Marx György

A LÉGKÖR ÜVEGHÁZHATÁSA

„1989. február 26., kora dél. Debrecen peremétől, a Hortobágyon átvonuló Keleti Csatornától már riasztóan látható a közeledő veszély, a száradó dohánylevél színére emlékeztető sárgásbarna porfelhő. Ahogy erre nevezik, a kúneső. Félelmetes nyári aszállyal fenyeget jó előre olyan kora tavaszon, amidőn alig fedi növényzet a porzó földet, mert a tél sem áztatta meg eléggé a talajt. A kavargó és gyors szél mindent befedő és fullasztó óriásboltozatot épít a lila homokból. Most Tiszafüred és Poroszló felől keletkezhetett. A pusztai rekettyések, a messzi fasorok, amik máskor kékellenek, most szürreális agyagfoltokként lebegnek. A hortobágyi keskeny árkok pangó vizeinek fodrán szennyes habok remegnek. A hosszú derekú nádbugák izgatottan vergődnek a szélben, mintha vészharangozni akarnának. Az árokpartok február végi csomós fűsarjai szürke-sápadtak lettek a kúnesőtől. Sápkóros odébb a gyenge vetés, a tócsák lepedékesek. Az igyekvő ember szájpadlását, orrcsatornáit por szárítja és kaparja. Egyébként alig látható mozgó férfi vagy asszony, pláne gyerek a Hortobágyon, ugyanígy szinte senki Füreden vagy Poroszlón, Dormándon. Félnivaló idő, a kisebb madarak elbújtak, a varjak a földhöz lapultak. Szárított tüskebokrocskákat, ördögszekereket kerget át az úton a vihar, mind keresztbe rohannak. A hortobágyi csárda kútjánál ácsorgó feketebronz kendős hajdú asszonyokról azt gondolni, máris kiapadt tán Debrecen vize. Mintha éppen most járt volna erre Boda Pista ideváló költő, alig reménykedő rímekkel: Hazám! Életem repedt pereme, végváram, csorba ázsiai táj. A szél kavarta, idehordta.

(Soltész István, Magyar Nemzet)

A 6000 fok felületi hőmérsékletű Nap szakadatlan fényözönnel árasztja el a Földet. Bolygónk energiatartalma mégsem növekszik napról napra. A talaj ugyanis láthatatlan infravörös sugárzást bocsát ki a világűrbe (derűs éjsza-

kákon ezért hűl le a föld). A napfény addig melegíti a Föld felszínét, amíg a felvett energiával egyenlővé nem válik a kisugárzott energia. Egyetemes természettörvények alapján kiszámítható, hogy a megfelelő egyensúlyi hőmérséklet —18 fok volna. Ilyen például a Hold átlaghőmérséklete. A Föld mégsem fagyott világ. Ez annak köszönhető, hogy a légkör ugyan átengedi a látható napfényt (ezért látjuk a Napot), de egyes légköri molekulák elnyelik a talaj infravörös sugárzását: visszatartják a kisugárzott földmeleg 30%-át. Így alakul ki a 15 °C földi átlaghőmérséklet.

Hasonló elv szerint működnek az üvegházak. Az üvegtáblák áteresztik a napfényt, de visszatartják a talaj infravörös kisugárzását, ezért a meleg csapdában marad: koratavaszon a palánták védetten vészelik át az éjszakai fagyokat. Joggal beszélünk tehát a légkör „üvegházhatásáról" mint a földi életet lehetővé tévő jelenségről. A ritkább atmoszférájú Mars élettelen fagyott világ.

A sugárzás az elektromos mező rezgése. Azt elnyelni olyan molekulák képesek, amelyeken vannak megfogható elektromos töltések. Beléjük kapaszkodik az elektromos térerő és megrezegteti a rugószerű kémiai kötéseket. Így akad fenn az infravörös sugárzás a légkörben lévő vízgőz és szén-dioxid molekuláin. Az atmoszféra infravörös elnyelő képessége elsősorban *a vízgőz és szén-dioxid légköri koncentrációjától függ.*

A vízgőzt az óceánok, növények, talaj párolgása adja, tehát a párakoncentráció a mindenkori hőmérséklet függvénye. A légkör szén-dioxid mennyiségét viszont a bomló és eltüzelt növényi szervezetek táplálják, a fejlődő növényzet pedig csökkenti. A légköri szén-dioxid mennyiségének növekedése emeli a hőmérsékletet, ezen keresztül a vízgőz mennyiségét is, ami tovább fokozza a felmelegedést. A földfelszín és a légkör hőmérséklete végső soron a szén-dioxid-kibocsátás változását követi. (Nem minden szén-dioxid marad a légkörben. Mintegy 50% vízben oldódik, állatok mészhéjába épül be, mészkőüledékben kötődik. Ez a folyamat azonban lassú, nem képes követni a gyors éves-évtizedes változásokat.) A Vénuszon 96% a légkör szén-dioxid-tartalma; pokoli 460 fok a bolygó felszíni hőmérséklete. Ezt a szinte tökéletes üvegházhőcsapda okozza.

A földi légköri szén-dioxid mennyiségének múltbeli változását rekonstruálni lehet a Grönland és Antarktisz jégrétegeibe szorult levegőbuborékok elemzésével. Az 1950-es évek óta Hawaiiban, a Manua Loa vulkáni csúcsán épült obszervatóriumban szakadatlanul folyik a szén-dioxid-koncentráció regisztrálása. Innen tudjuk, hogy a szén-dioxid mennyisége 280 milliomodrész volt az ipari forradalom kezdetén. 300 milliomodrészre növekedett a 20. század közepére. Azóta ez a növekedés felgyorsult: jelenleg 350 milliomodrész, és évente 1,5 milliomodrésszel növekedik. A növekedés oka elsősorban a széntartalmú tüzelőanyagok (kőszén, kőolaj, földgáz) elégetése, azaz a növényi szervezetek által évmilliók során légkörből kivont szén légkörbe történő visszajuttatása egy-két évszázadra, évtizedre besűrített intenzitással.

A szén-dioxid mennyiségét nem csupán a tüzelés fokozza, hanem az erdőirtás is. A Föld erdőterülete 5000 évvel ezelőtt a szárazföld 36%-a volt, a múlt században 28%-a, ma 23%, és évente fél százalékkal csökken, elsősorban a vándorló trópusi mezőgazdaság esőerdőket felégető rablógazdálkodása miatt. A közvetlen emberi fairtáshoz egyre inkább hozzájárul a savanyú esők erdőmérgező hatása. A kieső zöld csökkenti a szén-dioxid biológiai megkötését, a felhalmozott biomassza elbomlása pedig fokozza a szén-dioxid kibocsátását.

Az óceánok vizének (olajjal és kémiai mérgekkel történő) szennyezése az alganépesség irtása miatt hasonló következménnyel járhat. A biológiai károsodás azonban kisebb mértékben járul hozzá a szén-dioxid-koncentráció növekedéséhez, mint a fosszilis tüzelőanyagok elégetése fűtés, ipar, villanyfejlesztés, közlekedés céljaira.

A szén-dioxid-tartalom növekedésével párhuzamosan tapasztalható *a légkör és a világóceán fokozatos melegedése.* A múlt század közepe óta (az ipari forradalom hatására) a hőmérséklet kb. 0,6 °C értékkel emelkedett. Becslések szerint a jelenlegi szén-dioxid-koncentrációban további 0,6 °C hőmérséklet-növekedés elkötelezettsége van benne. Ez utóbbi melegedés szükségszerűen bekövetkezne akkor is, ha mától kezdve nem fogyasztanánk több szenet, gázt, benzint.

Egy 5 km magas vízoszlop szintje 1 °C melegedés hatására 1 métert emelkedik. (A világóceán hőtágulásához társul még a szárazföldi hósapka, jégárak olvadása.) A világóceán szintje a múlt században 14 cm-rel, a jelen század első felében 33 cm-rel emelkedett meg. Szaporodnak a híradások a dagály és a szél által támogatott, Velence utcáit és Banglades rizsföldjeit elárasztó tengeráradásokról.

A korábbi évek éhínségokozó afrikai szárazsága, az Egyesült Államok 1987-es aratásának egynegyedét elvivő hosszú forró nyár, a hazánkban is tapasztalt két szokatlanul enyhe tél a közönség figyelmét is felkeltette a légköri üvegházhatás iránt. A század legmelegebb nyarai valóban az 1980-as évtizedbe sűrűsödtek. A meteorológusok vitatkoztak, hogy mindez a fokozott szén-dioxid-termelés által felfuttatott üvegházhatás előhírnöke-e, hiszen éghajlat-ingadozások máskor is voltak. A vitát a világóceán megmért több tized fokos felmelegedése döntötte el. Amint James Hansen, az Amerikai Űrkutatási Hivatal Goddard Intézetének igazgatója tavaly fogalmazott: *Észleljük az üvegházhatás fokozódását, az már ma is változtatja éghajlatunkat.*

Nem a szén-dioxid az egyetlen vegyület, amely hozzájárul az erősödő üvegházhatáshoz, de ebből bocsátunk ki legtöbbet: 30 milliárd tonnát évente. Egy *metánmolekula* hatása 20-szorta jelentősebb, mint egy szén-dioxid-molekuláé, de a metánkibocsátás csak 400 millió tonna évente, így következményei a szén-dioxid-emisszió hatásának harmadát-negyedét ha elérik. Metánt a szerves anyag levegőtől elzárt lebomlása termel, többek között az állati trágya és az elárasztott rizsföldek. Ami aggodalomra ad okot: a világ népessége jelenleg évente 1,35%-kal nő. Az embereknek enniök kell. Ezért a metánkibocsátás majd háromszor olyan rohamosan emelkedik, mint a szén-dioxid emissziója.

Vannak *további üvegház-molekulák* (a növények, autómotorok, műtrágyázás számlájára írható nitrogén-oxidok, a tüzelés és belsőégésű motorok által keltett alsólégköri ózon, a spray és hűtőgép által használt freon), ezek molekulánként még ártalmasabbak, de együttes hatásuk jelenleg kisebb, mint a szén-dioxidé és metáné. (Veszedelmesebb, hogy savanyú esőt okoznak, és hogy fenyegetik az ultraibolya sugárzás ellen védő magaslégköri ózonpajzsot.)

A jelen tendenciát észlelve jogos a kérdés *a földi éghajlat jövőbeli alakulására vonatkozóan.* Szuperszámítógépeken végzett légkör-modellezés szerint a szén-dioxid-tartalom megduplázódása által kiváltott átlagos hőmérséklet-emelkedés becsült értéke 3 fok (minimálisan 1,6 fok, maximálisan 4,9 fok). Kb. ezzel összemérhető járulékos felmelegedést idéznének elő a többi szennyező nyomgázok. Ilyen értékek megnyugtatóan alacsonynak tűnhetnek. De tudnunk

kell, hogy a jégkorszakban Földünk átlaghőmérséklete mindössze 4,9 fokkal volt a mai érték alatt! Fagymentes telet, örökzöld tájat talán sokan elfogadnának magyar földön is. De az éghajlat-modellek a mérsékelt égöv déli sávjában fokozódó szárazságot, az északi sávban fokozódó csapadékot prognosztizálnak. Európa és Amerika jelenleg búzát, főleg pedig kukoricát termő vidékei mediterrán pusztává válnának, a búza- és kukorica-övezet felcsúszna Kanadába, Lengyelországba, Szibériába. A finn telek akár 10 fokkal is enyhülnének. Hazánk eredeti növénytakaró szempontjából az északi erdőövezet, valamint a nyugat- és kisázsiai száraz sztyeppe határán fekszik. A jelzett mértékű felmelegedés hatására az erdőhatár néhány száz kilométerrel északabbra szorulna.

Még tragikusabb volna a szükségszerű többméteres vízszint-emelkedés a tengerparton, főleg a termékeny folyódeltákban élő népek szempontjából. A Rajna, Nílus, Gangesz, Mekong, Jangce deltáit érő állandósuló vagy időleges özönvíz már ma is milliárd dollárokkal károsít és milliókat tesz földönfutóvá. 5—10 méteres tengerszint-emelkedés milliárd embert üldözne el, bolygónk mezőgazdasági termelésének egynegyedét veszélyeztetné.

Fentiekből következik, hogy a szén-dioxid-tartalom kétszerezése megengedhetetlen. A globális klímaváltozást tárgyaló torontói világkonferencia jegyzőkönyve tavaly így fogalmazott: *Az emberiség bolygónkkal akaratlanul egy nem ellenőrzött kísérletet hajt végre, amelynek végső kimenetele egy nukleáris világkonfliktussal összemérhető veszedelemmel fenyeget.*

Márpedig a szén-dioxid-mennyiség megkettőződése a közeljövő fenyegetése. Az emberiség energiaigénye évente 2%-kal növekedik. Ha ennek zömét továbbra is fosszilis tüzelőanyagokból kívánjuk fedezni, a szén-dioxid megduplázódása a 2020-as évekre várható. Számoljunk pontosan. A világ jelenlegi fosszilis tüzelőanyag-felhasználása 10 milliárd tonna kőszén-ekvivalens évente. (1 tonna feketeszén elégetése annyi szén-dioxidot termel, mint 870 liter kőolaj eltüzelése. A feketeszén-egyenérték a kőszén, kőolaj, földgáz teljes felhasználását összegzi.) Ma 5 milliárd ember él bolygónkon, tehát az átlagos fejkvóta 2 tonna kőszén-ekvivalens fogyasztása fejenként évente. Az iparosodott országok fogyasztása ennél jóval magasabb. (USA 10 tonna, NSZK 8 tonna, NDK 6 tonna, Japán 4 tonna, Kína 0,7 tonna, India 0,3 tonna. A Nyugat teljes részesedése 49%, a KGST részesedése 20%.) A fejlődő országok népessége azonban 1,65%-kal nő évente, tehát 2030-ban már 8 milliárdan lennének. Ha akkor mindegyikük csak annyi fosszilis tüzelőanyagot fogyasztana évente, mint a mai világátlag (2 tonna/fő), máris kijönne a jelenlegi szén-dioxid-kibocsátás megkétszereződése, mégpedig gyermekeink korára! A légkör szén-dioxid-tartalma egy évszázadon belül kétszeresre nőne.

Néhány évtized alatt felfutó szén-dioxid kibocsátást az óceán és a növényzet nem tudná nyomon követni, nem képes ellensúlyozni. 1 km^2 erdő 600 tonna szén-dioxidot köt meg évente, ennek mintegy 60%-át tartja meg a biomasszában. Jelenleg évi 30 milliárd tonna a szén-dioxid-kibocsátás, ennek elnyelésére a jelenlegi erdőségen túlmenően az összes szárazföld felét-harmadát kellene erdősíteni. Csupán a növekmény lekötésére minden évben további 2-3 magyarországnyi területet kellene fával beültetni. A valóságban a szaporodó népesség pusztítja az erdőket.

Dönteni és cselekedni tehát már ebben az évszázadban kell, egy évtizeden belül. Tavaly az NSZK Fizikai Társulata és Meteorológiai Társulata nagyon radikális, mégis nehezen vitatható javaslatot dolgozott ki. Eszerint immorális

volna Észak és Dél számára hosszú távon eltérő fogyasztási kvóta meghatározása. Éppen ezért a két társulat azt ajánlja, hogy 25 éven belül el kell érni: a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása ne haladja meg az 1 tonna kőszén-ekvivalenst fejenként évente. (Ez kemény üzenet a ma 10 tonnát fogyasztó Egyesült Államoknak és NDK-nak, a 4,5 tonnát fogyasztó Európának, 4 tonnát fogyasztó Japánnak.) Ilyen fejadag is csak akkor tartható fenn, ha a világ népessége nem haladja meg a 7 milliárdot, amit pedig az ENSZ a jelenlegi trend alapján 2020-ra prognosztizál. (Ez kemény üzenet a fejlődő országoknak.)

Európában gondolkozva: *az energiatakarékosságban vannak még tartalékok.* (10 liter/100 km fogyasztású autók helyett 5 liter/100 km fogyasztású autók. Városok fűtése a villamos erőművek hulladékhőjével. A fogyasztóberendezések elektronikus szabályozása.) De tudjuk: az emberek nagyobb (fűtött) lakásra, autóra, televízióra, hűtőszekrényre, fagyasztóládára tartanak igényt. Nem valószínű, hogy az energiafelhasználás a jelenlegi érték 50%-ára leszorítható. A fosszilis (szén-dioxidot termelő) tüzelőfogyasztási kvóta java részét lekötik majd a mással nehezen üzemeltethető autók, repülőgépek. A fűtés, ipar, villamos energia igények kielégítésére maradnak a (korlátozott) megújuló energiaforrások és a (fejleszthető) atomerőművek jöhetnek csak szóba.

Szükséges *a megújuló energiaforrások* (víz, tűzifa, napfény) szinte teljes kiaknázása. Sajnos, nálunk nem mindig süt a nap, amikor fűteni kell. A biomassza néhány százalékot biztosíthat. Szél és árapály főleg tengerparton kínálkozik. Megújuló energiaforrások nálunk a legoptimistább becslések szerint sem érhetik el az 1 tonna kőszén-ekvivalenst fejenként évente, és a velük kiváltott hányad nagyon sokba fog kerülni. (Csak magas energiaadóval és fejlesztést segítő kormánytámogatással valósítható meg.)

Hazánk szén-dioxid-emissziója az európai átlag alatt van. Ez annak köszönhető, hogy a hazánkban termelt villamos energia 45%-át a Paksi Atomerőmű szolgáltatja, a teljes fogyasztásból 30%-ot a villamos energia szovjet atomerőművekből származó importja ad. Tavaszidőn csúcsigénynél villamos energiát importálunk osztrák vízierőművekből is. A villamos energia azonban csak a teljes energiafelhasználás kisebb hányadát teszi ki. Az atomenergia járuléka villamosenergia-termelés fedezésén túllépve csak úgy volna fokozható, ha a hulladékhőt városok fűtésére hasznosíthatnánk. Ahhoz pedig, hogy kisebb atomerőműveket városok közelébe telepítsünk (ilyen igény Debrecenben már felmerült), az atomerőművek inherens (szerkezetből adódó) biztonságát kell fokozni, hogy az emberi hiba (ami eddig a katasztrófák oka volt) szűk korlátok közé legyen szorítható. Ilyen irányú kutatások világszerte egyre intenzívebben folynak, mióta a tudomány felismerte a megszaladó légköri üvegházhatás fenyegetését. Természetesen a nukleáris technika tudáson alapuló felelősséget tételez fel.

A klimatológia és energetika kapcsolódásának tudományos háttere érthető. A jövő számítógéppel prognosztizálható. A tudományos figyelmeztetés foganatja mégis kétségesnek látszik, mert az emberiség hosszú távú (globális) érdeke ütközik az egyén (a lokális közösség) rövid távú anyagi érdekeltségével. Olcsóbbak a lehasznált és rossz hatásfokkal üzemelő autók. A gázturbinás erőmű beruházási költsége kicsi a vízerőműéhez vagy atomerőműéhez képest. Európához történő csatlakozásunk érdekében egyezményeket írtunk alá a kén és freon légköri kibocsátásának korlátozásáról; a hágai konferencia (amelyen Németh Miklós miniszterelnök is részt vett) sejteti, hogy egyszer majd szerződnünk kell a szén-dioxid-emisszió megzabolázása ügyében is. De érdemes-e leállítani meglévő, szennyező szénerőműveinket, amíg a nálunk több szennyet

termelő szomszédaink nem lépnek? Könnyű mondani, hogy ejh, ráérünk arra még.

Földünk éghajlatának sorsa elsősorban nem tudományos kérdés, nem is csak műszaki feladat, hanem nagymértékben *etikai probléma*, unokáink iránt érzett morális felelősség kérdése. A környezet érdekében, egy-egy völgy megmentése vagy hulladéktemető építésének leállítása ügyében szervezett környezetvédő tüntetés nem ad felmentést a mindenkit fenyegető *egyetemes problémákkal* való határozott szembenézés alól. A fejlődő országok népesedéspolitikája a valláserkölcs irányváltását követeli meg. A fejlett országok — köztük hazánk — individualista fogyasztói ideáljának önzetlen globális közösségi etikává történő nemesítése *nevelési feladat*, amelynek a probléma megértéséből, tudatosításából kell kiindulnia.

A MAGYAR TUDOMÁNY KÜLÖNSZÁMA

A Magyar Tudomány szerkesztősége múlt év végén különszámban jelentette meg az 1989. szeptember 26-i akadémiai vitafórum teljes szerkesztett jegyzőkönyvét, valamint az utólagosan beérkezett hozzászólásokat. Olvasóink érdeklődésére közöljük, hogy a különszám az Akadémiai Kiadó STÚDIUM (Budapest V., Váci u. 22.) és a MAGISZTER (Budapest V., Városház u. 1) könyvesboltjaiban vásárolható meg.