

karakterisztikák (pl. csapadékmennyiség és/vagy villámlás gyakoriság) és a nedves hőmérséklet közötti kapcsolat átfogóbb statisztikai vizsgálata mindenféleképpen indokolt lenne. E kapcsolatok ismerete nemcsak általános helyismereti szempontokból lenne érdekes, hanem a zivatarok ultrarövid távú előrejelzésénél is hasznos lenne.

**Köszönetnyilvánítás:** E munkát a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatta a 2005-NKFP3-STORM\_06 azonosítóval rendelkező pályázat keretében.

**Szász Gábor, Debreceni Egyetem, Agromet. Centrum**  
**Ács Ferenc és Seres András Tamás, ELTE Met.**  
**Tanszék**  
**Horváth Ákos, OMSZ**

### Irodalom

- Adámy, L., Máhr, J., 1963: Néhány statisztikai adat Nyíregyháza és Szeged zivatarklimájáról, *Időjárás*, 67. 4. 226.
- Besze, J., 1960: Magyarország zivatarviszonyainak vizsgálata, Villamos Energetikai Kutató Intézet, Budapest.
- Götz, G., Pápainé, Sz. G., 1966: Zivatar-tevékenység a nyári félévben Magyarországon, *Időjárás*, 70, 2, 106-116.
- Götz, G., Pápainé, Sz. G., 1967: Zivatar-tevékenység a téli félévben Magyarországon, *Időjárás*, 71, 5, 302-309.
- Héjas, E., 1898: Zivatarok Magyarországon az 1871-től 1895-ig

- terjedő megfigyelések alapján. Budapest, Magyar Term. Tud. Társ. kiadása.
- Héjas, E., 1909: Zivatarok földrajzi eloszlása Magyarországon, *Földrajzi Közlemények*, XXXVII. 410.
- Horváth, Á., Ács, F., and Seres, A.T., 2006: A climatological analysis of thunderstorms in the Carpathian Basin using radar data. Poster presentation, 6th Annual Meeting of the European Meteorological Society (EMS), 6th European Conference on Applied Climatology (ECAC), 4. to 8. September 2006, Ljubljana, Slovenia.
- Horváth, Á., F. Ács, and A.T. Seres, 2007: A thunderstorm climatology analysis in Hungary using radar observations. Submitted to *Időjárás*.
- Ozorai, Z., 1965: A zivatarok gyakorisága Budapest-Ferihegy repülőtéren, *Időjárás*, 69, 375.
- Raum, O., 1910: A Magyarországon észlelt 15 évi zivatarok megfigyelések eredményei az 1896-1910 időszakban. *Évkönyvek XL. 2.*
- Seres, A.T., 2006: Heves konvektív folyamatok objektív vizsgálata. Szakdolgozat az ELTE Meteorológiai Tanszékén (témavezető: dr. Horváth, Á.; konzulens: dr. Ács, F.), 77 old..
- Szász, G., 2002: Surface energy budget between the atmosphere and the surface in the vegetation period during 1963-1994. *Időjárás*, 106, 161-184.
- Wesztergom, V., 2001: Geophysical Observatory Reports of the Geodetic Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences (year 1994-1998), 169, 290-299.

\*\*\*

## Ami kimaradt az üvegházhatású gázok közül és valami, ami szintén az emberi tevékenység következménye

### A vízgőz a légköri gázok között a legnagyobb üvegházhatású gáz

Egyik iskolában – mindegy melyikben – a tanár felsorolja a földi légkört alkotó gázokat: 20,9% oxigén, 0,93% argon, 360 ppmv szén-dioxid, erősen változó mennyiségben vízgőz, jelentéktelen mennyiségű metán, ózon, szén-monoxid, neon, hélium stb.

A diákok hallgatnak, a tanár igazat mondott, mégis valami nem stimmel, ezért végül az egyik diák bátoritanul jelentkezik: Tanár úr, a nitrogén kimaradt.

Ne gyanúsítsunk senkit, ez kitalált történet, de hasonló esettel naponta találkozhatunk. Amikor az üvegházhatású gázokról van szó, a vízgőzről szinte sohasem történik említés, pedig a sorrendben első helyen áll. Az üvegház gázok részesedése a légkör

üvegházhatásában a következő (*Schönwiese, C.D., 1995*):

Vízgőz .....	62%
Szén-dioxid .....	16,4%
CFC11 és 12 .....	8,16%
Metán .....	7,2%
Egyéb CFC-k .....	3,36%
Dinitrogén-oxid .....	2,88%
Összesen	100,00%

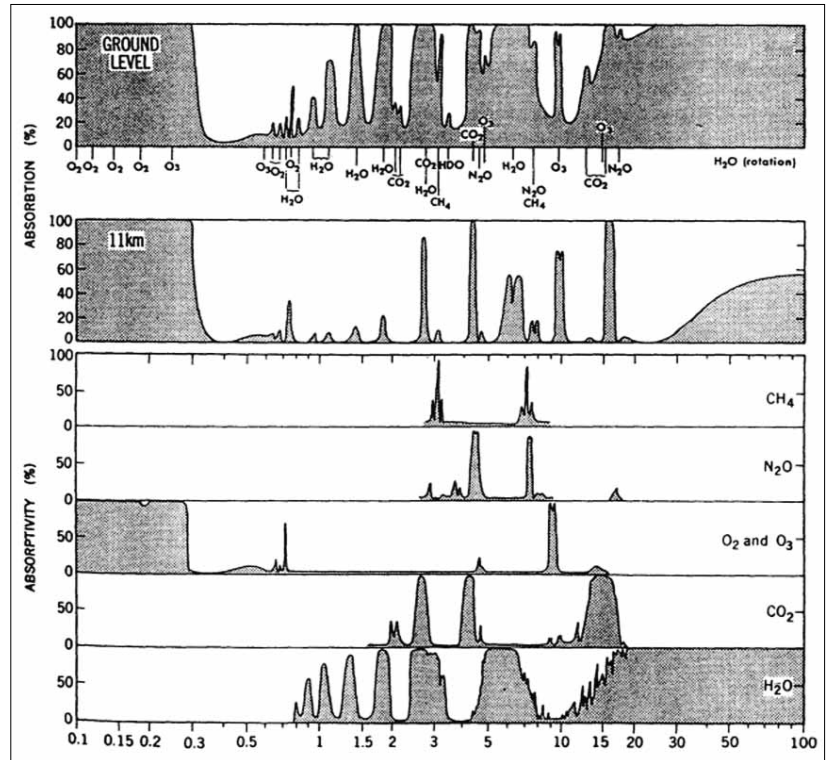
A felsorolt adatokból kiderül, hogy a vízgőz üvegházhatása több mint 3,5-szerese a szén-dioxidénak. (Lehetséges, hogy az elmúlt 10–15 év alatt az arányok változtak.) Joggal kérdezhetjük tehát, hogy időben milyen mértékben és milyen irányban változik a légkörben található vízgőz? Fölmerül a kérdés, történt-e egyáltalán kísérlet a légköri teljes vízgőzkészlet folyamatos mérésére? A vízgőz elnyelési sávjában történő

infravörös sugárzás műholdas mérése adhat bizonyos pontosságú becslést, de kérdés, hogy az elérhető pontosság elegendő-e a tényleges változások mérésére. A legnagyobb nehézséget az jelenti, hogy a vízgőz térben nagyon erősen változik, szélsőséges esetben a különbség két terület között elérhet akár 2–3 nagyságrendet is, ezért az egész Földre kiterjedő és megfelelő felbontású mérésre volna szükség.

Ha a légköri szén-dioxid 30%-os tartós növekedése a globális átlaghőmérsékletben mintegy 0,7 C fokos emelkedést okozhat, akkor a légkör teljes vízgőz készletének tartós 8%-os növekedése csaknem ugyanekkora melegekedést, a vízgőzkészlet maradandó 8 %-os csökkenése hasonló mértékű lehűlést képes előidézni.

Az adatok pontosságán lehet vitakozni, de a lényeg, hogy a legnagyobb üvegházhatást jelentő vízgőz feltételezhető változása kimaradt a klímaváltozás okainak felsorolásából. Ennek egyik oka lehet a megfelelő pontosságú mérések nehézsége. A másik ok valószínűleg az, hogy az ember által kibocsátott üvegházgázok mennyiségi becslése aránylag megbízható, ellentétben a légköri vízgőz változásainak mérésével. A harmadik valószínű ok szubjektív: az éghajlat ingadozásában mindig kétszék vagyunk az ember tevékenységét tenni felelőssé. Gondoljunk az 1974. évi február-márciusra, amikor a rendkívüli meleg időjárást sokan az állítólagos légköri kísérleti atomrobbantásokkal akarták magyarázni. A légköri mozgások energiájának és az atombomba energiájának nagyságrendje közötti különbséget az érdeklődők részéről teljes értetlenség fogadta, beláttam, hogy erre hiába hivatkozom. Ekkor eszembe jutott, hogy 1963. óta életben van az atomcsend egyezmény, amit Franciaország és Kína ugyan hosszú évekig nem írt alá, de a sorozatos robbantások megszűntek. **Ami nincs, annak hatása sem lehet.** Ezt végre megértették, azóta a légköri robbantásokra való hivatkozásokról is elfeledkeztek, szerencsére.

A légköri víz mennyiségét 13 ezer  $\text{km}^3$ -nek becsülik, ami 13 billió tonnányi tömeg, ez pedig a légkör teljes tömegének 2,6 ezreléke. Még ha ezt állandónak is vesszük, a halmazállapotok aránya jelentősen változhat. A vízgőz az infravörös sugárzás nagy részét elnyeli (1. ábra, I.L. Karol, 2002. nyomán), a cseppfolyós víz, vagyis a felhőt alkotó vízcseppek akadályozzák a kisugárzást, de a napsugárzás légkörön való áthaladását is, hasonló a jégszemcsékből vagy jégkristályokból álló felhők hatása. Mindez nehezíti a vízgőz üvegházhatásának megfelelő pontosságú becslését. A víznek a légkörben való átlagos tartózkodási ideje kb. 10 nap, ez sem könnyíti meg az üvegházhatásának



1. ábra. A gázok elnyelési spektruma a légkör teljes vertikális oszlopában (felül) és részleges elnyelés 11 km magasságban (középen). Az egyes gázok abszorpciós sávjai a légkör teljes vertikális oszlopában (alul). (Forrás: I.L. Karol, 2002)

nyomon követését. Mindenestre az IPCC 2001-ben kiadott 3. és a 2007-ben elkészült 4. Helyzetértékelő Jelentése nem foglalkozik a vízgőz szerepével a légkör üvegház hatásának tárgyalásában (TAR, 2001, AR4, 2007). Lehetne hivatkozni arra, hogy a légköri vízgőz mennyisége gyakorlatilag független az emberi tevékenységtől, az viszont tagadhatatlan, hogy **az éghajlat változásai az embertől függetlenül is bekövetkeztek a történelmi időkben vagy az ember megjelenése előtt, tehát nem kizárólag az ember az egyetlen éghajlat alakító tényező.**

### **A földtörténet során a légkör összetétele gyakran és jelentősen változott**

A Föld történetének azt a korai és csaknem 4 milliárd éves korszakát, amikor szabad szemmel látható élőlények még nem éltek a Földön a fanerozoos (látható élet nélküli) kornak nevezzük, a makroszkópikus élet

550–570 millió évvel ezelőtt jelent meg (pl. az Ediacara-fauna Ausztráliában), az ekkor kezdődő korszakot nevezzük fanerozoikumnak. Ebben az időszakban terjedtek el a szabad szemmel is látható élőlények, először a tengerekben, majd később a szárazföldön is. Az őszéghajlatban, paleoklimatológia által legtöbbször vizsgált, és aránylag legjobban ismert korszak a fanerozoikum. A légkör egyes összetevőinek változásáról is elég megbízható képünk van ebből a korszakból. Vegyük szemügyre a légkörben jelenleg második legerősebb üvegházhatást jelentő szén-dioxidot.

A fanerozoikum során a légkör szén-dioxid tartalma a jelenlegi  $2 \times 10^{15}$  kg helyett ennek többszöröse volt, átlagosan 4–5 PAL\*, de előfordult átmenetileg 10–15, más becslések szerint 15–20 PAL is (Koppány, 1996, TAR, 2001. WG I, p.201.). Valószínűleg ekkor az üvegház gázok között a légkörben a szén-dioxid az első helyre került, mert a paleoklimatológiai kutatások szerint a globális hőmérséklet is

magasabb volt 5–6 fokkal a jelenleginél, sőt a Karbon\* elején (egyes kutatók szerint) 10–11 fokkal melegebb volt a Föld éghajlata, mint a jelenkori. Csupán az utolsó 40 millió évben kezdett erőteljesen fogyni a légköri szén-dioxid, és közelített a jelenkori szinthez. Kérdés: hová lett a szén a légkörből?

A válasz elég egyértelmű: beépült a karbonátos kőzetekbe, mészkőbe, dolomitokba, márványba, valamint a mészvázás állatok mészvázába, ilyenek a korallok, csigák, kagylók. Egy része a fosszilis\* tüzelőanyagba. A kőzetekben, ásványokban jelenlévő szén tömege mintegy  $5 \times 10^{20}$  kg, ennek egy része a légkörből származik. Az ember ennek a szénnek csak kis részét tudja elégetni, és szén-dioxid formájában visszajuttatni a légkörbe. Mészkövet, dolomitot, korallt valószínűleg sohasem fogunk tüzelőnek használni. Az elégethető fosszilis anyag (szén, kőolaj, földgáz) nem csak korlátozott mennyiségben van a föld mélyén, hanem egy része gyakorlatilag hozzáférhetetlen, vagy a kiaknázása megfizethetetlenül drága. A természet maga korlátozza a fosszilis anyagok felhasználását.

A fanerozoikum időszakának mintegy 90%-ában a mainál jóval melegebb éghajlat miatt nem volt állandó hótakaró sem az Arktiszon, sem az Antarktison. Hogy az átmeneti eljegesedések idején a légköri szén-dioxid csökkenésében mekkora szerepe volt az óceánoknak, nem tudjuk. A hidegebb víz mindenestre több gázt képes oldani, mint a melegebb, így a hideg óceán is több szén-dioxidot képes tárolni oldat formájában.

### **Az óceánok vízszintjének változása és az emberi tevékenység**

Az IPCC 4. Helyzetértékelő Jelentésének megjelenése óta néhány kritikai észrevétel is megjelent az interneten (például: [www.pewclimate.org](http://www.pewclimate.org)). Ezek közül egyet szeretnék itt megemlíteni.

A világoceán szintjének változását meglehetősen nehéz mérni a mérőhelyek egyenlőtlen eloszlása, valamint a Föld kéregmozgásai miatt. Ma talán a műholdas szintmérések a legmegbízhatóbbak. Elég egységes az a megállapítás, hogy a tengerszint 1910 és 1990 között mintegy 6 cm-t emelkedett, elsősorban a hőtágulás miatt (ha a világtenger 1000 m mélységig átlagosan 1 fokot melegedne, ez 6 cm szintemelkedéssel járna), kisebb mértékben a gleccserek és a tengerjég olvadása miatt. Az Antarktiszról föltételezik, hogy inkább víznyelő, mint víz kibocsátó, hiszen a jégplaton uralkodó  $-30$  vagy  $-50$  °C fokos hőmérséklet néhány fokos emelkedése még olvadást nem okoz, de az enyhébb levegő több vízgőzt tud befogadni, így általában több hó esik, és hófelhamozódás megy végbe. Ezért válhatnak le nagyobb jéghegyek az Antarktiszról. Glaciológiai vizsgálatok szerint az utolsó évszázadban az Antarktisz jég- és hótakarója alig változott vagy kissé növekedett.

*Az óceánok vízbeviteli forrásai közül azonban kimaradt a szárazföldi talajvíz fogyása. Nevezetesen: az ember egyre több vizet szivattyúz ki a talajból öntözés céljából, de folyókat is eltérít, hogy vizét öntözésre használhassa. Vészesen apad a talajvíz az USA egyes részein, hiszen hosszú évtizedek óta, például soklapátos szélkerekek segítségével, szivattyúzzák ki a talajvizet. Másrészt Ázsiában az Aral-tó kiterjedése néhány évtizeddel ezelőtt még 63 ezer km<sup>2</sup> volt, ma már csak 31 ezer km<sup>2</sup> maradt, mivel a két tápláló folyó, az Amu-darja és a Szir-darja vizét öntöző csatornába terelték. A talajvíz apadása hazánkban is megkezdődött, legalábbis 1970 óta a Duna-Tisza közén helyenként 4–6 m-t süllyedt a talajvíz. A talajvíz hiánya 2003-ig e területen 4,81 km<sup>3</sup> az 1970-es évekkel összehasonlítva (Rakonczai, 2006). Az embernek szüksége van a több termés érdekében a talajvízre, amit a mélyből a felszínre hoz, és az öntözés után nagy része elpá-*

rolog, és a légkörbe került víz jórészt a tengerekbe folyik.

Érdekes itt megemlíteni, hogy valamikor az 1980-as évek elején a német Stern magazin közölt egy fantáziarajzot, amely a tenger által elborított Manhattant ábrázolta, és csupán a felhőkarcolók teteje látszott ki a tengerből. A 6 cm-es tengerszint emelkedésből 60 m lett a rajzoló fantáziája szerint. Azóta a sajtó „szerényebb” módon, már „csak” 6 m szintemelkedést emleget. Mindössze két nagyságrendnyi különbség van a valóság és a sajtó állítása között.

Nem tudjuk, hogy az ember mennyi vizet szivattyúzott ki a talajból az egész Földön, csak azt tudjuk, hogy a szárazföldi, felszíni víz tömege 23,6 millió km<sup>3</sup>, két nagyságrenddel kisebb, mint az óceánok és tenger víztömege, amely 1338 millió km<sup>3</sup>. Ha a talajvíz össz mennyisége megközelíti a szárazföldi vizét (23,6 millió km<sup>3</sup>), és ennek egy ezreléke jut az emberi tevékenység következtében a tengerbe, ez a vízmennyiség mintegy 7 cm-rel emelné meg a tenger szintjét. Ez természetesen csupán elméleti számítás, de a szóba jöhető nagyságrendekről képet nyújt.

Kérdés, hogy az IPCC munkacsoportjai a további vizsgálataikban mennyire veszik figyelembe ezt az emberi tényezőt is.

**Dr. Koppány György**

### **Irodalom**

- Assessment Report Four. 2007.*  
[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)  
*Climate Change 2001. Contribution of Working Group I to the TAR.* Cambridge University Press  
*Karol, I.L., 2002: Greenhouse gases, aerosols and ozone layer.* [www.eolss.net](http://www.eolss.net)  
*Koppány Gy.: Bevezetés a paleoklimatológiába.* JATEPress, Szeged, 1996.  
*Rakonczai, J.: Klímaváltozás - aridifikáció változó tájak. Táj, környezet és társadalom.* Szeged, 2006.593-601.o.  
*Schönwiese, C.D.: Klimaänderungen. Daten. Analysen. Prognosen.* Springer-Verlag, 1995.

\* \* \*