

Energetika és környezetvédelem

Bevezetés

Az energia minden élettani folyamat alapvető feltétele, s az emberi társadalom működéséhez is nélkülözhetetlen, hisz minden termelési folyamat energia felhasználásával megy végbe. Így tehát nem túlzás azt állítani, hogy mind az élet, mind pedig a társadalom létfeltétele az energianyerés. Az élővilág meghatározó energiaforrása a napsugárzás, melynek felhasználásával a növények a fotoszintézis révén termelik saját testük élő anyagát, amely a táplálékláncon keresztül (növényevők, ragadozók) további energiaforrást jelent más élőlények számára. (Mennyiségét tekintve elhanyagolhatóan kis jelentőségű az egyéb energiaforrást hasznosító élőlények által termelt biomassza.)

A társadalom legfőbb energiaforrását ma a fosszilis tüzelőanyagok jelentik, vagyis a szénfeleségek, a kőolaj és a földgáz. Részarányuk az energiatermelésből ma is 85 százalék fölött van, s még néhány évtizedig biztosan ezekkel fogjuk kielégíteni az emberiség energiaigényének nagyobb részét. A fosszilis tüzelőanyagok a geológiai múlt napenergiájának raktáraiként is értelmezhetők, hisz ezek elhalt élőlények széntartalmú maradványai. A megújuló energiaforrások nagyobb része ugyancsak a napenergia transzformálásával áll rendelkezésünkre. Ezek közül a világ energiaszerkezetében a legnagyobb jelentőségű a vízenergia (kb. 7%), amely ugyan a vízerőművekben gravitációs energiaként érvényesül, de a vizet a napenergia cirkuláltatja a természetben (vízciklus). A szélenergia ugyancsak a napenergia egyik megnyilvánulási formája, s hasonlóképpen értékelhetjük a biomasszából nyerhető energiát is. Egyre nagyobb figyelemmel fordulunk a napenergia közvetlen hasznosítása felé, hisz logikusnak tűnik ennek a földi rendszer működése számára eredendően fontos energiaforrásnak a közvetlen felhasználása, mivel így elméletileg kevesebb veszteséggel kell számolnunk.

Egyedül az atomenergia az, amelynek a forrása nem a napsugárzás, az emberiség energiaellátásában mégis számottevő szerepet játszik (kb. 6 százalék). Az egyéb, ún. alternatív energiaformák (árápály, földhő) legfeljebb helyi igények kielégítésére alkalmasak, jelentőségük növekedése hosszú távon sem valószínű.

Az energiaformák környezeti hatásainak megítélése

Mindezen energiaformák felhasználása különböző környezeti következményekkel jár. Környezetvédelmi megítélésük alapja egyetlen kulcsszóval adható meg, s ez a *hatás*. Vagyis környezetvédelmi szempontból az az energianyerési forma jelent komolyabb veszélyforrást, amely nagyobb hatást gyakorol a környezet egészére

vagy egyes elemeire, illetve magára az emberre, s ez a hatás működési zavarokat idéz elő abban vagy azokban.

Ha az energiatermelés során melléktermékként keletkező anyagok és/vagy energiák az emberre mint biológiai lényre hatnak, elsősorban azt kell megvizsgálnunk, hogy okoznak-e élettani zavarokat. Ez a környezetvédelemben az egészségügyi határértékek megállapításának kérdését veti fel, amely önmagában is bonyolult feladat, hisz az emberi faj egyes egyedei is eltérő érzékenységek, de még ugyanazon ember szervezete is másképp reagál ugyanazon hatásokra különböző életkorban, más-más táplálkozási feltételek között, eltérő mértékű fáradtság esetén stb. Általában egy-egy nagyobb emberi populáció reakciói alapján lehet reális egészségügyi határértékeket megállapítani. Ilyenek ma már világszerte léteznek olyan anyagokra, hatásokra is, amelyek az energiatermelésből származnak (SO₂, NO₂, sugárhatások stb.).

A környezetvédelem helyes értelmezése esetén nemcsak az emberre, hanem az élővilág egészére gyakorolt hatásokat is meg kell vizsgálnunk, sőt foglalkoznunk kell az élettelen környezetben okozott változásokkal is — beleértve az épített környezetet is. Az élettelen természeti környezet károsodásának megakadályozása azért fontos, mert az élővilág számára élőhelyet jelent, s az ember számára ugyancsak alapvető létfeltételeket: pl. tiszta víz, levegő és/vagy a talaj. (Ez utóbbi átmenet az élő és élettelen környezeti elemek között, de anyagának túlnyomó része élettelen.) A talaj tisztasága az élelmiszereink tisztaságát nagyban meghatározza. Az épített környezetre gyakorolt hatások pedig elsősorban gazdasági okok miatt lényegesek: pl. az építmények, ill. azok szerkezeteinek korróziója komoly pénzügyi következményekkel járhat, hisz az erősen korrodált szerkezeti elemek cseréje rendszerint nagyon sokba kerül.

Az egyes környezeti elemekre gyakorolt hatások ugyan külön-külön is vizsgálhatók, de ezek a hatások legtöbbször nem egyetlen környezeti elem működési zavaraiiban jelentkeznek, még akkor sem, ha ez a hatás csak arra az egy környezeti elemre irányult. Ez a gyakran tapasztalható tény pedig azzal függ össze, hogy környezetünk bonyolult rendszerként működik, ahol a rendszer elemei kölcsönkapcsolatban vannak egymással. A legritkább esetben fordul elő, hogy a rendszer valamely elemére gyakorolt hatás jól lokalizált marad, és csak abban okoz működési zavart.

Megeshet azonban az is, hogy egy adott anyag külön-külön egyik környezeti elemre sem gyakorol említésre méltó káros hatást, a rendszer egészének működését mégis kedvezőtlenül befolyásolja, s áttételesen — időben jóval később — láncreakciószerű hatássorozat eredményeként visszahat a rendszer egyes elemeire, zavarokat okozva azok működésében. Ilyen anyagnak tartjuk a fosszilis tüzelőanyagok elégetése során nagy mennyiségben keletkezett szén-dioxidot.

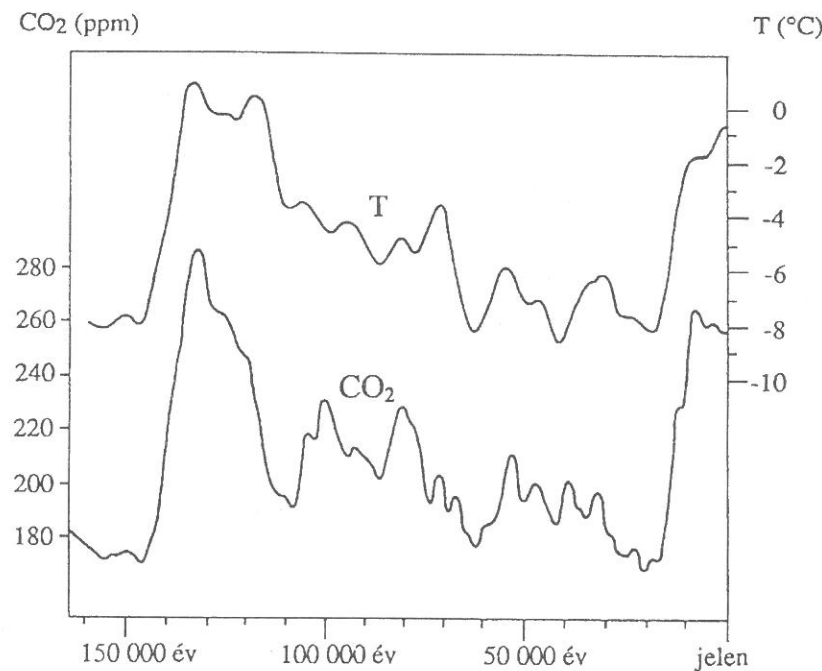
A fosszilis energiahordozókból származó szén-dioxid környezeti hatásai

Tekintettel arra, hogy a fosszilis energiahordozók meghatározók a világ energiatermelésében és fogyasztásában, elsősorban ezek felhasználása során keletkezett

szennyező anyagok környezeti hatásaival foglalkozunk. Az energiatermelést és -fogyasztást a legtágabban értelmezzük: az erőművektől az egyéb iparágakon és közlekedésen át a háztartási fűtésig minden energianyeresi és felhasználási formát beleértünk, amelynek alapja fosszilis tüzelőanyag.

A széntartalmú energiahordozók elégetésével a legnagyobb mennyiségben keletkező gáz a szén-dioxid. A klasszikus ipari forradalom előtti állapothoz képest a légköri széndioxid-tartalom mintegy 25%-kal nőtt, jelenleg a troposzféra átlagos koncentrációja 0,035%. A kilencvenes években évente több mint 5 md tonna szén kerül a légkörbe a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó CO_2 révén.

Maga a CO_2 gáz a légkörben előforduló koncentrációban nem mérgező az ember és az állatvilág számára sem. A szervezet oxigénellátási zavarait zárt térben a csökkent oxigéntartalom vagy az esetlegesen képződő CO szokta okozni, s a CO_2 csak 10% körüli koncentrációban okoz mérgezési tüneteket, (ez a légköri érték 285-szöröse), a növények fotoszintéziséhez pedig kifejezetten kedvező feltételt biztosít (széndioxid-trágyázás). Az élettelen környezetre is nagyon csekély hatást fejt ki, mivel légköri koncentrációja rendkívül kicsi, s a csapadékvízben oldódva ugyan némileg elsavanyítja azt, de ez gyakorlatilag nem okoz káros környezeti hatást sem az élővizekben, sem más környezeti elemekben.



1. ábra. A légköri CO_2 -koncentráció és a Föld átlagos felszíni léghőmérsékletének változásai közötti kapcsolat az elmúlt 160 000 évben Lorius, C. – Barkov, N.J. (1988) szerint. T = a hőmérséklet eltérése egy önkényesen választott 0 szinttől.

A szén-dioxid azonban befolyásolja a rendszer működésének egészét, döntően az éghajlat módosításán keresztül. A tudomány már régen bebizonyította, hogy az üvegházhatás jelenségében a gáznak meghatározó szerepe van. Az 1. ábrán a Föld középfelhőmérsékletének az elmúlt 160 000 évben kimutatott változásait követhetjük nyomon a légköri széndioxid-tartalom függvényében. Első megközelítésben a két görbe közel párhuzamos futását állapíthatjuk meg, ami a szén-dioxid hőmérsékletre gyakorolt meghatározó szerepét bizonyítja. Megfigyelhetjük azonban azt is, hogy egyes időszakokban csökkenő széndioxid-tartalomhoz növekvő hőmérséklet társul, vagy éppen növekvő széndioxid-koncentráció esetén csökkent a légkör felszínközeli átlaghőmérséklete.

Nyilvánvaló tehát, hogy más tényezők is szerepet játszanak a Föld középfelhőmérsékletének alakulásában (pl. csillagászati tényezők, besugárzást mérséklő légköri alkotórészek stb.), de hosszú távon a szén-dioxid meghatározó ebből a szempontból. Az ábrán a jelen folyamatait nem követhetők nyomon, mivel az időlépték ábrázolása itt tízezer éves egységekben történt, a klímamelegedés kritikus időszaka viszont az elmúlt 130 év, ez pedig ebben a léptékben ábrázolhatatlanul kicsiny szakasz.

A világ meteorológiai állomásainak 130 éven át mért adatait feldolgozva számította ki Jones, Wigley és Wright (1986) a hőmérsékletemelkedés mértékét, ami $0,6^\circ\text{C}$ -nak adódott. Ez a látszólag kis érték a növekedés ütemét tekintve minden korábbi változást megelőz. Mivel jelenleg a jégkorszak utáni felmelegedési időszakban vagyunk, a hőmérséklet növekedése természetes okokra is visszavezethető lenne, de a légköri széndioxid-tartalom fosszilis tüzelőanyagokból származó intenzív növekedése és az említett, ugyancsak gyors ütemű hőmérsékletemelkedés jó összhangban van egymással, ami nagyon valószínűvé teszi, hogy az antropogén okoknak meghatározó szerepük van a jelenlegi klímamódosulás folyamataiban. (Megjegyezzük, hogy a fosszilis energiahordozók felhasználásából származó egyéb gázok, mint pl. a nitrogén-oxid, a metán, erősebb fajlagos üvegházhatást okoznak, mint a szén-dioxid, de a légkörbe jutó mennyiségük sokkal kisebb annál, így jelentőségük is kisebb. Ha azonban a nem energiatermelésből származó üvegház-gázok mindegyikének együttes hatását is figyelembe vesszük, az összes „egyéb gáz” hatása gyakorlatilag a szén-dioxidéval lesz egyenlő. Ez az arány csak az utóbbi évtizedekben alakult ki, amikor a CFC-ket nagyobb mennyiségben gyártották. Ezek üvegházhatása valamennyi gázéval összehasonlítva a legnagyobb.)

Számítógépes klímamodellek alapján a légkör különböző várható széndioxid-tartalmára számították ki a 21. század hőmérséklet-emelkedésének becsült növekedését. Kétszeres széndioxid-tartalom esetén a legvalószínűbb a 3°C -os hőmérsékletemelkedés lenne, de legkevesebb $1,5^\circ\text{C}$ -os növekedésre kellene számítani. Ez nemcsak az egész klímarendszert módosítaná bolygónkon, hanem a vízrendszereket, tengeráramlásokat, a világtenger szintjét, biogeográfiai övezeteket és régiókat, vagyis az egész földi rendszer működését. Legsúlyosabb következményei a tengerszint-emelkedésnek, a klímaövek eltolódásának és az ezzel összefüggő biogeográfiai-talajtani övezetesség megváltozásának lennének. Olyan partmenti területek, mint pl. Banglades D-i részei közvetlen veszélybe kerülnek a

várható 0,5 m-es közepes tengerszint-emelkedés miatt. Ehhez ugyanis kb. 2–2,5 m-es vihardagályok, szökőárak tartoznak, amelyek katasztrofális pusztítást végezhethetnének a partvidéken. Az érintett országok — gazdasági potenciáljuktól függően — különböző mértékben tudják kivédeni ezt a várható drasztikus környezeti hatást (pl. Hollandia már épített egy védelmi célt szolgáló gátrendszert), de hosszú távon még a leggazdagabb országok part menti területei is víz alá kerülhetnek, ha a folyamat tovább folytatódna.

A klímaövek eltolódásának az emberiség számára egyik fontos következménye lenne a mezőgazdasági termelés feltételeinek megváltozása. Ez komoly erőfeszítéseket igényelne a világ mezőgazdaságától. (Pl. meg kellene változtatni a termesztett növények faji összetételét.) Az alkalmazkodás sikeressége ebben az esetben is nagymértékben függene az országok gazdasági fejlettségétől, s a túlnépesegett, ugyanakkor kis gazdasági potenciállal rendelkező államok különösen komoly bajba kerülnének.

A geológiai értelemben gyors változás a természetes élővilág faji összetételében is lényeges módosulásokat okozna: valószínűleg sok faj nem lenne képes alkalmazkodni a megváltozott környezeti feltételekhez, tehát felgyorsulna a kihalások amúgy is gyors folyamata.

A következmények részletes elemzése csak nagyobb terjedelmű dolgozatban lenne lehetséges. Így is érzékelhető azonban, hogy a széndioxid-koncentráció felgyorsuló növekedése komoly működési zavarokat okozna mind a földi természeti rendszerekben, mind pedig a társadalomban. Célszerű tehát megelőzni a nem kívánatos folyamatokat.

A széndioxid-kibocsátás mérséklésének lehetőségei

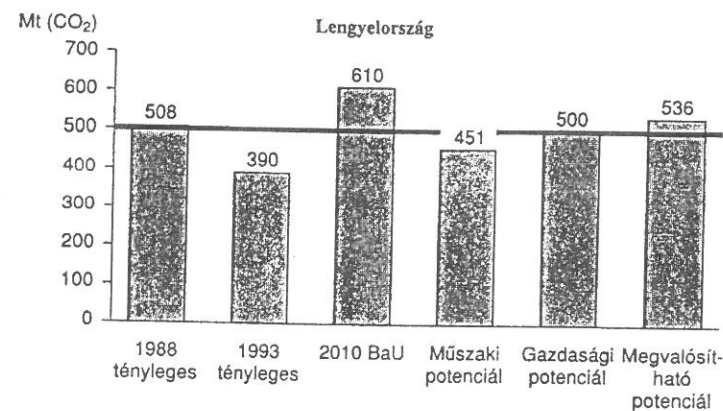
A légköri CO₂-koncentráció növekedésének mérséklését többféle módszerrel lehetne elérni. Elméletileg az alábbi lehetőségek állnak fenn:

1. csökkenteni az elégetett tüzelőanyagok mennyiségét az atomenergia, valamint a megújuló energiaforrások nagyobb arányú felhasználásával;
2. növelni az energiahatékonyságot;
3. átfogó takarékosági intézkedésekkel csökkenteni az energia-felhasználást;
4. megakadályozni az égetés során keletkezett CO₂ légkörbe jutását;
5. megkötni a légkörbe jutott CO₂-t.

Globális léptékben az emberiség energiaigényének növekedését a 21. században a fejlődő országok energia-felhasználása fogja meghatározni. Minden reális becslés arra utal, hogy a fejlett országok egy főre jutó energiaigénye csökkenni fog (ezt a technológia fejlettsége teszi lehetővé), a fejlődő országoké azonban dinamikusan nő majd. Az emberiség energiaigénye így tovább nő: 2025-ben várhatóan 20 terawatt lesz az 1990-es 13,5 terawatthoz képest (Holdren, 1990).

Az energiaforrások szerkezetének átalakítása még akkor is évtizedeket venne igénybe, ha valami valóban forradalmi átalakulás következne be az energianyomás terén. Így azzal is számolnunk kell, hogy a fosszilis tüzelőanyagok felhasználá-

lása a jövő évszázad első negyedében továbbra is meghatározó lesz, és növekedni fog — még az egyéb energiaforrások intenzívebb hasznosítása esetén is. Az 1. pont alatt jelzett út tehát egyelőre nem jelent megoldást.



2. ábra. Lengyelország CO₂-kibocsátásának alakulása különböző időpontokban, eltérő feltételek esetén. BaU (business as usual = „minden megy a maga útján”) = emisszió csökkentése nélkül. Forrás: Klímavédelem a fejlett országokban (1997).

Az *energiahatékonyság* növeléséhez azonban még számottevő lehetőségek vannak. Ezek műszaki oldalát Büki professzor tanulmányából megismerhettük. (Megjegyezzük, hogy az energiahatékonyság javítása a gépjárművekre és a lakossági fűtési rendszerekre is érvényes feladat, és a javítás mértéke ugyancsak jelentős lehet.) A műszaki potenciál mellett azonban a gazdasági és a társadalmi feltételek is szerepet játszanak a megvalósításban. A 2. ábrán Lengyelország példáján mutatjuk be a CO₂-kibocsátás változásának jövőbeli lehetőségeit. Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye a kibocsátás bázisévének 1988-at jelölte meg. A rendszerváltás előtti és utáni gazdasági hanyatlás miatt valamennyi volt szocialista országban csökkent az emisszió. (Ez szinte minden légszennyező anyagra érvényes megállapítás.) A gazdasági talpraállás megindulása azonban újra növekedést eredményezett. Lengyelország esetében — ahol a szénkészletek jelentősek — ha az energiahatékonyság növelését segítő intézkedések nem történnének, 2010-re 610 Mt-ra nőne a CO₂-kibocsátás (2. ábra, BaU – business as usual = „minden megy a maga útján”). A műszaki potenciál 451 Mt kibocsátást tenne lehetővé. A gazdasági feltételek (beruházások korlátai) már csak 500 Mt-ig engednék a csökkentést, de az egyéb feltételeket is figyelembe véve 536 Mt látszik megvalósíthatónak. Az 508 Mt-ás alapszinthez képest ez 5,5%-os növekedést jelent — szemben az energiahatékonysági intézkedések nélkül megvalósuló 20%-os növekedéssel. Több országban (pl. Csehország, Ukrajna, Bulgária) csupán az energiahatékonysági intézkedések bevezetésével az 1988-as (vagy 1990-es) alapszint alatt tartható a kibocsátás.

A harmadikként felsorolt *átfogó takarékosági intézkedéseket* nem szívesen alkalmazzák a társadalom vezetői, mert a történelem során az ilyen intézkedések rendszerint súlyos válságokhoz kapcsolódtak (gazdasági világválság, világháború utáni tönkrement gazdaság stb.). Az ebben rejlő lehetőségeket a társadalom környezeti tudati szintjének fejlődésével fokozatosan lehet kiaknázni.

Az energiaiparban több módszer ismert az égetés során keletkezett CO_2 megkötésére (1. táblázat). Ezek eléggé költséges megoldások és az energiatermelés hatásfokának csökkenésével is járnak, ezért egyelőre nem várható szélesebb körű elterjedésük.

1. táblázat. A fosszilis tüzelőanyagok elégetésével termelt CO_2 leválasztásának módszerei Fulkerson, W. – Judkins, R.R. – Shanghvi, M.K. (1990) szerint

Eltávolítási mód	Eltávolított CO_2 (%)	Költség (cent / a CO_2 formájú szén 1 kilogrammja)		Hatásfok- csökkenés (%)	Az elektromosság költségei a mai árakhoz viszonyítva
		kivonás	eltávolítás		
Molekula-szűrő	90	8,4	1,1*	80	5,0
Meszes megkötés	90	5,9	1,1*	59	2,4
MEA kimosás	90	5,5	1,1*	57	2,3
Égetés oxigénben	100	7,0	1,1*	30	1,8
IGCC/Sel-exol	88	1,8	0,7**	13	1,3
Erdősítés	100	0	0,9	0	1,1

* Óceán mélyére ** Kimerült földgáztelepekre

Egyszerűnek, olcsónak és számos egyéb kedvező hatása miatt a leginkább környezetkímélő, sőt környezetjavító módszernek tűnik a légkörbe jutó CO_2 megkötése *erdősítéssel*. Ennek ellenére alkalmazásának hosszabb távon sincs realitása az alábbiak miatt. Ha csak az Egyesült Államok egyetlen évben megtermelt CO_2 -mennyiségét kívánnánk ilyen módon megkötni, közel 3 millió km^2 erdő telepítésére lenne szükség. Az emberiség a korábban kiirtott erdők helyén településeket hozott létre, mezőgazdasági művelést végez, vagy egyéb módon hasznosítja a földet, tehát nagyon csekély az erdősítésre rendelkezésre álló terület. Másrészt a trópusi területeken — többnyire gazdasági okok miatt — éppen az erdőirtás üteme nőtt meg, amelynek következtében a légköri széntartalom évente jóval több, mint 1 md tonnával nő. Már az is ökológiai sikernek számítana, ha az erdőirtás ütemét jelentősen mérsékelni lehetne.

Úgy ítéljük meg tehát, hogy az energiahatékonyság növelése és az átfogó takarékosági intézkedések járhatnak hozzá legnagyobb mértékben a széndioxid-kibocsátás növekedési ütemnek mérsékléséhez, de még legalább ötven évig tovább fog nőni az atmoszféra széndioxid-tartalma.

A fosszilis energiahordozók felhasználása során keletkezett egyéb szennyező anyagok hatásai és kibocsátásuk csökkentésének módjai

A széntartalmú energiahordozók elégetésével nagy mennyiségű kén-dioxid és nitrogén-oxidok is keletkeznek. A legtöbb kén-dioxidot a gyenge minőségű szenek (lignit, barnaszén) elégetésével termeljük, majd a kőolaj következik (származási helyétől függően jelentős eltérésekkel), s végül a földgáz, a mely a leginkább környezetkímélő fosszilis tüzelőanyagnak számít. A nitrogén-oxidok kibocsátásában azonban a földgáztüzelésű erőművek viszonylagosan nagy szerepet játszanak (de itt is a széntüzelésűek vezetnek), és igen fontos a közlekedési eredetű emisszió is. Ez utóbbi a szénmonoxid-, a benzo(a)pirén- és az ólomkibocsátásban meghatározó szerepet tölt be.

A kén-dioxid kibocsátásában a lakossági fűtés is igen jelentős szerepet játszik, s a korábbi évtizedekben még nagyobb szerepet játszott. Az ötvenes években a fejlettebb országokban mind a településeken, mind pedig azokon kívül környezeti katasztrófák jelezték, hogy a savas hatások súlyos következményekkel járnak. Az 1952-es londoni szmogot, amelynek kialakulásában meghatározó szerepet játszott a lakossági széntüzelésből származó kén-dioxid és korom, a környezeti katasztrófák között tartják számon, mivel a legmértéktartóbb becslés szerint is legalább 1500 lakos halálát okozta. (Az erősen eltérő adatoknak az a fő oka, hogy sokan haltak meg olyan személyek, akik már a szmog előtt is súlyos egészségi állapotban voltak, s ez eltérő statisztikai kimutatásokra adott lehetőséget.)

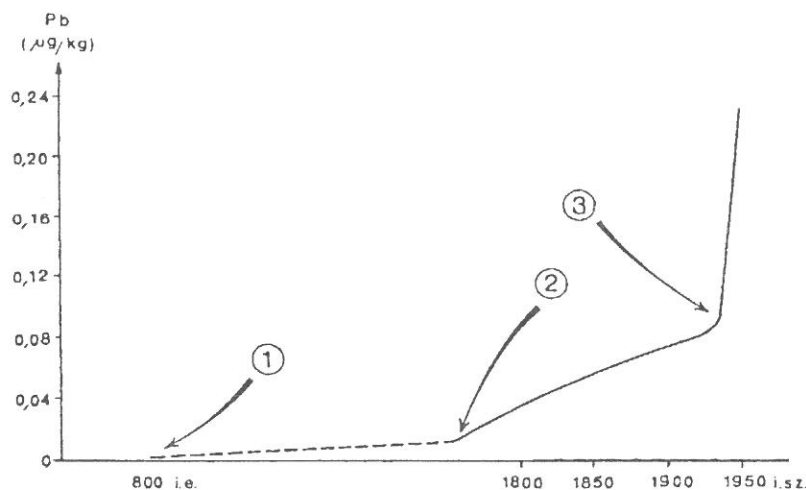
Kevésbé drasztikus következményeket regisztráltak hazánkban. A kén-dioxid közismerten légzőszervi megbetegedéseket okoz, melyek közül az idült bronchitisz (légcsőgyulladás) az egyik leggyakoribb. A 70-es években Ózdon és Sátoraljaújhelyen végzett felmérés szerint Ózdon a felnőtt lakosság körében hatszor annyi volt a bronchitiszes beteg, mint a tisztább levegőjű határ menti kisvárosban (Kerényi, 1988).

Településektől távoli területeken is előfordultak ökológiai katasztrófának minősíthető folyamatok, amelyeket a kén-dioxid növekvő légköri koncentrációjával hoztak összefüggésbe. Ilyen volt pl. a svéd tavak erőteljes elsavasodása a 60-as, 70-es években, amelyet döntően a kontinens (Nyugat-Németország, NDK) és Anglia nagy iparterületeiről (közép-angol iparvidék) származó, kéndioxid-eredetű savas ülepedés okozott. A savasodás következtében több tóból teljesen kipusztult az élet, más tavakban pedig csökkent a faji diverzitás, azaz fajok tűntek el a vízből — miközben a víz tisztának látszott. A folyamat további folytatódását egyrészt a tavak meszesedésével, másrészt az SO_2 -kibocsátás csökkentésével lehetett megakadályozni. A nemzetközi bonyodalmakat is okozó folyamat hozzájárult a későbbiekben kidolgozott nemzetközi egyezmény megkötéséhez, amely a határokon átte-

jedő légszennyező anyagok kibocsátásának korlátozásáról szól (Genf, 1979). Az élettelen természeti és az épített környezetet is károsító savas ülepedés mérséklése valamennyi európai országnak érdeke volt, így hatékony intézkedéseket hoztak a kén-telenítő berendezések alkalmazására. A nemzetközi összefogás eredményeként Európa-szerte csökkent az SO_2 légköri koncentrációja.

A *nitrogén-oxidokról* nem mondható el ugyanez. A gépkocsi-közlekedés fejlődésével és a lakossági gázfűtés terjedésével több európai országban — de a fejlődő országok jelentős részében is — a kibocsátás növekedése tapasztalható. Ugyancsak savas hatású anyagokról van szó, ezért emberre és a környezetre gyakorolt hatásai alapvetően hasonlóak a kén-dioxid hatásaihoz. Légköri koncentrációja azonban még mindig lényegesen elmarad a kén-dioxidétól, ezért kisebb veszélyt jelent ugyan, de a kibocsátás növekedése nem megnyugtató.

A *szén-monoxid* és a korom a tökéletlen égés terméke. Az előbbi emberre és a melegvérű állatokra nézve veszélyes mérge, amely a vér oxigénszállítását akadályozza meg, utóbbi tartós hatása pedig növeli a tüdőrák kockázatát. E veszélyes hatások ellenére ezek a szennyezők inkább lokális problémákat okoznak, mintsem globálisakat. A fűtési technika és a gépkocsigyártás fejlődésével emissziójuk fokozatosan csökken.



3. ábra. Az ólomtartalom növekedése az Antarktisz jegének különböző korú rétegeiben (Murozumi, M. *et al.* 1969. nyomán). 1. i.e. 800-ban a jég ólomtartalma kevesebb, mint 0,001 mg/kg, 2. az ipari forradalom kezdete, 3. elterjedt az ólmozott benzin széles körű használata (1940).

Az *ólomkibocsátás* az ólmozott benzin megjelenésével nőtt meg igen jelentős mértékben (3. ábra), s az 1980-as évekre az ipari forradalom előtti állapothoz képest tizenötszörösére nőtt az ólom fluxusa, vagyis az évente környezetbe jutó

összmenyisége. Az ólomvegyületek sokféle elváltozást okozhatnak az emberi szervezetben: idegrendszeri károsodásokat, az immunrendszer működésének zavarait, kromoszóma-rendellenességeket, szellemi elmaradottságot, nagyobb koncentrációban (a vérérumban 350 mg/l érték fölött) akut ólommérgezést eredményezhetnek. Az ólmozatlan benzin széleskörű használata látványos javulást eredményezett a fejlett országokban, s ez a fejlődő országokban is terjedőben van. Hazánkban az 1985-ös 452 t/év kibocsátás napjainkra 100 t/év körüli értékre csökkent.

A *benzo(a)pirén* ugyancsak a gépkocsik kipufogógázaiból kerül a környezetbe a legnagyobb mennyiségben, de az olaj- és a széntüzelésű erőművek kibocsátása is jelentős. Bizonyítottan rákkeltő hatású vegyület, amely különösen a nagyvárosokban kimutatható tüdőrák-gyakoriság növekedésének egyik fő oka.

A közlekedési eredetű szennyező anyagok kibocsátása számos technikai jellegű fejlesztéssel, a közlekedési eszközök szerkezeti arányának változtatásával és közlekedésszervezéssel egyaránt csökkenthető. (Bővebben ld. Kerényi, 1995.) Az autók fajlagos fogyasztásának csökkentése a motor és az erőátvitel tökéletesítése révén, a karosszéria légellenállási tényezőjének javításával és az autó kisebb önsúlyával érhető el. A katalizátorok használata tovább csökkenti a gépkocsik károsanyag-kibocsátását. A tömegközlekedés ésszerű fejlesztése, a településen belüli forgalomban a kerékpár nagyobb részesedési arányának biztosítása, a gépjárműforgalom városon kívülre terelése (elkerülő utak, „parkolj és utazz!” állomások kiépítése) mind-mind kisebb-nagyobb hozzájárulást jelentenek a szennyező anyagok kibocsátásának mérsékléséhez. Hazánkban az elavult gépjárműpark minél gyorsabb lecserélése modern, kis fogyasztású, ólmozatlan benzinnel közlekedő katalizátoros autókra, lényegesen javíthatná a jelenlegi szennyezési helyzetet.

A háztartási fűtés hatékonyságának fokozásában és a lakások takarékosabb energia-felhasználásában még ugyancsak sok lehetőség rejlik, ami hozzájárulhat a szennyező anyagok emissziójának mérsékléséhez.

A *környezetkímélő energiatermelés* következetesen végiggondolt, jól megtervezett és szakszerűen kivitelezett energianyeresi módokat együttes alkalmazását jelenti, melynek során a legkisebb környezeti kárt okozó energianyeresi formák kiválasztására, alkalmazására és állandó továbbfejlesztésére törekszünk. Ez egyben azt is jelenti, hogy az energiahatékonyság műszakilag lehetséges maximumát igyekszünk elérni.

Mit hozhat a jövő?

A fosszilis energiahordozókon kívül minden más energiaforrás felhasználása is kisebb-nagyobb környezeti ártalommal jár. Az alkalmazása kezdetén (amikor kis hegyi patakok hajtottak vízimalmokat) szinte teljesen ártalmatlan vízenergia-nyerés ma már komoly környezeti gondokat okoz, hisz az óriás gátak építésével megváltozik a domborzat, a talajvíz, a talaj, a vízhozam és vízmozgás, a párolgás, a vízi és vízparti ökológiai viszonyok és még sok egyéb környezeti tényező. A világon felépített mintegy 60 000 nagyobb víztározó már a globális éghajlati rendszer-

re is hatással van. Korlátozott a még hasznosítható vízenergia-készlet, s az ökológiai-vízrajzi problémák miatt kérdéses, hogy érdemes-e a maximális hasznosításra törekedni.

A biomassza hasznosítása energianyerésre viszonylag kevés környezeti ártalommal jár: elégetésekor korom, szén-monoxid és kén-dioxid keletkezik. (Az ugyancsak légtérbe kerülő CO₂ nem jelent gondot, mivel ez nem más, mint a növények által megkötött CO₂ visszajuttatása a légkörbe, s ami újabb növények termesztésével ismét megköthető.) Még jobb a hatékonyság és kevesebb a környezeti kár, ha a biomassza elgázosítása után gázturbinákban nyerjük az energiát, vagy fermentációval metanolt, ill. etanolt állítunk elő, s ezeket környezetkímélő üzemanyagként hasznosítjuk. E megújuló energianyerési forma is csak kiegészítő energiaforrásként jöhet szóba, hiszen a szaporodó emberiség élelemmel való ellátása erősen korlátozza az energiacélú biomassza-termelésre hasznosítható mezőgazdasági területeket.

Az atomenergia használatának egyik legnagyobb gondja a nagy aktivitású hulladék biztonságos elhelyezése. Csernobil óta különösen érzékeny a közvélemény az erőműbővítésekre vagy újak építésére, hisz a baleset következményei igen súlyosak voltak. A 21. században még biztosan fontos energiaforrások lesznek a fissionális erőművek, de hosszú távon ezek sem oldják meg az emberiség energiagondját, hisz az uránkészletek nem elegendők hosszabb időre, mint a szénkészletek.

A napenergia széleskörű háztartási hasznosítása és arra alkalmas területeken napkórhók építése a jelenlegi részesedési arányát az energiatermelésből lényegesen megnövelheti. A nagy területigénye azonban korlátokat szab alkalmazásának.

A szélenergia egyes országokban (pl. Dánia, Hollandia) viszonylag nagy jelentőségre tehet szert, de világméretekben nem várható előretörése, hisz sok országban a természeti viszonyok sem alkalmasak gazdaságos hasznosítására.

Mai ismereteink szerint a fúziós erőművek létrehozása megoldaná az emberiség energiagondjait, s alapvetően javítana a környezet állapotán is, hisz környezetkímélő energianyerési módról van szó. Ettől azonban egyelőre még távol vagyunk: egyes becslések a 21. század második felére teszik az energiatermelésben való megjelenését. Elképzelhető azonban az is, hogy egy vagy több zseniális tudós olyan környezetkímélő energianyerési módot fedez fel és dolgoz ki, amelyről ma még nem is tudunk, s ez a ma még ismeretlen energia száz év múlva olyan természetesen fogja szolgálni az emberiséget, mint az ősembert a meggyúló száraz faág.

Irodalom

- Jones, P.D. – Wigley, T.M.L. – Wright, P.B.: 1986. Global temperature variations between 1861 and 1984. *Nature*, 322, pp. 430–434.
- Kerényi A.: 1988. Környezetvédelem földrajz szakos hallgatók számára. Tankönyvkiadó, Budapest, 226 o.
- Kerényi A.: 1995. Általános környezetvédelem – Globális gondok, lehetséges megoldások. Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 397 o.

- Lorius, C. – Barkov, N.I. et al. 1988. Antarctic ice core: CO₂ and climatic change over the last climatic cycle. *Eos* 69, pp. 681–684.
- Murozumi, M. – Chow, T.J. – Paterson, C.: 1969. Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dusts and sea salt in Greenland and Antarctic snow strata. *Geochimica et cosmochimica acta* 33, pp. 1247–1294.
- Pálvölgyi T.: 1997. Klímavédelem a fejlett országokban – Közös politikák és összehangolt intézkedések lehetőségei az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére, OECD, KTM, 95 o.