

Miskolczi Ferenc

Értekezés az üvegházhatásról

A légköri üvegházhatásról a köztudatban kialakult kép lényegében a média által túlnyomóan hangoztatott egyoldalú állami álláspontot képviseli, amely szerint a globális felmelegedés kordában tartásához az üvegházgázok és – elsősorban a szén-dioxid – kibocsátásának szabályozása szükséges. Felhasználva a légköri sugárzásfizika kutatásában elért legújabb eredményeinket, értekezésünkben a fenti elképzelés gyökereit tárjuk fel. Általános képet adunk a Föld sugárzási klímájáról, és bemutatjuk, hogy a globális felmelegedésnek a szén-dioxid üvegházhatásán alapuló magyarázata nem épül olyan tudományosan megalapozott elméletre, amelyet empirikus tények támasztanak alá. Sugárzási klímánk új kvantitatív összefüggései szerint Földünk hosszú idejű átlagos felszínhőmérséklete állandó, amit gyakorlatilag a Föld asztromómiai paraméterei és a korlátlan mennyiségben rendelkezésre álló víz három fázisának állandó jelenléte biztosít.

A légköri szén-dioxid-tartalom növekedése (függetlenül annak eredetétől) és a globális átlagos felszínhőmérséklet emelkedése között mutatkozó pozitív korreláció ok-okozat szinten történő magyarázatához szilárd fizikai alapokon nyugvó, légköri üvegházelmélet szükséges. Ilyen elmélet hiányában a klimatológusok modelljei nem sokat érnek, a globális klímaváltozásra vonatkozó eredményeik az üvegházhatás működésére tett fizikailag megalapozatlan feltevéseik, valamint a rendszer hiányos ismeretéből fakadó és találgatásokon alapuló visszacsatolási paramétereik számtalan kombinációjának függvénye.

A Nature tudományos folyóiratban publikált adatok szerint a klímamodellek a globális felmelegedést 1998 és 2012 között jelentősen túlbecsülték. Az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) klímamodelljei a fenti időtartamra 0,21 °C/évtized melegedési trendet jósltak, amíg a megfigyelt valódi trend csak 0,04 °C/évtized volt [1]. A melegedési trend 425%-os túlbecslése mindentől függetlenül megkérdőjelezi a modellek fizikai integritását, az IPCC szavahihetőségét, és természetesen a klímaváltozás megfékezésére hozott állami döntések ésszerűségét.

Cikkünkben a légköri üvegházhatás fogalmát kíséreljük meg fizikai tartalommal megtölteni, segítséget nyújtva azon kutatóknak, mérnököknek és energetikai szakembereknek, akik a sugárzásátvitel fizikájának részleteit kevésbé ismerik. Bemutatjuk továbbá, hogy a sok évtizedes globális rádiószondás mérések alapján az üvegházhatás a szén-dioxid-tartalomtól független, speciális, csak a földi klímára jellemző állandó. Az olyan eltűnt és komolytalan kijelentések, hogy „légköri szén-dioxid nélkül nem lenne üvegházhatás” [2], pontosan az üvegházhatás elméleti megalapozottságának a hiányából fakadnak.

Planetáris üvegházhatás

A légköri üvegházhatás jelensége a legegyszerűbb megfogalmazásban azt fejezi ki, hogy az infravörös sugárzást elnyelő gázokat tartalmazó légkör jelenléte miatt egy bolygó felszínének hőmérséklete magasabb lesz egy olyan hipotetikus, légkör nélküli bolygó felszínhőmérsékleténél, amely azonos mennyiségű napenergiát nyel el. Természetesen a Földlégkörrendszerben elnyelt napsugárzás F_A és az azzal egyenlőnek feltételezett infravörös kisugárzás OLR^A műholdakról mérhető, a földfelszín termodinamikai (hőmérővel mérhető) hőmérsékletadatai alapján a felszínközeli átlaghőmérséklet szintén meghatározható, így a fenti megfogalmazás egyszerű empirikus tényt fejez ki. Azonban ne felejtsük el, hogy a sugárzási fluxusokra vonatkozó energiamegmaradás törvénye szigorúan megköveteli az

$$F_A = OLR^A$$

és az

$$F_E = F_A + F_R$$

egyenlőségek teljesülését, ahol F_E a rendszerrel kölcsönhatásba lépő összes napsugárzás, és F_R a rendszer által reflektált napsugárzás. Az

$$\alpha_B = F_R / F_E$$

hányados egy bolygó sugárzási egyensúlyának egyik legfontosabb jellemzője [3]. A Harvard Csillagászati Observatórium első igazgatójának (William C. Bond 1789–1859) tiszteletére az α_B mennyiséget Bond albedónak nevezik.

Számításaink szerint a Föld légkör nélküli felszínhőmérsékletét például a napsugárzás elnyeléséből származó energia a felszín reflexiós tulajdonságaitól függően csak –18,33 °C-on lenne képes tartani, amíg a valódi globális átlagos termodinamikai felszínhőmérséklet +15,46 °C [4]. A klimatológus definíció szerint az üvegházhatás mértéke a valódi termodinamikai felszínhőmérséklet és a légkör nélküli felszínhőmérséklet különbsége, esetünkben 33,79 °C. A jelenség oka természetesen a légkör pusztán létével, tömegével, speciális összetételével és a felszín emissziós tulajdonságaival magyarázandó. Az üvegházhatás kutatásának tárgya e hőmérséklet-különbség eredetének és időbeli változásának a kvantitatív vizsgálata.

Az 1. ábrán az üvegházhatás spektrális eloszlását szemléltetjük a hullámszám függvényében. A spektroszkópiában használt hullámszám a centiméterben kifejezett hullámhossz reciproka, egysége cm^{-1} . (A leírásban nem részletezett fizikai mennyiségek

és szimbólumok értelmezését lásd a cikk végén a szimbólumok listájában.)

A hullámszám reprezentációban a görbék alatti területek egyenlők a hullámszám szerint integrált fluxussűrűségekkel. A fluxussűrűség (mint ahogyan a dimenzió mutatja) az egységnyi felületen áthaladó sugárzási teljesítményt jelöli. Vegyük észre, hogy – a várakozással ellentétben – a spektrális üvegházfaktor maximuma a $720,0 \text{ cm}^{-1}$ hullámszámnál, és nem a CO_2 668 cm^{-1} körüli legintenzívebb abszorpciós sávjában található.

Az „üvegházhatás” kifejezés általában hőmérséklet-különbség megjelölésére szolgál, amíg az „üvegházfaktor” terminológia a sugárzási fluxusok különbségét definiálja [5]. A két mennyiség közötti kapcsolat nemlineáris, és értékeikre a sugárzási energia megmaradásának törvénye szigorú megszorítást tesz. Az F_R és α_B ismeretében a

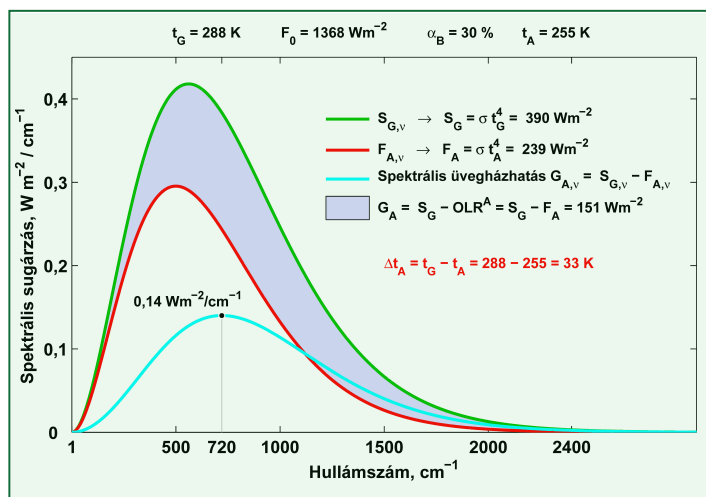
$$\Delta t_A = t_G - t_A$$

kifejezés a következőképpen is írható:

$$\Delta t_A = t_G - ((F_0/4)(1 - F_R/(F_R + F_A))/\sigma)^{1/4}.$$

Látható, hogy Δt_A definíció szerint a t_G egyszerű lineáris függvénye és a jobb oldal második tagja csak a rövidhullámú napsugárzástól függ. A megválaszolandó kérdés tehát nem az, hogy mekkora az önkényesen definiált üvegházhatás, hanem az, hogy a rendszer mely fizikai paraméterei felelősek a földfelszín hőmérsékletének egy megfigyelt értéken történő stabilizálódásáért.

Ellentétben a csillaglégkörökkel, bolygólégkörnek egy szilárd vagy cseppfolyós felszínnel rendelkező bolygóhoz gravitációsan kötött gázburkot tekintünk, amely ki van téve egy adott távolságra levő csillag sugárzási mezejének.



1. ábra. A globális átlagos üvegházfaktor spektrális eloszlása

Az $F_A = \text{OLR}^A$ hosszú időtartamra vonatkozó egyenlőség alapján az üvegházhatás klimatológus definíciója: $\Delta t_A = t_G - t_A$, azaz a felszín termodinamikai hőmérsékletének t_G és a bolygó t_A effektív abszorpciós hőmérsékletének a különbsége. A felszín fekete testként sugároz, $S_U = \sigma t_G^4$ és $t_S = t_G$. Itt S_U a felszín kisugárzása, t_S a felszín sugárzási hőmérséklete, és $\sigma = 5,6704 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ a Stefan-Boltzmann állandó. Geometriai okok miatt a földfelszín egységnyi területe felett csak az abszorbeált napsugárzás egynegyede áll rendelkezésre: $t_A = (\text{OLR}^A / \sigma)^{1/4} = (F_A / \sigma)^{1/4} = [(1 - \alpha_B) F_0 / (4\sigma)]^{1/4}$.

Az üvegházhatás – a bolygó mozgásából (keringéséből, tengely körüli forgásából stb.) számítható asztrológiai paramétereken kívül – számos egyéb tényezőtől is függ. A bolygólégkörök kémiai összetételétől és a szóban forgó csillag sugárzási mezejének a tulajdonságaitól függően az üvegházhatás fizikai problémája különböző bolygóknál különbözőképpen fogalmazódik meg. A definícióknál különösen ügyelni kell arra, hogy mit tekintünk a bolygó felszínének. Derült viszonyokra, amikor a felszín egyértelműen a bolygó alsó szilárd vagy cseppfolyós felülete, az üvegházfaktor a

$$G = S_U - \text{OLR}$$

összefüggéssel van definiálva. Az üvegházhatást szokásos még a dimenzió nélküli, egységnyi felszíni emisszióhoz tartozó g normalizált üvegházfaktorról jellemezni:

$$g = G / S_U,$$

Raval és Ramanathan [6].

A Föld esetében az üvegházhatás klimatológus definíciója nem veszi figyelembe a β felhőfedettséget, holott a felhőzet – a bolygó effektív kisugárzása szempontjából – szintén felszínnek tekintendő. A külső környezettel történő energiacsere tárgyalásához szükséges definiálni az aktív planetáris felszínt (APF), amely a Föld esetében a derült földfelszín és a felhőtető területének összessége. Amíg a földfelszín kisugárzása t_S sugárzási hőmérsékleten S_U , addig a felhőtető sugárzási hőmérsékletén a kisugárzás $S_U^C(t^C)$, ahol $t^C = t(h^C)$ a felhőtető hőmérséklete és h^C a felhőtető magassága.

Sugárzási egyensúlyban az APF-ről kiinduló összes sugárzásnak – az energiamegmaradás értelmében – meg kell egyeznie a rendszerrel kölcsönható összes sugárzással:

$$F_E = F_A + F_R = F_0/4,$$

ahol F_0 a földpálya fél nagytengelyére vonatkoztatott helyi napállandó.

Köztudott, hogy a légkör felső határára érkező napsugárzásnak kulcsszerepe van a földi klíma kialakulásában. A klimatológus gyakorlatban a napállandó a Nap-Föld átlagos távolságára normált felszíni és műholdas mérésekből meghatározott, a légkör felső határára érkező empirikus sugárzási fluxus. Az évtizedek óta folyamatosan megfigyelt napállandómérések nem konvergálnak egy jól meghatározott időben állandó értékhez, így a napállandónak nevezett mennyiség egy nominális, megegyezésen alapuló érték, amelyet időről időre – az éppen legmegbízhatóbbnak elfogadott mérések függvényében – különböző értékek deklarálnak. A műholdas missziók alapján mért napállandók kitűnő összefoglalását találhatjuk Kopp és Lean [7] munkájában.

Lévé, hogy az individuális napállandómérések egyszerű átlagolása értelmetlen, jelen cikkünkben empirikus napállandónak a mért spektrális napállandókból [8] meghatározott minimális

$$F_0^{\min} = 1359,7 \text{ W m}^{-2}$$

és maximális

$$F_0^{\max} = 1376,2 \text{ W m}^{-2}$$

napállandók átlagát tekintjük [9]:

$$F_o = (F_o^{\min} + F_o^{\max})/2 = 1367,95 \text{ Wm}^{-2}.$$

Megjegyezzük, hogy a fenti F_o és a NASA 2010-ben frissített napállandó értéke $F_{o,N} = 1367,6 \text{ Wm}^{-2}$ [10] meglehetősen jól egyezik.

Itt nem részletezendő, hosszadalmasabb, a Nap és a Föld entrópiásugrására vonatkozó elméleti megfontolásaink alapján az irradiancia a Nap középpontjától (pontosabban a naprendszer súlypontjától) mért d távolságtól az alábbi összefüggés szerint változik:

$$F^T(d) = (\pi/\sigma)^{1/3} d_E^{8/3} r_o^{-2/3} d^{-2}/10, \quad (1)$$

ahol $r_o = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$ a Nap sugara, $d_E = 1,4959789 \times 10^{11} \text{ m}$ a földpálya fél nagytengelye és $\pi = 3,14159265$.

Egyenletünk (a $d=0$ pontot kivéve) a naprendszer bármely pontjában érvényes. A d_E paramétertől való közvetlen függés miatt (1) fluxusegyenletünk világosan utal arra a tényre, hogy bolygónk a naprendszer energetikájában kitüntetett szerepet játszik. Az $F^T(d)$ fluxusegyenletre a csillagászati és asztrofizikai szakirodalomban semmiféle hivatkozás nem található, így az (1) egyenlet elméleti levezetése és interpretálása külön publikáció tárgya. Az F_o^T elméleti napállandó az (1) egyenletből a $d=d_E$ helyettesítéssel nyerhető:

$$F_o^T = (\pi/\sigma)^{1/3} (d_E/r_o)^{2/3}/10 = 1367,951 \text{ Wm}^{-2}.$$

F_o^T mentes a sugármérésekkel járó kalibrációs hibáktól, így kitűnő jelölt egy valóban állandó referencia napállandó definiálására. Sugárzási egyensúlyban az APF-ről kiinduló összes sugárzás tehát

$$S_U^A = (1-\beta)S_U + \beta S_U^C,$$

és az összes kimenő hosszúhullámú sugárzás nyilván az

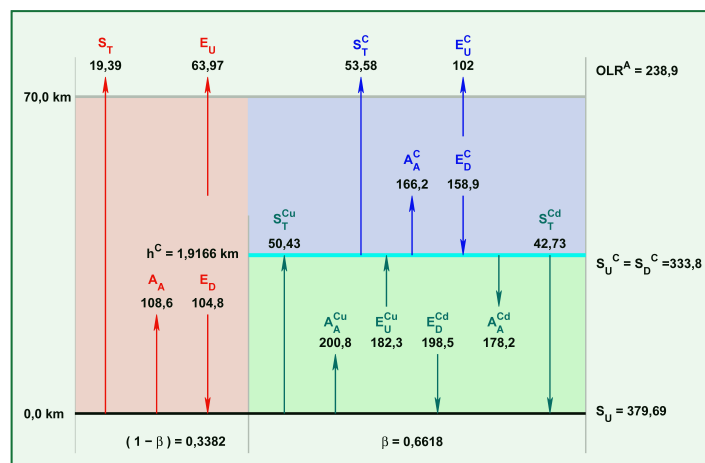
$$OLR^A = (1-\beta)OLR + \beta OLR^C$$

kifejezés, amely nem más, mint az OLR és OLR^C mennyiségek felhőfedettséggel súlyozott átlaga.

A Vénusz esetében – a zárt felhőzet miatt – csak a felhőzet fölött levő légkör üvegházhatásáról beszélhetünk, hiszen a felhő feletti légkör infravörös visszasugárzását a felhőzet teljes mértékben elnyeli. A Mars esetében a szén-dioxid folyékony fázisának (felhőzet) hiánya miatt a helyzet leegyszerűsödik ugyan, viszont a marsi klímát kormányzó sugárzási törvények a különböző fizikai feltételek miatt lényegesen eltérőek lesznek. A Földdel összehasonlítva a Mars légköre sokkal több szén-dioxidot tartalmaz, amihez sokkal kisebb üvegházfaktor tartozik, ami önmagában is magyarázatra szorul. A marsi üvegházhatásra vonatkozó részletes számítások és a sugárzási egyensúlyt szabályozó egyenletek a [11] Miskolczi publikációban találhatók.

A Föld esetében a globális átlagos felhőzet a légkört három régióra osztja. A 2. ábrán a piros, kék és zöld színezés a derült, a felhő feletti és a felhő alatti területeket jelzi. A felhővel fedett régióhoz tartozó légoszlop magasságát a h^C egyensúlyi felhőte-

tő magassága szabja meg. A felhőtető felsugárzása és felhőalap lesugárzása a h^C magassághoz tartozó forrásfüggvényből számítható. A határfeltételektől függően mindhárom régióban megjelennek a felszín és a felhőzet felfelé, illetve lefelé történő kisugárzásai, a légkör által abszorbeált és áteresztett sugárzások, valamint a légkör saját emissziójától származó felfelé és lefelé haladó sugárzások. Az időben stacionárius állapot (hosszú idejű átlagokról van szó) következtében egyik régióban sem halmozódhat fel sugárzási energia. A fázishatárokon keresztül azonban látens hő formájában korlátlan sugárzási energia tárolódhat, illetve távozhat el (mint ahogyan ez a valóságban végbe is megy).



2. ábra. Globális átlagos fluxuskomponensek (Wm^{-2})

Az átbocsátott, abszorbeált, felfelé és lefelé haladó fluxusok a három régióban a következők: S_T , A_A , E_U és E_D (piros), S_T^C , A_A^C , E_U^C és E_D^C (kék), S_T^{Cu} , A_A^{Cu} és E_U^{Cu} (felfelé haladó sugárzás, zöld), S_T^{Cd} , A_A^{Cd} és E_D^{Cd} (lefelé haladó sugárzás, zöld). A jobb oldalon, a határokon kilépő OLR^A , S_U^C , S_D^C és S_U fluxusokat feketével jelöltük.

A Föld légkörének általunk számított nagy pontosságú sugárzási fluxuskomponenseit szintén a 2. ábrán mutatjuk be. A szimulált fluxusok rádiószondás méréseken alapuló globális átlagos légköri szerkezetre vonatkoznak [12], [13: 247. oldal 2. ábra]. Első, csak a derült régióra vonatkozó pontosabb számításaink 2010-re nyúlnak vissza [13: 248. oldal, 2. táblázat].

A szondázásokat feldolgozó sugárzás átviteli program HARTCODE (High Resolution Atmospheric Radiative Transfer Code) néven ismeretes [14]. Az ábrán a felhőtető h^C magasságát a kékkel jelzett régió sugárzási egyensúlyából állapítottuk meg. A β felhőfedettséget és a Bond albedót ($\alpha_B = 0,3013$) a [4] és [11] Miskolczi cikkekben leírt módon számítottuk. A felső sorban levő fluxusok a légkör tetejére vonatkoznak, a többi fluxus referencia-magassága a földfelszín.

Ahogy azt a [4] hivatkozásban kimutattuk, a derült OLR és az S_U felszíni felsugárzás arányának – energetikai kényszerek miatt – meg kell egyeznie a β felhőfedettséggel:

$$\beta = OLR / S_U.$$

Az OLR / S_U arányának – a sugárzási egyensúly miatt – meg kell egyeznie az

$$f = 2 / [1 + \tau_A + \exp(-\tau_A)]$$

transzfer függvényével is, ahol τ_A a globális átlagos fluxus optikai vastagság, lásd [4: 40. oldal, 11. ábra]. A fenti két követelményből következik a 2. ábráról leolvasható $\beta = f$ egyenlőség. Az

$$E_D/A_A = \varepsilon_A = 0,96515341$$

arányt a légkör szferikus emisszivitásának nevezzük. ε_A felelős a felszíni sugárzási egyensúly kialakításáért. A klímamodellek leegyszerűsített, többnyire izotróp közelítést alkalmazó sugárzási programjai az ε_A paraméter számítását nem teszik lehetővé, lásd: [15: 1866. oldal] és [16: 2811. oldal, 2.6a és 2.6b egyenletek].

A szimulációkból kapott OLR^A , S_U^A és a_B ismeretében mód nyílik a napállandó rádiószondás méréseken alapuló becslésére:

$$F_o^{OBS} = 4 OLR^A / (1 - a_B) = 4 S_U^A = 1367,9 \pm 0,1 \text{ Wm}^{-2}.$$

A rádiószondás adatokból számított F_o^{OBS} és az F_o^T elméleti napállandó relatív eltérése csupán $8 \times 10^{-4}\%$, amin azért a klímakutatóknak és modellezőknek érdemes lenne elgondolkozni. Számításaink legfontosabb eredménye a feltételezett planetáris sugárzási egyensúly létezésének szilárd empirikus alapon történő bizonyítása. A különböző módon kapott F_o^{OBS} , F_o^T , $F_{o,N}$ és F_o napállandók szoros egyezése szintén a sugárzási egyensúly feltételezésnek jogosságát bizonyítja.

Ki kell emelnünk a fluxusok között lokális és regionális szinten is fennálló két kötelező érvényű triviális és egzakt összefüggést:

$$OLR \equiv S_T + E_U, \quad (2)$$

energiamegmaradás, és

$$S_U - OLR \equiv A_A - E_U \quad (3)$$

üvegház-azonosság. Az üvegház-azonosság a (2) egyenletből az $S_T \equiv S_U - A_A$ azonosság felhasználásával egyszerűen adódik, és szintén a sugárzási energia megmaradását fejezi ki. Kérdéses, hogy e fenti két összefüggés érvényességét az általános cirkulációs modellek – a maguk parametrizált és dramatikus leegyszerűsített sugárzási moduljaik használatával – valaha is képesek lesznek-e betartani. Ha a klímamodellek akár a derült, akár a felhőzet feletti sugárzási fluxusai (bármilyen területi felbontásban) nem teljesítik a fenti két kritériumot, akkor az energiamegmaradás megsértése miatt üvegházhatás-becsléseik nem sokat érnek.

Számítási eljárásunk során egyetlen empirikus paramétert sem használtunk, így a rádiószondás adatokból elméletileg pontosan számított fluxusokat és abszorpciós paramétereket pontos méréseknek kell tekinteni. Ez igen fontos szempont, hiszen a légköri abszorpció pontos közvetlen mérése elméletileg lehetetlen.

Az általunk számított sugárzási fluxusok számértékei lényegesen eltérnek az irodalomban található hasonló sugárzási mérlegektől [17–21]. Az eltérések egyik alapvető oka a használt légkörmodell különbözőségéből fakad. Némi számolással kimutatható, hogy az idézett [17], [18] és [21] szerinti energiamérlegek hibásan, a hosszúhullámú komponenseket az USST76 (US Standard Atmosphere 1976, [22]) légköri szerkezetből határozta meg, amely irreálisan, majd 100%-kal alábecsüli a légkör globális átlagos vízgőztartalmát. A [19] és [20] energiamérlegek nem tartalmaznak ellenőrizhető információt a légkörben abszorbeálódott

felszínsugárzásról, így a planetáris üvegházhatás vizsgálatára teljesen alkalmatlanok. Például a [19] energiamérlegben szereplő $0,6 \pm 17 \text{ Wm}^{-2}$ hiányzó sugárzási energiának semmi értelmet nem lehet tulajdonítani. Érdemes megjegyezni, hogy a [20] és [21] energiamérlegek jelentősen különböző fluxuskomponensekkel pontosan ugyanazt a $0,6 \text{ Wm}^{-2}$ – óriási hibával megadott – felszíni sugárzási energiadeficitet hozták ki.

Sugárzásátviteli alapok

A földi üvegházhatás fizikai hátterének pontosabb megértése érdekében idézzünk fel néhány sugárzásátvitellel kapcsolatos fontosabb fogalmat, törvényszerűséget és problémát.

Jelen cikkünkben nem tárgyaljuk a sugárzásátvitelnek az asztrofizikából ismeretes – végtelen vastag csillaglégkörökre és optikai vastagságokra vonatkozó – klasszikus megoldásait. A közismert

$$\sigma T_s^4 = OLR^A (1 + \tau_A)/2 \text{ és a } \sigma T_s^4 = OLR^A (2 + \tau_A)/2$$

alakú megoldások divergens, a növekvő infravörös abszorpcióval végtelenhez tartó felszínhőmérsékletet eredményeznek (Simpson paradoxon [23]), így alkalmazásuk bolygólégkörökre értelmetlen. Az egyenletben szereplő τ_A infravörös fluxus optikai vastagság egy légoszlop fluxusabszorpcióját jellemzi, pontos definícióját a későbbiekben megadjuk. A fenti megoldások az irreális határfeltételek miatt matematikailag is hibásak, és soha meg nem figyelt felszíni hőmérsékleti diszkontinuitáshoz vezetnek, lásd [11]. A megszaladt üvegházhatást kedvelő kutatók táborában a fenti megoldások még ma is igen népszerűek [23–24].

Sok kutatónak van fenntartása a globális hőmérsékleti mező átlagolását illetően [25–27]. A globális hőmérsékleti és sugárzási mező átlagolása többféle módon történhet, ami megnehezíti az üvegházhatás egyértelmű definícióját. A termodinamikai és sugárzási hőmérsékletek különböző módon képzett átlagai közötti eltérések problémája a matematikából jól ismert Hölder egyenlőtlenségből fakadó sugárzási paradoxon feloldását igényli, amire e cikkben szintén nem térhetünk ki.

Közismert tapasztalati tény, hogy minden szilárd vagy cseppfolyós anyag a test hőmérsékletétől függően sugárzást bocsát ki. Ezt a sugárzást hőmérsékleti sugárzásnak nevezzük. A hőmérsékleti sugárzás spektrális intenzitása a hullámhossz függvényében folytonosan változik, és létezik egy adott hullámhossz, ahol az intenzitás maximális. A megfigyelések szerint a maximális spektrális intenzitáshoz tartozó hullámhossz és a test abszolút hőmérsékletének a szorzata állandó, így a melegebb testek rövidebb hullámhosszakon sugároznak. A 6051 °C hőmérsékleten sugárzó Nap spektrális sugárzásának maximuma a látható fény tartományában található, amíg a kb. 15 °C-fokos földfelszín kisugárzásának maximuma a láthatatlan infravörös spektrális tartományba esik. A fenti megfigyelés teljes összhangban van az elméletileg levezetett Wien-féle eltolódási törvénnyel. Itt ügyelni kell arra, hogy a frekvencia, hullámhossz és hullámszám reprezentációkban a Wien-törvény különböző alakot ölt.

Egy test által időegység alatt kisugárzott összes energia a test abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával arányos:

$$S_U = \sigma T_s^4 \text{ (Stefan-Boltzmann-törvény).}$$

E törvény alapján egy test hőmérsékletének ismeretében könnyen kiszámíthatjuk a testből hőmérsékleti sugárzás formájában távozó energiát. A fenti törvényekben szereplő hőmérsékletet szokás sugárzási vagy effektív hőmérsékletnek nevezni, de nem tévesztendő össze az egyszerű hőmérővel mérhető termodinamikai hőmérséklettel. A kétféle hőmérsékletet egy anyagi minőségtől függő állandó, az anyag emisszivitása kapcsolja össze.

A testek természetesen nemcsak sugározni tudnak, hanem elnyelhetik más, környező, illetve távolabbi testek sugárzását is. A testek általában a rájuk eső sugárzási energia egy részét átengedik, másik részét elnyelik, a fennmaradó részt pedig visszaverik, reflektálják. Az átbocsátott, elnyelt és reflektált sugárzások összegének meg kell egyeznie a testet érő összes sugárzással.

Azt a testet, amelyik a környezetével kizárólag sugárzási energiacsere-t folytathat, izolált testnek nevezzük. Ha egy adott hőmérsékletű izolált testnek semmilyen belső energiatermelése nincs, és a környezetében sincs olyan test, amelynek a sugárzását el tudná nyelni, akkor a saját hőmérsékleti sugárzása révén folyamatosan energiát fog veszíteni, és a hőmérséklete folyamatosan csökkeni fog.

Ha egy adott hőmérsékletű izolált testnek lehetősége van a környezetében levő állandó hőmérsékletű hidegebb vagy melegebb testekkel sugárzási energiát cserélni, akkor a hőmérsékleti viszonyoktól függően lehűlést vagy felmelegedést tapasztalunk, amely addig folytatódik, amíg a test által időegység alatt elnyelt összes sugárzási energia megegyezik a test által időegység alatt kibocsátott hőmérsékleti sugárzással. Lévé, hogy a test által elnyelt sugárzási energia nem tűnhet el, a fenti megfogalmazás a sugárzási energia megmaradására vonatkozó törvény egy formája. Az a test, amely a fenti kritériumnak eleget tevő hőmérsékleti sugárzást bocsát ki, a környezetével sugárzási egyensúlyban van. Egy izolált testnek csak akkor lehet időben állandó hőmérséklete, ha az a környezetével sugárzási egyensúlyban van.

A gázhalmazállapotú anyagok a sugárzási mezővel való kölcsönhatásukat tekintve eltérően viselkednek. A legfontosabb különbség az, hogy adott gázok – a gázmolekulák mikroszkopikus felépítésétől függően – csak kiválasztott hullámhossztartományokban képesek a sugárzási térrel kölcsönhatásba lépni. A hőmérsékleti sugárzást spektrálisan elnyelő és kibocsátó gázokat üvegházgázoknak nevezzük. A légkörünk összetömegéhez képest az üvegházgázok összmenyisége elenyészően kicsiny (többnyire nyomgázok), de a felszínről kiinduló hőmérsékleti sugárzás nagy részét mégis képesek elnyelni. A legfontosabb üvegházgázok látható és infravörös tartományba eső elnyelési sávjaírók részletes összefoglalást találunk Héjjas István cikkében [28: 37. oldal, 2. ábra].

Az üvegházgázok abszorpciós sávjainak komplex szerkezete és a sávok átfedése miatt nem sok értelme van a különböző üvegházgázok üvegházhatásáról beszélni. Olyan természeti törvény nem létezik, amely előírná, hogy a teljes spektrális tartományra vonatkozó aktuális légköri abszorpció milyen spektrális összetevőkből álljon. Az aktuális infravörös légköri abszorpció és emisszió becslése kizárólag pontos elméleti sugárzásátviteli számításokon alapulhat. A 2. ábrán szereplő S_U és OLR^A fluxusokat kivéve egyetlen sugárzási komponens sem mérhető közvetlenül. Az üvegházgázok légköri elnyelésére vonatkozó első nagy pontoságú számításokat tizenöt éve a NASA Langley kutatóközpontban Miskolczi és Mlynczak végezték [29]. A számítások szerint a glo-

bális átlagos derült légkör a felszínsugárzás 15,4%-át átengedi és 84,6%-át elnyeli.

A légkör önmagában nem tekinthető izolált testnek, hiszen az a földfelszínnel közvetlen fizikai kontaktusban van, így egyéb, nem a sugárzás elnyelésével és kibocsátásával kapcsolatos energiacsere is mód van.

A globális átlagos légkör időben állandó szerkezetének (ha úgy tetszik: az időben állandó átlagos globális éghajlatnak) a léte megköveteli a Földlégkörrendszer hosszú távú sugárzási egyensúlyát. A 2. ábrán bemutatott számításaink szerint ez az egyensúlyi állapot nagy pontossággal teljesül. A fentiek tükrében tehát hosszú távon a Földlégkörrendszer egy stabil klímával rendelkező, sugárzási egyensúlyban levő izolált rendszer.

A klasszikus légköri üvegház magyarázat a megfigyelt üvegházhatás okát a légkör által elnyelt és a felszín felé visszasugárzott extra energiában látja. A fenti elképzelés szerint a (feltételezett emberi tevékenységből származó) növekvő légköri üvegházgáz-tartalom olyan módon növeli meg a légköri abszorpciót, hogy a felszín felé történő visszasugárzás megnő, és a légkör világűr felé történő kisugárzása lecsökken. Sugárzási egyensúlyban a rendszerben elnyelt napsugárzás és az azzal egyenlő effektív planetáris hőmérsékleti sugárzás nem változhat, így a légkör világűr felé történő kisugárzásának csökkenését a spektrális ablakban megnövekedett felszíni kisugárzásnak kell kompenzálnia, amihez növekvő felszínhőmérséklet szükséges [30–32]. Véleményünk szerint a fenti elképzelés legjobb esetben is csak egy bebizonyítatlan hipotézisnek tekinthető.

A Beer–Lambert-féle abszorpciós törvény alkalmazása önmagában nem tud számot adni a planetáris üvegházhatás megfigyelt mértékéről és az azt befolyásoló tényezőkről, így nem tekinthető üvegházelméletnek. A globális felmelegedés mértékének előrejelzésére használt klímamodellek notórius sikertelensége a fent vázolt kvalitatív kép alkalmazására vezethető vissza. Gondoljunk itt az [1] hivatkozásban már említett több mint egy évtizede tartó hőmérsékleti stagnálásra, vagy akár a jégfuratokból meghatározott hőmérséklet és CO_2 -koncentráció idősorokra, ahol a várakozással ellentétben a felmelegedés megelőzte a légköri CO_2 mennyiségének növekedését.

Nyomatékosan ki kell jelentenünk, hogy a sugárzási egyensúly virtuális felborulásának a felszínhőmérséklet növelésével történő kompenzálása sért egy sor alapvető sugárzásfizikai és termodinamikai törvényt. A globális felmelegedés és az üvegházhatás kapcsolatának számos egyéb, ma is élő problémáiról reális képet nyerhetünk Reményi [33], Szarka [34], Berényi [35], Héjjas [28], Kramm és Dlugi [26], Gerlich és Tschuschner [27] munkáiból. Az üvegházhatás új értelmezéséről Miskolczi [36] adhat egy átfogó képet.

A „hivatalos” álláspont

A média által támogatott propaganda eredményeként az emberekben kialakult az emberi tevékenységtől származó, növekvő szén-dioxid-kibocsátás és a globális hőmérséklet-emelkedés üvegházhatáson alapuló magyarázatának a valóságot eltorzító képe. A szaksajtó nem foglalkozik igazán a légköri üvegházhatás fizikai alapjainak részletezésével, triviális tényként szokták megjegyezni, hogy az üvegházhatás növekedése a szén-dioxid növekedésével magyarázandó, így a szén-dioxid légköri koncentrációjának növekedése a globális felmelegedés alapvető oka.

Annak ellenére, hogy tudományos alapokon nyugvó, szám-szerű összefüggés az üvegházgázok mennyisége és a globális felmelegedés között nem létezik, az emberek számára az üvegházhatás növekedése a globális átlaghőmérséklet növekedésének szinonimájává vált. Vegyük szemügyre közelebről a klímakérdésben nyilatkozó jól ismert klímatudósok néhány tudományosan vitatható megjegyzését.

Haszpra László a Magyar Tudomány című folyóirat 2011-ben megjelent üvegházhatással foglalkozó írásaiból íme néhány idézet [37], [38], [32]:

- 1) „A potenciálisan igen súlyos következményekkel fenyegető globális éghajlatváltozás mérséklése érdekében mindenképpen szükség van az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére, erre vonatkozó nemzetközi egyezmények megkötésére.”
- 2) „Mennyiségénél fogva az éghajlatváltozás fő vezérlője a szén-dioxid. Ennek koncentráció-növekedése az, ami közvetlenül, illetve a gerjesztett visszacsatolásokon keresztül megszüntet bolygónk éghajlatát.”

Zágoni Miklós fizikus kritikai megjegyzéseire [39] válaszolva az alábbiakat olvashatjuk:

- 3) „A légköri szén-dioxid koncentrációjának növekedésével tehát az infravörös tartományban csökkennie kell a légkör átbocsátóképességének, azaz erősödnie kell az üvegházhatásnak, ami éghajlatváltozást eredményez, feltéve hogy ezt más folyamatok nem kompenzálják, azaz nem vonnak ki energetikailag ekvivalens mennyiségű elnyelő anyagot a légkörből.”
- „Ezek a nyomanyagok tehát nem szorítják ki egymást, nincsenek olyan folyamatok, amelyek során az egyik mennyiségének növekedése csökkenthetné a másik mennyiségét.”

Az első idézet komoly figyelmeztetés: az üvegházhatású gázok kibocsátását csökkenteni kell, mert éghajlatunkat tekintve súlyos következményei lehetnek. A második idézetből megtudjuk, hogy a helyzet sokkal rosszabb, mert a szén-dioxid koncentrációjának növekedéséből fakadó elsődleges problémát „gerjesztett visszacsatolások” tovább súlyosbíthatják. Itt valószínűleg a soha be nem bizonyított vagy kimutatott pozitív vízgőz visszacsatolására gondol. E két kijelítésnek semmi köze a tudományhoz, és csak azt fejezi ki, hogy Haszpra László véleménye az üvegházhatást tekintve megegyezik az IPCC álláspontjával, így nem érdemes különösebben foglalkozni velük. Más országokban másképpen gondolkodnak. Az Amerikai Egyesült Államok kivonulása az IPCC-ből nyilván nem véletlen [40].

A harmadik idézetben a szerző elmagyarázza, hogy a légköri szén-dioxid-mennyiség növekedése az infravörös sugárzás fokozottabb elnyelésével párosul, aminek muszáj az üvegházhatást növelni, és ez a globális átlagos felszínhőmérséklet növekedésében jelentkezik. Itt már érezhető, hogy nem igazán biztos ebben, mert hozzáteszi még, hogy ez csak akkor történik meg, ha más folyamatok ezt nem kompenzálják, azaz, ha a többi üvegházgáz mennyisége változatlan marad. Az utolsó idézet szerint nincs olyan folyamat, amelyben az egyik üvegházgáz mennyiségének a megváltozása a másik üvegházgáz mennyiségének a megváltozását vonná maga után.

A számtalan ellenpélda közül idézzünk egyet. A Science folyóiratban azt olvashatjuk, hogy a felsőlégköri vízgőz mennyiségének fontos szerepe van a globális felmelegedésben, és a

sztratoszferikus metán oxidációja közvetlenül a sztratoszféra vízgőztartalmának a növekedéséhez vezet [41]. Itt tehát két üvegházgázról van szó, amelyben a metánmolekula eltűnik, a vízgőzmolekula pedig megjelenik. Az ózon- és a freonvegyületek kémiai reakcióiban is köztudottan bizonyos üvegházgázok mennyisége egymás rovására változik.

A bevezetőben említett törvényeket figyelembe véve belátható, hogy a légköri infravörös-elnyelés és az üvegházhatás között nem vonható párhuzam, az abszorpció növekedése nem jelenti az üvegházhatás növekedését. Mérések szerint a légköri abszorpció hosszú ideje nem növekszik, sőt elméletileg sem növekedhet, az üvegházhatás pedig csökken, így az idézett kijelentések (illetve az IPCC) álláspontja mindentől függetlenül nem helytálló. Sajnos a fent idézett és hasonló írások semmivel sem visznek közelebb az üvegházhatás fizikájának megértéséhez, a laikusokat viszont félrevezeti.

Láttuk, hogy izolált rendszerünkben a stabil éghajlat feltétele az összes elnyelt napsugárzás, valamint a légkörön a világűr felé akadálytalanul áthaladó felszínsugárzás és a légkörtől származó hosszuhullámú sugárzás összegéből adódó, kimenő hosszuhullámú sugárzás egyenlősége. Az üvegházhatás klimatológus definíciója ignorálja a felhőzetet (azaz független a felhőzető kisugárzásától), így fizikailag értelmetlen. A felhőzet, a szélmező, a nedvességtartalom a klímarendszer térben és időben nem lokalizálható és nem előre jelezhető paraméterei. A globális felhőzetre vonatkozó összefüggéseket és paramétereket csak egy kaotikus rendszer hosszú idejű átlaga tudja produkálni. Egy disszipatív rendszerben a lokális légköri szerkezetek csak úgy változhatnak, hogy a végén a planetáris átlagra vonatkozó energetikai kényszerrek teljesüljenek.

Fizikai tartalommal bíró üvegházhatás egyedül a derült területekre definiálható:

$$G = S_U - OLR \quad [5].$$

A felhőzet alatti területekre a határfeltételek miatt nem adható meg hasonló definíció. Az egyszerű ok az, hogy a felhőzet alatti területekre érvényes légköri Kirchhoff-törvény miatt az abszorbeált napsugárzásnak át kell alakulnia egyéb, nem a hőmérsékleti sugárzással kapcsolatos energiaformává [4: 43. oldal, 20. ábra].

Természetesen a felhőzető és a légkör teteje között is létezik fizikai értelemmel bíró üvegházhatás (hasonlóan a Vénusz légköréhez), azonban az emberiség a földfelszínen él, így a légkör sugárzási egyensúlyában játszott fontos szerepén kívül a felhőzet feletti légkör üvegházhatásának nincs nagyon sok gyakorlati haszna. Számszerű mértékéről pedig – eltekintve saját szimulációs eredményeinket – a szakirodalomban nem található becslés.

A 2. ábrán bemutatott fluxusaink alapján a Ramanathan-féle üvegházfaktor a felhős területek felett

$$[S_U^C - (S_T^C + E_U^C)] \beta = 60,69 \text{ Wm}^{-2},$$

a derült földfelszín felett pedig

$$[S_U - (S_T + E_U)] (1 - \beta) = 42,342 \text{ Wm}^{-2}.$$

Az APF-re vonatkoztatott teljes üvegházfaktor $103,032 \text{ Wm}^{-2}$, amely gyakorlatilag megegyezik az $a_B F_0 = F_R = 103,034 \text{ Wm}^{-2}$ ref-

lektált napsugárzással. Ellentétben a felhőzet üvegházhatást növelő általános véleményével [42] látható, hogy a felhőfedettséggel való súlyozás a derült $G = (S_U - OLR) = 127,89 \text{ Wm}^{-2}$ üvegházfaktort nagymértékben lecsökkenti.

A légkörön akadálytalanul áthaladó felszínsugárzás az összes felszínsugárzás és a légkörben elnyelt felszínsugárzás különbsége, így a felszínsugárzás és a kimenő hosszúhullámú sugárzás különbségeként adódó üvegházfaktort a légkörben elnyelt felszínsugárzás és a légkör világűr felé történő saját kisugárzásának a különbsége, lásd a (3) egyenletet. Az üvegház-azonosság szferikus refraktív légkörre történő egzakt reprodukálása a légköri sugárzásátviteli programok egyik legfontosabb próbatétele. Mivel a (3) egyenletben szereplő E_U az elnyelt felszínsugárzás implicit függvénye $E_U = E_U(A_A)$, az üvegház-azonosság világosan mutatja, hogy a Δt_A üvegházhatás és az infravörös abszorpció arányosságának a feltételezése súlyos hiba.

A légköri üvegházhatás 61 év alatt megfigyelt változása

Ezek után tekintsük át a valóságos helyzetet. A 3. ábrán a t_s felszínhőmérséklet, az OLR -ból számított t_e effektív hőmérséklet, a derült üvegházhatás, és a légköri vízgőz- és szén-dioxid-tartalom 61 év alatt történt változásai láthatóak [4], [13]. A t_s felszínsugárzási hőmérséklet és a t_e effektív kisugárzási hőmérséklet közel azonos mértékben emelkedett, de a $\Delta t = t_s - t_e$ üvegházhatás kismértékben csökkent. A vízgőztartalom is csökkenő tendenciát mutat, a szén-dioxid mennyisége ugyanakkor drámaian megnőtt. A részletes statisztikai analízis a [13] hivatkozásban található.

A fenti – derült égboltra vonatkozó – számításokhoz a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) mindenki számára hozzáférhető, NOAA-R1 néven közismert rádiószondás reanalízis adatbázisát használtuk [43]. A 3. ábra alapján kijelenthető, hogy a szén-dioxid-koncentráció növekedésének a tapasztalt kismértékű felmelegedéshez semmi köze sincs, hiszen az üvegházhatás csökkent.

Ezen meglepő tény tudományosan megalapozott, részletes magyarázatát a [4] és [11] hivatkozásokban találhatjuk meg. A jelenség magyarázatához hosszadalmas légköri sugárzásátviteli számítások és új elméleti megfontolások útján jutottunk el, amelyhez első lépésként ki kellett fejleszteni a T_A fluxus transzmisszió és a $\tau_A = -\ln(T_A)$ egyenlet által definiált fluxus optikai vastagság pontos számításának a direkt integrációs (line-by-line) eljárás alapjánuló módszerét [14]. A pontos T_A fluxustranszmisszió rendkívül bonyolult matematikai procedúrával több százezer abszorpciós vonalat tartalmazó spektroszkópiai adatbázisok használatával számítható [13: 3. old. 1. és 2. egyenlet].

A [12] és [4] hivatkozásokban szereplő nagyszámú valódi rádiószondás adat kiértékelése során a légkör hosszúhullámú sugárzás komponensei között új strukturális összefüggéseket tártunk fel és megadtuk azok elméleti interpretálását. Korrekt matematikai úton levezettük a felszínsugárzást, az effektív sugárzást, valamint az üvegházgázok mennyiségét összekapcsoló

$$OLR = S_U f$$

sugárzási egyensúly törvényét. Az

$$f = 2 / [1 + \tau_A + \exp(-\tau_A)]$$

összefüggés segítségével lehetővé vált a Ramanathan-féle normalizált üvegházfaktort $g = 1 - f$ elméleti számítása. Megadtuk továbbá a földi légkörre érvényes sugárzási energia megmaradását biztosító

$$OLR = S_U (3 + 2 T_A) / 5$$

egyenletet. Az

$$\varepsilon_A = E_D / A_A$$

összefüggésen keresztül bevezettük a légköri Kirchhoff-törvényt, amely számszerűen megadja a felszínen kialakuló sugárzási egyensúly számításához nélkülözhetetlen ε_A szferikus emisszivitást, és végül az

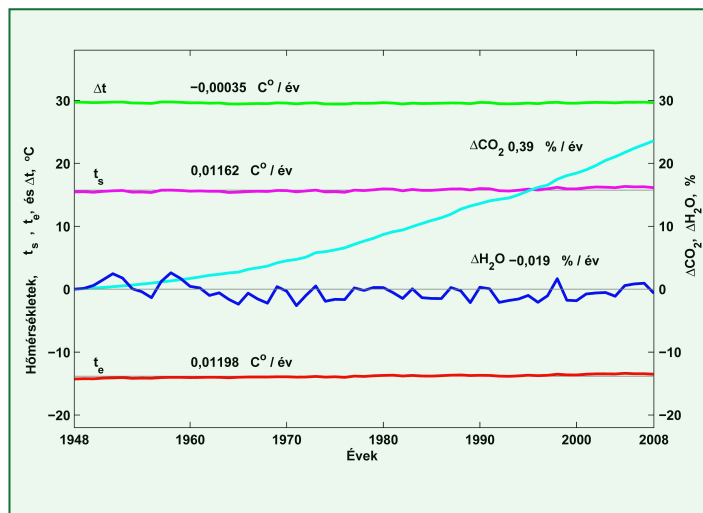
$$S_U = 2 E_U$$

egyenleten keresztül bemutattuk, hogy a viriál tétel kulcsszerepet játszik a földi stabil klíma kialakításában. Az $S_U = 5 OLR / (3 + 2 T_A)$ és az $OLR = S_U f$ egyenletek együttes érvényességét az

$$f = (3 + 2 T_A) / 5$$

egyenlet fejezi ki (ugyanis egyszerre csak egy globális átlagos derült OLR és S_U létezhet). Ennek az egyenletnek a megoldása eredményezi a sugárzási energia megmaradását és a planetáris sugárzási egyensúlyt biztosító $\tau^T = 1,867561$ elméleti fluxus optikai vastagságot. Az infravörös optikai vastagság időbeli változásával, illetve állandóságával a [13] részletesen foglalkozik.

Négy új sugárzásfizikai összefüggés empirikus bizonyítására a 4. ábrán bemutatjuk a 3. ábrán látható 61 éves NOAA-R1 rádiószondás reanalízis adatsorból véletlenszerűen kiválasztott hét különböző időszoron elvégzett szimulációkat. Az idősorok az alábbi évekre vonatkoznak: 1948–1972, 1948–1976, 1948–1997, 1948–2008, 1959–2008, 1973–2008 és 1977–2008.



3. ábra. A $t_e = (OLR/\sigma)^{1/4}$, t_s és $\Delta t = t_s - t_e$, számított, illetve a ΔH_2O és ΔCO_2 megfigyelt változásai az utóbbi 61 évben

A vízgőz és szén-dioxid oszlopmennyiségeinek relatív változásait (ΔH_2O és ΔCO_2) az 1948. évi értékek százalékában adtuk meg. Az ábrán feltüntettük a fenti mennyiségekhez tartozó lineáris trendek számszerű értékeit is.

Az állandó fluxus optikai vastagság egyértelműen származtatható az ismert fizikai alapelvekből (ezt tettük meg fentebb), és nyilvánvalóan – ahogyan már korábban is említettük – a sokak által jól ismert monokromatikus Beer–Lambert-féle sugárzáselnyelési törvény nem a planetáris klíma kormányzó elve. A törvénnyel önmagával semmi probléma nincs, hiszen az minden sugárzásátviteli program alapvető építőköve, azonban egy olyan rendszerben, ahol a CO₂ koncentrációjának növekedésével a globális átlagos abszorpció dokumentáltan hosszú ideig állandó marad, ott egyéb törvények – többek között az általunk bemutatott néhány új törvény – szabályozzák a planetáris abszorpciót, és ezen keresztül a klímát.

A *g* normalizált üvegház faktor definícióját használva nyomban látható, hogy az $S_U = OLR / f$ és az $S_U = 5 OLR / (3 + 2 T_A)$ egyenletekből triviálisan következnek a *g*-re vonatkozó alábbi összefüggések:

$g = 1 - f = 0,33849$ és $g = 2 A / 5 = 0,3383$.

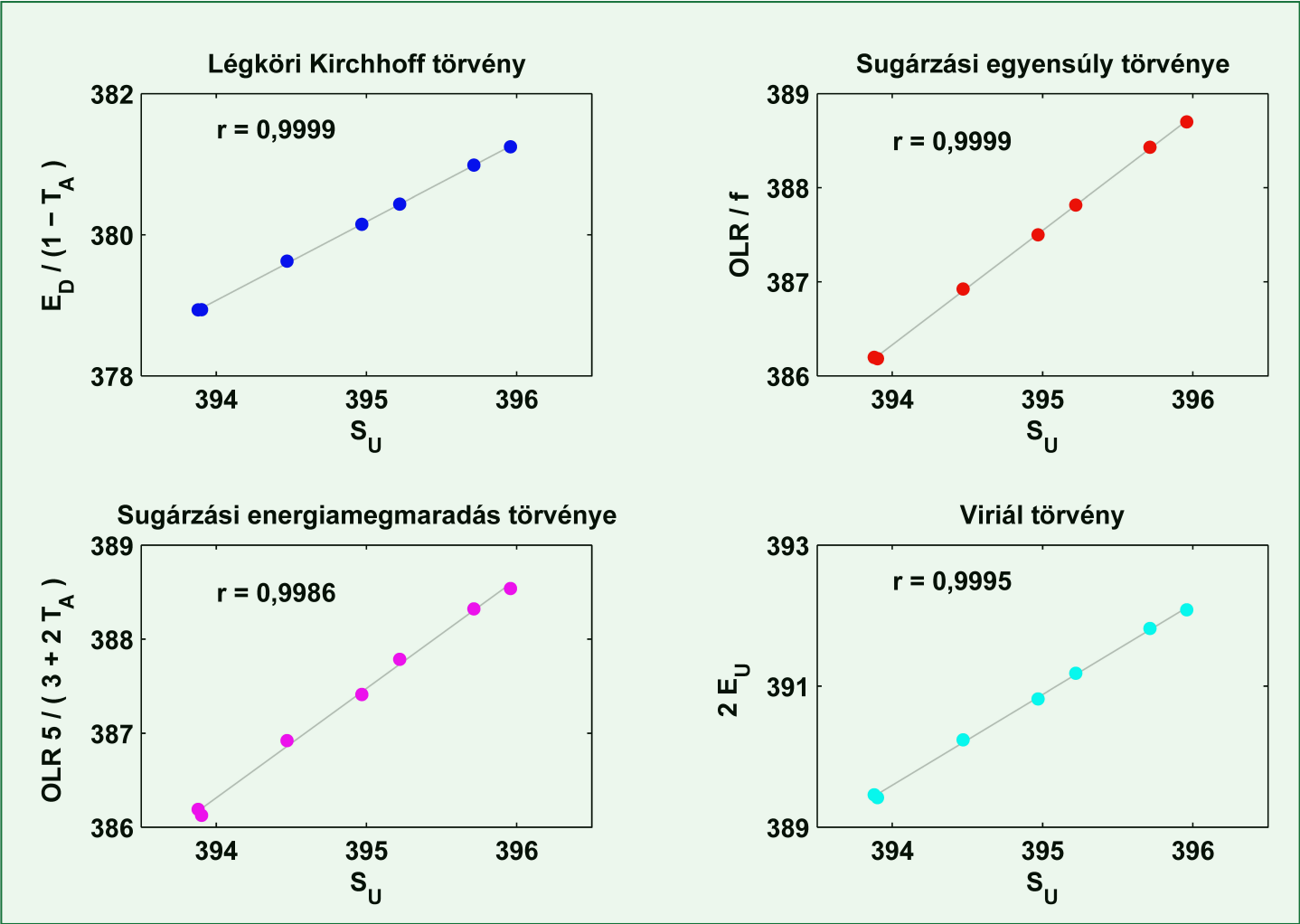
Megjegyezzük, hogy az elméleti fluxus optikai vastagsághoz tartozó *g* faktor a fenti *g* értékekkel kitűnően egyezik:

$g \approx 1 - 2 / [1 + \tau^T + \exp(-\tau^T)] = 0,3382$.

A lineáris regressziós állandók számszerű értékeinek itt nincs közvetlen fizikai jelentése, így azokat az ábrán nem tüntettük fel. Ennek oka az, hogy az $S_U = 0$ pontban a sugárzási mező nem létezik, és az optikai vastagságtól való függés (a függvények argumentuma) nincs értelmezve. Különösebb kommentárt az eredményekhez nem kell fűznünk, hiszen a korrelációs állandók önmagukban is jól reprezentálják a sugárzásfizika új összefüggéseinek érvényességét. Egyenleteink szerint a hivatalosan támogatott klímaelmélet tudományosan nem megalapozott.

Tegyük még hozzá, hogy amíg a számtalan hangolható paramétert tartalmazó klíma modellek eredményei és a valóság között jelentős különbségek vannak, addig elméleti egyenleteink bolygónk valódi sugárzási klímáját írják le. A 4. ábra alatt felsorolt négy összefüggésben nincsenek „hangolható” paraméterek, nem kell kezdeti értéket adni semminek, és csak azt kell feltételezni, hogy a rendszer követi a fizika törvényeit, és a bemenő adatok reálisak.

A magyar és nemzetközi meteorológus-klimatológus közösség a fenti eredményekről alig vesz tudomást, és úgy tűnik, nem



4. ábra. Szimulációs eredményeink hét különböző hosszúságú NOAA-R1 idősorra

Számításaink az 1948–2008 időtartamra vonatkoznak. Az első két idősor esetében az átfedés miatt az ábrán a két bal alsó pont gyakorlatilag egybeesik. A függőleges tengelyeken az $S_U = E_D / (1 - T_A)$, $S_U = OLR / f$, $S_U = 5 OLR / (3 + 2 T_A)$, és $S_U = 2 E_U$ elméleti sugárzásfizikai összefüggések szerepelnek. A korrelációs állandókat tekintve a négy egyenlet empirikus bizonyítást nyert.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet Szarka Lászlónak, és Héjjas Istvánnak a kézirat elkészítéséhez nyújtott értékes tanácsaiért és segítségért.

akar az érintett – sokszor alapvető – elméleti fizikai problémákról konstruktív tudományos vitát kezdeményezni. Például Hetesi Zsolt véleménye szerint „*az üvegházhatás jelenségét leíró fizikai elméletek nem képezik vita tárgyát, hanem a jelenleg elfogadott természettudományos világkép részei*” [44]. Ez természetesen nem így van, hiszen egy bebizonyítatlan hipotézis nem nevezhető fizikai elméletnek, és amíg egy hipotézis széles körű empirikus bizonyítást nem nyer, addig tudományos vitaalaprak tekintendő.

Ezt bizonyítandó, a Miskolczi-féle üvegházelmélettel szerte a világon foglalkoznak. A Nature internetes véleményrovatában a Miskolczi-féle üvegházelméletre hivatkozva például az alábbi idézetet olvashatjuk [45]:

„A légkörbe jutó többlet-szén-dioxidnak semmi hatása sincs a légkör infravörös elnyelésére. Miskolczi eredményeit empirikus megfigyelésekre, mérésekre alapozta, így azok felülbírálnak minden ellentmondó eredményt produkáló elméleti számítást.”

A. Arrak (aki képesítését tekintve nem klimatológus hanem radiokémikus) nyolc éve világosan látta a jelen cikkünkben is közölt eredmények jelentőségét és egy új, fizikai alapokon nyugvó üvegház elmélet szükségességét [46].

Jelen írásunkkal ízelítőt adtunk az üvegházhatás problémájának egy alapjaiban új megközelítéséről. Persze nem szeretném azt a látszatot kelteni, hogy az új összefüggésekkel megoldódott a globális klímaváltozás minden tudományos problémája. Amit itt bemutattunk az csak a jéghegy csúcsa. A planetáris klímának számtalan, a sugárzással kapcsolatos megválaszolatlan kérdése van, amelyekre itt nem térhettünk ki. Egyik legalapvetőbb probléma a hőmérsékleti és sugárzási mező átlagolása, és ennek kapcsán az átlaghőmérséklet definíciója, vagyis magának a globális átlagos hőmérséklet létezésének a kérdése [25]. A klímaváltozás okainak kutatását természetesen – konszenzusra törekvés nélkül – folytatni kell, és bízom benne, hogy e rövidre szabott áttekintés hozzásegíti a geológus, geofizikus és energetikával foglalkozó szakembereket az üvegházhatás problémáinak mélyebb megértéséhez.

A bemutatott kvantitatív eredmények és konklúziók várható kritikai értékelése remélhetőleg a tárgyhöz tartozó számszerű eredmények és az azokból levont következtetések gondos összehasonlítására lesz alapozva. Tudományos igényű kritika nem tartalmazhat hiedelmeken alapuló általános – és sokszor ad-hominem – megjegyzéseket.

Hivatkozások

- [1] Tollefson, J.: The Case of the Missing Heat. 2014, Nature, 505, Január 16, 276–278
- [2] Lacis, A. et al.: Atmospheric CO₂: Principal Control Knob Governing Earth's Temperature. 2010, Science Vol. 330, 356–359
- [3] Kandel, R. és Viollier, M.: Planetary radiation budgets. 2005, Space Science Reviews 120: 1–26 DOI: 10.1007/s11214-005-6482-6, 1–26
- [4] Miskolczi, F.: The Greenhouse Effect and the Infrared Radiative Structure of the Earth's Atmosphere. 2014, Development in Earth Science, Vol. 2, 31–52
- [5] Ramanathan, V. és Inamdar, A.: The radiative forcing due to clouds and water vapor. 2006, In Frontiers of Climate Modeling, Eds. J. T. Kiehl and V. Ramanathan; Cambridge University Press, 119–151
- [6] Raval, A. és Ramanathan, V.: Observational determination of the greenhouse effect. 1989, Nature 342, 758–761
- [7] Kopp, G. és Lean, J.: A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. 2011, Geophysical Research Letters, Vol. 38, L01706, doi: 10.1029/2010GL045777, 1–7
- [8] Chance, K. és Kurucz, R.: An improved high-resolution solar reference spectrum for earth's atmosphere measurements in the ultraviolet, visible, and near infrared. 2010, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 111, 1289–1295
- [9] Berk, A. et al.: MODTRAN5.2.0.0 User's Manual. 2008, [ftp://ftp.pmodwrc.ch/pub/Claus/Vorlesung2009/ModtranDaten_etc/MODTRAN\(R\)5.2.0.0.pdf](ftp://ftp.pmodwrc.ch/pub/Claus/Vorlesung2009/ModtranDaten_etc/MODTRAN(R)5.2.0.0.pdf), 1–100
- [10] NASA Earth Fact Sheet: nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html, 2012
- [11] Miskolczi, F.: Greenhouse effect in semi-transparent planetary atmospheres. 2007, Időjárás, 111, 1, 1–40
- [12] Chedin, A. és Scott, N.: The Improved Initialization Inversion Procedure. 1983, Laboratoire de météorologie dynamique. Centre National de la Recherche Scientifique, No. 117.
- [13] Miskolczi, F.: The stable stationary value of the earth's global average atmospheric Planck-weighted greenhouse gas optical thickness. 2010, E&E 21, 4 243–262
- [14] Miskolczi, F.: High resolution atmospheric radiative transfer code (HARTCODE). 1989, <https://www.researchgate.net/publication/287994595>, DOI: 10.13140/RG.2.1.2319.6240, 1–220
- [15] Costa, S. és Shine, K.: Outgoing Longwave Radiation due to Directly Transmitted Surface Emission. 2012, JAS, Vol. 69, DOI: 10.1175/JAS-D-11-0248.1, 1865–1870
- [16] Fu, Q. et al.: Multiple Scattering Parameterization in Thermal Infrared Radiative Transfer. 1997, JAS, Vol. 54, 2799–2812
- [17] Kiehl J. és Trenberth, K.: Earth's Annual Global Mean Energy Budget. 1997, Bulletin of American Meteorological Society, VOL. 78, No. 2, 197–208
- [18] Trenberth, K. et al.: Earth's Global Mean Energy Budget. 2009, AMS, Bulletin of American Meteorological Society, March 2009, 312–323
- [19] Stephens, G. et al.: An update on Earth's energy balance in light of the latest global observations. 2012, Nature Geoscience, Vol. 5, 691–696
- [20] Wild, M. et al.: The global energy balance from a surface perspective. Climate Dynamics, 2013, 40: DOI 10.1007/s00382-012-1569-8, 3107–3134
- [21] NASA: earth's energy budget. 2015, <http://www.nasa.gov/document/NP-2010-05-265-Larc>
- [22] USST76: US Standard Atmosphere, 1976, NOAA, NASA, USAF, Washington, D.C. October 1976

[23] Shaviv N. et al. : The Maximal Runaway Temperature of Earth-like Planets. 2011, Icarus, 216, 2, 403–414

[24] Lorenz, R. és McKay, C.: A simple expression for vertical convective fluxes in planetary atmospheres. 2003, Icarus 165, doi:10.1016/S0019-1035(03)00205-7, 407–413

[25] Reményi K.: Gondolatok a globális hőmérsékletéről. Energiagazdálkodás, 57. évf. 2016. 3–4. szám

[26] Kramm, G. és Dlugi, R.: Scrutinizing the atmospheric greenhouse effect and its climatic impact. 2011, Natural Science, Vol.3, No. 12, <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2011.312124>

[27] Gerlich, G. és Tschuschner, R.: Falsification of the atmospheric CO₂ greenhouse effects within the frame of physics. 2009, International Journal of Modern Physics B, 23, 275-364, doi:10.1142/S021797920904984X

[28] Héjjas, I.: Klímaváltozás és szén-dioxid. Magyar Energetika, 2015/5–6

[29] Miskolczi, F. és Mlynczak, M.: The greenhouse effect and the spectral decomposition of the clear-sky terrestrial radiation. 2004, Időjárás, 108, 4, 209–251

[30] Lindzen, R.: Taking Greenhouse Warming Seriously. 2007, E&E, Vol. 18, No. 7+8, 937–950

[31] Pierrehumbert, R.: Principles of Planetary Climate. 2011, Cambridge University Press, ISBN 9780521865562, pp. 414

[32] Haszpra, L.: Válasz Zágoni Miklós észrevételeire. 2011c, Magyar Tudomány, 172, 8, 1003–1005

[33] Reményi, K.: A konszenzus és evidencia nem tudományos érv. 2010, Magyar Tudomány, 171, 1, 44–48.

[34] Szarka, L.: Mozaikok az éghajlatkutatáshoz. 2010, Magyar Tudomány, 171, 5, 609–611.

[35] Berényi, D.: Klímaváltozás, globális felmelegedés, CO₂-hatás – kritikus szemmel. 2011, Magyar Tudomány, 172, 1, 18–31

[36] Miskolczi, F.: The stable stationary value of the Earth's IR optical thickness. 2011, EGU Vienna, Poster Presentation XL87, https://presentations.copernicus.org/EGU2011-13622_presentation.pdf

[37] Haszpra, L.: ICOS – A jövő páneurópai üvegház-megfigyelő rendszere. 2011a, Magyar Tudomány, 172, 1, 32–37

[38] Haszpra, L.: Az éghajlati rendszer és mozgatói. 2011b, Magyar Tudomány, 172, 5, 570–579

[39] Zágoni, M.: Észrevételek Haszpra László: Az éghajlati rendszer és mozgatói című tanulmányához. 2011, Magyar Tudomány, 172, 8, 1000–1002

[40] Wikipedia: 2018, https://en.wikipedia.org/wiki/United_States_withdrawal_from_the_Paris_Agreement

[41] Solomon S. et al.: Contributions of Stratospheric Water Vapor to Decadal Changes in the Rate of Global Warming. 2010, Science 327, 5970, 1219–1223

[42] Nurse P. és Cicerone, J.: Climate Change, Evidence & Causes, An overview from the Royal Society and the US National Academy of Sciences, 2014, RS & NAS Feb. 27

[43] NOAA NCEP/NCAR: Reanalysis data time series, 2008, <http://www.cdc.noaa.gov>

[44] Hetesi, Zs.: Néhány megjegyzés a klímaszkeptizmus kapcsán. 2017, Magyar Energetika 1, 18–20

[45] Arrak, A.: 2012, <http://www.nature.com/nature/journal/v484/n7392/abs/nature10915.html>

[46] Arrak, A.: What Warming? Satellite view of global temperature change. 2010, CreateSpace, Második kiadás

Szimbólumok listája	
Szimbólum	Jelentés
$F_A, F_{A,v}$	Abszorbeált teljes és spektrális napsugárzás, $\text{Wm}^{-2}, \text{Wm}^{-2}/\text{cm}^{-1}$
F_R	Reflektált napsugárzás, Wm^{-2}
$F_E = F_A + F_R$	Egységnyi felületen rendelkezésre álló napsugárzás, Wm^{-2}
$F_0 = 4F_E$	Empirikus napállandó, Wm^{-2}
$F_O^T, F_O^{\text{OBS}}, F_{0,N}$	Napállandók, Wm^{-2}
$F_O^{\text{Max}}, F_O^{\text{Min}}$	Maximum és minimum empirikus napállandók, Wm^{-2}
f, g	Transzfer és üvegház függvények, $g=1-f$
$G, G_A, G_{A,v}$	Derült, abszorpciós és spektrális üvegházfaktorok, $\text{Wm}^{-2}, \text{Wm}^{-2}/\text{cm}^{-1}$
h^C	Globális átlagos felhőtető magassága, km
OLR, OLR^A, OLR^C	Derült, összes, és felhős területektől származó kimenő sugárzás, Wm^{-2}
$S_G, S_{G,v}$	Felszín teljes és spektrális fekete test sugárzása, $\text{Wm}^{-2}, \text{Wm}^{-2}/\text{cm}^{-1}$
S_U, S_U^C, S_D^C	Földfelszín, felhőtető és felhőalap sugárzása, Wm^{-2}
$S_T, S_T^C, S_D^{Cu}, S_D^{Cd}$	Derült, felhő feletti és felhő alatti átbocsátott sugárzások, Wm^{-2}
$A_A, A_A^C, A_A^{Cu}, A_A^{Cd}$	Derült, felhő feletti és felhő alatti abszorbeált sugárzások, Wm^{-2}
E_U, E_U^C, E_U^{Cu}	Derült, felhő feletti és felhő alatti felfelé emittált sugárzások, Wm^{-2}
E_D, E_D^C, E_D^{Cd}	Derült, felhő feletti és felhő alatti lefelé emittált sugárzások, Wm^{-2}
ε_A	Szferikus emisszivitás, $\varepsilon_A = E_D / A_A = 0,96515341$
T_A, τ_A	Globális átlagos (derült) fluxus transzmisszió és optikai vastagság
t_G	A földfelszín átlagos termodinamikai hőmérséklete, K
t_A	Elnyelt napsugárzásból számított abszorpciós hőmérséklet, K
t_S	Földfelszín átlagos sugárzási hőmérséklete, K
t^C	Felhőtető átlagos sugárzási hőmérséklete, K
t_e	Kimenő hosszúhullámú sugárzásból számított effektív hőmérséklet, K
a_B	Bond albedó, $a_B = F_R / F_E = 4F_R / F_0$
β	Felhőfedettség, felhős területek aránya az összterülethez
Δt_A	Globális abszorpciós üvegházhatás (klimatológus definíció), K
$\Delta \text{H}_2\text{O}$	Vízgőztartalom relatív változása 1948-hoz képest, %
ΔCO_2	Szén-dioxid-oszlop mennyiség relatív változása 1948-hoz képest, %
σ	Stefan-Boltzmann-állandó, $\sigma = 5,6704 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$
τ^T	Elméleti fluxus optikai vastagság, $\tau^T = 1,867561$