

# Széndioxid, üvegház, éghajlat

## érvek és ellenérvek

A Földön, a bolygó keletkezése óta, vagyis évmilliárdok óta, folyamatosan zajlik a klímaváltozás, ez jelenleg az átlagos felszíni hőmérséklet növekedésében nyilvánul meg. A jelenséget azonban sokan az emberi tevékenységnek tulajdonítják, a melegedés okát főleg abban látják, hogy túl sok széndioxidot bocsátunk ki a levegőbe. Ma már ezt a felfogást vallja a szakpolitikusok többsége, miközben – velük szemben – egyre több „klímaszkeptikus” tudós vonja kétségbe a klímaváltozás és a széndioxid emisszió közötti kapcsolatot, teszik ezt annak ellenére, hogy a klímaszkeptikus tábor média támogatottsága nagyon visszafogott.

A „klímaszkeptikusok” közé tartozik a világhírű magyar légkörfizikus tudós, Prof. Dr. Miskolczi Ferenc is, a NASA volt munkatársa, aki az Energiapolitika-2000 Társulat meghívására 2015. márciusban Magyarországon tartózkodott, és előadásokat tartott.

A Társulat elnökének javaslatára a Magyar Tudományos Akadémia is szervezett rendezvényt Miskolczi professzor számára, Csillebércen, a KFKI telephelyén, ezen azonban éppen azok a tudósok nem vettek részt, akik nem értnek egyet Miskolczi úr elméletével, így érdemi vitára nem kerülhetett sor. Kiszivárgott hírek szerint később az MTA épületében is sor került zártkörű megbeszélésre, amelyről azonban nem adtak ki közleményt, és Miskolczi úr sem volt hajlandó felvilágosítást adni.

Nem Miskolczi professzor az egyetlen nemzetközileg elismert szaktekinetly, aki vitatja a széndioxid szerepével kapcsolatos „hivatalos” álláspontot, de ezek a vélemények alig kapnak jelentősebb publicitást, miközben a közvélemény nemzetközi szintű „agymosása” zajlik a széndioxid-ideológia terjesztése érdekében.

Az igazi probléma abban van, hogy az éghajlat működése rendkívül bonyolult, a jelenségek modellezése hatalmas számítási teljesítményt igényel, amelynek során olyan egyenletrendszereket kell megoldani, amelyek az emberek többsége számára érthetetlenek. Márpedig a legtöbb ember hajlamos elhinni, hogy annál igazabb valami, minél többen hisznek benne.

A tudomány fejlődése azonban erre rácsafol. Az új tudományos felismerések sorsa általában az volt, hogy eleinte senki nem hitt bennük, a „kisebbségbe” kényszerült tudóst nem vették komolyan, olykor bolondként, vagy rosszindulatú ellenségként kezelték. Nagyon nehezen hitték el például, hogy a Föld nem lapos, hanem gömbölyű, hogy az égitestek között vonzóerő (gravitáció) működik, és hogy léteznek apró, láthatatlan élőlények (baktériumok), amelyek betegséget okozhatnak.

Ami a klímaváltozást és az üvegház hatást illeti, érdemes először egyes sokat hangoztatott fogalmakat pontosabban tisztázni, annak megértése érdekében, hogy egyáltalán miről is van szó.

## Fogalmak és definíciók

### Termikus egyensúly

Ha egy meleg tárgy (pl. a Nap), a sugárzásával melegít egy hidegebb tárgyat (pl. a Földet), akkor a hidegebb tárgy melegedni fog, ennek során hőmérsékleti sugárzást bocsát ki, és a hőmérsékleti sugárzás intenzitása addig fog növekedni, amíg be nem áll a „termikus egyensúly” állapota, ami azt jelenti, hogy a besugárzott és a kisugárzott teljesítmény azonossá válik.

A Föld átmérője:  $D = \text{kb. } 12.756 \text{ km}$ , a felszíne ennek megfelelően kb.  $511 \text{ millió km}^2$  ( $D^2\pi$ ), a napsugárzással szembeni hatáskeresztmetszete pedig kb.  $128 \text{ millió km}^2$  ( $D^2\pi/4$ ), a felszín negyedrésze.

A Nap besugárzási teljesítménye a Föld keringési pályáján, vagyis kb.  $150 \text{ millió km}$  távolságra a Naptól kb.  $1368 \text{ Watt/m}^2$ . Ennek kb. a harmadrésze a bolygó felszínéről és a felhőkről visszaverődik, szétszóródik a világűr felé, a többi, vagyis kb. a kétharmad része pedig elnyelődik és melegíti a bolygót. Termikus egyensúly akkor áll fenn, ha az elnyelt energia megegyezik a kisugárzott energiával.

Mivel a bolygó felszíne négyszerese a hatáskeresztmetszetének, így a napsugárzásból elnyelt energiát négyszer nagyobb felületen sugározza ki, ezért a termikus egyensúly feltételei:

$$\lambda * E_{\text{in}} = 4 * E_{\text{out}}$$

ahol a besugárzás intenzitása:

$$E_{\text{in}} = \text{kb. } 1368 \text{ Watt/m}^2$$

és az elnyelődési hatások:

$$\lambda = \text{kb. } 2/3$$

A bolygó teljes kisugárzási intenzitása:

$$E_{\text{out}} = \lambda * E_{\text{in}}/4 = \text{kb. } 228 \text{ Watt/m}^2$$

Mint látható, elég sok a „kb.” érték, amelynek az ellenőrzése megbízható méréssel nehezen megoldható.

### Az optikai sugárzások fontosabb tulajdonságai

Ha egy szilárd testet felmelegítünk, hőmérsékleti sugárzást, ún. „feketetest sugárzást” fog kibocsátani, amelynek a teljesítménye a **Stefan-Boltzmann sugárzási törvény** szerint arányos a sugárzó felülettel és a Kelvin fokban mért (abszolút) hőmérséklet negyedik hatványával:

$$E = \sigma \cdot F \cdot T^4 \text{ [Watt]}$$

ahol  $F$  a sugárzó felület nagysága, és  $\sigma$  a Stefan–Boltzmann-állandó

A feketetest sugárzás teljesítményének hullámhossz szerinti eloszlását adja meg a **Planck-féle sugárzási törvény**:

$$I = 2 \cdot h \cdot c^2 / [\lambda^5 \cdot (\exp(h \cdot c / \lambda k T) - 1)] \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

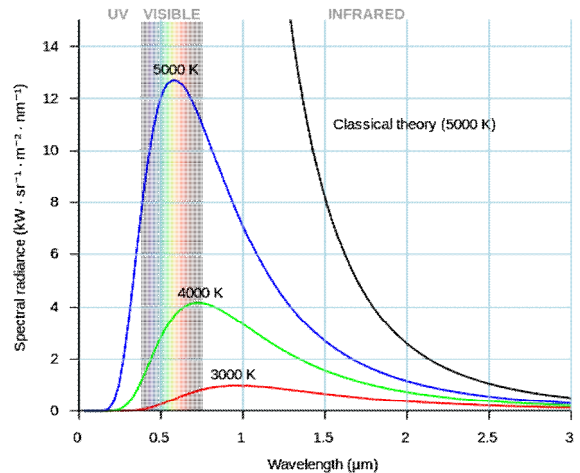
ahol  $h$  a Planck állandó,  $c$  a fénysebesség,  $\lambda$  a hullámhossz,  $k$  a Boltzmann állandó és  $T$  az abszolút hőmérséklet

A diagramból látható az eloszlási függvény alakja, és az, hogy a maximális sugárzási intenzitáshoz tartozó hullámhossz függ a „fekete test” hőmérsékletétől. Ezt a függést adja meg a **Wien-féle eltolódási törvény**, amely szerint:

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{constans} = \text{kb. } 2898 \mu\text{K}$$

A napsugárzás kb.  $T = 5800$  Kelvin fok színhőmérsékletéhez tartozó maximum hullámhossz:

$$\lambda_{\max} = \text{kb. } 0,5 \text{ mikron}$$



### Az optikai sugárzások elnyelődése

Ha az optikai sugárzás áthalad valamilyen közegen (folyadékon vagy gázon), akkor az energiájának egy része elnyelődik, és az intenzitása a közegben megtett optikai úthossznak megfelelően a **Beer-Lambert törvény** alapján exponenciális függvény szerint csökken:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot x)$$

Ahol  $\alpha$  az abszorpciós együttható és  $x$  az optikai úthossz

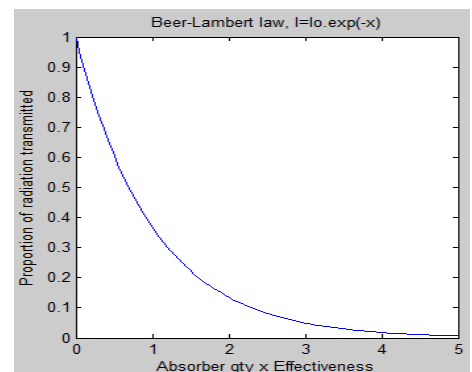
A sugárzási energia elnyelődése a közegben a megtett optikai úthossz függvényében:

$$\Delta I = I_0 \cdot [1 - \exp(-\alpha \cdot x)]$$

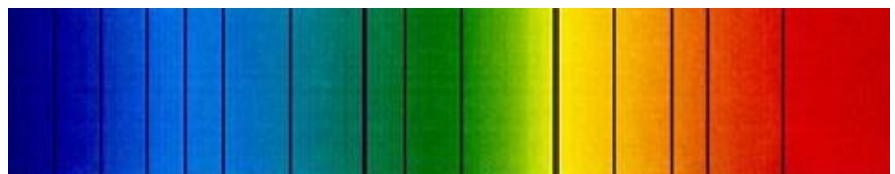
További fogalmak

abszorbancia:  $A = -\lg(I/I_0)$

transzmittancia:  $T = I/I_0$



Fontos tudni, hogy a Beer-Lambert féle függvényben szereplő  $\alpha$  abszorpciós együttható jelentősen függ a hullámhossztól, ezért az elnyelő közegen áthaladó fény spektrumában sötét vonalak



láthatók. Az elnyelő közeg alkotó molekulák ugyanis a rájuk jellemző hullámhosszakon nyelik el az energiát, ezért az abszorpciós spektrum egyfajta „ujjlenyomatként” megmutatja a gáz vagy folyadék kémiai összetételét.

Ami a légkört illeti, itt lehet még beszélni a normál állapotú gázra átszámított ekvivalens optikai úthosszról, illetve optikai rétegvastagságról is. A sztratoszférában elhelyezkedő ózon például ritka gázként mintegy 20-40 km magasságban helyezkedik el, de ha ezt az ózon mennyiséget lehoznánk a felszínre és összepréselnénk atmoszférikus nyomásra, mindössze kb. 3 mm vastagságban terülne el a földön, ezért az ekvivalens optikai rétegvastagsága kb. 3mm (szakszerűbb megjelöléssel: 300 Dobson egység, ahol 1 Dobson egység = 0,01 mm).

A légkörben található fontosabb gázok ekvivalens optikai rétegvastagsága a következő:

nitrogén kb. 5970 méter

oxigén kb. 1620 méter

argon kb. 72 méter

vízgőz kb. 24 mm

széndioxid kb. 2,3 méter  
 ózon kb. 3 mm  
 metán kb. 8 mm  
 nitrogén oxidok kb. 2 mm  
 halogénezett szénhidrogének kb. 0,4 mm

### A „nem ideális” „fekete test” emissziós spektruma

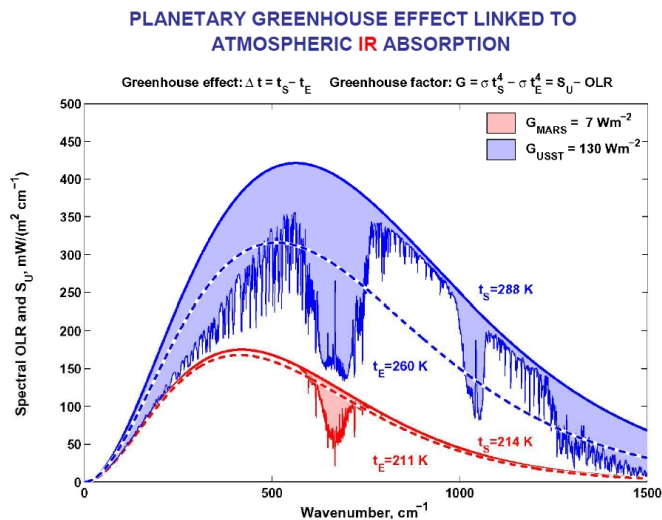
A fizikai világban létező és sugárzó tárgyak esetén is igaz a Stefan–Boltzmann törvény, amely szerint az egységnyi felületről kisugárzott teljesítmény arányos a Kelvin fokban mért (abszolút) hőmérséklet negyedik hatványával, miközben a kisugárzás spektruma csak durva közelítéssel követi az elméleti Planck függvényt.

Példaként az itt látható diagram forrása Miskolczi professzor előadása.

A felső kék színű folyamatos eloszlási függvény jellemző a Föld felszín átlagos felszíni kisugárzására, az alatta látható hullámzó görbe pedig a bolygó világűrbeli mérhető külső kisugárzásának spektrumát mutatja, amelybe szaggatott vonallal be van rajzolva a bolygó külső színhőmérsékletéhez tartozó elméletileg kiszámítható eloszlás.

Az alsó piros diagramok a Mars bolygó esetén mutatják be ugyanezt.

A diagram egyben szemlélteti két fontos fogalom értelmezését. Az egyik az **üvegház effektus**, amely a felszíni és a külső hőmérséklet különbsége, a másik az **üvegház tényező**, amely a kisugárzási teljesítmények különbsége.



### Az „üvegház” működése

A „hivatalosan” publikált üvegház modell a zöldség termesztéshez használt „valódi” üvegház mintájára lett megalkotva.

Ennek lényege a következő:

A Nap kb. 5800 Kelvin színhőmérsékleten sugároz, túlnyomórészt a látható optikai tartományban. A sugárzás mintegy 2/3 része éri el a talajszintet, miközben a különféle hullámhosszúságú komponensek eltérő mértékű elnyelődése miatt a színhőmérséklete egy kicsit módosul, ezért talajszinten a maximális besugárzási teljesítmény az 540 mikron körüli hullámhossznál mérhető.

A talaj a besugárzást felmelegszik, és hőmérsékleti sugárzást bocsát ki kb. 20-szor magasabb hullámhosszon, az infravörös tartományban, mivel az átlagos felszíni abszolút hőmérséklet mintegy 20-ad része a napsugárzás színhőmérsékletének.

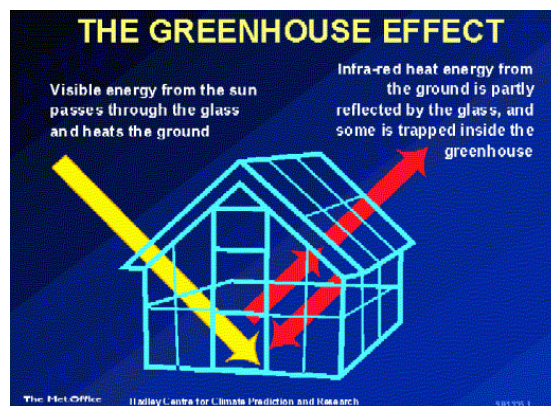
A talaj kisugárzásának egy része az atmoszférában elnyelődik, amely az elnyelt energia felét kisugározza a világűr felé, a másik felét vissza sugározza a talajszintre. A visszasugárzás következtében a talajszinten megnövekszik a hőmérséklet és ez a hőfok növekedés az eredménye az ún. üvegház hatásnak, amelyet meghatároz az atmoszférában jelen lévő gázok infravörös elnyelő képessége.

Ha figyelembe vesszük az egyes légköri komponensek ekvivalens optikai rétegvastagságát és infravörös elnyelő képességét, „üvegház hatékonyságát”, meghatározhatjuk, hogy az egyes komponensek milyen arányban vesznek részt az üvegházhatásban.

A hatékonysági együttható azt mutatja meg, hogy ha valamelyik üvegház gázból kibocsátunk a levegőbe egy köbmétert, annak üvegház hatása hány köbméter széndioxid kibocsátásnak felel meg.

Az egyes fontosabb „ÜVH” gázok hatékonysági szorzója a következő:

széndioxid: 1 (vonatkoztatási egység)  
 vízgőz: kb. 200-300 között  
 metán: kb. 20-30 között  
 ózon: kb. 1500-2000 között  
 dinitrogénoxid: kb. 200-300 között  
 freonok: kb. 8000-12000 között



A kb. megjelölést az indokolja, hogy a különféle gázok az infravörös tartományban nem ugyanazokat hullámhosszú sugárzási komponenseket nyelnek el, ezért a hatásuk attól is függ, hogy milyen volt a kibocsátás előtt az ÜVH gázok koncentrációja a légkörben.

Ha például valamelyik ÜVH gáz már korábban elnyelte valamelyik hullámhosszon a felszíni emisszió 90%-át, és megduplázzuk az illető gáz koncentrációját (ekvivalens optikai rétegvastagságát), akkor ez a többlet ÜVH gáz már csak a korábban átengedett (el nem nyelt) sugárzás 9/10 hányadát fogja elnyelni. Ezért a „dupla koncentráció” eredményeként az abszorpciója 90% helyett 99% lesz. Ebből az ÜVH gázból pedig további mennyiség kibocsátása már nem fogja észrevehetően befolyásolni a bruttó üvegház hatást.

Figyelembe véve az ÜVH gázok jelenlegi koncentrációját és ekvivalens optikai rétegvastagságát, a fontosabb ÜVH gázok becsült hozzájárulása a teljes üvegház hatáshoz a következő:

vízgőz: kb. 50-70 % között  
széndioxid: kb. 15-20 % között  
metán: kb. 3-6 % között  
ózon: kb. 6-8 % között  
dinitrogénoxid: kb. 2-4 % között  
freonok: kb. 0,5-0,8 % között

### Az üvegház modell hiányosságai

A hivatalosan támogatott üvegház modell meglehetősen elnagyolt és pontatlan. Az atmoszféra voltaképpen nem üvegház, hiszen nem úgy működik, mint a zöldségtermesztésben használt „igazi” üvegház.

Az igazi üvegházat mozdulatlan, merev üveglapok borítják. A levegő nem mozdulatlan burok a bolygó körül, benne áramlások zajlanak. Ha a talajt a napsugárzás felmelegíti, az kiszárad, belőle vízgőz kerül a levegőbe, akárcsak a felszíni vizek párolgásából.

A víz elpárologtatása – akár talajból, akár vízfületről – jelentős hőenergiát von el a felszíntől. Ezt a hőenergiát a felfelé áramló meleg levegő több kilométer magasba szállítja, és a vízgőz kicsapódásából felszabaduló hőenergia ott sugárzódik ki a világűr felé, ahol már ritka a levegő és alig érvényesül üvegházhatás.

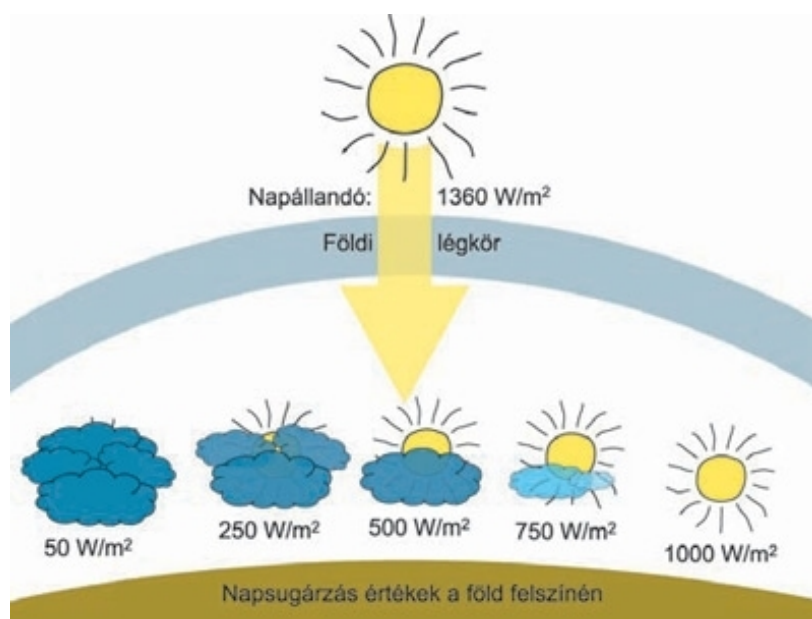
Így képződnek a felhők is, amelyek nagy fehér felületeket képezve visszaverik a világűr felé a napsugárzás jelentős részét, és mérsékelik a felszíni meleget.

Az üvegház modell komoly hiányossága éppen az, hogy nem tud mit kezdeni a felhőkkel. A bolygó felszínének mintegy kétharmad része fölött ugyanis felhők találhatók, amelyek nem csak a napsugárzás egy részét verik vissza, de a felszínről kiáradó infravörös sugárzás egy részét is, méghozzá attól függően, hogy milyen sűrű az a felhő, amely éppen a fejünk felett van.

A felszíni hőmérsékletet nem csak az befolyásolja, hogy mekkora besugárzást kap a talajszint, hanem az is, hogy annak mekkora hányadát nyeli el, és mekkora hányadát veri vissza. A felszín optikai tulajdonságainak jelentőségéről könnyen meggyőződhetünk például egy forró nyári napon, amikor a pesti körúton kibírhatatlan a hőség, miközben a budai hegyekben vígan szalonnáznak a turisták.

A talajszint fényvisszaverő képességét nevezik albedónak, vagyis azt, hogy a felszín a napsugárzás mekkora hányadát veri vissza. Néhány tipikus felszín típus albedó értékeit a táblázat mutatja.

Valamely földrajzi térségben a mikroklimát észrevehetően befolyásolhatja az albedó mesterséges megváltoztatása. Ha egyre több autópályát, lebetonozott parkolót és lapos tetejű házakat építünk, és a kivágott erdők helyére biomassza és bioüzemanyag ültetvényeket telepítünk, ezzel valóban gyakorolhatunk befolyást az éghajlatra.



Különböző felszínek albedói

Friss hó	0,81-0,85	Tengervíz	0,08-0,10
Régi hó	0,42-0,70		
Tengeri jég	0,30-0,40		
Zöld gabona	0,21-0,24		
Szántóföld	0,15-0,24		
Csupasz talaj	0,12-0,18		
Homok	0,10-0,25		
Tülevelű erdő	0,15-0,20		
Lombos erdő	0,10-0,15		





## Az atmoszféra szerkezete

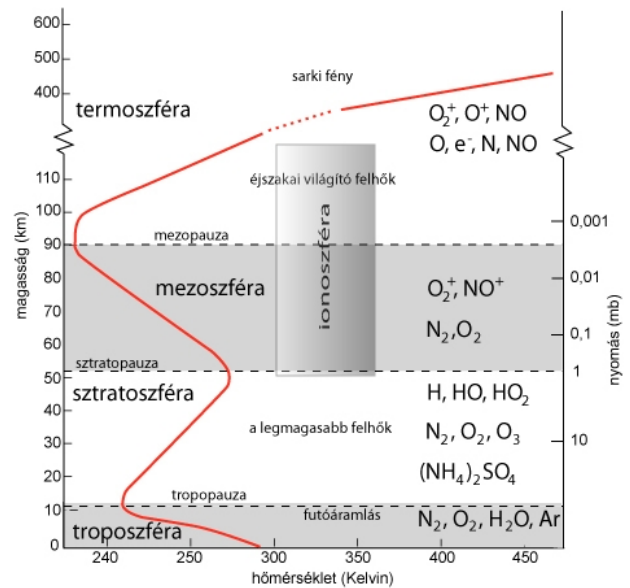
Az atmoszféra egymás felett elhelyezkedő, eltérő tulajdonságú rétegekből áll, ezért ha magasabbra megyünk, csökken a nyomás, és változik a hőmérséklet.

Az atmoszféra rétegződésének legegyszerűbb modellje szerint bármilyen magasságban akkora a nyomás, hogy az elbírja a felette elhelyezkedő rétegek súlyterhelését.

A meleg talajszintről a levegő felfelé áramlik és kitágul, de közben – elvileg – oldal irányban nem ad le hőenergiát és nem is kap, ezért az állapot változása elméletileg adiabatikusnak tekinthető, és ennek megfelelően számítható ki az adiabatikus hőmérsékleti gradiens az ismert termodinamikai egyenletek alapján.

Ez a modell azonban csak akkor felelne meg a valóságnak, ha a levegő egyetlen ideális gázból állana, és benne nem zajlanának le halmazállapot változások.

De lezajlanak, hiszen a felfelé áramló levegő jelentős mennyiségű vízgőzt is visz magával, amely a magasabb légrétegekben kicsapódik, belőle felhő, majd csapadék (eső, hó, jég) keletkezik, és ez jelentős hőenergia felszabadulásával jár. Emiatt az atmoszféra rétegeinek nyomása és hőmérséklete a diagramnak megfelelő jellegű lesz.



## Az éghajlatot meghatározó tényezők

Miskolczi professzor a NASA munkatársaként évtizedeken keresztül tanulmányozta a klíma modelleket, és ezek ellenőrzésére hatalmas mennyiségű (több száz millió) mérési adatot dolgozott fel, 10-12 számjegy felbontással, ami megfelel  $\pm 0,0000000001\%$  pontosságnak.

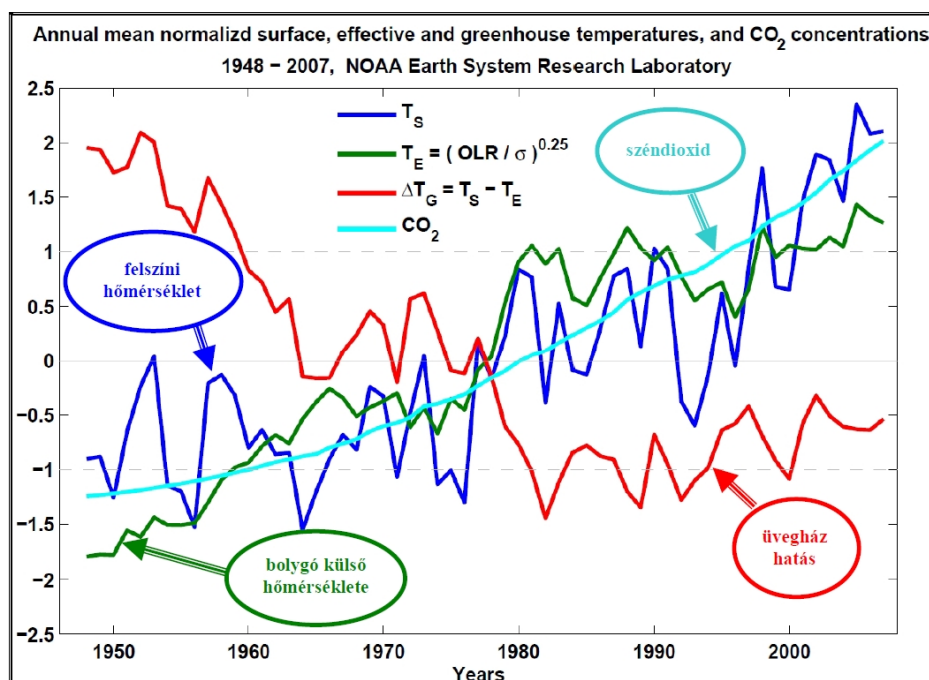
Az alapos vizsgálatok eredménye az volt, hogy a hivatalosan elfogadott és reklámozott klíma modellek nem igazolhatók. A valóság sokkal bonyolultabb, abban a széndioxid szerepe gyakorlatilag csaknem elhanyagolható.

Ami az éghajlatot döntően befolyásolja, az a víz, amelynek a mozgása, áramlása, halmazállapot változása folyamatosan alakítja a bolygó felszínén uralkodó körülményeket. A bolygó felszínének több mint kétharmadát ugyanis víz borítja, és az égbolt csaknem kétharmadán állandóan felhőtakaró látható.

A víz különleges anyag, egyszerre van jelen mind a három halmazállapotban, folyékony víz, vízgőz, valamint hó és jég formájában. Kiemelkedően magas a fajhője, az olvadási hője és a párolgási hője. Döntően meghatározza az üvegház hatást, az egész bolygóra átlagolt planetáris albedót, továbbá a bolygón zajló energia áramlásokat.

Miskolczi professzor egyik legfontosabb kutatási eredményét az itt látható diagram szemlélteti.

Eszerint 1948-2007 között, hat évtized alatt, folyamatosan növekedett a levegő széndioxid tartalma, valamint a bolygó átlagos felszíni hőmérséklete, miközben a globális üvegház hatás jelentős mértékben csökkent!!!



Ebből két fontos következtetés adódik:

1. a széndioxid koncentráció növekedése nem okozhatja az üvegházhatás növekedését
2. az üvegházhatás növekedése nem okozhatja a felszíni hőmérséklet növekedését

A lehetséges magyarázat pedig esetleg így hangozhat:

1. a felszíni hőmérséklet növekedését valamilyen más hatás okozza
2. a levegőben a széndioxid mennyisége főleg a felszíni hőmérséklet emelkedésének hatására növekszik, például azért, mert az óceánok melegedésekor a bennük felhalmozódott, elnyelt hatalmas mennyiségű széndioxid egy része kiszabadul a levegőbe
3. az üvegház hatás csökkenését éppen a felszíni hőmérséklet növekedése okozza, hogy visszaálljon a bolygó termikus egyensúlya

Miskolczi professzor kutatásainak másik fontos eredménye az, hogy a bolygó, a felszíni melegedés ellenére, jelenleg gyakorlatilag termikus egyensúlyban van, köszönhetően az üvegházhatás csökkenő tendenciájának.

Ez azt jelenti, hogy a hivatalos jelentésekben szereplő négyzetméterenkénti 0,6 Watt besugárzási többlet biztosan nem megalapozott.

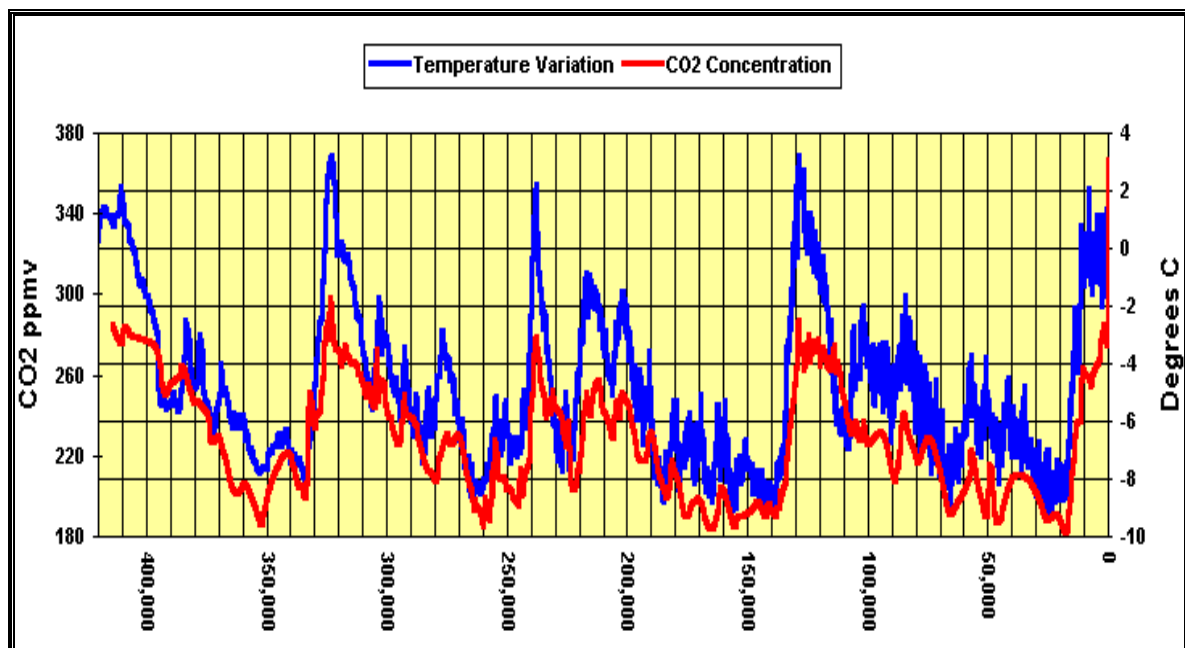
Erre vonatkozóan Miskolczi úr bemutatta az itt látható ábrát, amely mellett fel van tüntetve az a hivatalosan közzétett becslés, amely alapján a szakpolitika állítja a pozitív termikus egyenleget.

A közzétett **0,6 Watt/m<sup>2</sup>** egyenleg számítási bizonytalansága ugyanis:

**+/-17 Watt/m<sup>2</sup>** ami elfogadhatatlan!!!

Érdemes megemlíteni, hogy Prof. Dr. Reményi Károly akadémikus szerint is a felszíni hőmérséklet emelkedése következtében növekszik a levegő széndioxid tartalma, és nem fordítva.

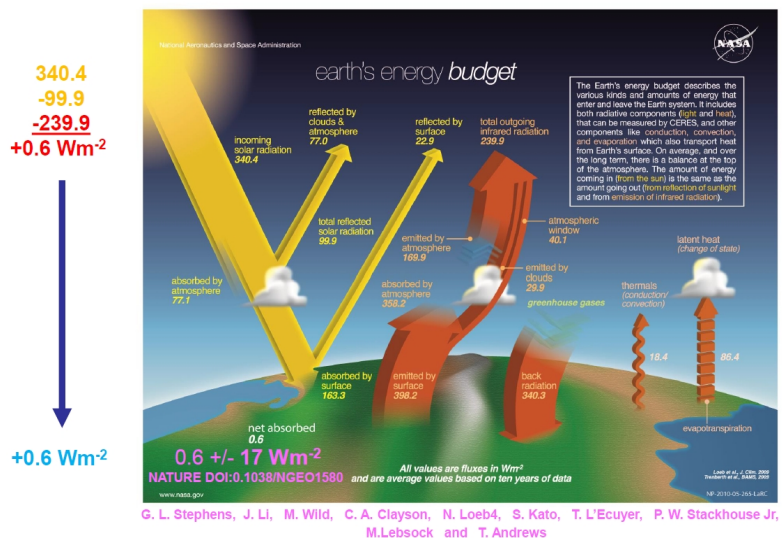
Erre vonatkozott az egyik előadásában bemutatott diagram, amely több mint 400 ezer évre visszamenőleg szemlélteti ezek között az összefüggést:



## A széndioxid szerepe a bioszféra működésében

A tudósokat régóta foglalkoztatja a kérdés, minek köszönhető, hogy a Földön egyáltalán kialakulhatott élet.

A problémával behatóan foglalkoznak a nemzetközi SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) program keretében is, amelynek célja lakható bolygók és olyan távoli élőlények felkutatása, amelyek biológiai felépítése



hozzánk hasonló, vagyis a szervezetük szén alapú szerves anyagokból áll. Ennek során definiálták a minimális kritériumokat, amelyek teljesülése esetén egyáltalán érdemes ebből a szempontból foglalkozni egy távoli csillag valamelyik bolygójával.

Feltéve, hogy a csillag megfelelő helyen van, nem túl messze és nem túl távol a galaxis központjától, és a környezetében nem túl nagy a csillagsűrűség, a vizsgálandó bolygóra vonatkozó legfontosabb követelmények a következők:

- Olyan pályán keringjen a csillaga körül, hogy ne legyen rajta nagyon meleg vagy nagyon hideg.
- Rendelkezzen üvegház hatású légkörrel, amely megvédi a felszínt a világűr fagyos hidegétől.
- Legyen rajta nagy kiterjedésű szabad víz felület.
- A légkör tartalmazzon oxigént, nitrogént, széndioxidot és vízgőzt.

A széndioxid létfontosságú az élethez. Ha sikerülne kiküszöbölni a levegőből a széndioxidot, minden élet elpusztulna. Először a növények fejeznék be a növekedésüket, utána az emberek és az állatok halnának éhen.

Kevesen tudják, hogy a széndioxid egészségre ártalmatlan, színtelen, szagtalan, láthatatlan gáz, azonos a borpincékben képződő mustgázzal, de nem azonos a TV-ben gyakran mutogatott, látható kémény füsttel, nem tévesztendő össze a mérgező szénmonoxiddal, és nem képződik belőle szmog.

Egyes mezőgazdasági szakemberek szerint a levegő jelenlegi, 400 ppm, mindössze 0,04 % körüli széndioxid tartalma nevetségesen kevés, ennek legalább 2-3-szorosára lenne szükség.

0,1 % körüli széndioxid tartalom esetén magasabbak lehetnének a mezőgazdasági termés-hozamok, kevesebb műtrágyát kellene használni.

A széndioxid jót tesz az emberi egészségnek is, mivel a széndioxidos gyógy-termálfürdők tapasztalata szerint, megfelelő koncentrációban, kifejezetten gyógyító hatású. Ha pedig a széndioxid tényleg káros lenne, be kellene tiltani a széndioxiddal dúsított üdítő italokat is.

A túl sok széndioxidtól – például a borpincében keletkező tömény mustgáztól – meg is lehet fulladni, akárcsak a víztől, mégis mind a kettő nélkülözhetetlen az élethez.

Még az 1990-es években többek között Prof. Dr. Marx György akadémikus foglalkozott a széndioxid természetes körforgásával. A körfolyamat fontosabb lépései a következők:

A levegőben a széndioxid a vízgőzzel vegyülve szénsavat alkot ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$ ), amely savanyú eső formájában lehullik, olyan, mint az enyhe szódavíz, és nem tévesztendő össze az ipari tevékenység egyik káros következményével, a kén tartalmú savas esővel.

A lehulló szénsav eróziós hatást fejt ki a vulkanikus eredetű bazalt kőzetekre.

A bazalt az egyik leggyakoribb kőzetféleség, nagy része kalcium-szilikát ( $\text{CaSiO}_3$ ). Ezzel lép kölcsönhatásba a savanyú eső, és bomlástermékként víz, mészkő (kalcium-karbonát), és kvarchomok (szilícium-dioxid) keletkezik ( $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CaSiO}_3 = \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2$ ), ezzel a savanyú eső széntartalma lekötődik.

A tűzhányók jelentős része az óceánok mélyén működik, ezért a vulkanikus bazaltképződés nagyobbik része is itt zajlik le, és a tengeráramlatok által az óceánok fenekére lejutó szénsav itt is kifejti az eróziós hatást.

A földkéreg mozgása, átalakulása során a kőzetek lassan lesüllyednek, a fokozódó nyomás és hőmérséklet hatására a mészkő elbomlik ( $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ ), és a keletkező széndioxid a tűzhányókon és a termálvizeken keresztül ismét kijut a légkörbe.

A körfolyamat egyfajta önszabályozó visszacsatolásként is működik, mivel ha a levegőben a széndioxid nagyon feldúsul, fokozódik a savanyú eső képződés, több szén távozik a légkörből, és a rendszer visszaszabályozza önmagát. Érdemes azt is megemlíteni, hogy a nem kondenzálódott szénsav gőz is viszonylag gyorsan ülepedik ki, mivel kb. 2,2-ször nehezebb mint a levegő.



## Éghajlatváltozások

Jogosan vetődhet fel a kérdés, hogy ha sem a széndioxid, sem a globális üvegház effektus nem okozhatja az éghajlat változását, mégis minek köszönhetjük, hogy a tapasztalat szerint az éghajlat, és ezen belül egyes területek mikroklimája és lokális időjárása is folyton változik.

A légkör rendkívül bonyolult, sok szabadságfokú rendszer. Működését – elvileg – nem lineáris egyenlet rendszerekkel és ezekre épülő kaoszelméleti modellekkel lehetne leírni, azonban a probléma rendkívüli bonyolultsága miatt a lehetőségek korlátozottak.

Ennek ellenére vannak bátor szakemberek, akik akár évszázados távlatú jóslásokba hajlandók bocsátkozni. Az ilyen prognózis készítőit azonban legfeljebb ahhoz a brókerhez lehet hasonlítani, aki száz évre előre megjósolja a tőzsdei árfolyamokat, és ennek biztos tudatában ajánlja a portfóliókat a befektetőknek.

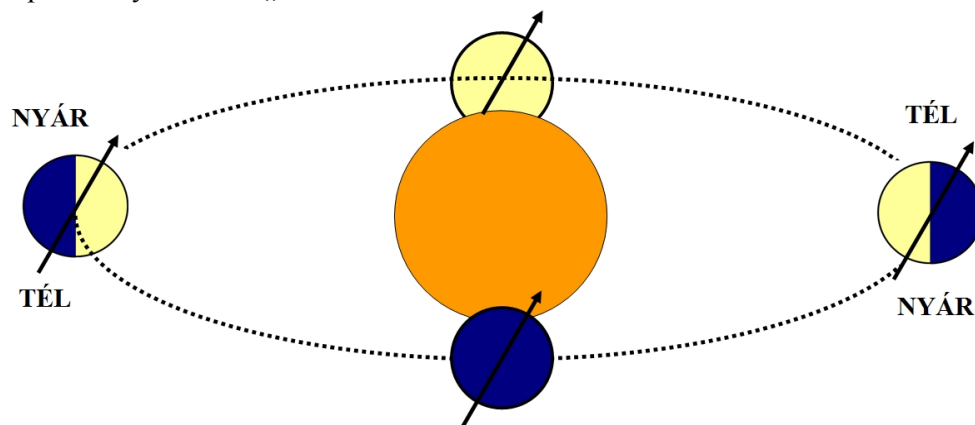
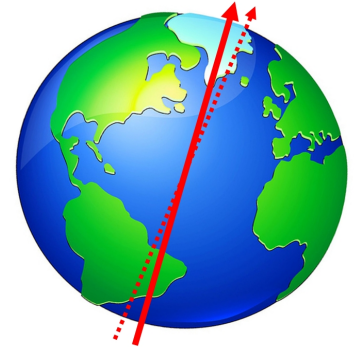
Nem lehet megmagyarázni például, hogy mi okozta az 1300-as években bekövetkezett ugrásszerű hőmérséklet növekedést, amikor éveken keresztül háromszor lehetett vetni és aratni, mert nem volt tél, vagy hogy mi okozhatta az 1600-1700-as években lezajlott „kis jégkorszakot”.

A hosszabb távú – több tízezer és százezer éves – trendekre azonban létezik viszonylag használható modell.

Ilyen a **Milankovics-Bacsák** elmélet, amely szerint a jégkorszakok és melegedési korszakok ciklikusan ismétlődő változását a Föld Nap körüli pályájának és a forgástengely dőlésének ingadozásai okozzák.

Ebben szerepet játszik a nagybolygók (Jupiter és Szaturnusz) perturbációs hatása, valamint az, hogy a Föld forgástengelyének dőlésszöge és a dőlés iránya is ingadozik a pályasíkra állított merőlegeshez képest mintegy 21,5 és 24,5 fok között. Márpedig, ha a Föld forgás-tengelyének dőlése egyetlen fokkal megváltozik, az éghajlati övek kb. 110 kilométerrel tolódnak el a sarkok felé vagy az Egyenlítő felé.

A klímaváltozást befolyásoló másik tényező az, hogy a Föld a Nap körül nem pontosan körpályán kering, és az enyhén ellipszis alakú pálya alakja és az ellipszis nagytengelyének iránya is állandóan változik, emiatt a pálya mentén a „tavaszpont” folyamatosan „vándorol”.



Amikor nálunk nyár van, olyankor a déli féltekén tél van, és viszont, ezért – a forgástengely dőlése miatt – egyszer az északi, máskor a déli félteke kap több napsugárzást.

Amikor nálunk nyár van, és a déli féltekén tél, olyankor a Föld egy kicsit távolabb van a Naptól, mint amikor nálunk van tél, és a déli féltekén nyár. A szerepek azonban időnként megcserélődnek.

Ennek azért van jelentősége, mert az északi féltekén sok a szárazföld, és kevés a szabad vízfelület, míg a déli féltekén sok az óceán, és viszonylag kevés a szárazföld. Mivel a szabad vízfelület és a szárazföld eltérő határfokkal nyeli el a napsugárzás energiáját, ezért nem mindegy, hogy – éves átlagban – az északi vagy a déli félteke kap több besugárzást.

Budapest, 2015. április

Dr. Héjjas István