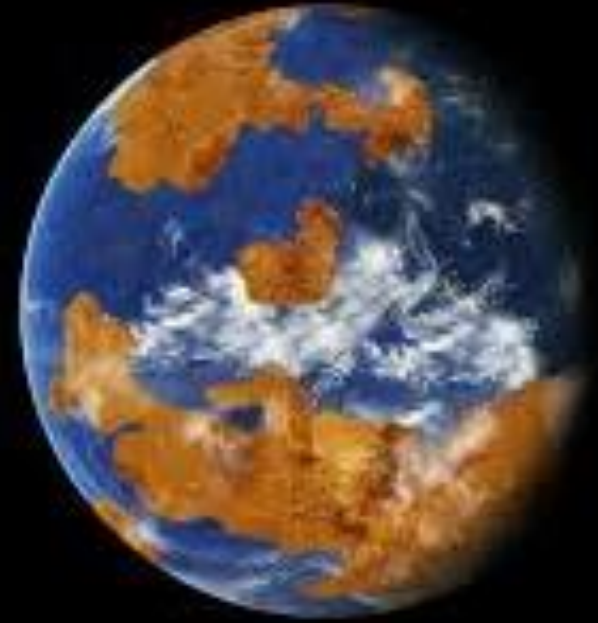


Neptune

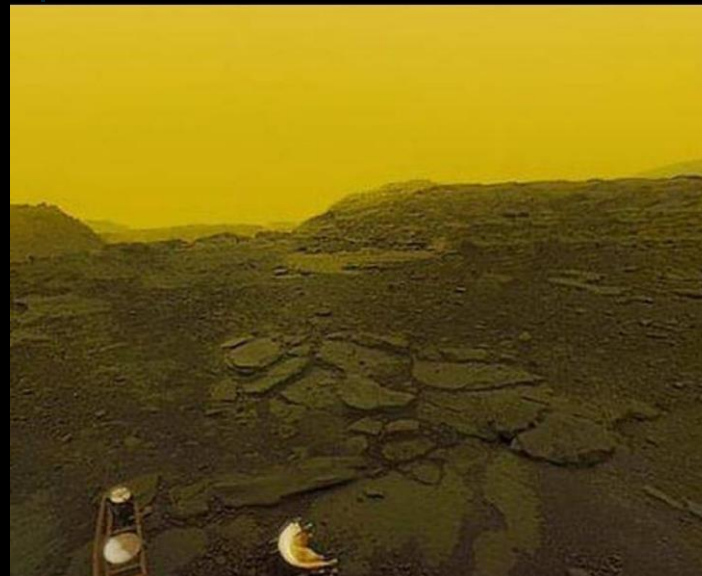
A Föld és testvérei napjainkban



A Vénusz és a Mars 3,5 Ga



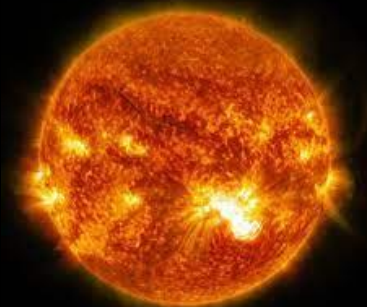
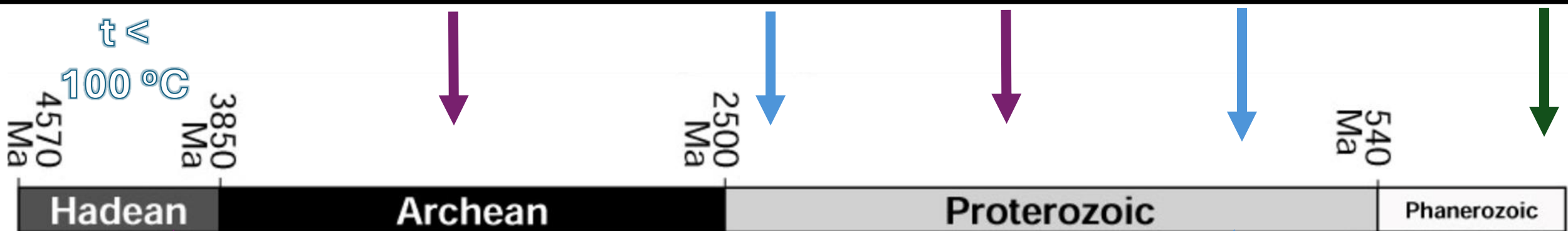
A Föld és testvérei napjainkban



Légnyomás
90 bar
Hőmérséklet
480 °C

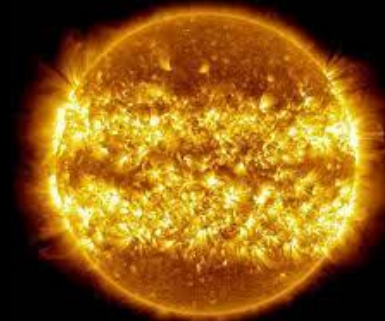


Légnyomás
7.5 milibar
Hőmérséklet
-100 °C

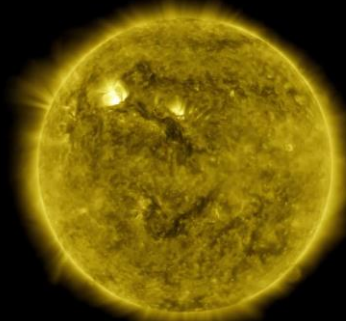


70%

NAP SUGÁRZÁSI INTENZITÁSA



92%



100%

KÉMIAI KÖRNYEZET

Légköri és a világóceánban oldott gázok összetétele

Üvegház Hatású Gázok mennyisége a légkörben

Szerves anyagok jelenléte és eredete

Szerves anyagok bomlása

Reduktív vs. Oxidatív környezet

Mállási folyamatok minősége

FIZIKAI KÖRNYEZET

Beérkező és távozó energia
(beérkező energia mennyisége)
(üvegház hatás erőssége)
(albedo)
(sugárzási kényszer)

Kontinensek területe és földrajzi helyzete (földfelszín albedója)

Óceánok felszínének területe (földfelszín albedója)

Domborzati viszonyok és a felszín lepusztulásának erőssége

ÉLŐVILÁG

A metabolizmus fejlődése

Anabolizmus fejlődése
(kemoszintézis)
(fotoszintézis)

Katabolizmus fejlődése
(sejtlégzés)

Biomassza tömege

Bioszféra diverzitása

Biológiai pumpa

(a légköri CO₂ megkötése)

Szilikát-karbonát ciklusra hat
(a légköri CO₂ megkötése)

BEÉRKEZŐ ENERGIA

Nagyon hosszú távú tényezők
(tízmillió - milliárd évek)

A Nap sugárzási intenzitása nő

c.a. 0,8% / 100 m év

Gough D.O. Solar Physics 74.1

DOI: 10.1007/BF00151270

**Kontinensek elhelyezkedése,
Kontinentális kőzetlemezek
arányának növekedése,**

Világóceán felületének változása

Miller, K. G., Wright, J. D., & Fairbanks, R. G. (1991).
Unlocking the Ice House: Oligocene-Miocene oxygen
isotopes, eustasy, and margin erosion. Journal of
Geophysical Research: Solid Earth, 96(B4), 6829–
6848.

DOI: 10.1029/90JB02015

Hoffman, P. F., & Schrag, D. P. (2002). The Snowball
Earth hypothesis: Testing the limits of global change.
Terra Nova, 14(3), 129–155. DOI: 10.1046/j.1365-
3121.2002.00408.x

FELSZÍN ALBEDÓJA

Hosszútávú tényezők
(tízezer – millió évek)

**Vulkanizmus és tektonikus
aktivitás**

Eiler Paleoclimate reconstruction using carbonate
clumped isotope thermometry

<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.09.001>

Raymo, M. E., & Ruddiman, W. F. (1992). Tectonic
forcing of late Cenozoic climate. NATURE, 359
(6391), 117–122. DOI: 10.1038/359117a0

Föld pályaelemei ill. ezek változása

Hays, J. D., Imbrie, J., & Shackleton, N. J. (1976).
Variations in the Earth’s orbit: Pacemaker of the ice
ages. Science, 194(4270), 1121–1132. DOI:
10.1126/science.194.4270.1121.

Óceáni cirkuláció megváltozása

Rahmstorf, S. (2002). Ocean circulation and climate
during the past 120,000 years. Nature, 419(6903),
207–214.

ÜVEGHÁZHATÁSÚ GÁZOK

Középtávú tényezők
(évszázadok - évezredek)

Óceáni cirkuláció megváltozása

Rahmstorf, S. (2002). Ocean circulation and climate
during the past 120,000 years. Nature, 419(6903),
207–214.

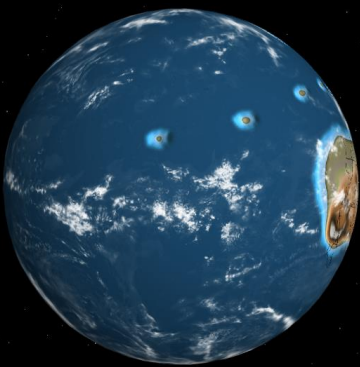
Jégborítás változása

Hays, J. D., Imbrie, J., & Shackleton, N. J. (1976).
Variations in the Earth’s orbit: Pacemaker of the ice
ages. Science, 194(4270), 1121–1132. DOI:
10.1126/science.194.4270.1121.

Albedo (%)	
Jég	70-90
Fedetlen földfelszín	40
Fedetlen talaj	17
Füves puszta	20-30
Erdő	8-18
Óceánfelszín	3

PLANETÁRIS ALBEDO

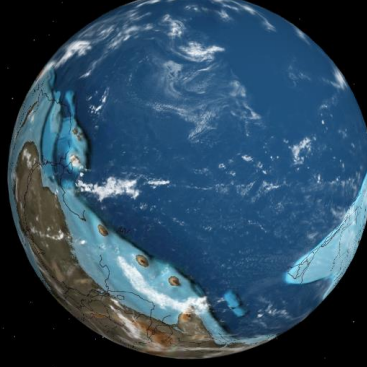
VILÁGÓCEÁN / KONTINENSEK HELYZETE / JÉGBORÍTÁS



2 800 Ma



800 Ma



470 Ma



250 Ma

2 800 Ma

VULKANIZMUS ÉS HEGYSÉGKÉPZŐDÉS

léggöri CO₂
emelkedik



vulkanizmus
intenzitása nő



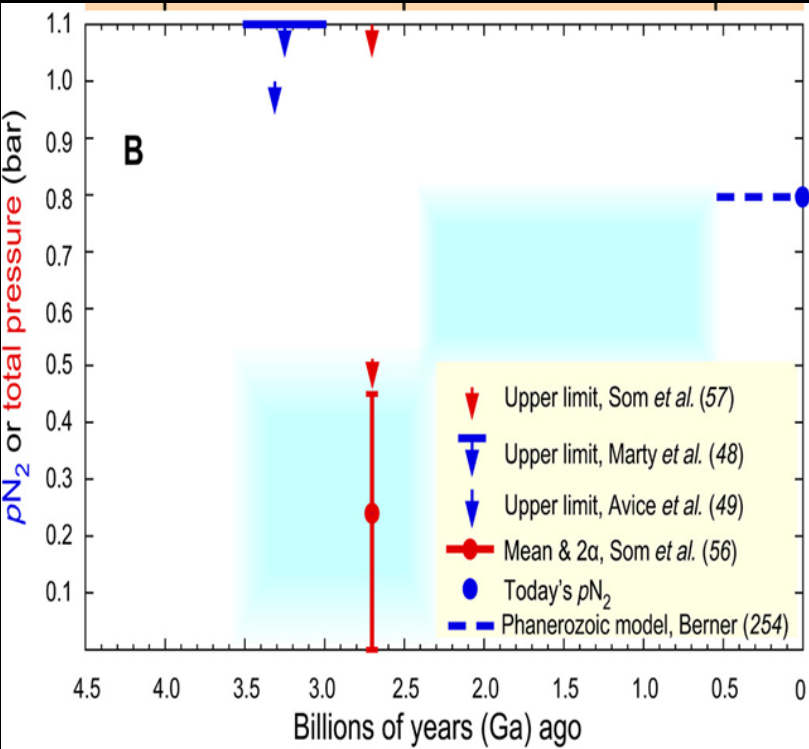
mállás és az
erózió nő



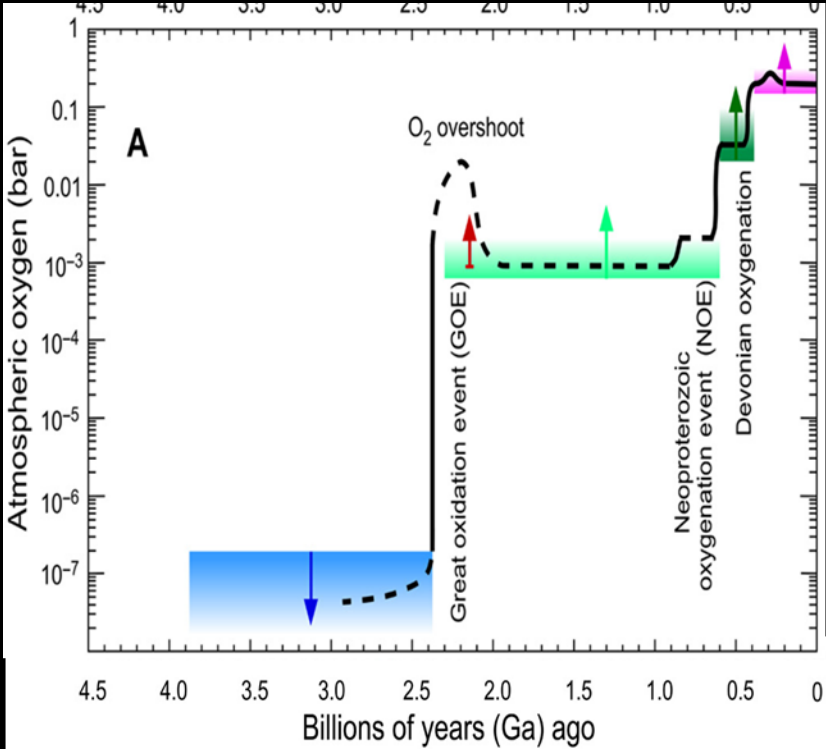
léggöri CO₂
csökken

LÉGKÖR TÖMEGE ÉS ÖSSZETÉTELE

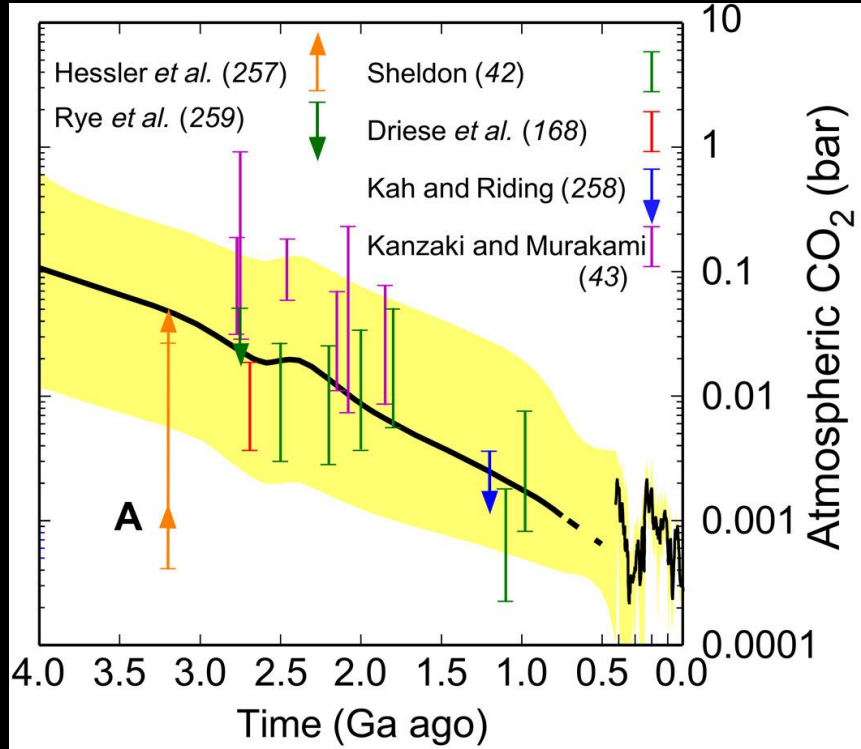
nitrogén



oxigén



széndioxid



4 Ga ~ 1.1 bar

Napjainkban ~ 0,78 bar

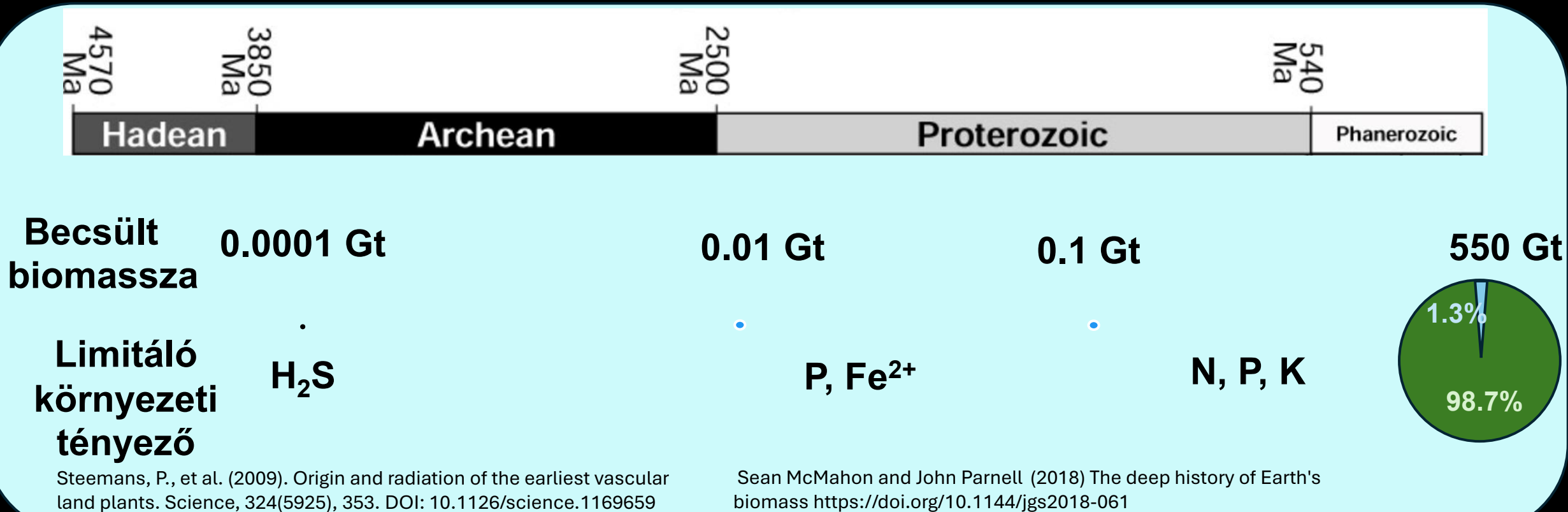
4 Ga ~ 0.0 bar

Napjainkban ~ 0,21 bar

4 Ga ~ 3-9 bar

Napjainkban ~ 0,0004 bar

BIOSZFÉRA



3. Anoxygenic photosynthesis (since ~ 3.8 Ga)



4. Oxygenic photosynthesis (since ~ 3.7 / 2.6 Ga)



a biológiai pumpa

TENGERI

elhalt szervezetek tenger mélyén
eltemetődnek



szerves anyag bomlás korlátozott



a szén szerves kötésben,
szénhidrogénként raktározódik el

SZÁRAZFÖLDI

növények eltemetődnek



szerves anyag bomlás
korlátozott



a szén szerves kötésben
raktározódik el (kőszén
képződés)



olajpala



kőszén

a szilikát-karbonát ciklus

1. Magas légköri CO_2 / Hegységképződés



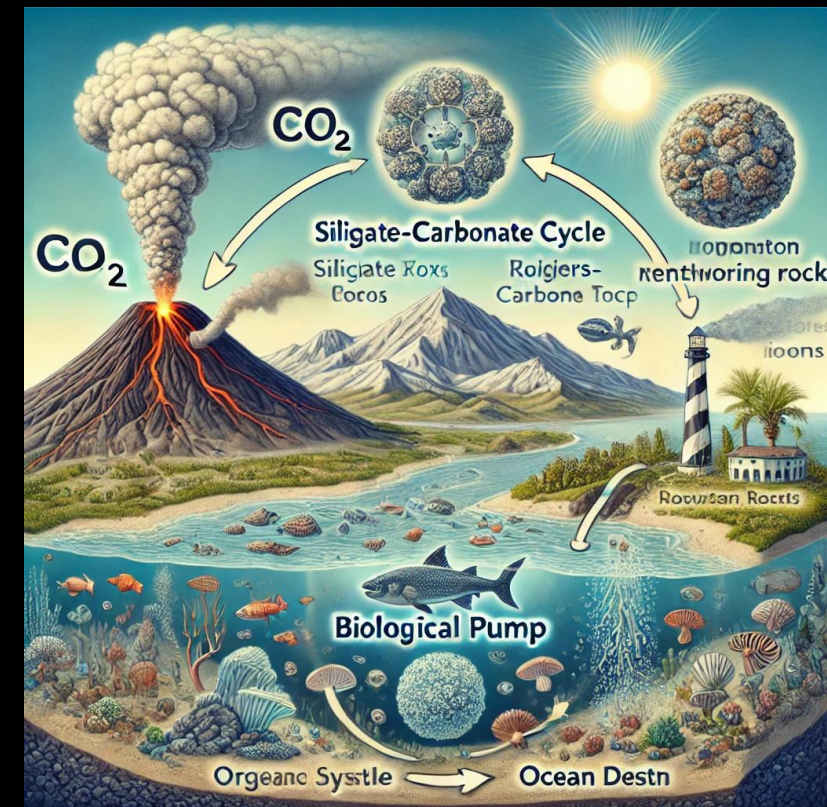
2. Szilikátok intenzív mállásának eredménye karbonátok képződését eredményezi



3. A fokozódó erózió a karbonát tartalmú üledékeket a mobilizálódó Ca^{2+} / Mg^{2+} ionokkal együtt az óceánokba mossza.

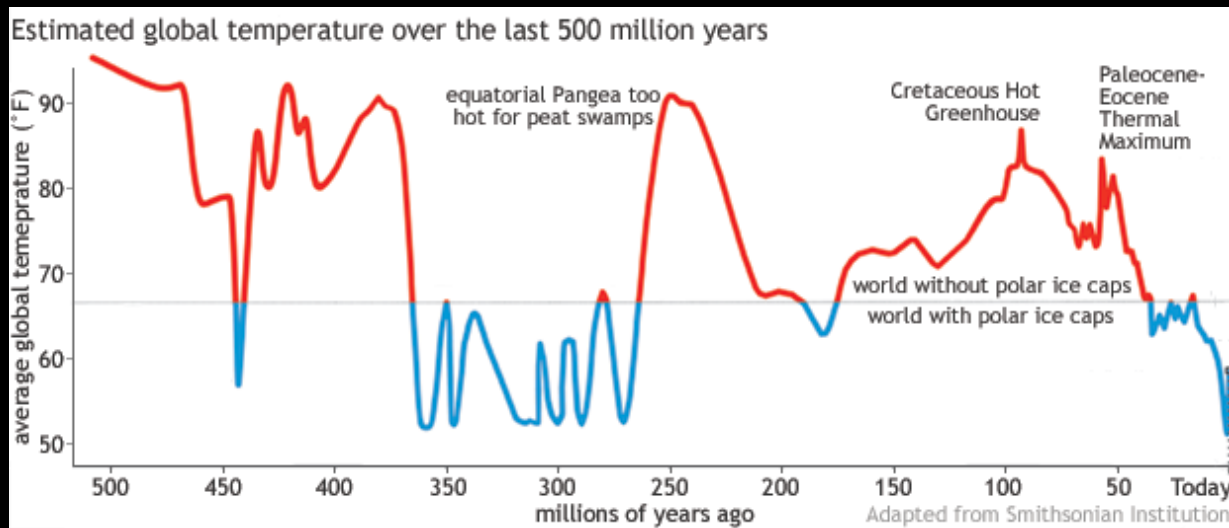


4. A Világtengerben karbonátos üledékek, majd üledékes kőzetek keletkeznek.

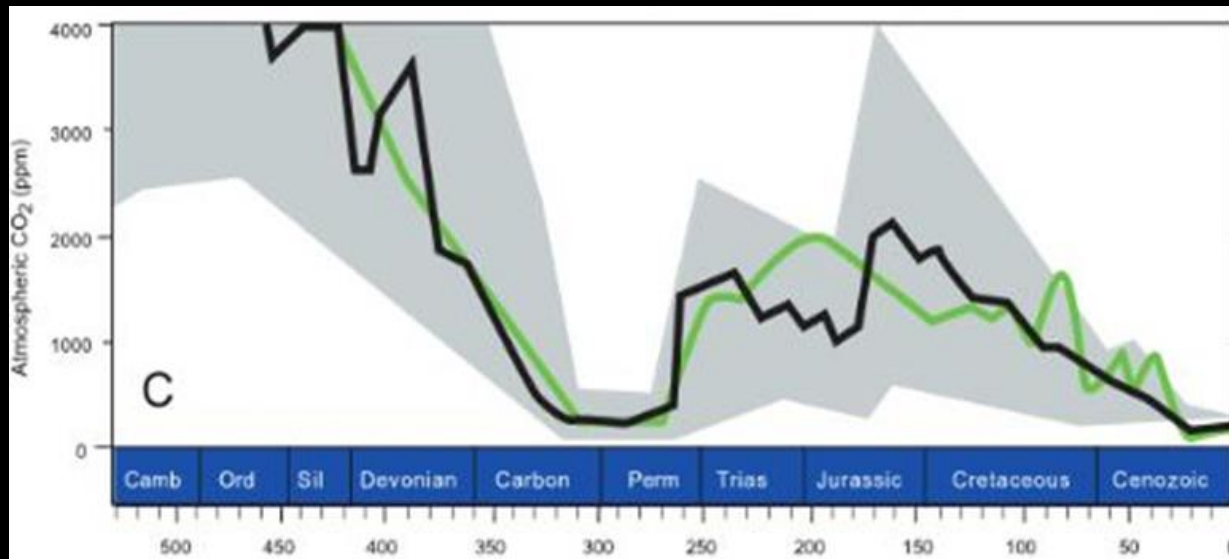


a földtörténeti Óidő nagy változásai

becsült globális középhőmérséklet



becsült légköri CO₂ koncentráció



450 MA Késő Ordovícium ICEHOUSE

Kaledon hegységképződés, mállás fokozódik



Légköri CO₂ ~ 2%- ra csökken (SR 95%)

430 – 370 Ma Szilur-Devon GREENHOUSE

Intenzív vulkanizmus

370-270 MA Késő Paelozoós ICEHOUSE

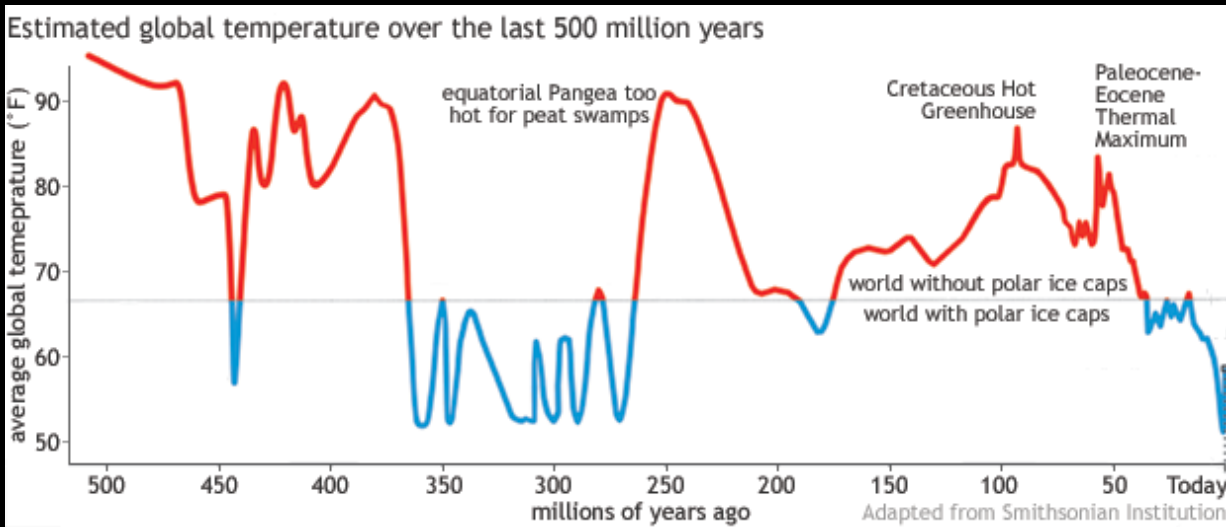
Variszkuszi hegységképz., mállás fokozódik



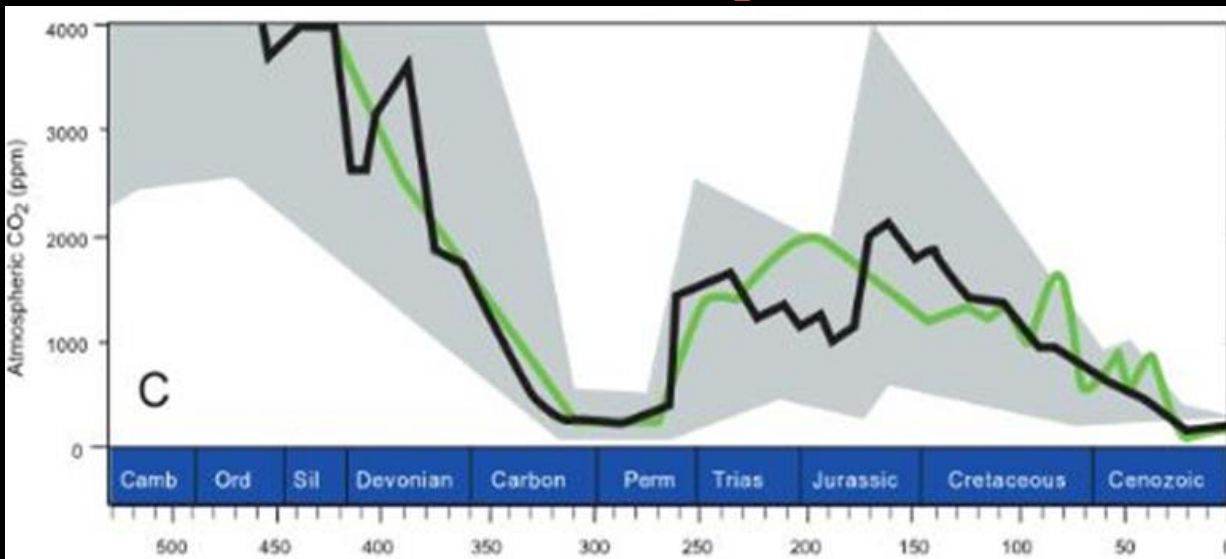
Légköri CO₂ ~ 400ppm- re csökken (SR 98%)

a földtörténeti Óidő és Középidő nagy változásai

becsült globális középhőmérséklet



becsült légköri CO₂ koncentráció



270 – 250 Ma Késő Perm GREENHOUSE
Mocsárerdő ökoszisztémák összeomlása



Tőzegtelepek leépülése és a légköri CO₂ emelkedik

250 Ma (P-T es.) Triász GREENHOUSE
Közép szibériai lávaárak



Légköri CO₂ ~ 500ppm- ről to ~ 1-1,5% -ra
nő kb 100e év alatt, klórozott szénhidrognek

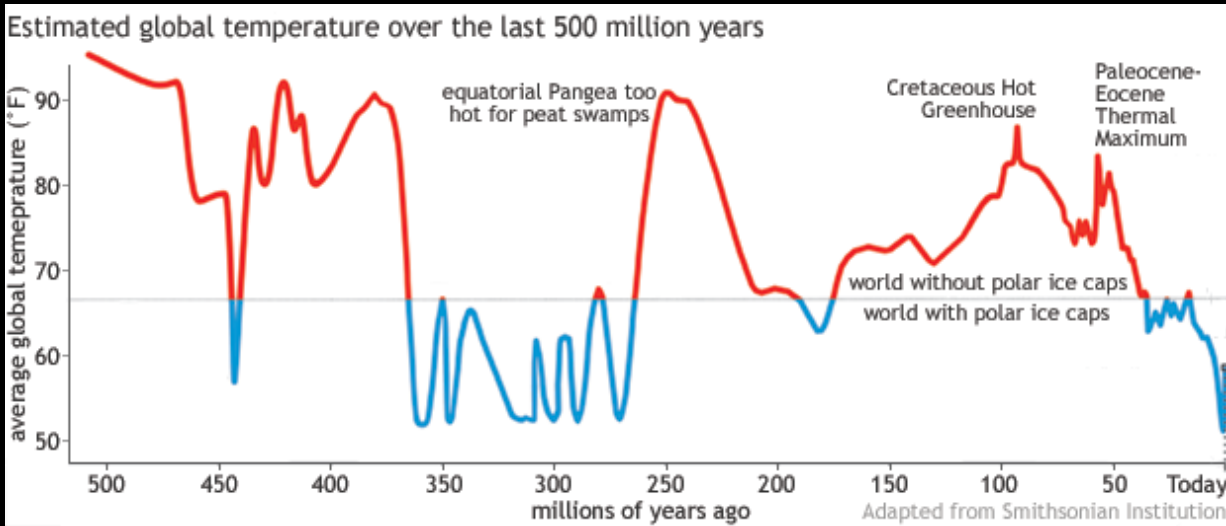
200 Ma (T-J es.) Jura GREENHOUSE
CAMP vulkanizmus



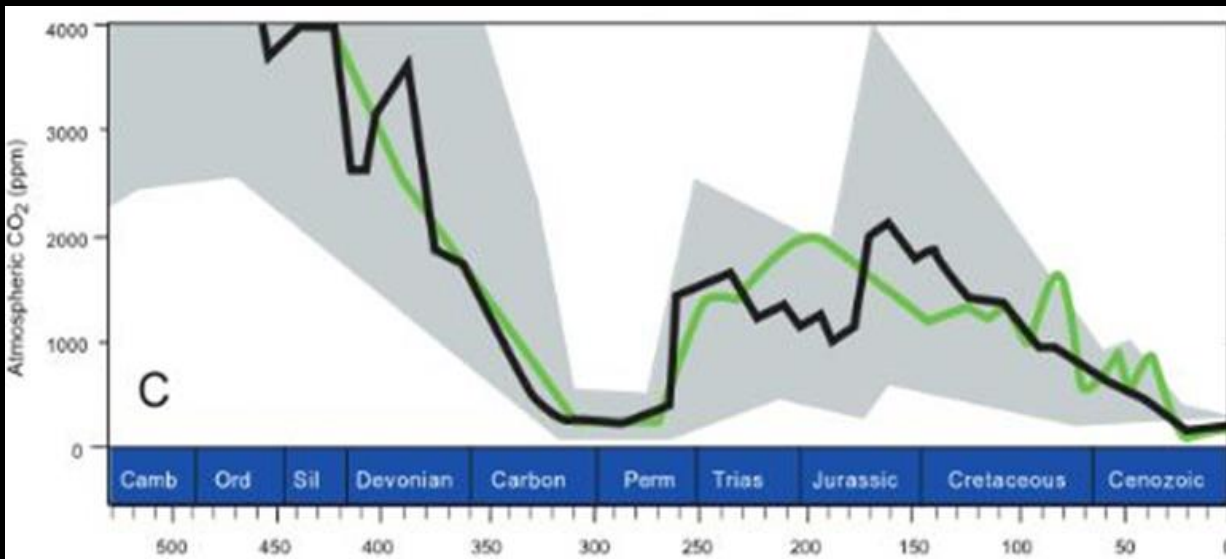
Légköri CO₂ tovább emelkedik

a földtörténeti Középidő és Újidő nagy változásai

becsült globális középhőmérséklet



becsült légköri CO₂ koncentráció



100 Ma Kréta COLDHOUSE

Alpi hegységképződés, mállás fokozódik



Légköri CO₂ koncentráció csökken

66 – 50 Ma PaETM - HOTHOUSE

Dekkán lávaárak



Légköri CO₂ ~ 1% -ra nő

30 MA Kainozoós COLDHOUSE

3 Ma Pleisztocén JÉGKOR - ICEHOUSE

Alpi hegységképződés, mállás fokozódik

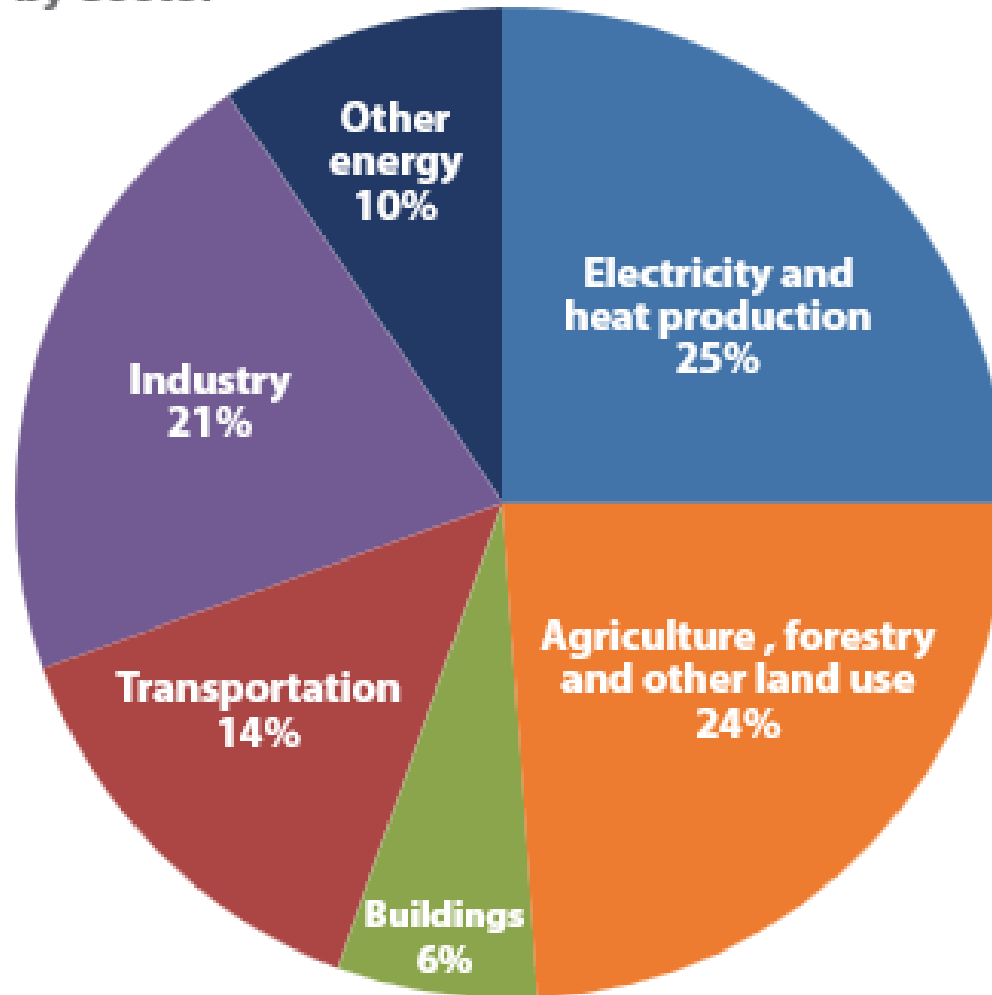
CO₂ szint fokozatosan csökken 280 ppm-ig

Antarktika elszigetelődik

Közép amerikai földhíd kialakulása

**szilikát-karbonát
ciklus által
megkötött szén
6%**

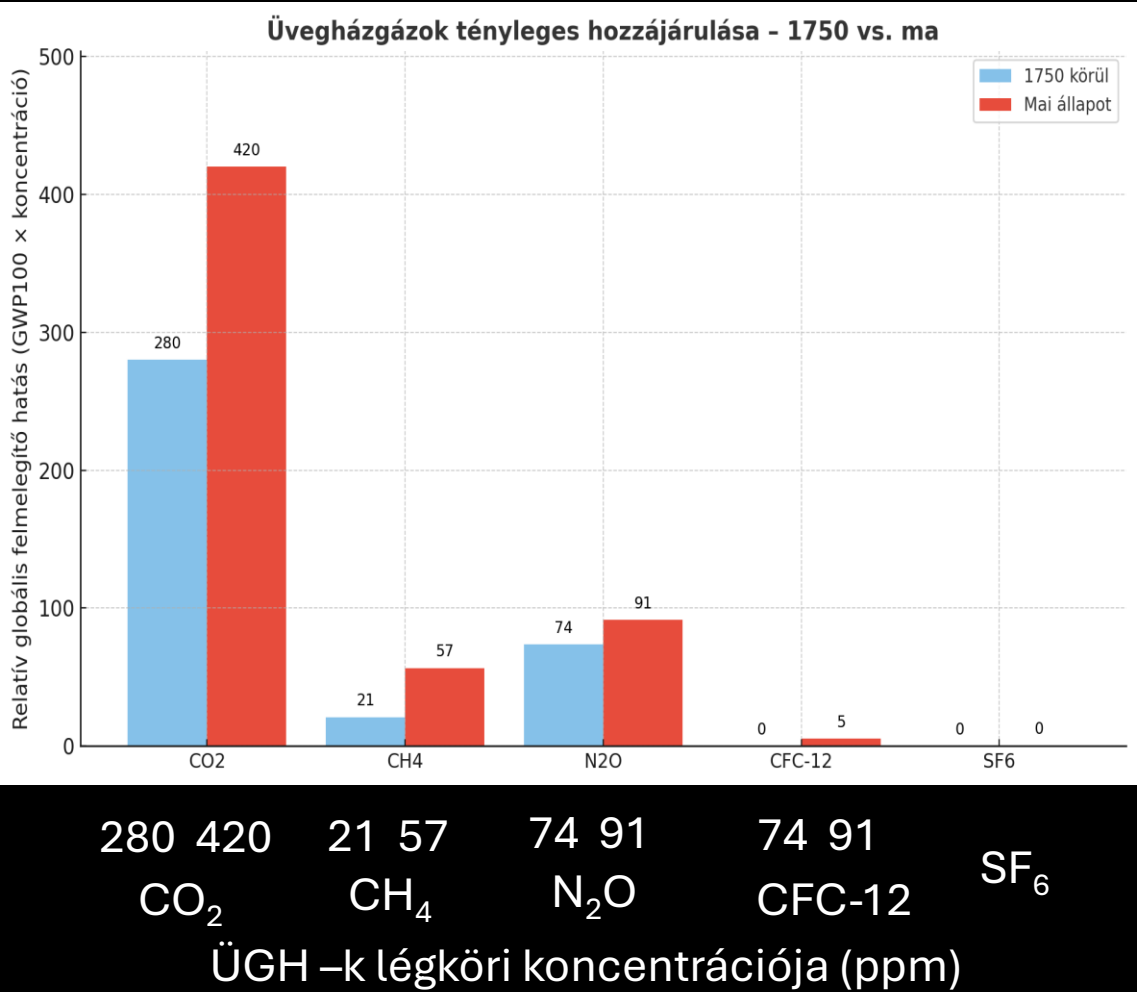
Figure 1: Global greenhouse gas emissions
by sector



Source: IPCC (2014).

**a biológiai pumpa
által megkötött
szén
94%**

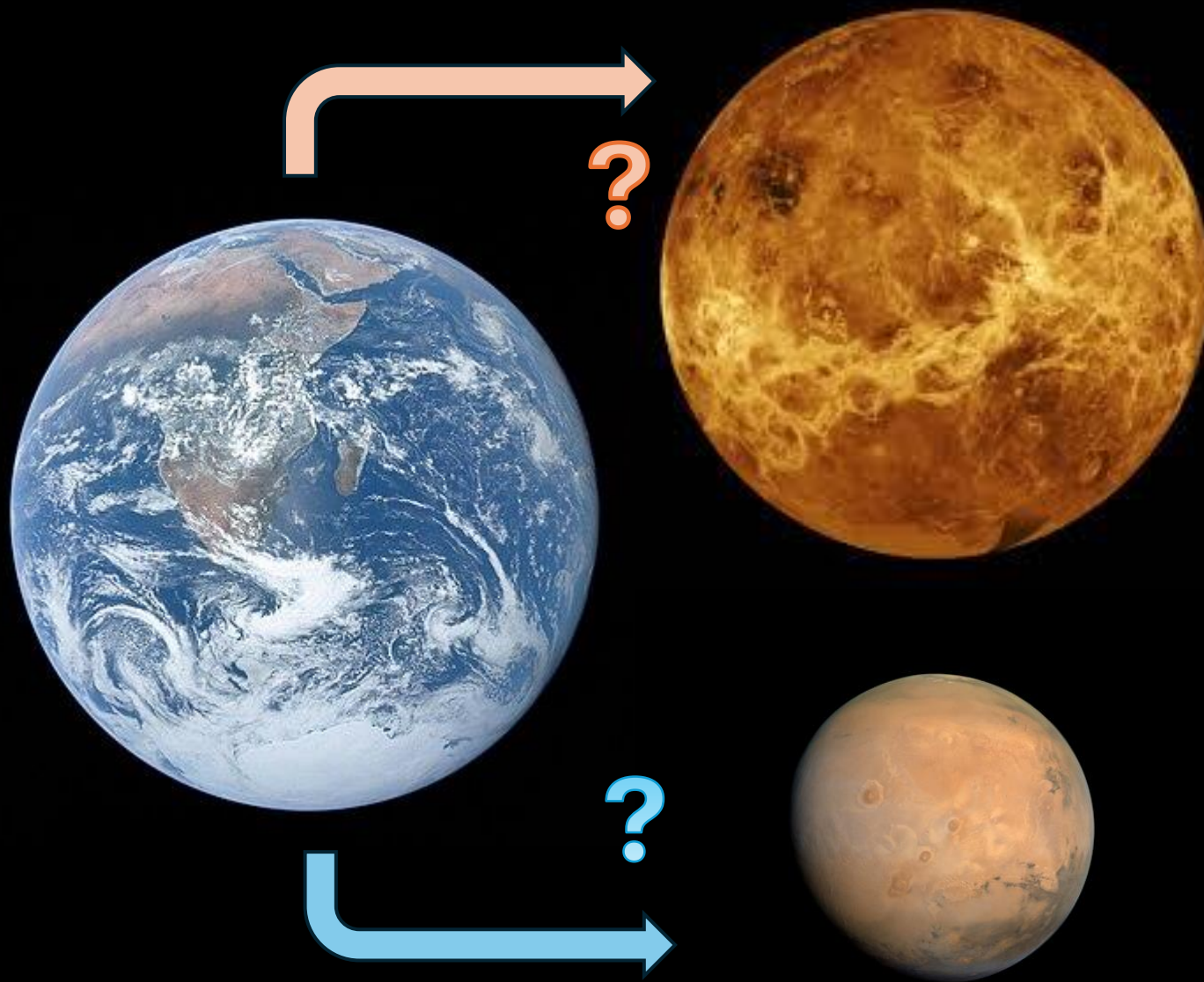
A légköri koncentrációval normált globális felmelegítési potenciál (GWP100)



A főbb ÜGH-k (víz és az ózon elhagyásával) légköri tartózkodási ideje és széndioxidhoz viszonyított globális felmelegedési potenciálja 20 éves (GWP20) és 100 éves (GWP100) időléptékben

ÜVEGHÁZ GÁZOK tulajdonságai IPCC AR6 (2021)			
Komponens	Tartózkodás idő (év)	GWP20	GWP100
Szén-dioxid (CO ₂)	*	1	1
Metán (CH ₄)	~12	82,5	29,8
Dinitrogén-oxid (N ₂ O)	~114	273	273
CFC-11	~52	7760	4660
CFC-12	~102	10200	10200
Kén-hexafluorid (SF ₆)	~3200	17500	25200

IPCC AR6 WG1, Ch. 5, doi: 10.1017/9781009157896



Közeljövő

Mi vagyunk a szupervulkán!!!
(jelentősen gyorsabb a CO_2 kibocsátás, mint 250 millió éve)

**100 000 – 1 000 000
éves távlatban**

- Biológiai pumpa és a Szilikát-karbonát ciklus működik

1 000 000 000 éves távlatban

- Nap sugárzási intenzitása miatt „forró Föld” várható (lesz)



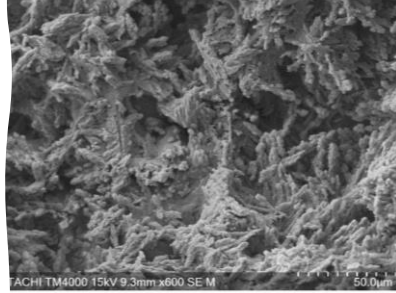
irbonát réteg



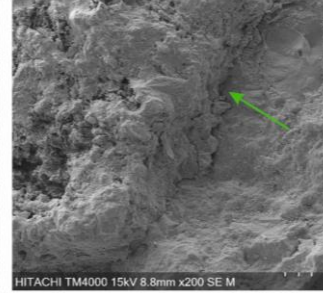
BT21bk2_1_3 minta, karbonát réteg



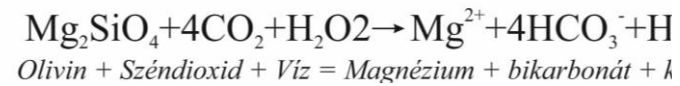
BT21bk



Prizmás karbonát



Karbonát és kőzet érintkezési határ
nyíl mutatja a két anyag érintkezési helyét



KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!