

ÉGHAJLATVÁLTOZÁS ÉS EMBERI TEVÉKENYSÉG

Gelencsér András

Pannon Egyetem, MTA-PE Levegőkémiai Kutatócsoport,
8200 Veszprém, Egyetem u. 10., E-mail: gelencs@almos.uni-pannon.hu

Bevezetés

Földünk éghajlatát évmilliárdokon keresztül csak kozmikus katasztrófák, csillagászati tényezők vagy mérhetetlenül hatalmas geológiai folyamatok tudták befolyásolni. A néhány ezer évvel ezelőtt kialakult emberi civilizáció eleinte csak elszenvedője volt az éghajlati változásoknak, a 20. századra azonban globális éghajlatalakító tényezővé vált. Napjainkban az emberiség földtörténetileg is példátlan sebességgel változtatja meg a légkör összetételét, az üvegházhatású gázok koncentrációját, aminek múltbeli példák alapján komoly következményei lehetnek. A levegőszennyezéssel kibocsátott aeroszol részecskék a nagy vulkánkitörésekéhez hasonló árnyékoló hatásával azonban egyidejűleg hűti is a Földet. Az eddig megfigyelhető éghajlati változások e két ellentétes előjelű tényező – és más természeti tényezők – a Föld-légkör rendszer bonyolult működési rendszerén keresztül kifejtett eredő hatásaként állnak elő. A Föld-légkör rendszer hatalmas nemlineáris rendszer, annak kiszámíthatatlanságával és az ebből adódó veszélyekkel együtt. Ezért az éghajlat változására utaló, nem is feltétlenül csak a légkörben észlelhető természeti jelenségekre érdemes lenne az eddigieknél komolyabban odafigyelnünk.

Éghajlatváltozást előidéző természeti tényezők

Jól ismert tény, hogy a Föld éghajlatára (pontosabban időjárására) a nagyobb vulkánkitörések érzékelhető hatást képesek gyakorolni (Cole-Dai, 2010). A sztratoszférába juttatott kén-dioxid kénsav részecskékké alakul át és a világűr felé visszaveri a napsugárzás egy részét, tehát a felszínre energia mennyisége, így a hőmérséklet is csökken. A Fülöp-szigeteken található Pinatubo vulkán 1991. évi kitörése a mérések szerint 20 millió tonna kén-dioxidot (a teljes éves globális emberi kibocsátás 1/3-át) juttatott néhány nap alatt mintegy 40–50 km-es magasságba (Hansen *et al.*, 1996).. A Pinatubo kitörését követő évben a globális átlaghőmérséklet 0,5 °C-kal esett vissza, és a trend csak 1994-re állt ismét helyre.

Mintegy 56 millió évvel ezelőtt a Föld körülbelül 220 ezer évig tartó igen meleg periódust élt át. Ezt a földtörténeti eseményt – amelyet a geológusok Paleocén-Eocén Hőmérsékleti Maximumnak (PETM) neveznek – tekinthetjük a Föld történetében az üvegházgáz-vezérelt éghajlatváltozás legközelebbi példájának (McInerney és Wing, 2011). A szén izotóparányának hirtelen megváltozásából arra következtethetünk, hogy a felmelegedést hatalmas mennyiségű szén-dioxid felszabadulása okozhatta. A felmelegedés kezdeti szakasza földtörténeti szempontból rendkívül gyorsan játszódott le, a Föld átlaghőmérséklete kevesebb, mint 10 ezer év leforgása alatt legalább 5 °C-ot emelkedett.

Az emberi tevékenység hatásai

A levegőszennyezést az 1990-es évekig inkább lokális, elsősorban a lakosság egészségét érintő problémának vélték, fel sem merült, hogy globális éghajlatmódosító hatása is lehet. A levegőszennyezés az éghajlat szempontjából meghatározó komponensei az 1 mikrométernél is kisebb aeroszol részecskék, elsősorban a kén-dioxidból képződő szulfát-, az illékony

szénhidrogénekből képződő szerves és az égésből származó koromrészecskék. A mérések és számítások szerint a szulfát- és szerves részecskék globálisan az emberiség teljes energiatermelő kapacitása 40 ezerszeresének (!) megfelelő teljesítménnyel hűtik folyamatosan a légkört, éppúgy, ahogy alkalmanként a nagy vulkánkitörések által a levegőbe juttatott aeroszol részecskék is teszik.

A Föld légkörében a legnagyobb koncentrációban előforduló üvegházhatású gáz, amelynek mennyiségét az emberi tevékenység befolyásolni képes, a szén-dioxid. Légköri koncentrációja (pontosabban keverési aránya) éppen 2014 tavaszán haladta meg először a lélektaninak tekinthető 400 ppm (0,04 térfogat %) értéket, amekkora több mint 7 millió évvel ezelőtt lehetett utoljára! Ahhoz képest, hogy az emberi civilizáció kialakulását és fejlődését az ipari forradalom hajnaláig lényegében állandó (280 ppm) szén-dioxid koncentráció kísérte végig, ezt napjainkra 40 %-kal sikerült megnövelni. Az 56 millió évvel ezelőtti földtörténeti esemény a mai éghajlatváltozás tanulságául szolgál. Hirtelen jelentős mennyiségű üvegházhatású gáz szabadult fel, és erre a Föld, ahogy az a fizikai törvényekből következik, gyors és jelentős felmelegedéssel és az óceánfelszín elsavasodásával válaszolt. Napjainkban két ellentétes előjelű változást okozó emberi tényező (többet üvegházhatás kontra levegőszennyezés) vívja gigantikus csatáját, de a küzdelem eldőlni látszik...

Távolabbi kilátások

Az emberi tevékenység a Föld-légkör rendszer sugárzási mérlegének számos elemét bizonyíthatóan módosította (Steffen *et al.*, 2007). A levegőszennyezésből származó részecskékkel – a vulkánkitörésekhez hasonlóan – megnövelte a földi légkör árnyékoló hatását, az égésből származó koromrészecskék pedig számottevő mennyiségű napsugárzást nyelnek el. Az üvegházhatású gázok folyamatosan növekvő kibocsátásával megnövelte a légkörben elnyelt hőenergia mennyiségét. Tehát bizonyítottnak tekinthetjük, hogy az emberiség napjainkban tevékenyen közreműködik a bolygó sugárzási mérlegének alakításában. Ez a következtetés önmagában kevéssé meglepő, hiszen Földünk felszínén kivétel nélkül minden szféra magán viseli a hatalmas léptékű emberi beavatkozások nyomát.

Az elmúlt kétmillió év drámai éghajlatváltozásai azt bizonyítják, hogy a sugárzási mérleg kismértékű megváltozásának hatására Földünkön igen könnyen gyors eljegesedés vagy felmelegedés indulhat meg. Azaz bolygónk éghajlati rendszerében – legalábbis évtizedes-évszázados időskálán – nincsenek hatékony fékező-stabilizáló mechanizmusok, nincs jól működő földi „termosztát”. Márpedig láttuk, hogy a sugárzási mérleg egyensúlyát az emberiség máris érzékelhetően módosította. Ez az emberiség által indukált vagy inkább kiprovokált jövőbeni éghajlatváltozás legnagyobb kockázata.

Irodalom

- Cole-Dai, J. 2010. Volcanoes and climate, *Interdisciplinary Reviews: Climate Change* Volume 1, 6, 824–839.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R. *et al.*, 1996. A Pinatubo climate modeling investigation. In *The Mount Pinatubo Eruption: Effects on the Atmosphere and Climate*, NATO ASI Series Vol. I 42. G. Fiocco, D. Fua, and G. Visconti, Eds. Springer-Verlag, 233–272.
- McInerney, F.A., Wing, S.L., 2011. The Paleocene-Eocene Thermal Maximum: A Perturbation of Carbon Cycle, Climate, and Biosphere with Implications for the Future. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 39, 489–516.
- Steffen, W., Crutzen, P.J., McNeill, J.R., 2007. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 36, 8, 614–621.