

## Hozzászólás a globális felmelegedés témához

Üvegházhatás nélkül a Föld egyensúlyi hőmérséklete egyszerű módon számítható. Az R sugarú Föld a Nap sugárzását  $R^2 \cdot \pi$  felületen kapja, és  $4 \cdot R^2 \cdot \pi$  felületen sugározza ki. Fekete vagy tökéletes szürke test feltételezésével az egyensúly:

$$a \cdot S \cdot R^2 \cdot \pi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot 4 \cdot R^2 \cdot \pi .$$

$a = \varepsilon$  relatív abszorpció ill. emisszióképesség

$$\sigma = 5.67051 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \quad (\text{Stefan – Boltzmann állandó})$$

$$S = 1395 \text{ W/m}^2 \quad (\text{szoláris állandó})$$

Ebből az egyensúlyi hőmérséklet: (zsebszámológéppel is ellenőrizhető)

$$T = (S/4\sigma)^{1/4} = 280 \text{ K} \quad \text{azaz } 7^\circ\text{C}$$

Következésképpen az üvegházhatást, ami abban nyilvánul meg, hogy a Föld nem fekete, de még csak nem is szürke testként viselkedik, ehhez a hőmérsékletértékhez kell viszonyítani.

A Föld eltérése az ideálisan szürke testtől gáz és vízburokkal együtt értendő. Igaz, hogy így az optikai felszín pontos definiálása elég nehéz mivel a visszaverődés és a kisugárzás több szinten is történik. A Kirchhoff törvényt akár axiómaként is elfogadhatjuk, azaz egy adott hullámhosszon a relatív abszorpcióképesség és a relatív emisszióképesség egyenlő, különben a kezünkben volna egy perpetuum mobile.

Az üvegházgázok tehát nem visszaverik a hősugarakat, hanem minden irányba újra kisugározzák. Durván fogalmazva felét átengedik, felét visszaverik. De nemcsak a Föld felől működik „félígáteresztő” tükröként, hanem a világuír felől is az elnyelő tartományokban.

Az oxigén, nitrogén és a nemesgázok gyakorlatilag nem befolyásolják a ki és besugárzást, de a hőszállításban részt vesznek. A magassági hőmérsékletgradiensben például ezeknek a gázoknak az adiabatikus hőmérsékletváltozása a felelős. Értelmetlen tehát egy olyan kérdés, hogy mi lenne, ha az egész földfelszín a Pamir magasságában lenne?

A vizet (és a vízgőzt) ki kell emelni a többi anyag közül, mivel a Föld felszínének a hóháztartásában akkora a szerepe, hogy az összes többi visszaverő és elnyelő felület szinte csak korrekciós tényezőként szerepel. A Föld felület több mint kétharmadát kitevő tengervíz fényelnyelése és hősugárzása domináló hatású. Ráadásul a szárazfölkdek fölött levő felhőtakaró, hó és jég szerepe is nagy. Különösen fontos, hogy a látható fényben fehér jégkristályok a 270 K körüli termikus sugárzásban majdnem feketék. A több mint egymilliárd  $\text{km}^3$  tengervíz egyetlen fokkal való felmelegítése egy háromnegyedévi teljes napsugárzásnak felel meg. Bonyolult áramlási rendszerével a hőforgalom csak százévesnél nagyobb léptékkal kezelhető. A levegőben levő vízpára lecsapódásának, kifagyásának és elpárolgásának a hőforgalma összemérhető az összes többi alkotórész hőmérsékletváltozásból adódó hőforgalmával. A felhőtakaró árnyékoló hatása pedig minden műszer nélkül érezhető.

A széndioxid mennyisége a levegőben 0.03 tf%, azaz  $0.03 \cdot 44/29 = 0.045$  tömeg%. A földfelszín minden négyzetmétere fölött 10 t levegő van, ebből tehát 4.5 kg  $\text{CO}_2$ . Ez 510millió  $\text{km}^2$ -en  $2.3 \cdot 10^{12}$  tonna  $\text{CO}_2$ -t jelent. A talaj szintjén ez 2.3 m vastag  $\text{CO}_2$  réteget jelentene. Ez az 1995 évre megadott 6124? millió tonna/év  $\text{CO}_2$  375-szöröse (2000-ben csak kőolajból ennek a kétszerese keletkezett). A széndioxid azonban nemcsak a levegőben van, hanem az óceánokban oldva kb. még egyszer ennyi, ez viszont kölcsönhatásban van a vízben oldott hidrogénkarbonátokkal, elsősorban a tengervíz körülbelül egy tized ezrelékét (vízhez viszonyítva!) kitevő kalciumhidrokarbonáttal. Ennek tömegét tekintve kb. 1/3-a a reverzibilis vegyi folyamatban részt vevő széndioxid. Ennek a tömege a földfelszín 2/3-át borító átlagosan 4 km mély tengerben kb.  $4 \cdot 10^{13}$  t. Ez a mennyiség mintegy 17.5-szerese a levegőben levő szabad gázállapotú széndioxidnak azzal állandó dinamikus kölcsönhatásban óriási puffert képezve.

Azt, hogy a levegő  $\text{CO}_2$  tartalmának növekedésében milyen mértékben felelősek a fosszilis tüzelőanyagok, jól lehetne közelíteni az 5700 év felezési idejű  $\text{C}^{14}$  izotóp arányával. A fosszilis tüzelőanyagokban levő szén  $\text{C}^{14}$  izotóp tartalma gyakorlatilag nulla, így minden századrész fosszilis szén kb. 81 évvel öregítene a szénmintát. A 32%-os  $\text{CO}_2$  többlet, ha fosszilis szénből származna,  $5700 \cdot \ln(1.32)/\ln(2) = 2283$  évvel öregítene a mai fából készült bútorok  $\text{C}^{14}$ -el mérhető korát. A

régészeti irodalom valóban beszámol autópályák melletti gyanúsán régi növénymintákról, de nincs szó arról, hogy a mai faárak tömegesen kora-római korúnak bizonyulnának. Valahogy a fosszilis szén eltűnik a légkörből. De nemcsak ez, hanem a mész és cementégetésből származó szintén nem kis mennyiség is.

Az 5800 K hőmérsékletű napfelszín és 280 K hőmérsékletű földfelszín termikus sugárzásának intenzitása (a földfelszínen Nap – Föld távolsággal korrigálva ) 4.3  $\mu$  körül lenne egyenlő. Elég tehát a szinképtartományt itt két részre osztani A 4.3  $\mu$  -nál hosszabb hullámokon a kisugárzás, ez alatt a besugárzás dominál. Elég ebben a két tartományban vizsgálni a felszín feketeségét.

Az üvegházhatásban fő felelősnek tekintett CO<sub>2</sub> hatását érdemes számszerűsítve megvizsgálni. A felettünk levő széndioxidréteg egyenértékű vastagsága 2.3 m\*bar.

Ennek a relatív emissziós együtthatójára kb. 0.2 van diagramban megadva. Bár ennek az értéke a 2  $\mu$  körüli értékig lényegesen nem változik, de tekintsük úgy, mintha a napfény tartományában, beleértve a hőszugárzást is tökéletesen átlátszó volna. Így a Föld felől jövő hőszugárzásnak 20%-át nyeli el. Ennek felét a világűr fele sugározza tovább, felét visszasugározza a Földre. Ez a 10% többlet az egyensúlyi hőmérsékletet  $1.1^{1/4}=1.024$  –szeresére növeli, azaz  $280*1.024=286.7$  K-re. Ez a hőmérséklet már szinte hihetetlenül közel van a Föld átlaghőmérsékletéhez. Pedig az óceánok, őserdők, homoksvatagok és jéggel borított szemmel láthatóan nem szürke felületek hatását még nem is vettük figyelembe. Egyébként a CO<sub>2</sub> abszorpciós/emissziós együtthatójára vonatkozó irodalmi adatok eléggé szórnak és néha belső ellentmondást is tartalmaznak, de pontosabb számításokkal csak 2.7 – 3.2°C hőmérsékletnövekedést sikerül kihozni. A CO<sub>2</sub> 3.5 – 4  $\mu$  abszorpciós sávjában például a Nap termikus sugárzása dominál, a 6  $\mu$  körüli elnyelési sávban viszont már a Föld termikus sugárzása a nagyobb. (A másodiknak a hatása durva közelítéssel kb. ötszörös). Az abszorpciós együttható pontos értékei egyébként egy közepesen felszerelt ipari laboratóriumban is megmérhetők.

Hogy egy kicsit bonyolultabb legyen a helyzet, a Föld felszínének a definiálása sem egyszerű. A tengerszint ugyanis néhány mélyföldtől eltekintve a legmélyebb felület. Az átlagos szint ennél jóval magasabb. Ráadásul különböző hullámhosszakon más és más szinten következik be az elnyelés. A CO<sub>2</sub> például a Beer törvény alapján egy kétméteres gázréteggé lenne kezelhető, ha az elnyelést vizsgáljuk, kisugárzásra viszont nehezen definiálható egy egyenértékű felszín, mivel a CO<sub>2</sub> részt vesz a troposzféra légkörzésében, a hőmérséklete viszont 60-70°C-kal kisebb 8-10 km körüli magasságban, mint a tengerszint körüli felszínen.

A vízzel viszont az az érdekes helyzet, hogy a légkör többi gázának a hiányában is szinte az összes meteorológiai jelenség lejátszódna, természetesen más sebességgel. A felső légkörnek van egy érdekes szerepe is. A nitrogénnél könnyebb gázok ( H<sub>2</sub>, He, Ne) ugyanis előbb-utóbb megszöknek a Föld légköréből. A víz disszociációjával keletkező egyatomos hidrogént újra befogja a felső légkör, így lehetővé vált a földtörténet során a vízkészlet megőrzése. Egyébként elgondolkoztató ötlet, hogy a levegő oxigéntartalma úgy is keletkezhetett, hogy a víz hidrogéntartalmának egy része megszökött a világűrbe. Ebben az esetben az őstengerekből kb. 2-3 m hiányzik.

A CO<sub>2</sub> kibocsátás piacosításában a következő problémákat látom.

Egyszer akár így, akár úgy eljön az idő, amikor a szén-dioxidkibocsátás a fejlettebb országokban magától is csökkenni fog. Melyik országnak a kvótáját fogják ekkor felmondani? Mit fog csinálni az a kevésbé fejlett ország, amelyik a gazdaságának egy részét erre a tkp. semmiből eredő többletjövedelemre állította? Példának lehet felhozni az 50-es és 60-as évek amerikai mezőgazdaságát, amikor a farmer az ugaron hagyott földjén jogászokkal számoltatta ki, hogy mit érdemesebb nem termelni rajta.

Másik probléma, hogy a megújulóknak tekintett energiákkal is lehet rablógazdálkodni.

Legdurvább példa, amikor az Egyesült Államok nyugati részén, Brazíliában és Indonéziában kiváló minőségű erdőkben azért végeznek tarvágást, hogy a fából faszenet égessenek.

Másik példa megintcsak Brazília, ahol az alkoholos üzemanyag program nemzetközi pénzügyi támogatást kapott. Következmény: hatalmas trópusi erdőterületeket égettek fel, mert kellett a terület az üzemanyagcélú cukornád termeléséhez.

Harmadiknak érdemes Indiát megemlíteni, ahol a Ruhr-vidék széntermelésével egyenértékű energiát nyernek szárított marhatrágyából, miáltal a kizsárolt föld vízmegkötő képessége annyira csökken, hogy a monszunesők után néhány nap vagy hét után cserepesre szárad a talaj.

Lehet - egyébként megalapozottan – hibáztatni a kőszén égetését a savanyú esőkért, de érdemes azon is elgondolkozni, hogy mi lett volna az Alpok erdeivel, ha a németországi ipari forradalmat is faszénre alapozták volna.

A felmelegedés kétséget kizáróan kisebb-nagyobb megszakításokkal több ezer éve tart. Vitatható, hogy végetért-e a jégkorszak, vagy csak egy interglaciálisban vagyunk, de érdemes megemlíteni, hogy az utolsó hideg periódus olyan hirtelen ért véget, hogy egy akkori ember akár végigélhette a változást. Egy ilyen mértékű változásnak az energetikai része nagyrészt feltáratlan. Ugyanúgy vannak

ismeretlen területei az el niño és la niña jelenségek körül. A naptevékenység sem magyarázat önmagában. Akkor változás nincs a napsugárzásban, ami jelentős hőmérsékletváltozást okozna. A Nap legnagyobb háborgásából sem lehet 1°C-nál nagyobb hőmérsékletváltozást, hacsak úgy nem, hogy a korpuszkuláris sugárzás által keltett ionok a felső légkör lecsapódási viszonyait megváltoztathatják, akárcsak egy-egy heves vulkáni kitörés sztratoszféráig feljutó gázai (HCl, Cl<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HF, H<sub>2</sub>S, és néhány km<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>, hogy csak az érdekesebbeket említsem). A sztratoszféra felhőrétegei aztán a látható fény nagy részét visszaverve lényegesen megváltoztathatják a Föld energiamérlegét.

A CO<sub>2</sub> lekötéssel kapcsolatban is érdemes végiggondolni néhány dolgot. A gyári füstgázt használják pl. lemerült olajtelepekbe történő gázbesajtolásra, mint legolcsóbban hozzáférhető nagy tömegű „inertgázt”. Ez azonban az arányokat tekintve inkább kuriózum. A már a levegőben szétoszlott CO<sub>2</sub> lekötését hatékonyan és gazdaságosan nehéz megoldani.

Szerencsére. A levegő CO<sub>2</sub> tartalmának felére csökkentése ugyanis a növények fotoszintézisének a leállítását okozza (ld. fóliásátrak!). Egyébként meg nehéz értelmezni például a CO<sub>2</sub> lekötését sziderit formájában. Miből vesszük hozzá a vasat vagy a vasoxidot és mennyit?

Másik tévedés az erdőkkel történő szénlekötés. Egy trópusi őserdő például egyensúlyban van, annyi a CO<sub>2</sub> lekötése, mint CO<sub>2</sub> kibocsátása. A fenyőerdők valóban halmoznak fel szenet túlevek formájában. A talaj szerkezetét itt a le nem bomló túlevek adják, ez kellő vastagság után akár fosszilis szenet eredményezhet. Többnyire azonban kiég. Paradox módon az erdőtüzek az oxigén javára tolják el az egyensúlyt, mivel a korom alakjában leülepedő szén már nem vesz részt többet a körforgásban. Az erdők ellen még azt is fel lehetne hozni, hogy az üvegházhatásban másodrendű vádoltoknak kinevezett metán fő forrása az erdő avarja.

Ennek ellenére az erdők védelme és újratelepítése ott, ahol szerencsétlen módon sikerült kiirtani, elsődrendű cél kell, hogy legyen. Ilyen területek pl. a Földközi-tengernek már a középkorban tönkretett partvidéke (hajóépítés+erózió+kecsketartás), vagy a trópusi esőerdők égetéses művelése, ami olyan silány talajt eredményezve, ami három-négy év múlva lateritsivatagként marad hátra, újabb égetést téve szükségessé. Elsősorban azt kell szem előtt tartanunk, hogy az állatvilág és mi emberek csak a zöldtömeghez viszonyítva létezőek. Ez sokkal összetettebb probléma annál, hogy a széndioxidot, mint minden rossz forrását megnevezhessük. A szénérművek sokkal több kárt okoznak azzal, hogy a hamukibocsátás miatt kilométeres körzetben kiég a fű.

Összefoglalva : elhibáztam tartom azt az irányt, amelyik a jelenlegi ökológiai válsághelyzetből egyfajta természeti gazdálkodás irányába keresi a kiutat. Ez a restriktív gazdaság a világ jelenlegi létszámát nem tudná emberi módon eltartani. Vannak a világon kontinensnyi területek, ahol az ott élők létszámát az élelmiszertermelés olyan formában korlátozza, hogy a "népességtöbblet" fizikailag éhenhal. Éppolyan nehéz az itt élőket meggyőzni a megszorítások szükségességéről, mint azokat, akiket a fejlettebb régiókban a munkanélküliség fenyeget.

Kiutat csak a technikai és szellemi fejlesztés lehet, amelynek ki kell terjedni az egész világra. Ehhez pedig energia kell. Takarékosabb energiagazdálkodással, a rendelkezésre álló helyi energiák (nap, szél, geotermikus és víziergia) ésszerű kihasználásával csökkenthető ez az energiaszükséglet, de a várható ipari fejlődés szükségleteit egyelőre csak a fosszilis energiaforrások és – akárhogy kerülgetjük- az atomenergia képes kielégíteni.

Ez a következtetés nincs ellentétben az ésszerű környezet- és természetvédelem követelményeivel. Sőt, ugyanannak a másik oldala. Madagaszkár, Dél-India vagy Etiópia erdei például nagyobb veszélyben vannak, mint Új-Zéland, Japán vagy akár az Egyesült Államok természeti ritkaságai.

Bármilyen energiaforrás felhasználásánál fontos az emberi felelősség, hozzáértés és tisztaság. A legtöbb katasztrófa az akkori ismeretekkel és eszközökkel is elkerülhető lett volna. A látványos katasztrófák mellett (ahol azért mindig tettenérhető a közvetlen emberi mulasztás), gyakran figyelmen kívül hagyjuk a környezetünk lassú, de reménytelennek tűnően módszeres lepusztítását.

Ónodi Tibor  
okl. olajmérnök (BSZKB/16-0411)

Ónodi Tibor  
5000 Szolnok, Bajcsy-Zsilinszky u.8.  
Tel. (56)-420-132  
Munkahelyi tel: (56)-502-672

