

# KLÍMAVÁLTOZÁS, GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS, CO<sub>2</sub>-HATÁS – KRITIKUS SZEMMEL

Berényi Dénes

az MTA rendes tagja,  
MTA Atommagkutató Intézete  
berenyi@atomki.hu

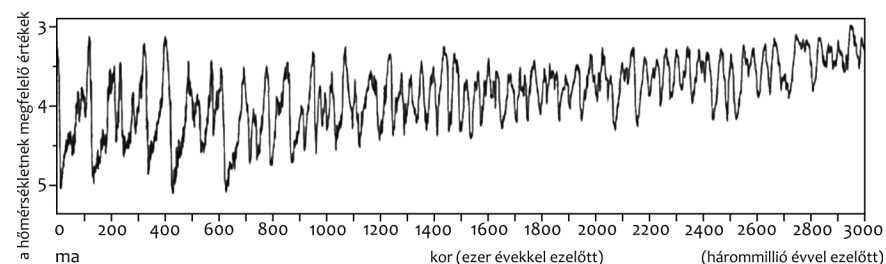
## Bevezetés

E sorok írója nem klimatológus, csak – mint fizikus – az utóbbi években igyekezett követni a címben szereplő jelenséggel kapcsolatos fejleményeket: a tudományos eredményeket és a társadalmi reagálásokat, s az ezzel kapcsolatban kialakult véleményét igyekszik összefoglalni ebben a cikkben. Megközelítem tehát nem szigorúan szaktudományos, de fizikusként a természettudományos szemlélettel és magatartással közelítem meg a kérdést.

Sajnos a globális felmelegedés problematikájához ma nehéz és „veszélyes” a természettudományban kötelező objektivitással közölni. Egy-két évtized alatt ez olyan „dogmává” vált, amelyért vér folyik az utcán, s a vele kapcsolatos tüntetések során rohamrendőrök is bevetésre kerülnek. Bjørn Lomborg, a Dán Környezetvédelmi Értékelő Intézet igazgatója szerint: „Aki ma nem támogatja a globális felmelegedésre kínált radikális megoldásokat, azt a társadalom kiveti magából, felelőtlenek és az olajlobbi kiszolgálójának tekinti.” (Lomborg, 2008.) Bár mintha újabban több kritikus hang hallatszana a szóban forgó kérdéssel kapcsolatban – legalábbis tudományos körökben.

Természetesen nem lehet tagadni, hogy a kérdés háttérben nem kis gazdasági érdekek is meghúzódnak, és tagadhatatlan, hogy egyes természettudósok és ezek bizonyos csoportjai is annyira elkötelezték magukat ebben az irányban, hogy látásmódjuk egyoldalúvá, szelektívvé vált, és – úgy látszik – bizonyos adathamisítástól vagy legalábbis bizonyos pontatlanságoktól, az adatok célzatos csoportosításától, értelmezésétől sem riadnak vissza, legalább is az újsághírek szerint. Nem példanélküli ez sajnos a tudományban. Gondoljunk csak például a pildowni lelettel kapcsolatos hamisításra, vagy utalhatunk a közelmúltban lezajlott dél-koreai összejtbotrányra. Az is előfordul, hogy „nem a trendnek megfelelő” eredmények közlését visszautasítják egyes folyóiratok – konkrét esetben épp a klímaváltozás tárgykörében is (Major, 2007).

Mindezek ellenére, sőt éppen ezért, érdekes a kérdést elfogulatlanul, *sine ira et studio* megvizsgálni, és ha nem is végső következtésre jutni, de megpróbálni a „dogmát” a természettudományban megkövetelt módon megkérdőjelezni. Távrolról sem azt akarom mondani, hogy az ebben az irányban eddig végzett kutatások haszontalanok lennének,



1. ábra • A hőmérséklet változása a Földön az utóbbi hárommillió évben az oxigén 18 és 16-os izotóparányának mérése alapján az antarktiszi jégfuratokban és mélytengeri üledékekben (Raymo – Huybers, 2008)

vagy ezeket abba kellene hagyni. Egyáltalán nem, sőt... A kérdéssel kapcsolatos kritikai megközelítést azonban nem szabad feladni.

Mindenképpen elgondolásra kell hogy készítsen mindenkit, hogy nemrég harmincegyezer tudós írt alá egy petíciót, „amely két-ségbe vonja, hogy a globális felmelegedés emberi tényezők következménye”. Az együttesen közel kétszáz ezer tagot tömörítő Európai és az Amerikai Fizikai Társaság pedig 2009. november 30-án nyilatkozatot tett közzé: „... a klímával kapcsolatos kérdés komplexitása [...] nehezé teszi a pontos előrejelzéseket...” (News and Informations..., 2009) Továbbá a Föld évének legfontosabb üzenete: „A Föld környezeti gondjai nem egyszerűsíthetők le egyetlen problémára, a globális felmelegedésre...” (MTA Hírlevél, 2010. január 28.)

Az Amerikai Geofizikai Unió 2009. évi tizenhatezer résztvevős konferenciáján az emberi tevékenységektől eredő CO<sub>2</sub>-okozta globális felmelegedéssel kapcsolatban nemcsak erősen kételkedő álláspontok jutottak kifejezésre, de volt, aki az ügy erőltetését egyenesen a liszenkoizmushoz hasonlította (Szarka, 2010).

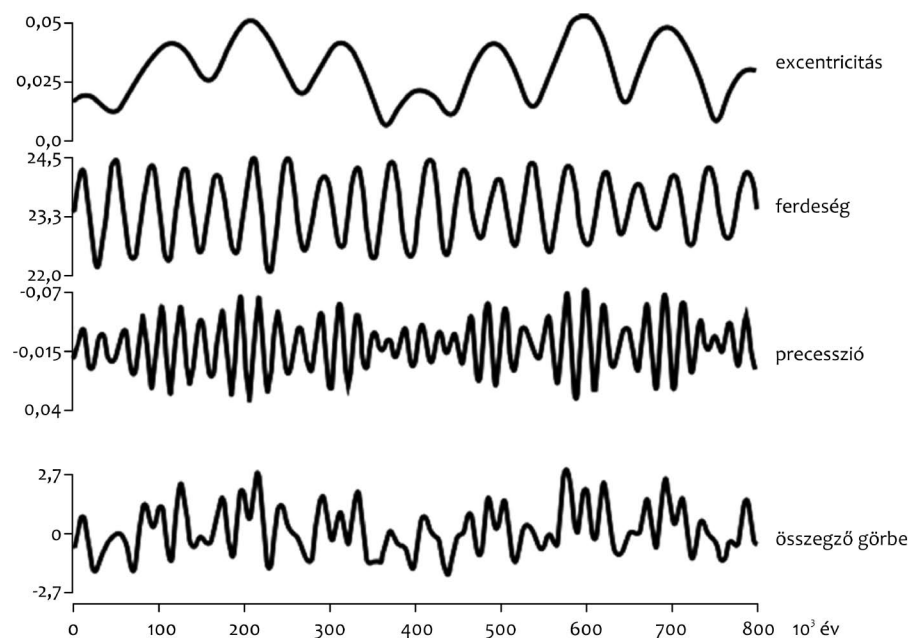
## Van-e klímaváltozás?

Mindenekelőtt a fenti címben jelzett kérdésre kell felelnünk. Ehhez először is tekintsünk vissza a Föld történetére.

Ma már több módszer is van, amelyek segítségével a kor- és hőmérséklet-meghatározás kombinálásával többé-kevésbé, meglehetősen biztonsággal megállapíthatóak mintegy hárommilliárd évre visszamenőleg a különböző földtörténeti korokban a hőmérsékleti viszonyok<sup>1</sup> (sőt más éghajlati elemek viselkedése is nyomon követhető). Itt nem térünk ki ezekre a módszerekre, csak megemlíjük a jégfuratokban, továbbá az üledékes kőzetekben, illetve az ősmaradványokban az oxigén-izotóparány méréseket és gázárányok vizsgálatát, valamint a tengerfenéken, tavakban és folyókban az üledékek rétegzésének vizsgálatát, különösen bizonyos hőmérsékletérzékeny fajok időbeli eloszlását (lásd például Kutschera, 2010). Természetesen az egyes módszerek hibája különböző, és ismereteink bizonytalansága is változik a hőmérsékletre vonatkozólag az egyes földtörténeti korokban, illetve ezen korszakok bizonyos szakaszaiban is változó. Minél messzebb megyünk visszafelé az időben, ezek az adatok általában annál pontatlanabbak.

Példaként nézzük az 1. ábrát, amely az elmúlt hárommillió évre vonatkozólag mutatja be a földi átlaghőmérséklet változását. Az első dolog, amit az ábra alapján megállapíthat-

<sup>1</sup> Ezt tekintik általában a klimatikus viszonyok fő jellemzőjének.



2. ábra • A Föld pályaelemeinek változása alapján számított hőmérsékletváltozások az utolsó 800 ezer évben (Császár et al., 2008 cikkéből)

tunk, hogy a hőmérséklet, és ennek megfelelően a klíma állandóan változik. A kissé pontosabb vizsgálat azt is mutatja, hogy a változások egy része periodikus vagy legalábbis kvázi-periodikus. Másrészt megállapíthatunk hosszabb távú aperiodikus változásokat is: egészen a legutóbbi 600–800 ezer évig tendenciaszerűen a hőmérséklet csökkenését láthatjuk (amelynek oka különben ismeretlen), majd ettől kezdve a hőmérséklet – megintcsak tendenciaszerűen – nem csökkent, de a szuperonáldott változások amplitúdója növekedett az előző szakaszhoz képest. *A fentiekből látjuk tehát, hogy klímaváltozások<sup>2</sup> állandóan, folyamatosan jelen voltak a Föld története során.*

<sup>2</sup> Klíma (éghajlat) és időjárás között természetesen különbséget lehet és kell tenni. A klíma pontos definíciójával kapcsolatban mindenesetre a kérdés szakértői között is viták vannak. „Munkadefinícióként” valósí-

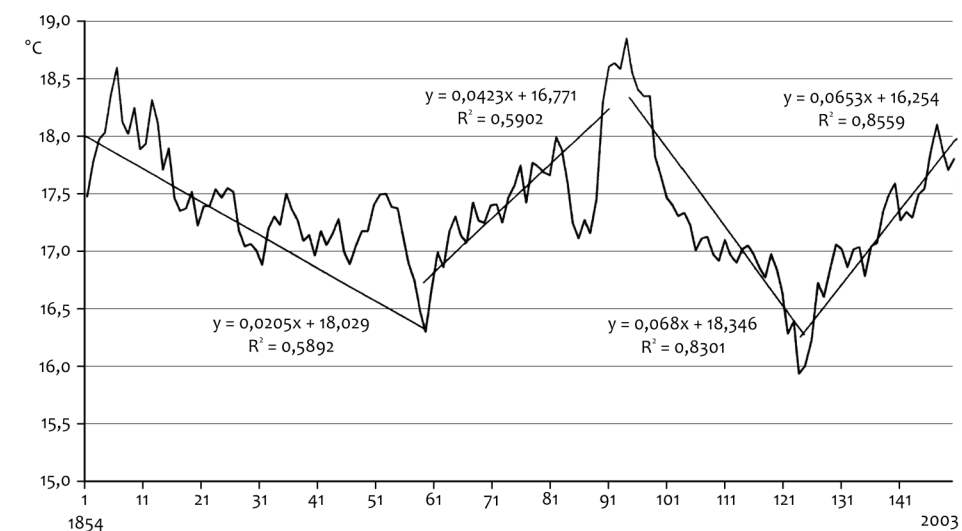
Hogy a periodikus változások honnan erednek, és egyáltalán, a meglehetősen szélsőségesnek tűnő változásnak – többek között – mi az oka, azt – legalább részben – jól szemlélteti a 2. ábra. Bizonyos szélsőségesnek látszó, de periodikus változásokat a Föld pálya- és tengelyirány-módosulásai okozzák. Látható, hogyha van is emberi hozzájárulás a klímaváltozáshoz (erre vonatkozólag lásd a későbbieket), a változások alapvetően embertől független, kozmikus erők hatására történnek. Ezek egy részét ismerjük (lásd a 2. ábrát), de számos további valószínűleg nem ismerünk. Hogy csak egy ilyen lényeges kérdést említsünk, nem ismerjük például a földtörténet során jelentkező 10–100 millió éves jégkor-

núleg elfogadható, hogy a klíma az időjárás tartósan (viszonylag tartósan) megnyilvánuló jellegzetességeit jelenti. Van olyan felfogás, amely szerint a klíma a harminc éven keresztül uralkodó időjárás.

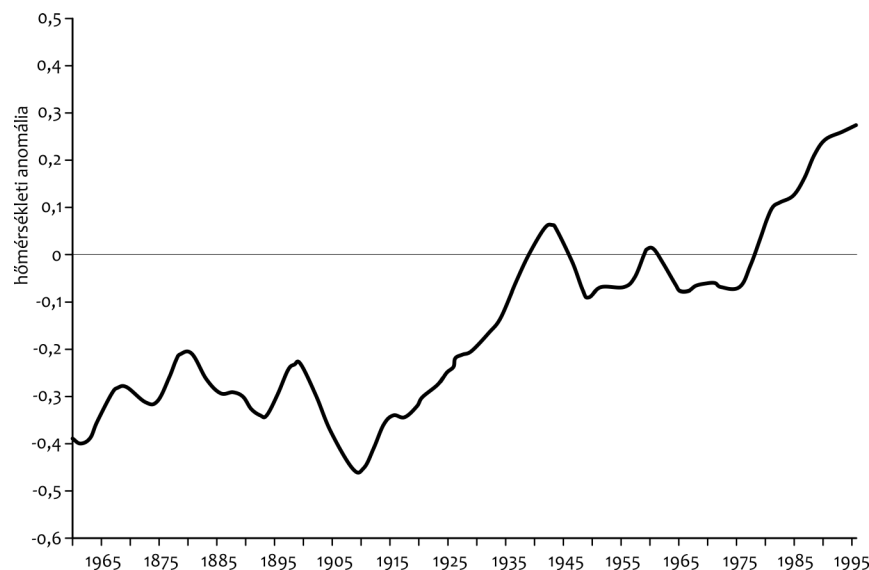
szakok („hűtőház”) okát (ismereteink szerint legalább négy ilyen fordult elő a Föld történetében). Olyan megállapítások tehát, mint például az a kijelentés, hogy „... az időjárás nagyléptékű alakítói a múlt század ötvenes éve óta mi magunk vagyunk” (Végh et al., 2009), a második világháború utáni „nagy természetátalakító tervekre” emlékeztet, amikor a folyók folyási irányát is meg akarták változtatni, és azt gondolták, hogy bármit megtehetnek a természetben és a természettel. A fenti kijelentés tehát erre a magatartásra emlékeztet – csak negatív változatban. (Még ha legalább azt írják, hogy *mi emberek is hatással vagyunk az időjárás alakulására!!!*)

Visszatérve az első és hasonló ábrákra, bármilyen meglepő, de tagadhatatlan, hogy akár hőmérsékletemelkedést, akár -csökkenést meg lehet állapítani – különösen rövid időtartamokra – tetszés szerint (lásd például a 3. ábrát), attól függően, hogy milyen idő-

tartamot választunk. Az ilyen megállapításoknak tehát, hogy például 1981–2000 között a globális hőmérséklet 0,7 °C-kal nőtt, szinte semmitmondóak (Mika, 2007), mert könnyű – akár a közelmúltban is – hasonló periódusokat találni, amelyek során a hőmérséklet a mostaninál még gyorsabban emelkedett. Másrészt viszont 1945-től 1975-ig egy olyan hideg átlaghőmérsékletű periódus következett be (lásd a 4. ábrát), hogy szélteben-hosszában „jégkorszak” beköszöntéséről beszéltek, cikkeztek világszerte. Hasonló a helyzet, amikor ilyeneket olvashatunk, hogy például a hőmérséklet napjainkban „... messze magasabb, mint az utóbbi 650 ezer évben bármikor.” (Mika, 2007) A 650 ezer év egyébként kevesebb, mint a földtörténet mintegy két század százaléka. Tegyük hozzá, hogy hasonlóan magas értékek a középkorban is előfordultak az első ezredforduló környékén. Másrészt, ha csak az 1. ábrára tekintünk, láthatjuk, hogy ha a 650



3. ábra • Hőmérsékletváltozás az év nyári szakaszára az utolsó mintegy 150 évben Debrecenben. Látható, hogy különböző szakaszokat választva csökkenő és emelkedő hőmérsékleti tartományokat kapunk. Ezekon belül is – tetszés szerint – találhatunk emelkedő és csökkenő tartományokat (Szász, 2009).



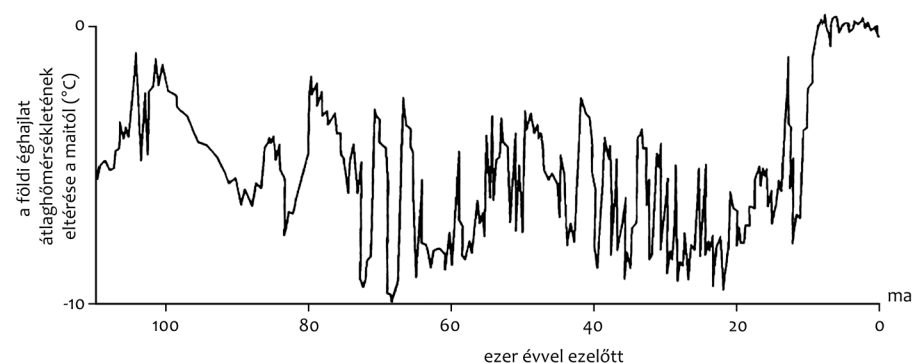
4. ábra • A globális középhőmérséklet változása 1860-tól napjainkig a WMO közlése alapján (WMO. No. 838, 1995)

ezer éven túl megyünk visszafelé, bizony találhatunk magasabb vagy ugyanilyen magas értékeket is, mint a maiak. Nem beszélve arról, hogy a „...kréta időszak idején a globális átlaghőmérséklet 10 °C-kal haladta meg a jelenlegit” (Császár et al., 2008). Az okát ennek sem ismerjük, mint ahogy az ún. „hólabda-elmélet” szerint a Föld története során megvalósult globális eljegesedés okát sem, amely utóbbi esetleg többször is bekövetkezhetett, amikor is a Föld felülete egészen eljegesedett. Ennek létrejöttét bizonyítja, hogy Afrikában is találtak erre utaló nyomokat. Egyébként annak okát sem ismerjük, hogy végül is hogy és miért ért véget ez a periódus.

Amit tehát egyértelműen újra le kell szögeznünk: a Föld klímája állandó változásban van, hol gyorsabban, hol lassabban váltakozik. Tehát amikor globális klímaváltozásról beszélnek manapság, ebben lényegében nincs semmi különösebb újdonság, hacsak az nem, hogy most jöttünk rá, vagy legalábbis most

került előtérbe a földi klíma állandó változásának a ténye. Másrészt viszont napjainkban nemcsak globális klímaváltozásról, de (első-sorban!?) globális felmelegedésről van szó. Erre a kérdésre a továbbiakban visszatérünk.

Különben fontos itt megemlíteni, hogy egészen kb. a 19. század végéig valóban változatlanak tekintették az éghajlatot. Ez pedig azzal függ össze, hogy a legutóbbi mintegy tízezer évben a földtörténet előző korszakaihoz képest közelítőleg – meglepően – konstans volt a Föld klímája (lásd 5. ábra). Bizonyára nem véletlen, hogy a Föld – részben még ma is „virulens” – nagy kulturái éppen ebben az időszakban tudtak kifejlődni. Végül azt is meg kell jegyeznünk, hogy erre a viszonylagos stabilitásra sem ismeretes a magyarázat, mint a földtörténet folyamán bekövetkezett – és az előbbieken már említett – számos más globális éghajlatváltozásra sem. Érdekes megemlíteni különben, hogy a világmérsékletet is egészen a 20. század elejéig



5. ábra • A Föld átlaghőmérsékletének eltérése a maitól az utolsó mintegy százezer évben (Major, 2010)

statikusnak tekintették, valójában csak a század második felében „nyert polgárjogot” a tudományban az ősröbbség-elmélet.

#### Mi a klímaváltozás oka?

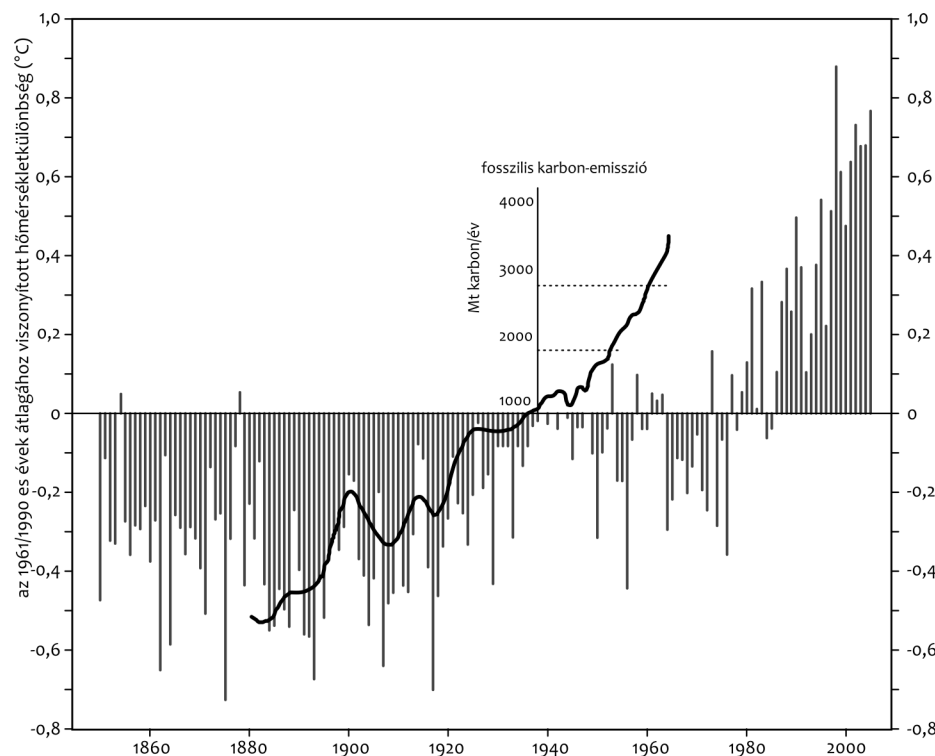
Az előbbieken már láttuk, hogy a földi klíma állandó változásban van. Láttuk azt is, hogy ennek okait csak részben és hiányosan ismerjük, esetleg csak többé-kevésbé megbízható feltevésekre vagyunk utalva.

Ám kétségtelen: a földtörténet során a hőmérséklet változása és a légkör CO<sub>2</sub>- (és más ún. üvegházi gázok, mindenekelőtt a vízgőz és a CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O stb.) tartalma többé-kevésbé együttmozogni látszik. Hangsúlyozzuk, hogy többé-kevésbé. Mert például „...a nem kiugróan meleg kambrium elején a szén-dioxid-tartalom a mai érték tizennyolcszorosa volt, míg a jóval melegebb kréta időszakban csupán hatszorosa.” (Császár et al., 2008) Jelenünkhöz közeledve: „Ugyancsak problémás egyértelműen magyarázni a 15–18. század folyamán, az ipari forradalom előtti globális és Kelet-Európában tapasztalt lehűlést, amely kb. 1,5 °C tartományban mozgott.” (Reményi, 2010) Vagy: a közelmúltban 1940 és 1970 között nőtt a légkör CO<sub>2</sub>-tartalma, a Föld átlagos felszíni középhőmérséklete viszont csökkent (6. ábra).

Az alapvető kérdés, hogy mi az oka a szén-dioxid időnkénti felszaporodásának a földtörténet során. (Szarka, 2010) Tudniillik, ez éppen úgy lehet ok, mint okozat. Szemben azzal a véleménnyel, hogy „...az üvegházhatású gázok koncentrációjának változása okozta a hőmérséklet változását, ez fordítva is lehetett, ugyanis a szerves anyagok bomlásának üteme hőmérsékletfüggő, tehát a hőmérséklet változása is lehet oka a metán és szén-dioxid légköri koncentrációja változásának.” (Major, 2010) Valószínű, hogy egy pozitív visszacsatolás jellegű folyamatról van szó. De hogyan kezdődik az egész, és főleg, hogy lesz vége? Mindenesetre az is megállapítható továbbá, hogy a CO<sub>2</sub>-koncentráció maximumai egybeesnek a vulkáni tevékenység maximumaival a földtörténet során. (Császár et al., 2008)

És most elérkeztünk a kulcskérdéshez. Az egész mai globális klímaváltozásról szóló „narratíva” azon alapszik, hogy napjainkban az emberi tevékenység következtében nő a légkörben a CO<sub>2</sub> koncentrációja, és ez globális hőmérsékletemelkedéshez vezet. Valójában senki nem tudja biztosan megmondani, hogy végeredményben az utóbbi mintegy százötven évben, illetve az utóbbi harminc évben észlelt koncentrációnövekmény mitől szár-





6. ábra • A légkör  $\text{CO}_2$ -tartalmának és a földfelület átlaghőmérsékletének alakulása 1850 és 1990 között (Reményi, 2010 alapján). Folytonos görbe: fosszilizszen-emisszió, függőleges vonalak: az 1961–1990-es évek átlagához viszonyított hőmérsékletkülönbség.

mazik, illetve legfeljebb csak becsülni lehet, hogy hányadrésze tulajdonítható az emberi tevékenységnek. Jól ismeretes, hogy a  $\text{CO}_2$ -nek számos forrása van: „...a földi vulkáni tevékenység, a biomassza levegőn való bomlása, a kőzetek mállása és az emberiség hozzájárulása a növekedéshez...” (Reményi, 2010, 48.) A vulkánkitöréseknél vízgőz és szén-dioxid, továbbá kén-dioxid, hidrogénklorid és hidrogénfluorid is kerül a levegőbe.

Még az egyébként a  $\text{CO}_2$  okozta globális felmelegedést elfogadó Czelnai Rudolf is ezt írja erre vonatkozóan: „Az antropogén hatás tudományos bizonyítása azonban nehéz feladat.” (Czelnai, 2009, 237.) Ismeretes, hogy

a földtörténet során a vulkánkitörések jelentősen befolyásolták a Föld klimatikus viszonyait. (Császár et al., 2008; Vörös – Pálffy, 2008) Nemrégiben például, a Pinatubo-vulkán kitörésekor  $3\text{--}4 \text{ W/m}^2$  volt a besugárzás-csökkenés a Föld felületén (összehasonlítva az ún. napállandó értéke  $1370 \text{ W/m}^2$  [Császár et al., 2008]) Ezzel kapcsolatban jegyzik meg az utóbbi szerzők idézett cikkükben, hogy „...ugyanilyen nagyságrendű melegedéshez az ipari forradalom előtti légköri szén-dioxid-tartalom megkétszereződésére lenne szükség, azaz egyetlen vulkánkitörés jelentősebb változásokat képes előidézni, mégpedig nagyon rövid távon”. (Császár et al., 681.)

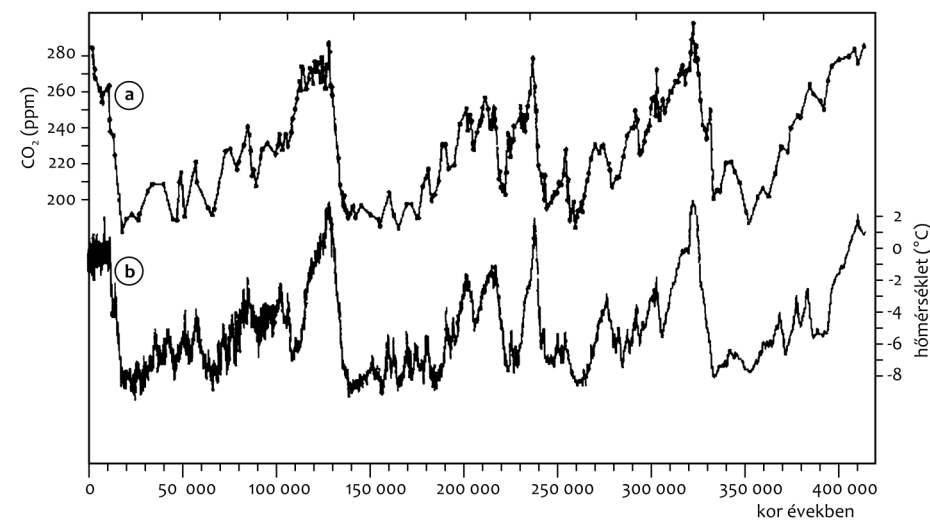
Igaz, hogy ma a  $\text{CO}_2$ -tartalom ma magasabb, mint a legutóbbi 650 ezer évben bármikor (379 ppm), és ugyanez igaz a metánra is, de mintegy 10–15 ezer évvel ezelőtt többfokos (mintegy  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) hőmérsékletemelkedés következett be, hasonlóan intenzív  $\text{CO}_2$ -tartalom növekedéssel (lásd az 5. és a 7. ábrát), amikor még emberi hozzájárulásról egyáltalán nem beszélhetünk. Tegyük hozzá, hogy – mint tudjuk, és az ábrák ezt szemléltetik (lásd mindkét ábrán a napjainkhoz közel eső tartományt) – a szén-dioxid-tartalom ezután is tovább emelkedik, míg a hőmérséklet lényegében alig változik, illetve kisebb változásokat mutat, és ebbe nagyon jól beleilleszkedik az ipari forradalom óta számított  $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$ -os nem egyenletes emelkedés, illetve 1975-től a mintegy  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$ -os növekedés, amely valóban csak kis változásnak számít akár például a középkorban tapasztalt  $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$  változáshoz képest.

Föltétlenül megemlítendő itt Reményi Károly megfontolásai (Reményi, 2010), me-

lyek azon alapszanak, hogy a szén-dioxid emissziós és abszorpciós tényezője a koncentrációval telítettségi görbét mutat. Eszerint a légköri koncentráció növekedésével a  $\text{CO}_2$  egyre kevesebbet abszorbeál a sugárzásból, és így az ettől származó felmelegedés jelentősége fokozatosan csökken.

Láttuk az eddigiek folyamán, hogy a földi klíma változásának mennyi ismert, kevésbé ismert és – jogosan feltételezhetően – ismeretlen oka van (jogosan, hiszen – mint rámutattunk, vannak olyan jelentős megfigyelt változások a klímában, amelyeknek az oka(i) ismeretlen(ek). Ráadásul ezek sokszor ellentétes irányú hatások eredményeként alakulnak ki, az éppen aktuális klimatikus viszonyok, sőt végeredményben az egész folyamat adott esetben kaotikussá is válhat (Major, 2007).

A fentiek ismeretében felmerül a kérdés, hogy miért a  $\text{CO}_2$  (és az üvegházhatású gázok) koncentrációja került előtérbe, és lépett elő mindenféle klimatikus változás szinte egyet-



7. ábra • Az átlagos földi középhőmérséklet és a légkör  $\text{CO}_2$ -tartalmának változása az elmúlt 420 ezer év során (Major, 2010 alapján)

len elismert tényezőjévé. Ennek természetesen többféle oka is lehet, de talán a szén-dioxid-koncentráció viszonylag könnyű számításában/mérésében keresendő az egyik ok. A másik, amit sokan a fő oknak tekintenek, a hőmérsékletváltozás és a CO<sub>2</sub> légköri koncentrációjának közelítő „együttmozgása”. Láttuk az előbbiekben, hogy ez az „együttmozgás” nagyon is csak közelítő jellegű, és egyáltalán nem tisztázott, hogy melyik az ok és melyik az okozat. Ehhez még hozzá kell tenni, hogy csak becslés szinten ismeretes, miszerint a jelenlegi CO<sub>2</sub>-koncentrációból mennyi a természetes és mennyi az antropogén eredetű, illetve, hogy mekkora az antropogén eredetű hányad jelentősége a klímaváltozás szempontjából.

Érdeemes összefoglalásként Walter Kutschera-t idézni: *„Jelenleg, lehetetlennek látszik a klímatisztaságát az első elvekből levezetni, mivel egyszerűen nem értjük eléggé a klímatisztaságát mint egészet.”* (Kutschera, 2010, 699.)

Mik a klímaváltozás hatásai?

Akik a CO<sub>2</sub> okozta felmelegedés (klímaváltozás!) álláspontján vannak, nem szűkölködnek az apokaliptikus képekben a folyamat hatását illetően. Így tengerszint-emelkedés, viharok, árvizek, szárazságok, állatfajok kipusztulása, a Golf-áram megszűnése, gleccserek olvadása, a jégsapka eltűnése a sarkokon, ivóvízhiány és mindezek negatív társadalmi következményei (például IPCC Report, 2007; Végh et al., 2009). Mindezen jelenségek előjeleit már nap mint nap látni is vélik.

Mind az előjelekkel, mind a hatásokkal azonban ajánlatos óatosan bánni. Ezekkel rendre problémák jelentkeznek. Például miközben Grönland hőmérséklete az utóbbi időben 4 °C-kal emelkedett, ugyanakkor az

Antarktiszon hidegebb lett az időjárás (Sciama, 2008). Az amerikai Hó- és Jégkutató Központ legújabb jelentése szerint legújabbban hízott az északi-sarki jégpáncél, a francia Geofizikai és Oceanográfiai Kutatólaboratórium megállapítása szerint pedig a gleccserek a vártnál lassabban olvadnak (Tudományos Hírlével, 2010, 2.). Egyébként is, az elmúlt hatszázézer évben több eljegesedés és felmelegedés játszódott le, amely utóbbiak során a sarki jégpáncél visszahúzódott (Major, 2010). (Természetesen ekkor még semmiféle antropogén hatásról nem beszélhetünk! Éppen úgy nem, mint a kb. tízezer éve bekövetkezett mintegy 8 °C hőmérsékletemelkedésnél.) A mérések szerint 2002 és 2009 között a Golf-áramlás 20%-kal erősödött, míg a pesszimista jóslatok a gyengülését jelezték előre (Végh et al., 2009). Az állatfajok kipusztulásával kapcsolatban egyik jellemző példa a jegesmedvék története, amelyek pusztulásáról érdekes képekben számoltak be. A tény azonban az, hogy a jegesmedvék száma globálisan emelkedett az utóbbi években, a jegesmedvék húsz populációja közül csak egynél vagy kettőnél mutatkozott csökkenés, amelyek viszont ott élnek, ahol az utóbbi ötven évben *csökkent* a hőmérséklet (!) (Lomborg, 2008). Másrészt a legújabb adatok szerint a sarkvidéken általában is nőtt mind az emlősök, mind a madarak, mind a halak száma az utóbbi negyven évben.

A tenger szintjének emelkedésére vonatkozó számításoknál figyelembe kell venni olyan sokszor elhanyagolt tényezőket, hogy például a tengervíz szintjének emelkedését elsősorban a víz hő okozta tágulása idézi elő (Abonyi, 2008), szerepet játszanak továbbá ún. összetett magasságváltozással járó folyamatok is, de nem felejtkezhetünk meg arról sem, hogy az olvadás hőelvonással jár (olvadáshő!). Egyéb-

ként a globális hőmérsékletemelkedés egyik sokat emlegetett veszedelmes hatása a tengerszint emelkedése, és ennek következtében bizonyos szigetek és part menti területek víz alá kerülése. És valóban, a földtörténet a nem is olyan távoli múltban szolgáltatott erre példát. A százezer éves nagyságrendű glaciálisok és köztük a mintegy 10–20 ezer éves melegebb interglaciálisok idején – „*per vias naturales*” – 100 méternél nagyobb tengerszintváltozások következtek be (Császár et al., 2008).

Általában a hőmérsékletemelkedésnek csak a káros hatásait szokás hangsúlyozni, pedig minden bizonnyal több ember hal és halt meg a kihűléstől, a megfagyástól, mint a hőtől (Lomborg, 2008). Az is valószínű ma már, hogy bizonyos kultúrák kifejlődését és virágzását a felmelegedés tette lehetővé. Nem is beszélve arról, hogy bizonyos területeken bekövetkező termésvesztéseket ki- vagy túlkompenzálhatnak más területeken leartható nagyobb termések (akár évenkénti többszöri aratás).

A történelmi időkre visszatekintve ismeretes, hogy az első ezredforduló körül és a második évezred első századaiban – mint már említettük – egy melegebb periódus következett be, ekkor Angliában közel 1 °C-kal, Közép-Európában 1–1,5 °C-kal volt melegebb, mint a 20. században. Ennek következtében nőtt a földek eltartóképessége, és gyarapodott a népesség. A következő évszázadokban azonban hidegebbre fordult az időjárás („kis jégkorszak”), és ennek következtében éhínségek, sőt éhhalál következett be Európában (Pósán, 2009).

Végül, ami „a legdédelgettebb előjeleket” illeti, a rendkívüli időjárási jelenségeket, viharokat, áradásokat stb., ezekben tényleg nincs hiány napjainkban világszerte. A prob-

léma csak az, hogy minősíthetjük-e ezeket egy nagymértékű éghajlatváltozásnak, (illetve annak előjeleinek) vagy az időjárás „természetes” kilengéseiről van szó. Az időjárás *tartós* megváltozása esetén beszélhetünk éghajlat- (klíma-) változásról, de hogy mit tekinthetünk e vonatkozásban tartósnak, az meglehetősen problematikus (lásd korábbi lapalji megjegyzésünket!).

Mindenesetre óvatosságnak kell lennünk ezzel kapcsolatban. *„... a laikus ember szokása az, hogy a megszokott időjárástól már kissé eltérő kilengéseket is rendkívülinek gondolja és jellemzésére túlságos bőséggel alkalmazza a felsőfokot, akkor midőn arra a középfok is sok.”* *„A nemrég még kiszáradástól, elsivatagosodástól féltett Alföldet vadvizek lepték el az Alföld képe 1940 tavaszán hasonlított a szabályozás előtti állapothoz. Az 1935-ben kiszáradt kutak megteltek vízzel, mert a talajvíz »eddig emberemlékezet óta nem tapasztalt« magasságot ért el. De nem csak a téli hideg, a hó, az eső volt rendkívüli, de alig találunk olyan időjárási elemet, amelynek az utóbbi két évben feljegyzett értékei ne jelentenének rendkívüliséget nem csak az emberi emlékezet, amely tudvalevően különösen rendkívül rövid, de az időjárási feljegyzésekben is.”* – írta egy debreceni meteorológus professzor 1942-ben (Berényi, 1942).

Napjainkban viszont Major György írta le ezzel kapcsolatban a következőket: *„... az átlagostól nem is nagyon eltérő időjárási eseményekre sem vagyunk felkészültek és a felkészületlenség hamis magyarázatként az éghajlatváltozásra hivatkozunk.”* (Major, 2007)

Különben ismeretesen a földtörténet során – mint már említettük – megkülönböztetünk tíz-, sőt több százmillió év időtartamú éghajlati periódusokat. Ilyenek voltak a jégkorszakok („hűtőházi klímazakaszok”). A Föld életében eddig négy ilyen szakasz fedez-

hető fel. Ezen belül vannak aztán százezer év nagyságrendű „glaciálisok”, amelyeket tízezer év körüli ún. interglaciálisok választanak el (Császár et al., 2008). Rendkívüli katasztrófális események (vulkánkitörések, kisbolygó-becsapódások, lokális hatások is „belezavarhatnak” a képbe (Császár et al., 2008).

Az utolsó, a mostanit megelőző interglaciális szakasz különben kb. 120 ezer éve ért véget. Ebben az időben például Grönlandon a jégfuratok vizsgálata alapján közel 5 °C-kal magasabb volt az átlaghőmérséklet a maihoz viszonyítva (ismét megjegyezzük: antropogén okokról akkor természetesen nem lehetett szó!) (Tudományos Hírlevél, 2009, 3.).

De hogy az egyes, viszonylag rövid időszakokon belül milyen szélsőségek fordulhatnak elő, arra csak két példa. A középkor kedvező éghajlatú, már említett szakaszában Reiner, a lüttichi Szent Jakab kolostor szerzetese a következőket jegyezte fel 1195-ben: „*Szent Jakab napján (július 25.) óriási itéletidő tombolt, ami minden terményben hatalmas kárt okozott. Az öregek közül senki sem emlékezett ilyen súlyos pusztító viharra.*” (Pósán, 2009) A 18. század általános tendenciáját tekintve egy meglehetősen hűvös – és ennek megfelelően esős időszak része. Mégis a 18. század végén szörnyű aszály sújtotta az Alföld egy jelentős részét, kiszáradtak a mocsarak, a holtágak. Katasztrófális volt a termés kiesés. Hasonló helyzet fordult elő a 19. század közepén is. Végül a mostani állandóan emelkedő hőmérsékletű periódusban a 2007-es év a 21. század eddigi leghidegebb éve volt (Szarka, 2009).

*Mit tehetünk, mit tegyünk, és mit kell tennünk?*

A fentieket átgondolva nem könnyű megmondani, mit is kellene valójában tennünk.

Egy dolog azonban mint legfontosabb teendő – azt hiszem – világos. Sokkal többet kell tudnunk a Föld klímájáról, a klímaváltozások okairól, azaz további intenzív kutatásra, több és fontosabb mérési adatokra van szükség ezen a területen.

Például jelenleg az átlagos globális hőmérsékletet egy adott évre csak 0,3 °C bizonytalansággal tudjuk megadni. A Napból érkező sugárzás intenzitására, és a visszavert nap-sugárzás mennyiségére megbízható adataink csak 1978-tól, tehát viszonylag rövid időtartamra vonatkozólag állnak rendelkezésre, de ezek az adatsorok se folytonosak, és bizonytalanságuk meglehetősen nagy, néhány W/m<sup>2</sup>. A számítások szerint a 19. század elejétől a Föld felszínére jutó sugárzási energia 1,5 W/m<sup>2</sup>-rel emelkedett, de ezt méréssel igazolni nem tudjuk (Major, 2010). A hőmérsékletet meghatározó műholdak adatai között ugyanazon helyen és időben több Celsius-fok eltérés is lehet.

Az előző fejezetekben láttuk, hogy a hőmérséklet számos változására, változási trendjére nincs, vagy meglehetősen bizonytalan a magyarázat. A legnagyobb probléma azonban az, hogy a klímaváltozásra vonatkozó megállapításaink csak fenomenologikus jellegűek (Kutschera, 2010). Hiányzik egy „első elvektől” levezetett, mérésekkel igazolt átfogó elmélet a Föld klímájára és ennek változásaira vonatkozólag, mint előzőleg már említettük.

Az eddigiek szerint az is világos, hogy klimatikus jövőnk előrejelzését nem nagyon építhetjük a CO<sub>2</sub> légköri koncentrációjára, függetlenül attól, hogy „természetes” vagy antropogén eredetű. Nem ismerjük ugyanis a számszerű összefüggést a légkör CO<sub>2</sub>-tartalma és a hőmérsékletemelkedés mértéke között (lásd például a 6. ábrát) (Leggett, 2008; Reményi, 2010). Kutschera egyenesen odáig

megy, hogy a szén-dioxid-koncentráció növekedésének hatása a klímára nem világos (Kutschera, 2010).

Ennél is nagyobb probléma, hogy a Föld klímájának változását nem lehet egyetlen tényezőre visszavezetni. A klíma számos ismert és ismeretlen tényező hatására alakul ki, illetve változik meg. Így galaktikus és naprendszeri hatások, a felhőképződés, a földhasználat-változás, a vulkáni tevékenység, a biomasz-bomlása és így tovább, valamint kétségtelenül bizonyos mértékű antropogén hatások is (itt is hangsúlyozzuk, hogy mértéke és hatása problematikus!). Ráadásul ezek következményei sok esetben ellentétesek, esetleg egy jelenségen belül is. Például a felhők abszorbeálnak és vissza is vernek sugárzást, amelynek részleteit, függését a különböző tényezőktől ma sem ismerjük kielégítően. Császár Géza, Haas János és Nádor Annamária ezt cikkükben így fogalmazzák meg: „*Az éghajlat a Földre ható rendkívül összetett, gyakran ellentétes irányú külső és belső hatások eredőjeként alakul ki.*” (Császár et al., 2008)

Az következik-e mindebből, hogy mit se törődjünk a továbbiakban a légkör CO<sub>2</sub>-koncentrációjával, illetve annak antropogén összetevőjével? Távrolról sem! Azt továbbra is figyelni, lehetőség szerint csökkenteni kell (alternatív energiaforrások kutatása, előtérbe helyezése!), de *nem szabad prioritást biztosítani neki*, és az emberiség „fő ellenségének” kikiáltani. Ma már a tudományos közvélemény előtt világosabb, hogy az emberiség égető problémái mások, így a Föld erőforrásainak végeessége és pazarlása, a túlnépesedés, a talajpusztulás, az édesvízhiány, a betegségek, az energiatermelés és a környezet-szennyezés kérdései és ehhez hasonlók. Ezt hangsúlyozták az Amerikai Geofizikai Unió legutóbbi (2009), tizenhatezer fős konferen-

ciáján és az Európai és az Amerikai Fizikai Társaság már említett nyilatkozatában is (Szarka, 2010).

Mindezek fényében mi várható a közeljövőben, a következő évtizedekben, évszázadokban a klíma, a klímaváltozás vonatkozásában? Számos modellel számos előrejelzés készült, és ezek mind melegebbé jósolnak – a szén-dioxid-koncentrációk emelkedésére építve – egy elég széles hőmérsékleti tartományban 2,1-től 4,9 °C-ig, de előfordul ennél szélesebb intervallum is (1,1 – 6,4 °C) (IPCC Report, 2007; Végh et al., 2009). A geológusok azonban óvatosságra intenek: „...*szám-szerű értékeket tartalmazó előrejelzésekhez szükséges lenne ismerni a kiváltó okok hatásmechanismusát, a változások mértékét és sebességét.*” (Császár et al., 2008) Az ún. Stern-jelentés szerint: „*Senki nem tudja előre jelezni teljes bizonyossággal, hogy milyen következményei lesznek az éghajlatváltozásnak.*” (Stern-jelentés)

A meteorológus Major György még tovább megy: „*A sokszor bemutatott, nagymértékű globális felmelegedés az egyik' jövője Földünknek (ez az, amit ki tudunk számolni). De nem ez az egyedi lehetőség, a további lehetőségeket ma még nem tudjuk modellezni. Jelenleg egyik lehetőségről sem tudjuk megbecsülni, hogy mekkora valószínűséggel következik be.*” (Major, 2010) Hasonló megállapításokat bőven lehet idézni a legújabb szakirodalomból.

Ha viszont így áll a dolog, vagyis „...*ha nem értjük a jelenlegi folyamatokat, honnan vesszük a bátorságot a beavatkozáshoz?*” (Szarka, 2010) Ne csak a „kvóta-adásvételre” gondoljunk itt, de olyan hajmeresztőnek tűnő javaslatokra is, mint például kén injektálása a stratoszférába (Kutschera, 2010).

<sup>3</sup> Kiemelés tőlem. B. D.

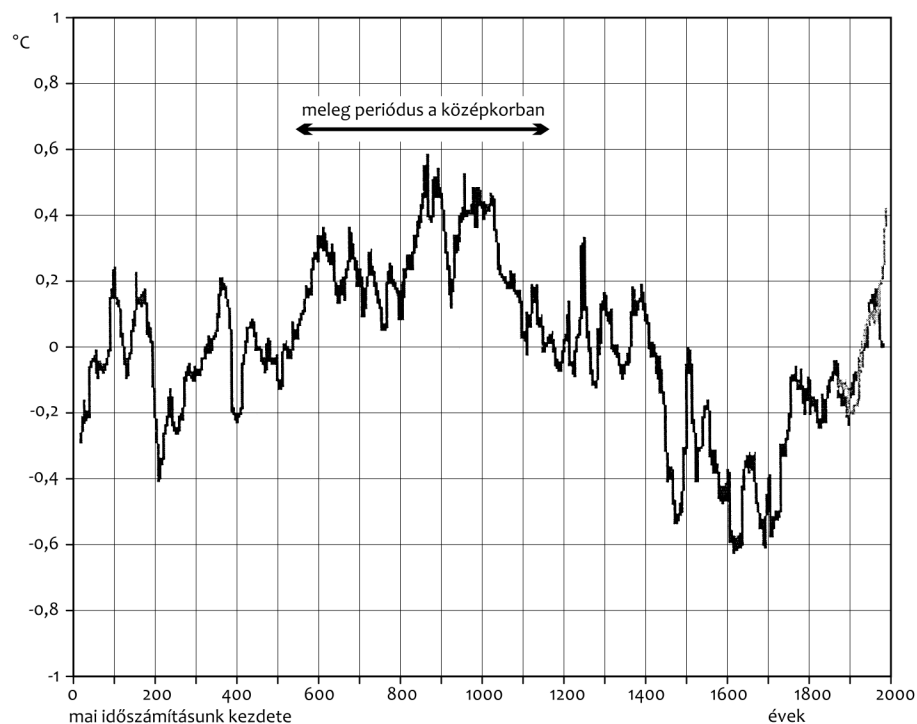


Mindezek után úgy látszik, hogy jó, ha a mai társadalom igyekszik felkészülni (már amennyire lehet) mind a hőmérséklet emelkedésére, mind esetleges csökkenésére(!). Gondoljunk csak egy hirtelen vulkánkitörésre, vagy például arra, hogy a jelenlegi interglaciális a vége felé jár, és akármikor bekövetkezhet egy fokozatos, de akár hirtelen lehűlés is. Ne felejtjük továbbá, hogy a múlt század ötvenes éveitől a hetvenes évekig tartó lehűlés magyarázatát se ismerjük, senki se számított rá (egyesek vulkánkitöréssel magyarázzák). Nézzünk például a 8. ábrára. Akár évtizednyi idő alatt is jelentős klimatikus változás történhet még akkor is, ha például a tendencia a hőmérsékletemelkedés. Közben akár 0,5 °C-nyi csökkenés is beállhat, és be is áll átmene-

tileg (lásd a 8. ábrán). Ne feledjük, az utolsó mintegy tízezer év viszonylag stabil hőmérsékleti viszonyainak, amelyek között az emberiség kulturális fejlődésére lehetőség nyílt, szintén nincs magyarázata.

Végül! Hadd hangsúlyozzam még egyszer a legfontosabbat: a további kutatást, az egyre pontosabb, kiterjedtebb méréseket a légkör jelenségeire vonatkozólag, ezek magyarázatára és megértésére a megfelelő elméletek kidolgozását, amelyek minél hosszabb időtartamra érvényesek, azaz összhangban vannak a tapasztalati adatokkal.

A földtörténet ismeretében a *globális klímaváltozás* ténye – mint láttuk – nem lehet kétséges, mert egy állandó, hol lassúbb, hol gyorsabb, szünet nélküli folyamatról van szó.



8. ábra • A hőmérséklet változása mai időszámításunk kezdetétől napjainkig (Major, 2010 alapján)

Hogy azonban korunkban ez gyors-e vagy lassú, és, hogy milyen irányú, azt nem tudjuk biztonsággal megmondani jelenlegi ismereteink birtokában. Ezért szükséges az intenzív kutatás ezekre a jelenségekre vonatkozólag.

Amit tehetünk – a jelenség egyre jobb megismerése alapján –, a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodás legjobb útjainak módjainak kimunkálása és megvalósítása, és

ennyiben minden bizonnyal egybecseng következtetésünk a számos szakember közreműködésével, körültekintő munkával elkészült magyar VAHAVA-projekt (Láng et al., 2007) összefoglaló jelentésében közöltekkel.

Kulcsszavak: *klímaváltozás, globális felmelegedés, széndioxid-hatás, kétélyek az előrejelzésekkel szemben*

## IRODALOM

- Abonyi Iván (2008): Jégtrömbök és jégsapkák olvadása. *Természet Világa*. **139**, 9, 429.
- Berényi Dénes, id. (1942): A utóbbi évek rendkívüli időjárási viszonyai a Tiszántúli Mezőgazdasági Kamara területén. *Tiszántúli Öntözésügyi Közlemények*. **11–12**, 1–46.
- Császár Géza – Haas J. – Nádor A. (2008): A földtörténet klímaváltozásai és azok tanulságai. *Magyar Tudomány*. **169**, 663–687. <http://www.matud.iif.hu/08jun/03.html>
- Czelnai Rudolf (2009): Válasz Reményi Károly észrevételeire. *Magyar Tudomány*. **170**, 2, 237–239. <http://www.matud.iif.hu/2009/09feb/15.htm>
- IPCC Report – Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC Fourth Assessment Report (AR4) Climate Change 2007: Synthesis Report*. [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_synthesis\\_report.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm)
- Kutschera, Walter (2010): AMS and Climate Change. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. **B268**, 7–8, 693–700.
- Láng István – Csete L. – Jolánkai M. (2007): *A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA-jelentés*. Szaktudás, Budapest
- Leggett, Jeremy (2008): *A fele elfogyott*. Typotex, Bp.
- Lomborg, Bjørn (2008): *Cool it – Hidegvér*. Typotex, Budapest
- Major György (2007): A környezeti előrejelzésről. In: Jávor András – Fűrjéné Rádi Katalin (szerk.): *Természeti energiák használata és szolgáltatása a társadalomnak*, DE Agrártud. Centrum, Debrecen, 35–43.
- Major György (2010): A Föld éghajlatának vázlatos története. *Debreceni Szemle*. **18**, 221–231.
- MIKA János (2007): A globális és a regionális klímaváltozás újdonságai. *Ezredforduló*. 2, 19–24.

- News and Informations to Physics and Engineering Section of Academia Europea. Institute of Physics and Technology of University of Bergen, 2009
- Pósán László (2009): A középkori Európa válsága. *Klímaváltozás, természeti katasztrófák, éhínségek, járványok, háborúk*. *Debreceni Disputa*. **7**, 2, 47–51.
- Raymo, Mauren E. – Huybers, Peter (2008): Unlocking the Mysteries of the Ice Ages. *Nature*. **451**, 284–285.
- Reményi Károly (2010): A konszenzus és evidencia nem tudományos érv. *Magyar Tudomány*. **171**, 44–48. <http://www.matud.iif.hu/2010/01/09.htm>
- Sciama, Yves (2008): Ice Caps Send Shivers through Climatologists. *Research' Eu*. **57**, July, 22–23. • [http://ec.europa.eu/research/research-eu/57/article\\_5722\\_en.html](http://ec.europa.eu/research/research-eu/57/article_5722_en.html)
- Stern-jelentés: <http://www.humusz.hu/hirek/stern-jelentes-osszefoglaloja-magyarul/1831>
- Szarka László (2009): 'Globális felmelegedés' és kritikai gondolkodás. *Természet Világa*. **140**, 5, 214–215. <http://www.termeszetvilaga.hu/szamok/tv2009/tv0905/szarka.html>
- Szarka László (2010): Mozaikok az éghajlatkutatáshoz. *Magyar Tudomány*. **171**, 609–611. <http://www.matud.iif.hu/2010/05/13.htm>
- Szász Gábor (2009): magánközlés. DE Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma, Debrecen
- Tudományos Hírlevél. Magyarországi Francia Nagykövetség, 2009. október, 2010. január
- Végh László – Szám D. – Hetesi Z. (2009): *Utolsó kísérlet*. Kairosz, Budapest
- Vörös Attila – Pálffy József (2008): Gyors változások evolúciós hatásai. *Magyar Tudomány*. **169**, 6, 688–697. <http://www.matud.iif.hu/08jun/04.html>