

Antropocén: egy új korszak a Föld Rendszer történetében?

Köztisztelőben álló kollégánk, Bodor László, a *Lapok* januári számában szakmánkon messze túlmutató kérdést vet fel. Véleménye szerint a klímaváltozás valós jelenség, és az erdőket érintő hatásaira készülnünk kell, de a változásokat elsősorban nem az emberiség tevékenysége, hanem a Föld változó keringési pályaadottságai okozzák. Véleménye első pillantásra csak elméleti kérdésnek tűnik. Azonban a cikk üzenete közvetlenül érint mindannyiunkat.

Amennyiben ugyanis *valóban* csillagászati okokra vezethető vissza az éghajlat jelenlegi változása, bár a felkészülés akkor is szakmai feladatunk, de életvitelünkkel kapcsolatban tennivalónk nincsen. Mindent úgy folytathatunk tovább, mint ahogy eddig tettük. Az ilyen és hasonló felmentő véleményeket sokan osztják a világban, mert egyszerűbbé teszi életünket.

A helyes választ megtalálni a média és az internet sokszor félrevezető, vagy kifejezetten manipulált információzathatagában nem egyszerű. A válaszhoz egy komplex *geofizikai-biológiai és emberi rendszer*, a Föld Rendszer működésének megértése szükséges. Már ebben a mondatban megjelenik a fő kérdés: valóban kimutatható-e az ember hatása a Föld Rendszerre, továbbmenve: kimondhatjuk-e, hogy ez a tevékenység egy új geológiai korszakot hozott létre?

A válaszadásra elsősorban a probléma egyik legnagyobb szakértőjét, *Will Steffent* fogom megidézni. Steffen svéd professzor számos nemzetközi klímaváltozási és ökoszisztéma program, többek között a Nemzetközi Geoszféra-Bioszféra Program (IGBP) koordinátora volt 2004-ig, majd az ausztrál kormány klímapolitikai tanácsadója és az Ausztrál Nemzeti Egyetem Klímaváltozási Intézete alapító igazgatója. Elismertségét az emberi társadalom és környezete közötti drámai kapcsolatváltozás részletes elemzésének köszönheti.

Az „Antropocén munkacsoport”-ban végzett nemzetközi vizsgálat *felölelte a geofizikális, biológiai, társadalmi és technológiai folyamatok időbeli alakulásának (dinamikájának) és együttes változásának (ko-evolúciójának) körét*,



Kilátás az Antropocénba – Mexikóváros, 22 millió lakossal (fotó: Deep Ecology)

végző soron nem más, mint a jelenkori emberi tevékenység látlelete. Mondanivalójának lényege: az emberiség által előidézett, most már globális változások olyan mértékű gyorsulást mutatnak a geofizikális, biológiai és az emberi társadalmi környezetben, amely az Emberkor (Antropocén) leválasztását a geológiai Jelenkorról (Holocénról) tudományosan is indokoltá teszi. Ehhez a professzor legfontosabb publikációjának tartalmából idézek (*Steffen et al., 2016*).

Elkülöníthető-e az Antropocén?

Az emberi faj globális hatásának kezdetét sokféle időponthoz próbálták kötni, ezek között legtöbbször az ipari forradalom szerepel. *Ruddiman* (2003), aki az elsők között vetette fel az Emberkor (Antropocén) létezését, évezredekkel korábbra keltezi; de pl. volt javaslat Észak-Amerika kolonizálásának (1610) vagy az atombomba-kísérletek csúcsevénének (1964) időpontjára is.

A geológusok és geofizikusok szerint az Emberkor elhatárolása tudományosan akkor fogadható el, ha az új korszak alatt képződő üledékretegek az elkülönítést egyértelműen lehetővé teszik. Másrészt elvárás az is, hogy számos, egymástól független tudományos bizonyíték támassza alá. A bizonyítás kényes ügy; hisz még a mindenki által megtapasztalható klímaváltozás létét is vitatják, ezért erre röviden kitérek.

Az északi félgömb felszíni hőmérséklet-változásait *Nielsen* (2005) adatgyűjtése alapján mutatom be. A szerző az elmúlt ezer év hőmérsékleti ingadozásait az 1961–1990 közötti időszak átlaghőmérsékletétől való eltérésük alapján elemezte. A műszeres mérést megelőző időszakra vonatkozóan az évgűrűk, a grönlandi jégfuratmagok, és a korallak szerkezete szolgáltatott adatokat, továbbá figyelembe vette az egykori feljegyzéseket is.

Az *1. ábra* a tízezer éves Holocén jellemző, hűvösödési időszak végét mutatja (jól látható az 1400-as évek második felében, *Mátyás király* megválasztásakor uralkodó hideg), valamint a kb. 1900-tól felszökő rendkívüli melegeket. Fontos megfigyelni, hogy a holocénbeli ingadozások amplitúdója a *0,5 °C-ot alig éri el*, miközben az előrejelzések e század végéig 3-5 °C hőmérséklet-emelkedést jósolnak, ha nem teszünk ellenlépéseket (jelen pillanatban hazánkban 1,6 °C-nál tartunk!).

A rétegtani bizonyítékokat a *technoszféra* jellemzői szolgáltatják. A technoszférát az emberi élethez szükséges anyagtermelés és -szállítás hozza létre az urbánus/ipari, mezőgazdasági és tengeri szférákban, a hulladékkal együtt; ennek nagyságát a legújabb becslések 30 billió tonnára becsülik.

A technoszféra rétegben változatos „nyomfossziliák” találhatóak (pl. mobiltelefonok roncsai, műanyag tárgyak),

amelyek alapján az Antropocén üledéke felismerhető. A „technofossil diverzitás” ma már meghaladja nemcsak az aktuális, hanem a teljes, valaha létezett faji diverzitás mértékét is. Ez az ember okozta globális változások újszerűségének egyértelmű indikátora. Az Antropocén ezért geológiailag is elkülöníthető a Holocéntól.

A Nagy Gyorsulás

Míg napjainkig a Föld Rendszer 4,5 milliárd éves történetét jórészt csillagászati és geofizikai hatások határozták meg, az utóbbi évtizedekben a változások üteme rendkívüli mértékben felgyorsult, amit az emberiség tevékenységére vezetnek vissza. A változás csak a második világháború után vált igazán globálissá és hatásában drasztikussá.

A pontosabb lehatárolás érdekében Will Steffen és az „Antropocén Munkacsoport” tagjai alaposan elemezték a változásokat jellemző fő indikátorok dinamikáját. Összesen 24 indikátor trendváltozását vizsgálták meg, az 1750-től 2010-ig terjedő időszakban. Ezek közül itt csak az ismertebbeket sorolom fel:

Társadalmi-gazdasági indikátorok: globális népesség és a városi lakosság létszáma, globális össztermék (GDP), édesvíz-, primer energia- és műtrágyafogyasztás, közlekedési eszközök (db), nemzetközi turizmus (fő).

A Föld Rendszer működésének indikátorai: szén-dioxid és metán légköri koncentrációja, a felszíni hőmérséklet változása (°C), óceánok savasodása (H

1. táblázat. A Nagy Gyorsulás nyomai: néhány fontos indikátor Holocén alatti és az Antropocénban kimutatott átlagos változási rátái és azok egybevetése

Holocén	Antropocén	Növekedési ráta
Felszíni éves átlag hőmérséklet		
~0.01°C/ évszázad	1.7°C/ évszázad	~170-szeres
Légköri CO₂ koncentráció		
~0,30 ppm/évszázad	166 ppm/ évszázad	~100-550-szeres
Légköri CH₄ koncentráció		
2 ppb/ évszázad	575 ppb/ évszázad	~285-szörös
Faj kihalási ráta/év		
0,1 kihalás/millió faj/év	1-10 kihalás/millió faj/év	~100-szoros
Élőhely eltolódás		
	gyorsabb, mint bármikor	~10-szeres

ion nmol/kg), tengeri halászat mennyisége (t), mezőgazdasági terület aránya (szántók és legelők, %), erdőterület-csökkenés a trópusokon (%), szárazföldi bioszféra fajsám-csökkenése (%).

A vizsgált 260 év alatt a Föld Rendszer valamennyi indikátorára ugyanolyan növekedési trendeket kaptak, mint a társadalmi-gazdasági indikátorokra. Ezen belül 1950 után *exponenciális gyorsulás* mutatható ki.

Csak néhány indikátor növekedése lassult le a legutóbbi évtizedekben, ilyenek pl. a mezőgazdasági terület növekedése, a légköri metán és a sztratoszferikus ózon koncentráció (az utóbbi emberi összefogás eredménye).

A tengeri halászat esetében pedig az exponenciális növekedés hirtelen megtörése és stagnálása az erőforrások kimerülését (a túlhalászt) mutatja, kb. 1980-tól. Valamennyi indikátor trendje és az adatok forrása az idézett és le-

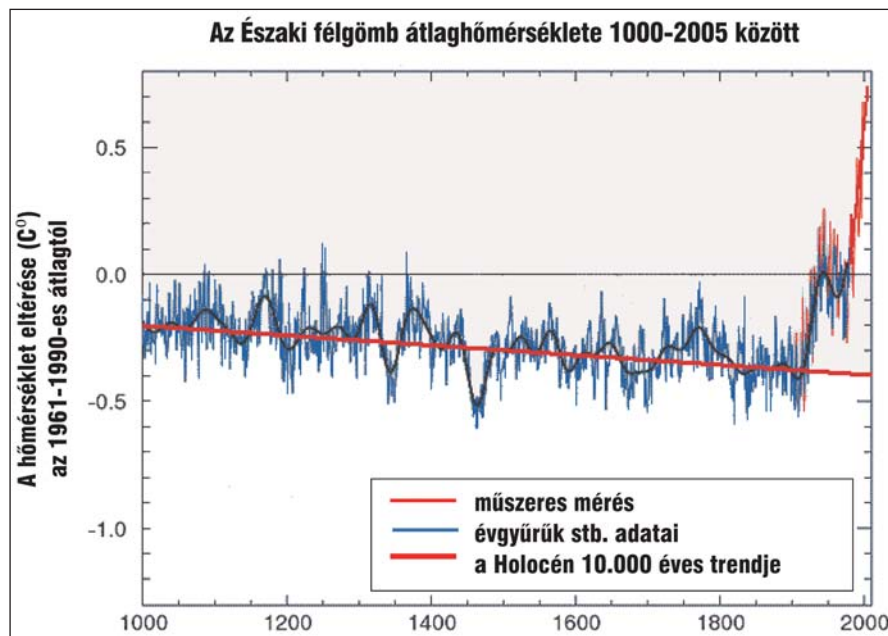
tölthető cikkben megtalálható és ellenőrizhető.

A Föld Rendszer biológiai és geofizikai/kémiai indikátorai tehát feltűnő hasonlósággal jelzik a változások exponenciálisra váltását, párhuzamban az emberiség társadalmi és gazdasági indikátoraival. Ez bizonyítja, hogy a Föld Rendszer gyors változása hátterében az emberi tevékenység hatásai állnak. Az átbillenés kezdő időpontja elég egyértelműen a 20. század ötvenes éveire tehető. 1950-től a Föld Rendszer indikátorok változási üteme *szignifikánsan túlhaladta a Holocénban kimutatható szélső értékeket* is. A trendváltozást *Nagy Gyorsulásnak* nevezték el. Az 1. táblázat néhány fontos tényező mértékének drasztikus változását mutatja be.

A vizsgálat nem terjedt ki a csillagászati és geofizikai eredetű periódikus változások hatásaira. Ezek a változások ugyanis a jelenlegi folyamatokhoz képest oly lassúak, hogy változási rátájuk *századunk időléptékében mérve gyakorlatilag nullával azonosak*.

A trendek Magyarországra is érvényesek. Például a biológiailag aktív területek fogyása aggasztó mértékű. A KSH adatai szerint, míg a szántóterületek nagysága folyamatosan csökken, ugyanakkor az 1990 óta a beépített, infrastruktúrával lefedett, *művelés alól kivett területek nagysága kereken a duplájára nőtt, és 2018-ban először haladta meg a hazai erdők teljes területét!*

A természetközeli erdő társulásainkban korábban kimutatott lágyszárú fajok 60%-a 4 évtized leforgása alatt eltűnt (Zellweger, Berki Imre és mások, 2020). Csóka György és munkatársai (2012) azon megállapítása pedig, hogy az utóbbi két évtizedben erdeinkben több idegenhonos rovarfaj jelent meg, mint az



1. ábra. Az utolsó ezer év hőmérsékleti változása az Északi félgömbön, műszeres mérések és közvetett adatok feldolgozása alapján (Nielsen, 2005)



Az ember keze már az égig ér (Sanghaj, fotó: Bing.com)

azt megelőző 110 évben, ma már szakmai körökben általánosan ismert.

A globális változásokról, a döbbenetes következményekről és a lehetséges kiutakról olvasmányosan számol be *David Attenborough* (2020) karácsonyra megjelent kiváló könyve, amelynek tanulmányozása szakember és laikus számára egyaránt „melegen” ajánlható.

Válasz a szkeptikus véleményekre

A klímaváltozás visszavezetése globális emberi hatásokra nehezen elfogadható a közvélemény számára, aminek sok egyéb mellett elsősorban pszichikai okai vannak. Viszont tudományos berkekben elsősorban az élettelen természettudományok, a geológia és geofizika területéről érkeznek ellenvetések. A vita nagyrészt azzal függ össze, hogy az új korszak rétegtanilag elkülöníthető-e, és egyáltalán: tudományos-e az emberi hatás elkülönítése?

A természettudomány tanítása, *mi szerint* „a földtörténet során a csillagászati és geofizikai tényezők voltak leginkább hatással a földi bioszférára”, csak féligazság. Vegyük észre, valamennyien ebben a gondolkodásban nőttünk fel.

A bioszférát, benne az erdőt is, tényleg csak az *élettelen, geofizikális erők* határozzák meg? Az élettelen tudományok dominanciáját és a biológia jelentőségének lekicsinylését (*Mátyás 2019*) elsősorban az okozza, hogy a fizikális tényezők okozati összefüggései egyszerűbbek, matematikailag leírhatók és előre jelezhetőek.

A bioszféra viszont nem automataként működik! Sokszorosan összetettebb, és időben késleltetve működő kapcsolatrendszerének viselkedése nehezen becsülhető előre, „nem elég tudományos” (Rutherford Nobel-díjas atomfizikus szerint: ami nem fizika, az „bélyeggyűjtés”).

Nap mint nap elmegyünk a biológiai ellenpéldák mellett; a kiterjedt homokkő és mészkő hegységeinket, a vasérc-, szén- és szénhidrogén-telepeket, az éltető talajt, a légkör oxigéntartalmát élő szervezetek hozták létre a földtörténet során.

A növénytakaró, főleg az erdő, radikálisan megváltoztatja a földfelszín

fizikális adottságait; felületi érdességét, albedóját, víz- és hőforgalmát, a talaj termőképességét, és ebbe a sorba most az ember mint biológiai lény is bekerült.

És ott állunk embertársainkkal gyérülő és betegeskedő erdeink előtt, és a csillagok járását okoljuk balvégzetükért. Ezt a teremtményt keresztelte el a svéd orvos és természettudós, *Carl von Linné*, *Homo sapiens*nek, azaz értelmes, gondolkodó embernek.

Mátyás Csaba

Irodalomjegyzék

- Attenborough, D. (2020): Egy élet a bolygónkon. Ford. Makovetz B. Park Kiadó, 306 pp.
- Csóka Gy.; Hirka A.; Szócs L. (2012): Rovarglobalizáció a magyar erdőkben. Erdészettud. Közl. 2:187–198.
- Mátyás Cs. (2019): Életbarát-e műveltségünk? Miért visszhangtalan a biodiverzitás krízis? Magyar Szemle, XXVIII. 11–12: 123–125
- Nielsen, R. (2005): Medieval Warm Period and the Little Ice Age Myths. <http://home.iprimus.com.au/nielsen/>
- Ruddiman, W.F. (2003): The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climate Change*. 61: 261–293.
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., Ludwig, C. (2015): The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*. 2 (1): 81–98. [A cikk, ábrákkal együtt, szabadon hozzáférhető az Ausztrál Egyetem Könyvtárán keresztül: URL: <http://hdl.handle.net/1885/66463>.]
- Zellweger, F. ... Berki I., ... Coomes, D. (2020): Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. *Science*. 368 (6492), 772–775. URL: <https://doi.org/10.1126/science.aba6880>

