



PÁZMÁNY

Pázmány Péter Katolikus Egyetem
Információs Technológiai és Bionikai Kar

KLIMAVÁLTOZÁS

Fogalmak, fizikai háttér

2025 április 2

dr. Tasnádi Péter

ny. egyetemi tanár

ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

SAJTÓ, HÉTKÖZNAPOK, POLITIKA, TUDOMÁNY

- A klímánk melegszik
 - A Föld **átlaghőmérséklete** nő,
 - A tengerek szintje emelkedik
 - A gleccserek visszahúzódnak
 - A sarki jégsapka csökken
 - Az **extrém időjárási események** száma nő
- Ok: emberi tevékenység miatti **üvegházhatás**
- A fő bűnös a **széndioxid**
- Tudományos háttér
 - IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change)
- Politika: Klímaegyezmények
 - Kyoto 1997, Párizs 2015

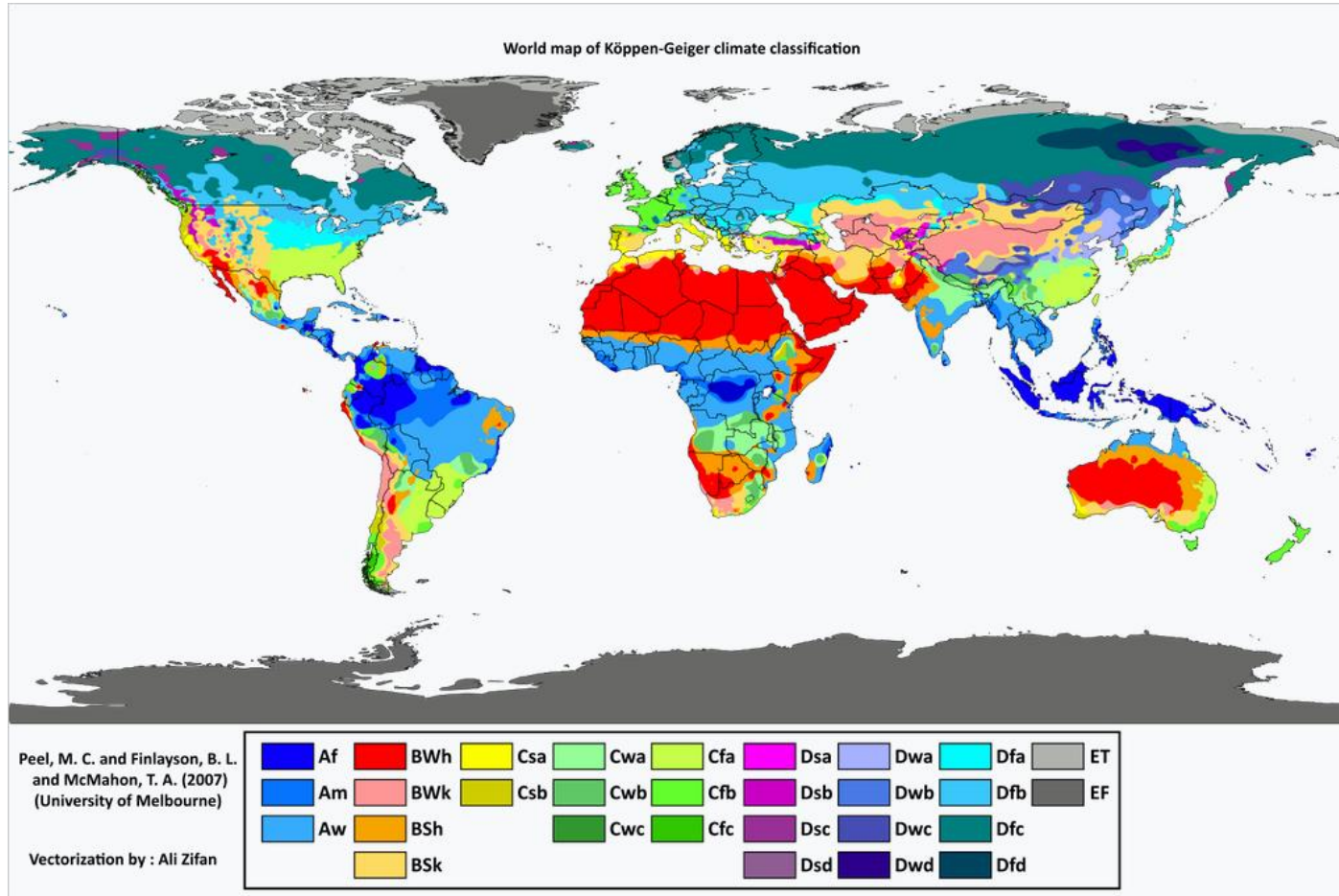
MÉRTÉKADÓ; A TUDOMÁNY

- Nagyon nehéz egy állandóan változó, megújuló, a szélesebb közvéleményt ennyire érdeklő témában bármi „véglegeset” írni, ami nem avul el néhány év alatt. Szinte minden héten napvilágra kerülnek új eredmények, melyek a rendkívül összetett éghajlati jelenségek még nem ismert részleteit tárják fel, vagy egyre távolabbi földtörténeti múltba teszik lehetővé a klimatikus viszonyok rekonstruálását, illetve egyre pontosabb előrejelzéseket szolgáltatnak a várható jövőről.
- A széles érdeklődés miatt a klímaváltozással kapcsolatban rengeteg információ jelenik meg a legkülönfélébb helyeken, ezek java része igencsak megbízhatatlan, sokszor a tudományos tények torzításán, félreértelmezésén alapul. Ezért törekednünk kell arra, hogy csak olyan információkat, olyan tényeket fogadjunk el, amelyek már kiállták a többszöri ellenőrzés próbáját. Ezt úgy érhetjük el, ha a világ legnívósabb tudományos folyóiratain (*Nature, Science, NewScientist* stb.) alapuló hírekre támaszkodunk.
- Lehetséges, hogy amióta tavaly földrajzórán a globális felmelegedésről tanultál, azóta olyan újabb tudományos eredmények kerültek napvilágra, melyek esetleg más megvilágításba helyezik ezt a fontos kérdést.

MANABE (2023 NOBEL DÍJAS) ELŐREJELZÉSE

- Nem kétséges, hogy a légkör és a Föld klímája az ipari forradalom óta elsősorban az emberi tevékenység hatására sokat változott. A széndioxid légköri koncentrációja több mint 40%-kal nőtt az iparosodás előtti korhoz képest, döntően a fosszilis energiahordozók elégetése következtében.
-
- A globális átlaghőmérséklet amely 1000 éven át stabilis volt, az iparosodás óta már 1 K –nel növekedett. The global mean surface temperature, which has been relatively stable over 1000 years, has already increased by about 1°C since the preindustrial era. Ha az energia felhasználás eddigi módja nem változik jelentősen, akkor nyilvánvaló, hogy a hőmérséklet tovább növekedik.
-
- A globális átlaghőmérséklet a 21. században további 2-3 K-val növekedhet, úgy hogy a szárazföldek hőmérséklete erősebben nő mint a tengereké, és a sarkok melegedése nagyobb lesz mint a trópusi területeké.

A FÖLD KLIMAÖVEZETEI



KÉRDÉS: Hogyan jellemezhető az egész föld?

GLOBALIS KLÍMA

Köppen féle
klimaosztályozás

főöv (1. kód)

A : trópusi
B : száraz
C : meleg-mérsékelt
D : kontinentális-boreális
E : poláris és magashegységi

csapadék (2. kód)

W : sivatag
S : sztyepp
f : egyenletesen nedves
s : száraz nyár
w : száraz tél
m : monszun

hőmérséklet (3. kód)

h : forró-száraz
k : hideg-száraz
a : hosszú, forró nyár
b : hosszú, hűvös nyár
c : rövid, hűvös nyár
d : rövid, hűvös nyár; zord tél
F : állandó jég
T : tundra

KLÍMA DEFINÍCIÓK

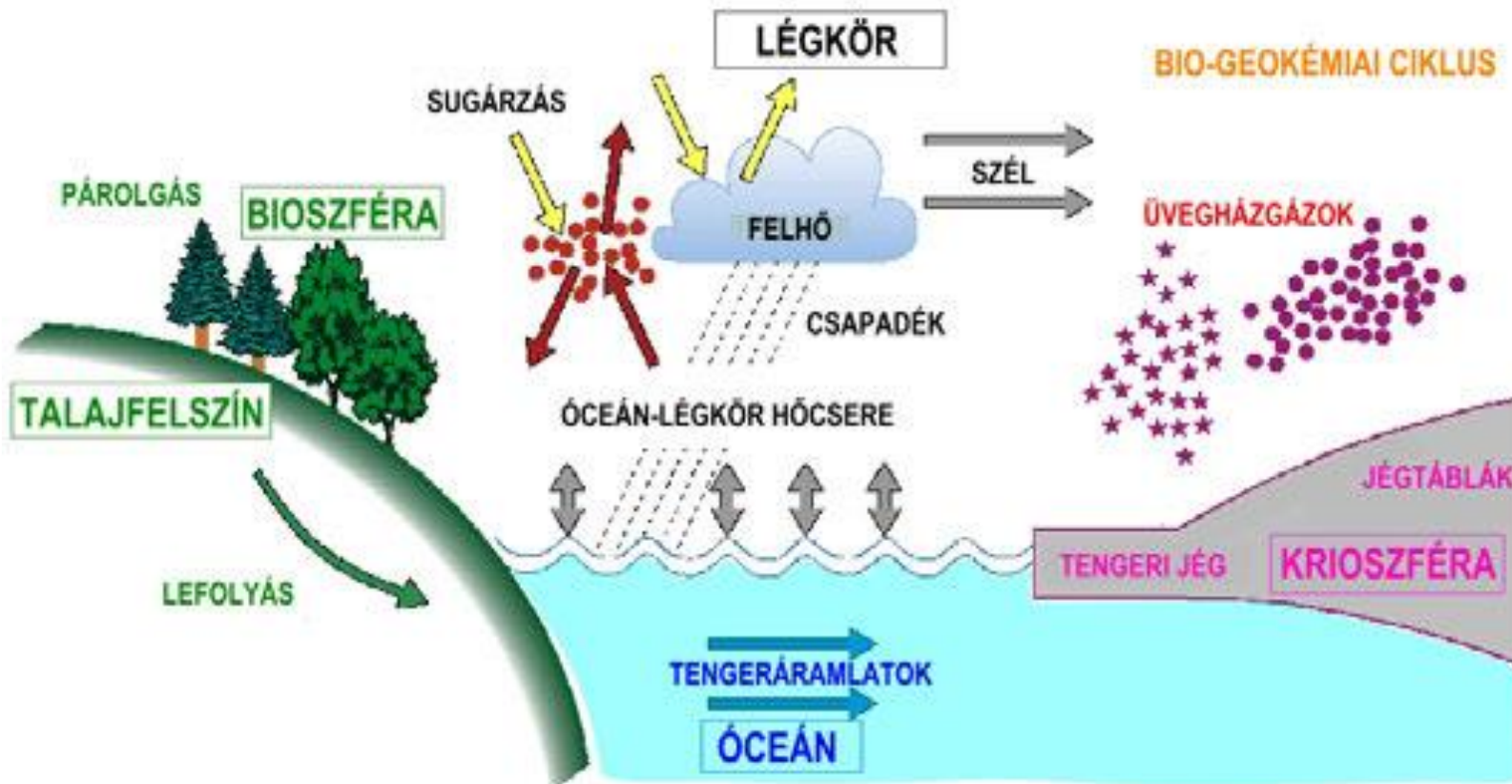
Lorenz anekdotikusan: **A klíma az amit várunk, az időjárás amit kapunk**

IPCC: A szűkebb értelemben vett klíma definíció szerint **a releváns mennyiségek átlagának és változékonyságának statisztikus leírása** hónapoktól ezer illetve millió évekre kiterjedő időintervallumon. A Meteorológiai Világszervezet (WMO) **a változók átlagolására 30 éves időszakot alkalmaz** és javasol. A releváns mennyiségek leggyakrabban olyan felszíni változók, mint a hőmérséklet, csapadék és szél.

Tágabb értelemben a klíma az **éghajlati rendszer** állapota, ami magában foglalja a statisztikai leírást is.

Releváns változók: felszíni hőmérséklet, szél, csapadék,
HŐMÉRSÉKLET

AZ ÉGHAJLATI RENDSZER ELEMEI



Az éghajlati rendszer alapelemei:

Légkör

Óceán

Krioszféra

Bioszféra

talajfelszín

Vezérlő hatások:

Napsugárzás állandó energiaárama, a Föld kisugárzása

A KULCSINDIKÁTOROK

Jelenlegi jellemzése: WMO: 54, majd 7-re leszűkített kulcsindikátor,
kiemelt jelentőségű: **globális átlaghőmérséklet**

Amihez viszonyítunk: 30 éves átlag

Klíímaváltozás: az átlagtól vett eltérés (szűkítés: amit az ember okoz)

Változó	kulcsindikátor	Mért jellemző
Hőmérséklet	Global mean surface temperature	Átlagos felszín hőmérséklet
Óceán hőtartalma	Global mean heat content anomaly	Átlagos hőtartalom anomália
Tengerszint	Global mean sea level change	Átlagos tengerszint változás
Tengerjég kiterj.	Sea ice extent for the Arctic and Antarctic	Tengerjég kiterj. a pólusokon
Gleccsertömeg	Global mass change of glaciers outside Greenland and Antarctic	Gleccsertömeg változás a grönlandi és antarktiszi nélkül
Óceán savasodás	Global mean ocean pH	Óceánok átlagos pH-ja
Üvegház gázok	Mean global mole fraction of CO ₂	Széndioxid átlagos mol. arány

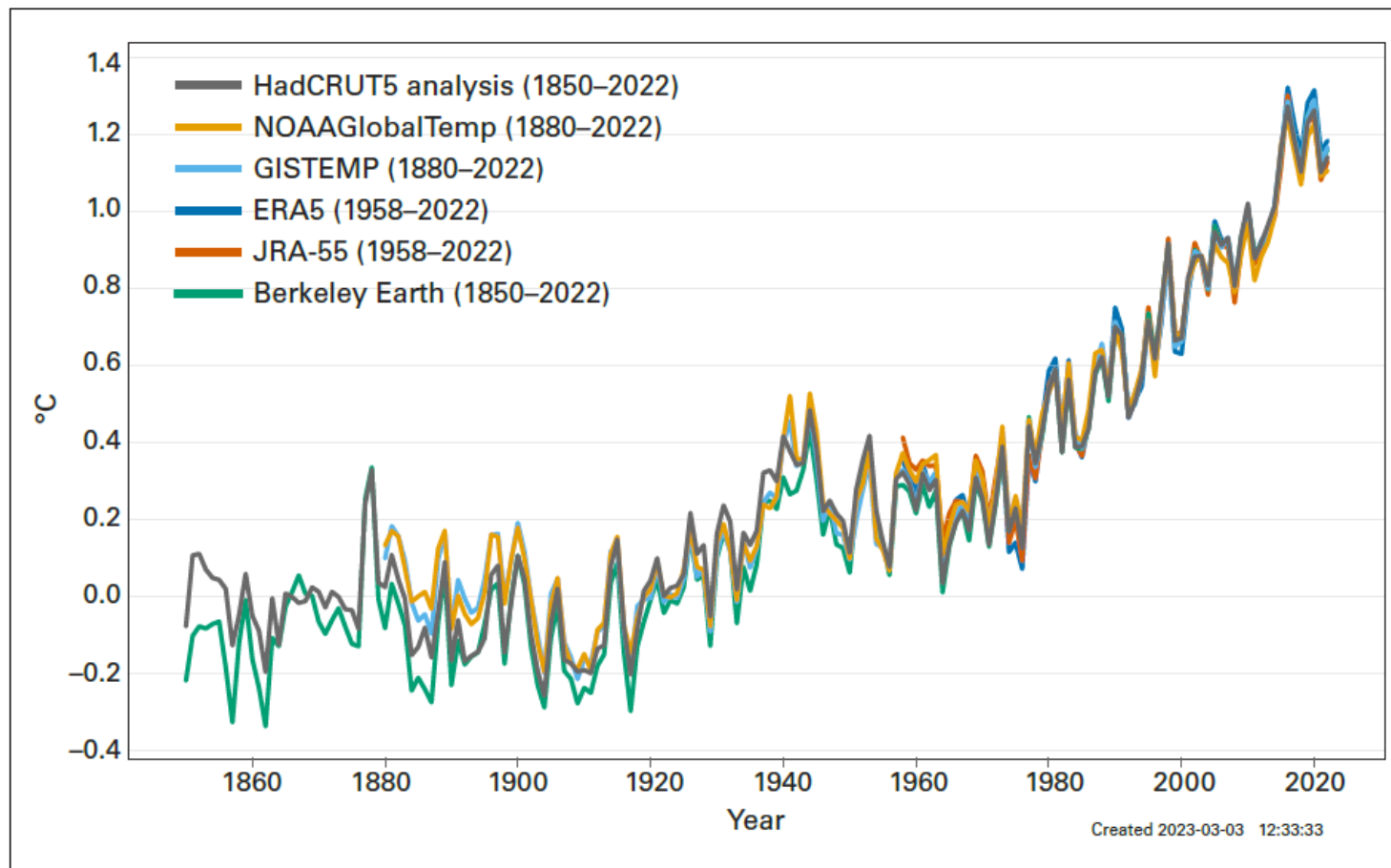
Alapvonalak:

Most: 1991-2020

Átlaghőmérséklet:
1850-1900

Üvegházgázok: 1750

HŐMÉRSÉKLET

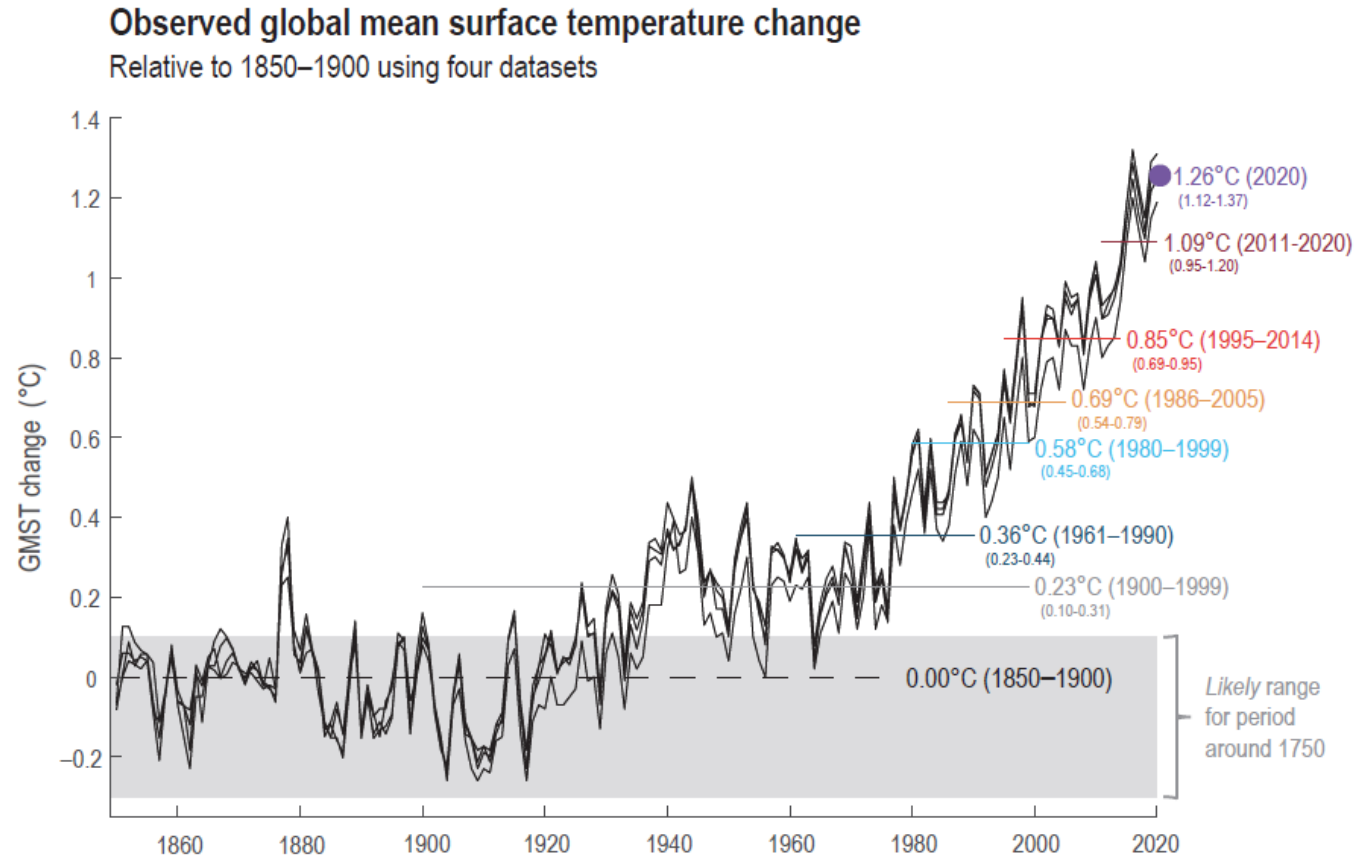


Hat különböző adatbázis

NEM
ÁTLAGHŐMÉRSÉKLET
hanem

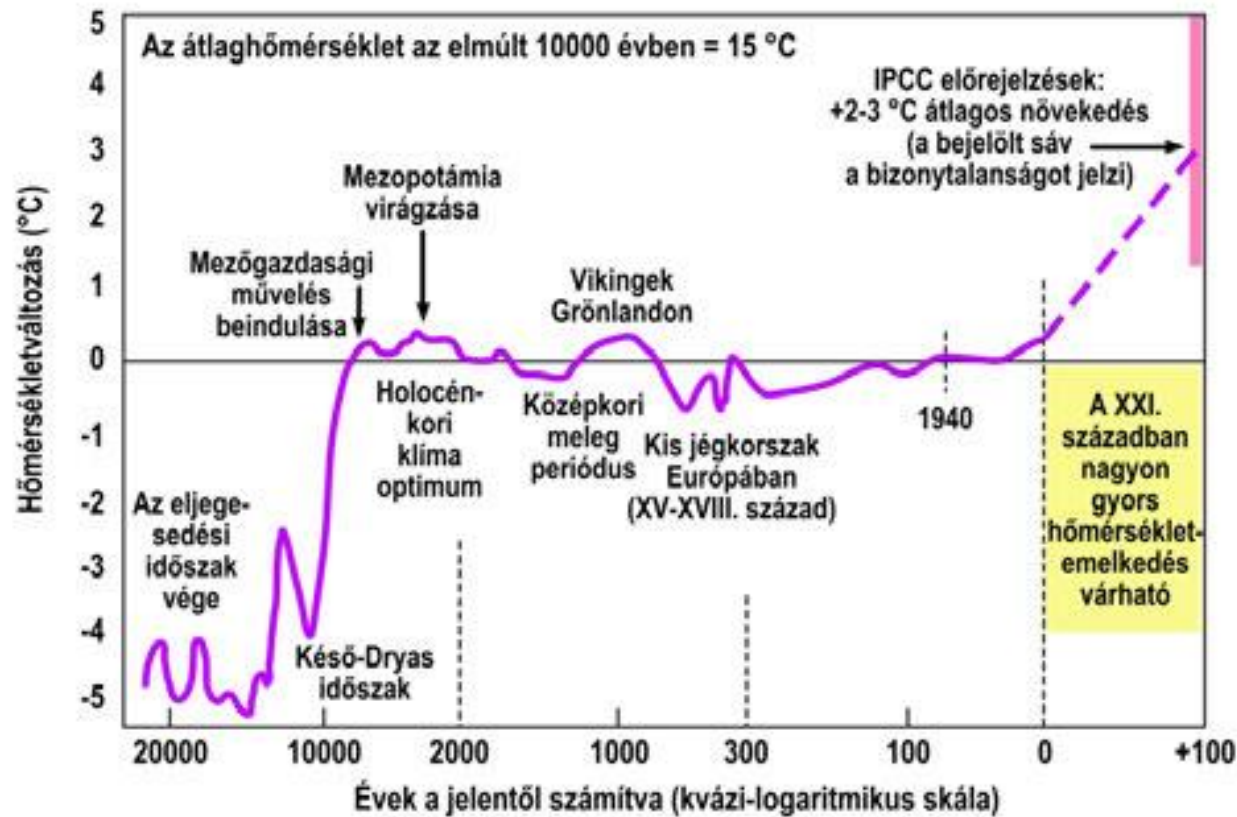
ANOMÁLIA:
ÁTLAGTÓL VETT ELTÉRÉS

A GLOBÁLIS HŐMÉRSÉKLET VÁLTOZÁSA



Az átlagos anomália négy különböző adatbázis alapján jelölve néhány eltérő periódusból adódó alapvonalat

A HOKIÜTŐ DIAGRAM



Raymond S. Bradley és Malcolm K Hughes, közölte a „hokiütő diagramot” az „Északi félteke hőmérséklete az utolsó ezer évben: következtetések, bizonytalanságok és határok” című cikkében.

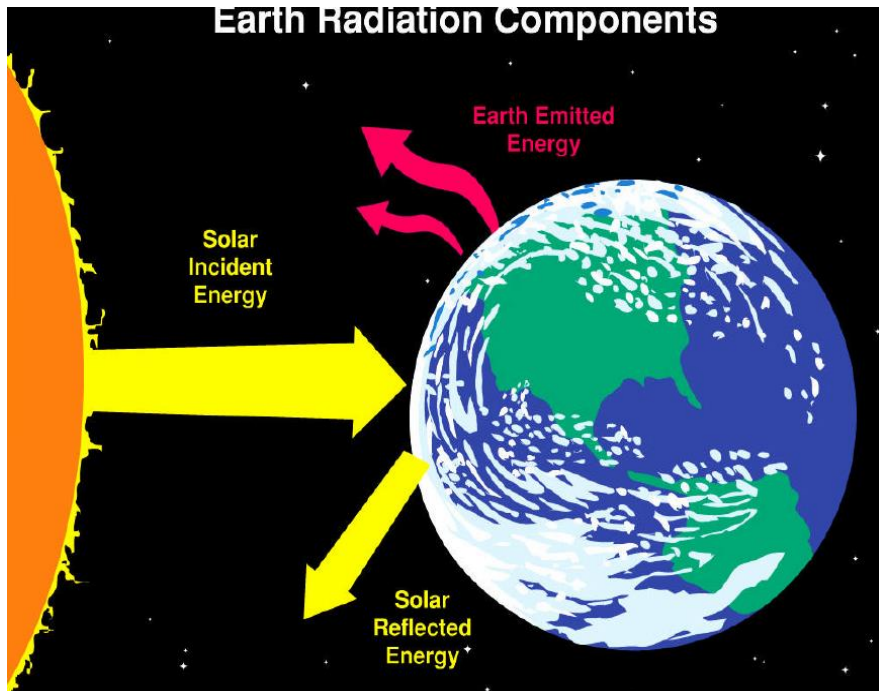
Geophysical Research Letters 1999.

Az IPCC jelentés átvette

VESZÉLY:

A földi légkör olyan hőmérsékleti tartományba léphet, amelyben az emberiség földtörténeti időskálán viszonylag rövid története során **SOHA nem volt.**

A FÖLD ENERGIAMÉRLEGE „TÁVOLRÓL”



Nap felszíni hőmérséklete: 6000 K

Napállandó: 1367 watt/m^2

ÚGY TÚNIK: A MÉRLEGEN ELSŐSORBAN A NAP és az ALBEDÓ VÁLTOZTATHAT

A FÖLD TERMODINAMIKAI EGYENSÚLYBAN VAN

BEÉRKEZŐ ENERGIÁK:

Napsugárzás: 178 PW (99,8%)

Geotermikus „fűtés” (32-40 TW)

Föld-Hold grav. rendsz. kicsatolódo teljesítmény (3 TW)

KIBOCSÁTOTT ENERGIA:

Földsugárzás, Visszaverődés

A sugárzás leírása:

Stefán-Boltzmann törvény:

$$E = \sigma T^4$$

NAPÁLLANDÓ VÁLTOZÁS

Földtörténeti skála: Milankovitch- Bacsák

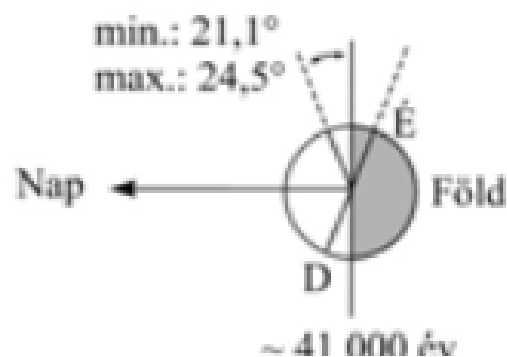
Pályamodosulás
(az ellipszis lapultsága)

Max.
ellipszis

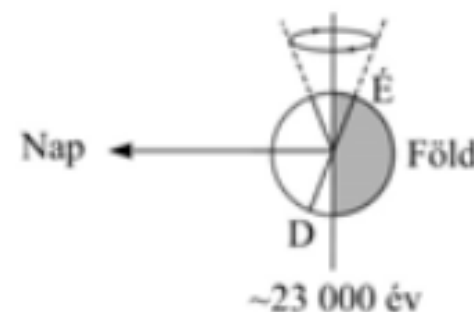


~ 100 000 és 400 000 év

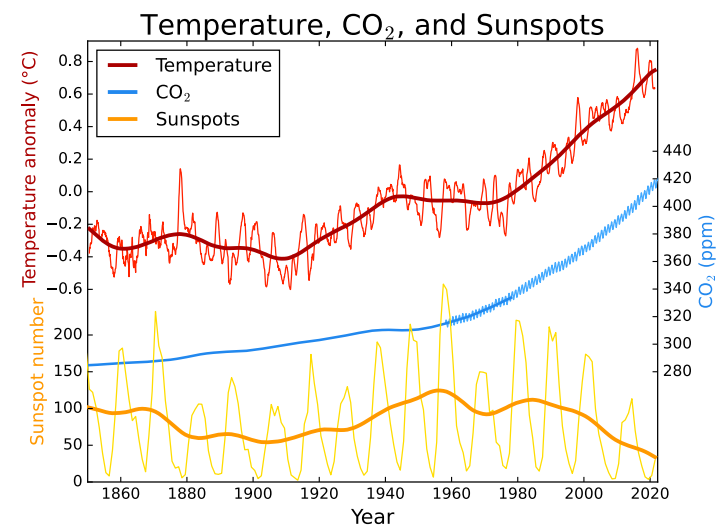
Tengelyelhajlás
változása



Tengelyirány változása
(precesszió)



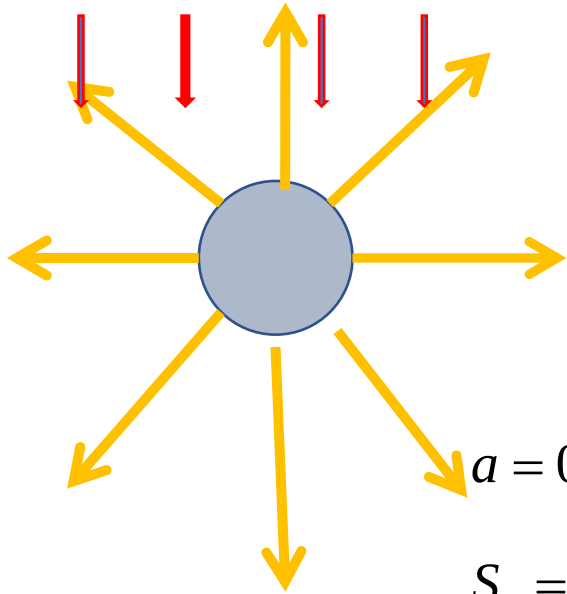
Napfolttevékenység: 11 éves periódus



A LEGEGYSZERŰBB BECSLÉS

„kopasz” Föld

NAP



$$a = 0,3$$

$$S_0 = 1361 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

Az elnyelt teljesítmény: $r^2 \pi S_0 (1 - a)$

Átlagolva a föld felszínére:
$$S = \frac{r^2 \pi S_0 (1 - a)}{4r^2 \pi} \approx 240 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$$

Egységnyi felületről kisugárzott teljesítmény :

$$\sigma T_0^4$$

A „csupasz Föld” felszíni hőmérséklete:

$$T_0 = \sqrt[4]{\frac{S}{\sigma}} = 255\text{K} = -18^\circ\text{C}$$

KICSIT BONYOLULTABB

A légkör teljesen elnyeli a Föld infravörös sugárzását:

ÜVEGHÁZHATÁS!

Energiamérleg:

1. A Föld felszínén:

$$S + \sigma T_a^4 = \sigma T_f^4$$

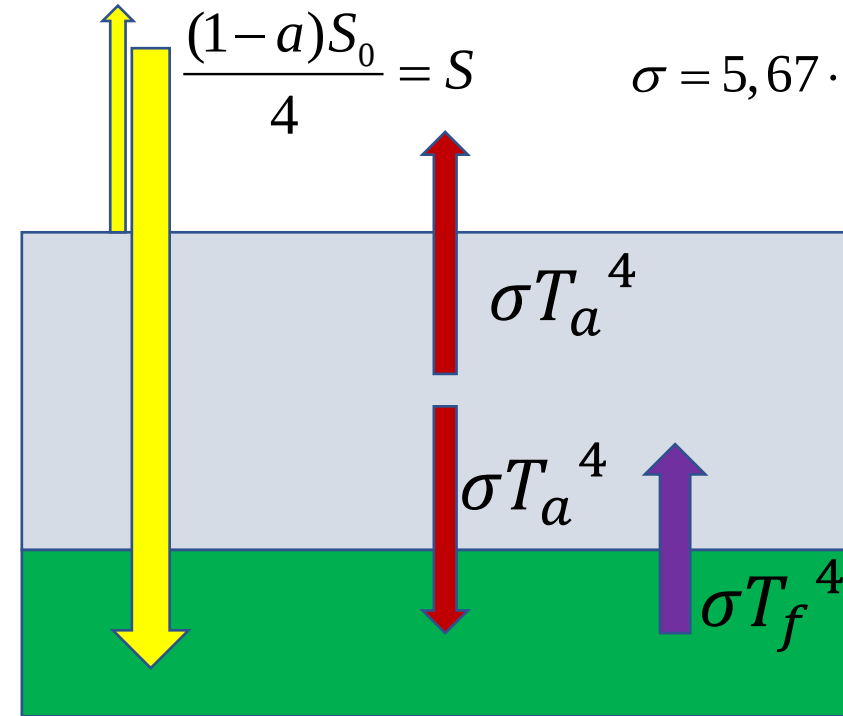
Az atmoszféra tetején:

$$S = \sigma T_a^4$$

$$a = 0,3$$

$$S_0 = 1361 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

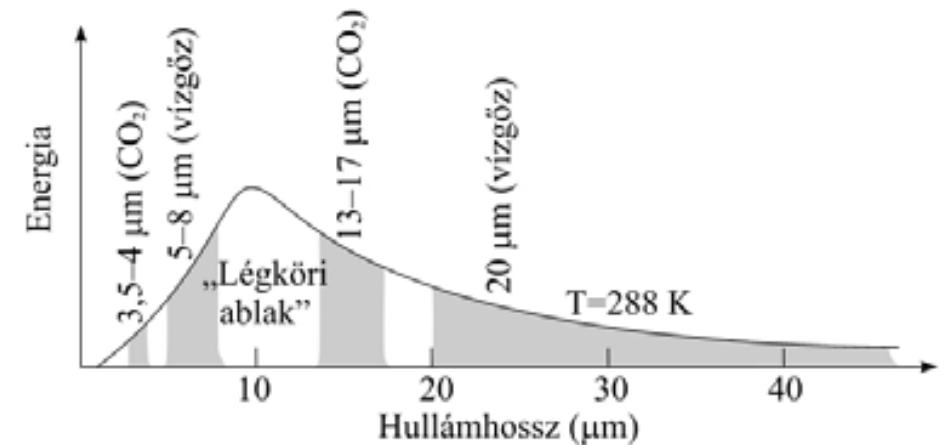
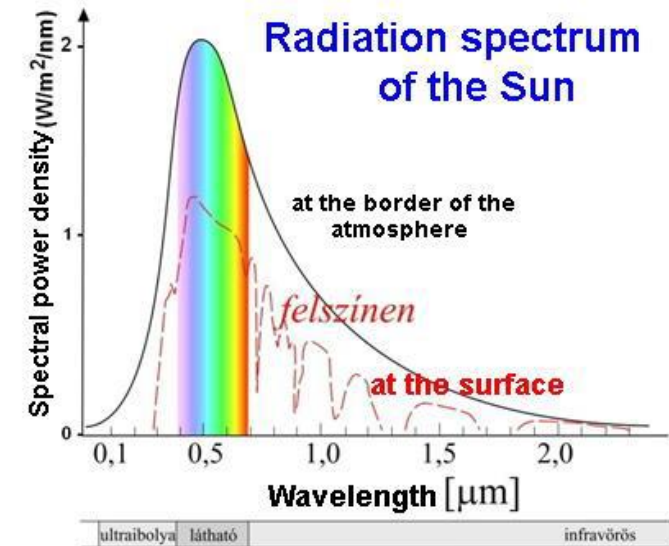
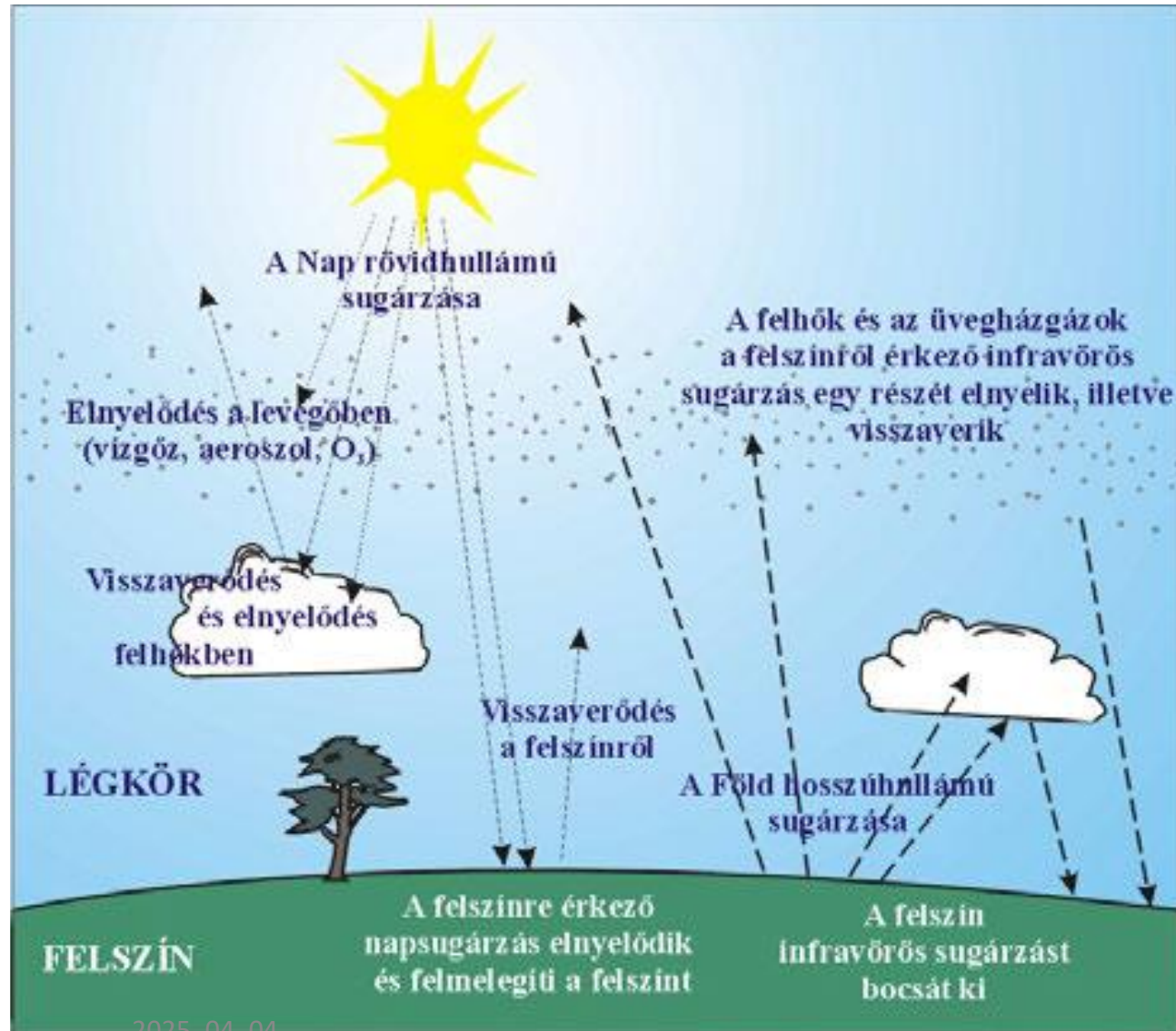


$$T_a = T_0 = 255\text{K} = -18^\circ\text{C}$$

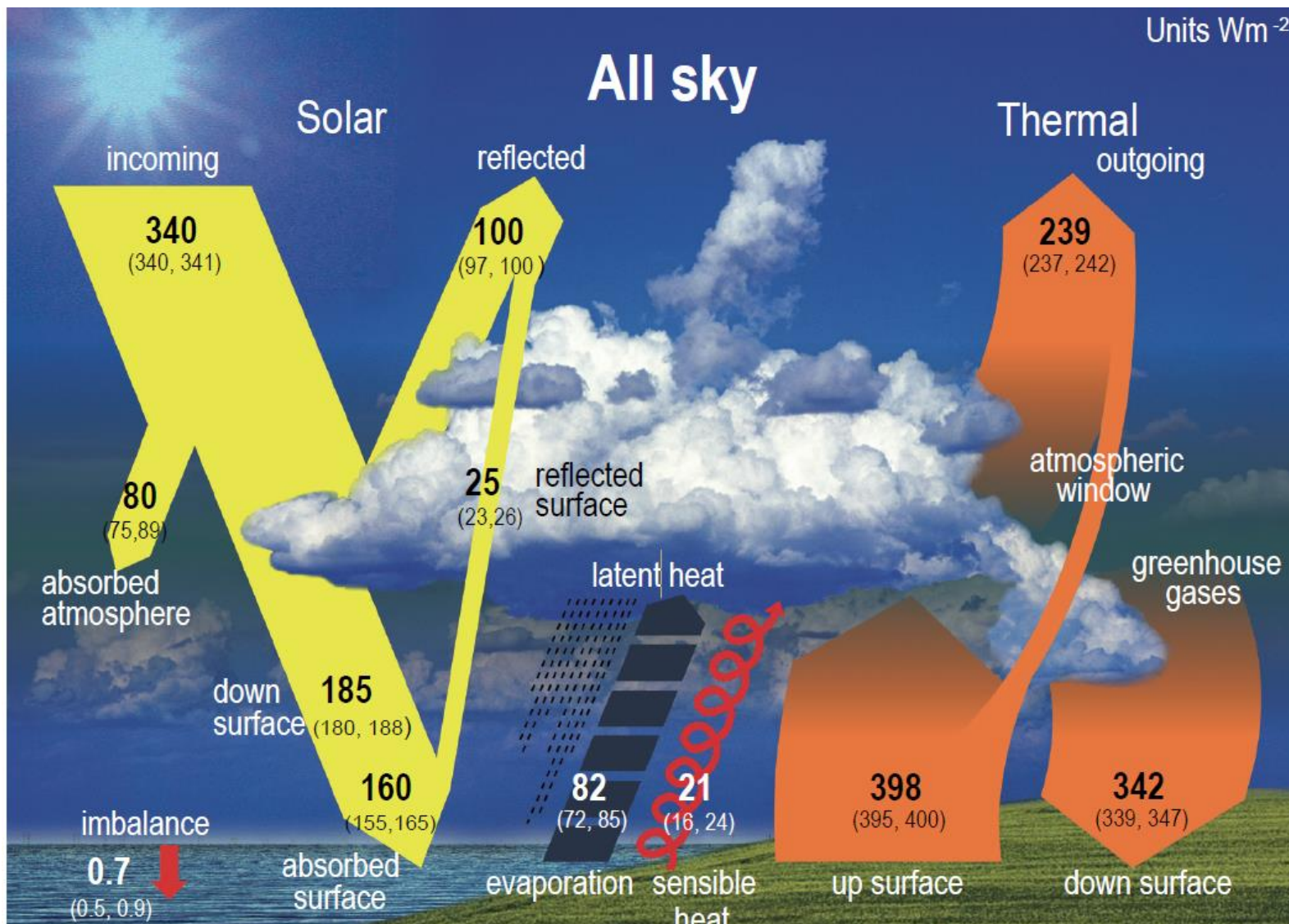
$$T_f = \sqrt[4]{2}T_0 = 303\text{K} = 30^\circ\text{C}$$

AZ ÜVEGHÁZ HATÁS

Napsugárzás: rövidhullámú (nagyfrekvenciás)



CSEKÉLY KIEGYENSÚLYOZATLANSÁG



2025. 04. 04.

További hatások:

A légkör a rövidhullámúból is elnyel
A föld hosszuhullámú sugárzását nem nyeli el teljesen
A felhők változtatnak az albedón

Kicsiny kiegyensúlyozatlanság
sugárzási kényszer:
Az energiamérleg kiegyensúlyozatlansága

KLIMAVÁLTOZÁS

A döntő ok ??:

?AZ EMBER OKOZTA

ÜVEGHÁZHATÁS

ÜVEGHÁZGÁZOK

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-12	HCFC-22*	CF ₄ *
Ipari forradalmat megelőző koncentráció	280 ppm	700 ppb ⁵	275 ppb	-	-	-
Koncentráció 1994-ben	358 ppm	1720 ppb	312 ppb	0,27 ppb	0,11 ppb	0,07 ppb
Légköri tartózkodási idő (év)	50-200	12	120	50	12	50 000
Relatív üvegházgáz-hatékonyság	1	21	310	9 700	11 700	6 500

*HCFC-22 ésCF₄ (perfluorokarbon): a kemény freonok kiváltó (helyettesítő) vegyülete

LEGHATÉKONYABB: **VÍZGŐZ 10-14** napos tartózkodási idő



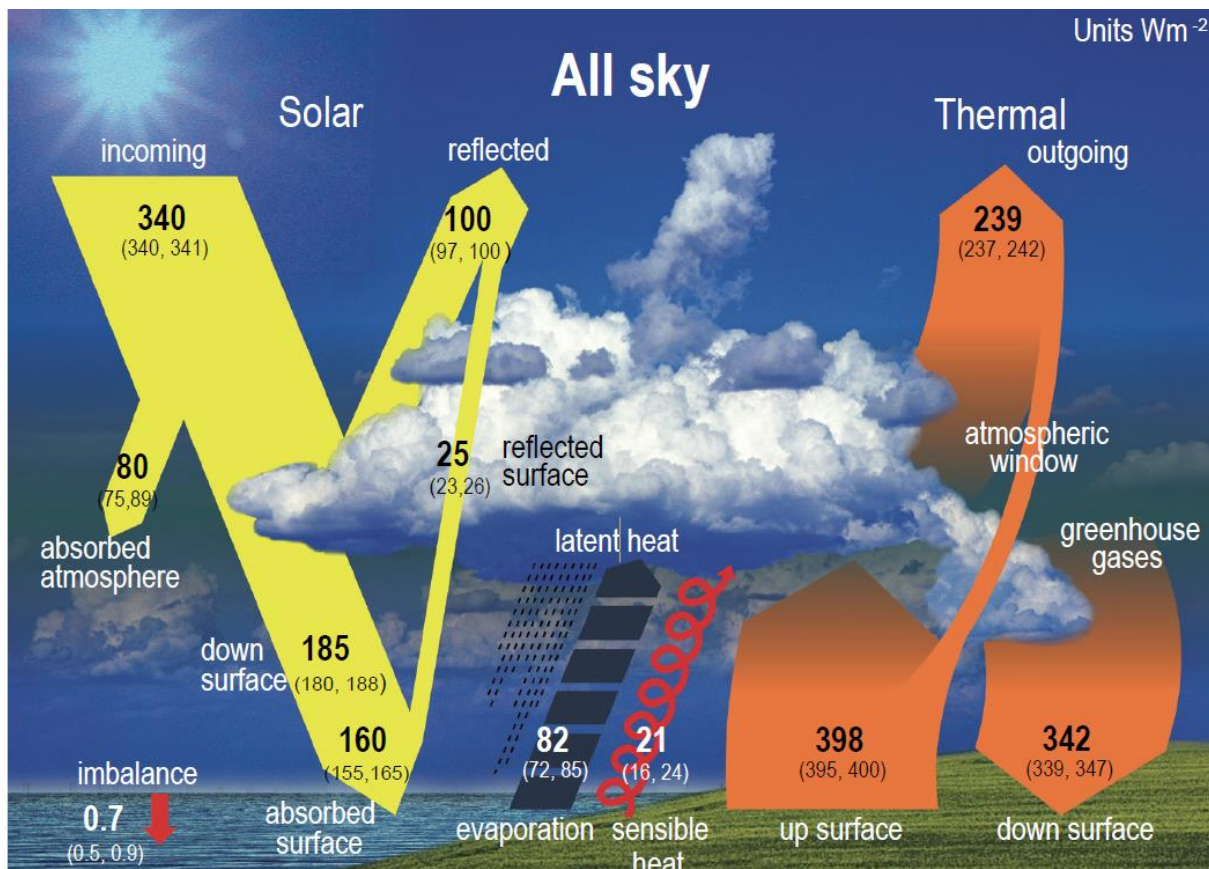
Az üvegházhatás 2/3 része

ERŐS VISSZACSATOLÁS:

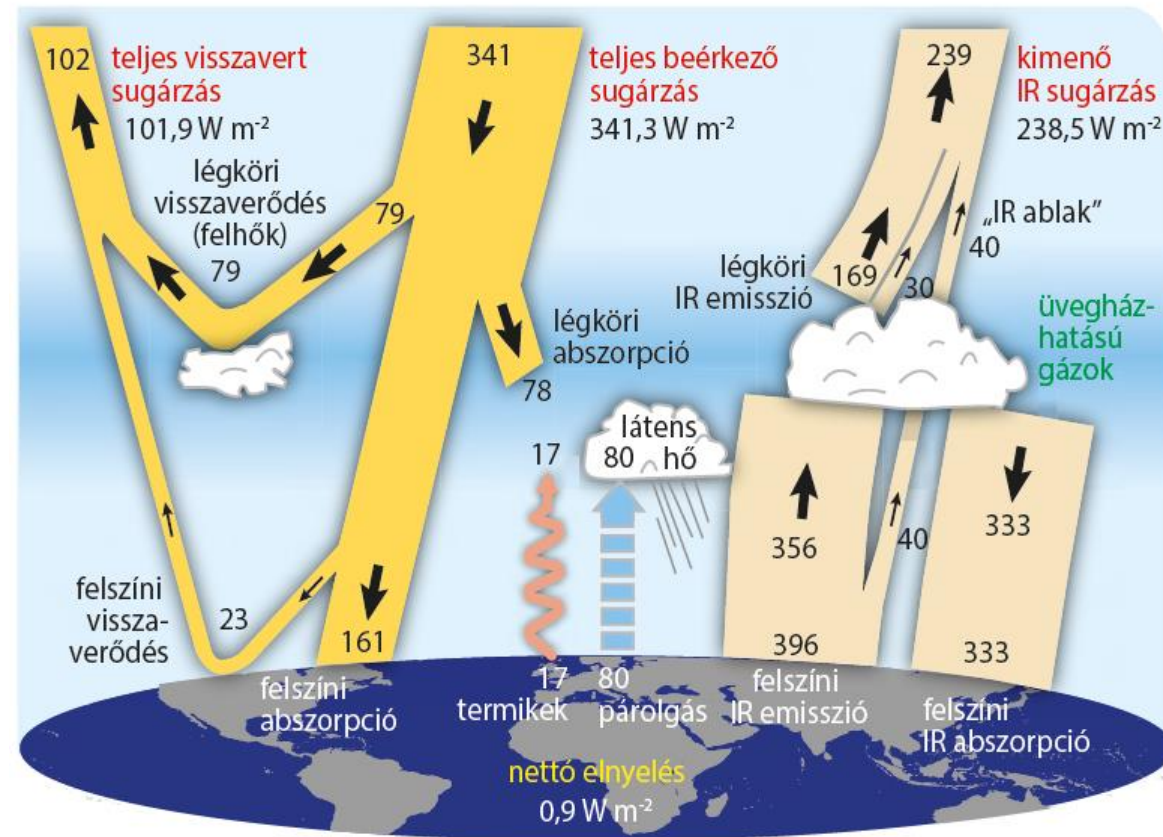
hőmérséklet nő
telítési arány nő

CO₂ triggerel

IPCC JELENTÉSEK



IPCC 6
2025. 04. 04.



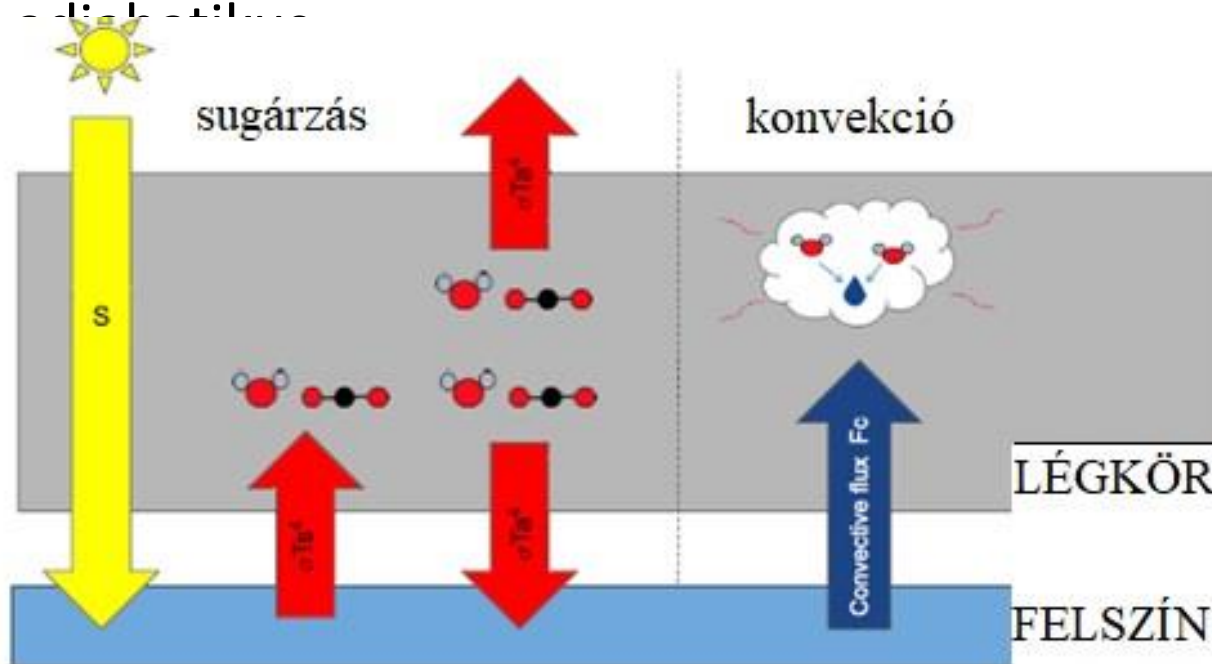
Fizika tankönyv A
(Trenberth ábra javítva)

MANABE NOBEL DÍJA (2021)

Syukuro Manabe megmutatta, hogy a légkör növekvő széndioxid tartalma hogyan vezet a Föld felszíni hőmérsékletének növekedéséhez. Az 1960-as években vezető szerepet játszott a Föld klíma-modelljeinek kidolgozásában, ő volt az első, aki felfedte a sugárzási egyenleg és a légköri konvekció kapcsolatát. Munkássága megalapozta a klímamodellek fejlesztését.

A SUGÁRZÁSI KONVEKTÍV EGYENSÚLY

Vegyük figyelembe a konvekciót is:
a konvekció történjen adiabatikusan, a
léggör legyen hidrosztatikus és



$$S = \sigma T_a^4$$

$$S + \sigma T_a^4 = \sigma T_f^4 + F_{konv}$$

$$T_f - T_a(z) = \Gamma z$$

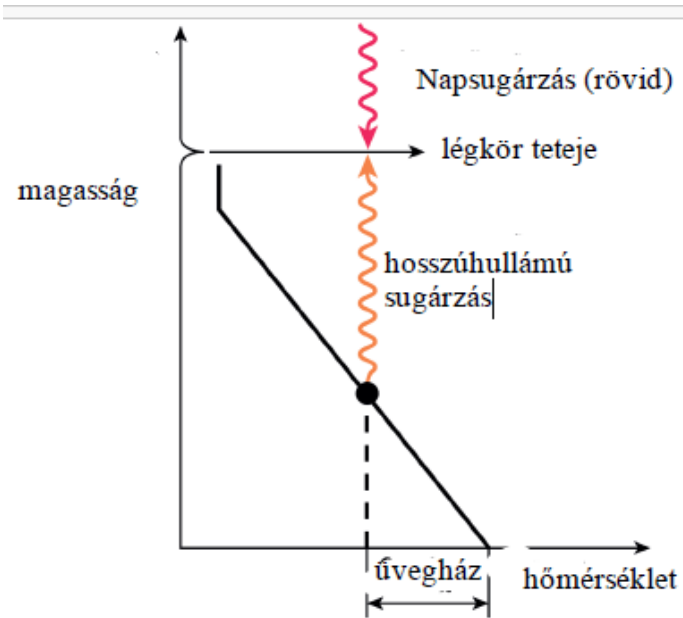
$$T_f = T_a(z)$$

adiabatikus $\Gamma = \frac{c_p}{g} \approx 10 \frac{\text{K}}{\text{km}}$

nedves adiabatikus: $\Gamma = -\frac{dT}{dz} = 6 \frac{\text{K}}{\text{km}}$

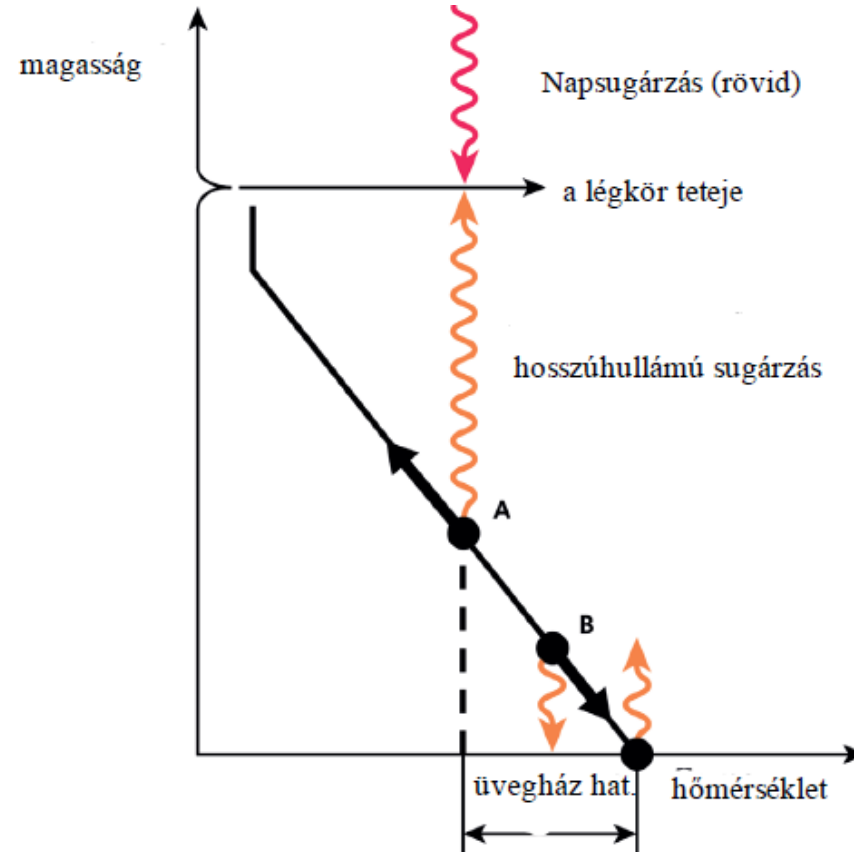
MANABE NOBEL ELŐADÁS

Sugárzási séma



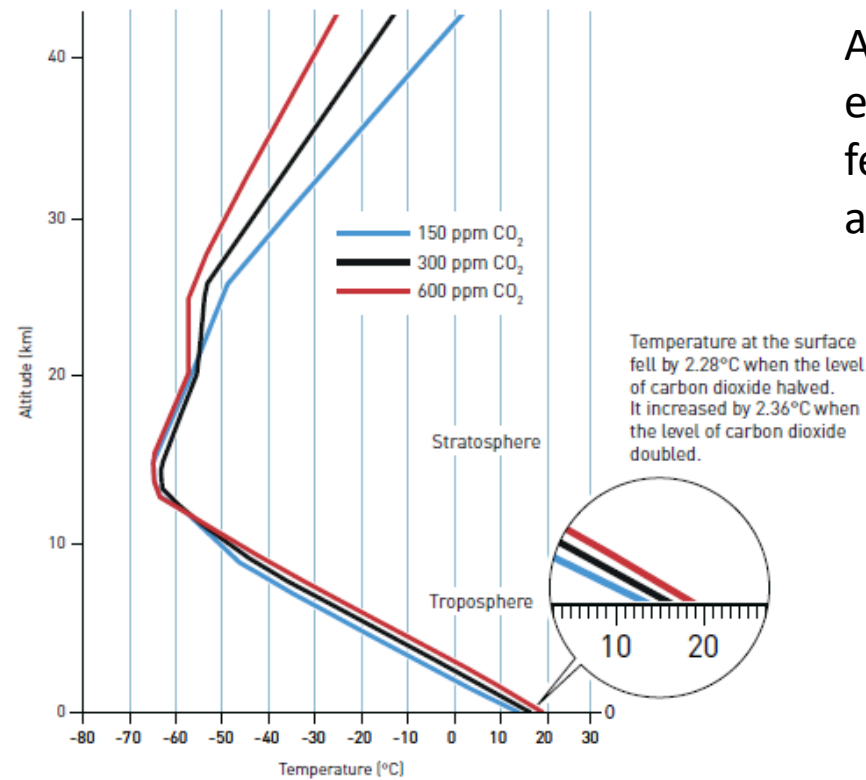
Feketetest sugárzást tételezünk fel

Az üvegházhatás és változása



MANABE RÉSZLETES SZÁMÍTÁSA

A széndioxid tartalom növekedése magasabb hőmérsékletet okoz a légkör alsó részében, míg a felső tartomány lehűl. Ezzel Manabe megerősítette, hogy a széndioxid és nem a napsugárzás növekedése okozza a változást, hiszen az utóbbi esetben az egész légkörnek melegednie kellene.



A felszín hőmérséklete 2,28 K-nel, esett a széndioxid tartalom feleződése miatt és 2,38 K-val nőtt a duplázódásával.

HASSELMANN NOBEL DÍJA (2021)

Tíz évvel Manabe után **Klaus Hasselmann** olyan modellt dolgozott ki, amely **összekapcsolta az időjárást és a klímát**, és így választ adott arra, hogy miért lehetnek a klíma modellek megbízhatóak annak ellenére, hogy az időjárás változékony és kaotikus. Emellett módszereket dolgozott ki a természeti változások, és **az emberi tevékenység** klímára gyakorolt hatásának, „**a jellemző ujjlenyomatoknak**” az **azonosítására**. Módszerei segítségével megmutatta, hogy a légkör hőmérsékletének jelenlegi növekedése az emberi széndioxid kibocsátásnak a következménye

5 + 2 ÁLLÍTÁS (KÉRDÉS?)

NINCS KLIMAVÁLTOZÁS

A GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS MÉRÉSI HIBA

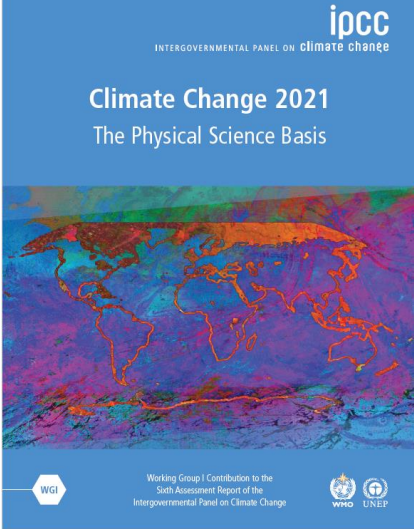
A KLÍMAVÁLTOZÁS TERMÉSZETES FOLYAMAT, AZ EMBER NEM BEFOLYÁSOLHATJA

A KLÍMAVÁLTOZÁS OKA A LÉGKÖRI SZÉNDIOXID NÖVEKEDÉSE

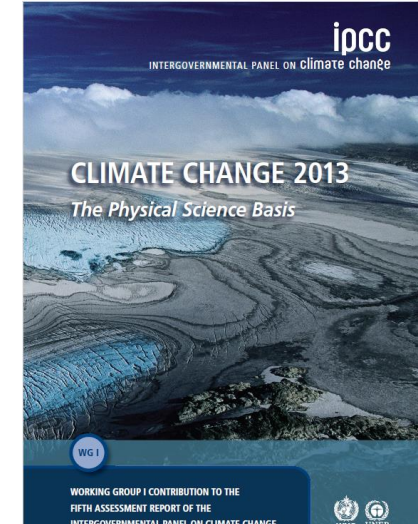
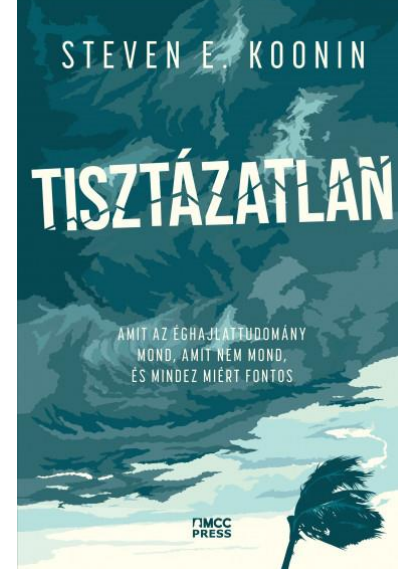
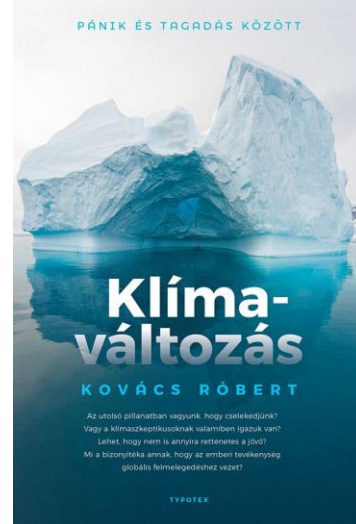
A KLÍMAVÁLTOZÁS OKA AZ EMBER ÁLTAL MEGNÖVELT SZÉNDIOXID KIBOCSÁTÁS

**A KLÍMAVÁLTOZÁS AZ EMBERISÉG FENNMARADÁSÁNAK EGYIK LEGÉGETŐBB
PROBLÉMÁJA, TENNI KELL ELLENE**

A KLÍMAVÁLTOZÁS NEM KOMOLY PROBLÉMA, ALKALMAZKODNI KELL HOZZÁ



Climate Change 2021
The Physical Science Basis



KÖSZÖNÖM A FIGYELMET



2025. 04. 04.



27