

# Tanulmány

## MEGJEGYZÉSEK A GLOBÁLIS FELMELEGEDÉSHEZ

Reményi Károly

az MTA rendes tagja  
remenyi@energia.bme.hu

Gróf Gyula

PhD, BMGE  
grof@energia.bme.hu

A megfelelő formában rendelkezésre álló energia az emberi civilizáció fejlődésének és fennmaradásának kulcskérdése. Aligha szükséges e kijelentés igazolásához bizonyítékokat felvonultatni. Az energiaigények kielégítését az energiatechnológiák állandó fejlődése a történelem során folyamatosan biztosította. Érdemes emlékeztetni arra, hogy az energetika által okozott vitathatatlan környezeti hatások (például a CO<sub>2</sub>-kibocsátás) nem az energiaipar öncélú működésének következménye, hanem annak, hogy az energetika valós civilizációs igényeket elégít ki. Kétségtelen, hogy közben a környezetre kedvezőtlen hatást is kifejt, ugyanakkor folyamatos erőfeszítéseket tesz azért, hogy a környezeti károkat mérsékelje. Így, mielőtt az energetika kerülne a vádoltak padjára, a civilizációs lét fenntartásában és a globális felmelegedésben betöltött szerepét tárgyilagosan kell értékelni. A *Megjegyzések a globális felmelegedéshez* egy hosszabb (negyvenoldalas) tanulmány összefoglalása, mely a jelenség mértékének előrejelzésére vállalkozó modellekkel, a felmelegedés mértéke körüli bizonytalanságokkal és az

ezekre alapozott intézkedésekkel foglalkozik. Az olvasó elé a fontosabb megállapításokkal és a felmelegedésre való felkészülés megkezdésének javaslatával állunk.

Alaptételek:

1. A Föld a világűrben termikus egyensúlyban van. A Naptól kapott energiát teljes egészében visszasugározza a világűrbe.
2. A monumentális modellek eredményeiben igen nagyok az eltérések (a XXI. évszázadra 1,1–6,4 K felmelegedés, IPCC [Intergovernmental Panel of Climate Change]), nagyon bizonytalan intézkedéseket lehet ezekre alapozni.
3. A reális értékekhez való alkalmazkodás tervezése biztonságosabbnak látszik, mint az erőltetett megelőzés. Az energiaforrások eloszlása és a megújulóknak rejlő tényleges kapacitások determinálják a lehetőségeket.

A jelenlegi helyzet

Az egész világon a legnívósabb tudományos műhelyek, a politika és a társadalom elsőrendű témájává vált az éghajlatváltozás, és ezen

belül is a globális felmelegedés. Közvetlenül mindenki csak a saját lakóhelyének környezetében észleli a jelenségeket. Globálisan csak a Föld teljes megfigyelésének alapján lehet valamit megállapítani. Régióként van, ahol kedvezőnek érzik a változást, van, ahol kedvezőtlennek. A kérdés az, hogy minden tényezőt figyelembe véve a Föld egészére milyen hatások érvényesülnek, előnyök vagy előnytelenek. Vannak tények és van a prognózisvita. A tény kevés.

A legfontosabbak:

- az utóbbi kétszáz évben az átlaghőmérséklet emelkedett (közel 1 K),
- a légkör szén-dioxid-tartalma lényegesen emelkedett (280 ppm-ről 385 ppm-re).
- a jégmezőknél némi zsugorodás tapasztalható.

Tény azonban az is, hogy a prognózisok lényegesen eltérnek egymástól. Évszázadunkra 1,1 K-től 6,4 K (IPCC) mértékű globális felmelegedés is jeleznek.

Bizony nem mindegy, melyik érték valósul meg. Az irodalomban a fő kiindulási adatok között igen nagy különbségek vannak. A Nap hőmérsékletére 5700 K és 6100 K között találunk értékeket. A Nap-állandóra 1270-től 1395 W/m<sup>2</sup> közötti értékek szerepelnek. Bizonytalan a felhők szerepe (a legfontosabb üvegházkomponens), az albedó (általánosságban az albedó egy felületre érkező elektromágneses sugarak visszaverődési képességének mérőszáma), a növényzet szerepe, a jégmezők és a tengermozgások folyamatai stb. Az „élő” Föld úgy tűnik, komplexen nem modellezhető (az eddigi világmodellek zátonyra futottak). A részletek modellezése ezután is hasznos információkat nyújthat. A globális vizsgálatokhoz ezután is – egyelőre – az egyszerűbb modellek a legmegbízhatóbbak.

A földi albedóval való számítás igen nagy

bizonytalanságot jelent. Átlagos értékét az irodalomban 0,2–0,3 között adják meg. Ezért célszerű máshonnan megközelíteni a légkör felmelegedését. A légköri hőmérséklet-változás a sugárzási viszonyok változása és az összetétel-változás oldaláról közelíthető a legegyszerűbben és legbiztonságosabban. A sugárzási viszonyok miatti felszíni felmelegedés jelenti számunkra az átlagos teljes felmelegedést. Ekkor benne foglaltatik az összetétel miatti változás is, ami a gázok sűrűsége és a fajhőjének változása miatt következik be.

A Föld termikus egyensúlyban van a világűrben, tehát ami a világűrben (Naptól) a Földre áramlik, az vissza is sugárzódik a világűrbe. Tulajdonképpen egy Föld-állandót is meghatározhatunk. A globális átlaghőmérséklet nem változik, csak a légrétegek hőmérséklet eloszlása rendeződik át, a változások, például a CO<sub>2</sub>-koncentráció növekedése következtében. A Föld-állandó értéke a műholdakról mért 255 K hőmérséklet alapján:

$$S_p = 5,67 \times 10^{-8} \times 255^4 = 239,74 \text{ W/m}^2$$

A CO<sub>2</sub>-tartalom miatti fajhő és sűrűség okozta hőmérsékletváltozás a légkörben tárolt hőmennyiség állandó értéke alapján számítható, mértéke elhanyagolható, de nem növekedés, hanem csökkenés. A CO<sub>2</sub> a levegő oxigénjéből keletkezik, így a térfogat nem változik, de a tömegváltozás miatt a sűrűség igen.

A CO<sub>2</sub>-koncentráció-változás miatt a  $\rho$  és a  $c_p$  változik, tehát a szorzatuk változását kell figyelembe venni a megváltozott  $\Delta T_1$  kiszámításához.

A CO<sub>2</sub>-koncentráció növekedése esetén  $\rho$  növekszik a CO<sub>2</sub> nagyobb sűrűsége miatt, a  $c_p$  csökken a CO<sub>2</sub> kisebb fajhője miatt. A  $\rho c_p$  szorzat növekszik, mert a  $\rho$  jobban növekszik, mint ahogyan a  $c_p$  csökken. A tárolt hőmennyiség állandósága esetén a  $\rho c_p$  növekedé-

CO <sub>2</sub> -koncentráció (ppm)	(T) ΔT °C	lehűlés °C
350	33	0
450	32,997	-0,003
500	32,996	-0,004
600	32,994	-0,006

1. táblázat • A  $\rho_c$  változás miatti hőmérsékletváltozás, ahol  $\Delta T$  – a 350 ppm CO<sub>2</sub>-koncentrációhoz képesti koncentrációnövekedés miatt kialakult hőmérsékletkülönbség.

se miatt a légkör teljes tömegének átlaghőmérséklete csökken. A réteghőmérsékletek eltolódása következik be, a felsőbb rétegek tovább hűlnek, míg az alsóbbak hőmérséklete a sugárzási törvényektől vezérelve növekszik.

Az egyszerűbb modellel a légkör határán lévő egyensúlyi hőmérséklet számításával érzékeltethető, mennyire nem mindegy, milyen értéket veszünk fel, amikor következetesen alkalmazzuk a Stefan–Boltzmann-törvényt. A légkör határára számított egyensúlyi hőmérsékletnél az üvegházgázok még nem játszanak szerepet. A Föld felszínre felírt mérlegegyenletnél a Beer-törvény figyelembe vételével a légkörben lévő szén-dioxidot egyenértékű

gázréteggént kezeljük. Ez a feltevés az elnyelés esetében helytálló, a kisugárzásnál azonban a paraméterváltozásokat figyelembe kellene venni (az irodalmi modelleknél ennél sokkal erősebb közelítéseket is alkalmaznak).

A Föld felületére írva fel a mérlegegyenletet, a gázréteg közbeiktatása miatt magasabb hőmérséklet adódik. (2. táblázat)

Példaként kiválasztva egy reális értéket, jó prognózist kapunk.

Az CO<sub>2</sub>-koncentráció 350 ppm-ről 500 ppm-re való növekedése maximum 1 K hőmérsékletemelkedést okozhat!

A Föld energetikai egyensúlyának a hőcserével mellett vele közel egyenértékű számos más összetevője is van. A modellek eredményei közötti nagy eltérés alapján arra a következtetésre lehet jutni, hogy a bonyolult modellekben a sok közelítés az összekapcsolásukat nem teszi lehetővé.

Részletes tanulmányunk számszerűleg bemutatja a felmelegedés szempontjából számba vehető legfontosabb folyamatokat és azok jelentőségét. A vitathatatlan, de egyszerűbb globális számításokkal kapott globális hőmérsékletemelkedés értéke, 1–1,5 K, nem elhanyagolható, de nem ad megoldhatatlan feladatot

$$S=1385 \text{ W/m}^2 ; T_e=279,5 \text{ K}$$

CO <sub>2</sub> ppm	tömeg %	p-l m-bar	a <sub>g</sub> Beer-együttható	ε <sub>g</sub>	Te K
280	0,0425	2,17	0,65	0,114	287,8
350	0,053	2,7	0,69	0,122	288,6
450	0,068	3,5	0,736	0,13	289,4
500	0,076	3,9	0,755	0,133	289,6
600	0,091	4,64	0,785	0,138	290,1

2. táblázat • S – a napállandó W/m<sup>2</sup> • p-l – a Föld felületére redukált CO<sub>2</sub>-rétegvastagság és a nyomás szorzata m-bar • a<sub>g</sub> – a CO<sub>2</sub>-rétegen áthaladó sugárzás intenzitásának gyengülése • ε<sub>g</sub> – a CO<sub>2</sub> relatív emissziós tényezője • T<sub>e</sub> – a Föld felületén a hőmérséklet, K

az emberiség számára. Ez alapján felkészülve koncentrálni lehet az emberiség számára legnagyobb problémákra, a szegénység felszámolására és az életszínvonal globális emelésére.

Tehát a szerzők által alkalmazott modellel – a szerzők véleménye alapján – a szén-dioxid-tartalom kétszeresre való növekedéskor száz év alatt a földi átlaghőmérséklet kb. 1–1,5 K-nel növekszik. Ez uralható változás, de fel kell készülni az ebből adódó következményekre!

### Összefoglalás

Tanulmányunk végkövetkeztetéseként reális értékeket elfogadva, érdekesebb a nagy energiákat a változásokra való felkészülésre fordítani, és nem belehajszolni a világot egy finoman szólva is kilátástalan és óriási költségeket felemésztő CO<sub>2</sub>-kibocsátás elleni küzdelembe. Új elveken alapuló energiafejlesztési módok segíthetnének!

Ki kell mondani, a megújulók (helyesen közvetlen természeti energiák! *direct natural energies*) csak segítenek, de megoldani a jelentős költségtöbblet árán sem tudják a problémát!

Lehetetlen és erkölcstelen elvárni, hogy a fejlődő országok polgárai (például: Kína, India stb.) ne igényeljék a jelen technikai színvonalnak megfelelő kulturált életszínvo-

nalat és kényelmet maguknak. Ezek a népek jelenleg fajlagosan az üvegházgázok egy tizedét bocsátják ki, a fejlett országok lakosai kibocsátásához viszonyítva. Energiaszükségletük növelését elsősorban fosszilis forrásokból (szén: World Energy Council, 2007. évi konferencia, Róma, november) tudják és fogják biztosítani.

Az üvegházgázmentes atomenergia jelenleg a világ primer energiájának mindössze csak 7%-át fedezi, tehát jelentős növelése igen nagy tökeigény mellett sem nyújt megoldást (emelt a jelenlegi, általánosan alkalmazott technológiával az uránkészlet is csak hatvan–hetven évre elegendő!).

A globális felmelegedés korlátozását mindenekelőtt a CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentésével kívánják elérni. Ezek a próbálkozások ezideig kevés sikert mutatnak. A csökkentés megkezdését világviszonylatban már 1995-ben tervezték. Ebből semmi nem lett, de az ennél nemzetközileg jelentősen nagyobb súlyú Kiotói egyezmény óta sincs említésre méltó trendváltozás. Az 1997. december 11-én aláírt egyezmény óta eltelt tíz évben a szén-dioxid-tartalom kb. 355 ppm-ről 380 ppm-re változott.

Kulcsszavak: *globális felmelegedés, szén-dioxid-növekedés*

