

Vélemény, vita

ÉSZREVÉTELEK

Haszpra László *Az éghajlati rendszer és mozgatói* című tanulmányához

Zágoni Miklós

fizikus, MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet
zagoni@ggki.hu

Haszpra Lászlónak a *Magyar Tudomány* 2011/5. számában megjelent tanulmánya szorosán köthető az IPCC 2007-es jelentéséhez, annak is egyik vezérábrájához, melyre a szerző külön is hivatkozik. A szóban forgó ábra (IPCC, 2007) a Föld globális éves átlagos energiamérlegét írja le, és számszerű becsléseket ad a tanulmányban is említett egyes rövidhullámú és hosszúhullámú sugárzási mennyiségekre. Ezen mennyiségek ismerete nélkülözhetetlen a szóban forgó kérdés, az éghajlati rendszer és mozgatói működésének megértéséhez.

E mozgatók működésére vonatkozóan tanulmánya elején Haszpra László kijelenti: „Mind a rövidhullámú, mind a hosszúhullámú sugárzásátvitelt a légkör összetétele, a benne lévő, sugárzási szempontból aktív (elnyelő, visszaverő) anyagok mennyisége szabályozza.” Jelen reflexióm erre az állításra irányul.

Első közelítésben valóban számos esetben gondolhatjuk azt, hogy egy folyamatot a benne részt vevő anyagok mennyisége szabályoz.

Azt például, hogy egy autó milyen messzire juthat, nyilván befolyásolja, hogy mennyi benzin van a benzintankban. Vannak azonban esetek, amikor a szabályozásban más tényezők, például energetikai korlátok vagy egyéb fizikai kényszerek is alapvető szerepet játszanak. Például az autó motorjának határfokát nem befolyásolja, hogy több vagy kevesebb üzemanyagot töltünk a benzintankba. Az előttünk álló kérdés ez: vajon a rövid- és hosszúhullámú sugárzásátvitelt valóban a légkör összetétele, azaz a benne lévő, sugárzási szempontból aktív anyagok mennyisége szabályozza-e.

Ha igen, miként Haszpra László (valamint az IPCC és a ma általánosan elfogadott elmélet) állítja, akkor a szén-dioxid légköri mennyiségének növekedéséből a légkör hosszúhullámú sugárzásátvitelének változására, az elnyelt sugárzás mennyiségének növekedésére, az üvegházhatás erősödésére és az ebből eredő éghajlati (hőmérsékleti) változásokra lehet következtetni. Első lépésben és

lokálisan az állítás minden bizonnyal igaz: nagyobb mennyiségű szén-dioxid (minden egyéb feltétel változatlansága mellett) nagyobb mennyiségű sugárzást nyel el (Beer–Lambert-törvény). Kérdés, hogy a Föld valós légköri és energetikai körülményei közepette, globális léptékben is igaz-e az állítás. Ennek eldöntésére nem elégségesek sem a laboratóriumi, sem a modellkísérletek, ehhez a földi légkör mért adataira és az azokon elvégzett nagy pontosságú energetikai számításokra van szükség. Itt kell visszatérnünk a szóban forgó ábrához.

A Haszpra László által hivatkozott 2009-es sugárzási energiamérlegnek két újabb verziója is megszületett (Stephens, 2011; Wild, 2011), egy harmadikkal pedig Miskolczi Ferenc Amerikában élő magyar légkörfizikus szolgált (Miskolczi, 2004, 2007, 2010, 2011). A két új mérleg érdekessége, hogy egy igen lényeges ponton alátámasztja a harmadik érvényességét, nevezetesen tartalmazza, vizsgálja az emlegetett sugárzási mennyiségek belső viszonyainak, összefüggéseinek Miskolczi által feltárt szerkezetét.

A Miskolczi Ferenc által megadott energiamérleg ugyanis a vizsgált kérdéseinkre („az anyagok mennyisége szabályozza-e a folyamatot”) nemleges választ ad. E válasz érvényességéhez bizonyos feltételek fennállása szükséges, melyek közül a legfontosabb, hogy a szóban forgó anyag fölös mennyiségben álljon rendelkezésre. Ilyenkor értelemszerűen nem az anyagmennyiség szűkössége, hanem a rendszert működtető valamely egyéb fizikai feltétel, esetünkben az elérhető energiamennyiség végsősége veszi át a vezérlést. Miskolczi fluxusösszefüggései és energiamérlege azt mutatják, hogy a (globális éves átlagos) felszínhőmérséklet nem a légkör CO₂-tartalmának, hanem a bejövő elérhető energia mennyisé-

gének és a rendszer fizikai kényszereinek egyértelmű függvénye.

A valós légköri szerkezeten elvégzett nagy pontosságú sugárzásátviteli számítások és a fluxuselemekre vonatkozó mérések alapján az állítás így fogalmazható meg: a felszín-légkör rendszer a számára adott elérhető (a bejövő napsugárzásból a reflexiók után megmaradó) teljes rövidhullámú energiamennyiséget elnyeli, különféle energiaformákká alakítja, és hosszuhullámon kisugározza. Rendszerünk nem az üvegházhatású gázok mennyisége, hanem az elérhető energia mennyisége szempontjából hiánygazdaság. Vízben gazdag bolygónkon ugyanis a párautánpótlás bőségesen rendelkezésre áll. A sugárzásátviteli folyamatot így nem az egyes üvegházhatású nyomgázok változó mennyisége, hanem a vízgőz eloszlása és dinamikája határozza meg. A hidrológiai ciklus révén a rendszer képes beállítani és fenntartani az összes bejövő elérhető energia abszorpciójához és emissziójához szükséges felszíni és légköri hőmérséklet- és páraeloszlást, beállítva és fenntartva a maximális üvegház-faktort.

Haszpra László nem ad numerikus értéket arra vonatkozóan, hogy a CO₂ légköri növekedésének következményeként szerinte miként lett nagyobb az üvegházhatás; csupán állítja azt. Miskolczi a NASA sugárzási kutatóközpontjának munkatársaként az elérhető legjobb adatbázisokon számította ki a valós légkör hosszuhullámú abszorpcióját (infravörös optikai mélységét), és arra jutott, hogy ez az elmúlt hat évtizedben nem mutatja a CO₂ 20 %-os mennyiségi emelkedésétől várt növekményt; ellenkezőleg, pontosan az energiakorlát által megkövetelt elméleti egyensúlyi érték körül ingadozik.

E helyütt e számítások interpretációjába nem kívánok belemenni. A legtöbb, amit

most mondhatunk, hogy a tapasztalat szerint bolygónk sajátos óceán-légkör-felhőzet rendszere a rendelkezésére álló összes napenergiát elnyeli, megemésztí és hosszúhullámon kisugározza; s e folyamat dinamikáját nem a nyomgázok mennyisége, hanem a beérkező energia mennyisége és termikus újraelosztása szabályozza. Ez az energiamérleg-egyenlethez elvi korlátot szab, aminek következtében a fluxusok stacionárius belső arányokat, stabil (üvegházgáz-invariáns) szerkezetet, „geometriát” mutatnak, melynek elemeit nem lehet az egyes nyomgázok koncentrációjának megváltoztatásával ide-oda tologatni.

A rendszernek tehát bizonyos értelemben az inverz problémát kell megoldania: nem a légkörben levő szén-dioxid mennyisége állítja be az üvegházhatást, hanem a rendelkezés-

re álló bejövő energiamennyiség által meghatározott (rögzített, maximált) üvegházhatáshoz kell az üvegházhatású gázok effektív össz mennyiségét és eloszlását hozzáigazítani. A szabályozás eszköze a páratartalom turbulens keveredése és a meridionális hőtranszport dinamikája.

Miskolczi kutatási eredményeinek hazai és nemzetközi elemzése intenzíven zajlik. Ám minthogy Haszpra László tanulmánya e munkát egyáltalán nem említi, idézett kijelentésével szemben tartottam szüükségesnek a fentiekre a figyelmet felhívni — az Accademia del Cimento szellemében: *Provando e riprovando*. Ellenőrizni és újra ellenőrizni!

Kulcsszavak: *üvegházhatás, sugárzásátvitel, energiamérleg*

IRODALOM

- IPCC (2007): *What Factors Determine Earth's climate? IPCC Assessment Report 4, WG1, Chapter 1, Frequently Asked Questions I.I., Figure 1, p. 96.*, újabb változat lásd Trenberth et al., 2009.
- Miskolczi Ferenc M. – Mlynczak, Martin G. (2004): The Greenhouse Effect and the Spectral Decomposition of the Clear-sky Terrestrial Radiation. *Időjárás. Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service.* 108, 4, 209–251. • http://met.hu/idojaras/IDOJARAS_vol108_No4_01.pdf
- Miskolczi Ferenc M. (2007): Greenhouse Effect in Semi-transparent Planetary Atmospheres. *Időjárás. Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service.* 111, 1, 1–40. • http://met.hu/idojaras/IDOJARAS_vol111_No1_01.pdf
- Miskolczi Ferenc (2010): The Stable Stationary Value of the Earth's Global Average Atmospheric Planck-weighted Greenhouse-gas Optical Thickness. *Energy & Environment.* 21, 4, August Special Issue: *Paradigms in Climate Research.*
- Miskolczi Ferenc (2011): *The Stable Stationary Value of the Earth's Global Average Atmospheric Infrared Optical Thickness.* Poster-presentation at the European Geosciences Union General Assembly, 7 April 2011, Vienna, presented by Miklós Zágoni. • http://presentations.copernicus.org/EGU2011-13622_presentation.pdf.
- Stephens, Graeme L. – Lecuyer, T. – Kato, S. (2011): *The Radiation Balance of Earth Revisited.* *Geophysical Research Abstracts* Vol. 13, EGU2011-10758. EGU General Assembly • <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-10758.pdf>
- Trenberth, Kevin E. – Fasullo, T. – Kiehl, J. (2009): Earth's Global Energy Budget. *Bulletin of the American Meteorological Society.* 90, 3, 311–323. • http://www.cgd.ucar.edu/cas/Trenberth/trenberth_papers/TFK_bams09.pdf
- Wild, Martin (2011): *The Global Energy Balance from a Surface Perspective.* *Geophysical Research Abstracts* Vol. 13, EGU2011-3009, EGU General Assembly • <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-3009.pdf>

VÁLASZ

Zágoni Miklós észrevételeire

Haszpra László

az MTA doktora,
Országos Meteorológiai Szolgálat
haszpra.l@met.hu

A Beer–Lambert-törvény szerint, ahogyan Zágoni Miklós említi is, minden egyéb feltétel változatlansága esetén nagyobb mennyiségű, sugárzási szempontból aktív gáz több energiát nyel el. Ezen az elven alapul számos gáz laboratóriumi és légköri mérési módszere is. A légköri szén-dioxid koncentrációjának növekedésével tehát az infravörös tartományban csökkennie kell a légkör átbecsátóképeségének, azaz erősödnie kell az üvegházhatásnak, ami éghajlatváltozást eredményez, feltéve, hogy ezt más folyamatok nem kompenzálják, azaz nem vannak ki energetikailag ekvivalens mennyiségű elnyelő anyagot a légkörből. Nem közömbös az sem, hogy a légkör mely részéből kerülne ki ez az anyagmennyiség, hiszen a térbeli energiaeloszlás megváltozása önmagában véve is éghajlatváltozást eredményez.

Mérések egybehangzó sokasága bizonyítja, hogy a légkör üvegházhatásában kulcsszerepet játszó szén-dioxid, metán és dinitrogén-oxid mennyisége az elmúlt évszázadokban – döntően az emberi tevékenység következményeként – számottevően nőtt, és megjelentek a légkörben mesterségesen előállított üvegházhatású gázok is (például különböző halogénezett vegyületek). Egyedül a sztratoszferikus ozonmennyiségben tapasztaltunk átmeneti

csökkenést – szintén az emberi tevékenység hatására (ugyanakkor a troposzférában emelkedett az ózon mennyisége). Ezek a nyomanyagok tehát nem szorítják ki egymást, nincsenek olyan folyamatok, amelyek során az egyik mennyiségének növekedése csökkenthetné a másik mennyiségét. Egyedül a vízgőz, nem mellesleg a legfontosabb üvegházhatású gáz viselkedése lehet kérdéses.

A vízgőz kb. 90%-a az óceánok és más szabad vízfelszínek párolgása révén kerül a levegőbe. A telítési gőznyomás exponenciálisan nő a hőmérséklettel, a melegebb levegő több vízgőzt tud felvenni (Clausius–Clapeyron-összefüggés). Az óceánvíz és a levegő megfigyelt hőmérséklet-növekedése tehát a légköri vízgőzmennyiség növekedését vetíti előre. A légköri mennyiség azonban a kikerülési folyamatok sebességén is múlik. A kondenzáció a légkörben található kondenzációs magok mennyiségétől és jellemzőitől (méret, anyagi összetétel stb.), valamint a relatív telítettségtől függ. Első közelítésben feltételezhető, hogy a kondenzációs folyamatokban a relatív telítettség játssza a meghatározó szerepet, mivel a kondenzációs magok száma és jellemzői kevésbé éghajlatfüggők. Ezért az éghajlattól alig függő relatív nedvességre, azaz a melegedéssel növekvő légköri vízmennyi-