

Major György

A Föld éghajlatának vázlatos története

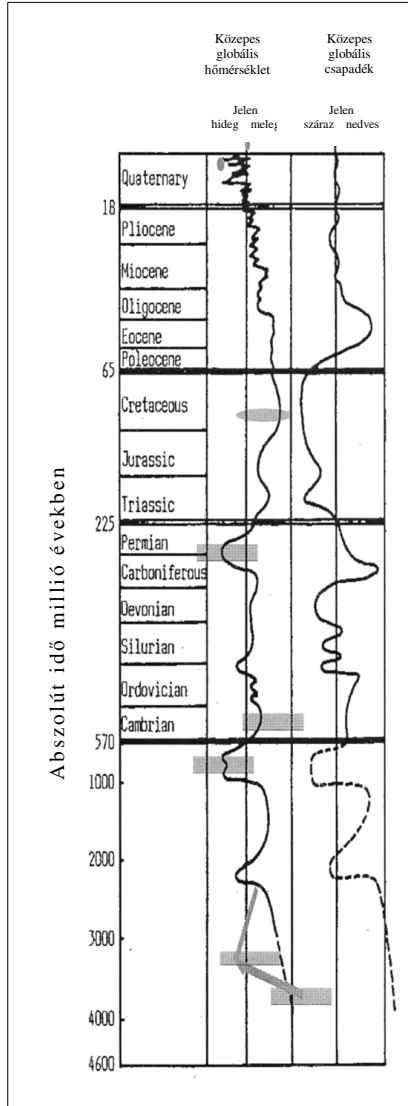
Bevezetés

Néhány évtizeddel ezelőtt a meteorológusok úgy gondolták, hogy az éghajlat egyike a meteorológia fogalmainak, az éghajlattan pedig egyik részterülete a meteorológiának, mint tudományának. Mára a helyzet megváltozott, az éghajlat-tudomány önálló multidiszciplináris tudományággá vált, számos szakterületre támaszkodik, majdnem minden tudományággal összefügg. Ráadásul az éghajlat „üggyé” vált a politikában, a gazdaságban, a médiában, szóval az egész közéletben. Az éghajlat iránti nagy érdeklődés számos tudományos kutatót, politikust, újságírókat, stb. arra késztet, hogy az éghajlatról elmondja álláspontját, amely álláspontot sok esetben nem az ismeretek, inkább az érdekek határoznak meg. A kutatókat egyrészt zavarja, hogy az éghajlattal kapcsolatos kérdések ennyire átpolitizáltak és mediatizáltak, másrészt élni is igyekeznek ezzel a helyzettel, mivel álláspontjukat széles körben terjeszthetik, munkájukhoz pedig pénzügyi forrásokat szerezhetnek.

A címben a Föld szó arra utal, hogy az egész Földre jellemző éghajlati képről lesz szó, a Föld egyes területeit nem érintjük. A vázlat szó pedig mutatja, hogy időben nagy léptékű áttekintést mutatunk be, számos éghajlati részesemény kimerad belőle.

Az éghajlat története

A Naprendszer mintegy 4 és fél milliárd évvel ezelőtt keletkezett, tehát a Föld bolygó korát ennyinek ismerjük. Geológiai jelekből fel lehet vázolni az egész időszakra érvényes éghajlati képet, amelyet az *1. ábrán* láthatunk. Korlátozzuk figyelmünket az ábra baloldali részén lévő hőmérsékleti görbére. A teljes görbéről elmondhatjuk, hogy a földtörténet során lejátszódott nagy változások ellenére mindössze egy 20 fok szélességű sávban maradt az utolsó 3 milliárd évben. A görbe azt is mutatja, hogy a Föld felszínének hőmérséklete rendszeresen változott, hol felmelegedés, hol lehűlés történt. A régebbi időben mutatkozó, közel állandó hőmérsékletű hosszabb időszakok inkább ismereteink hiányát jelzik,

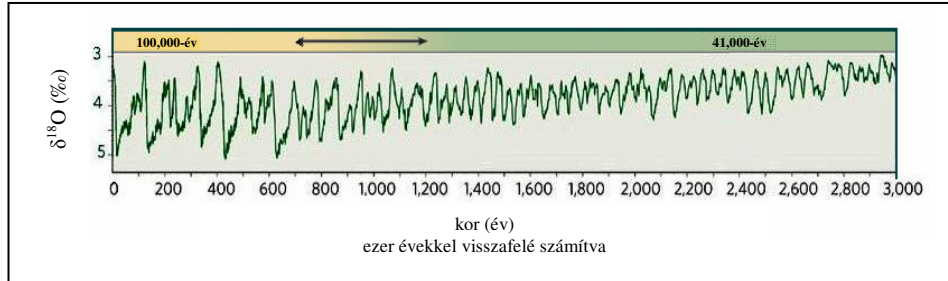


1. ábra: A Föld éghajlatának áttekintése az utolsó három és fél milliárd évről

ezért az ottani jégfuratokból az utolsó 700 000 év éghajlatáról tudunk adatokat kapni. Az ábrán a kétvégű nyíllal jelzett időszak átmeneti jellegű. Az utolsó 600 000 évben a hőmérséklet nem csökkent, hanem egy aszimmetrikus (fűrészfog) alakú, és 100 000 év periódusú hullámszámba ment át, amely hullámszámban az amplitúdója nagyobb a korábbi hullámszám amplitúdójánál.

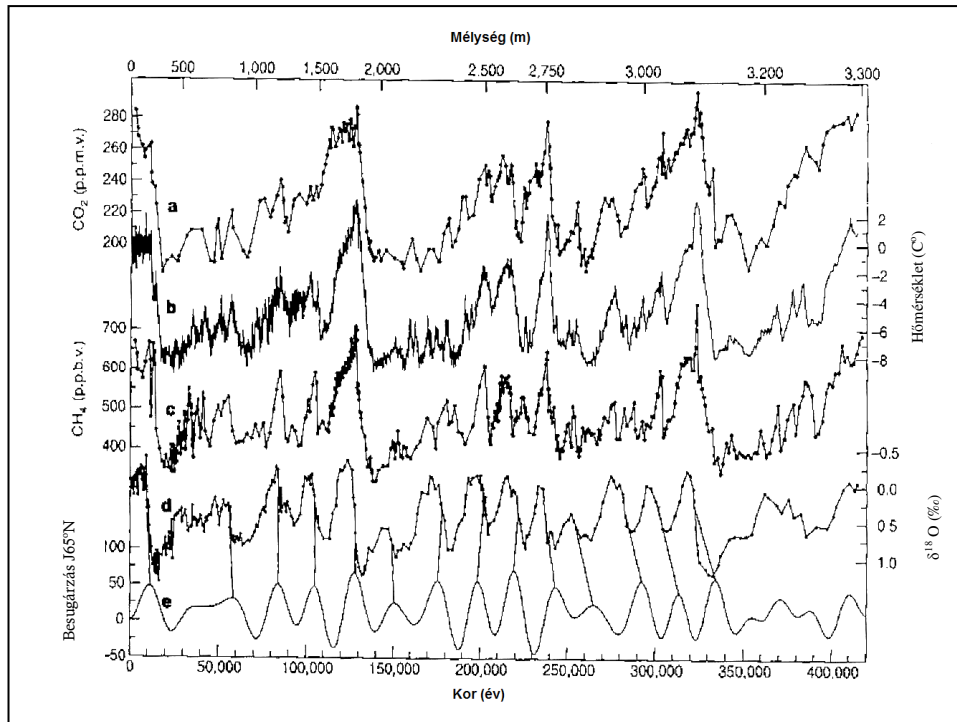
mintsem az akkori éghajlat stabilitását. Mennél messzebb megyünk vissza az időben, ismereteink annál bizonytalanabbak. Ezt mutatja a változékonyság erősödése a jelenhez közeledve, másrészt a 3 milliárd évvel ezelőtti időszak környékén egy másik elmélet szerint más volt a hőmérséklet menete, ez a görbe szürke színnel látszik az ábrán. A hőmérséklet néhány szélső értékét megjelöltük. Egy nagyon egyszerű éghajlati modellel számolva azt kaptuk, hogy a megjelölt szélső hőmérsékleti értékek közötti különbséget teljesen megmagyarázza a légkör üvegház-hatásának változása. Ez nem jelenti szükségképpen azt, hogy a hőmérséklet változását az üvegházhatás változása okozta, de úgy tűnik, hogy a beállt egyensúlyi helyzetekben érvényes különböző hőmérsékletekhez a megfelelő mértékű üvegházhatás társul.

Az 1. ábrán bemutatott időszak egy milliómod részéről ad számot a 2. ábra. A görbe az oxigén 18-as és 16-os izotópjának mélytengeri üledékekből és az antarktiszi jégfuratokból meghatározott arányát mutatja az utolsó 3 millió évről. Az oxigén izotópjainak aránya szoros összefüggésben van a levegő hőmérsékletével, így ez hőmérsékleti menetnek tekinthető. Eszerint a 3 millió és 700 000 évvel ezelőtti időszakban a hőmérséklet lassan csökkent, miközben a csökkenésre ráakódott egy eléggé stabil, 41 000 éves periódusú hullámszám (ezt jelzi az ábrán a 41 000 éves világ felirat). A lehülést azt eredményezte, hogy mintegy 700 000 évvel ezelőtti időtől kezdve az antarktiszi nyáron sem olvadt el a hó és jég,



2. ábra: A 41 000 éves és a 100 000 éves periódusok, valamint a köztes időszak hőmérsékleti menete 3 millió év alatt.

A 3. ábrán az utolsó 420 000 évre vonatkozó görbéket látunk. A legfelső görbe az antarktisi jégfuratból származó szén-dioxid koncentráció menete.

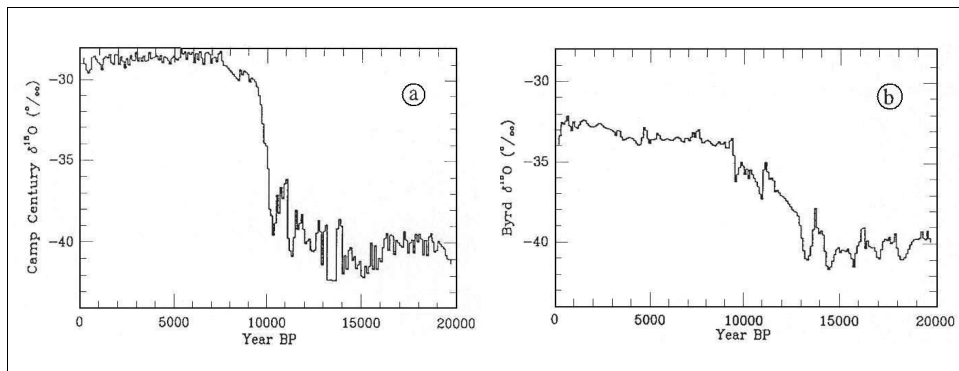


3. ábra: Antarktisi jégfuratokból rekonstruált 420 000 éves légköri és hőmérsékleti jellemzők, valamint a hozzájuk tartozó Milankovics paraméter.

(A jégbe fagyott levegő-buborékok őrzik a befagyáskori levegő összetételét.) A második görbe a hőmérséklet változásait mutatja, az ingadozás a 10 fokot nem haladja meg. A felülről harmadik görbe a metán koncentrációját írja le. A negyedik görbe az oxigénizotóp-arány, amelyből a hőmérséklet származtatható.

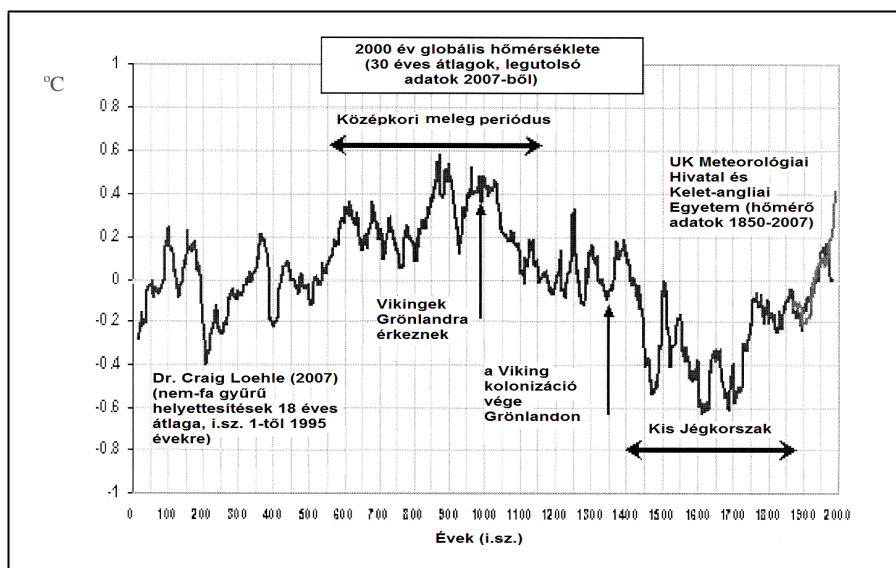
A legalsó görbe az északi szélesség 65 fokán a légkör külső határára június hónapban érkező napsugárzási energia mennyiségét mutatja (Milankovics szerint ennek változásaival magyarázhatók az utolsó 600 000 évben történt eljegesedések). Az előző ábránál említett 100 000 éves ciklusok itt részletesebben láthatók. A lehülés 90 000 év alatt, sok lépcsőben ment végbe, a felmelegedés pedig mindössze 10 000 év alatt, párhuzamosan a szén-dioxid és a metán koncentrációjának változásával. Megismételjük: ez nem azt bizonyítja, 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. Az azonban mérési eredmény, hogy a hőmérséklet és a légkör üvegházhatása együtt változott.

A 4. ábrán az utolsó 20 000 év oxigénizotóp-arányának menetét látjuk, a felső görbe a grönlandi, az alsó az antarktisi jégfuratokból származik. Ez az időszak az, amelyben a Föld az utolsó kiterjedt eljegesedésből átment a mostani állapotba. Ez az északi féltekén azt jelenti, hogy az egész évben jéggel borított terület részaránya 12 %-ról lecsökkent 3 %-ra. Az átmenet a két féltekén nem teljesen egyformán ment végbe. Az előző 600 000 év 10 fokos hőmérséklet-ingadozásához képest a változékonyság az utolsó 10 000 évben nagyon lecsökkent. Ez a stabil éghajlat tette lehetővé a vadnövényekből a mezőgazdasági növények szelekcióval történő nemesítését, ezáltal a mezőgazdaság kifejlődését és a mostani társadalom kialakulását. Négy nagy emberi kultúra jelent meg egymástól függetlenül; 9500 évvel ezelőtt Kína a rizsre, 9000 évvel ezelőtt a Közelkelet a búzára, 5000 évvel ezelőtt Mexikó a kukoricára, szintén 5000 évvel ezelőtt az Andokban a burgonyára alapuló mezőgazdasági társadalom.



4. ábra: A grönlandi (a) és az antarktisi (b) jégfuratokból származó oxigénizotóp-arány az utolsó 20 000 évről.

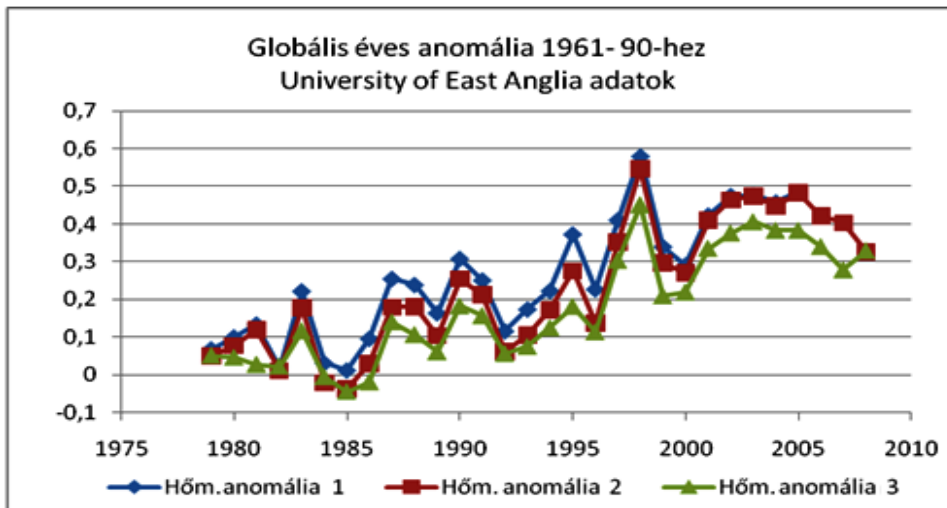
Az 5. ábrán az utolsó 2000 év hőmérsékleti menete látható. A szerző (Loehle) szerint ez az egész Földre jellemző görbe, egy 2009-es közlemény szerint azonban csak Európára érvényes, a teljes globális változás jóval kisebb. Hőmérővel mért értékeken alapul az 1850-től rajzolt, az ábrán szürkének látszó görbe, az egész időszámítás időszakát átfogó fekete görbe közvetett adatokon alapuló rekonstrukció. Az időbeli menet fő jellegzetessége az 1000. év körüli hőmérséklet, amely olyan magas érték, mint a mostani. A korábban publikált hőmérsékleti rekonstrukciók szerint ez a 2000 év jóval stabilabb volt 1900-ig, az 5. ábráról leolvasható 1,2 foknyi ingadozás helyett 0,6 fokos vagy még kisebb változást mutatnak.



5. ábra: Az időszámításunk időszaka alatti rekonstruált hőmérsékleti menet és az 1850-től mért hőmérsékletekből származó görbe.

A 6. ábrán az 1978-2008 között mért hőmérsékleti adatokon alapuló három görbe látható. A felmelegedés lépcsőzetes, de egyértelműen jellemző az utóbbi 30 évben. Modern korunk sok hőmérsékleti érzékelője ellenére egy-egy év átlagos globális hőmérsékletét mintegy 0,3 fok bizonytalansággal tudjuk megállapítani még akkor is, ha ugyanazon mérésekből, ugyanaz a kutatócsoport, de különböző módon képezi a földi átlagot.

Összefoglalva: a négy és fél milliárd éves Föld felszínén uralkodó átlagos hőmérséklet rekonstrukciójára léteznek módszerek, az ezek által szolgáltatott eredmények bizonytalansága elég nagy, de nem annyira, hogy képet ne adjanak éghajlatunk történetéről. Természetesen, sok részleten a kutatók vitatkoznak.



6. ábra: A Föld éves középhőmérsékletének menete 1978 és 2008 között.
A három görbe háromféle földi középérték képzés eredménye ugyanazon mérési adatokból.

Az éghajlat története

A Föld felszíni hőmérsékletére vonatkozó ismereteink történetét is csak vázoljuk az alábbiakban.

Amióta sok kínai kutató dolgozik az Egyesült Államokban, közülük néhány nemzetközi rendezvényeken előadásaikat úgy kezdik, hogy Kínában 4000 évvel ezelőtt már foglalkoztak ezzel a témával. Próbáltam utánanézni, hogy mit is írhattak akkor az éghajlatról. Sok energiát nem fordíthattam a keresésre, de annyit így is találtam, hogy a legalább 3000 éves, természetfilozófiaiak mondható leírásban szó esik melegegről és hidegről, szárazabbá és nedvesebbé válásról, szóval némi jóindulattal az éghajlatról és annak változásairól.

Az Európában szokásos „már az ókori görögök is” kezdetű előadások az éghajlatra is érvényesek. Tudták például azt, hogy Egyiptomban azért van melegebb, mint Görögországban, mert ott a napsugarak a felszínre merőlegesebben esnek be. Görög eredetű a klíma szó.

A felszín hőmérsékletét kialakító fizikai folyamatokat Fourier tárgyalta az 1800-as évek elején előadásokban, ezeknek az előadásoknak a szövege később (szerencsére) megjelent nyomtatásban. Eszerint a felszíni hőmérséklet kiszámításához ismerni kell a Napból a légkör (szimbolikus) felső határára érkező sugárzási energia mennyiségét, a légkör napsugárzás-átbocsátási tulajdonságait, a felszín sugárzási tulajdonságait, a Föld belsejéből a felszínre érkező hőáramot, a felszín kisugárzását, a légkör átbecsátását és elnyelését a saját hőmérsékleti su-

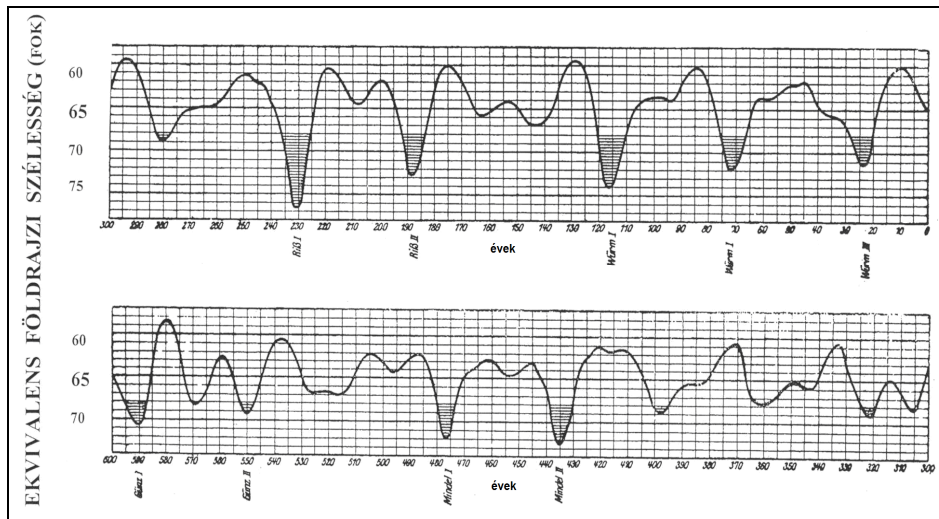
gárázás spektrális tartományában, valamint a bolygóközi tér hőmérsékletét. Fourier a felsorolt jellemzők közül egynek sem ismerte a számértékét, de előadásaiban felhívta rá a figyelmet, hogy mi mindent kell megismerni ahhoz, hogy kiszámíthassuk a Föld felszínének a hőmérsékletét. Ugyancsak Fourier állapította meg a légkör sugárzási tulajdonságairól, hogy hasonlóak az üvegehez: azaz a napsugárzásra vonatkozó átbocsátás értéke nagyobb, mint a földi hőmérsékleti sugárzásra érvényes átbocsátás, ezért a légkörben alul van a legmelegebb. Azóta minden kutató elismeri, hogy ő mondta ki először azt, hogy: a légkörnek (mai kifejezéssel élve) üvegházhatása van. (Az 1900-as évek elején kiszámították, hogy a valódi üvegházakban mutatkozó hőmérséklet-többlet nagyobb része származik a levegő áramlásának megakadályozásából, mint az üveg sugárzás-átbocsátási tulajdonságaiból.)

Fourier nyomán megindultak a kísérletek a napállandó (a légkör külső határára érkező napsugárzási energia áramsűrűségének) mérésére, valamint a légkör és az őt alkotó gázoknak a különböző hullámhosszakon érvényes sugárzás-elnyelési és kibocsátási tulajdonságainak meghatározására. Miközben az ezekre vonatkozó ismeretek lassan gyarapodtak, geológusok 1840 körül megállapították, hogy az Alpokban az elmúlt 600 000 évben négy nagy eljegesedés történt. Ebből a jégkorszakok összesen mintegy 90 000 évet tettek ki. Az eljegesedések időszakaiban változott a jégtakaró kiterjedése, 9 eljegesedési csúcsot lehetett kimutatni. Sikerült megállapítani azt is, hogy az egyes eljegesedések mettől meddig tartottak. Európában is, Amerikában is egyre több helyen fedezték fel a jégkorszakok jeleit. Ezek a felfedezések meglepték az akkori természettudósokat, hiszen az addigi összes tudásuk az utolsó 10 000 éves, stabil éghajlatú időszakból származott, tehát az volt a meggyőződésük, hogy az éghajlat állandó, amely állandó körüli ingadozás ugyan előfordul olyan formában, hogy az egyik év kicsit melegebb, a másik hidegebb, az egyik kicsit szárazabb a másik nedvebb, de 1000 évekig tartó anomáliák elképzelhetetlenek. Próbálkoztak a jégtakaró kiterjedésének és visszahúzódásának magyarázatát megtalálni. Teljesen meggyőző magyarázat ma sincs.

Miután rájöttek, hogy a légkörnek a hőmérsékleti sugárzás hullámhossz-tartományában érvényes tulajdonságait a vízgőz és a szén-dioxid szabályozza (a többi, ma ismert üvegházhatású gázzal keveset tudtak), felvetődött, hogy a Föld lehülését az okozhatta, hogy az eljegesedések idején kevesebb a légkörben a szén-dioxid, mint akkor, amikor az állandó jég csak a sarkvidékekre korlátozódik. A gyarapodó ismeretek lehetővé tették, hogy 1895-ben a svéd Arrhenius számításokat végezzen a szén-dioxid szerepének tisztázása céljából. Akkor már ismert volt, hogy az emberiség ipari tevékenysége a széntartalmú energiahordozók elégetésével növeli a légkörben lévő szén-dioxid koncentrációját, ezért Arrhenius, mintegy mellékeredményként a lehülések vizsgálata mellett, kiszámította, hogy mekkora lenne a hőmérséklet a szén-dioxid tartalom megduplázódása esetén. Eredményül 5 fokos felmelegedést kapott, ez a szám a mai tudásunk

szerint erősen eltúlzott. A számítások elvégzéséhez Arrheniusnak meg kellett alkotnia azt, amit ma éghajlati modellnek nevezünk. Az ő nyomán az éghajlati modellek érzékenységét azzal jellemezzük, hogy mekkora hőmérséklet-emelkedést adnak a szén-dioxid tartalom megduplázódására. (A legmodernebb modellek érzékenysége 1,5 és 3 fok közé esik.) Tehát Arrhenius nevét nem az eredeti cél, az eljegesedések vizsgálata terén nyert eredmények tartják fenn, hanem a melléktermék, amely az emberi tevékenység klímafolyamatokat befolyásoló hatásának első vizsgálataként ma is rendszeresen idézett.

Ha a szén-dioxid koncentráció változása vezérelte a jégtakaró kiterjedését és visszahúzódását, akkor felmerül a kérdés, mi volt az oka a szén-dioxid tartalom változásának, azaz a szén-dioxidra alapozott magyarázat hiányos. Teljes értelmezést ígért a Föld forgástengelye és a keringés síkja közötti szög változása. Ha ez a szög közeledik a derékszöghöz, az évszakok közötti különbség csökken, márpedig ez kell az eljegesedéshez, ugyanis enyhe télen több hó esik, mint a hidegen, az enyhe nyáron pedig kevesebb hó olvad el, mint a meleg nyáron. A XIX. század végén már ismert volt, hogy a Föld Nap körüli keringésének pályaelemeit hogyan lehet jó közelítéssel kiszámítani. Ez lehetővé tette, hogy a legutóbbi 600 000 év eljegesedéseinek időszakára a Földhöz, mint egy sima felületű gömbhöz érkező napsugárzás változásait Milankovics kiszámítsa. (A munka alapvető részét Budapesten végezte el az első világháború alatt, mint internált szerb állampolgár). Azt kapta, hogy a pályaelemek változása nem befolyásolja az egész Földhöz egy teljes év alatt érkező napsugárzási energia mennyiségét, de változtatja annak földrajzi szélesség szerinti eloszlását. A geológusok által talált 9 eljegesedési csúcs összekapcsolható az északi szélesség 65. fokára jutó napsugárzás változásával, minden csúcs idején ez a napsugárzás annyira lecsökkent, mint amekkora a 68. vagy magasabb szélességekre jutó napsugárzás volt 1900-ban. (Bacsák György, nagy polihisztorunk, az „akkor és csak akkor” matematikai kifejezést használta a geológiai tapasztalat és az égimechanikai számításra alapuló kritérium időbeli egyezésére. Lásd a 7. ábrát.) Milankovics munkája az 1930-as években vált ismertté, de eredményeit nagyon kevesen fogadták el a jégkorszakok magyarázatául, mivel nehéz volt elképzelni, hogy a kismértékű sugárzás-változás ekkora hőmérsékletváltozást eredményezzen. Az 1960-as évek végétől meginduló mélytengeri üledék feltárásokból, majd a grönlandi és antarktisi jégfurásokból rekonstruált hőmérsékleti menetek olyan ciklusokat mutattak, amelyek megegyeztek a Föld pályaelemeinek ciklusaival (100 000 év a napköri pálya excentricitásának, 41 000 év a forgástengely dőlésszögének ciklushossza). A hatásmechanizmus ma sem ismert, de az egyre több tapasztalati megerősítés kiemelkedően elismert tudóssá emelte Milankovicsot.



7. ábra: Milankovics ábrája 1900-tól visszafelé 600 000 évre a 65. fok északi szélességre érkező napsugárzás változásáról és az Alpokban talált eljegesedésekről.

Ezt a részt azzal zárjuk, hogy ismereteink jelentős fejlődése ellenére a földtörténet utóbbi időszakának éghajlatváltozásaira nem ismerünk jobb elméletet, mint Milankovicsé, noha ez az elmélet dinamikailag nem támasztható alá és más kifogás is emelhető ellene.

A jelen helyzet

Az 5. és 6. ábrán láttuk, hogy az utóbbi 150 évben a Föld hőmérséklete mintegy 0,8 fokkal emelkedett, az emelkedés nem volt egyenletes, de a korábbi változásokhoz képest igen gyorsnak számít. Ugyanezen idő alatt a légkör szén-dioxid tartalma csaknem megduplázódott, a többi üvegház-hatású gáz (metán, nitrogén-oxidok és halogénezett szénhidrogének) koncentrációja ugyancsak az emberi tevékenység következtében gyorsan emelkedett. Változott a Föld felszíne, változott a légkör aeroszol tartalma. Mindezen hatások eredményeként az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) jelentésekben az áll, hogy a Föld felszínének sugárzási energia-bevétele $1,5 \text{ W/m}^2$ értékkel növekedett az 1800-as évek elejéhez képest. Ez az érték számítások eredménye, mérésekkel ezt igazolni nem tudjuk, nemcsak azért, mert két évszázaddal ezelőtt nem voltak meteorológiai sugárzásmérők, hanem azért sem, mert a mostani műszerek és mérőhálózat megbízhatósága sem engedi meg ekkora változás kimutatását.

Korunk jellemzője a műholdas megfigyelési technika szerepének növekedése. A meteorológiai műholdak elsősorban a felhőzetet észlelik, de a többi meteo-

rológiai elem közvetett (távérzékelte) mérése is egyre inkább lehetővé válik. Fourier óta tudjuk, hogy a Napból érkező sugárzás intenzitását ismernünk kell, ennek megállapítása számos mérési kísérlet történt még a műholdas mérések előtt. Megbízható és folyamatos mérési adatsorunk 1978 óta van műholdakon elhelyezett műszerek méréseiből. Ugyancsak 1978 óta mérik műholdak a bolygóközi térbe visszavert napsugárzás és a Föld-légkör rendszer saját kisugárzásának mennyiségét. Sajnos ezek a mérési sorok nem folyamatosak és bizonytalanságuk néhány W/m^2 , tehát a számított sugárzás-változást nem lehet velük ellenőrizni.

Korunknak ugyancsak jellemzője a számítógépes modellezés elterjedése. A meteorológiában használatos, úgynevezett általános cirkulációs, modellek az 1970-es évek óta egyre több tényezőt vonnak be a folyamatok leírásába. Sok kutatócsoport fejlesztett ki modellt, ezek nem egyforma érzékenységek, amint már utaltunk rá. A modellek verifikálása az elmúlt 150 év méréseken alapuló hőmérsékleti menetének rekonstrukálásával történt, több modell átlaga elég jól (de nem teljesen jól) adja vissza a mért hőmérsékleti görbét. A modellek szerint az utóbbi 30 év hőmérsékleti menetében döntő szerepe van az antropogén hatásnak.

A modellekkel 2100-ra előrejelzett globális hőmérsékleti értékek jelentős mértékben szóródnak. A szórás nagyobbik része abból adódik, hogy modellbe betáplált természeti és antropogén környezeti feltételek forgatókönyvei (scenáriók) különböznek, kisebbik része a modellek eltérő érzékenységének következménye. A forgatókönyvekben a fő szerepet az üvegházhatású gázok (kb. 1990-ben) feltételezett kibocsátási menete adja. (Az eltelt 20 év mérései azt mutatják, hogy az üvegházhatású gázok tényleges kibocsátása nagyobb, mint a feltételezett legrosszabb forgatókönyv szerinti.)

Jelenlegi tudásunk maximumát tartalmazzák a modellek. Verifikálásuk egy éghajlatilag eseménytelennek minősíthető időszakon történt, mert csak erre áll rendelkezésre méréseken alapuló, megbízható hőmérsékleti adatsor. Az utóbbi 10 000 évek nagy változásokat tartalmazó hőmérsékleti menetét ezek a modellek nem tudják visszaadni. A számos rekonstrukcióból származó „megfigyelési” valamint elméleti (dinamikai) részismeretből átfogó éghajlat-elmélet kialakítására volna szükség.

A jövő kilátásai

Az utóbbi 10 000 év alatt kialakult emberi társadalom maximum 1,5 fok globális hőmérsékleti változásokat élt át. A mostanra túlnépesedett Föld gazdasági és politikai feszültségeit jelentősen megnövelné, ha nagyobb mértékű éghajlatváltozás következne be (akármelyik irányban), valószínű, hogy ezeket a feszültségeket nagyon nehezen tudnánk kezelni, ezért fenyeget katasztrófával a jelentős éghajlatváltozás. Az éghajlat-politikusok a legnagyobb lehetséges változást hangsúlyozzák (katasztrófa-hangulati elemekkel erősen színezve), hogy mozgó-

sítsanak az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére, valamint arra, hogy felkészüljünk az alkalmazkodásra.

Ha többé-kevésbé megbízhatóan tudnánk értelmezni az utóbbi kb. 100 000 év éghajlatának változásait (korábban volt kontinensvándorlás, jelentős hegységképződés, amelyek az éghajlat alakulását erősen befolyásolták), akkor megbízhatóbban tudnánk valószínűségi értékeket rendelni a jövő lehetséges éghajlati meneteihez. Ha semmi más nem történik csak az üvegházhatás növekedése, akkor az a modellek által előre jelzett (vagy még nagyobb) hőmérséklet-emelkedést fog eredményezni. A természetben azonban nagyon ritkán fordul elő, hogy összetett rendszerekben csak egy-két elem változzon. A kölcsönös összefüggések alapján az üvegházhatás bizonyos mértéket meghaladó változása maga után vonja más éghajlatot formáló elemek változását, ezek hatásának egy részét a modellek nem jól, vagy nem elég jól veszik tekintetbe. (Egyik ilyen elem a felhőzet, amelynek mennyisége és szerkezete igen nagy mértékben befolyásolja a bolygóközi térbe visszavert napsugárzási energia és a saját hőmérsékleti kisugárzással távozó energia áramsűrűségének nagyságát.)

A sokszor bemutatott, nagymértékű globális felmelegedés az egyik lehetséges jövője Földünknek (ez az, amit ki tudunk számolni). De nem ez az egyedüli lehetőség, a további lehetőségeket viszont ma még nem tudjuk modellezni. Jelenleg egyik lehetőségről sem tudjuk megbecsülni, hogy mekkora valószínűséggel következhet be.