

Jánosi Imre

■ ELTE TTK Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék | imre.janos@ttk.elte.hu

Klímaváltozás: hol tartunk most?

Egy 2019-es tanulmány [1] kb. 200 000 tudományos publikáció és mintegy 100 000 angol nyelvű digitális és nyomtatott sajtóközlemény átvizsgálása alapján arra az eredményre jutott, hogy az Egyesült Államokban a globális klímaváltozás tagadói legalább akkora nyilvánosságot kapnak, mint azok a tudósok, akik megpróbálják elmagyarázni a jelenségek tényeit, valamint proaktív cselekvést sürgetnek. Alapvető mintázatként azonosították, hogy ha a klímaváltozás témája előkerül egy interjúban, akkor a kissé félreértelmezett

„hallgattassék meg a másik fél is” elv alapján megszólaltatnak vezető tudósok mellett olyan „klímaszkeptikus” egyéneket, akiknek vagy semmi közük a klímatudományhoz, vagy a tudományos reputációjuk még az átlagosnál is sokkal kisebb [1]. Érdekes társadalmi jelenség ez, hasonló a „laposföld”-hívók számának utóbbi pár évben bekövetkezett látványos gyarapodásához [2]. Egyébként nem kell ilyen messzire menni, az USA közvéleményének jó része még mindig demokrata álhrínek tartja a koronavírus-járványt, a világszerte majd-

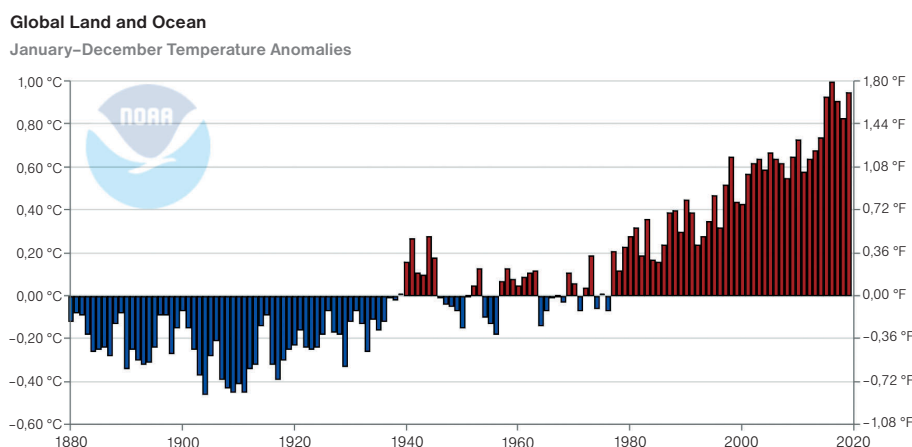
nem 12 millió fertőzött és több mint fél-millió halálos áldozat ellenére. (2020. július 8.)

Ami a klímaváltozást illeti, mérési adatok tömkelege támasztja alá például a globális felmelegedés tényét (1. ábra). Ezt a felmelegedést egyébként személyesen is megtapasztalhattuk: míg a hetvenes években telente legalább két hónapon át vastag hótakaró borította az országot, manapság a Kékestetőre kell zarándokolni, hogy ki lehessen próbálni egy szánkót (ott is jobbra műhavon). Közismert tény az is, hogy a melegedési trendek nagyon inhomogén módon jelentkeznek különböző földrajzi területeken. Elsősorban az északi félteke átlaghőmérséklete nő, ezen belül is kiemelten a sarki területeken, Grönlandon, Szibériában, Alaszkában. A szárazföldek jobban érintettek (a felmelegedés mértéke kb. 1,5 °C), az óceánok lassabban követik a tendenciát (0,8 °C) köszönhetően a víztömegek lényegesen magasabb hőkapacitásának [3]. A manapság már több évtizedes műholdas észlelések, valamint a globálisan csatolt óceán-atmoszféra numerikus modellezések alapján valamelyest értjük ennek okát: a felelős a nagy légköri mintázatok átrendeződése.

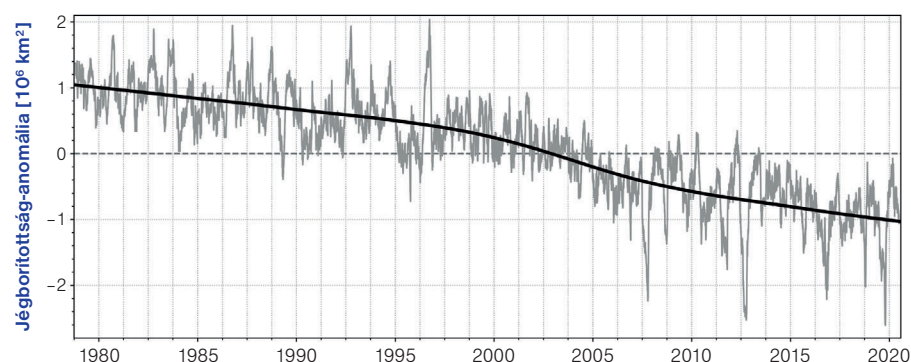
A felszíni felmelegedésnek nyilvánvaló következménye a jégtakaró zsugorodása (2. ábra). Az északi-sarki jég és Grönland látványosan olvadozik, de ugyanez igaz több tízezernyi gleccserre (a Földön teljes számuk kb. 160 000) és a permafroszt területekre (ahol a talaj legalább két éven keresztül fagyott állapotban van/volt). Ami az északi-sarki jégtakaró kiterjedését illeti (2. ábra), az elmúlt négy évtizedben, azaz a műholdas mérések időszakában, átlagosan 2 millió km² volt a zsugorodás mértéke (a kiterjedés évente a 4 millió és 16 millió km² között ingadozik, az évszakoknak megfelelően).

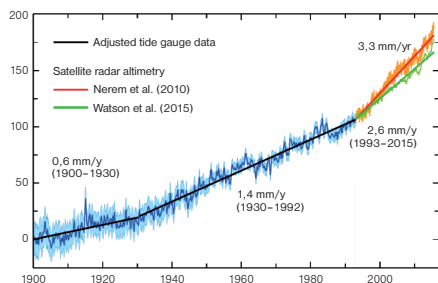
Az északi-sarki jég úszik a tenger felszínén, emiatt teljes felolvadása sem érinti a globális óceáni vízszintet. Ezzel szemben

1. ábra. Éves globális átlaghőmérséklet-anomáliák 1880-tól 2020-ig (az utolsó évben májusig történt a kiértékelés). A referenciaérték a teljes 20. évszázadra vett átlag [3]



2. ábra. A napi jégborítottság-anomália értékei az Északi-sarkon az 1978/10/26. – 2020/07/02. közötti időszakban. A fekete vonal az illesztett hosszú távú trendet illusztrálja. Forrás: https://nsidc.org/data/seaice_index





3. ábra. Globális átlagos tengerszint-magasság az 1990/01/01. referencia-értékhez képest. A kék görbeszakasz adatai klasszikus „vízmércés” leolvasásokon alapulnak, a piros és zöld görbék műholdas méréseket ábrázolnak. A függőleges tengely mm egységekben értendő [4]

a szárazföldről eredő olvadékvíz szükségképpen emeli a vízréteg vastagságát (3. ábra). A műholdas mérések szerint ennek mértéke kb. 3,3 mm/év jelenleg, ráadásul a tendencia gyorsuló: az előző évszázad adatai alapján akkoriban lényegesen lassabb volt az emelkedés (3. ábra). Az óceánok globális vízszintjének emelkedése három komponensből adódik össze. Az első a víztömeg gyarapodása, a második a globális felmelegedés miatt bekövetkező térfogatitágulás, a harmadik pedig a lokális tektonika. Az első két komponens nagyjából 50–50%-ban járult hozzá a teljes 20 cm-es múlt századi vízszintemelkedéshez, a harmadik egyelőre még nem igazán mérhető. Mindenesetre ha többméternyi jég réteg leolvad például Grönland középső részéről,

számítani lehet rá, hogy a sziget felemelkedik valamelyest. Az viszont tény, hogy a vízszintemelkedés mértéke is erősen függ a földrajzi területtől.

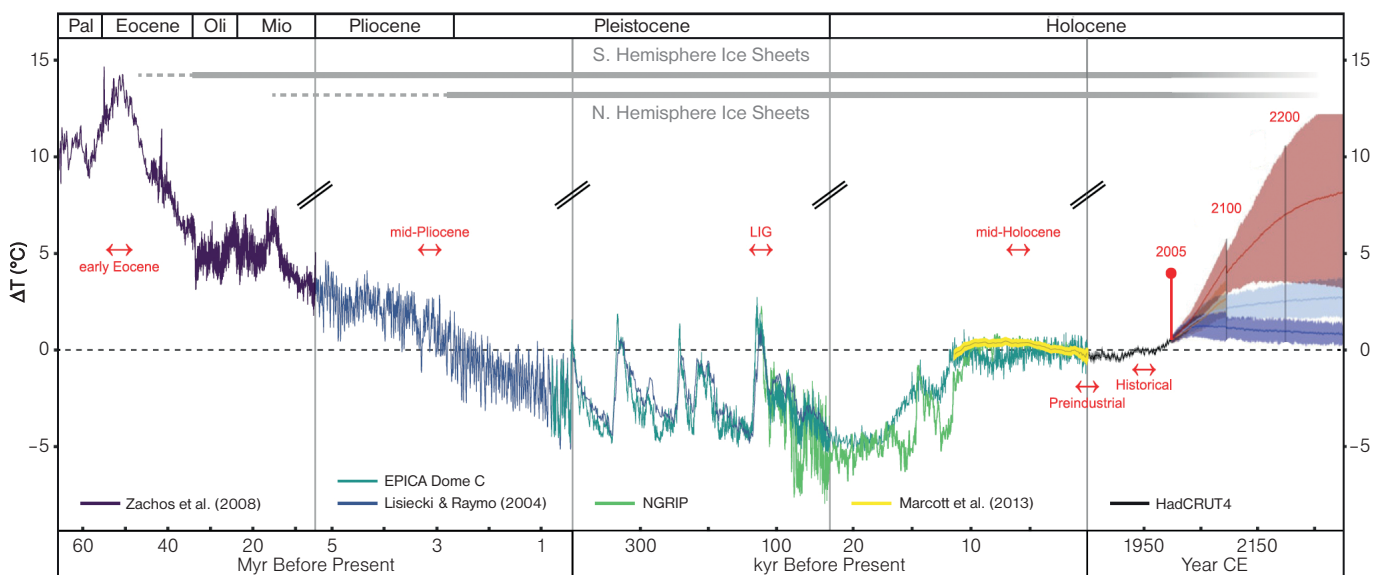
Míg a közfigyelem élénkülése üdvözlendő, az már kevésbé, hogy a médiában a „klímaváltozás” és „klímakatasztrófa” kifejezések szinte szinonimává váltak. Szélsőséges időjárási események néha valóban katasztrófális következményeit szinte automatikusan kötik össze a globális felmelegedéssel. Eközben nem említik, hogy az utolsó kb. ötven évben a Föld népessége a duplájára nőtt (jelenleg 7,8 milliárd fő, 2020. július 8.). Márpedig a közel négy milliárdnyi „új” embernek lakóhely kell, élelmiszer-ellátásukhoz termőterület, a közlekedéshez út- és vasúthálózat és egyéb infrastruktúra. Jelentősebb viharok, áradások olyan területeken pusztítanak manapság, ahol korábban a szélsőséges eseményeket még csak fel sem jegyezték, ott élő lakosság hiányában. Arról nem is beszélve, hogy az extrém események definíció szerint ritkák és véletlenszerűek, így számos statisztikai probléma merül fel a trendek becslésénél. Valójában egy melegedő klíma esetén a hőmérsékleti szélsőségek (extrém hideg és meleg napok) kézenfekvő változásán kívül a többi katasztrófális jelenség (áradások, szárazságok, viharok stb.) gyakoriságának növekedése statisztikailag nem bizonyított.

A globális klímaváltozás esetleges antropogén okainak vizsgálatához fontos, hogy képünk legyen a természetes változékonyság mértékéről. A ma már önálló tudományterületnek tekinthető paleoklimato-

lógia fő célkitűzése a régmúlt idők klímájának megismerése. A módszertan elképesztően sokat fejlődött az utóbbi évtizedekben, rengeteg mintavételezés alapján Földünk éghajlatának megbízható rekonstrukciója mintegy 65 millió évre visszamenőleg rendelkezésünkre áll (4. ábra). Az információ alapvető része kémiai vizsgálatokból származik. A jégmintákba zárt levegőbuborékok tömegspektrometriás analízise a légkör kémiai összetétele mellett a hőmérsékletről is fontos információt hordoz, ugyanis a ^{18}O nehéz oxigénizotópot tartalmazó vízmolekulák magasabb hőmérsékleten párolognak, mint a normál ^{16}O -tartalmúak. Megfelelő kalibráció után ez az izotóparány jó becslést ad az óceán felszíni vízhőmérsékletére kb. 1 millió évre visszamenőleg. Ennél távolabbi múltba az óceáni üledék kémiai vizsgálatával tekinthetünk. A likacsoszázuáknak nevezett egysejtű eukarióta élőlények (*Foraminifera* törzs) többségének kalcium-karbonátból álló héja vagy váza van, méretük általában nem nagyobb, mint 1 mm. Életük befejezése után ezek a vázak lassan az óceánok fenekére süllyednek, és a felszín közeli fajok maradványai magukkal viszik a hőmérsékleti információt, ugyanis a Mg/Ca arány vázukban rendkívül érzékenyen függ a hőmérséklettől (magasabb hőmérsékletekhez nagyobb tartozik) [5].

Ha földtörténeti időtávlatba tekintünk vissza a paleoklimatológia segítségével, akkor képet kaphatunk a régmúlt idők klímájáról, messze az emberi faj (*Homo*) mindössze 2,8–3 millió évre tehető létrejötté

4. ábra. Becsült globális felszíni átlaghőmérséklet az elmúlt 65 millió évben. A vízszintes tengely időben visszafelé, szegmensenként különböző egységekben értendő: 1–2. szegmens millió-, 3–4. szegmens ezer-, 5. szegmens egyéves skálán. A függőleges tengely °C egységekben jelzi az 1961–1990 időszak referenciaátlagához (0 érték, pontozott vonal) képest becsült eltérést. Az ábra tetején a szürke sávok jelzik a két pólus állandó jégtakarójának a megjelenését (Antarktis: 35–38 millió év, Arktisz: 3–4 millió év) [6]



előtti korokban is. Bár a **4. ábra** igen összetettnek tűnik, érdemes kissé belemenni a részletekbe. Az ábrán látható szegmensек vízszintes időtengelye más egységekben értendő a jó láthatóság miatt: az első két szegmensben millió-, a második kettőben ezer-, míg az utolsóban egyéves időskála található. A becslött globális felszíni átlaghőmérséklet igen széles sávban változik, maximuma mintegy 55 millió évvel ezelőtt a jelenleginél 14–15 °C-kal magasabb, az utolsó egymillió év jégkorszakainak mélypontján 10–12 °C-kal alacsonyabb volt. A jelentősebb változások okainak egy részét érteni véljük, míg egy csomó részlet nem világos, legfeljebb hipotézisek fogalmazódtak meg. Menjünk végig sorra röviden a földtörténeti korokon.

Az eocén időszak (55,8–33,9 millió év visszafelé) korai szakaszában található lokális hőmérsékleti maximum az ún. eocén optimum klímához tartozik (**4. ábra**, 1. szegmens). A közel 15 °C-kal magasabb globális felszíni átlaghőmérséklet azt jelentette, hogy állandó jég sehol sem volt a bolygón (a **4. ábra** tetején a szürke sávok), az Antarktiszon majdnem mediterrán éghajlati körülmények uralkodtak. Ezt bizonyítja az a nagyszámú növényi fosszília (örökzöldek, tűlevelű fák, kisebb tobozos növényfajok, páfrányok stb.), amit a déli-sarki kontinensen felleltek. A sarki tél (akkoriban kb. 70 nap állandó sötétség) hideg és sötét időszakát túlélte a növényzet, mert maga a kontinens elég hőt tárolt, a szomszédos földrészek is sokkal közelebb voltak, és a mai Dél-Amerikát még egy földnyelv kötötte össze az Antarktisszal, ami megakadályozta az Antarktisz körüli hideg köráramlás felépülését. A lokális maximumból kiindulva egy hosszú lehűlési fázis kezdődött. A legvalószínűbb ok tektonikus eredetű: a földrészek vándorlása erősen átrendezte az óceáni és légköri áramlásokat, ami a globális lehűléshez vezetett. Olyan események zajlottak ezekben a korai időkben, mint a Drake-szoros és ezáltal az Antarktist megkerülő köráram, valamint az állandó jégtakaró fokozatos kialakulása. Dél-Amerika lassan leszakadt a déli-sarki kontinensről az eocén-oligocén időszakban, vagy a ma Indiai-félszigetként ismert, akkor még sziget beleütközése az eurázsiai kontinensbe, ami felgyűrte a Himalája 7 km-nél is magasabb csúcsait (a folyamat kb. 45 millió évvel ezelőtt kezdődött, de a Himalája még mindig emelkedik).

Az 5,5 millió évvel ezelőtt kezdődött pliocén idősakra (**4. ábra**, 2. szegmens) jelenleg különösen nagy figyelem irányul,

ugyanis a feltevések szerint az évszázad végére olyan lesz a Föld éghajlata, mint ami akkor volt (3–5 millió évvel ezelőtt). A globális átlaghőmérséklet 2–3 °C-kal, az óceáni vízszint 25 m-rel volt magasabb, és a CO₂-koncentráció kb. a maihoz felelt meg (kb. 400 ppm). A trópusi övezet hasonló volt a maihoz, viszont a pólusokon sokkal magasabb volt a felszíni átlaghőmérséklet, nagyjából 7–10 °C-kal. A hűlési tendencia magyarázatára számos elmélet létezik, de általánosan elfogadottá egyik sem vált még. Az ábrán jól látható, hogy kb. 3 millió évvel ezelőtt a korábbi nagy frekvenciás, kis amplitúdójú ingadozást felváltotta egy –5 °C-os tartományt lefedő, 41 ezer éves karakterisztikus periódusidejű oscilláció. A pliocén időszak vége felé hűlt le annyira az éghajlat, hogy az Északi-sarkon is megjelent az állandó jég.

Az utolsó 1 millió évben (**4. ábra**, 3–4. szegmens) kialakultak a kb. 100–110 ezer éves jégkorszakok, amelyeket rövid interglaciális periódusok szakítottak meg a maihoz hasonló éghajlattal (**4. ábra**, 3. szegmens, szaggatott vonal feletti csúcsok). A jégkorszakok magyarázatára elterjedt a Milankovitch-elmélet, ami a Föld Nap körüli pályájának és a forgástengely dőlésszögének reguláris változásaival magyarázza. Eszerint rezonanciaszerűen, 100–110 ezer évenként az északi földrajzi szélesség 65°-án az átlagnál erősebb lesz a Napból érkező besugárzás [7]. Ez vezet aztán a jégtakaró összeomlásához és a gyors felmelegedésekhez. Bár egyes adatelemzések látszólag összhangban vannak az elmélettel, született egy sor olyan eredmény is, amely ellentmond annak; a lényeges kérdésekre nincs válasz [7]. Az egyik legfontosabb a „bekapcsolás” kérdése: mi történt 1 millió évvel ezelőtt, ami a százezer éves oscilláció felléptéhez vezetett, amikor is a földpálya változásai sok száz millió évre visszamenőleg stabilak a Naprendszerben?

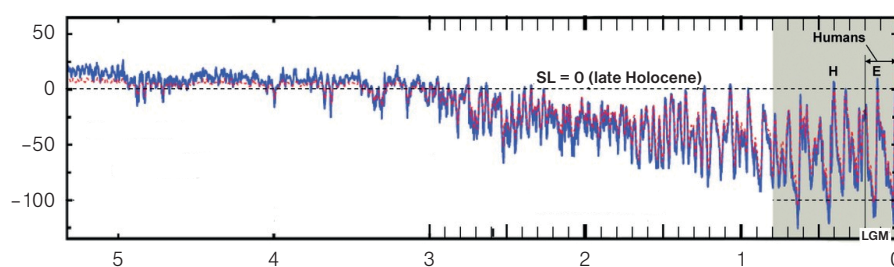
Az utolsó jégkorszak mélypontja kb. 15–17 ezer évvel ezelőtt volt (**4. ábra**, 4. szegmens), aminek egy gyors felmelegedés ve-

tett végét. A melegedési tendencia nagyjából 6 ezer évvel ezelőtt véget ért, utána egy lassú hűlés indult be megint [8], az Európában „kis jégkorszak” néven ismert mélyponttal (16–19. század). Nem volt sokkal hidegebb, mint manapság, de a téli évszak mindkét irányú „megnyúlása” (korai kezdet, kései tavasz) elég volt ahhoz, hogy a gabonafélék termésátlaga drasztikusan visszaessen, több hullásban éhínségeket kiváltva.

A **4. ábra** 5. szegmensében a modern idők globális átlagos felszíni hőmérséklete látható, kiegészítve a csatolt óceán-atmoszféra numerikus modellek projekcióival 2240-ig. Ez utóbbiak meglehetősen bizonytalanok, ami a modell-gyengeségek mellett annak is köszönhető, hogy persze a jövőt nem ismerhetjük. Ezért a numerikus számolások bizonyos „scenáriók” alapján történnek. A pesszimista forgatókönyv szerint csak lassan csökken a fosszilis energiaforrások felhasználása (nagyjából a források kimerülésének ütemében), a légköri CO₂ tovább növekszik erősen (**4. ábra**, 5. szegmens, barna sáv). Az optimista forgatókönyv szerint gyors lesz az energiaátmenet, a felmelegedés a 2–3 °C tartományban marad (**4. ábra**, 5. szegmens, világoskék sáv). A harmadik forgatókönyv csak referenciának használatos, a 2000-es év rögzített légköri összetételével készült (**4. ábra**, 5. szegmens, sötétkék sáv), ami persze nem történt meg. Arra viszont jó illusztráció, hogy a hosszú élettartamú nyomgázoknak mi a hatása (egy CO₂-molekula tartózkodási ideje a légkörben 100–110 év).

A melegedés–jégolvadás–tengerszint-emelkedés csatolt folyamatsorát a paleoklimatológiai rekonstrukciókon is nagyon jól látjuk. Az **5. ábra** illusztrálja a globális óceáni vízszint változásait az utolsó 5,5 millió évben, méter egységekben. A görbe tökéletesen követi a globális átlagos hőmérsékleti adatokat, ebből sejthetjük, hogy például a tengerszint teljes emelkedése elérheti majd lassan a 25 métert, ami a pliocén korszakra volt jellemző. Az utolsó jég-

5. ábra. Globális átlagos tengerszintmagasság a jelenlegihez képest (szaggatott vonal a 0 szintnél) az elmúlt 5,5 millió évben. A vízszintes tengely visszafelé millió éves egységekben, a függőleges tengely méter (!) egységekben értendő [9]



korszak mélypontján viszont a tengerszint 120–130 méterrel volt alacsonyabb, ami lehetővé tette például, hogy az emberek száraz lábbal vándoroljanak át a mai Bering-szoros területén, így népesült be az amerikai kontinens.

Az utolsó fontos pont az antropogén csatolás. Bár a méréseken jól látszik, hogy trendforduló lépett fel az előző évszázad elején, az emberi tevékenység hatását tudományosan nem teljesen értjük. Hogy e manapság merész kijelentést árnyaljam, a tudományos megértettség fogalmát érdemes felidézni: értünk valamit, ha arra pontos kvantitatív modellt tudunk adni, ami prediktív erővel bír. Egy sor ilyen elméletünk van, a klasszikus mechanika, kvantummechanika, relativitáselmélet, elektromágnesség stb. mind képes precízen megjósolni új, még el nem végzett kísérletek kimenetét. Egész technikai civilizációnk, a mérnökök tevékenysége ezen alapul (láttható sikerrel). A klímatudomány azonban jobbra leíró jellegű, a jóslások komoly hibákkal terhelték. Hangsúlyozom, hogy nem kérdőjelezem meg az emberi tevékenység lehetséges klímamódosító hatását, de ahhoz, hogy pontosan tudjuk, hol és mit kellene közbejeleni és ennek milyen következményei lesznek, még nem tudunk eleget.

Két fő közvetett bizonyítékunk van arra, hogy a fosszilis tüzelőanyagokból a légkörbe kerülő CO₂ és egyéb ipari-mezőgazdasági tevékenységből származó NH₃ okozhat globális felmelegedést. Az első a paleoklimatológiai észlelés, mely szerint a hőmérsékleti görbe az említett nyomgázok koncentrációival erős korrelációban mozgott az utolsó 5–6 millió évben. Az interglaciális meleg időszakokban és később sem, egészen a 20. század elejéig, a CO₂-koncentráció nem haladta meg 300 ppm értéket, jelenleg (2020. július 8.) 416 ppm. A növekmény főleg a fosszilis tüzelőanyagok égetéséből ered, ezt egyértelműen igazolja például a szén izotóparányainak vizsgálata. Emiatt várható, hogy az extra üvegházhatású gáz felmelegedést okoz. Nyitott kérdés viszont a pontos mechanizmus. Nem lehet eleget hangsúlyozni, hogy egy korreláció nem jelent automatikusan ok-okozati csatolást. A paleoklimatológiai adatsorok felbontása nem teszi lehetővé az időbeli sorrend egyértelmű kiderítését, azaz mi volt előbb, a felmelegedés, vagy a nyomgázok koncentrációjának megszaladása. Nem tudjuk továbbá, hogy mennyi idő alatt várható a hosszú élettartamú nyomgázok kiürülése, mert nagyon sok biológiai, kémiai, fizikai mechanizmus kapcsolódik hozzá. A növekvő CO₂-koncentráció fokozza a kivo-

nási folyamatok sebességét – például a fotoszintézis felpörgetésével, a zöld levéltömeg és a fitoplankton (fotoszín-tetizáló algák) számának növekedésével.

A másik közvetett bizonyíték a numerikus szimulációkból adódik. A globálisan csatolt óceán-atmoszféra modellek „belépő tesztje”, hogy reprodukálják az előző évszázad klímáját, amennyire csak lehet. A jelenleg használt 50+ független modell elképesztő komplexitású. Minden ismert csatolási folyamatnak különböző modulja van a programokban, kezdve az alap dinamikai egyenletektől a vulkánkitörésekig. A szabad paraméterek száma több száz, ezek beállítása nemigen lehet módszeres, inkább a „művészet” kategóriájába tartozik. A szisztematikus paramétertér-vizsgálat elképzelhetetlen ennyi dimenzióban. A numerikus számítások kezdeti időszakában, jó négy évtizeddel ezelőtt az volt a várakozás, hogy a modellek majd „konvergálnak”, azaz a paraméterhalmazok egyre hasonlóbbak lesznek egymáshoz. Ennek ellenkezője történt, a független modellek paraméterezése szinte alig összehasonlítható. Ennek ellenére, ha a számolások során például a CO₂-koncentrációval nem követik a mérési adatokat, hanem a 20. század eleji szinten rögzítik a koncentrációt, egyetlen szimuláció sem képes reprodukálni a tapasztalt felmelegedést. Ez persze nem jelenti azt, hogy minden rendben lenne ezekkel a modellekkel. Jól ismert tény, hogy nagy gondok vannak az említett pliocén klímával (3–4 millió évvel ezelőtt). A numerikus szimulációk nem képesek reprodukálni azt a hőmérséklet-eloszlást, amely a trópusi övezeteken kb. a mai állapothoz hasonló, a pólusokon viszont jelentősen melegebb. A modell-projekciók az évszázad végére úgy jósolják a 2–3 °C-os globális felmelegedést, hogy jut belőle bőven az egyenlítői övnek is. Hasonlóan kérdés a regionális projekciók területe. A felmelegedés, olvadás és tengerszint-emelkedés tendenciái nagyon jelentős földrajzi területi különbségeket mutatnak, az észlelt mintázatok reprodukálása általában sikertelen. Ha olyan numerikus számításokról hallunk, amelyek a Kárpát-medence jövőbeli éghajlatára vonatkoznak, érdemes erős fenntartásokkal kezelni az állításokat.

Felmerülhet a kérdés, hogy ha ismerjük a modellek számos hiányosságát, miért használjuk ezeket távlati jóslásokra. A válasz egyszerű: nincs más eszköz a kezünkben. Kísérletek nem végezhetők, a jövőbe nem látunk, egyelőre a jelenlegi ismeretekből kell annyit használni, amennyit csak lehet.

A numerikus modellezés terén új trendnek tekinthető a „vissza a gyökerekhez” irányzat. Ez azt jelenti, hogy komoly munka folyik ún. minimál modellekkel, melyeknek a komplexitása és térbeli felbontása sokkal alacsonyabb, mint a „nagy” modelleké. Ezzel szemben a fizikájuk jól értett, a lényegesen kisebb számú szabad paraméter jobban kezelhető. Ezek a modellek nem használatosak földi klímaprojekciókra, viszont sokat segítenek a tudományos megértésben. Vizsgálható velük például olyan alapvető kérdés, mint a „klímaérzékenység”, azaz mekkora felmelegedés várható, ha a CO₂-koncentráció megduplázódik. Hasonló munkák során fedezték fel például ELTE-s kutatók a hiszterézis jelenséget, mely szerint ha visszaállítjuk a nyomgáz-koncentrációkat valamely korábbi szintre, az éghajlati rendszer várhatóan akkor sem az eredeti állapotába kerül vissza [10, 11, 12].

IRODALOM

- [1] A. M. Petersen, E. M. Vincent, A. L. Westerling, Nat. Commun. (2019) 10, 3502.
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Flat_Earth
- [3] NOAA National Centers for Environmental Information, Climate at a Glance: Global Time Series, published June 2020, retrieved on July 4, 2020 from <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>
- [4] J. Hansen, M. Sato, P. Hearty et al. (+ 16 coauthors), Atmos. Chem. Phys. (2016) 16, 3761.
- [5] S. Barker, I. Cachó, H. Benway, K. Tachikawa, Quarterly Sci. Rev. (2005) 24, 821.
- [6] K. D. Burke, J. W. Williams, M. A. Chandler, A. M. Haywood, D. J. Lunt, B. L. Otto-Bliesner, Proc. Natl. Acad. Sci. (2018) 115, 13288.
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles
- [8] D. Kaufman, N. McKay, C. Rouson et al. (+ 90 coauthors), Sci. Data (2020) 7, 201.
- [9] J. Hansen, M. Sato, G. Russell, P. Kharecha, Phil. Trans. R. Soc. A. (2013) 371, 20120294.
- [10] Drótos G., Bóдай T., Tél T., J. Climate (2015) 28, 3275.
- [11] Herein M., Márffy J., Drótos G., Tél T., J. Climate (2016) 29, 259.
- [12] Bóдай T., Drótos G., Haszpra T., Herein M., Márffy J., Tél T., Magyar Tudomány (2017/2) 188.

ÖSSZEFOGLALÁS

JÁNOSI IMRE: KLÍMAVÁLTOZÁS: HOL TARTUNK MOST?

Az észlelések alapján a globális klímaváltozás ténye megkérdőjelezhetetlen. Mértéke egyelőre sokkal kisebb, mint a természetes változékonyság teljes tartománya. Sejthető, hogy az antropogén tevékenység gyorsítja a globális felmelegedést, melynek számos következményét tapasztaljuk. Ezzel szemben óvatossá kell lenni az információk értékelésében, mert a káros környezeti folyamatok taglalása kapcsán a klímaváltozás emlegetése túl gyakran fordul elő akkor is, amikor a háttérben sokkal inkább a globális túlnépesedés és környezetszennyezés következményei állnak.