

Kételyek az üvegházhatás mértékében

ETO: 523.3 + 529.4 + 551.5 + 574



Ónodi Tibor

okl. olajmérnök
MOL Rt. Szolnok
OMBKE-, MGE-tag

Az üvegházelmélet figyelmes tanulmányozásakor észre lehet venni, hogy súlyos hibákkal terhelt számításokra épül. Már az első támpont, a széles körben terjesztett „egyensúlyi” hőmérséklet (-18 °C, ill. 0 °F) akár középiskolai ismeretekkel is ellenőrizhető. Meglepő módon az üvegházhatás jóval kevésbé veszélyes, mint a közhit tartja. Egyetlen bizonyítéka sem állja ki a tudományos bizonyítás próbáját. Az iparnak támogatnia kellene a szakmai kutatást és a mennyiségi méréseket, mivel az üvegházgáz-kibocsátás egyik vádlottja. Intézkedésekre van szükség azért is, hogy a környezetvédelmi költségek felhasználása hatékonyabb legyen.

Bevezetés

Az utóbbi időkben egyre gyakrabban kerül szóba az üvegházhatás. E témában az olajipar két gázzal is közvetlenül érintett. Az egyik a metán, a termelt földgáz fő komponense, a másik a szén-dioxid, az olaj és a földgáz égésterméke. Mivel a nemzetközi klímaegyezmények az ipart, különösen a bányászatot és kohászatot érzékenyen érintik, ezért az ezen a területen dolgozó mérnököknek nemcsak joguk, hanem kötelességük is mennyiségileg utána számolni, hogy pontosan mekkora súllyal kell mérlegelni az üvegházhatásra épülő apokaliptikus jóslatokat. Azaz mekkora veszélyt lehet elhárítani.

Néhány idevonatkozó hőtani ismeret:

A hősugárzás tulajdonságai

Minden test a felületi hőmérséklete függvényében elektromágneses sugárzás formájában energiát sugároz a környező térbe. Az elektromágneses sugárzás spektruma a kozmikus sugárzástól a hosszuhullámú rádióhullámokig folytonosan

értelmezhető, ugrásszerű változás nincs a szomszédos hullámhossztartományok közt. Tehát a spektrum felosztásának alapja: tulajdonképpen az **érzékelés módja**.

Másodlagos szempontként szerepel a spektrum felosztásában az adott hullámhosszú sugárzás felhasználási területe, illetve jellegzetes hatásmechanizmusa.

A teljes spektrum felosztása az **1. táblázatban** látható.

1. táblázat. Az elektromágneses hullámok felosztása

Sugárfajta	Hullámhossz, m
Kozmikus sugárzás	10^{-18} - 10^{-14}
Gamma-sugárzás	10^{-14} - 10^{-11}
Röntgen-sugárzás, kemény	10^{-11} - 10^{-10}
Röntgen-sugárzás, lágy	10^{-10} - 10^{-9}
Röntgen-sugárzás, ultralágy	10^{-9} - $1,85 \cdot 10^{-7}$
Ultraibolya, UV-C	$1,85 \cdot 10^{-7}$ - $2,80 \cdot 10^{-7}$
Ultraibolya, UV-B	$2,80 \cdot 10^{-7}$ - $3,15 \cdot 10^{-7}$
Ultraibolya, UV-A	$3,15 \cdot 10^{-7}$ - $3,80 \cdot 10^{-7}$
Látható fény	$3,80 \cdot 10^{-7}$ - $7,80 \cdot 10^{-7}$
Infravörös, rövidhullámú (NIR)	$7,80 \cdot 10^{-7}$ - $3,0 \cdot 10^{-6}$
Infravörös, középhullámú (MIR)	$3,0 \cdot 10^{-6}$ - $6,0 \cdot 10^{-6}$
Infravörös, hosszuhullámú (FIR)	$6,0 \cdot 10^{-6}$ - $1,5 \cdot 10^{-5}$
Infravörös, távoli hosszuhullámú (XIR)	$1,5 \cdot 10^{-5}$ - 10^{-4}
Mikrohullámú sugárzás	10^{-4} - 10^{-2}
Rádióhullámok	10^{-2} - 1000

A sugárzásnak kitett testek osztályozása:

- átlátszó test: minden sugárzást átenged,

- fekete test: minden sugárzást elnyel,

- fehér test: minden sugárzást visszaver,

- szürke test: a sugárzást minden hullámhosszon azonos arányban veri vissza, ill. nyeli el,

- színes test: a spektrum egyes részeit különböző mértékben visszaveri vagy elnyeli (illetve átengedi).

A valóságban létező testek kivétel nélkül a színes testek csoportjába tartoznak. Áteresztőnek csak a vákuumot tekinthetjük, a többi anyagban az elnyelődés a vastagságtól függ.

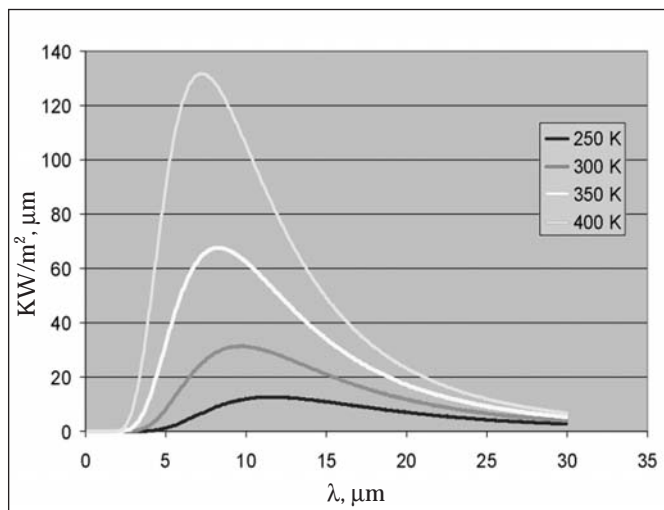
Az irodalmi hivatkozásokban gyakran szereplő abszolút fekete test csupán fizikai absztrakció. Az-

az olyan elvont fogalmú test, amely ha létezne, minden fényt elnyelne. A hősugárzást, illetve a sugárzás elnyelődését ehhez az eszményi tulajdonságú testhez viszonyítjuk.

A hullámhossz szerinti energiaeloszlást **Max Planck** adta meg:

$$dE(\lambda, T) = 2\pi^2 \hbar^5 \cdot 1/(\exp(\hbar c/\lambda kT) - 1) \cdot d\lambda. \quad (1)$$

Az (1) egyenlet megszkott képe látható az **1. ábrán**.



1. ábra. A hősugárzás intenzitása

Ugyanez az összefüggés ismert a rezgésszám függvényében is,

$$v = c/\lambda \text{ és } dv = -c/\lambda^2 \cdot d\lambda, \text{ ezért:}$$

$$dE(v, T) = 2\pi^2 \hbar^3 \cdot 1/(\exp(\hbar v/kT) - 1) \cdot dv. \quad (2)$$

A (2) egyenlet a gyakorlati használathoz egyszerűsíthető a $\hbar v/kT = N_A \hbar v/RT = x$ dimenzió nélküli változót bevezetve, továbbá a $\sigma = 2\pi^5 k^4 T^4 / 15 \hbar^3 c^2$ összevonást alkalmazva, felhasználva, hogy:

$$\int_0^\infty x^3 / (e^x - 1) \cdot dx = \pi^4 / 15.$$

Az eredmény a fekete test sugárzására (Stefan-Boltzmann sugárzási törvény):

$$E = \sigma T^4 \quad (3)$$

Tehát minden test az abszolút hőmérséklete negyedik hatványával arányosan sugároz hőt.

A valóságos testek esetén figyelembe kell venni az emisszióképességet, mely csak az abszolút fekete test esetében hagyható el.

$$E = \epsilon \sigma T^4 \quad (\text{ahol: } \epsilon < 1) \quad (4)$$

Az elektromágneses sugárzás adott esetben nagyobb lehet, mint a (2) egyenletben, ez azonban nem lehet termikus eredetű (pl. mesterséges rádiósugárzás, Röntgen-sugárzás, természetes gamma-sugárzás).

Az emissziós és abszorpciós együtthatókkal kapcsolatos levezetést mellőzve, feltétlenül meg kell említeni, hogy a **Kirchoff-törvény** szerint az emissziós és abszorpciós együttható minden hullámhosszon egyenlő:

$$\alpha(\lambda) = \epsilon(\lambda). \quad (5)$$

A Kirchoff-törvény csak az azonos hullámhosszú sugárzásokra vonatkozik. Különböző hullámhosszon tehát eltérhet (és el is tér) az abszorpciós ill. emissziós együttható, azaz:

$$\alpha(\lambda_1) \neq \epsilon(\lambda_2). \quad (6)$$

Ha a $\hbar v/kT = N_A \hbar v/RT = \hbar c/\lambda kT = \text{const.}$, akkor a termikus spektrum minden pontjára van egy kényelmes transzformációs eljárás. A teljes spektrumra alkalmazható **Wien-törvény**, közismert alakja:

$$\lambda_i T = \text{const.} \quad (7)$$

Ennek alapján az energiaeloszlás az összes hőmérsékletre egyszerűen számítható lesz a hullámhosszok arányos transzformációjával. Néhány jellegzetes pont látható a **2. táblázatban**:

2. táblázat: A hősugárzás energiaeloszlásának jellegzetes pontjai

A pont tulajdonsága	$\lambda_i T, \mu\text{mK}$
$\partial E/\partial \lambda = \text{max.}$	2897,8
$\partial E/\partial v = \text{max.}$	5099,4
$\partial E/\partial \ln \lambda = \text{max.}$	3665,7
$E(0-\lambda) = 25\%$	2896,6
$E(0-\lambda) = 50\%$	4107,2
$E(0-\lambda) = 75\%$	6154,3

Az energiaeloszlás számításakor - a $\partial E/\partial \lambda = \text{max.}$ hullámhosszat egységnek véve -, ha a hőmérséklet 289,78 K (16,63 °C), akkor a $\lambda_{\text{max}} = 2897,8/T = 10 \mu\text{m}$, ennél rövidebb hullámhosszra jut a kisugárzott energia kb. 25%-a. A spektrum energiájának 75%-a 21,2 μm alatti, 25%-a ennél hosszabb hullámhosszakra jut. Az 5800 K hőmérsékletű Nap energiájának 10%-a ultraibolya, 47%-a látható, 43%-a infravörös hullámhosszakon érkezik.

A Wien-törvényből adódóan a hőmérsékleti sugárzás a hőmérséklet változásával a teljes spektrumon arányosan tolódik el, így minden fekete (szürke) spektrum hasonló.

Az optikai pirométerek infravörös tartományban elsősorban az intenzitásgörbe rövidhullámú szakaszait használják, mert könnyebb kiszűrni a szobahőmérsékletű háttérsugárzást.

Gázok sugárzása

A tüzelés tan sokoldalúan tárgyalja a gázok sugárzási tulajdonságait. Fontos tudni, hogy a gázok általában nagyon rossz sugárzók. A láng sugárzásának a zöme a lángban levő szilárd anyagból (pl. grafit) ered. A gázokat két csoportra lehet osztani.

Az egyatomos vagy két azonos atomból álló gáz molekulájának nincs dipolmomentuma. Ezek a gázok a sugárzással szemben teljesen közömbösek, átlátszók és fényszórásuk sincs (pontosabban az ég kékje bizonyítja, hogy a látható tartományban mégis van).

A gázok sugárzásával kapcsolatban a következőket fontos figyelembe venni:

- A gázok a szilárd testektől és a folyadékoktól eltérően teljes keresztmetszetükben sugároznak.
- Amelyik hullámhosszon egy adott gáz sugároz, azon elnyelőként is viselkedik.
- Egy adott gáz csak a rá jellemző meghatározott hullámhossztartományban sugároz. Minden gáznak van egy jellegzetes abszorpciós színe. A színkép vonalai mind erősségben, mind sáv szélességben különböznek. Ezeket a sávokat kívül a gáz átlátszó. Ezeket az átlátszó sávokat nevezzük ablakoknak.
- A Kirchoff-törvény maradéktalanul érvényes a gázokra is.

A gázokban a sugárzás elnyelődését a **Beer-törvény** írja le:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot \exp(-\alpha(\lambda) \cdot p \cdot l) \quad (8)$$

A gáz abszorpcióképessége:

$$\alpha = (I_0(\lambda) - I(\lambda)) / I_0(\lambda) = 1 - \exp(-\alpha(\lambda) \cdot p \cdot l) \quad (9)$$

Azaz az abszorpcióképesség a nyomás és rétegvastagság szorzatával arányos: egészen pontosan a sugár útjában egységnyi felületre jutó gáztömeggel. Ha tehát egy adott gázréteg valamely hullámhossznak a felét elnyeli, akkor ezt a réteget megkétszerezve, ugyanennek a hullámhossznak már háromnegyede nyelődik el. Az elnyelt sugárzás újra kisugárzódik, mégpedig a tér minden irányába. A sokat emlegetett üvegházhatás itt is sántít, ugyanis a gáz által abszorbeált energiának csak fele szóródik vissza, a többi pedig szóródva ugyan, de a világűr irányába távozik.

A technikai célra használt diagramokban a teljes termikus hullámhossztartományra megadott abszorpciós, illetve emissziós értéket szokták megadni. Ezeknek a technikai táblázatoknak az extrapolációjával óvatosan kell bánni. Ugyanis ha valamelyik abszorpciós sáv (amely egyszersmind emissziós sáv is!) telítődött, akkor a további rétegvastagság-növekedés hatástalan. Az adott sávból a gáz nem nyelhet el 100%-nál többet, és nem sugározhat ki többet, mint az ugyanolyan hőmérsékletű fekete test. Két különböző gáz elegye ugyanazt az elnyelési spektrumot adja, mintha a két gáz külön réteget alkotna.

A technikai gyakorlatban alkalmazott fogalom a „gáztest”. Ez kiváló számítási segítség, de óvakodni kell attól, hogy valóságos tartalmat tulajdonítsunk neki. Ez a kimérhető hőszugárzás alapján egy olyan méretű henger vagy gömb, ami hasonló hőmérsékleten „fekete” testként ugyanannyi energiát sugározna ki, mint pl. a gázláng. Nincs tehát semmilyen látható vagy megfogható megjelenése. Ez természetesen fekete testként sugároz.

A gázok hőszugárzását vizsgálva, durva egyszerűsítéssel megállapítható, hogy az optikai tartományban létrejövő sugárzást az elektronhéjban történő kvantumátmenetek, az infravörös tartomány sugárzását a molekulák belső rezgései hozzák létre, a molekulák rotációs kvantumátmenetei pedig a mikrohullámú sávba (0,1 mm és 1 cm között) tartoznak.

Ahhoz, hogy elektromágneses sugárzás jöjjön létre, szükséges, hogy az adott kvantumátmenet a dipolmomentum megváltozásával járjon. Azok az energiaváltozások, amelyek során a dipolmomentum nem változik, nem jelentkeznek sem az emissziós, sem az abszorpciós színeken. Ezekre a rezgésekre a tükröszimmetria jellemző. A H₂, N₂ és O₂ molekuláknak nincs dipolmomentumuk, tehát infravörös tartományban nem érzékelhetők. A H₂O molekulák a 108° szöveget bezáró hidrogénkötés miatt határozott dipolként viselkednek, tehát a vízgőz szinte minden energiaszint-változása elektromágneses sugárzással jár. A CO₂ molekulák nem polárosak, de az aszimmetrikus rezgés és a hajlító lengések során a molekula dipoltulajdonságai változnak [22]. Meg kell jegyezni, hogy a szén-dioxid 4,25 μm-es sávja kb. 3,5-szer erősebb a 14 μm-es sávnál.

A vízgőz molekulán belüli rezgései hasonlóak a szén-dioxidéhoz, de a szimmetrikus rezgés és a molekula rotációja is dipolmomentum-változással jár, ezért a vízgőz hatékonyságban magasan felülmúl minden egyéb légköri gázt. Vízgőz esetében a fenti három hullámhossz a következő:

- szimmetrikus rezgés: 2,734 μm,
- aszimmetrikus rezgés: 2,662 μm,
- hajlító lengés: 6,270 μm.

Mindenestre a szimmetrikus rezgés abszorpciós sávja egy nagyságrenddel gyengébb.

A sugárzás frekvenciája a következő képlettel számítható:

$$\nu = 1/2\pi c \sqrt{f/\mu} \quad (10)$$

Az atomok tömegéből számított redukált tömeg (μ):

$$\mu = (m_1 \cdot m_2) / (m_1 + m_2) \quad (11)$$

Az összefüggéssel pontosan meg lehet adni az izotópok várható elnyelési sávját.

3. táblázat. Jellemző abszorpciós hullámhosszak (μm)

Vízgőz (H_2O)	0,6; 0,72; 0,82; 0,94; 1,10; 1,38; 1,87; 2,70; 3,20; 6,30
szén-dioxid (CO_2)	2,69; 2,76; 4,25; 14
metán (CH_4)	3,4; 7,4; 7,58; 7,87
dinitrogén-oxid (N_2O)	4,49; 7,83; 16,98;
ózon (O_3)	9,1

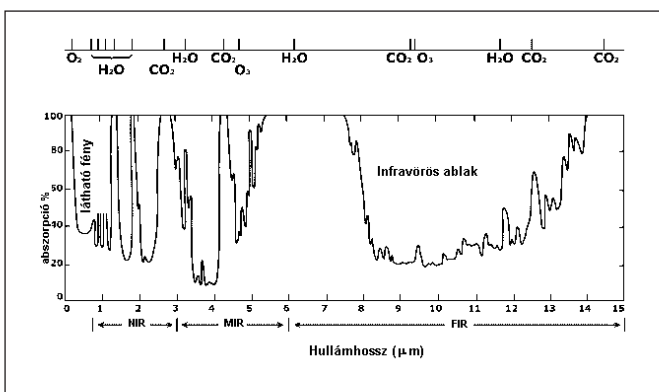
A légkör nagy infravörös ablaka 8 és 12 μm között van. Ezt alulról a vízgőz, a metán és a N_2O elnyelési sávja, felülről a szén-dioxid sávja zárja le. Ezen az ablakon belül csak az ózonnak van egy vékony sávja, egyébként ez a tartomány a földi háttérzaj ellenére ugyanolyan átlátszó, mint az optikai tartomány. Ez a tartomány csak a kisugárzott energia 25%-át jelenti.

Az abszorpciós sávok zöme fedésben van, egymás hatását gyengítve.

Mivel mennyiségénél és hatékonyságánál fogva a vízgőz a leghatékonyabb üvegházgáz, meg kell említeni, hogy vannak jellegzetes H_2O ablakok, amelyeket a technika számtalan ága használ, és az egyéb infravörösben látható gázokat ezekben az „ablakokban” lehet kimutatni.

H_2O ablakok: 0,7–1,3 μm , 1,4–8 μm , 2,0–2,5 μm , 3,2–4,3 μm , 4,0–5,3 μm , 8–14 μm .

A **3. ábrán** látható a levegő néhány komponensének infravörös elnyelési spektruma [29]. A 4,33 μm hullámhossznál azonban ketté kell választani az abszorpciós sávokat. Ez a hullámhossz az, amelynél a Nap sugárzása és a Föld hősugárzása éppen egyenlő. Az ennél hosszabb hullámhosszú sávok melegítik a Földet, a rövidebb hullámhossz esetén viszont a sáv árnyékoló hatásából adódó hűtőhatás az erősebb.



2. ábra. A légkör komponenseinek abszorpciós sávjai

A valóságban az üvegházhatásnak tekinthető visszacsugárzást a troposzférában 95%-ban a vízpára okozza. A sztratoszférában ez az arány módosul: 80%-ban a CO_2 , 20%-ban az ózon és a maradék vízpára okoz üvegházhatást, az összes többi gáz nyugodtan elhanyagolható. Meg kell jegyezni, hogy az egész sztratoszféra hatása a kisugárzásra nem nagy.

Az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) előírásai szerint a következő gázok tekintendők üvegházgáznak.

4 táblázat. Az üvegházgázok kiotói egyezményben (1997) rögzített szén-dioxid-egyenértéke (GWP = Global Warming Potential), és természetes koncentrációjuk (2000-ben)

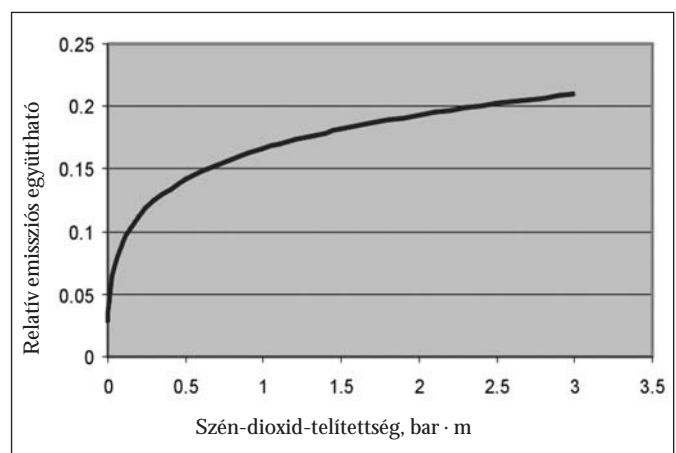
Gáz	Szén-dioxid-egyenérték	Természetes koncentráció
szén-dioxid CO_2	1	370 ppm
metán CH_4	21	17 ppm
dinitrogén-oxid N_2O	206	0,5 ppm
CFC-11 CFCl_3	12400	–
CFC-12 CF_2Cl_2	15800	–
HCFC-22 CF_2ClH	10660	–
Metil-kloroform CH_3CCl_3	2730	–
Halon 1301 CF_3Br	16000	–

A halogénszármazékok valóban természetidegenek, lebomlásuk során számos mérgező lépcső is megjelenik. Az „üvegház-hatásuk” már nem ilyen egyértelmű.

Ezek közül az olajipar elsősorban az első két gáz kibocsátásával direkt kapcsolatban van, de a dinitrogén-oxid is előfordul nyomokban a dízelmotorok égéstermékei, ill. ezek származékai közt.

Szén-dioxid

A technikai felhasználásra meg szokták adni diagramban a CO_2 fekete testhez viszonyított relatív sugárzási együtthatóját. Ez tulajdonképpen a sugárzási spektrum teljes hullámhossztartományára vett integrálja. Érdemes megvizsgálni ezt az együtthatót lineáris lépésekben is (**3. ábra**). Feltűnő, hogy milyen gyorsan telítődik az elnyelési spektrum. Ez nagyjából ugyanazt az eredményt adja, mintha a 280 K fekete sugárzásból kivonjuk a 12–16 μm közötti tartományt (a CO_2 14 μm -es sávja teljes szélességben).



3. ábra. A szén-dioxid relatív emissziós együtthatója a telítettség függvényében

Ennek alapján tehát a levegő CO_2 -tartalma a teljes hősugárzás 20%-át szórja szét, mégpedig felét a Föld felé, felét a világűr felé. Ennek a hatása a hőmérsékletre

a negyedik gyökkel arányos, tehát $1.1^{0.25} = 1,024$, azaz a 280 K hőmérsékletet 6,75 °K-val emelné. Ebből kb. 25-30%-ot nyugodtan le lehetne vonni a vízgőzzel való átfedés miatt. A szén-dioxid esetén nem szabad eltekinteni attól, hogy létezik egy kritikus alsó koncentráció, ez kb. 110 ppm, ez 0,85 bar·m telítettségnek felel meg. Ez alatt a koncentráció alatt nem lehetséges a ma ismert növényi élet, leáll a fotoszintézis [23]. Ez a CO₂-koncentráció már 5,4 °C üvegházhatást jelent a 6,75 °C-ból. Ezután a CO₂-koncentráció minden megduplázása csak kb. 0,7 °C hőmérsékletemelkedéssel jár.

De ez a hőmérséklet-változás sem következne be hirtelen, hiszen a földfelszín kétharmadát átlag 4000 m mély tenger borítja. Azaz átlagosan 2700 m mélységű vizet kell felmelegíteni 3,5 W/m² energiatöbblettel. Rövid számítás után az az eredmény adódik, hogy a hőmérséklet-emelkedés az energiatöbbletet kb. 30 év felezési idővel követi. Tehát a levegő CO₂-tartalmát megduplázva 30 év múlva 0,35 °C, 60 év múlva 0,525 °C, 90 év múlva 0,6125 °C hőmérséklet-emelkedés következne be, minden egyéb tényezőt elhanyagolva. Bár nehéz a túlnyomórészt tengerrel borított Földön száraz levegőt feltételezni, de az üvegházelméletben alkalmazott „clear sky model” ezt teszi.

Érdeemes még utánaszámolni annak, hogy mennyi kibocsátással is lehetne egyáltalán megduplázni a levegő szén-dioxid-tartalmát. (Megint csak elhanyagolva az óceánokat!) Mint a későbbiekben kiderül, csak a levegő CO₂-tartalma 620 milliárd tonna szénnek felel meg. A jelenlegi termelés kőszénből 5,1 milliárd tonna, kőolajból 3,8 milliárd tonna (3,26 milliárd t C-egyenérték), földgázból 28 milliárd m³ (1,51 milliárd tonna C-egyenérték), azaz összesen az egész világon évi 10 milliárd tonna szén kerül a levegőbe, ami víz nélküli földön 62 év alatt megduplázná a levegő CO₂-tartalmát.

Azt, hogy a levegő CO₂-tartalmának növekedésében milyen mértékben felelősek a fosszilis tüzelőanyagok, jól meg lehetne közelíteni az 5736 év felezési idejű C¹⁴ izotóp arányával.

A világűr kozmikus sugárzása a levegő nitrogénjével reakcióba lép:



A levegőben levő szén minden egybilliomodik atomja radioaktív izotóp. Az élő és a levegővel kölcsönhatásban levő anyagokban (pl. vízben oldott CO₂) a szén radioaktivitása állandó, a fosszilizálódott szén, mint a növényi maradványok, valamint a kagyló és csigaházak karbonátjában kötött szén radioaktivitása idővel csökken. Ezen alapszik a radioaktív kormeghatározás. A fosszilis szén radioaktív kora gyakorlatilag végtelen. Ha a CO₂-koncentráció a fosszilis szén égetéséből származna, akkor a levegőben csökkennie kellene a C¹⁴-tartalomnak. Következő lépcsőben a ma

elő növények is ezt építenék be. A valóságban ez a látzólagos elöregedés nem a várható 2000 év körüli, hanem a mérhetőség határán van. Következésképpen a fosszilis szén égetéséből származó szén-dioxidtöbblet a légkörben elhanyagolható.

A szén-dioxid mennyisége a levegőben 0,03 tf%, azaz 0,03·44/29 = 0,045 tömeg%. A földfelszín minden négyzetmétere fölött 10 t levegő van, ebből tehát 4,5 kg CO₂. Ez 510 millió km²-en 2,3·10¹² tonna CO₂-t jelent, ami 620 milliárd tonna szénnek felel meg. A talaj szintjén ez 2,3 m vastag CO₂-réteget jelentene. A tengerek CO₂-tartalma a légkörének több mint 60-szorosa. Ez a Henry-törvény szerint egyensúlyra törekszik a levegő CO₂-tartalmával. Az óceánokat tehát nem szabad egyszerűen süllyesztőnek tekinteni a CO₂-forgalomban.

A CO₂ körforgását a következő séma szerint lehet leírni, C_a-val jelölve a levegő CO₂-tartalmát:

a bioszféra széntartalma	$C_b = 2,4 C_a$
	↓ ↑
a levegő CO ₂ -tartalma	$C_a = 2300 \text{ Gt CO}_2 =$ 620 Gt szénegyenérték,
	↓ ↑
a tengervíz kevert zónája	$C_m = 1,3 C_a$
	↓ ↑
a mélytengeri CO ₂	$C_d = 64,2 C_a$

A CO₂ körforgásánál még meg kell említeni a geológiai folyamatokat is. A karbonátos kőzetek, amelyek a tengervíz keménységét okozó hidrokarbonátok révén kapcsolatban vannak a tengervízben oldott szén-dioxiddal, az óceánszéli lemezhatároknál a szárazföldi tábla alá buknak. Néhány száz km mélységben ezeknek a kőzeteknek a víz- és CO₂-tartalma felszabadulva, a vulkáni gázok fő komponenseiként újra a felszínre kerül.

Metán

A metán természetes koncentrációja a levegőben 1,7 ppm. Az utóbbi 300 évben megduplázódott a légköri koncentrációja. (Bár kételyeket támaszt, hogy ezt a koncentrációt alig száz éve tudják kimutatni.) Ez atmoszférikus nyomáson a földfelszínen 1,3 cm réteget alkotna. Ez a vékony réteg is 6630 milliárd Nm³, ami csaknem két és fél év földgáz-világtermelésének felel meg. Az olajipar viszont gazdasági megfontolásból (és tűzrendészeti okokból is) mindent megtesz, hogy gázállapotú metán a minimális mennyiségben kerüljön a levegőbe. Az összes kiterésből, vezetékszivárgásból, valamint a szeparálás utáni maradék oldottgáz lassú felszabadulásából adódó metánkibocsátást összeadva sem jön ki említésre méltó mennyiség. A szénbányászat is vád alá került a bányaszellőztetés (!) által a levegőbe kibocsátott metán miatt. Ugyanakkor a fosszilis metán természetes felszínre áramlása is összemérhető a földgáztermeléssel. A

fosszilis gáz részben vízben oldva, részben gázmigráció, továbbá a természetes iszapvulkánok (Azerbajdzsán és Perzsia szent tüzei!) által nagyjából a földtani keletkezés-sel egyensúlyt tartva, előbb vagy utóbb a légkörbe kerül. Csak egy töredékrésze csapdázódik egy rövid időre. A fosszilis metánnál nagyságrendekkel nagyobb mennyiség keletkezik a természetben a cellulóz lebomlásakor. A légköri metán fő forrásai: az erdő avarja, a mezőgazdaságban a komposztálás, vizes élőhelyek. Az utóbbit külön is ki kell emelni, mert a szárazföldek nagy területeit kitevő mocsarakon kívül a rizsföldek különösen jó metánforrások, és akkor még szólni kell az óceánok élővilága által melléktermékként keletkező metánról.

A metán esetén tehát nem az a kérdés, hogy miért van a légkörben, hanem az, hogy hova tűnik. A metán vegyileg meglehetősen stabil. A robbanási koncentráció alatt a levegő oxigénjével sem lép kölcsönhatásba. Egyedül az ibolyántúli sugárzás képes az egyik hidrogént leválasztani. A keletkező metilgyök már reagálni tud a levegőben levő bármelyik gyökkel, többnyire hidroxilgyökkel. Bármelyik reakcióterméke vízben jól oldódva, biológiai úton eltűnik a levegőből. A levegő metántartalma tehát biológiai egyensúly eredménye.

Jelentős mennyiségű metán található hidrát formájában a sarkvidékek alatt és a tengerfenéken. A metán-hidrát csak adott nyomás- és hőmérséklet-viszonyok közt stabil, ugyanakkor az éghajlatváltozással járó hőmérséklet-emelkedés a stabilitás határterületeiről jelentős mennyiségű metánt juttat az atmoszférába. Fennmarad a kérdés: az 1,3 bar · cm metánnak mekkora hatása van a Föld hőegyensúlyára? Az erős hidrogénkötés és a hidrogén kis tömege miatt, utalva a (10) és (11) egyenletekre, az abszorpciós sávok többsége a nagy rezgésszámú rövidhullámú infravörös tartományba tartozik. Ennek, ha lenne is hatása, az árnyékoló hatás miatt inkább hűtené a Földet. Ráadásul a hidrogénatomok rezgőmozgása nem vesz részt a gázkeverék hőegyensúlyában, hanem elnyelődik és késve kisugárzódik. Azaz hiába van a metánnak széles abszorpciós spektruma, ezekben a sávokban az infravörös sugárzás csak szóródik. A hidrogénatomok hajlító lengéseiből adódóan a metán elnyelési sávja, pontosabban sávSOROZATA a 7–8 μm tartományban van. Ez a sáv érintkezik a 8–12 μm tartományba tartozó infravörös ablakkal. A metánnak van még egy halvány elnyelési sávja a 13,7–14,7 μm tartományban, de ez teljes átfedésben van a CO₂ telített elnyelési sávjával. Tulajdonképpen a metánnak nincs egyetlen önálló abszorpciós sávja.

Összefoglalva: A metán érdemtelenül került az üvegházgázok listájára. A metánkibocsátást a továbbiakban biztonsági és gazdasági kérdésnek kellene tekinteni.

Dinitrogén-oxid (N₂O)

A dinitrogén-oxid előkelő helyen szerepel az üvegházgázok listáján. Az iparban előszeretettel használják hűtőközegként, mivel nem tűzveszélyes és nem kor-

rozív, továbbá nem tartalmaz halogén elemeket. A természetben is előfordul 0,5 ppm mennyiségben. Ez a mennyiség a felszínen mintegy 4 mm vastag réteget alkotna. A légkörben jelen levő mennyiség így is 3,5 milliárd tonna. Nincs eléggé bizonyítva, hogy a civilizáció során az emberi tevékenységgel nőtt-e a mennyisége, mivel a régi mérések zöme a hibahatáron van.

A természetes nitrogén-oxidok nagy része a villámlással és a vulkáni tevékenységgel kerül a levegőbe. Az emberi tevékenység is hozzájárul a belső égésű motorokkal és a robbantási tevékenységgel. Ezek során elsősorban agresszív, de gyorsan lebomló egyéb nitrogén-oxidok keletkeznek (nitrozus gázok).

A dinitrogén-oxid emberi tevékenységre visszavezethető fő forrásai:

- A belsőégésű (főként a dízelüzemű) motorok által kibocsátott N₂O megfelelő katalizátorral kiszűrhető, bár biológiai és környezeti hatásait tekintve a keletkező nitrogénvegyületek közül ez a legártalmatlanabb.
- A komposztálás, trágyakezelés során a mezőgazdaság jóval több N₂O-t bocsát ki, mint az ipari tevékenység. Különösen nagy mennyiség keletkezik az intenzív rizstermelés során.

- A biomassza-égetés különösen sok N₂O-t termel, a fűtőanyagban ugyanis még fehérje formájában van a vegyileg kötött nitrogén (ez akár megkérdőjelezhetné a biomassza, mint megújuló energiaforrás alkalmazását).

Mindezekon kívül a N₂O zöme a természetes biológiai folyamatok során keletkezik – az irtás ellenére még mindig világrésznyi – erdőkben és mocsarakban, és megint nem szabad kifelejteni az óceán élővilágát. Lebomlása a sztratoszférában történik 0,341 μm-nél rövidebb hullámhosszú ibolyántúli fény hatására, a következő módon:



Ezek után még kérdés, hogy mekkora a hatása a hőmérsékletre.

A N₂O molekulán belüli mozgásait a szén-dioxidhoz hasonlóan át tudja adni a légkör többi gázának. Jellegzetes abszorpciós sávjai azonban fedésben vannak a H₂O, CH₄ és CO₂ sávjaival. Önálló abszorpciós sávjai a 16,5 és 46 μm közötti tartományokban vannak, de ezek intenzitása elhanyagolhatóan gyenge.

Röviden: a levegő N₂O-tartalmának szinte semmilyen üvegházhatása nincs. Ez az érv nem használható tehát a biomassza energetikai felhasználása ellen sem.

A Föld felszíni hőmérséklete

A hősugárzás energiamérlegét számolva két felület fontos.

Az egyik, ahol a napfény elnyelődése (ill. visszaverődése) történik, ez a felület jó megközelítéssel azonos az optikai felszínnel. A másik felszín az, ahol a hőmérsékleti kisugárzás történik. Ez nem azonos sem a geodéziai, sem az optikai felszínnel, ráadásul hullám-

hossztól függ, hogy a légkör mennyire átlátszó. A légkör hőmérséklete a troposféra tetején 70 °C-al kisebb, mint a felszíni, ami sugárintenzitásban 2–3-szoros különbséget jelent. A fűtéstechnikában ismert „gáztest” fogalma azért nem alkalmazható, mert az egyenértékű sugár alkalmazhatatlanul kicsi, az egyetlen alkalmazható módszer a felszín emissziós együtthatójának korrekciója a fölötte légkörben levő „üvegház”-gázok hatásával.

Szárazföldön, ahol nincs a felszín közelében jelentős föld alatti vízáramlás, az átlaghőmérséklet kitűnő viszonyítási értéke a felszín alatt 5–10 m-rel mért réteghőmérséklet. Ebbe a mélységbe a felszíni hőingadozás néhány év késéssel jut el, így a helyi évi átlagos hőmérséklet etalonjaként is felfogható. Magyarországon ez az érték 10 °C körüli, akár ásott kutakban is mérhető. Ennek az elvnek a kiterjesztése kicsit bonyolultabb, mivel a Föld nagy részén hiányosak az adatok, a felszín kétharmadát kitevő vízfelszínre pedig nem is alkalmazható.

A földfelszín abszorpciós képessége időben sem állandó. A növényzet, a felhőtakaró, a hőtakaró évszakonkénti változásai jelentős különbséget okoznak a visszavert és az elnyelt energia arányában, de a felszín nagy részét kitevő tengerfelszín visszaverődése is befolyásolja. A Föld átlagára az $\alpha = 0,65$ abszorpciós együttható fogadható el.

A klimatológiai számítások legnagyobb hibája abban rejlik, hogy feltételezik: a földfelszín abszolút fekete testként sugároz, és a hősugárzás útjában csak az atmoszféra „üvegházgázai” állnak. Itt feltétlenül meg kell említeni, hogy a vízfelszín emissziós együtthatója a középiskolák számára kiadott táblázatokban [13] is megtalálható. Ennek alapján a Föld infravörös emissziós együtthatója is $\varepsilon = 0,65$ körüli.

Az üvegházhatás nélküli Föld állandósult átlaghőmérséklete egyszerű módon számítható.

Az r sugarú Föld a Nap sugárzását $r^2 \cdot \pi$ felületen (árnyék keresztmetszete) kapja, és $4 \cdot r^2 \cdot \pi$ felületen (gömbfelszín) sugározza ki. (a $0,1 \text{ W/m}^2$ geotermikus hőáram elhanyagolható.)

Az előző feltétel alapján a Földet szürke testnek tekintve ($\alpha \approx \varepsilon$), a hőmérsékleti egyensúly (ill. stacioner állapot):

$$\alpha \cdot S \cdot r^2 \cdot \pi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot 4 \cdot r^2 \cdot \pi, \quad (12)$$

az állandósuló átlaghőmérséklet:

$$T = (S/4\sigma)^{1/4} = 280 \text{ K (azaz } 7 \text{ °C)} \quad (13)$$

Tehát a Föld stacioner hőmérséklete semmiképpen sem -18 °C (az angolszász irodalomban éppen 0 °F) lenne, ahogy az üvegházhatás irodalmában elterjedt, és ahogy számos tudományos közlemény is kritika nélkül átvette, hanem $+7 \text{ °C}$ (azaz 45 °F).

A Föld azonban nem egyenletesen van kitéve a nap-sugárzásnak, és a hőmérséklet kiegyenlítése bonyolult víz- és levegőáramlási rendszerek által zajlik.

Ekliptikára merőleges forgástengellyel számolva a levegő nélküli Földön a φ szélességi fokon az állandósult hőmérséklet a következő lenne (valószínűleg a Holdon így is van):

$$T = (\alpha \cdot S \cdot \cos\varphi / \varepsilon \cdot \sigma \cdot \pi)^{1/4}. \quad (14)$$

A Föld tengelyének $23,5^\circ$ -os ferdeségével is számolva, a Nap sugárzásának hatására a sarkok átlaghőmérsékletére -36 °C , az egyenlítő hőmérsékletére 20 °C adódik, 45° szélességi körre pedig $8,9 \text{ °C}$ az eredmény.

Adiabatikus hőmérséklet és nyomáseloszlás

Az előző eredmények már nagyon hasonlítanak a valóságra, pedig a légkörről még nem volt szó.

Az adiabatikus nyomásváltozás alapképlete:

$$T = T_0 \cdot (p/p_0)^{(\kappa-1)/\kappa}. \quad (15)$$

A hőmérséklet H magasságban:

$$\begin{aligned} T &= T_0 \cdot (1 - (\kappa-1)/\kappa \cdot g \cdot M \cdot H / R \cdot T_0) = \\ &= T_0 - (\kappa-1)/\kappa \cdot g \cdot M \cdot H / R. \end{aligned} \quad (16)$$

A nyomás H magasságban:

$$p = p_0 \cdot (1 - (\kappa-1)/\kappa \cdot g \cdot M \cdot H / R \cdot T_0)^{\kappa/(\kappa-1)}, \quad (17)$$

Mivel a gáz sűrűsége: $\rho = p \cdot M / z \cdot R \cdot T$,

$$\begin{aligned} \text{a nyomásgradiens: } dp/dh &= -\rho \cdot g = -g \cdot p \cdot M / R \cdot T = \\ &= -g \cdot p \cdot M / R \cdot T_0 \cdot (p/p_0)^{(\kappa-1)/\kappa}. \end{aligned} \quad (18)$$

A hőmérsékletgradiens a légkörben:

$$\partial T / \partial h = -g / c_p \quad (19)$$

A Föld légkörének gradiense ettől a csapadékképződés következtében a troposféra alján eltérhet. Az adiabatikus gradiens egyúttal az a kritikus hőmérsékletgradiens, amely stabil állapotot jelent, ennél nagyobb gradiens kialakulását a konvekció megakadályozza.

A hidroszféra hatása

A légköri gázok (elsősorban a két fő puffergáz: a nitrogén és az oxigén) csillapító hatása nélkül a hőmérséklet-különbségek kiegyenlítődése viharos gyorsasággal történne. A hidroszféra nagyobbik része folyékony állapotban van. A tengerek tömegükkel és hőkapacitásukkal csökkentik a hőingadozást, a tengeráramlások pedig egész kontinensek éghajlatát befolyásolják.

A víz a levegőben nemcsak pára alakban van jelen, hanem felhő, ill. köd formájában. A ködsemcsék halmazállapota lehet szilárd vagy folyékony. A két típus viselke-

dése is eltérő. A szilárd jégtükből álló köd sokkal stabilabb, ez az oka a makacs téli ködöknek. Sokkal fontosabb azonban, hogy a két felhőtípus infravörös sugárzási képe teljesen eltér, infravörösben a jég „feketebb”.

A köd annyiban is különbözik a gáztól, hogy nincs jellegzetes elnyelési spektruma. Szinte teljes spektrumban elnyel és sugároz, még ha a feketeségi foka különböző is egyes hullámhosszakon.

Van azonban a felhőrétegnek saját hősugárzása is. Összefüggő vastag felhőréteg esetén az optikai felszín a felhő teteje lesz. A felhőzet alatt az adiabatikus hőmérséklet-gradiens áll be.

Összefoglalva: A víz azon kívül, hogy gőz állapotban a legfontosabb „üvegházgáz”, de számtalan formájának fázisátalakulásai akkora pozitív és negatív hőhatással járnak, ami többszöröse annak, amit üvegházhatás ámen keresünk.

Valóban van-e felmelegedés?

Az utóbbi száz év statisztikai adatai alapján még az is kétségbe vonható, hogy létezik-e egyáltalán a globális felmelegedés.

Már maguk a statisztikai alapadatok is megkérdőjelezhetők, mivel az adatforrások „koherens” eredete nincs biztosítva, sem a megfelelő súlyozás. A jelenlegi, sőt a száz évvel korábbi adatokban is túlteng a sűrűn lakott területekre vonatkozó adathalmaz, hiányos az alig felfedezett területek statisztikája, de az óceánokra vonatkozó meteorológiai adatok is csak az utóbbi 50 évben sűrűsödtek térben és időben. Közben lényegesen változott a mérések pontossága is: a Ferenc József-földet felfedező Tegethoff-expedíció bármily precíz „légtüneménytani” feljegyzéseit (*dr. Kepes Gyula*, 1872) össze sem lehet mérni az ugyanitt működő meteorológiai állomások akár legprimitívebb folytonos regisztrátumaival.

A legutóbbi száz év adataiból nem következik sem felmelegedés, sem lehülés. Tulajdonképpen visszatért a késő ókori és kora középkori időjárás.

Statisztikai bizonyítékok

Az üvegházelméletre vonatkozó statisztikai bizonyítékokat jobban megvizsgálva, azok bizonyító ereje gyengül. A teljesség igénye nélkül érdemes néhány aggályt kifejteni a bizonyítékokkal kapcsolatban:

- Tipikus statisztikai trükk alkalmazása (az adathalmaz célszerű csonkítása!), hogy egy hideg sorozattal kezdve és egy meleg sorozattal befejezve az idősor a gazdasági életből átvett trendszámítással katasztrófát jelez.

- A szükséges feltétel nem feltétlenül elégséges is. Az ok és okozat bizonyításához valamivel több kell.

- Az az állítás, mely szerint minden korábbi felmelegedési időszakban megnőtt a levegő szén-dioxid- és metántartalma, felkelti a gyanút, hogy ha a két gáz koncentrációja annyira hasonlóan változik, azaz a két ok mindig egyszerre lép fel, akkor legalább az egyik már következmény kell, hogy legyen.

- Olyan aprónak tűnő matematikai hibákon sem szabad átlépni, hogy a lineáris összefüggés nem azonos az aránnyal. Az átlagszámításnál megrekedő statisztika típushibája abból ered, hogy eltekint a matematikai egyenlőtlenségektől.

- A szisztematikus hibák súlya nem csökken a mérések számával. Ez nemcsak a mérési, hanem számítási hibákra is igaz. A nagy számítógépes modellek igazi hibája abban rejlik, hogy a kezelhetetlenül sok adat közt nehezen fogható meg olyan törvényszerűségek, mint a tömeg, energia, impulzus, perdület stb. megmaradása. A nagy modellekbe alig lehet beleslátani, ugyanakkor laikusok is tudják kezelni. A nagy modellek számításai nincsenek mindig kiegyenlítve.

A csillagászati bizonyítékok

Az üvegházelméletben a Vénuszt idézik a Föld jövőjének rémképeként. A Vénusz lényegesen eltérő légköri szerkezete kicsit bonyolultabb termodinamikai okfejtést igényel, ezért előbb néhány más légkörrel rendelkező, égitestet vizsgálunk:

- A Mars nem azért hidegebb a Földnél, mert vékony a légköre, hanem mert távolabb van a Naptól. A szélsőséges napi hőingadozás magyarázata, hogy nincs olyan anyag a felszínen, amely a fázisátalakulás során rögzítené valahol a hőmérsékletet. Fázisátalakulás csak a sarkvidékeken van. A Mars légkörének széndioxid-tartalma 153 kg/m^2 körüli, tehát 26-szorosa a földinek. Ennek ellenére a felszíni hőmérsékletet tekintve, nyoma sincs üvegházhatásnak.

- A Szaturnusz Titán nevű holdjának sűrű a légköre. Nagy metántartalma miatt a légkört először tisztázták, de a Voyager 1 űrszonda méréseiből kiderült, hogy a légköre nitrogénből és metánból áll, nyomása 1,5 bar, hőmérséklete $-179 \text{ }^\circ\text{C}$. A metán mindhárom halmazállapotában jelen van és nagy fázisátalakulási hője miatt jelentős hõpuffert kell, hogy jelentsen. De ez a rettegett üvegházgáz – a földi koncentráció majdnem milliószorosa ellenére – a Titán felszínén nem okoz üvegházhatást. Érdekességként megemlíthető, hogy a Titán légkörének metántartalmát a Nap ibolyántúli sugárzása metilgyökké és hidrogénné disszociálja. Két metilgyök etánná polimerizálódhat. A folyamat tovább folytatódva, különféle szénhidrogénekből álló csapadékot hozhat létre a felszínen. A 2004 nyarán ideérkező Cassini űrszonda adatai a kőolajkémia számára is újat jelenthetnek.

A Vénuszt említik elrettentő példaképpen az üvegházhatás szemléltetésére. Ugyanakkor a Vénusz légkörének termodinamikai viselkedése még nincs egészen tisztázva, ezért az üvegházhatásra vonatkozó magyarázatok feloldhatatlan ellentmondásokba torkollnak.

A Vénusz optikai felszíne nem azonos a szilárd felszínével, a bolygót kb. 45 és 70 km közti magasságban összefüggő felhőréteg borítja. Összetételét tekintve sósav, kénsav és némi víz és jég. A felszín kimért

hőmérséklete 470 °C körül van, a majdnem tiszta szén-dioxidból álló atmoszféra felszíni nyomása 90 bar. (A CO₂ ezen a nyomáson és hőmérsékleten majdnem ideális gázként kezelhető.)

A Vénuszon a felhőrétegben történik a hőmérsékleti sugárzás abszorpciója és emissziója. A felhőréteg alatti gázoszlop hőmérséklete az adiabatikus gradiensnek felel meg. Ennél kisebbet a gáztörvények megengednének, de akkor lenn hőelvonásra lenne szükség. Ha viszont az atmoszféra alja akárhonnán hőt kap, akkor az addig melegíti a légkört, amíg a konvekció megindul. A felszín alsó 10–20 km-es rétegében szinte szélcsend van, bár akkora konvekció van, ami az atmoszféra rétegződését megakadályozza. Az 1–2 m/s sebességű felszíni légáramok éppen az üvegházhatás szerény mértékét és az adiabatikus hőmérséklet eloszlást igazolják. Ahol a napsugárzás elnyelődése történik, ott viszont valóban viharos erejű turbulenciát észleltek. A Vénusz felszínének nagy hőmérsékletét az üvegházhatás csak nagyon szerény mértékben, pesszimista számítások szerint is 25 °C-al növeli (figyelembe véve, hogy a felszín egységére jutó CO₂-mennyiség a földinek mintegy 165 ezerszerese).

Összefoglalva: a csillagászatból vett bizonyítékok mennyiségi elemzése nem igazolja a festett rémképet.

A CO₂-kibocsátás piacositása

Először a jogi problémákat kell megemlíteni. A megszabott kvóták valamilyen statisztika alapján a jelenlegi állapotot kívánják rögzíteni úgy, hogy a jelenleg fejlődésnek induló országok tulajdonképpen eladják a fejlődéshez való jogukat. A még nem is igazán fejlődő országok viszont a lemondás fejében tulajdonképpen álcázott segílyt kapnak. Kérdés, hogy meddig fog működni ez a rendszer, és hogyan oldódnak a feszültségei. Mekkora joga lesz a CO₂-kibocsátásra annak az országnak, amelyik ezután fog létrejönni? Továbbá egyszer akár így, akár úgy eljön az idő, amikor a szén-dioxid-kibocsátás a fejlettebb országokban magától is csökkenni fog. Melyik országnak a kvótáját fogják ekkor felmondani? Mit fog tenni az a kevésbé fejlett ország, amelyik a gazdaságának egy részét erre a „többletjövdelemre” 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.)

Zöld energiaforrások

Érdemes foglalkozni a zöld, azaz „üvegházgáz” kibocsátásától mentes energiaforrásokkal is.

Amikor egy szélérőművet bemutatnak, érdemes utánaszámolni, hogy az erőmű alkatrészeinek gyártása, a termelt áramot tároló akkumulátorok elhasználódását követő megsemmisítés mennyire „zöld” eljárás. (A vasgyártás sem nélkülözheti a vasérc redukciójához szükséges szenet és földgázt, az elhasználódott akkumulátorok nem mindig környezetbarát módon semmisülnek meg.)

Másik probléma az, hogy a megújulónak tekintett energiákkal is lehet rablógazdálkodást folytatni.

A legdurvább példák:

- Az Egyesült Államok nyugati részén, Braziliában és Indonéziában kiváló minőségű erdőkből azért végeznek tarvágást, hogy a fából faszenet égessenek.

- Braziliában, ahol az alkoholosüzemanyag-program nemzetközi pénzügyi támogatást kapott, hatalmas trópusi erdőterületeket égettek fel, mert kellett a terület az üzemanyagcélú cukornád termeléséhez.

- Indiában, a Ruhr-vidék széntermelésével egyenértékű energiát nyernek a szárított marhatrágyából, de a talaj termőképességét növelő trágya hiánya miatt kiszarolt 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.

Arra kellene törekedni, hogy az energiafelhasználás a kezdetétől a végéig a minimális környezeti terhelést jelentse, beleértve a keletkező hulladékok elhelyezését is.

Lehet, hogy a szén-dioxid „démonizálása” éppen hasznosabb környezetvédelmi intézkedésektől vonja meg az erőforrásokat.

Az olajipar teendője

Az üvegházelméletnek nagy politikai és mozgalmi háttere van. A tudományos megalapozottsága viszont több ponton megkérdőjelezhető. Óriási költséggel és társadalmi áldozattal kellene védekezni a mesterséges rémkép ellen, úgy hogy az intézkedésnek semmilyen pozitív hatása nem garantálható. Már csak azért sem, mert nincs megfogalmazva az sem, hogy mit kell pozitívnak tekinteni. Az éghajlat ezután is vagy hűl, vagy melegszik, a legvalószínűtlenebb az, hogy változatlan marad. Az intézkedések azonnali negatív társadalmi és gazdasági hatásait viszont garantálni lehet.

Ezek után az ipar kötelessége, hogy kvantitatív mérésekkel ellenőrizze az üvegházelmélet fizikai alapjait. Ennek érdekében támogatnia kell a megfelelő szakmai képzést, korszerű technikai eszközök (pl. infravörös színeképelemző) beszerzését, hogy korrekt szakmai véleményt adhassunk. Ha pedig a szakma megkerülésével születik döntés, akkor legalább a ius murmurandi, azaz a morgolódás joga legyen megalapozva.

Jelölések:

a = albedo (***a*** = 1 - α)

c = fénysebesség = 299 792 458 m/s

c_p = állandó nyomáson mért fajhő, J/kg

f = molekulán belüli kötőerő, N

g = nehézségi gyorsulás, m/s²

h = Planck-állandó = 6,6260755 · 10⁻³⁴ J · s

h, H = magasság, m
 I = fénysűrűség intenzitása, W/m^2
 k = Boltzmann-állandó = $1,380\ 658 \cdot 10^{-23}$ J/K
 l = távolság, m
 m, m_1, m_2 = atomtömeg, kg
 M = molekulatömeg, kg/mol
 N_A = Avogadro-féle szám = $6,022\ 136\ 7 \cdot 10^{23}$
 p = nyomás, Pa
 p_s = telített gőz nyomása, Pa
 R = gázállandó = $8,31451$ J · mol⁻¹ · K⁻¹
 r = sugár, m
 S = szoláris állandó, azaz a Naptól eredő energiaáram a Föld távolságában = 1395 W/m²
 T = abszolút hőmérséklet, K
 t_s = folyadékkal érintkező gőzfázis hőmérséklete, °C
 x = dimenzió nélküli rezgésszám
 z = eltérési tényező

α = abszorpciós együttható
 ε = relatív emisszióképesség (abszolút fekete testre = 1)
 κ = adiabatikus gázkitelítési tényező
 λ = hullámhossz, m
 μ = redukált atomtömeg, kg
 ν = rezgésszám, s⁻¹
 π = 3,1415926
 ρ = sűrűség, kg/m³
 ρ_s = telített gőz sűrűsége, kg/m³
 σ = $5,67051 \cdot 10^{-8}$ W · m⁻² · K⁻⁴
 (Stefan-Boltzmann állandó)
 φ = szélességi fok.

Irodalom

- [1] **Kurucz Imre, Vágó Árpád**: A levegő tisztaságának védelme a szénhidrogén-bányászatban. Kőolaj és Földgáz, 1996/9. 245–248. p.
- [2] **Eliasson, E.T., Axelsson, G., Ólafsson, M., Szita Gábor**: Some results of a study into the feasibility of low temperature geothermal utilization in Zala county Hungary. Kőolaj és Földgáz, 1997/12. 321–326. o.
- [3] **Dr. Tóth Péter, Menyhért Barna, dr. Bulla Miklós**: A hőszivattyús technika és a környezetvédelem. Kőolaj és Földgáz, 1999/5. 123–126. o.
- [4] **Renády Károly**: A 17. Energia-világkongresszus – USA, Houston. Kőolaj és Földgáz, 1999/8–9. 165–175. o.
- [5] **Hajdu György**: A geotermikus energia hasznosítása hőszivattyúval. Kőolaj és Földgáz, 1999/10–11. 211–214. o.
- [6] **Dr. Wilde György**: Merre tovább olajipar? Kőolaj és Földgáz, 2001/2–3. 29–35. o.
- [7] **Dr. Wilde György**: Hogyan tovább? Gondolatok a 17. Kőolaj Világkongresszusról. Kőolaj és Földgáz, 2003/1–2. 1–9. o.
- [8] **Almási Miklós, dr. Rácz László**: Új energiapolitikák – a kőolaj változatlan szerepben. Kőolaj és Földgáz, 2002/5–6. 53–63. o.
- [9] **Dr. Árpási Miklós**: A termálvíz többcélú hasznosításának helyzete és lehetőségei Magyarországon. Kőolaj és Földgáz, 2002/9–10. 109–121. o.
- [10] **Dr. Nánási Tibor, dr. Bobok Elemér**: Műszaki hőtan, Budapest, Tankönyvkiadó, 1988.
- [11] **Tidhy Géza, Kojnok József**: Hőtan. Egyetemi tankönyv, 2000, 117–122. o.

- [12] **Harmatha András**: Hősugárzás. Kézirat, Mérnöki Továbbképző Intézet, 1968.
- [13] Négyjegyű függvénytáblázatok; Matematikai, fizikai, kémiai összefüggések. Tankönyvkiadó, 1988, 128–129., 191. o.
- [14] **Ónodi Tibor**: Globális felmelegedés. Mérnök Újság, 2001. augusztus-szeptember, 10–11. o.
- [15] **Ónodi Tibor**: Hozzászólás a globális felmelegedéshez. Igphx (hűtő és klimatechnikai szaklap), 2002. március, 52–53. o.
- [16] **Wirth Endre**: Az üvegházi háború kezdete: i.sz. 2000. Természet Világa, 2001. október, 468–469. o.
- [17] **Illés Erzsébet**: A Föld-típusú bolygók légköre. Csillagászati Évkönyv, 1978, 150–172. o.
- [18] **Illés Erzsébet**: A Mars. Csillagászati Évkönyv, 2003, 162–166. o.
- [19] **Koppány György**: XXI. századi félelmek drámai éghajlatváltozásoktól. Természet Világa, 2002. szeptember, 392–393. o.
- [20] **Margo Thorning**: Climate change policy, critical to US energy, economic security. Oil & Gas Journal, 2001. okt. 29, 22–36. o.
- [21] **Patrick Crow**: Industrialized, developing nations clash at Kyoto climate change talks. Oil & Gas Journal, 1997. dec. 1. 29–34. o.
- [22] **Berez Endre**: Fizikai kémia. Tankönyvkiadó, Budapest 1988.
- [23] Carbon Dioxide Handbook, Amerigas katalógus)
- [24] **Peter Dietze**: IPCC's Most Essential Model Errors, <http://www.john-daly.com/focusing/moderr.htm>
- [25] Qiancheng Ma: Greenhouse Gases: Refining the Role of Carbon Dioxide, <http://www.giss.nasa.gov/research/intro/ma>
- [26] Contaminación de atmósfera, Cambio climático y efecto invernadero (Variaciones en clima, Certezas y dudas, Porqué los modelos no están equivocados, Balance de energía en la tierra y efecto invernadero etc.), <http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/10CAtm1/352VarCl.htm>
- [27] **H. J. Brink**: Halbwertszeiten im Kohlenwasserstoffhaushalt. Erdöl, Erdgas, Kohle, 2/2002. 58–62. o.
- [28] **Vernan Schieverlein, SPE, and Arthur Lee**, Texaco Inc. Global Greenhouse-Gas-Emissions Inventory Method, JPT, 1999. július.
- [29] Espectro de transmissão da atmosfera terrestre, nas faixas do infravermelho próximo, médio e distante, <http://www.las.inpe.br/-cesar/espectro.htm>

Tibor ÓNODI, Petroleum engineer, MOL Co. Ltd.: **Doubts about the Extent of Greenhouse Effect**

Carefully studying the greenhouse theory can be observed that it is based on seriously incorrect calculation. Even the first support, the widely published “equilibrium” temperature of Earth (i. e. 18 °C below zero or 0 °F), can be controlled using only the studies of secondary school. Astonishingly the danger caused by the greenhouse effect is much less, than it is commonly believed. None of the evidences can be proven by scientific discipline. The industry should protect the professional research and quantitative measurement being accused by GHG emission. Measures should be taken to avoid inexpedient use of environment protection expenses.