

ÖNGERJESZTŐ, DE SZABÁLYOZOTT MELEGEDÉS (ARRHENIUS-TÓL A GLOBÁLIS TERMOSZTÁTIG)

SELF-EXCITABLE BUT CONTROLLED WARMING (FROM ARRHENIUS TO THE GLOBAL THERMOSTAT)

Wirth Endre

1048 Budapest, Székes utca 5., eagardi@upcmail.hu

Összefoglalás. Az IPCC legutóbbi jelentése óta (2007) több száz publikáció jelent meg a globális melegedés részletkérdéseiről. Közülük néhány – önkényesen, de nem véletlenül kiválasztott – tanulmány részletesebb ismertetésének célja kettős. Egyrészt tisztelgés Arrhenius bámulatos teljesítménye előtt, amely a nagyon is aktuális mai dolgozatok hátterében felmagasodik; másrészt villanásnyi bemutatása a melegedés egyes, kritikusan fontos tényezőinek. Ilyen például a vízpára mostanáig vitatott mennyiségi növekedése, amelynek mértékét egy nemzetközi kutatócsoportnak sikerült megállapítani (*Santer et al.*, 2007). Ugyanezt a kérdést – más műszerrel végzett mérések alapján – a vízpára visszacsatolási effektusa szempontjából vizsgálta *Dessler* (2008, 2009). A legfontosabb eredmény valószínűleg a CO₂ működési mechanizmusának átfogó leírása, amely a NASA GISS kutatóközpontjának munkatársai, *Lacis et al.* (2010); és *Schmidt et al.* (2010) nevéhez fűződik. A szerzők numerikus kísérlet segítségével demonstrálták a NKÜG eltávolításának fatális következményeit. Végül utalunk arra az egyszerű összefüggésre (*Wirth*, 2005), ami a tényleges CO₂-emissziót pontosabban írja le, mint az általában használt globális, átlagos növekedés.

Abstract. Since the last Report of IPCC (2007), several hundred papers have appeared on some aspects of global warming. Some of the studies were arbitrarily – but not randomly – selected for this survey. The purpose of detailed description of these studies is twofold: on the one hand we want to pay respect for the amazing achievement of Arrhenius which keeps providing a highly appreciated background even in the light of later, current works. On the other hand, it is vital to pay attention to some factors which presently seem critical in the problem of warming. Among the critical factors we find, for example, the increase of the amount of water vapor that an international research group was able to quantify (*Santer et al.*, 2007). The same issue – through measurement with a different instrument – was investigated by *Dessler* (2008, 2009) from the aspect of the effects of water vapor feedback. Probably the most important result was the comprehensive description of the working mechanisms of CO₂ produced by the researchers of the NASA GISS research center (*Lacis et al.*, 2010 and *Schmidt et al.*, 2010). By means of a numerical experiment the authors were able to clearly demonstrate the fatal consequences of the removal of the non-condensing greenhouse gases for the Earth's climate. Finally we refer to simple relation, offered by *Wirth* (2005) to describe the actual CO₂ emission by a more accurate way than the generally applied global average increase.

A kérdés. A globális fölmelegedésre vezető, akár vázlatos áttekintés is méltánytalan Svante Arrhenius idevágó munkájának (*Arrhenius*, 1896) rövid áttekintése nélkül. A tudós éppen 115 éve tette fel azt a kérdést, amit ma a „*légkör érzékenysége*nek” nevezünk: hogyan változna a globális földi hőmérséklet, ha a légköri szén-dioxid (CO₂) mennyisége (a századvégre jellemző, 298 ppm-ről) a duplájára növekedne?

A jó kérdésre a korábnál pontosabb mérésekkel alátámasztott választ éppen napjainkban sikerült megtalálni. A hosszú ideig gyűjtött adatok gondos elemzésével olyan hipotéziseket igazoltak, amelyek bár fizikailag helytállóak voltak – mint például a vízpára (1. ábra) pozitív visszacsatolása a melegedés kényszerére –, de bizonyításuk a légkörben nem történt meg. A siker annak is köszönhető, hogy ma a műholdas megfigyelések és mérések eredményeit a leggyorsabb számítógépek alkalmazásával építik be globális klímamodellek tucatjaiba a kutatók százai; míg Arrhenius, magányos óriásként, fáradságos számítással jutott el a korunkban is helytálló válaszig.

Az üvegházhatás (ÜH) szereplői. A 19. század közepe óta ismert, hogy a Naptól érkező sugárzás és a földfelszínről kisugárzott energia különbségét bizonyos légköri gázok elnyelődése okozza. A testek kisugárzása a hőmérséklettől függ; a Naptól jövő sugárzás túlnyomórésze a 0,4–0,5 µm-es (látható) tartományban érkezik a földre. A legalább kétfő nagyságrenddel hidegebb földfelszín viszont az infravörös, 4–25 µm-es sávban sugároz. A hősugárzás egy részét a légköri, nem kondenzálódó üvegházgázok (NKÜG) nyelik el. E nyomgázok összetérfogata, amint nevük is utal rá, az 1 százalékot sem éri el; a legfontosabbak a metán, és a szén-dioxid (CO₂). A légköri víz – a vízpára és a felhők – szintén elnyelik a hősugárzást, sőt domináns mennyiségüknek megfelelően a legnagyobb elnyelők. (A hó- és jégkristályok nagy albedójuk miatt inkább nettó sugárzás-visszaverők.) Teljes légköri tömegének megfelelően a vízpára (2. ábra) nyeli el a legtöbb kisugárzott hőt, de az elnyelés mértéke szinte napjainkig vitatott volt. Ennek oka, hogy a pára mennyisége változókéony és nehezen mérhető. Mégis, sokan ma is

úgy vélik, hogy a vízpára az ÜH legfontosabb tényezője. (Erre a kérdésre később még visszatérünk.)

Az ÜH végeredménye, hogy az átlagos földi hőmérséklet sokkal magasabb, mint lenne akkor, ha a légkörből „eltűnnének” a NKÜG. Bár e gázok hatását mindannyian észleljük, csekély mennyiségük miatt mégis kevesen értik azt a működési mechanizmust, amivel módosítani képesek a globális légköri hőmérsékletet.

Arrhenius felfedezése. Arrhenius az ÜH-on alapuló melegezési elméletét a Stefan-Boltzmann törvény segítségével dolgozta ki. Eszerint a T abszolút hőmérsékletű test által kisugárzott hőmennyiség a hőmérséklet negyedik hatványával arányos. A tudós – korábbi gázabszorpciós mérések alapján – kiszámította a CO_2 sugárzás-elnyelését, majd az ebből származó, átlagos hőmérséklet-változásokat tíz szélességi körönként, és külön-külön a négy évszakra is. Az adott légköri CO_2 -koncentrációt (az említett 298 ppm-et) egységnyinek ($K=1$) felvéve, különböző K -értékre végezte el számításait; ezekből bennünket a $K=2$ eset érdekel.

Az eredmények szerint a kétszeresére növelt légköri CO_2 -hőelnyelése az Egyenlítőhöz közeli régióban kerekén 5, az Északi-sark közelében $6^\circ C$ -nyi hőmérséklet-növekedést okoz az északi féltekén, éves átlagban. A déli félteke felhősebb – a besugárzás kisebb –, ezért ott a hatás is kisebb. A részletes számításokból kitűnt, hogy a hatás általában télen nagyobb, mint nyáron, kivéve a sarkokhoz közeli területeket. Továbbá: a melegezés annál nagyobb, minél nagyobb a felszín albedója; tehát általában nagyobb a szárazföldön, mint a tenger felett; és legnagyobb a hóval-jéggel borított területeken. A nappal és az éjszaka közötti hőmérséklet-különbség annál kisebb, minél több a „szénsav” a levegőben. A hatás erősödik ott, ahol változik az albedó. Arrhenius szerint valószínű, hogy e másodlagos tényező a hatásmaximumot az alacsonyabb szélességekről a sarkok felé fogja tolni (lásd még: Wirth, 2006).

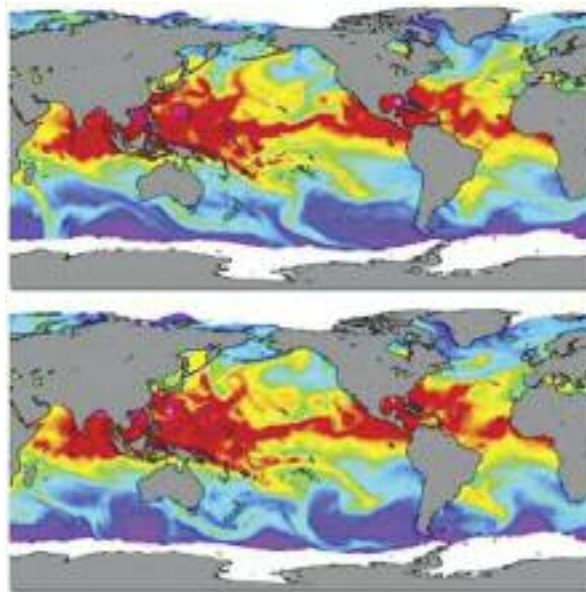
Ezt a ma már ősréginek tűnő elemzést az utóbbi évtizedek megfigyelései és műholdas mérései fényesen igazolják. A globális melegezés leglátványosabb következményei az elmúlt 30 évben: az északi-sarki jégmezők mintegy 36 százalékos csökkenése és a gleccserek világszerte tapasztalható olvadása.

Rio és a kilencvenes évek. Arrhenius után közel egy évszázadnak kellett eltelnie, mire a világ országai fölocsúdtak: tovább nem folytatható a Föld erőforrásainak zabolátlan kihasználása. A következmény a globális és regionális egyenlőtlenségek fenyegető elmélyülése. Az 1992. évi *Riói konferencia* volt a világ vezetőinek első olyan találkozója, amely felszólította az országokat: fogjanak össze a fenntartható fejlődés és a szegénység megszüntetésének közös céljai teljesítésére.

És már ekkor elhangzott a figyelmeztetés: *csökkentenünk kell az NKÜG kibocsátását, hogy megelőzzük a klímaváltozás várható katasztrofális következményeit.*

Rio óta a tudományos kutatás egyre határozottabban fordult a globális fölmelegezés problémája felé. Válaszokat kellett adni a következő kérdésekre: *mi a melegezés valóságos oka és hatásmechanizmusa; ha az antropogén CO_2 -emisszió a melegezés fő oka, mikor jutunk el a fordulópontig, ami után már nem lehetséges az elszabaduló folyamat megállítása, és addig is mit tehetünk a folyamat lefékezése és következményeinek enyhítése érdekében?*

A válaszok a földi légkör és az óceánok állapotának és kölcsönhatásainak a korábbinál sokkal pontosabb megismerését követelték. Az egyre sürgetőbb igények nyomására a fejlett államok jelentős forrásokat biztosítottak a kutatásra. Így a kilencvenes évek óta számtalan publikáció született a témakörben. Az eredményeket időről-időre az ENSZ által létrehozott *Klímaváltozás Kormányközi Bizottsága (IPCC)* gyűjtötte és fésülte össze, majd széles körű viták után publikálta. A feladat méreteire jellemző az alkalmanként 1000–3000 kutató bevonása. (A főbb IPCC-beszámolók megjelenése: 1989, 1995, 2001 és 2007.)



1. ábra. Az óceánok feletti vízpára mennyiségének becslése a műholdas SSMI segítségével.

(2005. augusztus 28. és 29., felső és alsó kép.)

A magas nedvességtartalom: vörös és fehér.

A legnagyobb értékek a Csendes-óceáni tájfunokkal és a Katrina hurrikánnal kapcsolatosak a Mexikói öbölben.

(Santer 2007)

A fenti kérdések a jövőre vonatkoznak – de a jövő érdekelte *Arrheniust* is. Korábbi adataiból feltételezte, hogy a 20. században újabb jégkorszak várható, ezért nem tartott a melegeledéstől. Ellenkezőleg: remélte, hogy hasznos, sőt szükséges lesz a mezőgazdaság számára. (A 19. század végén már jól ismerték Malthus 100 évvel korábbi munkáját a mértani haladvány formájában növekvő népességről, amelyet a számtani haladvány szerint növekvő élelmiszer-termelés nem képes kiszolgálni.) A robbanásszerű változásokat azonban, amelyeket éppen a tudomány 20. századi eredményei tettek lehetővé, ő sem láthatta előre. Úgy vélte, hogy a kétszeres CO_2 -szint elérése humán léptékkal mérve még sok generációt igényel.

Visszatérve az alapkérdésekre: megállapítható, hogy az IPCC által összegzett eredmények az utóbbi két évtizedben egyre magasabb valószínűségi szinteken demonstrálták az ember okozta melegeedés hipotézisét. De a 2007. évi jelentés elég sok kritikát váltott ki. Vitatták például a vízpára ÜH-nak valódi szerepét a felmelegedésben és a CO_2 hatásmechanizmusát, valamint az emissziós forgatókönyvek érvényességét. E kérdések már átvezetnek a közelmúlt új felismeréseihez.

Ujjlenyomatunk: a légkör „nedvesedése”. A légköri vízpára hőelnyelésére 20–30 évvel ezelőtt még csak durva becslések léteztek. Az IPCC 1990. évi jelentése például (forrás említése nélkül) 60–70 százalékos elnyelésre hivatkozik. A becslések azon a – többnyire burkolt, de hibás – feltevésen alapultak, hogy a teljes elnyelés (beleértve a $NKÜG$ -at is) a nyelők egyedi hozzájárulásainak összege. Olyan szélsőséges nézet is előfordult, amely „megállapította”, hogy a természetes üvegházhatás 98%-a a vízpárának és a felhőknek tulajdonítható, és a CO_2 -elnyelés kevesebb mint 2%.

Idézzük fel, hogyan is működik a pozitív visszacsatolási (3. ábra) mechanizmus. A légkört melegítik a $NKÜG$, főleg a CO_2 ; a melegebb levegő több vizgőzt képes befogadni; a magasabb víztartalom több hőt köt le, ami további melegeedésre vezet és így tovább. Eszerint tehát a légköri pára mennyisége nemcsak fluktuál (bizonyos természetes határok között), hanem növekszik is.

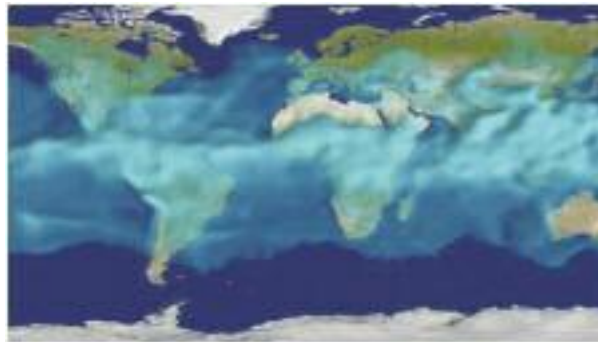
A gondolatmenet ellenőrzésére megfelelő, új minőséget képviselő műszer a *Speciális Mikrohullámú*

Képkalkoló Érzékelő (SSM/I). A troposzféra pára- és víztartalmáról összegyűjtött adatait a *Lawrence Livermore National Laboratory* kutatói 22 különböző klímamodellen futtatták, nyolc másik nemzetközi kutatócsoportot is bevonva az elemzésbe. A bonyolult részletekkel nem foglalkozhatunk; a lényeg, hogy a számszerű végeredmény megfelelt a várakozásoknak: 1988 és 2007 között a légkör páratartalma $0,41 \text{ kg/m}^2$ -rel növekedett (Santer et al., 2007).

A kutatásvezető szerint ez volt „a légköri vízpára mennyiségére vonatkozó első emberi ujjlenyomat-azonosítás”. Egyben az első olyan eredmény, amely számszerűen demonstrálta a vízgőz-visszacsatolás erejét. A fizika, a megfigyelések és a klímamodellek egybehangozva jelzik, hogy a felszíni 1 foknyi melegeedésre a vízpára 6-7,5 százalékos növekedéssel válaszol. Santer aláhúzza: e „légkör-nedvesedési folyamat” nem magyarázható a klíma saját változékonyságával. Következtetése szerint a mai nedvességtartalom a világóceán nagy része fölött végső soron az emberi tevékenység miatt növekvő CO_2 hajtóerejének köszönhető.

(A „humán ujjlenyomat” tanulmányok a mai klímaváltozás okait a tényleges megfigyelések és a modellezett változások szigorú összehasonlításával igyekeznek feltárni. A legtöbb tanulmány a földfelszín, a légkör és az óceánok hőmérsékleti változásaira összpontosít; vagy olyan paramétereket figyel, amelyek közvetlen kapcsolatban vannak a hőmérséklet változásaival.)

Dessler et al. (2008) a vízgőz felhalmozódását a NASA nagy felbontású, műholdas *Légköri Infra-vörös Szondájával* mérte. Az AIRS az első műszer, amely képes megkülönböztetni a páratartalom – a specifikus és a relatív nedvesség – eloszlását a légkör alsó 16 km-es rétegében. Kombinálva adatait a globális hőmérséklet megfigyelésével kimutatta, hogyan válaszolt a páratartalom a felszíni hőmérséklet változásaira 2003 és 2008 között. Meghatározta a vízpára-visszacsatolás globális energiatöbbletét, ami kerekén $2 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ -nek bizonyult. Ez nem tűnik soknak, de összeadva a teljes földfelszínre nagyon jelentős energia. Dessler szerint hatalmas a különbség a gyenge és az erős vízpára-visszacsatolással rendelkező légtömegek között. A 2 W hőfokozó hatása megfelel a klímamodellekkel kapott elméleti várakozásnak. A következtetés: a vízpára-visszacsatolás



2. ábra. A légköri vízpára változatos eloszlása a légkörben. A legtöbb pára (nyári és őszi időszakban) a trópusok környékén gyűlik össze, ahol a dél-ázsiai monszun zivatarai a nedvességet 3–4 km magasba is felsöprik. (NASA honlap)

képes arra, hogy a légköri CO_2 melegítő hatását megduplázza, így főszerepet játszik a klímaváltozásban.

Néhány hónappal később Dessler (2009) megerősíti korábbi eredményeit. Leszögezi, hogy a pára-visszacsatolás a felelős a következő évszázad melegezésének jelentős részéért, és erősségére több mint elegendő a bizonyíték.

A klímamodellek, amelyek a következő 100 évre jelentős, 2–4 °C-os melegezést jeleznek, szintén erős pára-visszacsatolást igényelnek. A kutató szerint e forgatókönyv hosszú távú következményei pusztítóak; a század vég sokkal melegebb is lehet, ha nem csökkentjük a CO_2 -kibocsátást. Sok kutató szerint ez a melegezés már ma is folyamatban van.

Dessler (2010) megvizsgálta a NKÜG növekedése miatt bekövetkező melegezés hatását a felhőkre is, amelyek szintén elnyelik a hőt, és további melegezést okoznak: ez a *felhő-visszacsatolás*. E többelhő ugyancsak felelős lesz a későbbi melegezés jó részéért. Adatait a Terra műholdon elhelyezett műszer, a CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) gyűjtötte; a meteorológiai értékelést a NASA Kutatási Elemző Központja végezte. E körfolyamatban a felhők vízcseppjei játsszák a légköri pára szerepét. A klímamodellek jól szimulálják a felhők reagálását a földi klíma változásaira. „A hőmérséklet pedig több fokot növekszik a következő 100 évben, ha az ÜG emissziója a mostani ütemben nő tovább” – teszi hozzá Dessler.

CO_2 : a globális termosztát. A vízpára és a felhők pozitív visszacsatolással „súlyosbított” ÜH-át tehát sikerült számszerűen is igazolni, így meglehetősen jó képünk van a melegezésben betöltött szerepükéről. De fel kell ismernünk, hogy a vízpára és a felhők elnyelésének ereje a CO_2 jelentős, de szintén sokat vitatott klímakényszerének függvénye. Ezért érdemes behatóbban áttekinteni magának a CO_2 -nek a hatásmechanizmusát: mi az oka, hogy ez a nagyon kis mennyiségben jelenlévő légköri nyomgáz ilyen meghatározó szerepet játszik a globális melegezésben?

A válaszáért a NASA kutatói (Lacis et al., 2010 és Schmidt et al., 2010) először is bonyolult számításokkal egyenként meghatározták az ÜG elnyelésé-

nek erejét (az ún. *spektrális átfedéseket*). Eszerint a domináns elnyelők, a vízgőz 50, a felhők 25, a CO_2 pedig 20 százalékkal járul a hősugárzás elnyeléséhez. (Az összes többi elnyelő szerepe gyakorlatilag elhanyagolható.)

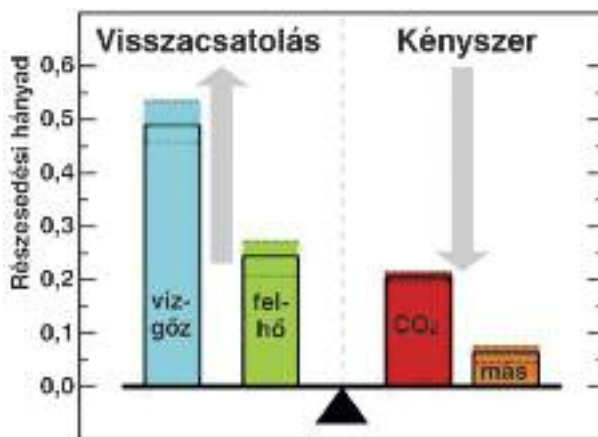
Annak érdekében, hogy kiderítsék, mi történne a

földi hőmérséklettel, ha az ÜH megváltozna (4. ábra), az egyik legjobbnak tartott GISS ModelE sugárzási változatát alkalmazták. A Science-ben megjelent numerikus kísérlet koncepciója egyszerű. A felszíni hőmérséklet, a vízpáratartalom, a tenger jégfedettsége, a planetáris albedó és más klímajellemzők időbeli menetének meghatározására lenullázták az összes NKÜG-t, és a globális klímamodelt előre futatták az időben.

A hatás a klímára már 10 napon belül jelentkezik. A globális hő-

mérséklet már az első évben 4,6 °C-kal csökken. Ötven év múltán a hőmérséklet: –21 °C. A vízpára az alapérték 10 százaléka (-2,2 mm-re) csökken. A felhőfedettség közel 31 százalékkal megnő; a globális tenger-jég arány pedig a kezdeti érték (4,6%) tízszeresére növekszik. A Föld globális albedója a mai 29-ről 45%-ra emelkedik. Ennek megfelelően csökken a napenergia elnyelése, súlyosbítva a további lehűlést. Az óceánfelszín egyharmada 50 évvel később még mindig jégmentes, bár a globális hőmérséklet tovább csökkent. Az Egyenlítő környezetében az óceán jégmentes marad; a felszíni hőmérséklet alig magasabb 1 °C-nál. (A hosszú távú stabilitás lehetőségét további számítások igazolhatják.)

A sugárzási kényszerek eltávolítása a földi ÜH összeomlását eredményezi; a Föld pedig belemerül a közel teljes eljegesedésbe. A vízpára – 50 százaléknyi, domináns hatása ellenére – a NKÜG folyamatos támogatása nélkül gyorsan kondenzálódik, és kihullik a légkörből. Szerepe a visszacsatolásra korlátozódik: önmagában nem képes fenntartani a földi üvegházhatást. Az ÜH erősségét a NKÜG, főleg az ebből 80 százaléknyi részt kitevő CO_2 vezérli. E „főkapcsoló” a termosztáthoz hasonlóan szabályozza a Föld egyensúlyi hőmérsékletét. A különbség az, hogy saját maga is aktív: melegíti a felszínt. Éppen ez a folyamatos melegítés teszi lehetővé, hogy a pára és a felhők fenntartsák saját légköri el-



3. ábra. Az egyes légköri összetevők tulajdonságainak hozzájárulása a földi ÜH-hoz, visszacsatolási és kényszerkategóriákra bontva. A referencia modell-légkör az 1980. szeptemberi helyzet. (Schmidt et al. 2010)

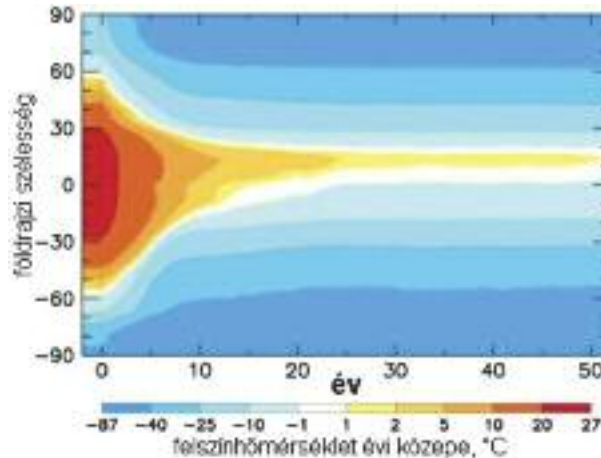
oszlásukat. Más szavakkal: a NKÜG szolgáltatják a hőmérsékleti környezetet, ami szükséges ahhoz, hogy a vízpára és a felhők visszacsatolási hatásai működjének. A szerzők szerint ez a szimulációs modell légkörfizikai kísérletnek tekinthető, ami értetetővé teszi az ÜH mechanizmusát: azt a kapcsolatot, ami a növekvő légköri CO_2 és a globális hőmérséklet között van.

A CO_2 szintje (2010-ben a szerzők szerint) 386,8 ppm. (A Mauna Loa Obszervatórium 2010 végén 395 ppm-et mért.) Ez a légköri CO_2 -koncentráció közel 40 százalékkal magasabb a „normális” interglaciális maximumnál; azaz jóval magasabb, mint bármikor az elmúlt fél millió évben. Továbbá sokkal magasabb, mint annak a kockázatnak a szintje, amelynél 25 százalékos valószínűséggel elérjük a

„veszélyes antropogén kölcsönhatás” (VAK) kockázatát (Wirth, 2004). A mostani gyors növekedés olyan, mint a termosztát éles felcsavarása, ami egyben biztosítja a folytonos melegedést. A CO_2 tehát „a” kulcsfontosságú nyomgáz: saját kényszere és a légköri víz által biztosított jelentékeny visszacsatolások fenntartó támogatásával meghatározza a földi ÜH erősségét.

És mi várható? A légköri CO_2 csökkentése sürgető, ha valóban el akarjuk kerülni a súlyos környezeti következményeket. De akarjuk-e valójában? Hiszen a „humán tendencia” világosan kirajzolódik: ragaszkodás a „business as usual” gazdaságfi-lozófiához a fejlett és a fejlődő országok részéről egyaránt. A CO_2 -kibocsátás a fenntartható növekedés (hamis) zászlaja alatt gyorsulva folyik tovább (lásd Koppenhága–Cancún, 2009–2010). Az utóbbi három évtizedben az évi 1–2 százalékos emisszió-növekedést csak a regionális társadalmi vagy a globális pénzügyi krízisek „enyhítették”. Mi több, a globálisan átlagolt kibocsátás elfedi a valóságos növekedési tendenciát. Az 1980 és 2003 közötti adatokból szerkesztett, egyszerű exponenciális összefüggés – az adott ország, illetve régió népességével súlyozott átlagos emisszió (pwa) – legalább évi 3 százalék volt (Wirth, 2005). E növekedési tendencia durva következményeit már a természet sokkal hatalmasabb erői fogják érvényesíteni – ellenünk. Voltak, akik valóban tudtak következtetni

a baljós jelekből. Szent-Györgyi Albert 1975-ben megjelent *Kis katekizmus* című esszéjében (*Bulletin of Atomic Scientists*) csak röviden figyelmeztet: „Vagy a túlnépesedést kell megakadályoznunk, vagy egy jobb és nagyobb bolygóra kell átköltöznünk”.



4. ábra. Zonálisan átlagolt évi közepes felszíni hőmérsékletek a NKÜG lenullázása után (Lacis et al. 2010)

Követelően ide kíváncsok két friss hír:

A Föld lakóinak száma 1998 és 2010 között 16,6 százalékkal, hatról hét milliárdra növekedett;

A szén-dioxid légköri koncentrációja 2010-ben 395 ppm-re emelkedett: vagyis közel 40 százalékkal magasabb, mint bármikor az utóbbi fél-millió évben. A kibocsátás az elmúlt évtizedben – a globális válság ellenére – közel 20 százalékkal növekedett.

Vajon mit mondana most Szent-Györgyi Albert?

Irodalom

- Arrhenius, S. 1896: On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground *Journal of Science* (fifth series). April 1896. vol 41.
- Dessler, A. E. 2010: A Determination of the Cloud Feedback from Climate Variations over the Past Decade. *Science* 10 December 2010. Vol. 330 No. 6010 pp. 1523–1527 DOI: 10.1126/science.1192546
- Dessler, A.E. 2011: Water Vapor Feedback Loop Will Cause Accelerated Global Warming, *Science Daily*. January 7, 2011
- Dessler, A.E., Zhang, Z., and Yang, P. 2008: The water-vapor climate feedback inferred from climate fluctuations, 2003–2008. *Geophys. Res. Lett.* 35. L20704, DOI: 10.1029/2008GL035333
- Lacis, A.A., Schmidt, G.A., Rind, D., and Ruedy, R.A. 2010: Atmospheric CO_2 : Principal control knob governing Earth's temperature *Science*. 330: 356–359. DOI:10.1126/science.1190653.
- Santer B. D. et. al., 2007: Identification of human-induced changes in atmospheric moisture content. *PNAS* 2007 104(39) 15248–15253
- Schmidt, G.A., R. Ruedy, R.L. Miller, and A.A. Lacis, 2010: The attribution of the present-day total greenhouse effect. *J. Geophys. Res.* 115, D20106, DOI: 10.1029/2010JD014287.
- Wirth, E., 2001: Az üvegházi háború kezdete: i.sz. 2000. *Természet Világa* 132(10)
- Wirth, E., 2004: Veszélyes antropogén kölcsönhatás, vagy a legnagyobb átverés?, *Természet Világa* 135(11)
- Wirth, E., 2005: CO_2 -emission: global data hide real tendencies. *Kézirat*
- Wirth, E., 2006: Svante Arrhenius és a jégkorszakok. *Természet Világa* 137(12)