

Klíma változás

Készítették:

Baji Gál Árpád
Erdey Mercédesz
Erdélyi Szabolcs
Feiler József
Lugosi Krisztián
Mihók Barbara
Staller Sára

Tartalom

Előszó

Éghajlat-változás

- A Föld légköre
- A bioszféra szénkörforgása
- Az ember okozta üvegházhatás
- Az éghajlat-változás becslése

Éghajlat-változás és az emberi egészség

- Bevezetés
- Közvetlen hatások
 - A hőmérséklet, különös tekintettel a szélsőségekre
 - Az éghajlat és a légzőszervek
 - Az éghajlat változékonysága és a természeti katasztrófák
- Közvetett hatások
 - Vírushordozó által terjesztett betegségek
 - Tengerszint emelkedés
 - Mezőgazdasági termelékenység
 - Más, mezőgazdasággal kapcsolatos hatások
- Az éghajlat-változás politikája

Összefoglalás

Magyarországi helyzet

A légkör védelme: egy személyre szóló napirend

Előszó

Azt mondják, hogy az évezred utolsó évtizede a döntéseké. Ezekben az években kell olyan döntéseket hoznia az emberiségnek, amelyek rendkívüli mértékben befolyásolják jövőjét. Ilyen értelemben a meg nem hozott döntések is döntések.

1995-öt írunk, az évtized felénél járunk, és az egész bolygóra kiterjedő társadalmi, környezeti válság elkerülése érdekében még nem sokat tettünk. A döntéshozók fontosabbnak látják rövidtávú érdekeiket, mint a „bizonytalan” jövő, az ő és a mi jövőnk védelmét. Nevezhetjük ezt önzésnek, rövidlátásnak, felelőtlenségnek, a végeredmény mindenesetre katasztrofális lehet az ember és talán az élet számára is. Vajon minket képviselnek ők?

Az éghajlat-változás a minket fenyegető válság egyik súlyos eleme. Ebben a kiadványban ezt és ennek az emberi egészségre gyakorolt hatását mutatjuk be. Úgy terveztük, hogy elkészülünk vele a Berlinben megrendezésre kerülő nemzetközi éghajlat-tanácskozásra, ahol a világ kormányai döntenek a Rió de Janeiróban, 1992-ben aláírt éghajlat-keretegyezmény jövőjével kapcsolatban.

Sajnos a tanulmány nem készült el a tanácskozás előtt, jelentősége azonban a tanácskozással nem csökkent, mivel annak résztvevői hosszas tárgyalások után csak annyiban tudtak megegyezni, hogy 1997-ben ismét összegyűlnek és folytatják a tárgyalásokat.

Így az AOSIS (Kis Szigetállamok Szövetsége) ama javaslatának, hogy az iparosodott országok 20 százalékkal csökkentsék az üvegház-gáz kibocsátásukat, még esélye sem volt arra, hogy határozat szintre emelkedjék.

Újabb két év fog eltelni a döntések évtizedéből, mialatt a kormányok nem tesznek semmit az éghajlat-változás veszélyének csökkentése érdekében.

Így - sajnos - kiadványunk aktualitása és mindannyiunk felelőssége napról-napra nő.

A szerkesztő ez úton szeretne köszönetet mondani mindazoknak, akik közreműködtek a tanulmány elkészítésében, az ELTE Természetvédelmi Klub Zöld UtánPótlás munkacsoportja tagjainak, és György Lajosnak.

Feiler József

Budapest, 1995. május 27.

Éghajlat-változás¹

A Föld légköre

Az égbolt jellemzése elég könnyűnek tűnik: napközben kék, éjszaka fekete; felhők, nap, hold, csillagok. Ám mindezekon túl - az irodalmon, a legendákon és az ősi vallásokon túl - a légkör a bioszféra összetett része. A természetes üvegházhatáson keresztül szabályozza a Föld hőmérsékletét, sok bejövő ultraibolya sugarat elnyel, itt zajlanak az időjárási jelenségek. Széndioxidot biztosít a növények fotoszintéziséhez és oxigént az aerob anyagcsere-folyamatokhoz, részt vesz a víz, a szén, a nitrogén a foszfor és még sok más elem életfenntartó keringésében.

A Föld átlagos felszíni hőmérséklete mérsékelt, 15 °C fok. A gyenge gravitációjú Mars átlátszó légköre, és a Vénusz lenyűgöző, felhős légköre jóval fagyponthoz alul (-53 °C), illetve jóval forráspont felett (460 °C) van. A Föld más, szomszédos élettelen testvérbolygóin oxigén csak nyomokban van, továbbá egy kis mennyiségű nitrogén, valamennyi metán és ózon. Mindkettőnek a légköre legalább 95%-ban széndioxidot tartalmaz, míg a Föld atmoszférájában a széndioxid-töménysége most 1%-nál alacsonyabb.

A Föld atmoszférája kb. 100 km vastag. Ebből a troposzféra, a legalsó réteg kb. 10 km, és a légkör összes anyagának kb. 90%-t tartalmazza. Itt zajlanak a mindennapi időjárási jelenségek - szelek, felhő-, eső- és hóképződés. A troposzféra főleg nitrogént (78%) és oxigént (21%) tartalmaz, a maradék 1%-át argon, vízgőz, széndioxid, metán, ammónia, hidrogén és más, jelentéktelen gázok teszik ki. A földi élet pótló, kiegészítő jelenléte nélkül ez a jellegzetes és kémiaiilag valószínűtlen összetétel nem lenne állandó, lévén az oxigén, a metán és egyéb gázok napfény jelenlétében kölcsönhatásba lépnek egymással. A következő, kevésbé sűrű réteg a sztratoszféra, mely a 10-50 km-es sávban húzódik, és az ózonréteget tartalmazza.

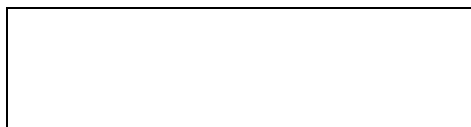
A légkör szerepe a szabályozott földi hőmérsékletben és időjárásban összetett. A hideg és a meleg légáramlatok - követve a szárazföld és a tenger hőmérsékletváltozásait, - okozzák a hőmérséklet naponkénti változását, a széljárást és az esőt. Az évszakok váltakozása a Föld Nap körüli éves keringésének eredménye. Fokozatosan növekvő időskálán négy másik földrajzi és csillagászati jelenség hat a Föld hőmérsékletére:

1. A megközelítően 11 éves flaire- („napfolt”-)-ciklus, többlet sugárzást okozva.
2. A csillagászati korszakok (Milankovics-korszakok) rangsora a Föld Nap körüli pályájának és a körforgás tengelye körüli pörgettyűs ingás (precesszió) változásainak tulajdonítható.
3. Nagyságrendekkel hosszabb változásokhoz vezet a földrészek mozgása (ami hosszabb jég-korszakokhoz vezet minden egyes 100 millió évben)
4. A Nap hőmérsékletének lassú növekedése.

A légkör szabadon átengedi a rövidhullámú sugarakat (amelyekbe a látható fény is beletartozik) a Föld felszínére, ugyanakkor csapdába ejt valamennyit a Földről visszasugárzott energiából, mint pl. a hosszabb hullámú infravörös sugárzásból (hő). Ez a hővisszatartás, szakkifejezéssel „sugárzásos fűtés” (radiative forcing) okozza a természetes üvegházhatást

¹ A következő rész *A. J. McMichael, Planetary Overload. Global environmental change and the health of the human species*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. című könyvéből a klímaváltozással foglalkozó fejezet rövidített fordítását adja.

(lásd 1. ábra). A természetben előforduló üvegházhatást kiváltó gázok - főként a vízgőz, a széndioxid és a metán - mindegyike különböző hullámhosszúságú infravörös sugarakat nyel el. (A kisebb kétatomos gázmolekulák, mint pl. a CO és a salétromoxid, nem nyelnek el infravörös sugarakat.) Következésképpen a sugárzási energiából sok visszamarad a légkör alacsonyabb részében, így növelve annak hőmérsékletét. Az eredendő átlagos globális felszíni hőmérséklet 15 °C, kb. 34 °C-kal magasabb, mint ha az összes visszasugározott hő eltávozna az űrbe. Enélkül a légköri hőtakaró nélkül a Föld vizei befagynának, és az élet nem létezhetne. A következmény természetesen az, hogy minél nagyobb e gázok koncentrációja, annál vastagabb a „takaró”, azaz nagyobb a melegítő hatás az atmoszféra alacsonyabb részében.



1 ábra. Az üvegházhatás egyszerűsített ábrája. Nagyobb a hőnyelő gázok töménysége az alacsonyabb atmoszférában, nagyobb a hővisszatartás a Föld felszínéhez közel.

Az elmúlt 160 ezer éven át a széndioxid és metán töménység-ingadozások a légkörben szoros összefüggésben álltak az átlaghőmérséklet változásaival. Ez a periódus felölelve több mint egy teljes jeges-féljeges korszakot, 5-7 °C-os hőmérséklet-változásokat vont maga után. A széndioxid-töménység és az oxigénizotópok hőmérsékletfüggő arányának vizsgálatait orosz tudósok végezték el a Vosztok-5 Antarktiszon végrehajtott, egy km mélységű jég-fúrómagjából származó jég rétegeken. Az összefüggés azt mutatja, hogy a széndioxid-töménység változása a légkörben hozzájárul a hőmérséklet földi méretű változásaihoz. Mindazonáltal a kapcsolat lehetne az ellenkező irányú is: a Föld felszíni hőmérsékletváltozásai hatással lehetnének a széndioxid és a metán-kibocsátásra. De mint az éghajlat-változás tudományában sokfelé, itt is vannak bizonytalanságok.

A bioszféra szénkörforgása

A Föld „anyagcseréjét” a bejövő napsugárzás hajtja a földalatti termodinamikai erőkkel együtt. A bioszférában két nagy körforgás zajlik, a hidrológiai (víz) és a biogeokémiai. A hidrológiai körforgás - a Nap által előidézett hőmérsékletkülönbség és az erdők párolgása által vezetve - a víz eloszlását, párolgását, ill. a csapadékképződést befolyásolja. A biogeokémiai körforgás nélkülözhetetlen elemeket keringtet - főleg szenet, nitrogént, foszfort és kén - és elsődlegesen napenergia hajtja az élő szervezeteken keresztül, melyek felveszik majd kibocsátják ezeket az elemeket.

A szén és a víz a napenergiával együtt a növények alapvető építőkövei. Minden élet a Földön a szénre, erre a sokoldalú elemre épül. Szénatomok láncából vagy gyűrűiből áll a növények, az állatok és a belőlük származó ásványi tüzelőanyagok szerves molekuláinak központi váza. A szén széndioxid gázként távozik a légkörbe, oldva az óceánokban, szilárdan mészkő üledékben és az ásványi fűtőanyagokban van jelen. A bomló szerves anyagok, a tüzek, a növények és az állatok kilégzése mind természetesen járul hozzá a levegőben levő széndioxidhoz. Ezalatt fokozatosan vissza is kerül széndioxid a légkörből a Föld két közvetlen „lefolyóján”: a növényi fotoszintézissel és az óceánok széndioxid-elnyelésén keresztül. Ezek a természetes folyamatok évről évre egyensúlyt tartanak egymással. A Föld élete során volt egy erős csökkenés a légköri széndioxid-mennyiségben, és ennek megfelelően növekedett a Föld felszíne alá temetett mennyiség.

Kb. 40.000 gigatonna (Gt = egy milliárd tonna) szén kering a bioszférában (6.2 ábra). Ez a körforgó szénnek három forrásából származik, - mindegyike 600-1000 Gt, - melyek a légkört, a növényeket és az óceánok felszíni rétegeit „táplálják”. Az állati élet mindössze 1-2 Gt-t forгат. A következő, a lassú mozgású 1500 Gt mennyiségű szén a talajban van mint detritusz [szerves eredetű törmelék], és a még lassúbb 38000 Gt-nyi a mély óceánokban. Ráadásul a „természetesen körforgó” szénen kívül hatalmas szénkészlet van, melyet az üledékes mészkőrétegek vagy az e fejezetben nagyon fontos szerepet kapó ásványi tüzelőanyagok kötöttek meg a fiatal Föld légköréből. (Kb. 10000 Gt szén.) Így az ásványi tüzelőanyagok égetésével olyan szén és napenergiát szabadítunk fel, melyet az egyszerű növények kötöttek meg nagyon régen. Az égés átalakítja a szerves, energiatartalmú szénhidrogén molekulákat szén, hidrogén és (kisebb mennyiségben) nitrogén oxidokká - azaz széndioxidá, vízgőzzé és nitrogénoxidá.



2 ábra. A szénkörforgás, mutatva a természetes és mesterséges szénmozgásokat a légkörbe és a légkörből. Évente nettó 7 Gt az emberi tevékenység által a légkörbe bocsátott szén, melyből kb. 4 Gt-t a természetes „lefolyók” (óceán és erdő) visszaforgatnak, így évente 3 Gt-t adunk hozzá. (Legett J, 1990 (12) és UNEP, 1991 diagramjait felhasználva.)

A bioszféra szénkörforgásának jól kiegyensúlyozott természetes cserefolyamataiban megközelítőleg 100 Gt szén vándorol évente a szárazföldi források (főként a növények) és a légkör között oda-vissza. Hasonlóan kb. 90 Gt mozog mindkét irányban az óceánok és a légkör között a phytoplanktonok fotoszintézisével, mely az óceánok felvételének nagy részét teszi ki. (Érdemes megjegyezni, talán meglepő, hogy kb. ugyanannyi fotoszintézis zajlik a tengerekben, mint a szárazföldön.) Az emberi tevékenység azonban évi nettó 3 Gt széntöbbletet kibocsátást okoz. Ez abból a szénből ered, amit az ásványi anyagok (6 Gt) és más biomasszák, főként az erdők (1-2 Gt) égetésével szabadítunk fel. Ennek (jelenleg) több mint a felét nyelik el a bolygó óceáni- és erdő „nyelői”.

A széndioxid, stabilitása miatt, nagyon fontos az éghajlatváltozásban. Ellentétben más, hosszú élettartamú hőnyelő gázokkal, a széndioxid nem épül le. Ezért a légköri széndioxid-rétegek sokáig fennmaradnak, még azután is, hogy az emberi kibocsátást csökkent. Ha minden ilyen kibocsátást megszüntetnénk 2000-re, a globális felmelegedés tovább folytatódna kb. 2025-ig, (amikor a befogott energia valódi hővé változik,) amely után a légkörből lassan eltűnő széndioxid-többlet miatt az így keletkezett hőtöbblet nagy része érezhető lesz még 2100-ban is.² Összehasonlításképpen, ha a metán többletkibocsátását szüntetnék meg 2000-re, az a metán két évtized alatt szóródna szét, és hatása kb. 2050-re szűnne meg teljesen.³

² Houghton J.T., Jenkins G.J., Ephraums J.J. *Climate Change. The IPCC Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

³ National Institute of Public Health and Environmental Protection (Langeweg I.F., ed.). *Concern for Tomorrow. A National Environmental Survey 1985-2010*. Bilthoven, Hollandia: National Institute of Public Health and Environmental Protection, 1989.

1 táblázat. A fő emberi üvegház-gázok jellemzői

Jellemzők	CO ₂	NH ₃	Nitrogénoxid	CFC-11 ^a	CFC-12 ^a
Légköri töménység (térfogati): ^b	(ppm)	(ppm)	(ppb)	(ppt)	(ppt)
Ipar előtti (1750-1800)	280	0.8	288	0	0
Napjainkban (kora 1990-es évek)	356	1.74	311	290	500
A változás mértéke évente	0.5%	0.9%	0.25%	4%	4%
Légköri élettartam (év)	50-200	10	150	65	130
Globális melegítő hatások (GWP):					
Közvetlen	1	11	270	3400	7100
Közvetett	nincs	pozitív	?	negatív	negatív

^a CFC = klorofluorokarbon

^b parts per million/billion/trillion (ezred/milliomod/milliárdod ezrelék)

Forrás: IPCC (1990, 1992)

Az ember okozta üvegházhatás

A Föld légkörének összetétele sokat változott az elmúlt négy milliárd év során, főleg az élővilág evolúciójának eredményeként. Míg e változások hosszú idő alatt következtek be, az emberi tevékenységnek újabban jelentkező, másfajta és gyors következményei vannak. A sarki jégminták mutatják, hogy a különböző üvegház-gázok kibocsátása a légkörbe lényegesen megnövekedett az ipari forradalom óta, de 1950 óta feltűnően. A metán töménysége megkétszereződött 1800 óta. A széndioxid-töménység majdnem $\frac{1}{3}$ -dal növekedett, az 1950-es évek óta pedig jóval 50% fölötti a növekedés.⁴

A fő ember-termelte üvegházgázok a széndioxid, a metán (mocsárgáz), a nitrogénoxid és a teljesen szintetikus klorofluorokarbonok (CFC-k). Ezek a gázok nagyon különböznek élettartamukban és hőelnyelő képességükben (1. táblázat). Száz évre kivetítve, a metán kb. tizenegyszer jobb hőelnyelő, mint a széndioxid (egységnyi súlyra), míg a nitrogénoxid kétszázhetven-szer, a CFC-k pár ezerszer jobb hőelnyelők.⁵ A becsült hozzájárulásuk a növekvő „sugárzásos fűtéshez” az 1980-as évek során: 55%, CFC-k 24%, metán 15% és nitrogénoxid 6% (3. ábra). Ötven éven belül azonban a metán lehet a fő üvegház-gáz, mert ahogy az éghajlat melegszik, a kiterjedt, sark-közei tőzegerszerű tundrák örök fagyja még több metánt engedhet fel.

Messzebbre kell visszanéznünk a széndioxid történetében, melyet pl. a sarki jégtömbökbe zárt levegő mondhat el. Az emberiség történetének új, felgyorsult, energiaigényes szakasza a teljes energiafelhasználás százszoros növekedését vonta maga után 1800 óta. A növekedési arány

⁴ A széndioxid kibocsátás növekedésének mértéke egy kicsit csökkent az 1980-as évek vége óta. Ez a korábbi Szovjetunió iparának a nagymértékű lelassulását jelezheti. Lásd: Flavin C. Carbon Emission Steady. In: Brown L.R., Flavin C., Kane H. (eds). *Vital Signs: The Trends That Are Shaping Our Future*. New York, Norton, 1992. 60-61. p.

⁵ Intergovernmental Panel on Climate Change, Submission for Working Group I. 1992. *IPCC Supplement. Scientific Assessment of Climate Change*. Geneva, WMO/UNEP, 1992.

1950 óta emelkedik, kb. százszoros növekedést okozva az éves globális széndioxid-termelés mértékében.⁶ A széndioxid légköri töménysége először csak lassan nőtt, kb. 200 ppm-ről az utolsó jégkorszak végétől, 280 ppm-re kb. 1800-ig. Azután a széndioxid-töménység majdnem 360 ppm-re emelkedett. A legfejlettebb országok kb. felét termelik a széndioxidnak, míg Kelet-Európa és a népes harmadik világ (elsősorban Brazília, Kína és India) a negyedét. A széndioxid-kibocsátás az elmúlt négy évtizedben Ázsiában több mint tízszeresére nőtt. A mesterséges széndioxid-kibocsátás $\frac{3}{4}$ -e az ásványi tüzelőanyagok, főleg a szén égetéséből származik, de nagy mennyiségű a személyautók és a kereskedelmi teherautók kibocsátása. A maradék nagy része az esőerdők felégetéséből és kisebb mértékben a cementgyártásból származik. Földi méretekben az egyéb ipari és mezőgazdasági üvegház-gázok kibocsátása szintén felgyorsult. Az emberi eredetű metán az öntözéses földművelésből, a megnövekedett szarvasmarha-állományból, a bányákból, a gázvezetékekből és a szeméthegeyekből származik; légköri töménysége 50%-kal nőtt 1950 óta. A nitrogénoxid az ásványi tüzelőanyagok égéséből és a műtrágyából jön. Az 1980-as évek végén az öt vezető üvegház-gáz kibocsátó ország az Egyesült Államok (18%), a Szovjetunió (12%), Brazília (11%), Kína (7%) és India (4%) volt.⁷

Világos, hogy az üvegház-gázok gyülemlenek - de tudható-e, hogy a földi hőmérséklet ezek kibocsátása miatt növekedni fog? A jóslatok a globális felmelegedésre nem újkeletűek. A múlt század végén egy svéd tudós, Svante Arrhenius jelezte, hogy az ásványi tüzelőanyagok égetéséből származó légköri széndioxid fokozhatja a Föld hőjének visszatartását, bolygóméretű felmelegedést okozva. Később tudományos vita alakult ki az 1920-as években, de ez a '80-as évekig szünetelt. Az egyik nehézség az, hogy a hő és a hőmérséklet közötti kapcsolat összetett. A Föld mély óceánjai természetes „elnyelők”, melyek hőt vonnak el az atmoszférától, így késleltetve a felszíni hőmérséklet növekedését.

Azt azonban tudjuk, hogy a Föld hőmérséklete kb. 1900 óta megnövekedett. A világon állomások ezrein feljegyzett mérésekből, a megváltozott körülményekhez és technikához igazítva úgy látszik, hogy a bolygó hőmérséklete 0,5 °C-ot nőtt az elmúlt 100 év alatt.⁸ A Klímaváltozás Nemzetközi Bizottsága (IPCC), - melyet az ENSZ Környezeti Programja és a Világ Meteorológiai Szervezete alapított 1988-ban, mint szakértői csoportot, több mint 300 tudóssal - becslése szerint a földi középhőmérséklet 0,3-0,6 °C-kal nőtt az elmúlt 100 év alatt. Ez a növekedés azonban az éghajlat-változás számítógépes modelljei szerint, ha történelmi adatokat is felhasználva, jócskán a természetes éghajlat-változékonyság tartományán belül van. Ez más hatásoknak tulajdonítható, melyek ellensúlyozzák a földi hőmérséklet-emelkedést; sőt volt egy olyan elmélet, hogy a városi és ipari szennyezés II. világháború óta tartó gyors növekedése és a vulkáni kitörések szokatlan gyakorisága együtt hűtő hatást eredményezett.⁹ A napsugárzás szóródása a finomszemcséjű ipari szennyezés kódén néhány tized fok hűlést idézett elő az utóbbi évtizedekben. Továbbá a napfoltciklus átmeneti hosszabbodása a század közepén csökkenthette a bejövő hőt. Egy dolog azonban világos: a jel/zaj arány alacsony, azaz a mérés még most sem elég pontos!

⁶ Boyden S. *Western Civilization in Biological Perspective. Patterns in Biohistory.* Oxford, Oxford University Press, 1987.

⁷ World Resource Institute. *World resources*, 1990-91. oxford, Oxford University Press, 1991.

⁸ Jones P.D. et al. Assessment of urbanisation effects in time series of surface air temperature over land. *Nature* 1990; 347, 169-172. p.

⁹ Bizonyos ideiglenes csökkenés várható az 1990-es évek elején a Fülöp-szigeteki Mount Pinatubo 1991 júniusi nagy kitörésekor a levegőbe került szennyezőanyagok (hamu és kéndioxid) miatt. 1992-ben a globális hőmérséklet 0,2 °C-kal a megelőző két évi alatt volt.



3. ábra Az egyes üvegházgázok felhalmozott hővisszatartáshoz való hozzájárulása az 1765 és 1990-es évek között. A 2090-2100-as évek közötti értékek a jelenlegi irányzatok folytatásán alapulnak. (Forrás: IPCC)

Egy sokkal hosszabb időtávlatban gondolkodva a Föld valószínűleg a mostani féljeges korszak második felébe lép be, és hőmérséklete elkezd süllyedni (5-10 °C-kal) valamikor az elkövetkezendő tízezer évben, mielőtt bekerül egy másik jégkorszakba. Egyes stabil féljeges korszakok átlagosan húszezer évig tartottak. Még hosszabb időszakokban a Föld három hosszú, meleg „üvegház-korszakot” élt át az elmúlt milliárd évben. Ezek mindegyike kb. 250 millió évig tartott egy hosszú első és egy rövidebb második szakasszal, melyeket egy „rövid” lehűlés választott el egymástól. Ha a jelenlegi, harmadik „üvegház-kor” hasonló, akkor a közbülső lehűlés végéhez közelítünk, (amely az elmúlt néhány millió évben lezajlott jégkorszakok során tetőzött) és a Föld ismét felmelegedhet az elkövetkezendő 50 millió évben.

A mi feladatunk felbecsülni egy közeli, nyilvánvalóan ember okozta hőmérsékletváltozás hatásait. A világ egy rövid, melegedő szakaszban van, mely nagyon valószínű, hogy a mi saját művünk. 1980-91 közé esett a tizenkét legmelegebb év közül nyolc, mióta ezt a múlt században elkezdtek feljegyezni, sőt 1990 és 1991 volt azóta a két legmelegebb év. Ha a világ tovább melegszik néhány fokkal a következő évszázadban, a hőmérsékletváltozás *mértéke* sokkal gyorsabb lesz - és sokkal hamarabb következik be -, mint ahogy bármiféle lehűlés jelentkezhetne a jövőben.

Az éghajlat-változás becslése

A klimatológusok között általános a megegyezés, hogy a közeljövőben a világ éghajlatát főként az ember-előidézte üvegházgázok melegítő hatása fogja befolyásolni. Az IPCC jóslata szerint ezek a gázok fokozni fogják az üvegház-hatást és többlet hőmérséklet-növekedést fognak okozni, 2025-re kb. 1 °C-os, a következő század végére 2,5-3 °C-os átlagos földi hőmérséklet-emelkedéssel (4. ábra) A hőmérséklet-növekedés nagyobb lesz a hosszabb szélességi fokokon, és mivel a szárazföld felszíne gyorsabban melegszik, mint az óceánok, az északi féltekén sokkal nagyobb lehet a hőmérséklet növekedés. Habár néhány tudós azzal érvel, hogy az ilyen jóslatokat adó számítógépmodellek hiányosak, a kiegészített és összetettebb számítógépmodellek alátámasztották a hőmérsékletnövekedés jóslatait. Sőt, lévén különösen nehéz megkülönböztetni a tartós irányzatokat a hőmérséklet háttér-ingadozásaitól, az IPCC figyelmeztet, hogy a fokozott üvegházhatás egyértelmű kimutatása még egy évtizedig vagy hosszabb ideig sem nem valószínű. Ez a kétség a világos helyzet felmérésében hasonlít ahhoz a nehézséghez, amit a közgazdászoknak okoz egy hanyatlás kezdetének kimutatása. Csak utólag tudhatunk bizonyosat mondani.

A globális felmelegedés növekedésének előrejelzett mértéke sokkal gyorsabb lehet, mint a kb. 1 °C-os lehűlés a középkor végén, ahogy a nagyobb szélességi fokok a Kis Jégkorszak felé haladtak. Ez sokkal gyorsabban következne be, mint az utolsó jégkorszak utáni néhány ezer éves, kb. 5 °C-os növekedés (megegyezően a 700 évenkénti 1 °C-os emelkedéssel). Ma 1 °C-os növekedésre számítunk 35 évenként - hússzor gyorsabbra a mezőgazdaság előtti korban tapasztaltnál. A hőmérséklet növekedés gyorsasága és abszolút nagysága egyaránt fontos. Egy 2-3 °C-os növekedés lehet, hogy nem tűnik soknak, de kis változásoknak drámai ökológiai

következményei lehetnek.¹⁰ Egy csupán 2 °C-os növekedés olyan hőmérsékletet eredményezne, amilyent 125 ezer éve nem látott a Föld. Egy 3 °C-os emelkedés az IPCC szerint a világot forróbbá tenné, mint amilyen a *Homo* faj megjelenése óta, 2 millió év óta, még nem volt. A bizonytalansága azonban ezeknek a jóslatoknak is nagy. Amíg egy 3 °C-os emelkedés 2100-ig az IPCC tudósainak legjobb becslése a mai átlagos gazdasági és népességnövekedési áramlatot figyelembe véve, a tartomány, melybe az emelkedés valószínűleg esni fog, 1,5-4,5 °C. 1992-ben megállapították, hogy a mai kutatási eredmények „vagy megerősítik, vagy nem igazolják az első (1990-es) IPCC Tudományos Becslések fő következtetéseinek módosulását”.

A vita a visszacsatolási folyamatokról összetett - és kissé spekulatív. A pozitív visszacsatolás erősít és ezért destabilizál, mint ahogy a negatív tompít és stabilizál. Ha további felmelegedés következik be, akkor pozitív visszacsatolás jelenhet meg például a felmelegedett északi-sarki örök fagy metán felszabadulásának növekedése miatt. Pozitív visszacsatolást jelenthet a bolygó hővisszaverő hó- és jégtakarójának csökkenése is. Negatív visszacsatolás származik a megnövekedett felhőtakaró nagyobb visszaveréséből (albedo), főként a forró égővi területek feletti alacsony rétegfelhőkről, az óceán felszíni hőmérséklet-növekedésének következményeként. Világos tehát, hogy sok összetevője van, és az ismert és ismeretlen visszacsatolási mechanizmusok egyedi hatása bizonytalan marad. Néhány tudós azt jóslja, hogy a pozitív visszacsatolások túlsúlyban lesznek a negatívokkal szemben, s ez rohamos felmelegedéshez fog vezetni.¹¹ Ahogy az IPCC kimutatta, megtelepedés előtt állhatunk.



4. ábra Az IPCC becslése a Föld átlaghőmérsékletének változására az elkövetkező században, a jelenlegi gazdasági fejlődési irányzatokat alapul véve. A grafikon az éghajlat háromféle érzékenységi fokára való becslést tüntet föl. A szulfát szennyezők várható hűtési hatásait, és a légköri ózonréteg bomlását elhanyagolva. (Forrás: IPCC)

A bizonytalanságok a számítógépmodellek korlátozottságaiból is erednek. Ezek nem statisztikus modellek, mint pl. a gazdasági becslések, hanem numerikus megoldásai alapvető fizikai egyenleteknek. Éghajlat-változást modellezni szinte reménytelen feladat. Sok a nem-lineáris kapcsolat, a visszacsatolási hurok, az erősítő és az elfojtó tényezők közti kölcsönhatás. A széles körben alkalmazott „általános körforgás modellek” egyesítik az óceánokban és a légkörben lezajló folyamatok mozgásegyenleteit, termodinamikai és hővezetési egyenleteivel - de nemigen számolnak az óceánok és a felhők egyéb kölcsönhatásaival. Jóllehet a „csatolt” óceán-légkör modelleket éppen most kezdik el bevezetni, további bizonytalanságok vannak, hogy az élő szervezetek hogyan hatnak az éghajlatra, és a többlet befogott hő hogyan befolyásolja hőmérséklet-növekedést, a párolgást, a felhőképződést, és így tovább. Ráadásul a regionális hatások szemléltetése a nehéz, és a pontos becslés néhány száz km-nél kisebb területekre akár egy évtizedig sem lesz lehetséges.

¹⁰ Broecker W. S. Unpleasant surprises in the greenhouse? *Nature* 1987; 328, 123-126 p.

¹¹ Leggett J. The nature of the Greenhouse Threat. In: Leggett J. (ed.) *Global Warming. The Greenpeace Report*. Oxford, Oxford University Press, 1990. 14-43. p.

Végül két szempontot kellene még figyelembe vennünk ebben a bevezető részben. Először is, habár igyekszünk pontos becsléseket közölni, néhány visszafordíthatatlan mozzanat a globális felmelegedésben már megindult. A világra *bizonyos* további felmelegedés vár, mert a hosszú élettartamú üvegházgázok már kikerültek a légkörbe. Továbbá az óceánok hatalmas hőelnyelőként viselkednek, és az elnyelt többlet hőnek idő kell, míg eléri a bioszférát. Az IPCC becslése szerint ahogy az üvegházhatás előrehalad, a világ *mérhető* hőmérséklete csak kb. $\frac{2}{3}$ -a a *várhatónak*. Másodszor, előrejelzéseink ellenére a 2100. évre a kérdés nem fog csodálatos módon megoldódni. Olyan folyamatokkal foglalkozunk, melyek folytatódhatnak - és rosszabbodhatnak - hosszabb távon. Valószínű jobb feltételezni, hogy az emberiség által tízezer év óta tapasztalt bármely éghajlat-változásnál is nagyobb hatású változás felé tartunk. Ennek számos hatása lehet - a legtöbb kedvezőtlen - az emberek egészségére.

Éghajlat-változás és az emberi egészség

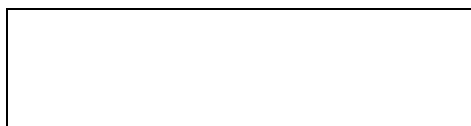
Bevezetés

Az üvegházhatás okozta éghajlat-változásoknak közvetett és közvetlen hatásai is lehetnek az emberi egészségre (2. táblázat).¹² A közvetlen hatásokat a szélsőséges hőingások, légzési nehézségek és gyakoribb „természeti” csapások okozhatják. A közvetett hatások a paraziták és a fertőző kórokozók megváltozott eloszlásából, a lecsökkent mezőgazdasági termelékenységből, a népesség-eloszlás megváltozásából és a szociális romlásból származhatnak.

Általában nagyon nehéz előre felismerni és mennyiségileg is meghatározni ezeket az egészségi hatásokat. A várható környezeti hatások nagy része kívül esik a feljegyzett „történelmen”, és hatásaik az egészségre bizonytalanok. Például a kanadai kormány az 1990-es „Zöld Terv”-ében a bolygó felmelegedésének hatásaiból kilenc fajtát említ meg (5 ábra).¹³ Továbbá nagy eltérések lehetnek a világ különböző részein lakók egészségére és jólétére való befolyásban. Az elszegényedett népesség, mint a bangladesi és a Szahara-közeli afrikai lakosság, korlátozott forrásaikkal sokkal kiszolgáltatottabbak az ártalmas éghajlati változásoknak, mint a gazdag nemzetek. Az országokban a hátrányos gazdasági és szociális helyzetű kisebbségi csoportok lesznek leginkább kiszolgáltatva.

2 táblázat: *A földi méretű éghajlat-változás fő hatásai a lakosság egészségére*

Közvetlen:	Halálozások, betegség és a hőhullámoknak való fokozott kitettség miatti sebesülések
	Hatások a légzőrendszerre
	Éghajlattal kapcsolatos szerencsétlenségek (ciklonok, árvizek, tüzek stb.)
Közvetett:	A vírusos betegségek (pl. malária) módosult elterjedése és átadása
	A fertőző betegségek (kolera, influenza stb.) módosult átadása
	A mezőgazdasági termelés zavara és gyengülése
	- Hatások a talajra, hőmérsékletre, vízre és kártevőkre
	A tengerszint emelkedésének különféle következményei
	- Áradások, szennyvíz, a talaj savasodása stb.
	Népességszakadás, környezeti menekültek



5. ábra *A felmelegedés várható hatásai Kanadában*

¹² Haines A., Fuchs C. Potential impacts on health of atmospheric change. *Journal of Public Health Medicine* 1991. 13, 69-80. és Ewan C., Bryant E.A., Calvert G.D: Potential health effects of greenhouse effect and ozone layer depletion in Australia. *Medical Journal of Australia* 1991. 154, 554-558. p.

¹³ Government of Canada *Canada's Green Plan*. Ottawa, Ministry of Supply and Services. 1990.

Közvetlen hatások

A hőmérséklet, különös tekintettel a szélsőségekre

Az ember más fajoknál sokkal jobban boldogul a környezet szélsőségeivel szembeni ellenállásban, a fiziológiai és viselkedésbeli alkalmazkodás ötvözésével. Számos olyan alkalmazkodási módot fejlesztettünk ki kulturálisan, amelyek lehetővé teszik számunkra, hogy olyan éghajlati tartományt viseljünk el, amelyhez az evolúció nem látott el minket megfelelő biológiai eszközökkel. A mérsékelt éghajlatú Európa, ahova korai őseink feltételezett evolúciós bölcsőjükből, Kelet-Afrikából vándorolhattak át, a gazdag és változatos öltözködést váltotta ki. Az alkalmazkodás további vívmányai között szerepel a házépítés, a fűtés, az ételek és italok megválasztása, a szórakozás módjainak kifejlesztése.

A hőmérsékletben és a páratartalomban bekövetkezett fokozatos és apróbb változások élettani és viselkedésbeli válaszokat egyaránt kiváltanak. Az egészséges emberek egy hatékony testhőmérséklet-szabályozó rendszerrel rendelkeznek, amely ellensúlyozni tudja a környezeti hőmérséklet kisebb emelkedését. A hőmérsékleti kényelemérzet így bizonyos határok között fenntartható. Az ember, különösen az erősebb verejtékezés útján, néhány nap alatt alkalmazkodik, a hősokk így minimálissá válik.¹⁴ A hősokknak huzamosabb ideig kitett ember élettanilag is alkalmazkodik. De a gyenge egészségű vagy beteg egyének, akik élettanilag kevésbé rugalmasak, nem fognak ilyen jól alkalmazkodni. Általánosságban tehát a hőmérséklet emelkedése nagyobb veszélyt jelent a szív -, és keringési rendszer, a légző rendszer, a vese, az immunrendszer rendellenességeivel küszködőkre, a nem tökéletesen fejlett szabályozórendszerrel rendelkező gyerekekre, ill. a gyenge egészségű idősekre nézve. A globális felmelegedés legnagyobb veszélye azonban nem a hőmérséklet fokozatos emelkedéséből, hanem az egyre gyakoribb és nagyobb hőmérsékleti szélsőségekből adódik. Az akut hősokk az nem alkalmazkodott városi lakosság körében azonnal szedi áldozatait; egy hőhullám első egy-két napja közismerten gyilkos természetű. Következésképpen a hosszabb ideig tartó szélsőséges hőmérsékleti viszonyok legyűrhetik a szervezet élettani alkalmazkodási lehetőségeit.

Az átlaghőmérsékletben bekövetkező kis emelkedés azt jelenti, hogy minden évben sokkal több napon lesz szélsőséges a hőmérséklet. A hőhullámok, amikor a nappali környezeti hőmérséklet több egymást követő napon meghaladja a testhőmérsékletet (38 °C), gyakrabban fognak előfordulni. Úgy becsülik például, hogy Washingtonban (Washington, DC), ahol jelenleg évente átlag egy nap emelkedik a hőmérséklet 38 °C fölé, 2050-re évente átlagosan 12 ilyen nap lesz.¹⁵ Ezzel együtt azoknak a napoknak a száma, amikor a hőmérséklet 32 °C fölött van, kb. tízről harmincra emelkedne. Hasonlóképpen gyakrabban fordulnának elő szélsőségesen meleg *évek*. Angliában az olyan rendkívül forró nyarak gyakorisága, amilyen 1976-ban volt, 100-szorosára nőne 2030-ra, így 10 évente bekövetkezne egy.¹⁶

¹⁴ Kilbourne E. M. Illness due to thermal extremes. In: Last J.M., Wallace R.B. (eds.) Maxcy-Rosenau-Last: *Public Health and Preventive Medicine*. (13. kiad.) Norwalk, Connecticut, Appleton Lange, 1992. 491-501 p.

¹⁵ Leaf A. potential health effects of global climatic and environmental changes. *New England Journal of Medicine* 1989, 321, 1577-83, p.

¹⁶ Climate Change Impacts Review Group, Department of the Environment (UK). *The Potential Effects of Climate Change in the United Kingdom*. London, HMSO, 1991.

A mérsékelt és forró égővi országokban a magasabb nyári hőmérsékletek miatt meg fog növekedni a meleggel összefüggésben álló tényezők okozta súlyos betegségek és halálesetek száma. Például az 1980-as években Missouri államban (Egyesült Államok), a nyári átlaghőmérséklet 2-3 °C-os emelkedése többszörösére növelte a meleggel kapcsolatos halálesetek évenkénti számát, míg az 1980-as nagy hőhullám még nagyobb növekedést okozott (ld. 6. ábra).¹⁷ Az ilyen tapasztalatok alapján úgy becsülik, hogy a légkör jövő században várhatóan megkétszereződő szén-dioxid (vagy azzal egyenértékű anyag) tartalmából adódó, körülbelül 3 °C-os hőmérséklet-emelkedés más alkalmazkodási változás nélkül a meleggel kapcsolatos halálesetek számának lényeges emelkedéséhez fog vezetni; egyes amerikai számadatok hatszoros emelkedést tesznek sejtethetővé. Az idős emberek különösen nagy veszélyben vannak; a fejlett országokban a hőhullámok során meghalt, ill. kórházba került emberek három-negyede 60 év fölötti. Egy 85 éves ember kb. hatszor nagyobb valószínűséggel hal bele egy hőhullám hatásaiba, mint egy 60 éves, míg a csecsemők és a kisgyerekek 5-10-szer valószínűbben halnak meg, mint a nagyobb gyerekek. A hőhullámok alatt szív és érrendszeri problémákkal kórházba került emberek statisztikai aránya hasonlít az elhalálozottakéhoz.¹⁸



6. ábra Az átlagos nyári hőmérséklet, és a túlzott meleg okozta halálesetek számának alakulása Missouriban (Egyesült Államok) 1979 és 1988 között

A legközvetlenebb hőmérsékleti hatás a hősokk, amely hőkimerültséghez és hőgutához vezethet. A hősokk abból adódik, hogy a testhőmérséklet és a vérnyomás szabályozásának egyensúlya az egymással való versengés kényszere következtében felbomlik. Mivel a testhőmérséklet szabályozását nagyrészt a szív és érrendszer végzi, a hősokk, amely a bőrerek felfokozott vérellátását teszi szükségessé az erősebb hőleadás érdekében, könnyen súlyosbítja a már meglévő szív- és vérnyomászavarokat. A hőkimerültség, amelyet szédülés, gyengeség és fáradtság jellemez, nem a testhőmérséklet szabályozásának hiányossága miatt, hanem a testnedvek és sók egyensúlyának felborulásából adódóan lép fel. Jellegzetesen több napi magas hőmérséklet és veritékezés után lép fel. A hőguta viszont súlyos állapot, amelyben a belső testhőmérséklet meghaladja a 41 °C-ot, amikor is zavarodottság, kábulat, majd eszméletvesztés áll be. A kimenetele gyakran végzetes. A hőgutát gyakran vérnyomáscsökkenés, gyengeség, kiszáradás, sókiürülés és görcsök előzik meg.

New Yorkban a nyári elhalálozások sémájában van egy küszöb 33 °C-nál, amely fölött az összesített halálozási arány megnő. A hőhullámokkal kapcsolatos haláleseteknek csak kb. a felét okozza hőguta vagy hőkimerültség; sokat szívinfarktus vagy az agyereket érintő „gutaütés” okoz (amely teljesen más, mint a hőguta). Amerikai tanulmányok alapján úgy becsülik, hogy a -5 °C-tól +25 °C-ig terjedő tartományon belül a hőmérséklet emelkedésével csökken a szívelégtelenségéből és hőgutából adódó halálesetek száma, míg +25 °C fölötti, ill. -5 °C alatti hőmérsékletek esetén az elhalálozások száma nő, ahogy a hőmérséklet egyre

¹⁷ Center for Disease Control. Heat-related deaths - Missouri, 1979-1988. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 1989. 38, 437-439. p.

¹⁸ Sontaniemi E., Vuopala V., Huhti E., Takkunen J. Effect of temperature on hospital admission for myocardial infarction in a subarctic area. *British Medical Journal* 1970, 4, 150-151. p. és Gill J.S., Davies P., Gill S.K., Beevers D. G. Wind-chill and seasonal variation of cerebrovascular disease. *Journal of Clinical Epidemiology* 1988, 41, 225-230. p.

szélsőséesebbé válik. Nagyon magas hőmérsékleteknél az agyéri gutaütés általános az idős embereknel. Ezeknek a szív és érrendszeri eredetű haláleseteknek az a tény szolgálhat magyarázatául, hogy a hősokk hatására a vér könnyebben alvad.

Az ipari országokban az otthoni hőmérséklet-szabályozók használatának elterjedése előtt egy-egy hőhullám az 50 év fölöttiek elhalálozását többszörösére emelte. 1936-ban, az Egyesült Államokban feljegyzett egyik legforróbb nyár alatt, a becslések szerint 4700 ember halt meg közvetlenül hőgutában. Az arra a nyári időszakra várt halálesetek számához képest ez több százalékos növekedést jelentett. Melbourne-ben, Ausztráliában, 1959-ben négyszeresére nőtt a halandóság (145 többlet haláleset) a szokásoshoz képest, ami egyértelműen egy elhúzódó hőhullámnak volt tulajdonítható; ezeknek az elhalálozásoknak a többsége az első négy nap alatt következett be.¹⁹

Vannak érdekes adatok három, Los Angeles-i, 1939, 1955 és 1963 szeptemberében bekövetkezett hőhullámról.²⁰ Mindhárom egyforma mértékű volt, 4-7 napig tartó 39 °C fölötti hőmérséklettel, de a többlet elhalálozások aránya határozottan nagyobb volt az első két esetben, mint 1963-ban. A két korábbi hőhullám alkalmából az 50-69 évesek halálozási aránya megháromszorozódott, míg a 80 fölöttieké megötszöröződött. Az 1963-as hőhullám során a megfelelő arányok sokkal alacsonyabbak voltak: az 50-69 évesek halálozási aránya körülbelül 40%-kal emelkedett meg, a 80 év fölöttieké pedig megduplázódott. Az az elképzelés, hogy az otthoni és kereskedelmi légkondicionálás 50-es évek végi elterjedése okozta a különbséget. Más szóval a technikai (és szén-dioxid termelő!) alkalmazkodás révén az emberi faj lecsökkentette az egészségét és fennmaradását fenyegető veszélyt. A hőhullámokhoz kapcsolódóan 1966-ban is bekövetkeztek többlet elhalálozások az Egyesült Államokban; New York City-ben az összesített elhalálozási arány egyharmadával nőtt közvetlenül egy héttel egy súlyos hőhullám után, ami különösen az idős embereket érintette. Hasonló esemény zajlott le Londonban, Angliában, 1976-ban, amikor a század legforróbb két hete az idős emberek elhalálozási arányát az évszakban vártnál 50%-kal magasabbra emelte. Ezek a növekedések megint alacsonyabbak voltak, mint a korábbi hasonló események során, ami valószínűleg ismét a műszaki alkalmazkodás egészségügyi előnyeit tükrözi. A közelmúltban megjelent számadatok szerint Kínában is jelentős a magas hőmérsékletek miatt bekövetkezett halálesetek száma, ami a gondok esetleges bolygó-szintű jellegét támasztja alá, különösen hővédő eszközök hiányában.

Az évenkénti hét napos mekkai zarándokút, a Hidzsra egy melegebb világ analógiája, amelyben az emberek többsége számára nem elérhető a légkondicionálás. Körülbelül két millió muzulmán teszi meg ezt a zarándokutat, többségük idős ember. Mekkában a hőmérséklet a Hidzsra idején a 30-50 °C-os tartományba esik. A zarándokok kis helyekre vannak bezsúfolva, a testhőmérséklet emelkedik és általánosak a hőhatással kapcsolatos betegségek.²¹ 1982-ben például több, mint tízezer súlyosabb hőhatással kapcsolatos betegség fordult elő, köztük kb. kétezer szívrohamos eset, amelyeknek kb. a fele a beteg halálával végződött.

¹⁹ Rankin D.W. Mortality associated with heat wave conditions in the Melbourne Metropolitan Area, January and February 1959. *Australian Meteorological Magazine* 1959., 26, 96-100, p.

²⁰ Goldsmith J.R. Three Los Angeles heat waves. In: Goldsmith J.R. (ed.) *Environmental Epidemiology: Epidemiological Investigation of Community Environmental Health Problems*. Boca Raton, Florida, CRC Press, 1986. 73-81. p.

²¹ Khogali M., Hales J.R.S., *Health and Temperature Regulation*. Sydney, Academic Press, 1983.

A hőhullámok a pszichológiai egyensúlyt is megbolygatják: az indulatok fellobbannak, a szenvedélybűntettek gyakorisága megnő, és általánosabbak a forrongások. A zsúfolt belvárosi környezetben a hősokkot felerősítheti a „hősziget” effektus, amely abból adódik, hogy az emberek fa nélküli kő, beton és aszfaltbörtönben élnek, szigetelés és hőszabályozás nélkül, rossz lakáskörülmények mellett, valamint silányabb az orvosi és kórházi ellátás. Kimutatott tény, hogy a meleg miatti halálesetek ezekbe a belvárosi hőcsapdába összpontosulnak. A meleggel kapcsolatos halálesetek fent említett hullámhegye az Egyesült Államok középső-déli részén 1980-ban kimutatta a szegény, fokozottan veszélyeztetett közösségek sebezhetőségét.²²

Egy egész bolygóra kiterjedő éghajlat-változás valószínűleg más, meleg miatti egészségügyi gondok előfordulási gyakoriságát is megnövelné. A megemelkedett páratartalom miatt gyakoriabbá válnának a bőrgombásodással járó betegségek és egyéb betegségek (mint a candidiasis). A vietnámi háború idején az amerikai csapatoknál a páratartalom növekedtével (a hőmérsékletével azonban nem) nőtt a bőrbetegségek előfordulása.²³ A szélsőséges hőmérsékletek hőkiütést és hőpörseést okozhatnak, amelyek lecsökkentik a bőrlégzést és felfokozzák az amúgy is túlterhelt szervezetet érő hősokkot. A magas hőmérséklet lecsökkentheti a férfiak termékenységet és szélsőséges esetekben hátrányosan befolyásolhatja a magzatok korai fejlődését.

Különleges problémák származnak olyan elfoglaltságok során, amelyek miatt az ember erős hőhatásnak van kitéve. A meleg országokban ez főleg a részben vagy elsősorban a szabadban dolgozók esetén jelenthet hősokkot vagy hőgutát. Általánosabban a munkahelyi hőmérséklet és páratartalom emelkedésével a munkások hajlamosak lesznek a kényelmetlenségük és súlyuk miatt amúgy is népszerűtlen védőfelszerelések mellőzésére. A munkahelyeken végzett tanulmányok azt is kimutatták, hogy a biztonságot veszélyeztető viselkedés minimális a 17-23 °C-os „komfort tartományban”; a hőmérsékleti jó-érzés csökkenése több döntési hibát és veszélyes indulati viselkedést okoz, ami több munkahelyi balesethez vezet.

A szélsőséges meleg és a hirtelen hőmérsékletemelkedés kétségtelen egészségügyi veszélyei ellenére érdekes, hogy a világ mérsékelt és hűvösebb vidékein a szívelégtelenségből, infarktusból és légzési zavarokból származó halálesetek kb. 10%-kal gyakoribbak a hideg téli hónapokban, mint nyáron. Ez a téli elhalálozási irányzat erősebb az idősök körében, és magába foglalja a hipotermiás (a test kihűléséből származó) elhalálozás egyre elfogadottabb lehetőségét. Ugyanakkor a 45 év alattiakra ennek ellenkezője igaz: többen halnak meg nyáron, mint télen. Míg maga az alacsony hőmérséklet okozza ezeknek a téli elhalálozásoknak jelentős hányadát, addig különösen a gyermekeket és az időseket veszélyeztetik az alacsony páratartalmú levegőben könnyen átviható fertőzések, különösen a vírusos influenza.²⁴ Mivel több más betegség, így a fiatal korban kialakuló cukorbetegség is kapcsolatba hozható a téli fertőzésekkel, a telek üvegház-hatás okozta megenyhülése csökkentheti ezeknek a betegségeknek a valószínűségét. Hasonlóképpen a hirtelen gyermekhalál tünetcsoport („gyermekági halál”) - bár kiváltó oka még mindig rejtélyes - valószínűleg ritkulna, mivel egyik legerősebb kísérő oka, ha a nagyon hideg tél enyhül. Így egyes országokban - mint pl. Anglia - a bolygó egészére kiterjedő

²² Jones T.S. et al. Morbidity and mortality associated with the July 1980 heat wave in St. Louis and Kansas City, Missouri. *Journal of American Medical Association* 1982, 247, 3327-3331. p.

²³ Longstreth J.A. Human health. In: Smith J.B., Tirpak D. (eds.) *The Potential Effects of Global Climate Change on the United States*. EPA-230-05-89-050, Washington D.C., U.S. Environmental Protection Agency, 1989. 219-236. p.

²⁴ Curwen M. Excess winter mortality: A British phenomenon? *Health Trends* 1990, 22, 169-175. p.

felmelegedés miatt megnövekedett nyári halandóságot részben ellensúlyozná a téli halandóság csökkenése.

Összességében a lakosság egészségére várhatóan sokféle közvetlen hatással lesz az üvegház-felmelegedés, különös tekintettel a hőmérsékleti szélsőségekre. Ezek a közvetlen hatások csak fokozatosan érvényesülnének, ahogy a hőmérsékleti viszonyok változnak. Sőt, a WHO (Egészségügyi Világszervezet) becslései szerint az ilyen jellegű jelentős egészségügyi hatások nem lesznek nyilvánvalóak egy évtizeden belül.

Az éghajlat és a légzőszervek

Az éghajlat a légzőszervekre is hatással van. Az évszakhoz kötődő rendellenességek a téli hónapokban a légszennyezést tükrözhetik, a nyári hónapokban pedig a pollen, a por és a fotokémiai füstköd terhelő hatását, míg a különleges időjárási viszonyok mint pl. a hidegfrontok és az eső közvetlen hatással lehetnek a légzőszervekre.²⁵ Az idült légcsőhurutban és tüdőtágulásban szenvedő betegek állapota gyakran romlik télen, és a heveny légcsőhurutos megbetegedések száma is megugrik. Ezzel szemben az asztma és a szénanátha inkább a nyári hónapokban gyakori, amiért valószínűleg a virágporok kiszabadulása a felelős. A forró nyári idő kedvez a virágporoknak, míg a nyári eső elősegíti bizonyos gombák elszaporodását (*Sporobolomyces* és *Didymella*).²⁶ Kelet-Ausztráliában az asztma kis területeken történő gyakori előfordulását valószínűleg a késő tavaszi zivatarok okozzák - talán mert hirtelen nagy mennyiségű gombaspórát vagy virágport szabadítanak ki a levegőbe.

Sok asztmás ember azonban nem érzékeny a virágporra, és más tényezők lehetnek fontosak - különösen azok, amelyek megnövelik a légcső érzékenységét. Például a hirtelen hőmérséklet-esés, szélcsendes időben a belélegezhető allergén anyagok felhalmozódása a levegőben vagy nyáron a légköri ózon töménységének megnövekedése előidézhet asztmás rohamokat. A kansasi (Egyesült Államok) és szudáni homokviharokat légcsőhurutos és asztmás megbetegedések és halálesetek hulláma kíséri. Bár az éghajlat-változás hatása a légzőrendszerre kevésbé tisztázott, mint a hőmérsékleti szélsőségeké a szívre és az érrendszerre, a hőmérséklet emelkedése valószínűleg csökkentené a téli légcsőhurut és tüdőgyulladás valószínűségét, viszont növelné a nyári asztmáét és szénanátháét.

Az éghajlat változékonysága és a természeti katasztrófák

A globális felmelegedés változékonnyá (ingataggá) teheti az légáramlatokat és az óceáni áramlatokat, ideértve a sztratoszférabeli gázáramlásokat is. A hőmérsékletben és az éghajlat állandóságában emiatt bekövetkező változások módosítanak a bozóttüzek, aszályok, forró égővi ciklonok, árvizek, földcsuszamlások és a lejtőerózió gyakoriságát és súlyosságát. Ez azután fokozottan okozna haláleseteket, baleseteket, stresszel kapcsolatos rendellenességeket és a társadalmi szétszakadásból, kényszerű lakóhely változtatásból és a városi nyomornegyedekbe való beköltözésből származó számos, egészségre káros hatást. Mint mindig, a természeti szerencsétlenségeket most is azok súnylenék meg legjobban, akik a legvédtelenebbek és akik a legkevesebb anyagi erőforrással, valamint szociális és szervezeti támasszal rendelkeznek. (Ezeket az eseményeket „természeti” katasztrófáknak nevezzük. Hogyha azonban ember okozta éghajlat-változásból fakadnak, akkor bizonyos értelemben „nem természetiek”).

²⁵ Ayres J.G. Meteorology and respiratory disease. *Update* 1990, 40. 596-605. p.

²⁶ Editorial. Asthma and the weather. *Lancet* 1985, I, 1079-80. p.

A forró égövi ciklonok energiájukat a 27 °C fölötti felszíni hőmérsékletű tengerekből származó meleg párából nyerik. Az üvegház-hatás következtében megemelkedhet a tengerek felszínének hőmérséklete, ami megnövelheti a ciklonok gyakoriságát. Az alacsony életszínvonalú, elszegényedett lakosság, mint pl. Banglades, különösen védtelen a megnövekedett ciklontevékenységgel szemben. Azokon a területeken, ahol gyakoribbakká válnak a heves esőzések, gyakrabban fordulnak elő hirtelen árvizek. Ezt még súlyosbítaná a hegyeken lévő erdők lepusztulása - ilyen pl. Banglades esete, amely a Himalája csupasz lejtőiről lezúduló víz útjában fekszik. Ezt és a vihar-hullámokat még tovább súlyosbítaná bármely velük egyidejű tengerszint-emelkedés. A gátak és más vízszabályozó rendszerek könnyebben megrongálódhatnak, ezzel is növelve az embereket fenyegető katasztrófák eshetőségét. Az olyan területek, ahol széleskörű erdőirtást végeztek árterületekbe csatlakozó hegyoldalakban, különösen ki lesznek téve az árvízveszélynek a víz akadálytalan lezúdulása miatt.

Még mindig sokat nem tudunk az óceánok hőszállító áramlatairól és arról, hogy ezek mennyire érzékenyek és mennyire vannak befolyással az éghajlat változásaira. A Csendes-óceánban a nagy kelet-nyugati melegvíz áramlat („La Nina”), amely periodikusan megfordul és nyugat-keleti irányban áramlik mint „El Nino” Déli Ingadozás, alapvetően meghatározza a Csendes-óceán nyugati partjain és az azon túli területeken az éghajlat és a ciklontevékenységet. Az Észak-Kelet-Ausztráliában és Dél-Afrikában 1991-92-ben bekövetkezett súlyos szárazságot alapvetően az „El Nino” valamilyen eseménye okozta.

A mai világban az emberi egészségre az éghajlat szélsőségei leginkább a súlyos szárazság miatt bekövetkező alultápláltság és éhínség alakjában hatnak.²⁷ Az 1980-as évek elnyújtott szárazsága az afrikai Szahel övezetben, Szomáliától az Atlanti-óceán partjáig már eddig is több millió ember halálát okozta, és további több tízmillió embert taszított az éhezés szélére. A Szahara fokozatos déli terjeszkedése mutathatja a természet egyik nagy ciklusát, de lehet egy kezdődő, az egész bolygót érintő és helyi éghajlat-változás következménye is, amit még súlyosbít az erdőirtás, a talajpusztulás és a helyi nedvesség elvesztése is. Az élelemhiány rendszeresen a talajpusztulással, polgárháborúval, rossz közlekedéssel és gyenge szociális-politikai intézményrendszerrel együtt jelentkezik.

A bozóttüzeket, különösen Ausztrália és az Egyesült Államok melegebb, erdős területein elősegíti a szárazság, a hőhullámok, az alacsony páratartalom és az erős szél. Az 1982-ben Ausztrália nagy területein pusztító „Hamvazó Szerdai” bozóttüzek részben a korábbi szárazság következményei voltak, amely kiszárította a növényzetet és a talajt. (Továbbá, amint a külvárosi lakosság a városok környékén fekvő, gyakran dombosabb, erdős területekre terjeszkedik, a bozóttüzek nagyobb valószínűséggel okoznak haláleseteket, baleseteket és anyagi károkat.) A közúti balesetek száma is megnőhet, legalábbis elszórtan, a megnövekedett esőzések, szél, úthibák és a vezetőkre ható egyéb stresszhatások, pl. a hőhullámok miatt. Egyes parti utak ki lennének téve a tengerszint-emelkedés különböző káros hatásainak.

²⁷ Escudero J.C. Health, nutrition and human development. In: Kates R.W., Ausubel J.H., Berberian M. (eds.) *Climatic Impact Assessment. Scope 27*. Chichester, John Wiley and Sons, 1985., 251-272. p.

A természeti katasztrófáknak sok pszicho-szociális hatása is van, amelyek mind az áldozatokat, mind az őket segítőket érinti. A „katasztrófa utáni tünetcsoport” keretében előfordul depresszió, visszahúzódás, mánia, idült aggodalom és valódi pszichózis. Ausztráliában a fent említett „Hamvazó Szerdai” bozóttüzek után megnövekedtek az elmebetegségek valamint a stresszhez kapcsolódó rendellenességek, mint pl. a magas vérnyomás és a gyomorfekély. 1972-ben az Egyesült Államokban egy nagy gát összeomlása 125 ember halálát okozta és 4000 embert tett hajléktalanná.²⁸ A szerencsétlenség után neurotikus tünetek jelentkeztek a legtöbb túlélőnél, hosszantartó gyászolással, a túlélés szégyenérzetével, a reménytelenség és a tehetetlen düh érzésével. Az érintett családoknál sok gyermeknél jelentkeztek fejlődési rendellenességek az elkövetkező évek során. Néhány embernél a szerencsétlenség utáni tünetek, köztük az érzelmeket zsibbasztó bűnös-túlélő tünetcsoport, meghatározatlanul folytatódtak.

Közvetett hatások

Az éghajlat-változásnak a lakosság egészségére kifejtett közvetett hatásairól akkor beszélünk, amikor nem áll fenn közvetlen ok-okozati kapcsolat egy éghajlati tényező (mint pl. a hőmérséklet vagy a nedvesség) és az ember élettani működése között. Mivel az éghajlat okozta változások a vírushordozók eloszlásában és viselkedésében - melyek közvetítik a fertőző kórokozókat - közvetlen hatást vonnak maguk után, először ezzel foglalkozunk ebben a fejezetben.

Vírushordozó által terjesztett betegségek

A férgek és a baktériumok általában megerősödnek a melegben és a nedvességben, és ilyen feltételek között fogékonyabbak az apró változásokra; csakúgy mint az élősködő férgek, pl. a májmétely. Számukra a jövő század így kedvező lehet.²⁹ Ez nem jó hír az emberiségnek, lévén a népsűrűség a tengerparton nagyobb, ahol az esőzés mértéke várhatóan a legnagyobb lesz.

Járványos fertőző betegségeknél a fertőzés közvetlenül emberről emberre terjed, bőrérítkezéssel, levegőben, étellel vagy vízzel. Ellenben a vírushordozók terjesztette (három tényezős) fertőző betegségekhez szükség van egy közbülső „vírushordozó” szervezetre, hogy közvetítse a fertőző parazitát az emberek között. A malária, ami több mint 100 országban fordul elő, a vírusos betegségek tipikus példája - méghozzá baljóslatú, mivel hatása szerte a világon növekszik. A „négy tényezős” fertőző betegségek továbbítási köréhez gerinces állatokra is szükség van. A pestis jó példa lehet rá (patkányok, bolhák, baktériumok és emberek), vagy a Lyme-kór, amit alább tárgyalunk. De először nézzük a maláriát.

²⁸ Titchener J.L., Frederic T.K., Family and character change at Buffalo Creek. *American Journal of Psychiatry* 1976, 133, 295-299. p.

²⁹ Shope R. Global climate change and infectious diseases. *Environmental Health Perspectives*. 1992., 96: 171-174. p.

3. táblázat *A főbb vírushordozó által terjesztett vírusok általános helyzete és az éghajlat-változás miatt az eloszlásukban elképzelhető változások^a*

Betegség	Veszélyeztetett népesség (millió) ^b	A fertőzés gyakorisága (millió)	Jelenlegi eloszlás	Valószínű változás az eloszlásban a klímaváltozás eredményeként ^c
Malária	2100	270	trópus/szubtrópus	+++
Limphatikus filariózis	900	90,2	trópus/szubtrópus	+
Onchocerciasis	90	17,8	Afrika/L. Amerika	+
Schistosomiasis	600	200	trópus/szubtrópus	++
Afrikai trypanosomiasis	50	25.000 új eset/év	trópusi Afrika	+
Leishmaniasis	350	12 millió fertőzött, plusz 400.000 új eset/év	Ázsia/Dél-Európa/Afrika/Dél-Amerika	?
Dracunculiasis	63	1	trópusok (Afrika/Ázsia)	0
<i>Rovarok által terjesztett vírusos betegségek</i>				
Trópusi náthaláz	Nincs		trópus/szubtrópus	++
Sárgaláz	elérhető		Afrika/L. Amerika	+
Japán agyvelőgyulladás	becslés		Kelet/Délkelet-Ázsia	+
Más rovarok által terjesztett vírusos betegségek	ezekekről			+

^a Forrás: WHO 1990.³⁰

^b 4.8 milliárdra becsült világnépességen alapul

^c 0=valószínűtlen; +=valószínű; ++=nagyon valószínű; +++=igen nagyon valószínű; ?=nem ismert.

Az *Anopheles* szúnyogfajai szolgálnak a maláriás parazita, a *Plasmodium* négy fájának gazdaszervezetként, életük egy rövid, de meghatározott szakaszában. A terhes nőtényszúnyog fertőzötté válik egy fertőzött ember vérének fogyasztva, majd később, miközben a vért szívja, átadja a maláriás parazitát más embereknek. Minden ilyen vírusos betegség megköveteli a vírushordozó egy meghatározott fajtát az emberekben, (általában feregét, csigáét vagy rákfélét) és kedvező környezeti feltételeket (hőmérséklet, páratartalom, felszíni víz). Akár csekély éghajlat-változás is módosíthatja a vírushordozók életképességét és földrajzi elterjedését. Például a maláriát hordozó szúnyog csak ott tud élni, ahol a téli középhőmérséklet kb. 15 °C fölött van.³¹ A 20-30 °C közti hőmérséklet és a legalább 60%-os páratartalom a legkedvezőbb ahhoz, hogy elég hosszú ideig éljen a szúnyog a megfertőződéshez és a fertőzés terjesztéséhez. Az átlagos hőmérséklet kis mértékű növekedése felgyorsítja a parazita fejlődését a szúnyogban lezajló „külső költési” szakaszban, azt háromról akár egy hétre csökkentve.

³⁰ WHO. *Potential Health Effects of Climate Change: Report of a WHO Task Group (WHO/PEP/90/10)*. Geneva: WHO, 1990.

³¹ National Health and Medical Research Council. *Health Implications of Long Term Climatic Change*. Canberra, Australian Government Printing Service, 1991.

A WHO becslései a fontosabb vírushordozók eloszlásának globális felmelegedés okozta lehetséges változásaira a 3. táblázatban láthatók. Sok egysejtű (egyfőle magvú) parazita földrajzi elterjedése szorosan összefügg a hőmérséklettel.³² Ezekhez tartozik a trypanosomiasis (álomkór), a filariasis (ismertebben az elefántkór eltorzító állapota, ahol a mikrofilamentumos élősködők eltorlaszolják a nyirokereket), az onchocerciasis (hasító vakság), a schistosomiasis, leishmaniasis, a horgasféreg, guinea-féreg és különböző galandférgek. Hasonlóképpen a különféle vírushordozók szállította fertőzések elterjedésére is - mint a forró égővi náthaláz és a sárgaláz - hat a hőmérséklet és a felszíni vizek eloszlása. Mint a malária esetén, a hőmérséklet kihat a vírushordozó életképességére és az élősködő életciklusának gyorsaságára is. Például a szúnyogban élősködő sárgaláz-vírus külső kelési szakaszának ideje egy nagyságrendet tud változni, három naptól néhány hétig, a helyi hőmérséklettől függően. A filária lárvá szúnyogban zajló szaporodása hasonlóképpen érzékeny a vízhőmérsékletre.

A forró égővi országokban ezek a vírusos betegségek a megbetegedések és az elhalálozások legfőbb okozói. A malária és a schistosomiasis 2100 illetve 600 millió ember egészségére jelentenek kockázatot, és a fertőzött személyek teljes száma megfelelően kb. 270 millió ill. 200 millió. Egymilliónál is több a malária okozta elhalálozás száma évente. Afrika Szaharától délre eső részén, ahol az összes maláriás megbetegedésnek kb. 95%-a lelhető fel, félmillió gyerek hal meg évente a fertőzéstől. Kelet-Afrikában a téli hőmérséklet viszonylag kis növekedése „fölfelé” tolná el a malária-zónát, hogy így a magasabban fekvő nagyvárosok lakosságát érintse, amely jelenleg kívül esik a szúnyogok hatáskörén az alacsonyabb hőmérséklete miatt - pl. Nairobi (Kenya) és Harare (Zimbabwe). A világ azon népei, melyek most még kívül esnek a helyi malária határain, korai bizonyosságot adhatnak ezen betegségek elterjedésének az éghajlathoz kapcsolódó változásaira. Az éghajlat változástól eltekintve is újra támad a malária a világ sok területén. A biológiai evolúció végtelen adok-kapokjában a maláriás élősködő rendkívül ellenálló lett az ellene felhasznált vegyszerekkel szemben, és megtartotta nehezen megfogható és antigénos változékonyságát, pedig állandó céltáblája a sok különböző oltástípusnak, melyeket már kipróbáltak.³³ A maláriaterjesztő szúnyog éppígy elsajátította gyors evolúciós módszerrel az anyagcsere és a viselkedési alkalmazkodás különféle fajtáit a rovarirtó szerekkel szemben.

Az ókori Rómában és a középkori Európában is volt malária. Akkoriban a betegséget a „rossz” levegőnek tulajdonították (egy ősi magyarázat a későbbi elképzelésekhez: az átható „miazmáknak” tulajdonították a kolera és a tuberkulózis terjedését). A legutóbbi évtizedekig volt malária a ma legfejlettebbnek mondott országokban, így az Egyesült Államokban, Olaszországban vagy Észak-Ausztráliában. A XIX. század elején az élősködő legelterjedtebb fajtái, a *Plasmodium vivax* robbanásszerűen jelentek meg Skandináviában, New Yorkban, Ottawában és Angliában. Folytatódott Európa részein - pl. a kelet-angliai kenti-mocsarakban - e század első felében. Aggasztó, hogy ha a globális éghajlat jelentősen megváltozna, a malária visszatérhetne ezekre a jelenleg „védett” mérsékelt égővi területekre éppígy, ahogy a forró égővi országokban is megnőhet elterjedési területe és időszaka (elsősorban a veszélyes *Plasmodium falciparum* fajoknak). Az újonnan veszélyeztetett népesség sebezhetősége kezdetben nagyon nagy lesz, mert még nem szerezték meg a természetes védettséget.

³² Gillett J.D. A hőmérséklet közvetlen és közvetett hatásai a paraziták rovarról emberre való átvitelében. In: Taylor A.E.R., Muller R. (eds.) *The Effects of meteorological Factors Upon Parasites*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1974, 79-95 p.

³³ Marshall E., Malaria parasite gaining ground against science. *Science* 1991, 254. 190. p.

A schistosomiasis vagy „bilharzia” gyakorisága megkétszereződött a század közepéhez képest, nagyrészt a forró éghajlaton használt öntözőrendszerek óriási kiterjedése miatt. Ennél a betegségnél a vérben levő fertőzések (schistosomák) megfertőzik a belek és a húgyhólyag véredényeit, gyulladást és szöveti károsodást okozva. Az élősködő petéi kiválasztódnak az ürülékben vagy a vizeletben, és gyakran felszíni vizekbe kerülnek (különösen a sekély, lassú folyású csatornavízbe, vizesárkokba és öntözőcsatornába), ahol megfertőzik a vízcsigákat. Az éghajlat-változás befolyásolná ezt a körforgást. Például Egyiptomban a vízcsigák a téli hónapok alatt (január - március) elvesztik schistosomia-fertőzésüket. Viszont ha a hőmérséklet nő, a csigák egész évben terjeszthetik a schistosomiasist, így növelve a máris komoly élősködő-terhelést Egyiptom falvaiban.

A malária vagy a schistosomiasis növekedésének számszerűleg sokkal kevésbé fontos következménye bizonyos daganatos betegségek növekedése lenne. Afrikában a malária kapcsolatban van a Burkitt-lymphomával, a test nyirokszöveget fiataloknál megfertőző rákkal. A maláriás fertőzés előidézi a nyirokrendszer B-sejtjeinek osztódását, amely antitesteket állít elő a fertőzés ellen. A rákkutatók azt gondolják, hogy ez a sejtosztódás növeli a lehetőségét, hogy közülük egyben megjelenjen az elsődleges genetikai mutáció (egy kromoszóma-áthelyeződés), amely ezt a rákot elindítja. A schistosomiasis növeli a húgyhólyag-rák megjelenését, feltehetően az említett sejtek megnövekedett forgalma miatt, melyek az idült gyulladt hólyagot betöltik. A hólyagrak máris a leggyakoribb rák Egyiptomban, ahol a schistosomiasis elterjedt a jól öntözött földeken dolgozók között.

A vírusok másik fontos kategóriája a vírushordozók által terjesztett fertőző betegségek közvetítőinek. Az arbovírusoknak van egy rovar vírushordozója. Több mint 100 arbovírus hat az emberekre, és ezek felét a szúnyogok terjesztik. Az arbovírusos fertőzések széles klinikai területet ölelnek át, némelyikük gyenge lázas betegségeket vagy szubklinikai fertőzéseket, mások pedig komoly és gyakran halálos encephalitist (agyhártyagyulladást) vagy vérzéssel párosuló lázat okoznak. Kedvező környezeti feltételek mellett egy arbovírusos betegség járványossá válhat egy helyi bázisból kiindulva - hasonló módon ahogy a kolera tört ki nemrég keletkezési helyéről és átsöpört a forró égővi világ nagy részén. A vírushordozók eloszlását és mennyiségét fizikai tényezők (hőmérséklet, esőzés, nedvesség, talajvíz és szél) és biológiai tényezők (növényzet, hordozó fajok, ragadozók, élősködők és emberi közreműködés) befolyásolják.

A forró égővi nátház és a sárgaláz - vírusos betegségek, az *Aedes aegypti* szúnyog terjeszti őket, - növekedni fognak a nagyon meleg és nedves helyeken - noha e szúnyogfajta szaporodása függ az olyan, ember „készítette” pocsolyáktól, mint konzervdobozok, kókuszdióhéjak vagy autógumik. A forró égővi nátház lázzal járó betegség, amely gyerekeknél komoly és fájdalmas. Ausztráliában, ahol a forró égővi nátház északkeleten jelentkezik, a szúnyog élőhelye azokra a területekre korlátozott, ahol a téli középhőmérséklet 10 °C fölött van. Egy mexikói, 70 helység lakossági mintájára alapozott kutatás kimutatta, hogy az átlaghőmérséklet 3-4 °C-os növekedése megkétszerezi a forró égővi nátházvírus terjedésének mértékét.³⁴ Más kísérlet azt mutatta, hogy a vírus költési ideje a szúnyogban felére csökken ilyen mértékű hőmérsékletnövekedés hatására. Közben a forró égővi nátház éves járványai visszatértek Amerikába az elmúlt évtized alatt (ahogy húsz évvel ezelőtt Ázsiában történt), és Mexikóban ez a betegség azelőtt védett magasságokba, 1200 m fölé terjeszkedett. Az éghajlat hatását ezekre a változásokra pontosan kimutatni szinte reménytelen feladat.

³⁴ Koopman J.S: et al. Determinants and predictors of dengue infection in Mexico. *American Journal of Epidemiology* 1991, 133, 1168-78. p.

A hőmérséklet emelkedés és az esőzés Ausztráliában is különféle vírusos betegségek nagyobb szélességi fokokig (vagy magasabb régiókba) való elterjedéséhez vezetne. Például a szúnyogok és egyéb fertőzött vírushordozók délre terjeszkednének, lehetővé téve az arbovírusos fertőzések növekedését, mint a Murray-völgyi agyvelőgyulladás (gyakran agykárosodást okoz és halálos lehet), a Ross-folyó vírus (Ausztrália domináns arbovírusa, összetett és hosszantartó együttes gyulladást okoz) és a forró égővi náthaláz. 1991-92-ben a nyugat-ausztrál Perth-ben hatszoros növekedés jelentkezett a Ross-folyó vírusos fertőzésben, valószínűleg a késő tavaszi és nyári esőzések drámai megnövekedése miatt. A szúnyogok élettere megnövekedik, ha nagyobb területen jelentkeznek a nyári esőzések, több víz gyűlik össze. A maláriát, amely immár nem járványos betegség Ausztráliában, éppígy visszaállíthatja az éghajlat-változás. Ezeket a bonyolult ökológiai összefüggéseket jól illusztrálja a Murray-völgyi agyhártyagyulladásról szóló jelentés, melyet nemrég jelentetett meg az Ausztrál Nemzeti Egészségügyi és Orvostudományi Kutató Tanács:

A fő vírushordozó a *Culex annulirostris* szúnyog, amely jelen van egész Ausztráliában. [...] Délkelet-Ausztráliában a *Culex annulirostris* októbertől válik aktívvá, tevékenységének csúcsát nyár közepén (februárban) éri el, és májustól kimutathatatlaná válik. Közép- és Észak-Ausztráliában és Dél-Queenslanden a *Culex annulirostris* egész évben aktív. Az egyik feltevés az, hogy a *Culex annulirostris* népességnövekedése akkor kezdődik, mikor a napi tavaszi középhőmérséklet eléri a 17,5 °C-ot, és gyorsan eltűnik, mikor a napi középhőmérséklet ez alá süllyed. [...] E vírus nagyobb túlsúlya összekapcsolódik a nagy nem-védett hordozó-népességeknek a szárazság utáni megjelenésével (elsősorban a madarak és talán az egerek fertőznek). A megnövekedett vízmadár szaporulat több lehetséges hordozót fog jelenteni, ami a járványos területek kiterjedését hozza magával, valamint nagyobb kitörési lehetőséget teremt a tropikus Ausztráliában, Észak-Ausztráliában, a Murray-Darling-medencében (mely vízzel látja el a szárazföld délkeleti negyedét) valamint Dél-Ausztráliában. [...] Az új eloszlás és a betegség lezajlása nem csak a gerinces vírushordozók megváltozott eloszlásától fog függeni, hanem az emberi vírushordozók érintkezésének fokától is. Valószínű, hogy a betegség dél felé fog mozdulni.

A vírusos betegségek most viszonylag ritkák az ipari országokban. Azonban amerikai egészségügyi szakértők különféle vírusos betegségeket azonosítottak, melyek a melegebb hőmérséklet miatt érkezhettek és terjedhettek el az Egyesült Államokban. A St. Louis-i vírusos agyvelőgyulladás, a forró égővi náthaláz, a leishmaniasis és a veszettség (melyet a vámpír denevér hordoz, ami igen kényes a hőmérsékletre) az Egyesült Államok déli részére terjeszkedhet. A forró égővi náthalázat terjesztő *Aedes* szúnyog két faja már jól „berendezkedett” Dél-Egyesült Államokban, és a hőmérséklet növekedésével várhatóan észak felé fog terjedni. A denevér hordozta veszettség komolyan lepassztotta a Dél-Amerikában élő marhacsordákat, és most észak felé látszik mozogni. A malária, a sárgaláz és a Rift-völgyi láz is érinthetik az Egyesült Államok lakosságát, akár a forróégővi országok bevándorlóinak közvetítésével. A számítógépes modell forró égővi országok körülményeire alkalmazott változata azt jelzi, hogy a malária növekedhet különböző keleti városokban, mint Nashville, Atlanta és Richmond.

A kullancs hordozta (négy tényező) fertőző betegségek, a sziklás-hegységi agyhártyagyulladás és a Lyme-kór - mindkettő elterjedt az Egyesült Államokban - valószínűleg kiterjesztenék jelenlegi területeiket, a sziklás-hegységi agyhártyagyulladás, melyet egy rickettsia (baktérium-féle) okoz, elterjedt a keleti és délkeleti államokban. A Lyme-kór, melyet egy spirochetea (baktérium) okoz, korlátozottabb és szórványosan oszlik el az ország néhány részében - habár ez növekedni látszik. Az utolsó néhány évtizedben az Egyesült Államokban meghonosodott Lyme-kór ma az ország „élenjáró” vírusos betegsége. Mindkét betegségnek hasonlóak a kezdeti tünetei: magas láz, hidegrázás, fej-, és hátfájás, alapos fáradtság. A sziklás-hegységi

agyhártyagyulladás vérző keléseket, a Lyme-kór pedig maradandó agyi, szív-, és ízületi károsodást okozhat. A kullancsok, amik e betegségeket terjesztik, közvetlenül függenek az éghajlati tényezőktől. A közbülső gazdaszervezetek (pl. a fehérfarkú őz, az egerek és a madarak) elterjedése is éghajlat-függő. Továbbá a hőmérsékletnek kellően melegnek kell lennie, hogy a kullancs élelciklusa befejeződhessen, elég nedvesnek, hogy elkerüljék a peték kiszáradását, és télen elég hidegnek, hogy elkezdjék élelciklusuk nyugalmi szakaszát. A magasabb hőmérséklet fokozza a fertőző tényező szaporodását a fertőzött állatban, de a túlságos hő csökkentené a kullancsok túlélését. Továbbá a folytatódó erdőirtások az őzek, a Lyme-kór közbülső hordozóinak számát csökkentenék. Még egyszer megjegyezzük, hogy az éghajlat-változás ökológiai rendszerekre való hatásának előrejelzése összetett. Az éghajlat-változás sziklás-hegységi agyhártyagyulladásra való lehetséges hatásának számítógépmoddellje azt mutatja, hogy a kullancspopulációk az Egyesült Államokban észak felé csúszhatnak, mialatt gyakorlatilag kiszorulnának a legdélibb területekről. Azonban a modell időjárási adatainak kis változásai négyszeres variációkat okoztak az előrejelzésekben. A közbülső hordozó állatok előfordulásának változásai szintén erősen hatnak a jóslatokra.

Könnyen felléphetnek éghajlati változások a nem vírushordozók által terjedő fertőzések, mint a közönséges megfázás, influenza és tüdőgyulladás globális és területi eloszlására. De ezek még nem láthatók előre. Kézzelfoghatóbban, az 1990-es forró európai nyár - sorrendben a harmadik átlagos feletti nyár - Angliában a rovarok túlzott szaporodását okozta, a macskabólyhaktól, darazsaktól és csótányoktól (kevésbé természetesen) a forró égővi szúnyogokig (köztük az *Aedes aegypti* is, amely a forró égővi náthalázat és a sárgalázat hordozza). De a fontos központi kérdés itt az, hogy a meleg és a nedvesség növekedése valószínűleg előmozdítja az emberi betegségeket okozó élősködők és vírushordozók elterjedését, számát és tevékenységét. Ahogy az éghajlat-változás más hatásainál, melyek ökológiai rendszerek szétszakadását okozzák, sok bizonytalanság van a parazitás betegségek valószínű időzítéséről és módosult elterjedéséről. Nem várt következmények is fölléphetnek, pl. a pestis fennmaradt nyomai a mérsékelt-égővi alatt megjelenhetnek.³⁵

Tengerszint emelkedés

Ahogy a Föld melegszik, a tengervíz hőtágulása, valamint az elolvadó jég várhatóan emeli a tengerszintet. Az IPCC 1990-ben úgy becsülte, hogy az emelkedés körülbelül 20 cm-nyi lesz 2030-ra és 65 cm 2100-ra. Ahogy az egész Földre kiterjedő felmelegedésre vonatkozó becslések, úgy ezeknek az adatok is bizonytalanok. Egyes tudósok úgy becsülik, hogy a felmelegedés által okozott nagyobb párolgás nagy mértékben fogja növelni a hóesést, különösen az északi-sarki régióban, és ez némi vizet von el az óceánoktól.³⁶

A tengerszint mindig változik, általában nagy, hosszú időskálán. Az évmilliók során a Földközi-tenger kiürült és megtelt, mint egy nagy fürdőkád, ahogy a tengerszint 100 méternyit vagy annál is többet változott. A jégkorszakok alatt, különösen a rendszeresen visszatérőknél,

³⁵ A Fekete Halál európai kitörését befolyásolhatta az ázsiai steppéken bekövetkező éghajlati változások, a középkor utáni, tizennegyedik századi lehűlés. Valószínűleg járványos pestis áradata történt az éghajlatilag szorított vad rágcsálók - a pestis organizmus természetes gazdaállatai - között. Az organizmus ezután bolhák útján átkerült a fekete „európai” patkányokra, amelyek az emberekkel utaztak a Kína és Európa közötti karavánokkal. Ez a kétségkívül elméleti teória jól illusztrálja, hogy ökológiai zavarok milyen bonyolult utakon hathatnak az emberi egészségre.

³⁶ Schneider S., Will sea-level rise or fall? *Nature* 1992, 356, 11-12. p.

az elmúlt évmilliók alatt, a víz sarki jégsapkává válása hidakat teremtett a szárazföldek között, lehetővé téve a fajok vándorlását - köztük a *Homo Sapiens*ét is, Ázsiából Ausztráliába, Szibériából Alaszkába. Amikor az utolsó jégkorszak is lezajlott, a tengerek szintje gyorsan emelkedett, körülbelül egy méterrel századonként sok ezer éven át. A teljes emelkedés 50-100 méter nagyságú volt.³⁷ Ahogy akkor az évezredekig tartó jelentős tengerszint-változások során történt, a világnak most egy évszázad alatt fél méteres vagy nagyobb emelkedéssel kell szembenéznie. Ez szintén hirtelen változás lenne, és gyorsabb mint bármi, amit az emberiség tapasztalt, mióta letelepedett, és mezőgazdaságra alapuló életmódot él.

A közben lévő évezredek folyamán az emberi települések a világ partvidékein jelentek meg. A következő század folyamán a fél méteres tengerszint emelkedés sok ilyen parti közösséget elárasztással fenyeget. Egy méteres emelkedés (az IPCC „maximum” becslése) öt millió négyzetkilométernyi területet árasztana el a világ mélyföldjeiből, elpusztítva az összes termőföld harmadát és ötven millió környezeti menekültet hagyva maga után. Ez magába foglalná Banglades egy negyedének, termőföldje egy hetedének elárasztását és a népessége 15-35%-nak kitelepítését. Egy egyméteres emelkedés elárasztaná Egyiptom termőföldjének 12-15%-át; tulajdonképpen a sűrűn lakott Nílus-delta nagy része víz alá kerülne még akkor is, ha a tengerek csak 50 centimétert emelkednének.³⁸ Ebből adódóan a kitelepített egyiptomi földműveseknek semmi lehetősége nem lenne, mivel az ország szántóföldjének nagy részét a parti földek teszik ki.

Sok más alacsonyan fekvő parti terület van (például Hollandia, Kelet-Anglia, Indonézia egyes részei, a floridai Everglades, Dél-Louisiana nagy része és Latin-Amerika északkeleti partjának részei) amely sebezhető a komoly áradások szempontjából. Egyes kis szigetországoknál, mint pl. a Maldív-szigetek és Vanuatu, amelyeknek a legmagasabb pontja jelenleg csak pár méterrel van a tenger szintje felett, végső fokon fenn áll a teljes elmerülés veszélye. Egy méteres emelkedés elmosna sok száz csendes-óceáni atollt (miután már korábban elmosná a mélyükben lévő édesvíz kapszulák nagyrészét).

Az előrejelített tengerszint-emelkedés 5-ször, 10-szer gyorsabb lenne, mint az 1800 körüli, és valószínűleg sokat elborítana a társadalmi és technikai erőforrásaink közül. Egy méteres emelkedés növelné a hollandiai gátak becsült átszakadási valószínűségét minden 10.000 évben egy alkalomról minden 100 évben egy alkalomra. A világ nagyvárosai közül néhány már most áradások által sebezhető, köztük Shanghai, Bangkok, New Orleans, Alexandria, Szentpétervár és Velence. Ezek mind nagyobb folyóknál, folyótorkolatokban vagy alig a tengerszint fölé emelkedő mélyföldeken épültek. Továbbá, bizonyos városok elsüllyednének, mint ahogy Bangkok és Velence már most süllyednek, vagy a föld alatti talajvíz ipar vagy háztartási fogyasztás általi kimerítése, vagy a természetes földmozgások következtében.

Amellett hogy az árvíz az emelkedő tengerek nyilvánvaló káros következménye, vannak más hatások is. Florida egyes részein a tengervíznek a földalatti víztáblákba való beszivárgása a porózus sziklaképződményekbe, csökkenti az ivóvízkészleteket. Az emelkedő tengerek szétszakíthatnak esővíz-csatornákat, nehezítve a szennyvíz és szemét eltakarítást, és növelve ezzel a mérgező vegyi anyagoknak és fertőző elemeknek való kitettséget. A parti utak, hidak és partvédő szerkezetek helyi károsodása (pl. rozsdásodás) is a megnövekedett áradások, erózió,

³⁷ Gribbin J., Gribbin M., *Children of Ice*. Oxford, Basil Blackwell, 1990,

³⁸ IPCC. *Policymakers Summary of the Potential Impacts of Climate Change. Report Prepared for the IPCC by Working Group II*. World Meteorological Organization and UN Environment Programme, Geneva and Nairobi, June 1990.

viharhullámok, más hullám hatások és a tengervíz behatolásának lenne következménye. A legnagyobb kár a viharokból származhat, amely az időjárási változékonyság és a bizonytalanul magas tengerszint együttes jelenléte. A szegénység és a szociális intézmények hiánya - mint Bangladesben - egyszerre léphet fel a viharok közegészségügyi következményeivel.

Az emelkedő tengerek a tengervíznek az édesvízi torkolatokba és folyami területekre való behatolását okozhatja - amelyeket gyakran használnak városi és ipari édesvíz-készletként. A víztáblák megnövekedett sótartalma károsíthatja a mezőgazdasági területeket.

Még nagyobb tengerszint emelkedés következhet be, noha ez évszázados folyamat, ha a sarki jégtakarók megolvadnak. Különös érdeklődés irányul az antarktiszi jégtakaróra, amely ha megolvad, hat méter körüli tengerszint emelkedést okozhat. Ez a nagy „instabil” jégmező láthatóan túlélte a világ megelőző interglaciális periódusát, amikor a hőmérséklet egy kicsit melegebb volt mint az elkövetkező századra jósolt. Műholdfelvételek arra engednek következtetni, hogy az antarktiszi jégtakaró egyes részei lényegesen összezsugorodtak az 1960-as évek közepe óta. Azonban, tekintve hogy a jelenlegi interglaciális periódus alatt valószínűleg folyamatosan zsugorodik a sarki jég, ezeknek a megfigyeléseknek a jelentősége nem tiszta.³⁹ Végül, a globális felmelegedés által kiváltott nem várt pozitív visszacsatolások veszélye miatt, bekövetkezhet a legrosszabb eset: ha a grönlandi és antarktiszi jégtakaró megolvad, a világtengerek nem egy, hanem hat méterrel emelkednek!

Mezőgazdasági termelékenység

Minden emberi civilizáció tudta, hogy az éghajlat alapvető fontosságú az élelemtermelésben. Az éghajlat-változás a mezőgazdaságot mind a hosszú távú ökológiai rendszerekben történő változásokkal befolyásolja, mind pedig a szélsőséges események vadságával és megnövekedett előfordulási gyakoriságával: hőhullámok, szárazságok, áradások, ciklonok, növény-járványok kitörése. Az 1988-as észak-amerikai tapasztalat, amikor is a földrész-méretű hőhullám és aszály 30%-kal csökkentette a szemes termés hozamát (és jelentősen növelte a búza világpiaci árát), jól mutatja az éghajlat-változás erejét. Azonban, a nagymértékű bizonytalanság, valamint a számítógép modellek korlátozottsága nehézzé teszik, hogy megbecsüljük az éghajlatilag megváltoztatott mezőgazdaságnak az emberi népesség egészségére gyakorolt hatását.

A bolygóra kiterjedő felmelegedés megváltoztatja a helyi hőmérsékletet és csapadékmennyiséget, kettőt a mezőgazdaság lényegesebb korlátai közül. Martin Parry szerint (aki az IPCC mezőgazdasági hatások munkacsoportját vezette): „Viszonylag kis változások a csapadék és a hőmérséklet átlagértékében feltűnő hatással lehetnek az elérhető hő és nedvesség szélsőséges szintjeinek gyakoriságára. Például, a nagyon meleg napok száma, amely káros hatással lehet a mérsékeltövi terményekre és állatállományra, néhány vidéken jelentősen megnövekedhet az éves középhőmérséklet 1-2 °C-os emelkedése eredményeképpen.”⁴⁰ Hasonlóképp, a föld nedvességtartamának a megnövekedett párolgás miatti csökkenése alapvetően megnövelheti azoknak a napoknak a számát, amikor a víz elérhetőség a minimális küszöb alatt van egyes termények számára. Parry véleménye szerint, amíg az éghajlat-változás növelheti a termékenységet, például, Észak-Amerika, Európa és Ázsia északi területein, ilyen nyereségek a magas szélességeken nem nyújthatnak kárpótlást a valószínű módon kiterjedt veszteségekért a középső és alacsony szélességeken.

³⁹ Doake C. Rapid disintegration of the Wordie Ice Shelf in response to atmospheric warming. *Nature* 1991., 350, 328-330. p.

⁴⁰ Parry M., *Climate Change and World Agriculture*. London, Earthscan Publications, 1990.

A tudósok azt jósolják, hogy a felmelegedés általános csapadék növekedést fog okozni, tükrözve az óceánok megnövekedett párolgását. Megnövekedett csapadék leginkább mint megnövekedett csapadék-intenzitás (eső/esős nap) fog jelentkezni.⁴¹ Például a megemelkedett hőmérséklet következményeként a jelenleg mérsékelt és hideg zónákban a teljes csapadékkiválás nagyobb lenne esőként mint hóként, ezzel gyorsabb lefolyást és kisebb természetes felhalmozódást eredményezve a nyári hónapokra. Habár a téritő menti monszun esők magasabb szélességekre is kiterjedhetnek, átáztatva a kiszáradásra hajlamos területeket, Afrika Szahel zónájában és Északnyugat-Indiában a megnövekedett eső hirtelen lezúduló csapadékként jelentkezne, semmint állandó növekedésként, így súlyosbítva az áradásokat és a talajpusztulást. Az általános földi csapadék növekedés nem egyenletesen fog eloszlani, és egyes területeken akár kevesebb csapadékmennyiséget is jelenthet. Ezen túl évszakos változások lesznek a csapadék éves rendjében. Például Észak-Amerika középső részén, az IPCC szerint, a 2020-ra bekövetkező 3 °C körüli hőmérséklet-emelkedéssel a csapadék télen akár 20%-kal is nőhet, de 5-10%-kal csökkenhet nyáron - amely 10-15%-kal csökkentheti a talajnedvességet a növekvés időszakának nagy részében.

Elégtelen talajnedvesség (amely a csapadék-egyensúlyt, lefolyást és párolgást tükrözi) sok országban az egyik fő éghajlati korlátja a mezőgazdaságnak, különösen a fejlődő országokban. Az eső által táplált mezőgazdaság kiterjedése már most is nagyon korlátozott bizonyos vidékeken, különösen Délnyugat-Ázsiában és bármely további, éghajlatból adódó korlát komoly élelmiszerhiányt hozhat létre. Ezek a sebezhető helyek jobbra a hűvösebb trópusok, a Szahel, Afrika szarva, az indiai szubkontinens valamint Közép- és Délkelet-Ázsia. A csapadék, vagy legalábbis a talajnedvesség csökkenése valószínű ezen helyek némelyikén.

Az éghajlat-változásnak más hatásai is lehetnek a mezőgazdaságra. Lehetővé teszi, hogy új fajta élősködők is megjelenjenek. Melegebb és párásabb feltételek fokozzák a baktériumok és penészgombák növekedését a tárolt élelmiszereken, növelik a romlékonyságot és különleges egészségügyi veszélyt - mint például az *Aspergillus flavus* penész, amely a meleg égővön élősködik a tárolt diókon és erős mérget termel, amely májrákot okoz. Európában a melegebb telek lehetővé teszik különféle terménykárttevők túlélését éveken át, amelyek normális körülmények között évente elpusztulnak. Annak a kutatásnak a fényében amelyet a felmelegedő 1990-es évek első felében végeztek, a nagy-britanniai Terménykutató Intézet előrejelzi, hogy a levéltetvek, amelyek sok fontos növény-vírus betegséget terjesztenek, aktív időszakjukat meghosszabbítják egy felmelegedett világban.

Vitathatóbb, hogy a légkör folyamatban lévő széndioxid gyarapodása hasznos lehet a mezőgazdaságnak a „trágyázási” hatáson keresztül. A növényeknek két fő csoportja van: a C3 növények (pl. búza, rizs, és burgonya) és a C4 növények (pl. köles, cirok, és kukorica). A C3 növények a C4 növények előtt fejlődtek ki és eltérő anyagcsere módot használnak a széndioxid növényi anyaggá való alakításában. A mai légkör, - amelynek széndioxid-töménysége alacsony az elmúlt korokhoz képest, amikor a C3 növények először kifejlődtek - korlátozza ezen növények a fotoszintézis mértékét, de nem a „jelenkori” C4 növényekét. Ezért a C4 növények élénkebben válaszolnak a légköri széndioxid növekedésre. Egy tanulmány kimutatta, hogy a C3 típusú napraforgó termése megkétszereződik válaszul a széndioxid ilyen arányú növekedésére,

⁴¹ Gordon H.B., Whetton P.H., Pittock A.B., Fowler A.M., Haylock M.R., Simulated changes in daily rainfall intensity due to the enhanced greenhouse effect: implications for extreme rainfall events. *Climate Dynamics* 1992., 8, 83-102. p.

míg a C4 típusú kukorica termése nem változik.⁴² Más tudósok azonban azzal érvelnek, hogy ez a tétel ökológiailag leegyszerűsítő, mert nem veszi számításba a kártevők valószínű burjánzását a melegebb éghajlaton, a megfelelő csapadék szükségességét, valamint azt a tényt, hogy a hőmérséklet-emelkedés csökkenteni fogja a talajnedvességet, és a növények érzékenységet a hőmérséklet növekedésre. Ausztrál tudósok szimulálták a megnövekedett széndioxid koncentrációnak (560 ppm, ahogy 2150-re várható), a 3 °C hőmérséklet-emelkedésnek, megváltozott csapadék-eloszlásnak és talajnedvességnek az összetett hatását, és arra a következtetésre jutottak, hogy bizonyos korán érő búza fajta termése megfelelődik - de körülbelül 20%-kal növekszik a későn érő fajtáknál. Mérlegelve, valószínűtlennek tűnik, hogy széndioxid növekedés hosszú távú nyereséget jelentene a mezőgazdasági termőképességben.

Az IPCC tudósok 1990-ben bizonytalanok voltak abban, hogy az éghajlat-változás növekedést vagy csökkenést eredményez a világ mezőgazdasági termelésében. Bizonyosan lesznek helyi eltérések. Az északi félteke számára a legtöbb számítógépes modell azt jósolja, hogy a földi felmelegedés közepes szélességen, a szárazföldek belső területein nyári szárazságot jelent. Így a fejlett országokban, Európában és Észak-Amerikában 2 °C hőmérséklet emelkedés a búza-termésben 3-17% csökkenést okozhat. Az IPCC arra a következtetésre jutott, hogy a felmelegedés valószínűleg csökkenti a gabonafélék termékenységet Észak-Amerikában és Európa déli részén, míg növeli a termékenységet Európa északi részén. Mialatt a sivatag az Egyesült Államok délnyugati részén elmozdulhat északra és behatolhat a középnyugati gabonaövbe, az öv maga az Egyesült Államok északi részébe és Kanadába vándorolhat (ahol a talaj rosszabb minőségű). Európában ugyanakkor, míg Görögország és Olaszországban lehet hogy a termésátlag csökkenni fog, addig Nagy-Britannia és Skandinávia termésnövekedést mutathat majd ki.

A világ többi részén, következtetett az IPCC, az élelem megszerzése egyre nehezebb lehet, a szegényebb országokban, a félszáraz és nedves trópusokon. A szegény országok amelyek már most is túlnépesedéssel és szélsőséges éghajlati feltételekkel küzdenek, a legsebezhetőbbek. A lecsökkent csapadékmennyiség a talajnedvesség csökkenéséhez és a növények párologtatás általi vízvesztéséhez növekedéséhez vezethet. Ezek pedig tekintélyes mértékben csökkenthetik a műtrágyák használatának és az öntözésnek a hatékonyságát. Az eredmény a terméshozamok lényeges csökkenése lehet. Ezt éhezés és alultápláltság követheti, fertőző betegségek növekedését és demográfiai szakadások elterjedését okozva. Afrikában már több mint 100 millió ember van aki „élelem bizonytalan”, sok közülük a száraz Szahel övezetben, amely 35 millió ember otthona. A FAO becslése szerint ezt a táplálkozásilag ingatag régiót keményen befolyásolhatja az általános felmelegedés és a csökkent csapadék.

A csökkent csapadék mennyiség szintén gondot okozhat a száraz zónákon kívül. A világ egyik legfontosabb kenyérgabonája a rizs - Kína, India, Indonézia és sok más kisebb forró égővi ország legfontosabb élelmiszere. Ezek közül az országok közül némelyben, ahol a vízgazdálkodás, beleértve az öntözést, gyengén fejlett, mint például India, a rizshozam nagyon sebezhető a hőmérséklet és csapadék változással. Egy az ENSZ támogatta tanulmány, amely az éghajlat-változás dél-kelet ázsiai hatását vizsgálta, felmérte, hogy Malaysia fő rizstermelő régióiban a terméshozam 12-22%-kal csökkenhet a rövidebb érési periódusok miatt, míg a kukorica terméshozama megfelelődik Dél-Kelet Ázsia nagyon sok részén, amit a jövő század eleji magasabb hőmérséklet okoz.⁴³

⁴² Hunt R., Hand D.W., Hannah M.A., Neal A. M. Response to carbon dioxide enrichment in 27 herbaceous species. *Functional Ecology* 1991, 5, 410-421. p.

⁴³ Hunt P. Storm waving over Southeast Asia. *New Scientist* 1992., 1810., 12-13. p.

Az élelmiszer ára a világpiacon emelkedni fog ha az élelemtermelés csökken a világ mérsékelt övi „kenyeres-kosár” régióiban: az Egyesült Államok Nagy síkságán, Ukrajnában, a mediterrán és észak-európai alföldeken, az ausztrál gabona-övben és az argentin pampákon. A világ népességének egy ötöde, akik már szenvednek a hiányos táplálkozástól, akkor a túlélésüket fenyegető még nagyobb veszéllyel szembesülnének, melynek oka a mezőgazdaság csődje és az emelkedő élelmiszerárak. Az IPPC következtetése szerint: az élelemtermelés világszinten fenntartható azon a szinten, mintha az éghajlat változás nem következne be, habár a kivitelezés költségei nem tisztázottak. Parry becslése szerint, a széndioxid-szint megduplázódása miatti enyhébb éghajlat hatására a kukorica és a szójabab ára 10%-kal növekedne. A rizsárak esnének, mert a világ fő rizstermelő területei kihasználhatnák a kismértékű melegeddel járó mérsékelt csapadékmennyiség-növekedést.

Ha nemzetközi összefogás révén a következő században az általános felmelegedést elfogadható szinten tudnánk tartani, akkor a föld használatának és kezelésének szabályozása hozhatna némi enyhülést. A természetszerűleg változatosabb éghajlaton élő gazdák valószínűleg sokkal könnyebben alkalmazkodnak, mint a kiegyenlítettebb éghajlaton. De a szegényebb országokban és részben azokon a területeken, ahol nem játszik a mezőgazdaság nagy szerepet, a változtatásra való hajlandóság sokkal kisebb. Az egyenlőtlenségek egyre inkább nőnek.

Más, mezőgazdasággal kapcsolatos hatások

Számos más, mezőgazdasággal kapcsolatos hatása van az éghajlat-változásnak, mely az ember egészségére és életbenmaradására is hatással lesz, beleértve az állatok termékenységére, a tüzelőanyagként használt fakészletre, a friss víz elérhetőségére való hatását. Még tovább menve, a tengerek felmelegedése és az óceáni áramlásokban bekövetkező változások átalakíthatják a halfajok eloszlását és termékenységét, mely sok szegény ország számára a fő megélhetési fehérjeforrás csökkenését jelentené.⁴⁴

Az állatállományt erő káros következményekre vonatkozóan az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala meghatározott számos fertőző betegséget, melyek valószínűleg gyakoribbak lennének az éghajlat-változás következtében. Az afrikai lóbetegség tanulságos példával szolgál erre. Az 1990-es évek elején, Spanyolországban a szokatlanul meleg telek lehetővé tették a *Culicoides* szúnyognak, mely a betegség hordozója, hogy átteleljen és így sok lovat elpusztítson.

A hőmérséklet emelkedésének jelentős hatása lehet a haszonállatok növekedésére és egészségére. A fiatal állatok kevésbé tudják elviselni a hőmérséklet-ingadozásokat, mint a felnőttek. Például a tyúk 10 fokos, míg a csibe csak 1 fokos ingadozást képes elviselni. A különbségek még feltűnőbbek a sertésnél és a birkánál, ahol a felnőtt állat 15-20 fokos, míg a fiatal csak 1 fokos változást tűr el.⁴⁵

A világ erdői, melyek tüzelőanyagul, táplálékul és építőanyagul szolgálhatnak, felvetnek néhány sajátos gondot. Mivel a növekedésük és termékenységük időtartama néhány évtized, az éghajlat változások sok erdő hozamának hanyatlásához fognak vezetni. A népesség nyomása és a felbecsülhetetlen szegénység csak súlyosítani fogja az egyre csökkenő erdőállomány

⁴⁴ Glantz M.H. (ed.) *Climate Variability, Climate Change and Fisheries*. Oxford, Oxford University Press, 1992.

⁴⁵ Bianca W. The significance of meteorology in animal production. *International Journal of Biometeorology* 1976, 20., 139-156. p.

tűrhetetlen kizsárolását. Semmi sem olyan fontos az életben, mint megfőzni a napi ételmezt, hacsak nem pont a megszerzendő étellel kapcsolatos tevékenység.

A felszíni vizek, melyek természetes vízgyűjtőkből főleg a száraz és közepesen száraz területeken folynak el, nagyon érzékenyen válaszolnak az éghajlat kis változásaira is. Valóban, az IPCC becslése szerint 1-2 fokos hőmérséklet-emelkedés párosulva 10% csapadékmennyiség csökkenéssel, az évi vízvesztiséget 40-70%-ra növelheti. Észak-Afrika és a Szahel övezet, Nyugat-Arábia, Dél-Ázsia, India, Mexikó, Közép-Amerika, Brazília egyes részei és Európa mediterrán területei, azok a helyek, ahol a megmaradt vízgyűjtő készletek, melyek szükségesek a lakosság életbenmaradásához, a legnagyobb veszélyben vannak.

Az éghajlat-változás politikája

Az erkölcsi, politikai és tudományos kérdések teljes zűrzavara uralkodik az ember által okozott éghajlat-változással kapcsolatban. Megfigyelhető az általános erkölcsi aggodalom, melyet az előszóban is említettem - hogy nem igazi örökséget, hanem egy ökológiailag megrongált világot hagyunk az elkövetkező nemzedékekre. A második erkölcsi gond, hogy míg máig is a gazdag országok felelősek az üvegházhatást okozó gázkibocsátás megnövekedésének legnagyobb részéért, addig az egész világ fogja átélni az időjárás-változás következményeit.

A fő politikai kérdés az azonban, bár nem meglepő módon, hogy a szegény országok ragaszkodnak a jogukhoz, hogy ugyanazt az általánosan elfogadott utat követhessék az ipari fejlesztés terén, mint azt már korábban a gazdag országok tették. A történelmi jogosultság kérdését félretéve, az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának ellenőrzése ma már az egyik leglényegesebb nemzetközi ügy, amint ez nyilvánvalóvá vált az 1992-es Világkonferencián, ahol az elsőbbség a Klímakonferenciáé volt. Mert az üvegházhatást okozó gázoknak hosszú lebomlási idejük van, és az óceáni hőtartálynak időre van szüksége a feltöltődéshez (és hogy felvett hőjét leadja), így a gázkibocsátások korlátozásának késleltetése a következő században rá fogja bírni a világot a tényleges változásra. Azonban az alapvető gazdasági fejlődés maga után vonja az energiafelhasználás növekedését. Ez a jelenlegi technológiával és a végletekig való kihasználással még több gázkibocsátást jelentene. Még ha a gazdag országokban lehetségesek is érdemi csökkentések a kibocsátásban, a legtöbb fejlődő ország nem képes ilyen technológiát alkalmazni jelentős pénzügyi segély nélkül (amelyet viszont a népeség szabályozás megvalósítására kell majd valószínűleg költeni).

A fő tudományos gond azokhoz a bizonytalanságokhoz kapcsolódik, amelyek az elérhető adatokban, az éghajlat-változás elméletében és számítógépes modelljeiben rejlenek. A sztratoszférikus ózon csökkenéstől, talajpusztulástól és a biológiai sokféleség csökkenésétől eltérően - amelyek mind kézzelfoghatók és ezért mérhetőek - a tudósoknak elsődlegesen előrejelzés útján kell foglalkozni az éghajlat-változással. Nem meglepő, hogy a politika és a tudomány között szoros kapcsolat alakult ki. Ez egyértelmű volt az 1990-es második Klíma Világkonferencián, ahol számos ipari ország küldöttsége kétségét fejezte ki az IPCC „tudományának” minősége és ily módon az üvegház gáz kibocsátás csökkentésének igénye iránt. Az IPCC úgy becsülte, hogy a szén-dioxid kibocsátás jelen szinten való állandósítása csökkentené a hőmérséklet emelkedés arányát 0,3 C°-ról 0,1 C°-ra évtizedenként és az iparosodott nemzetek valójában legalább 20%-kal *tudnák* csökkenteni 2000-re a kibocsátást, azonnali kezdetet feltételezve. Valójában Kelet-Európában és az egykori Szovjetunió területén a fájdalmas gazdaság-szerkezeti reform miatt a szén-kibocsátás 10-20%-kal csökkent 1987 óta. Azonban az Egyesült Államok (amely legnagyobb mértékben járul hozzá a kibocsátáshoz)

kitartóan érvel, hogy a tudomány nem meggyőző, és akárhogy is, a szén kibocsátás csökkentése nem megoldható pénzügyi okok miatt.

Azok az országok és vidékek, amelyek jelenleg a legtöbb üvegház gázt bocsátják ki - Észak-Amerika, Európa, volt Szovjetunió, Japán - valószínűleg a legnagyobb felmelegedést fogják tapasztalni, mivel az egyenlítőtől a messzebb helyezkednek el, míg a szegényebb országok, többnyire a 35° északi és déli szélesség alatt, kevesebb felmelegedést fognak érzékelni. Azonban, számos gazdagabb, nem forró égővi országnak ez egy elviselhető - bizonyos helyeken egyenesen mezőgazdaságilag hasznos - hőmérséklet-emelkedéssel járhat, némi csapadék növekedéssel együtt. Sok szegényebb, melegebb ország számára a káros hatások magukba foglalhatják a mezőgazdasági nehézségek kiéleződését, további melegedéssel és kiszáradással a mezőgazdasági területeken. Rathjen, egy amerikai közgazdász úgy érvel, ahol a gazdag országok képesek lehetnek alkalmazkodni, ott a szegény országok számára a kilátások zordak:

A fejlődő világban számosaknak az éghajlat-változáshoz való alkalmazkodás nehezebb lehet: néhányuknak valójában lehetetlen. A szegénységgel kisebb mozgékonyság és rugalmasság jár, hogy másképp alkalmazkodjanak a változáshoz. A hollandok számára valós lehetőség a magasabb gátak építése az emelkedő tenger-szint és a gyakoribb viharok ellen. Nem így a bangladesieknek. Az ő lehetőségeik valószínűleg a már túlnépesedett és ezért valószínűleg ellenálló Indiába való vándorlás megpróbálása és áradások vagy éhezés miatti halál között vannak - nem mind egyszerre, hirtelen, mivel nincs alap feltételezni a tengerszint hirtelen, drámai emelkedését - hanem mint megszakított növekvő vadságú és gyakoriságú áradások eredménye.⁴⁶

Az összefüggés a gazdasági növekedés (GNP) és az energia használat között sokkal rugalmasabb, mint korábban gondolták. A legtöbb fejlett országban a gazdasági tevékenység inkább fejlődik a szolgáltatás nyújtás irányába (oktatás, kommunikáció, szórakoztatás, üdülés egészségügy és jólét) mint a további anyagi fogyasztásába. Növekvő társadalmi és politikai nyomás van az energiahatékonyság fejlesztésének irányába is. Biztatást meríthetünk abból, hogy tudjuk, hogy a szegényebb országokban és a rendkívül alacsony hatékonyságú kelet-európai országokban az elmúlt négy évtized folyamán a gazdasági termelékenység egy egységére jutó energia fogyasztás tízszer nagyobb volt mint az energia szempontjából leghatékonyabb gazdag országokban (pl. Svájc, Svédország és Japán).

⁴⁶ Rathjen G.W., Energy and climate change. In: Mathews J.T. (ed.). *Preserving the Global Environment. The Challenge of Shared Leadership*. New York, Norton, 1991, 154-186. p.

Összefoglalás

A Föld üvegház-hatását fokozzuk, ez éghajlat-változást okoz, aminek széles körű egészségügyi hatásai lesznek. A közvetlen hatások a hőmérséklet változáson, szélsőséges hőhullámokon és növekvő természeti katasztrófákon keresztül könnyebben megjósolhatók, mint a különböző közvetett és késleltetett hatások. Azonban, valószínű - és fontos megjegyezni, hogy ez kapcsolatban van az ökológiai szétszakadás és emberi egészség általános témájával. A rovarok által terjesztett fertőző betegségek elterjedési területeinek változásai, a mezőgazdasági termelékenység csökkenése és a tengerszint-emelkedés által okozott társadalmi törés és a hozzá kapcsolódó szerencsétlenségek mind jelentős egészségügyi gondná válhatnak. A mezőgazdaságban, egyes területeken bekövetkező hanyatlás meg fogja gyorsítani az elszegényített falusi lakosság városokba áramlását.

Az éghajlat-változás alapvetőbb kihívást mutat, mint a sztratoszférikus ózon réteg megőrzése. Amíg az utóbbi lényegileg a „technikai helyreállítás” birodalmába tartozhat, addig a földi méretű felmelegedés elkerülése sokkal bonyolultabb politikailag és gazdaságilag. A megoldás a világ népesség növekedésének ellenőrzésében, a társadalmak olcsó ásványi tüzelőanyagú energiáról való leszoktatásában és a nemzetközi vagyon újraelosztásában rejlik, hogy elkerüljük a nem hatékony iparosítást és az esőerdők elpusztítását. Az emberi népesség növekedése és gazdasági tevékenysége egyesül, hogy megváltoztassa a Föld egyedülálló, életet támogató légkörének gáz összetételét. Ez pedig, ahogy széleskörűen előre jelezték, olyan változásokat okoz a bolygó éghajlatában, amelyek nagyobbak mint bármely, amely előfordult mióta a letelepült mezőgazdaság elkezdődött 10.000 évvel ezelőtt - és gyorsabb mint bármely, amely azóta történt, hogy az első ember a Földön sétált.

Magyarországi helyzet

1994 februárjában a magyar parlament ratifikálta a Klíma Keretegyezményt, amely alapján az ország vállalta az üvegházgázok kibocsátásának stabilizálását 2000-re, az 1985-87-es szinten.

Hazai kibocsátás: CO ₂	1985-87	83.6 Mt (81 Mt a fosszilis tüzelőanyagokból)
	1990	71.7 Mt (69 Mt a fosszilis tüzelőanyagokból)
Üvegház-gázok összesen:	1980	89.5 Mt
	1985	88.6 Mt
	1987	87.3 Mt
	1990	75,2 Mt

Az előrejelzések szerint lassú gazdasági növekedés esetén 72.8 Mt, gyors gazdasági növekedés esetén pedig 83.1 Mt CO₂-kibocsátás várható.

Magyarországnak nincs speciális széndioxid-kibocsátást csökkentő stratégiája, de vannak olyan intézkedések, amelyek közvetetten kapcsolódnak ehhez pl.: Nemzeti Energiahatékonyság-Fejlesztési és Energiamegőrzési Program, Nemzeti Iparfejlesztési Program, ODS-(ózonkárosító anyagok) kibocsátást Csökkentő Program, NMVOC- (nem-metán illékony szerves vegyületek) kibocsátást Csökkentő Program és az Újraerdősítési Program. (Ezek révén az 1985. évi 455 t-ról 1993-ban 85 t-ra csökkent az ODS-, 1988 és 1991 között 205 t-ról 143 t-ra az NMVOC-kibocsátás.)

Nagy bizonytalanságok vannak az adatokkal kapcsolatban, ezeket egyrészt az 1989. évi változások, másrészt a pénzhiány okozzák.

A gazdasági visszaesés következtében Magyarországnak valószínűleg sikerül betartania a 2000-re előírányzott széndioxid-kibocsátási értékeket. Ugyanakkor az ezt követő időkből a privatizáció és bizonyos nagyobb nemzetközi gazdasági egyezmények veszélyeztethetik ennek sikerét.

Energiatermelés: eddig kevés figyelem irányult a megújuló energiaforrásokra, s ebben rövid időn belül nem várható változás. Az energiaárak világpiaci szintre emelése hosszú távon kedvező változást idézhet elő az energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások megítélése terén. Ezt a tendenciát veszélyeztetheti a következő néhány évtizedben az Energia Charta, mert a „szabadkereskedelmi” megegyezések csökkenthetik az energiaárakat, s ezáltal ellentétes hatást válthatnak ki. A kelet-közép-európai országok tökehiánya; az elavult berendezések kicserélésének szükségessége amellet, hogy ezekben az országokban növelni kellene az energiatermelés hatékonyságát; s az a tény, hogy a külföldi beruházók növekvő térhódítása az energiaszektorban a nemzeti törvényhozást háttérbe szorítja, együttesen ad okot a félelemre.

Megújuló energiaforrások: Magyarországon a legígéretesebb a biomassa (az éves átlagos biomassa produkció 1500 gr/m², ami igen magas a legkedvezőbb dél-amerikai átlaghoz - 2500 gr/m² - képest is). Hasznosítani lehet biodízelként (repceolaj - energia tartalma közel akkora, mint a gázolajé: 38 MJ/kg, a vetéstől az olaj kinyeréséig az energia felhasználás 27.26 GJ -, alkoholos hajtóanyagok); tüzelés közvetlen formában (főként gabona szár, kukorica szár, napraforgó - átlagos energiatartalmuk 13-14 GJ/t, míg a lignit 10-11 GJ/t), biobrikettként (ha nem kell szárítani, 30-szor, ha kell 5-ször annyi energiát ad, mint amennyit rá kell fordítani) vagy gázosítva. Ezeknél az anyagoknál is szabadul fel széndioxid, de kén-tartalmuk jóval

kisebb, mint az ásványi tüzelőanyagoké, s égésük során a légkörből nem az évmilliókkal ezelőtt megkötött széndioxid jut vissza a körforgásba.

A napenergia Magyarországon főként családi házaknál használható a fűtés és a melegvíz-ellátás kiegészítésére (az előbbinek 10-35%-át, az utóbbinak 50-60% is adhatja).

Geotermikus energia (főként termény szárításnál, melegházi fűtésnél, komposzt gyártásnál, állattartásnál, irodaépületek fűtésénél használják). Jelenleg Magyarországon 80-90 ezer tonna olajegyenértéknyi hőenergiát termelnek meg geotermikusan.

Energiahatékonysági program: akár 20%-kal is tudná csökkenteni az üvegház-gáz kibocsátást, ennek ellenére ez egyelőre inkább csak elképzelés, mint igazi program, s anyagi fedezetéről sincs még megegyezés a kormányban.

Mezőgazdaság: nincs információ, sem országos program, sem helyi kezdeményezés, hogy a metánt a biomassza és biogáz, energiaszektorban történő, felhasználásával szándékoznának kivonni. Még nem készültek el az üvegházgázok kibocsátását csökkentő rendeletek, de remélhetőleg a MTA 1995 közepére elkészülő kezdeményezése tartalmaz ilyen intézkedéseket.

Közlekedés: A „Vasút vagy közút?” kérdésben a kormányzat egyértelműen a nagyságrendekkel nagyobb mennyiségű üvegházgáz kibocsátó, alacsonyabb energiahatékonyságú közút mellett áll (pl. vasúti mellékvonalak megszüntetésének terve, autópálya-építések ösztönzése).

Erdők: A magyarországi erdőterület 17-ről 20%-ra növelését tervezik (ugyanakkor nem úgy veszi, hogy ettől a széndioxid-kibocsátás csökkenni fog). Ellenkező irányban hat az erdők magánosítása folytán az új tulajdonosok rövid távú érdeke, amely a fák kitermelését és értékesítését tartja csak szem előtt.

Összefoglalva azt mondhatjuk, Magyarország valószínűleg be tudja tartani a 2000-re vállalt széndioxid-kibocsátási szintet, nem utolsó sorban a gazdasági visszaesés és a kedvezően megválasztott (magas) kibocsátási szint miatt, de kérdés, vajon így lesz-e a gazdaság talpraállása után is.

A légkör védelme: egy személyre szóló napirend

Otthon:

- Szigeteld megfelelően a házad.
- Tekerd lejjebb télen a fűtést.
- Hőszabályozási igényeidet redőnyök felszerelésével és nyáron fák vagy ponyvák árnyékával elégítsd ki
- Szigeteld a melegvíz-tartályt. Egy jól szigetelt hőtároló 10%-kal kevesebb energiát igényel.
- Ha még olajjal fűtesz, gondold meg az átalakítását gázfűtésűre. Ugyanannyi hőért a gázfűtés 40%-kal kevesebb szén-dioxidot (szén-dioxidot) bocsát ki, mint az olajfűtés.
- Tartsd jól beállítva a kazánt. Így akár 10-15%-kal kevesebb energiát használ.
- Fontold meg hatékonyabb világítás használatát. Kaphatók kompakt fénycsövek, amik jók a normál izzók foglalatába és négyszer olyan hatékonyak, mint egy egyenértékű izzókörte, és 8-15-ször tartósabb azoknál. Becslések szerint egy fénycső élettartama alatt több mint 350 kg-mal képes csökkenteni egy széntüzelésű hőerőmű szén-dioxid kibocsátását.
- Kapcsold le a lámpát, ha nem használod. Egy 100 W-os izzó napi 24 órás égetése egy év alatt 800 kg szén-dioxid kibocsátást jelent egy hőerőműnél, ami körülbelül 4%-a az ásványi tüzelőanyagok fogyasztásából keletkező szén-dioxid mennyiségnek, mint fő szénkibocsátónak.
- Ingázáskor gondold meg nem jobb-e tömegközlekedési eszközzel, mint autóval. Jelenleg egy átlag amerikai autó 12 l benzint fogyaszt 100 km-en. Érdekesség, hogy ha csak 1 l/100 km-rel nőne az átlag üzemanyag-hatékonyság ezeknél az autókban, akkor az éves szén-dioxid kibocsátás körülbelül 3,3 millió tonnával csökkenne, ami hozzávetőlegesen két modern 450 MW-os hőerőmű bezárását tenné lehetővé.
- Új háztartási gép vásárlásakor hasonlítsd össze az energiafogyasztásukat és próbálj olyat választani, ami a leghatékonyabb. Például egy amerikai kétajtós 500 l-es hűtő-mélyhűtő átlagos energiafogyasztása 1275 kWh évenként, de vannak már olyanok, amik csupán 650 kWh-t fogyasztanak évente, és készültek prototípusok, melyek még 500 kWh-nál is kevesebbet.

Utakon:

- Tartsd jól beállítva az autód, és megfelelően fölfújva a kerekeit. Egy jól karbantartott jármű 10%-kal is csökkentheti az üzemanyag-fogyasztást.
- Vezess észszerű fenntartásokkal. Haladj a megengedett maximális sebességgel, kerülj a hirtelen megállásokat és gyorsításokat, és tervezd meg a leghatékonyabb útvonalat. Ne járj az autót üresben túl sokáig - az álló jármű járó motorral 0 km/l-es „üzemanyag-takarékosság-gal” válaszol!
- Légy válogatós autóvásárlásnál, és legyen fontos tényező a választásban az alacsony fogyasztás. Ha célszerű, gondold meg alternatív üzemanyag-rendszer beszerelését, főleg a gázt. Ha kapható, használj alkoholt.

Magánéletben:

- Legyél válogatós vásárló. Vegyél olyan termékeket, amik energiahatékonyak és alkalmasak az újrafeldolgozásra és újrafelhasználásra. Az újratölthető üvegpalackok például sokkal kevesebb energiát igényelnek, mint az eldobhatók.
- Kerüld az olyan termékek megvételét, amik klorofluorokarbon (CFC)-tartalmúak. A CFC-k nem csak az ózonréteget károsítják, hanem erős üvegházgázok is.
- Vegyél részt helyi újrahasznosítási programokban. Az újrahasznosított anyagból készült termékek gyártásához lényegesen kevesebb energia szükséges. 95%-kal kevesebb energia kell például egy alkatrész fröccsöntéséhez újraalumíniumból, mint primer fémből.
- Tájékoztasd a politikusokat környezetvédelmi érdekeltségéről és bátorítsd őket, hogy hozzanak alkalmas törvényeket.

Végül:

- Az egyén szerepe drámai, hogy csökkentse a hozzájárulását az üvegházgázok (különösen a szén-dioxid és CFC-k) mennyiségéhez. Szintén tartsuk észben, hogy az energiahatékonyág bármilyen tökéletesítése segít csökkenteni az szennyezőanyag kibocsátást, ami hozzásegít más környezetvédelmi érdekekhez is, beleértve a savas esőket, városi légszennyezést és az ózonréteg károsítását.