

Studia Physiologica  
18/2012

Vida Gábor

Honnan hová Homo?  
Az Antropocén korszak gondjai



*Studia Physiologica*  
Fasciculus 18

**Honnan hová Homo?**  
**Az Antropocén korszak gondjai**

*Vida Gábor*

*Studia Physiologica*  
Fasciculus 18

# **Honnan hová Homo?**

## **Az Antropocén korszak gondjai**

*Vida Gábor*



A kötet megjelenését a Semmelweis Egyetem Piramis Projekt (TÁMOP-4.2.3/08/1/KMR-2008-0003) és a Studia Physiologica Alapítvány támogatása tette lehetővé

Sorozatszerkesztő: *Nagy Zoltán*

Nyelvi lektor: *Podani János, Szathmáry Eörs*

© *Vida Gábor, 2012*

© *Semmelweis Kiadó, 2012*

**ISSN 1219-2791**

**ISBN 978 963 331 257 5**

A könyv szerzői jogi oltalom és kizárólagos kiadói felhasználási jog alatt áll. Bármely részének vagy egészének mindennemű többszörözése kizárólag a sorozatszerkesztő, a szerző és a kiadó előzetes írásbeli engedélye alapján jogszerű.

	Semmelweis Kiadó
	1089 Budapest, Nagyvárad tér 4.
	<a href="http://www.semmelweiskiado.hu">www.semmelweiskiado.hu</a>

Felelős kiadó: dr. Tánkos László igazgató

Tördelőszerkesztő: Békésy János

Borítóterv: Tánkos László

SKD: 386

Nyomda: Mester Nyomda Kft.

# Előszó

Ez a munka nem szakkönyv abban az értelemben, ahogyan a jól definiálható tudományos diszciplínák eredményeiről szóló könyveket szokás nevezni. Témája az emberiség növekvő hatása földi környezetünkre, mely napjainkra oly mértékű lett, hogy új földtörténeti időszakról, az Antropocén korról beszélünk.

Sokakat büszkeséggel tölt el egy ilyen globális méretű átalakítás tudata, s gondolataikban felsejlik egy további fényes jövő lehetősége a világűr többi égitestének „meghódítására”. Ehhez olykor a tudomány szakemberei is muníciót szolgáltatnak, legjobb „szak” tudásuknak megfelelően. Ha azonban a dolgokat összefüggéseikben vizsgáljuk, a realitás korlátjaiba ütközünk. Ezek a korlátok pedig számos területen egyre gyakoribbak.

Túlzott önbizalomra hajlamos természetünk – múltbeli sikereinkkel megerősítve – a korlátok elhárítására vagy áthágására buzdítanak próba-szerencse alapon. E hazardírozás, különösen, ha a tét az emberiség léte, aligha tekinthető tudományos fajnevünkhöz (*Homo sapiens*) illőnek. Jelenleg mégis ilyen globális kísérlet folyik. Egy korlátlan növekedésre berendezkedett gazdaság próbálja növekvő igényeinket egy véges Földön kielégíteni.

Az emberi leleményesség és zsenialitás más élőlény társainkhoz képest valóban csodálatos. Elvileg még a jövő egy részére is rálátásunk van. A jelen lehetőségeinek dominanciája azonban igen erős. Jobb ma egy veréb, mint holnap egy túzok – tartja a mondás. A baj akkor van, ha a verébbel nem egy nagyobb előnyt szalasztunk el, hanem egy későbbi katasztrófát hozunk a nyakunkra. Ilyen lehetőségre hivatkozva, ha ezek távoliak és bizonytalanok, a korlátozást nehéz elfogadtatni. A belátáshoz kellő tájékozódás, összefüggésekben, rendszerben történő elemzés szükséges, ami sajnos a jelenlegi túlspecializálódott tudományokkal nehezen oldható meg. E könyv mégis ilyesmire törekszik.

A földi bioszféra evolúciós és ökológiai szerveződése bámulatos rugalmasságról és egy csodálatos, hosszasan fenntartható fejlődésről tanúskodik. Ez a szerveződés nyomokban még a mai napig is tanulmányozható, tanulságul szolgálva az általunk csak hangoztatott „fenntartható fejlődésünkhöz”. Földünk többmilliárd éves történetének feltárása pedig kulcsként szolgálhatna a jövőnkhez.

E könyvben az idők kezdetétől igen nagyvonalú, felületes tárgyalással jutunk el Földünk és annak bioszférájának kifejlődéséhez. A jelenhez közelítve azonban a múlt egyre több eseménye fontos üzenetként értelmezhető. Az ipari forradalomtól induló robbanásszerű fejlődés(?) révén jutunk az Antropocén korba. Ennek vizsgálata teszi ki könyvünk nagyobbik részét.

A mai helyzetből, a trendek ismeretéből a jövő felé kivetített képet az olvasó enyhén szólva sötétnek fogja találni, annak ellenére, hogy egy apokaliptikus összeomlás tárgyalása („collapseology” gazdag irodalmával) e könyvből szándékosan kimaradt, nehogy elriasztást, és elutasítást eredményezzen. E sötét jövőkép megoldásért kiált. A megoldás azonban késik, mert szakterületekre lebontva nem tűnik annyira nehezen kezelhetőnek. Részproblémák részproblémái megoldhatók. A pokolhoz vezető út is megoldható részproblémákkal van kikövezeve.

Nézzünk hát kissé jobban körül. Merre is haladunk? Ne csak a GDP-t figyeljük globalizált világunkban, mert a GDP a sebességet, és nem az irányt méri.

E könyv szövegének írásában a figyelemfelhívás, az összefüggések láttatása, a közérthetőség és a viszonylagos rövideg (kinek van manapság ideje és türelme hosszabbra) elsődleges szempontok voltak. Az Olvasó dönti majd el, hogy ez mennyire sikerült.

Budapest, 2012. május 22.

*A szerző*

# A bioszféra kialakulása és „fenntartható fejlődése”

## *Prológus*

Felhőtlen éjszakán, távol a mesterséges fényektől, az égboltra tekintve a számunkra végtelen világ milliónyi csillagát láthatjuk. E fényévekben mérhető távolságra lévő égitestek egyik közepszerű tagja a mi Napunk, amely körül kering bolygónk a Föld, melynek mérete jelentéktelennek mondható a Naphoz viszonyítva. E bolygón azonban rendkívüli jelenségek vannak. Felszínének néhány kilométeres vékonyka héját sokmillió féle élőlény népesíti be. Ennek a „bioszférának” egyik faja, a Homo sapiens, a mi fajunk. Képességeink a bioszféra többi fajához képest kimagaslóak. Ezáltal növelhettük egyre nagyobbra hatalmunkat és befolyásunkat a bioszférában. A sikertől megrészegülve szinte a világ urának képzeljük magunkat.

A csillagos ég látványa azonban gondolkodásra, s innen mérsékletre, sőt aláztatra készítő. Házunk tájának tüzetesebb vizsgálatából pedig az is kiderül, hogy még e jelentéktelen porszemnyi Földön sem tudjuk eddigi tudásunkat tartós fennmaradásunk irányában hasznosítani.

A jövő kérdéseinek megoldása a múlt ismeretén alapszik. A tudomány ehhez folyamatosan adja a muníciót. Csak győzzük befogadni és feldolgozni, s a tanulságokat tevékenységeinkbe is átvinni. Honnan jöttünk, hol vagyunk, merre is tartunk? Lássuk először nagy vonalakban és kozmikus léptékben az eredet kérdését.

## *A „Nagy Bumm”-tól a Földig*

Az égitestek egymástól való távolodásának sebességéből és a kozmikus háttérsugárzásból arra következtethetünk, hogy mintegy 13,5 – 14 milliárd évvel ezelőtt egyetlen pontból kiinduló óriási robbanással (Big Bang azaz Nagy Bumm) indult el a Világegyetem fejlődése. Ennek során alakultak ki a szubatomi részecskékből a periódusos rendszer egyszerűbb elemei (főleg H és He), s ezek csoportosulásaiból az égitestek (csillagok), s a belőlük szerveződő tejútrendszerek (galaxisok). Bizonyos méretű csillagok fejlődése az úgynevezett szupernóva robbanáshoz vezetett, melynek során a periódusos rendszer további, a vasnál (Fe) nehezebb elemei is létrejöhetnek. A mi naprendszerünk is egy ilyen robbanástól „szennyezett” csillagközi gáz és porfelhőből (nap-köd, szoláris nebula) vette kezdetét.

Ez a köd 4,6 milliárd éve csomósodásnak indult. A csomók gravitációs ereje tömegük növekedésével együtt nőtt, pozitív (gerjesztő) visszacsatolásban gyorsítva a folyamatot. A köd egésze lassan forgott, majd a fokozatosan felgyorsult, ahogy a több fényév átmérőjű ködtömeg zsugorodni kezdett. A pörgő ködtömeg a gravitáció és a centrifugális erő együtthatásával egy ellaposodó koronggá szerveződött, melynek átmérője már „csupán” 0,003 fényév (a mai Nap-Föld távolság kétszázszorosa) lehetett. A korong tömegének legnagyobb része (99,8%) a forgási középpont körül tömörült. Itt a gravitá-

ciós energiából felszabaduló hő következtében a hőmérséklet elérte a 10 millió fokot. Ilyen körülmények között az atomok már oly erővel ütköznek egymáshoz, hogy nukleáris reakció (fúzió) indult be közöttük. Így született meg az azóta is sugárzó Napunk.

Kezdeti csillagunkat, a Napot egy belőle kimaradt vékony korong vette körül, amelyből később Naprendszerünk többi tagja jött létre, a bolygók, holdak, aszteroidák és üstökösök. A vékony korong eleinte nagyjából egyforma összetételű volt. 98%-át hidrogén és hélium alkotta. Az összes többi elem csupán 2%-nyi lehetett. A korong hőmérséklete azonban nagyon eltérő volt. Míg a belső zónában több ezer fokos, a peremén a fagyponthoz (173 K) alatti 100 K lehetett. E hőmérséklet szabta meg az anyagok kondenzálódásának különbözőségét, s ezzel a belőlük születő bolygók összetételét. A fémek és a szilíciumos ásványok anyagai a belső, melegebb régióban is megszilárdulhattak, míg a „jeges” hidrogénvegyületek (metán, ammónia, víz) csak a külső zónában. A korong 98%-át kitevő elemi hidrogén és hélium nem kondenzálódott.

A belső, melegebb korongrészből alakultak fokozatosan ki a földtípusú bolygók, a Naptól távolodó sorrendben: Merkúr, Vénusz, Föld és Mars. Mivel az anyagaikat alkotó nehezebb elemek a köd összetételében csak 0,6%-ot tettek ki, nem nőhettek olyan tömegűvé, mint a külső, Jupiter típusú bolygók. Gravitációs vonzásuk kevésnek bizonyult a köd leggyakoribb alkotó gázainak (hidrogén, hélium) légköri megtartásához.

Rengeteg további izgalmas felfedezésről lehetne beszámolni a Jupiter típusú bolygókról, azok holdjairól, vagy az üstökösökről, melyek időnként a belsőbb régiókba is ellátogatnak. Földünk vonatkozásában ez utóbbiakról csak annyit jegyezzünk meg, hogy a Mars és Jupiter keringési zónája között elhelyezkedő Kuiper öv óriási „piszkos hólabdához” hasonlítható képződményei bizonyára szerepet játszottak Földünk hosszú történetében. Ezekből valószínűleg több alkalommal csapódhatott be bolygónkra egy-egy darab, méretüktől függően kisebb-nagyobb katasztrófát okozva az élővilágban. Egyes feltételezések szerint e becsapódások zöme 26 millió éves ciklusban következett be.

A Naprendszerünket alkotó köd tömörülése, majd a vékony korongból hasonlóan kialakuló bolygók viszonylag gyors eseményt jelentettek. „Csupán” 50 – 100 millió évre volt szükség az azóta eltelt 4500 millióból. Az egyre fényesebben ragyogó Nap „napszele” és a kialakult bolygók gravitációs vonzása „kipucolta” a köd maradványait a bolygók közötti térből, s a még „csellengő” meteorok is egyre ritkábban kerültek bolygónkra.

### *Az élettelen Föld*

Figyelmünket most már csak Földünkre fordítva megállapíthatjuk, hogy mintegy 4,5 milliárd éve létezik bolygónk. Keletkezési történetének egyik utolsó legdrámaiabb eseménye az lehetett, amikor egy Mars méretű bolygókezdeménnyel ütközött össze. Ekkor szakadhatott ki Földünk tömegéből a Hold is, amint erre a holdközvetek vizsgálata is utal. Az első százmillió évek heves becsapódásai a radioaktív elemek hőtermelésével együtt megolvastották a bolygó egész vagy jelentős tömegét. Az olvadékban az agyagok fajsúly szerint rétegződve kialakították a belső nehéz magot, a könnyebb köpenyt, míg a legkönnyebb réteg képezte a fokozatos hűléssel megszilárduló kérget. A Föld tömörülése és megolvadása során a gáznemű anyagok kipurcolva létrehozták



a légkört. Ennek összetételében igen sokféle gáz lehetett, de valószínűleg dominált benne a nitrogén, szén-dioxid és a vízgőz.

A nagyobb becsapódások ritkulásával Földünk felszíni hőmérséklete fokozatosan csökkent. Mintegy 4,0 milliárd évvel ezelőtt az ősi légkör forró gőzéből kicsapódott a cseppfolyós víz, s ezzel megszületett az első óceán.

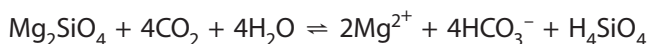
A Napunkhoz hasonló méretű csillagok „életútjának” első szakasza az asztrofizikusok kutatásai alapján egyértelműen egyre fokozódó sugárzással jellemezhető. Ennek megfelelően úgy vélik, hogy a mi Napunk a maihoz képest ekkor még 25-30%-kal gyengébb lehetett, így felvetődik a kérdés: miért nem fagyott meg e vizes Föld egy jéggolyóvá, vagy mára miért nem melegedett fel egy Vénuszhoz hasonlítható állapottá a Nap tovább erősödő sugárzásával? E kérdés vizsgálatával kapjuk az első fontos üzenetet múltunkból a jelenre és jövőnkre vonatkozóan.

Bolygónk egy hatalmas termosztátként a légkör összetételének változtatásával tudta fenntartani a cseppfolyós víz állapotát. A lehetőség kulcsa az úgynevezett üvegházhatás. A találó elnevezés a 18-19. századi francia matematikus-fizikus Joseph Fouriertől ered, utalva a jól ismert üvegházi jelenségre, amikor a tűző napon a hősugarakat visszatartó üveg miatt jóval a külső fölé emelkedik a belső hőmérséklet. John Tyndall brit fizikus 1859-ben a légköri gázok ilyen hatását elemezve a következőket írta: „Az atmoszféra beengedi a napmeleget, de korlátozza annak távozását, melynek hatására a bolygó felszínén halmozódhat a hő.”

A levegő üvegházhatású összetevői közül legjelentősebb a víz, a szén-dioxid, a metán és az ózon. A jelenlegi atmoszférában üvegház-hatásukat tekintve a vízgőz és a felhőzet 66-85%-ban, a szén-dioxid 9-26%-ban, a metán 4-9%-ban, az ózon 3-7%-ban tehető felelőssé.

A négy milliárd évvel ezelőtti Föld légköre egészen más volt. Az elemi oxigén (O<sub>2</sub>) gyakorlatilag hiányzott, a szén-dioxid viszont valószínűleg a mainak ezer-tízezerszeres mennyiségében volt jelen. Ezért lehetett a mainál is jóval melegebb bolygónk felszíne a mainál gyengébben sugárzó Napunk ellenére. Az üvegház hatású szén-dioxid fokozatos légköri csökkentése tette lehetővé a Földre érkező növekvő napenergia kompenzálását. E szén-dioxid csökkentési folyamat során a szilikátos kőzetek mállása, karbonátosodása történik.

A szilikátos ásványok még ma is kb. 90%-ban alkotják a Föld felszínének kőzeteit. Roppant változatosak, de közös jellemzőjük, hogy kémiai összetételükben szilícium, oxigén és fémes atomok szerepelnek igen változatos arányban. Ezek egyik legegyszerűbb változatának, az olivinnek (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) mállási folyamatát az alábbi egyenlet szemlélteti:



azaz az olivin az esővízben oldott szén-dioxiddal magnézium-hidrokarbonáttá és kóvasavvá alakul. Ehhez hasonló folyamatokkal a légköri szén-dioxid mennyisége, s ezzel az üvegház-hatás a geológiai időskálán gyorsan csökkent. Fontos körülmény, hogy a mállás sebessége a hőmérséklettel egyenesen arányos, s ez adta a termosztáthoz hasonló

negatív visszacsatolás lehetőségét. Az üvegház-hatás mérséklésével lecsökkenő hőmérsékleten a szén-dioxidot fogyasztó mállás is lefékeződik, így nem hűl túlságosan le a felszín. A vulkáni tevékenységgel pedig a szén-dioxid részben vissza is pótlódhat a légkörbe. Ilyen kedvezően előkészített környezetben alakult ki a földi élet.

### *A bioszféra Föld*

Az élet első megjelenésének idejéről ma is sok vita folyik. Van, aki csaknem a cseppfolyós víz megjelenésével véli egyidejűnek (4 milliárd éve), míg az óvatosabb kutatók csupán a 3,3–3,5 milliárd éves életrajzokat fogadják el. Még a konzervatív becsléssel is feltűnően hamar találkozunk vele, hiszen a szabad szemmel is látható soksejtű élőlények kifejlődéséig még legalább további 2 milliárd évre volt szükség. Ezért aztán néhányan hajlamosak az élet keletkezését valamely más égitestre helyezni, ahonnan a feltételezés szerint már kész baktériumszerű sejtes lények érkezhettek a Földre (pánspermia elmélet). Bár ennek lehetőségét nem lehet teljesen kizárni, elég nehéz elképzelni más égitestek viszonyaihoz adaptálódott élőlény életben maradását a Földön, a hosszú utazásról és az ideérkezés csekély valószínűségéről nem is beszélve. Ugyanakkor be kell látnunk, hogy a földi élet kifejlődéséhez csak viszonylagosan rövid ez az idő. Ha a szerves vegyületektől az első baktériumszerű lény kifejlődéséig a 3,8–3,5 milliárd évig tartó időszakot tételezzük fel, ez a 300 millió év több mint amennyi idő ahhoz kellett, hogy a dinoszauruszok alatt futkosó emlős-hüllő átmenetektől a mai emlősállatok, köztük az ember is kialakuljon. Ezért a kérdést úgy is feltehetnénk, hogy miért volt olyan *lassú* az első sejt megjelenése után az evolúciós folyamat? Ennek megválaszolásához viszont már nem csupán az élők szerkezetének, működésének ismerete szükséges, hanem az élők és élettelen környezetük komplex rendszerének megértése is, vagyis a bioszféraé.

Az élet kialakulásának mikéntjéről John Maynard Smith és Szathmáry Eörs (1997, 2000) magyar nyelven is megjelent könyvei kellő tájékoztatást adnak az érdeklődő olvasóknak (*Az evolúció nagy lépései; A földi élet regénye*). Nyilvánvaló, hogy még rengeteg a megoldatlan kérdés, s könnyen lehet, hogy sohasem fogjuk megtudni azt, hogy ténylegesen hogyan is történt az élet keletkezése. Fontos viszont tudni, hogy a már ismert természeti törvényeknek nem ellentmondó, de kis valószínűségű eseményekkel máris vannak elképzelhető hipotézisek. Bárhogyan is volt, baktériumszerű élőlények maradványai mutathatók ki a 3-3,5 milliárd évvel ezelőtti kőzetekben, melyek annak idején a további 1–1,5 milliárd év alatt radikális környezeti átalakulásokat eredményeztek.

Minden élőlény energiát igényel komplex, egyensúlytól távoli állapotának fenntartásához. A földi élet kialakulásának idején többféle lehetséges energiaforrással számolhatunk. J.B.S. Haldane nyomán a kutatók egy része úgy gondolja, hogy az „ősleves” szerves molekulái az akkori intenzív UV sugárzással keletkezettek (ózonpajzs még nem volt), s ezek fermentálása adhatta ez első élők közvetlen energiaforrását. Újabban egyre többen kérdőjelezik meg ezt az elképzelést az un. LUCA (Last Universal Common Ancestor = utolsó, univerzális közös ős) keresése kapcsán (Lane et al. 2009). A ma is tanulmányozható óceánfenéki „füstölő kémények” hidrotermális áramlatainak (Bujtor

2010) miniatűr méhkaptárhoz hasonlítható struktúráiban ugyanis olyan kémiai gradiensek képződnek, mint a mai élőlények sejtjeiben a membránok proton-grádiense, mely az élők legfontosabb energiaszállítójának, az ATP-nek szintézisét működteti (Lane et al. 2009).

Az első élőlények kinézetéről és életmódjáról (anyagcseréjéről) csak sejtéseink vannak. A mai szervezetek közül csak az ősbaktériumokhoz (Archaea) lehetne őket hasonlítani. E csoport tagjait először extrém élőhelyeken (magas hőmérséklet, nagy nyomás, sóstavak) találták, de mint később kiderült szinte mindenütt jelen vannak sós- és édesvizekben, talajokban egyaránt. Egyesek szerint össztömegük a földi biomassza 20%-át is kiteheti (DeLong és Pace 2001)! Érdekes megjegyezni, hogy e baktériumok között találjuk azt a még rendszertanilag tisztázatlan rangú csoportot, melynek tagjai jelenleg a legegyszerűbb és legkisebb méretű nem parazita élőlények. Sejtméretük 0,009 és 0,04 mikron közötti. A sejtenkénti riboszómáik száma – mely egy *E. coli* esetében tízezres nagyságrendű – csupán átlag 92 (Commolli et al. 2009).

Egy másik vonal (Eubacteria) egyik ágán, a mai cianobaktériumok roppant fontos „felfedezést tettek”, s ezzel megalapozták a földi élet hosszabb távú (máig tartó) fennmaradását. Megtanulták életfolyamataik fenntartásához a napenergiát hasznosítani. Ez a fotoszintézisnek nevezett folyamat teszi lehetővé (kevés kivételtől eltekintve) közvetve vagy közvetlenül az összes földi élőlény, köztük az emberi faj fennmaradását is. E folyamatban alakul át a napfény energiája kémiai energiává.

A fotoszintézis változatos primitív formái után (melyek közül több máig is fennmaradt) uralkodóvá vált a mai cianobaktériumokra, algákra és a magasabb rendű növényekre jellemző oxigéntermelő fotoszintézis. Az ilyen fotoszintetizáló élőlényeknek a fény mellett a bőven rendelkezésre álló vízre és szén-dioxidra volt szükségük. A folyamatban keletkező oxigén azonban kezdetben sok problémát okozhatott.

Földünkön az első 1,5-2 milliárd évben az oxigén csak vegyületekben fordult elő (mint például a víz és a szén-dioxid), s ilyen (nem oxidáló) környezethez alkalmazkodva jöttek létre az első élőlények. Számukra a szabad oxigén méreg volt. Egyes kutatók szerint ez az „oxigén-katasztrófa” okozhatta az élővilág eddig legnagyobb mértékű globális pusztulását. A cianobaktériumok, s később másféle szervezetek is, változatos módon alkalmazkodni tudtak az oxigénes környezethez a több százmillió éves időszak során, mi több, megtanulták hasznosítani anyagcseréjük felgyorsítására az oxidációban rejlő jelentős energiát (légzés). Ennek biokémiai folyamatai alapozták meg a későbbi soksejtű növényi és állati szervezet evolúciós kialakulásának lehetőségét.

A fotoszintetizáló szervezetek által termelt oxigén néhány százmillió évig oxidálta élettelen környezetét, azaz a szabad oxigén csak átmenetileg létezett. Egy idő után (úgy 2 – 2,3 milliárd évvel ezelőtt) azonban már halmozódni kezdett, előbb az óceánban majd a légkörben is. A szabad oxigén folyamatos keletkezése néhány elem (pl. vas: ferro-, ferri-) vegyületeinek arányváltozásaival a geológiai rétegekben is nyomon követhető. Ennél még fontosabb volt a légkör metántalanítása. (A metán, mint később látni fogjuk ma is fontos üvegház-hatású összetevője az ember által módosított légkörnek, de viszonylag hamar oxidálódik vízzé és szén-dioxiddá.) Feltételezések szerint jelentős lehetett az oxigén mentes légkör metán tartalma, s mivel e gáz mintegy húszszor haté-

könnyebben nyeli el az infravörös sugarakat, mint a szén-dioxid, eltűnése az atmoszféra üvegház-hatását jelentősen csökkenthette. Az ennek hatására bekövetkező lehűlés oly mértékű lehetett, hogy egy úgynevezett hólabda Föld állapot jött létre mintegy 2,3 milliárd évvel ezelőtt (Huron eljegesedés). E folyamatban a fényvisszaverő hó- és jégfelszín pozitív visszacsatolással erősítette a változást.

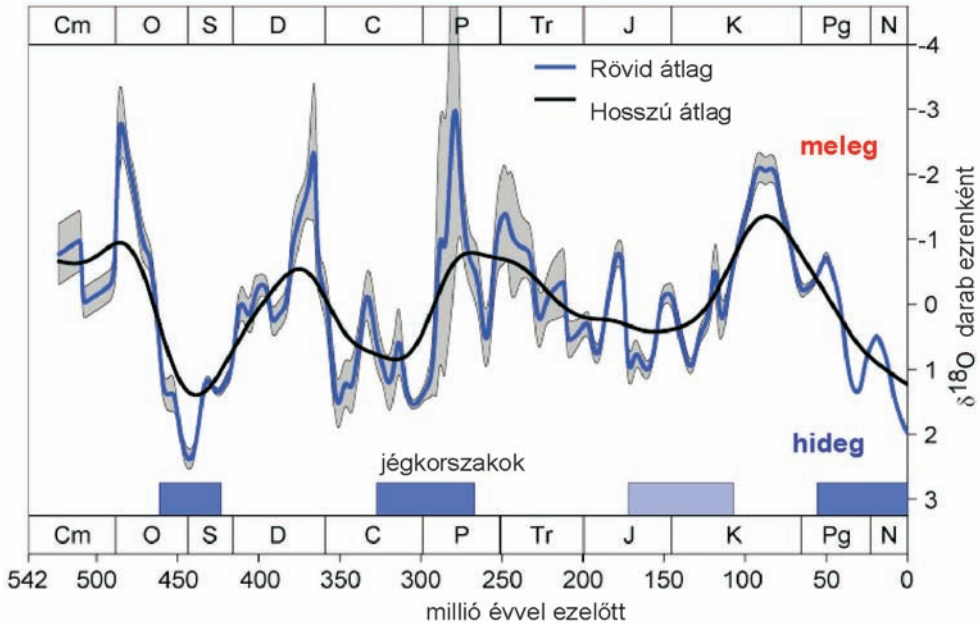
A hólabda Föld állapotot valahogy túl kellett élnie a fényt igénylő fotoszintetizáló szervezeteknek a vízfelszín közelében. A hóval és jéggel borított szárazföldön leállt a szén-dioxidot csökkentő mállási folyamat, s a lemeztektonikai mozgásokkal aktivizálódó vulkánok addig növelték a légköri szén-dioxid szintet, míg a hólabda el nem olvadt. (Ez a ciklus később még két alkalommal megismétlődött a 750-635 millió évvel ezelőtti időben.)

Ha módunkban lenne valamilyen időutazással látogatást tenni bolygónk történetének nagyobbik részét (90%) kitevő első 4 milliárd évre, meglepődve tapasztalnánk, hogy nem látunk élőlényeket, bár hatásuk a második kétmilliárd évtől kezdve már egyértelműen észlelhető (oxigénes légkör). Az élet csupán mikroszkópos méretekben létezett. A tengerek mélyén azonban mintegy 1 – 0,6 milliárd éve már jelentős fejlődés indult el. Mi több, a légkörben még mindig növekvő oxigén koncentráció a napfény hatására ózon ( $O_3$ ) keletkezéséhez vezetett, létrehozva a szárazföldi élet számára nélkülözhetetlen ózonpajzsot. Ez szűri ki a napsugárzásból a minden előre jellemző örökítő anyagunkat (DNS) tönkretévő ultraibolya sugarakat. Az ózonpajzs nélküli korábbi időszakban a víz töltötte be ezt a szerepet. Egy 8-10 méteres vízoszlop alatt volt csak biztonságos az élet.

Az ózonpajzs kialakulása és a fotoszintézis egymást erősítő pozitív visszacsatolásban hatott. Az ultraibolya sugarak kiszűrésével a vízfelszín is élhetővé vált az élők számára, ahol a több fény intenzívebb fotoszintézist, s ezáltal még több oxigént eredményezett, ez pedig további ózonképződéshez, még erősebb pajzshoz vezetett. Fokozatosan megteremtődött az egyik alapvető feltétel a szárazföldi élethez.

Földünk történetének maradék 10%-ában (450 millió évtől napjainkig) felgyorsultak az események. Benépesültek a szárazföldek az egyre bonyolultabb és változatosabb élőlényközösségekkel. A már magasabb rendű szárazföldi növényekkel is működő intenzív fotoszintézis tovább növelte a légkör oxigéntartalmát és ezzel párhuzamosan csökkentette a széndioxid-koncentrációt.

Érdemes itt egy pillanatra megállni. Hová is lesz a fotoszintézisben megkötött szén? A növényi és innen az állati szerves vegyületekbe. És innen? Többnyire ezek lebomlásával vissza a légkörbe, mint  $CO_2$ . Vagyis a biológiai körforgásból ki kell zárni a szenet, ha csökkenteni akarjuk vele a levegő szén-dioxid koncentrációját. Ilyen kizárás lehet az elpusztult élőlények szerves vegyületeinek oxigénmentes környezetbe kerülése a tengerfenéken vagy a szárazföld mocsaras területein. Sok-sok millió éven át halmozódva, összepréslődve, átalakulva lett belőlük a számunkra annyira fontos fosszilis energiaforrás készlet, a szén, a kőolaj és a földgáz. Ez az elraktározott napenergia hozzájárult a légkör magasabb oxigén- és alacsonyabb szén-dioxid koncentrációjához, s ezáltal az üvegház hatás mérsékléséhez az erősödő Nap hatásának kompenzálására.



**1. ábra: Az utolsó félmilliárd évet felölelő időszak hőmérséklete a jelenlegi oxigénizotóp aránytól való eltérés alapján**

Kevesebb (negatív eltérés)  $^{18}\text{O}$  melegebb, míg a több a hidegebb klímára utal. Egy egységnyi távolság a függőleges tengelyen megfelel mintegy 1,5 – 2,0 C fokos különbségnek. Az időskála betűjelei a földtörténeti korok neveire utalnak. ([http://en.wikipedia.org/wiki/File:Phanerozoic\\_Climate\\_Change.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Phanerozoic_Climate_Change.png) nyomán)

Földünk hosszú történetének hőmérsékleti viszonyairól a paleoklimatológiai kutatások alapján vannak elképzeléseink. Geológiai nyomok árulkodnak a víz vagy a jég jelenlétéről. Az óceánok vizének hőmérsékletére pedig meglepően pontos következtetéseket lehet levonni az oxigén kétféle stabil izotópjának, a gyakori  $^{16}\text{O}$  és a jóval ritkább  $^{18}\text{O}$  arányából. Kísérletes vizsgálatokból tudjuk, hogy e két izotóp eltérő tömegük következtében az őket tartalmazó vízmolekula viselkedését is befolyásolja. A  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  vízmolekula elpárologtatása több energiát igényel, mint a  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  molekuláé. Gőzből kondenzálódva pedig több energia szabadul fel belőle, így könnyebben vált át a folyékony fázisba. A 18-as oxigént tartalmazó vízmolekula alacsony hőmérsékleten alig tud elpárologni a 16-oséhoz képest, viszont a légkörből könnyebben csapódik ki, így a tengervíz izotóp aránya ilyenkor a 18-as felé tolódik el. A vízben élő mészvázsal ( $\text{CaCO}_3$ ) rendelkező élőlények – megfelelő korrekciókkal – a víz oxigénizotóp változását követik, s ezek maradványai alapján nyerhetünk információt az akkori hőmérsékletekről (1. ábra).

A felgyorsuló biológiai evolúcióban az utolsó 200 millió évben megjelentek az emlősállatok, melyeknek egyik, talán csak 5 millió évvel ezelőtt különvált leszármazási ágán, kevesebb, mint félmillió éve megjelent egy roppant sikeres faj, az értelmes ember. E faj kollektív képességeinek kibontakoztatásával egyre jelentősebb tényezője lett a nagy földi rendszernek.

## *Figyelemre méltó események az utolsó 65 millió évben*

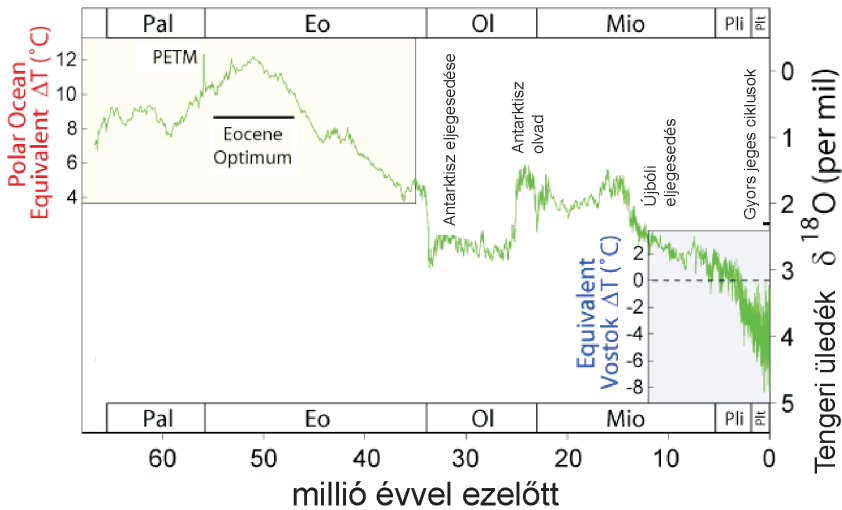
Ahogy közelítünk a jelen felé a Föld történetének milliárd éves időskáláján, úgy gyorsul tudásunk is az események soráról. Amint azt már korábban is láthattuk, a múlt a ma emberének is fontos üzeneteket hordoz a „fenntartható fejlődésről”, a fajok keletkezéséről, felvirágzásáról és eltűnéséről, vagy akár a klímaváltozásról. Érdemes tehát kissé közelebbről megismerni a Föld történetének alig több, mint 1%-át kitevő utolsó 65 millió évével.

A 65 millió évvel ezelőtti nagy aszteroid becsapódással lezáródott a dinoszauruszokról ismert földtörténeti középkor (Mezozoikum). Az ezt követő időszak a Harmadkor (Tercier). Ennek első szakasza a Paleocén, ami az őslénytan kutatóinak nem különösebben kedvelt időszaka. A Kréta végi nagy kipusztulás után elszegényedett biota ugyanis eléggé lassan regenerálódott. A katasztrófát túlélő fajok hamar elszaporodtak ugyan, de a korábbi változatossági (biodiverzitási) szintet csak tízmillió év elteltével hozta vissza az evolúció. (Fontos figyelmeztetés napjaink ijesztő mértékű fajkipusztulásának hosszú távú következményéről!) Elképzelhető, hogy ez az elszegényedett élővilág hozzájárulhatott a csökkenő klímastabilitáshoz, mivel mai adatokból tudjuk, hogy az ökológiai rendszerek ellenálló képessége, rugalmassága, mint később látni fogjuk, függ a biodiverzitástól.

A Paleocén végén, kb. 56 millió évvel ezelőtt aztán valami rendkívüli dolog történt. A mai mércével mérve akkor is magas globális hőmérséklet igen gyorsan mintegy 6 C fokot emelkedett, számos tengeri és szárazföldi faj kipusztulását eredményezve. Az óceánok fenekén jelentős karbonát-kicsapódás történt a felmelegedett tengervízből, és nagymértékben lecsökkent a  $^{13}\text{C}$  izotóp aránya. A gyors változás természetesen csak geológiai mércével értendő, s mintegy húszezer évet jelenthetett. A rendkívüli meleg 120-200 ezer évig tartott. Csaknem ugyanilyen gyorsan azután visszaesett a hőmérséklet, s ezzel egy újabb földtörténeti kor, az Eocén vette kezdetét (2. ábra).

Korábban számos elmélet kísérelte meg értelmezni e gyors változást, de egyik sem tudott kellő magyarázatot adni a 6 fokos melegedésre. Furcsa módon azután éppen a fosszilis energiaforrások kutatása során bukkantak rá a valószínű kulcs-szereplőre a metán-hidrátra. A metán az óceán kontinens-közeli részein tevékenykedő, szerves anyag lebontó baktériumok terméke, ami alacsony hőmérsékleten és nagyobb nyomáson vízmolekulákkal kapcsolódva szilárd, jégszerű anyaggá, a metán-hidráttá (klatráttá) áll össze. Ez az anyag az évmilliók során halmozódik, s nyomás-csökkenés vagy hőmérséklet-emelkedés hatására metán gázként tör a felszínre. A metán viszonylag rövid életű az oxigénes légkörben, de igen erős üvegház-hatású gáz. Egy ilyen tömeges metán-felszabadulás okozhatta az 56 millió évvel ezelőtti klíma katasztrófát. Mivel az oxidáló légkörben a metán csak átmenetileg létezhet, érthető a geológiai időskálán igen rövid hatása. Hasonló esemény mai bekövetkezésének lehetőségét nem lehet kizárni. (Újabb figyelmeztetés a múltból!)

Az Eocén kezdetén, a PETM (Paleocén – Eocén Temperatura Maximum) elmúltával fokozatosan ismét emelkedett a globális hőmérséklet. A légkör szén-dioxid szintje a maihoz képest igen magas volt (c.1000ppm), feltehetően az ekkor igen erős lemez-



**2. ábra: A legutóbbi 65 millió év klimatikus eseményei oxigén izotóp arány-változások alapján**

A Paleocén(Pal) – Eocén(Eo) határon (56 millió évvel ezelőtt) a PETM (Paleocén Eocén Temperatura Maximum) jelzés utal a rendkívül gyors és jelentős hőmérséklet emelkedésre. ([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/65\\_Myr\\_Climat\\_Change.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/65_Myr_Climat_Change.png) nyomán)

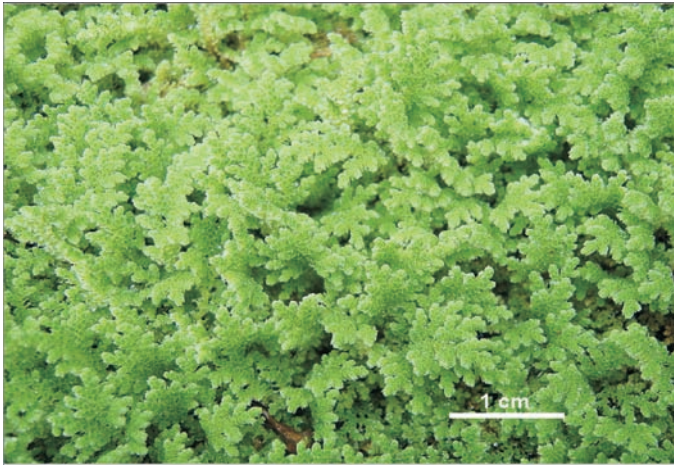
tektonikai (szubdukciós) mozgások következtében (Hansen és Sato 2011). Nagyobb jég-takaró ekkor már sehol sem volt bolygónkon, s még Grönlandon is szubtrópusi klíma nyomait találták pálmákkal. 49 millió évvel ezelőttől azután egy hosszú lehülési folyamat indult meg csaknem húszmillió éven át, ami végül az Antarktis eljegesedéséhez vezetett. Mitől állt le a felmelegedés, és mivel magyarázható ez az erőteljes lehülés?

A klíma az igen bonyolult nagy földi rendszer működésének egyik mutatója. Meghatározásában a bolygónkra érkező napenergia mennyisége mellett számos tényező működik közre, melyek közül az üvegház hatású gázok az egyik fontos, de korántsem az egyetlen tényező. E gázok mennyiségének változása ismét rengeteg tényezőtől függhet. Ennek egyik esetét láttuk imént a metán-hidrát kapcsán.

Az olajkutató fúrások az Eocén kori lehülés megértéséhez is egy újabb érdekes eredménnyel szolgáltak. A lehülési időszakból származó geológiai rétegek az arktikus területeken egy aprócska növény tömeges maradványaival jellemezhetőek. Ez a növény egy Azolla nevű, leszármazottaiban ma is élő, mohához hasonlító viziharaszt (3. ábra).

Az Azolla nemzetség ma élő fajai tengerben nem, csak édesvízben élnek főleg trópusi területeken. Gyakori kísérői az elárasztott rizsföldeknek. A rizstermesztő ember régóta észrevette, hogy más gyomokkal ellentétben az Azolla növeli a rizshozamot. Ennek oka az, hogy e víz felszínén úszó növényke egy nitrogénkötő cianobaktériumot (Nostoc) „tenyészt” hajtásainak erre a célra kialakított üregeiben. Az ammóniaként megkötött légköri nitrogénből jut az Azollának és a rizsnek is.

Felvetődik a kérdés: hogyan élhetett az északi-sarki sós tengerben ez a növény, és mi köze lehet ennek a hosszú lehülési folyamathoz? A választ meglepő módon a kontinensek mozgását leíró lemez tektonika és az akkori klíma ismeretei adták meg.



**3. ábra: A víz felszínét teljesen beborító ma élő *Azolla filiculoides***

Forrás:[http://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Azolla\\_filiculoides\\_MUN.jpg](http://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Azolla_filiculoides_MUN.jpg)

Ebben az időszakban Európa és Észak-Amerika kontinensei délről észak felé fokozatosan távolodtak egymástól, s ezzel létrehozták az Atlanti Óceánt. Északon azonban a két kontinens Grönlandon keresztül még egybefüggött. Ázsia és Észak-Amerika a mai Bering szoros helyén szintén összeért, így az Északi-sarkon és környékén egy szárazföldekkel körülölelt beltenger volt (4. ábra), olyasmi, mint a jelenlegi Fekete-tenger.

A forró klímában megnövekedett csapadék az észak felé tartó bővizű folyókkal érte el e beltengert. Itt a zártságból következő áramlás-hiány akadályozta az édes- és sós-víz keveredését, így a fajsúlykülönbség alapján a tenger felső vízrétege kiédesedett. E hatalmas (kb. 4 millió km<sup>2</sup>) édesvíz-felszín tette lehetővé az *Azolla* tömeges elszaporodását, mivel más növényfajokkal szemben számára nem volt korlátozó tényező a nitrogénforrás. A többi ásványi tápanyag bőven érkezett a folyóvizekkel. A mélyebb sós tengerfenékre leülepedő *Azolla* maradványok lebomlása elhasználta az áramlásmentes víz oxigéntartalmát, így a folyamatosan érkező elhalt növényi anyag az idők (több millió év!) alatt jelentős kőolaj és földgáz készletté transzformálódott. Ezzel együtt természetesen folyamatosan csökkent a légkör szén-dioxid tartalma, mivel a növényi test szénvegyületei a szén-dioxid szénatomjának fotoszintetikus beépítéséből származtak. Ez vezethetett az üvegház hatás csökkenésén keresztül a bolygó fokozatos lehűléséhez, s tette lehetővé más tényezőkkel kiegészülve a jóval későbbi jégkorszakok kialakulását is (Brinkhuis at al. 2006).

E növényke teljesítménye csodálatos. Valószínűleg egyetlen fajként egyedül képes volt megváltoztatni az egész bolygó állapotát. Akárcsak a jelenben egy másik faj, a *Homo sapiens* teszi ezt. Persze ehhez kivételes, rendkívüli lehetőségek szerencsés találkozására volt szükség. Az *Azolla* rendkívüli képessége (nitrogénfixáló szimbiózis, a vízfelszín gyorsan beborító, úszó, elhalva lesüllyedő test) és a rendkívüli környezet (édesvíz réteg létrejött a kontinensekkel bezáródó, áramlásoktól mentes északi-sarki beltenger kialakulása anoxikus tengerfenékekkel) szerencsésen találkozott.





**4. ábra: Az Északi-sark tengerének Eocén kori bezáródása** (Brinkhuis et al. 2006)

A csillaggal jelölt pontok mintavételi fúrások.

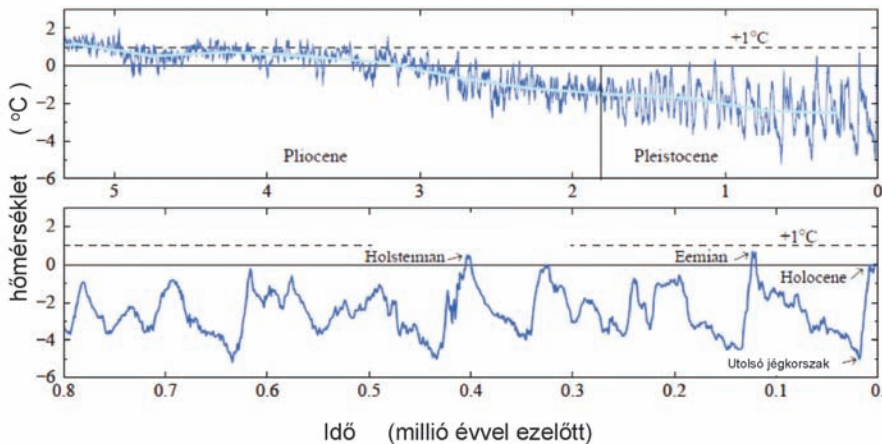
A Homo sapiens közismerten még inkább rendkívüli képességeinek kibontakoztatásához ugyancsak szükség volt rendkívüli körülményekre, ezek között különösen az elraktározott napenergia (szén, kőolaj, földgáz) létre.

A két szóban forgó faj globális átalakító tevékenységeiben persze lényeges különbségek is vannak. Az Azolla tevékenykedése évmilliókra széthúzza a többi faj egyedeinek életében szinte észrevétlen változásokat eredményezett, így a bioszféra egésze evolúciósan alkalmazkodhatott a lassan változó klímához. Az ember mindezt ezerszer-tízesezer gyorsabban teszi, kipusztulási hullámot generálva az élővilágban.

Egy további Azolla – Homo tevékenységi párhuzam a faj saját létezési feltételeinek romlásában húzható meg. A meleget igénylő Azolla a globális lehűlést okozó tevékenységével elvesztette kiterjedt északi-sarki élőhelyét. Ezt ma jég borítja. Szerencséjére, a délebbi területek több nagyságrenddel kisebb édesvíz foltjain – jóval szerényebb körülmények között (s a rizsföldeken nitrogén fixálóként „megdolgozva” az élőhelyért) – máig is fennmaradhatott.

És a másik rendkívüli képességű faj? Erre a kérdésre majd csak a jövő adja meg a választ.

De közelítsünk tovább a Paleocén – Eocén – Oligocén – Miocén – Pliocén sorozat következő fontos korszakához, a Pleisztocénhez (Jégkorszak). Mint ez a 2. ábrán látható a hőmérséklet fokozatos csökkenése mellett a Pleisztocénben a Föld klímája szinte begerjedni látszik. A nagyobb felbontású 5. ábra grafikonján látható, hogy ebben az 5-6 C fokot kitevő lüktetésben, azaz az eljegesedett glaciális, majd melegebb interglaciális



**5. ábra: Az óceánfenék furatok oxigén izotópjainak arányváltozásaiból számított hőmérséklet az utolsó 5 millió évben**

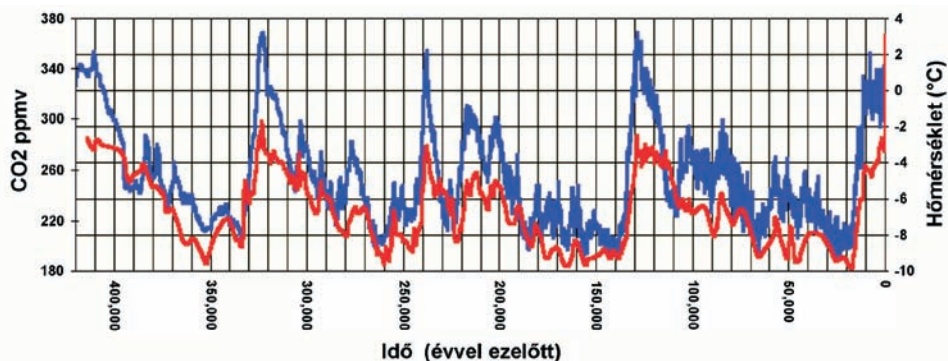
A hőmérsékleti skála 0 értéke az iparosítás előtti jelenkori (Holocén) maximumot, a szaggatott vonal a mai értéket jelöli. Az alsó grafikonon a legutóbbi 800 ezer év felnagyítása látható (Hansen és Sato 2011).

időszakok váltakozásában szabályszerűség ismerhető fel. Ilyen léptékű szabályszerű ismétlődés az égitestek mozgásában ismert.

Ez a periodicitás tűnt fel a kiváló képességű horvát-szerb matematikus-csillagász Milutin Milankovicnak is, aki az első világháború során deportáltként került Magyarországra. Szerencsére id. Lóczy Lajos hazai akadémikusunk közbenjárására a Magyar Tudományos Akadémia budapesti székházában dolgozhatott, s itt fejtette ki a később róla elnevezett elméletét a jelenségre. Ennek lényege, hogy bolygónk pályaelemeinek ciklikus változása, Nap körüli pályájának excentricitása, forgástengelyének a Nap körüli pálya síkjához viszonyított váltakozó dőlése, és ennek pörgettyűhöz hasonló lökötése – az északi és déli féltéke kontinens-borítottságának eltérőségével párosulva – összhangba hozható a hőmérséklet dinamikájával. A Milankovic által azonosított tényezők önmagukban túl gyengék lennének (ezért nem is ennyire nyilvánvalók a megelőző időszakokban), de a földi globális klímarendszer bonyolult, nem-lineáris kölcsönhatásainak hálózatában megfelelő körülmények között pozitív visszacsatolásban felerősödhetnek.

Az Antarktisz (és hasonlóan a Grönland) sok száz méter vastag jéggrétegének legmélyén helyenként még a félmillió évvel ezelőtt lehullott hó is megtalálható jéggé összepréselődve. Mi több, a jégbezárt buborékok az akkori levegőt őrzik, melyekben igen precíz elemzésekkel az akkori szén-dioxid térfogat-aránya (parts per million volume = ppmv) is megmérhető. Ezzel lehetővé vált a régmúlt idők alapján egy jelen problémát is megvilágítani: a légköri szén-dioxid tartalom és a hőmérséklet-változás együttfutását (6. ábra).

A 6. ábrán egyértelmű az összefüggés a szén-dioxid mennyisége és a hőmérséklet között. A jégkorszakok szélsőségesen hideg időszakában csupán 180 ppm körüli értéket látunk, míg a meleg interglaciálisokban ez az érték megközelíti a 300-at. Mint tudjuk,



**6. ábra: Az antarktisi jégminták elemzéséből készített hőmérsékleti (kék) és CO<sub>2</sub> koncentrációs (piros) idősor**

A két mintázat megdöbbentően egybeesik. (A hőmérsékleti skála 0 értéke a jelenlegi átlaghőmérséklet.)  
([http://www.daviesand.com/Choices/Precautionary\\_Planning/New\\_Data/](http://www.daviesand.com/Choices/Precautionary_Planning/New_Data/) nyomán)

az ipari forradalom előtti érték (jelenleg is egy interglaciálisban vagyunk) 280 ppm volt. A nagy kérdés a 6. ábra kapcsán most már az lehet, hogy a szén-dioxid okozta-e a hőmérsékletnövekedést, vagy fordítva, a hőmérséklet növekedés váltotta ki légköri szén-dioxid dúsulását?

A válasz azért fontos, mert ha a hőmérséklet az ok és a szén-dioxid az okozat, felmentést kaphatunk a CO<sub>2</sub> kibocsátás korlátozása alól, hiszen egy rajtunk kívüli ok (pl. a Nap esetleges sugárzási változása) nem terhel minket felelősséggel. A jelenlegi klímaváltozás szkeptikusai a fenti grafikonnal kapcsolatban rámutattak arra, hogy a melegedés növekedése néhány száz évvel többnyire megelőzi a szén-dioxidét, így ez utóbbi nem lehet az oka a hőmérsékletváltozásnak. Mi tehát a válasz? Attól függ.

Egy rendszer kölcsönhatásban lévő elemeire nem lehet állandó egyirányú hatást kijelenteni. Egy dinamikus egyensúlyközeli interakciós pár akármelyik tagját megváltoztatva („ok”) ez a másik tagra is hat („okozat”). Ennek megfelelően, ha egy adott légköri széndioxid szint környezetével (óceán, talaj, élővilág, stb.) többé-kevésbé egyensúlyba jutott, akár a hőmérséklet, akár a széndioxid szint változtatása a másik „fél” változásához is vezet. Pozitív visszacsatolás esetén ugyanilyen irányú, negatívval ellentétes irányú lesz a másik változása.

A jégkorszakok esetében, mint előbb láttuk a Milankovic ciklusokban a hőmérséklet kezdeményezett, s vezetett a szén körforgás bonyolult szabályozott rendszerének pozitív visszacsatolásos elszaladásához (a rendszer kiegyensúlyozó kapacitásának túllépésével). A kezdeti melegedés hatására a tengervízből, a szárazföld élő és holt anyagaiból, valamint a talajból széndioxid (és metán) szabadulhatott fel, s ennek üvegház hatása vezetett további melegedéshez egy bizonyos pontig, amíg a szén-dioxid forrás kimerülése és/vagy a bonyolult földi rendszer más elemeinek hatására a folyamat leállt, esetleg megfordult. A jelenlegi helyzetben az ember óriási mennyiségű szén-dioxidot juttatott a légkörbe a fosszilis energiakészletek és a vegetáció égetésével, talajok művelésével, s ez váltja ki a hőmérséklet növekedését.

A 6. ábra még egy jelennel kapcsolatos gondot vet fel. Ha a grafikon jobb szélén (jelen) a mai szén-dioxid szintet akarnánk bejelölni, nem férnénk bele az ábra keretébe! A 2011. évi mérések 391 ppm értéket mutatnak. Az 1800-as érték még csak 280 volt (a jégbezárt levegő alapján). Alig több mint 200 év a grafikon vízszintes tengelyén, ahol egy osztás 10 millió év, pontnak is kicsi. Ilyen gyors változás, és ilyen magas érték elgondolkodtató. Meddig fogja „felhúzni” a magas (és még sokáig növekedő) szén-dioxid szint a hőmérséklet görbét? Ez is kimegy a képkeretből a szén-dioxid után, ahogy eddig is követte az elmúlt félmillió évben?

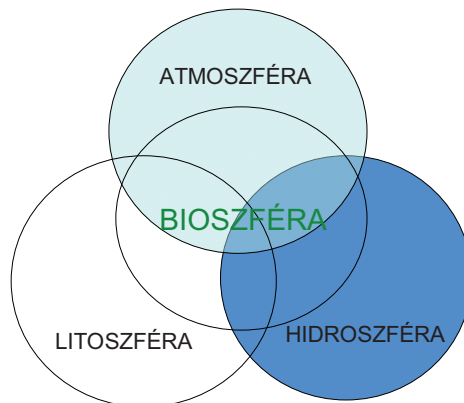
Mielőtt e kellemetlen kérdéseket feszegetnénk, maradjunk még néhány sor erejéig az ember előtti múlt elemzésénél, mely további tanulságokkal szolgálhat. A bioszféra három milliárd éven át csinálta azt, amit az ember eddig még nem tudott megvalósítani (csak hangoztatni): Fenntarthatóan fejlődött! Lássuk mi volt ennek a titka?

### *A bioszféra fenntartható szerveződése*

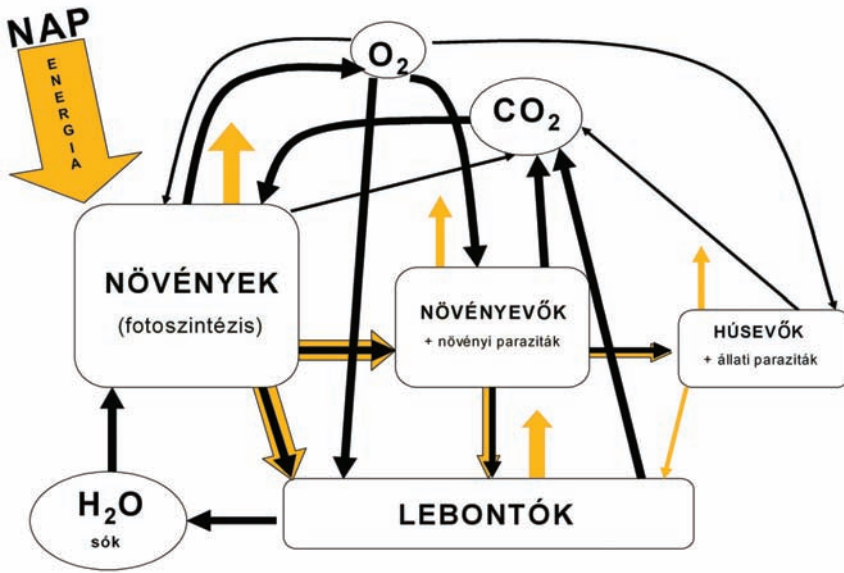
Földünkön az élet mára az egykor élettelen vizes szférát teljesen kitöltötte a felszíni vizektől a legmélyebb óceáni árkok fenekéig. A szárazföldeket és helyenként még a jég felszínét is benépesítette, legalább is mikro-szervezetekkel. Az atmoszféra alsó régióiban is repülő vagy lebegő élőlényeket találunk. Még a kilométeres mélységekben levő kőzetekben is kimutattak (kemo-autotróf) baktériumokat.

A bioszféra (7. ábra) jelentősen átalakította a korábban élettelen lito-, hidro- és atmoszférát. Az oxigénes légkörről már volt szó, de emellett a litoszféra felszínén kialakított talaj (pedoszféra) vagy a hidroszféra korallzátonyainak létrejötte is az élőlények tevékenységének eredménye. A hatás kétirányú, kölcsönös változás.

Nagyon messze vagyunk még attól, hogy teljes mélységében megértsük a bioszféra egészének működését. Még egy egyszerűbb közösség, mint a mérsékelt égövi erdő szerveződésének leírásával is bajba kerülünk, különösen, ha a talajban élő fajok sokaságának bonyolult táplálékhálózatát vizsgáljuk. Bioszféra szinten azt sem tudjuk,



**7.ábra: A bioszféra földi rendszer alrendszerei és kölcsönhatásai**



**8. ábra: A bioszféra szerveződésének legalapvetőbb összefüggései**

A sárga nyilak energiaáramlást, a fekete nyilak anyagáramlást jeleznek. Az egyes táplálkozási (trofikus) szinteket jelentő bokszokban rengeteg különféle faj van. Egyes fajok kétféle bokszhoz is tartozhatnak.

hogy hányféle faj él jelenleg a Földön. A rendszertan tudománya alig kétmillió fajt tart nyilván, de ennél jóval több még ismeretlen, s lehet, hogy az is marad előttünk. Mégis, néhány alapvető szerveződési elv szemléletesen mutatható be a 8. ábrán.

Két fontos fenntarthatósági tulajdonság érvényesül a bioszférában. Az egyik a megbízható, tartós energia ellátás, a másik a zárt, megújuló anyagciklusok. Mindkettő a Föld egészére vonatkozik. A napfény energiáját a növényi fotoszintézis alakítja át kémiai energiává, lehetővé téve a felvett szén-dioxid, a víz és a benne oldott ásványi anyagok segítségével a növényi test felépítését, fenntartását, növekedését és szaporodását. Belőlük élnek a növényevő állatok. A növényi tápanyag számukra egyben energiaforrás is. A növényevő állatot elfogyasztó ragadozó hasonlóan anyagot és energiát szerez táplálékában. A növényi és állati test egy része a lebontó szervezetekhez kerül a szerves anyag végső felhasználására. A lebontott anyag a változatos és bonyolult biogeochemiai ciklusokon keresztül jut vissza a növényekhez. Az egyszerűség kedvéért ezt rövidre zárva láthatjuk a 8. ábrán. Lényeges a növényi fotoszintézis és a légzés egymásra utaltsága. (Fontos szem előtt tartani, hogy a fenti táplálék és energia hálózati vázlat a lehető legegyszerűbb szemléltetése csupán a bioszférában megvalósult folyamatoknak. Egy valósághoz közelebb álló részletesebb hálózatban viszont könnyebb elveszni a részletekben.)

Az energia átadás és átalakítás során mindig jelentős veszteség jelentkezik a rendszer számára. Az energia egy jelentős (kb. 90%) része ilyenkor hő formájában távozik (felfelé mutató nyilak a 8. ábrán). A tápláléklánc elején lévő növények energiájának csupán 1-2 %-a jut a ragadozóig. Érdemes eljátszani a gondolattal, hogy vajon lehet-

## Szerveződési szint

## hatás

(kellő diverzitással)



**9. ábra: A biodiverzitás a biológiai szerveződés szintjein, hatásukban egymásra épülve eredményezi a bioszféra hatékony és rugalmas működését, a fenntarthatóságot**

séges lenne-e tovább egyszerűsíteni ezt a táplálékhálózatot egyik vagy másik boks kiiktatásával. Valószínű, hogy nem. A ragadozók kivonásával a növényevők túlszaporodhatnak, eltüntetve saját táplálék és energiaforrásukat s ezzel később magukat és az egész rendszert is. Növényevők nélkül nem lehetnének húsevő állatok, s bajba jutna a virágbeperzés ügye is. A lebontók kivonása az anyagciklus felborulását eredményezné.

A fenti vázlat nem mutatja a természetes ökológiai rendszerek, és így az egész bioszféra egyik igen fontos további sajátosságát, a biodiverzitást. A 8. ábra mindegyik boksában rengeteg faj van, többségük óriási genetikai változatossággal. Ez a változatosság emellett térben és időben is jelentkezik, s hierarchikusan egymásra épülve jut el hatásában a bioszféra egészének rugalmas és megbízható működéséhez (9. ábra).

Ez a fantasztikus változatosság az alapja a hatékonyságnak, mivel a látható változatosság mögött energia- és tápanyag-hasznosítási képességbeli különbségek vannak, s ezáltal a rendszer szélesebb skálán tudja használni az élőhely lehetőségeit. A változatosság az alapja az evolúcióképességnek, mellyel bizonyos keretek között még az előre nem látható, váratlan eseményekre is nagyobb valószínűséggel lehet az adott szerveződési szintnek adekvát válasza.

Mitől tudott tehát a bioszféra fennmaradni és fejlődni a legalább három milliárd éves története során, túlélve oxigén-katasztrófát, aszteroid becsapódást, hólabda és szána Föld állapotokat?

Összegezzük:

1. Megbízható, tartós és bőséges energiaforrása van (Nap);
2. Táplálékhálózatai kiegyensúlyozottak, redundanciával biztosítottak;
3. Anyagciklusai zártak (nincs felesleges hulladék);
4. Hatalmas mértékű biodiverzitása révén hatékony, rugalmas és evolúcióképes.

Természetesen a bioszféra „fenntartható fejlődése” sem lehet vég nélküli mivel, a Nap evolúciója is véges utat fut be. Ennek okán azonban még ráérünk aggódni.

# Emberi hatások a bioszférában

## *A kezdet*

A bioszférát alkotó sokmillió faj állandó evolúciós változással illeszkedett a földi rendszerbe, hozzájárulva annak változásához is. Az iskolai tankönyvekből is közismert progresszív fejlődés, melynek csúcán a Homo sapiens-nek azaz bölcs embernek elkeresztelt fajunk áll, nem valami belső tökéletesedési törekvés következménye, hiszen akkor ma már nem élnének baktériumok. A komplexitás növekedése az egész bioszféra átlagára jellemző, mely feltehetőleg az energia-hasznosítás optimalizálásával vagy talán az entropia-termelés maximalizálásával lehet kapcsolatos (Kleidon 2010).

Ma már sokat (bár sosem eleget) tudunk fajunk eredetéről (Stringer és Andrews 2005). Témánk szempontjából elegendő annak tudomásulvétele, hogy a fajunkhoz vezető leszármazási vonal valamikor a Miocén időszak legvégén, talán 6-7 millió évvel ezelőtt vált a ma is élő többi rokonainktól (csimpánz, gorilla) különállóvá. Összehasonlítható DNS nukleotid-szekvencia elemzésekből ennél még közelebbi, 4-5 millió évvel ezelőtti szétválást mérnek. 2-2,5 millió évvel ezelőtől már Homo fajok (előbb a H. habilis, majd a H. ergaster és a H. erectus) éltek a Pliocén – Pleisztocén határ közeli időkben. A mai emberrel biológiailag lényegében azonos Homo sapiens mintegy 200 ezer éve létezik, s Afrikából kiindulva a legutóbbi jégkorszak végére – a lakhatatlan Antarktisz kivételével – az összes kontinensre eljutott.

A vadászó-gyűjtögető életmódot folytató ember eleinte fenntartható módon élve környezeti hatásában alig különbözött a többi fajtól. Különleges szellemi képességei révén azonban gyorsuló ütemben „kiemelkedett” az állatvilágból, így környezetét átalakító tevékenysége is egyre fokozottabbá vált. Takács-Sánta (2008) hat nagy ugrásban mutatja be e növekvő hatást:

1. A tűzhasználat (legalább 250 ezer évvel ezelőtől);
2. A nyelv (legalább 40 ezer évvel ezelőtől);
3. A mezőgazdaság (legalább 10 500 évvel ezelőtől);
4. A civilizációk (az államok) (kb. 5500 évvel ezelőtől);
5. Az európai hódítások (i.sz. XV. századtól);
6. A technikai-tudományos-energetikai forradalom (kb. a XVIII. sz. második felétől).

Az első két ugrás a globális bioszféra szinten még alig volt érezhető. Az ember csak a nagytestű állatok (megafauna) jelentős mértékű kiirtásával okozott maradandó sebeket (Diamond 2000, Eldredge 2006). A harmadik ugrás már a Holocén időszakba vezet, s két további ugrás a helyi átalakításokat egyre jelentősebb regionális hatásokká erősítette. Mindazonáltal ezek az ugrások csak megalapozták, – mondhatnánk ugródeszkát adtak – a későbbi, valóban hatalmas ugráshoz. Ez a hatodik ugrás oly mértékű válto-



zást (főleg rombolást) okozott a földi bioszféra egészében, hogy jelen századunkra a Holocéntől elkülönítő új földtörténeti megnevezés indokolt Antropocén néven (Crutzen és Stoermer 2000).

Bioszféra átalakítási tevékenységeink okait kutatva Takács-Sánta rámutat arra, hogy a háromféle kategóriába sorolható okok (emberi értékrend, természeti tényezők, társadalmi-gazdasági-politikai rendszer) az egész bioszféra kölcsönhatásos rendszerében működnek, egymást gyengítve vagy erősítve.

### *A nem-megújuló energiaforrások használatbavétele*

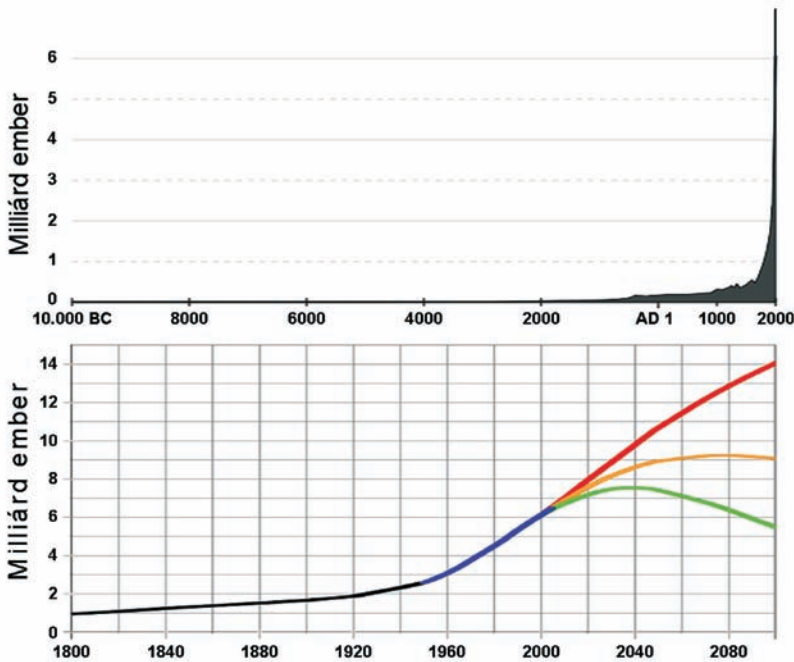
Az ipari forradalom hajnalán az emberi leleményesség és a népesség szaporodása pozitív visszacsatolásban fokozta a társadalmi szerveződést technikai, kulturális, politikai és minden más téren is. Mindehhez egyre több energiára volt szükség. Ennek forrása korábban az emberi és állati izomerő mellett elsősorban a fa volt, némiképp kiegészítve itt-ott a szél és víz bevonásával. Európa nyugati felén, a mediterrán régióban és Indiában ezzel hatalmas területek váltak erdőtlenné (Perlin 1989, Ponting 1992, Smil 1994).

Az egyre növekvő energiaéhség kielégítése egy roppant szerencsés (vagy szerencsétlen?) körülmény következtében vált lehetővé. Földünk bioszférája hosszú története során, mint korábban már tárgyaltuk, hatalmas szén- és szénhidrogénkészleteket halmozott fel, amelyeknek elégetésével korábban elképzelhetetlen mennyiségű energiához juthattunk. Ez az elraktározott napenergia tette lehetővé az utóbbi 2-3 évszázad fantasztikus technikai és tudományos fejlődését és fajunk létszámának egy nagyságrenddel (10x) való megnövelését. E tény nem kellően köztudott!

Bioszféránk nem valamilyen gondoskodó előrelátással készítette e fosszilis energiaforrásokat számunkra. A kőszén, a kőolaj és a földgáz is fotoszintetizáló szervezetek sokmillió éves tevékenységének eredménye.

Ennek során a szénatomok a légköri szén-dioxidból egy körforgásból kizárt raktárba kerültek. Ez a kivonás igen lassú folyamatban, speciális, oxigénhiányos környezetben valósulhatott csak meg, fokozatosan csökkentve a légköri szén-dioxid korábban jóval magasabb szintjét. Ez a csökkenés (a karbonát-képző mállási folyamatokkal együtt) vezetett az üvegházhatás mérsékléséhez, melynek hiányában a geológiai időskálán fokozódó naptevékenységgel bolygónkon az élet fennmaradása kérdésessé válhatott volna. Fosszilis energiáink „hasznosításával” ezt a folyamatot fordítjuk meg, méghozzá több milliószorosán megnövelt sebességgel juttatjuk vissza a szénatomokat a légkörbe (Vida 2011b).

A kőszén jelentősebb használatba vétele Angliából indult el a XVII. században, amikor itt az erdőket már szinte teljesen kiirtották. Európa és a világ más részein a szénhasználat az ezt követő száz-kétszáz évben terjedt el. A terjedést eleinte nehezítette a lelőhelyek ismeretének hiánya (Angliában szó szerint eleinte a szén még a felszínen hevert) és a korabeli szállítás (állati erővel) nehézségei. A gőzgép feltalálása, a szén kokszosítása, s ezzel a vas és acélgyártás fellendülése, vasúti szállítás, gépgyártás, és sorolhatnánk tovább az exponenciálisan növekvő lehetőségek megjelenésének hosszú



**10. ábra: A Föld népességének növekedése a múltban (felül), és várható további növekedése az ENSZ 2004-es magas, közepes és alacsony becslése alapján (alul)**

sorát, szinte követhetetlen sebességgel vezetett szinte minden növekedéséhez. Ráadásul a szén mellé 150 évvel ezelőtt egy másik fosszilis tüzelőanyag, a kőolaj társult, majd ezt követte a földgáz, zömében már a 20. századtól kezdve. Mindhárom tüzelőanyag messze hatékonyabban használható fel, mint bármelyik korábbi vagy azóta alkalmazott energiaforrás. Különösen érvényes ez a kőolajra és finomított termékeire energiasűrűség, szállíthatóság és tárolhatóság tekintetében. A korábbi bioszféra e csodálatos „ajándéka” csodákat is művelt. Az emberiség létszámában és gazdaságában soha nem látott ütemben gyarapodni kezdett.

Ha végigtekintünk az időszámításunk kezdete óta eltelt éveken, Földünk lakosságának számában hosszú ideig (a fosszilis energia tömegesebb bekapcsolódásáig) stagnálást vagy igen gyenge növekedést tapasztalunk. Bár a 20. század előtti adatok csak durva becsléseknek tekinthetők, legtöbbször úgy vélik, hogy Krisztus születése idején kb. 300 millió ember élt a bolygónkon. Az ezt követő másfél évezredben az éhezéssel, háborúzással és főleg pusztító járványokkal gyakorta sújtott emberiség csak az 1700-as évekre tudta ezt a létszámot megkettőzni. Ezután viszont látványos növekedésnek indult (10.a ábra).

Bolygónk népessége az 1 milliárdot becslések szerint 1800-körül, a kettőt 1927-ben, a hármat 1960-ban, a négyet 1974-ben, az ötöt 1987-ben, a hatmilliárdot 1999-ben érte el. E sorok írásakor (2011) születik meg a hétmilliárdodik Föld-lakó. Az éves gyarapodási

## A világ gazdasági teljesítményének megkettőződési évei

A.D.	1	hány év alatt?	Becsült növekedési ráta (%)
1.	1100	1100	<0,1
2.	1550	450	0,1
3.	1760	210	KŐSZÉN <u>0,24</u> Ipari forradalom
4.	1840	80	0,9
5.	1880	40	KŐOLAJ <u>1,8</u>
6.	1905	25	2,5
7.	1932	27	2,4
8.	1952	20	FÖLDGÁZ <u>3,5</u>
9.	1963	11	6,0
10.	1983	20	3,5
11.	1998	15	5,0
12.	2020???		

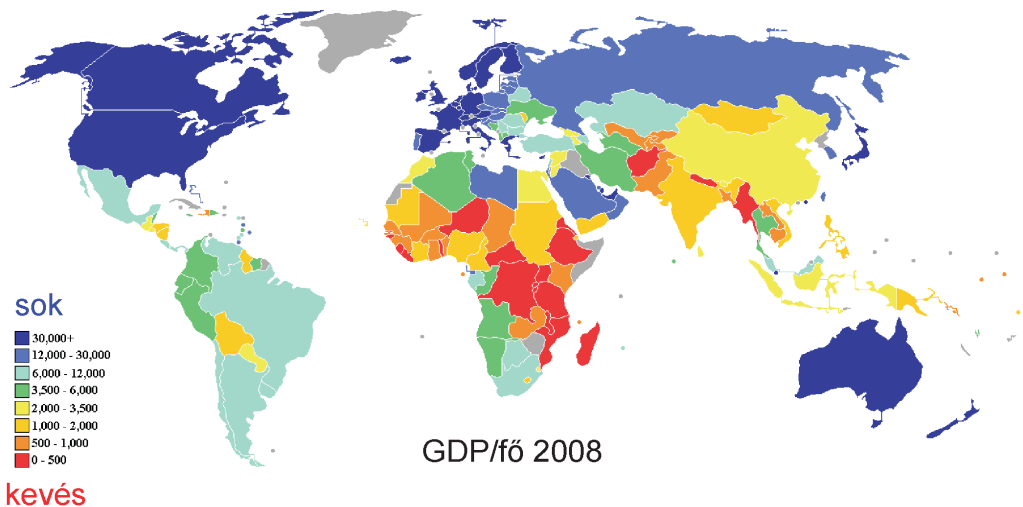
**11. ábra: A világ gazdasági teljesítményének becsült megkettőződési évei és a növekedés rátája J. Bradford DeLong (1998) adatai alapján**

A felgyorsuló növekedést láthatóan a fosszilis energiaforrások bekapcsolódása eredményezte. A tizenegyedik megkettőződés már 2<sup>11</sup>, azaz 2048-szoros növekedést jelent a kiinduláshoz képest!

ráta ugyan csökkenőben van, jelenleg 1,1%, de az emberiség létszámának várható tetőzésekor, talán jelen évszázadunk közepére feltehetően így is 8 milliárd felett leszünk. Más becslések szerint az is lehet, hogy további növekedéssel akár a 15 milliárdot is elérhetjük 2100-ra (10.b ábra). Akárhogy is lesz, a növekedés leállítására – egy globális katasztrófa lehetőségétől eltekintve – 2030 előtt aligha kerül sor.

Még e népességrobbanás kezdetén, 1798-ben jelent meg egy anglikán lelkész és közgazdász, Thomas Malthus könyve: „Tanulmány a népesedés törvényéről” címmel. E roppant nagyhatású, és azóta is sokat vitatott műben Malthus helyesen állapította meg, hogy az emberi népesség potenciálisan mértani haladvány szerint képes növekedni. Ugyancsak helyesen konstataálta a múlt alapján, hogy ezzel szemben a természet éhínséggel, járványokkal és bűnnel (háborúk) korlátozza e növekedés realizálódását. Malthus ez utóbbiak elkerüléséhez, a népességnövekedés féken tartására, a későn kötött házasságot és szexuális tartózkodást javasolta. Malthus ugyanakkor nem ismerhette még a fosszilis energiaforrások átmeneti erejében rejlő óriási potenciált, amivel a gazdaság nem hogy csak lineárisan, hanem a népességet meghaladó meredekséggel exponenciális gyarapodásra volt képes (11. ábra).

A gazdasági teljesítmény mérésére használt bruttó hazai termék (gross domestic product, GDP), illetve az egész világra értelmezve bruttó világtermék (gross world product, GWP) az utóbbi időszakban még a népességnövekedést is messze meghaladó ütemben nőtt. Bár ennek értékei a XX. század előtti időkre csak nagyon pontatlanul adhatók meg, a népesedésnél tapasztalt stagnálás, majd megugrás itt is egyértelmű.



**12. ábra: Az egy főre jutó gazdasági teljesítmény (GDP) megoszlása a világ országaiban**

Szembetűnő a szélső értékek területi koncentrációja. A legszegényebb és a leggazdagabb országok között két nagyságrendnyi (legalább százszoros) különbség van! Forrás: <http://www.econguru.com/2008-gdp-nominal-per-capita-world-map-imf/>

Mivel a GWP gyarapodása sokkal gyorsabb volt, mint a népességé, az egy főre jutó értékben is jelentős növekedés mutatkozott. Kétezer év alatt létszámunk hússzorosára, gazdasági teljesítményünk legalább százszorosára vagy inkább ezerszeresére nőtt.

Jelentősen rontja azonban a képet az a körülmény, hogy e sokak által jóléti mutatóknak is tekintett egy főre eső GDP értéknek óriási a szórása (12. ábra). Az ENSZ hivatalos statisztikája szerint 2009-ben az éhezők száma meghaladta az egymilliárdot, mely a legnagyobb ilyen szám az emberiség eddigi történetében. Igaz az éhezők aránya e szám esetében 1:6, míg évekkal korábban, az akkor még kisebb létszámban ugyanez csaknem 1:2 volt.

A két évszázadon keresztül megvalósuló látványos növekedés bővületében szinte elfeledtük az okokat alaposabban elemezni, s csupán zsenialitásunk szükségszerű következményeként nyugtáztuk növekvő átlagos jólétünket. Kétségtelen, hogy számos tényező játszott közre az utóbbi néhány évszázad felgyorsult anyagi és tudásbeli gyarapodásaiban, technikai és tudományos fejlődésében, melyek között gyakorta gerjesztő pozitív visszacsatolás is tetten érhető, de bizonyosra vehető az is, hogy az e célra fordítható fosszilis energia hiányában nem lettünk volna erre képesek. Mindez akkor válik megdöbbentően kijózanítóvá, ha elképzeljük, milyen is lenne a világ, ha holnaptól nem állnának rendelkezésünkre a fosszilis energiaforrások (Kunstler 2005). Ezeknek csupán részleges akadozása is komoly válságokat okozott a közelmúltban! S tegyük hozzá, a veszély ma sokkal inkább fennáll. Tekintsünk csak e készletek végességére, ezekről való függőségünkre, magunk és a szegénységben élő embertársaink (jogosabb)

növekvő igényeire, s a más energiaforrásokkal való helyettesítés nehézségeire (Hall et al. 2003). A mindezekkel összefüggő környezeti problémák tömegéről itt még most ne is szóljunk! Beláthatjuk, amit számos globálisan gondolkodó már megfogalmazott: az emberiség előtt valószínűleg az eddigi legnagyobb kihívása áll.

### *A jelenlegi energiahelyzet*

Az Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) 2010-ben kiadott statisztikája (IEA 2010) szerint a világ 2008-ban 12 267 millió tonna kőolajnak megfelelő energiamennyiséget (Mtoe = million tonnes of oil equivalent) használt fel (13. ábra). Ez csaknem pontosan kétszer annyi, mint az 1973-as évi érték (6 115 Mtoe). Mivel pedig az 1973-as népesség csak 3,9 milliárd volt, az egy főre jutó energia a korábbi évtizedekhez képest alig növekedett.

Bizonyos fokig aggasztó, hogy a véges, nem megújuló energiaforrások használatában alig mutatkozik arányváltozás. A fosszilis (olaj, szén, gáz) és nukleáris energiaforrások az összes energia 87,6%-át adták 1973-ban, s 35 évvel később még mindig 87,1%-ot tesznek ki. Más oldalról ugyanezt jelenti, hogy a megújuló energiaforrások növekvő használata még kis mértékben sem tudta átvenni a fogyó nem megújuló szerepét! A világ továbbra is véges erőforrásokra alapozza korlátlanul feltételezett gazdasági növekedését.

Pedig a figyelmeztetést komolyabban kellene venni. Ahogy a különböző szakterületeket képviselő 13 tudós fogalmazta meg az Egyesült Államok legtekintélyesebb tudományos folyóiratában (Proceedings of National Academy of Sciences):

*„Antropogén klímaváltozás, növekvő társadalmi egyenlőtlenségek, olajcsúcs, növekvő élelmiszerárak, csökkenő biodiverzitás, járványok, ózonpajzs-sérülés, szennyeződés és a Föld ökológiai rendszereinek tönkretétele, mind komoly fenyegetések civilizációnkra. Mindez visszavezethető egyetlen (bár nagyon is komplex) okra: nem váltottunk stratégiát az új „megtelt Föld” helyzetre, hanem továbbra is a korlátlan növekedés lehetőségében reménykedünk.” (Beddoe et al. 2009)*

A fentiek ismeretében igen fontos lenne pontosan tudni, hogy meddig gazdálkodhatunk még e véges energiaforrás-készletekkel (a legalább ilyen fontos szén-dioxid problémáról később lesz szó), más szóval mennyi időnk van még az energiahiány miatti összeomlás elkerülésére?

E valóban életbevágó kérdés megválaszolására a legtöbb kísérlet a kőolajkészletekkel kapcsolatban történt. King Hubbert amerikai geológus az olajkutak hozamainak dinamikáját vizsgálva 1956-ban arra a megállapításra jutott, hogy a kitermelt olaj mennyiségének időbeni lefutása nagyjából egy haranggörbe szerint alakul. Hasonlóan tételezte fel az Egyesült Államok teljes kőolajtermelés dinamikáját is, ami akkor még intenzív növekedést mutatott. Az addigi termelésből meghatározva a teljes haranggörbét megjósolta, hogy az USA nyersolaj-termelési csúcsa 1970-ben lesz, ettől kezdve csökkenő hozammal kell számolni.

<b>Olaj</b>	<b>33,2%</b>	<b>Fosszilis</b>	<b>81,3%</b>
<b>Szén</b>	<b>27,0%</b>	<b>Nem megújuló</b>	<b>87,1%</b>
<b>Gáz</b>	<b>21,1%</b>	<b>Megújuló</b>	<b>12,9%</b>
<b>Nukleáris</b>	<b>5,8%</b>		
Biomassza (fa)	10,0%		
Vízierő	2,2%		
Egyéb	0,7%		

---

**Összes energia  
(Mtoe): 12267**

**13. ábra: A Világ energiaforrás használata 2008-as adatok alapján  
(IEA 2010, Mtoe = millió tonna olaj ekvivalens)**

Pontosan ez történt. Hubbert megkísérelte a világ olajtermelési adatai alapján a globális nyersolaj kitermelési csúcs (peak oil) várható idejét is megbecsülni. Ezt 2000 körülre jövendölte, ami feltehetőleg azért nem így történt, mivel nem számolhatott a hetvenes években gazdaságpolitikai okokból kirobbant olajválsággal. Tény azonban, hogy a nyersolaj-kitermelés maximumát a 2006-ban elért 70 millió hordó/nap érték jelentette, s azóta is valamivel ez alatt stagnál. A Nemzetközi Energiaügynökség (IEA 2010) szerint ezt az értéket a nyersolaj a jövőben sem fogja meghaladni. Valamelyes növekedést csak a földgázból átalakított NGL (= natural gas to liquid) segítségével tudtak elérni, amelynek fűtőértéke azonban valamivel alacsonyabb. Nagy valószínűséggel igaz tehát Jeremy Leggett (2005) magyarul is megjelent könyvének címe: A fele elfogyott.

A sokkolónak szánt cím valójában még sötétebb helyzetet takar. Ha ugyanis az első olajkitermeléstől (1859) százötven év alatt értük el a haranggörbe csúcsát, szimmetria alapján elvileg még további 150 évre számíthatnánk, igaz, egyre jobban csökkenő mértékben. Valójában azonban más a helyzet. Mint minden más véges természeti forrásnál, a kitermelést először a legkönnyebben elérhető és legjobb minőségű lelőhelyeknél kezdik („best first” avagy a „low hanging fruit” elv). Ahogyan egy hatalmas cseresznyefa leszüretelése is a könnyen elérhető, legszebb gyümölcsökkel indul, amikor a fele termést már leszedtük, a nehezebb része marad hátra, s valószínűleg lesz elérhetetlen gyümölcs is, amelyért már nem érdemes vagy kockázatos erőlködni. Ugyanezt látjuk a kőolaj esetében is.

Gyakorta hallani híreket roppant nagy olajlelőhelyek felfedezéséről (érdemes ennek kapcsán megszívlelni Chris Nelder 2011 óvatosságra intő szavait), amelyekről később kiderül, hogy lehet, hogy több kerülne a kitermelés, mint amennyit „megér” a kinyert olaj. Ráadásul kockázatos is lehet szélsőségesen nehéz környezetben, amint azt a legutóbbi Mexikói-öbölbeli olajkatasztrófa is bizonyítja. Ezek elhárítása illetve megelőzése az olaj árát tovább növeli.

A fővonalú közgazdaságtan szerint az ár és a piac megold minden problémát. Ahogy a kitermelés költségeinek növekedésével az olaj ára növekszik, csökken a fizetőképes kereslet, s más alternatív energiaforrások felé tereli a kutatást és fejlesztést. A nyersolaj hordónkénti ára az ezredfordulón még 20 dollár körül volt, majd fokozatos növekedéssel 2008 nyarára elérte a 147 dollárt, s ezzel jelentősen hozzájárult a gazdasági válság kirobbanásához. A megbénult gazdaságban a kereslet visszaesése hetek alatt visszavetette az olaj árát 30-40 dollárra, majd ezután az ár fokozatosan visszakúszott a 80-100 dolláros tartományba. Többek szerint további jelentős árnövekedés is elképzelhető.

Az ugráló olajár a gazdaságnak kétszeresen is rossz. Amikor magas, akkor fékezi, esetleg meg is bénítja az energiaéhes gazdaságot, amikor alacsony, nem teszi kifizetődővé a kitermelés fejlesztését és a beruházásokat más energiaforrások használatára. Az ár szabályozó szerepe így megbízhatatlan. Sokkal fontosabbnak tűnik a gazdaságosság szempontjából a nettó energia, más szóval az energia befektetés megtérülése, azaz az EROI vagy EROEI (energy return on energy investment) kiszámítása.

Az EROI fogalmáról és alkalmazási lehetőségeiről Hall és mtsai (2009) összefoglaló cikkében részleteiben is tájékozódhatunk. Itt csupán egy példára érdemes felhívni a figyelmet.

Az Egyesült Államokban az 1900-as évek elején 1 hordónyi olaj energiájának befektetésével 100 hordó olaj volt az olajkutakból kinyerhető (EROI = 100). 1972-ben már csak 8, majd ezután technológiai újításokkal 17-re emelkedett. Napjainkban ismét hanyatló, 10 körüli értékre apadt (Guilford et al. 2011). (A világátlag a kilencvenes években még 35 volt, míg 2005 körül 20.) Kérdés, hogy meddig érdemes erőltetni további energia bevitelével a kitermelést?

Jelenleg is alkalmaznak újabb és újabb technikákat korábban már felhagyott vagy gyenge minőségű olajmezőkből történő felújított kitermelésre (horizontális fúrások, szén-dioxid és víz bepréslése, hidraulikus repesztés stb.). A kanadai kátránytartalmú homok (tar sand) esetében egy hordónyi olaj energia befektetéssel csupán 2 hordónyi nyerhető ki. A kitermeléshez ötszörös mennyiségben szükséges a víz, amivel a tájrombolás mellett jelentős környezetszennyezési és ivóvíz ellátási gondok is együtt járnak (Guardian News and Media 2011).

Elvileg úgy gondolnánk, hogy amíg az EROI értéke nagyobb, mint 1, indokolt lehet a termelés. Hall és mtsai (2009) azonban kimutatták, hogy egy mai társadalom nem képes működni 3 alatti EROI értékkel. Mindebből levonható a tanulság, hogy teljesen félrevezető arról beszélni, hogy hány évre elegendő olaj van még a földben. Az igazi kérdés az, hogy mennyit tudunk és mennyit érdemes még kitermelni ebből.

Az olaj jelenleg nélkülözhetetlen a belső égésű motorok működtetésére, ezért a fokozódó szűkösség láttán világszerte keresik a megoldást pótlására vagy más folyékony üzemanyaggal való helyettesítésére. Földgázból jelenleg is készül hosszabb szénláncú szénhidrogén (NGL). A kőszénből történő szintézist már a németek is alkalmazták a második világháborúban, az eljárás azonban jelenleg nem kifizetődő. A cukornád kivételével a növényi anyagok bio-etanolná, biodízellé alakításának perspektívái jelenleg eléggé kétségesek (Gyulai 2009, 2010). Súlyos érv ellenük, hogy EROI értékük 1 körüli,

így energetikai szempontból értelmetlen a termelés, s anyagilag is csupán a támogatottsággal válik kifizetődővé. A bio-üzemanyagok erőltetése egyébként az élelmiszertermelési területet csökkentve jelentősen hozzájárult az élelmiszerárak növekedéséhez is. Tény, hogy a növekvő olajár ellenére annak jövőbeli helyettesítőjét – a közgazdaságtani axióma ellenére – jelenleg még nem tudjuk megnevezni.

A földgáz és a szén földi készletei szintén végesek. A konvencionális földgáz kitermelése sok országban hanyatló, ára pedig növekvő. Legújabbán nagy reményekkel kecsegtet az egyes palafajtákból hidraulikus repesztéssel kinyerhető jelentős mennyiségű metán. A kitermelés költséges, energiaigényes és emellett az olajhomokhoz hasonlóan környezeti problémákkal is jár (Austin 2011).

A szénről sokáig azt tartották, hogy a készletek óriásiak, így egyelőre nem kell tartani a kimerülésüktől. A helyzetet itt is jelentősen rontja az olajnál már említett „best first” elv. A könnyen kitermelhető, legjobb minőségű szén már régóta elfogyott. A nehezebben elérhető és gyengébb minőségűből van bővebben (Heinberg és Fridley 2010). Ennek felhasználása a szén-dioxid-kibocsátás korlátozásától is függ, a vitatott „tisza szén” technológia (szén-dioxid-elraktározással) viszont igen alacsony EROI értékkel és ennek megfelelően magas árral járna.

Van még egy, ugyancsak véges készlettel rendelkező energiaforrásunk, az urán. A maghasadáson alapuló atomerőművek iránti érdeklődés fosszilis energiaforrásaink fogyasztásával növekszik, bár a fukusimai katasztrófa hatására ez többfelé visszaesett (pl. Japán, Németország). Jelenleg a világon 436 erőműi blokk működik, s több mint 50 építése folyik. Az atomerőművek építési költségei, fűtőanyaguk kitermelése, szállítása, feldolgozása, a biztonságos üzemeltetés, a hőenergia elektromos árammá való transzformálása, a kiegészítő fűtőanyagok elhelyezése mind jelentős energia befektetéssel járnak, így a fogyasztóhoz jutott elektromos energia alapján az EROI 10 körüli értéket ad.

A gazdaságosan kitermelhető uránkészletek nagysága feltehetőleg elegendő lehet erre az évszázadra, bár a növekvő árakkal itt is számolnunk kell. A sok szempontból ígéretes tórium (Th) felhasználására még csak kezdeti kísérletek vannak (Stager 2011). Régóta várjuk az elméletileg óriási energiát adó fúziós reaktorok energiatermelésbe fogását. Dollár milliárdok felhasználása ellenére az áttörő eredményre, ha lesz egyáltalán, továbbra is várni kell (Salkever 2010).

A fenti helyzetfelmérés (Vida 2011b) alapján egy csapda-helyzet kezd körvonalazódni. A korábbi olcsó fosszilis energia felhasználásával egy magas energiaszintet igénylő globalizált ipari társadalmat hoztunk létre, hétmilliárdra nőtt emberiséggel és igencsak megnövekedett igényekkel. Kevesebb és drágább energiával ez az állapot nem tartható fenn. A létszám és az igények csökkentése viszont szinte elképzelhetetlen a még mindig a korábbi növekedésben gondolkodó emberiség számára.

A nem megújuló energiaforrásokra hosszabb távon egyre kevésbé számíthatunk a fogyó készletek és az ebből adódó növekvő árak miatt. A Földre folyamatosan érkező napenergia közvetlen vagy közvetett felhasználása lehet csak fenntartható. Elvileg ez bőven lehetővé tenné a fosszilis és nukleáris energiaforrások kiváltását.

A Földre egyetlen óra alatt a Napból annyi energia érkezik, mint amennyi jelenleg az emberiség egy éves energiafelhasználata. A baj csak az, hogy az alacsony energiasűrű-



ség miatt ennek befogásához igen jelentős infrastruktúra kiépítése szükséges, melyhez hosszú idő (becslések szerint 2-4 évtized), rengeteg energia (a még rendelkezésre álló nem megújulókból) és a napi gondokat meghaladó hosszabb távú gondolkodás és akarat lenne szükséges. Ez utóbbi a legnehezebb, mivel a világot irányító, jövőt bevallottan diszkontáló globális gazdaságpolitika a mának él. Ezért aztán a ma még viszonylag bőséges energiát pazarló módon inkább a jelenre, mintsem a jövőre fordítjuk.

A megújuló energiákkal rengeteg gond van. Az olaj-lobbi ellenérdekeltsége nyilvánvaló, s ennek megfelelően a fosszilis készletek nagyságáról gyakran túlzó adatokat is közölnek, ahogyan ez Szaúd-Arábia esetében a kiszivárgott kormányzati információkat a világhálón közzétevő *WikiLeaks* révén nemrég kiderült. Az olaj-lobbi rengetegféle más módon is érvényesíti érdekeit, hiszen a világ láthatóan tőlük függ (Juhász 2008). Mindezek ellenére némi eredmény már látható. A vízierőművek régóta termelnek elektromos áramot elérve a 2,2%-os részesedést a világ energiatermelésében (13. ábra). A csupán kisebb mértékű növekedésük az utóbbi 35 évben azt jelzi, hogy a folyók ilyen irányú kihasználása lassan telítődik. Jelentősebb aránynövekedésre nem számíthatunk. Látványában is jóval feltűnőbb változást a szélenergia hasznosítása mutat.

Világszerte létesülnek szélfarmok, s a szélturbinák száma rohamosan nő. Ennek ellenére arányuk a világ energiatermelésében még mindig elenyésző (0,3%), bár néhány országban (Spanyolország 14%, Németország 6,5%) már jelentős. Hasonló a helyzet az összes többi megújuló energiátípussal (árapály, hullámverés, geotermális, szoláris hő, fotovoltaiikus stb.) melyek együttesen alig félszázaléknyi részesedésükkel nehezen tekinthetők a jelenleg 87,1%-ot adó „nem megújulók” leváltójának (Heinberg 2011). Csupán a napelemes (fotovoltaiikus) áramtermelés mutat lendületes gyarapodást. A globálisan kb. 10%-ot kitevő „biomassza” gyakorlatilag a hagyományos fa és más növényi anyagok elégetéséből áll, s bár ez elvileg megújulónak tekinthető, a fosszilisok kiváltójának aligha vehetjük, mivel legtöbb helyen ma sem fenntartható módon gazdálkodunk vele. Erre utal az Európa kivételével mindenütt csökkenő erdőállomány.

2009-ben a kaliforniai Post Carbon Intézet és a Nemzetközi Globalizációs Fórum 18 féle potenciálisan megújuló energiaforrást felhasználási lehetőségét vitatta meg. A résztvevő energia-szakértők elemzési eredményét Richard Heinberg szintetizálta. Idézet a konklúzióból:

*„A jelenleg fosszilis tüzelőanyagokból származó energia teljes lecserélése alternatív energiaforrásokra rövid időn belül valószínűleg lehetetlen; még hosszabb időtávon elképzelve sem várhatjuk reálisan – hacsak az energiaárak le nem csökkennek egy példa nélküli és valószínűtlen módon, a világgazdaság fokozottan energiakorlátozottá válik a fosszilis tüzelőanyagok kimerülése és környezeti okok miatt. Nagyon valószínűtlen, hogy az egész világ valaha is elérje az amerikai vagy akár az európai energiafogyasztást, még a jelenlegi szint fenntartása is komoly beruházást igényel. A fosszilis energiaforrások kitermelése csaknem biztosan gyorsabban hanyatlik majd, mint az alternatívakkal való helyettesítésük fejlesztése. Az új energiaforrások sok esetben alacsonyabb nettó energiával rendelkeznek, mint amit a fosszilisoknál megszoktunk, és kiterjedt infrastruktúrát is igényelnek az időszakosság problémáinak megoldásához.” (Heinberg 2009)*

Az összefoglaló beszámoló azt is hangsúlyozza, hogy az alacsony EROI értékű energiaforrások nem jöhetnek számításba elsődleges forrásként az ipari társadalmakban, amint ezt már Hall és mtsai (2009) is kimutatták.

Természetesen bőven vannak ezzel ellentétes vélemények is. Ray Kurzweil (2011) amerikai feltaláló és író például azt állítja, hogy 16 év múlva napelemes panelek képesek lehetnek a világ teljes energiaellátását fedezni. Megfigyelése szerint ugyanis a napelemes áramtermelés mennyisége jelenleg (2011) kétévenként megkettőződik. Nyolc további kettőződéssel (16 év) így elérhetjük a világ mai energia-felhasználásának szintjét, s ezzel is csupán egy tized részét használnánk a Földre érkező napenergiának. Mi több, e „szoláris farmokat” az egyéb célra használhatatlan sivatagok néhány százaléknyi területén létesíthetnénk.

E csábító eszmefuttatásban az exponenciális növekedés buktatója a kijózanító. Többszörös megkettőződéssel rövid idő alatt túllépjük a megvalósíthatóság határát. Szolgáljon erre példaként egy A4-es papír képzeletbeli sorozatos félbehajtása. E papír vastagsága 0,1 mm. Egy másodperc alatt félbehajthatjuk, 0,2 mm-re növelve vastagságát. Tovább folytatva e műveletet a hatodik félbehajtással már 6,4 mm-es vastagságnál tartunk. A sikeren fellelkesedve Kurzweil nyomán kiszámolhatjuk az innen induló további nyolc hajtogatás eredményét: embermagasságú (1638,4 mm) a papíroszlop! A fantázia világában tovább haladva az ötvenedik hajtásnál a Föld-Nap távolsághoz, a századiknál az Univerzum átmérőjéhez érkezünk!

Ha megkísérelnénk e kalkulációt megvalósítani, a negyedik-ötödik hajtogatásnál már komoly nehézségekbe ütköznénk. A hajtogatást félbevágással helyettesítve még viszonylag könnyen eljuthatunk a hatodikig. Ekkorra az eredetileg 30x21 cm-es papír 37x26 mm-es alapterületű lett, s a további nyolccal már csupán légyiszoknyi (2,3x1,6 mm) méretű. Ezt kellene tovább hajtogatni vagy felezgetni, amellyel hamarosan elérjük a molekulák, atomok, elemi részecskék szétvágásának problémáit, azaz a gyakorlati megvalósíthatatlanságból az elvi lehetetlenségbe érkezünk. Mint azt később még látni fogjuk, mindenféle növekedés, de különösen az exponenciális, előbb utóbb akadályokba ütközik a valós világ véges lehetőségei miatt.

Sokak szerint a fosszilis energiaforrások fokozatos hanyatlásának esetleges elhúzódsával értékes időt nyerhetnénk az alternatív energiaforrások kutatására és fejlesztésére. Ugyanakkor arra is kellene gondolnunk, hogy egy átváltási elhúzódsának katasztrofális következményei is lehetnek az ezzel együtt járó további szén-dioxid szint-növekedés miatt. Sajnos az is előfordulhat, hogy a krízistünetek késése a probléma komolyan vételelt mérsékelné. Célszerű ezért már most elgondolkodni az energiaárak növekedésének bonyolultan veszélyes közvetlen és közvetett hatásain. Mivel minden tevékenységhez szükséges az energia, drágulása szinte mindenre kihat.

A létfenntartásunkhoz szükséges alapvető élelmiszerek jelenlegi megtermelése, a mezőgazdasági talajművelő, ápoló, betakarító, feldolgozó és szállító gépek tömegének használatát, a műtrágyák és növényvédő szerek energiaigényes előállítását vagy akár a szállításnál és csomagolásnál használt műanyagokat igényli. Az egész rendszert az olcsó kőolajra fejlesztették ki. Korábbi energiabőségünk következtében a modern élelemtermelés abszurditásaként egy kJ (kilo joule) élelem előállításához 8-10 kJ energiát

fektetünk be. Ha egy átlag amerikainak csupán egy napnyi élelmét kizárólag saját izomerejével kellene előállítania, 111 órányi munkájára lenne szükség (Pimentel 2008). D. A. Pfeffer (2006) különös könyvcíme (Eating Fossil Fuels – fosszilis üzemanyagokat eszünk) közvetve valóban igaz és megdöbbentő. Egy átlagos amerikai egy év alatt 1512 liter kőolajnak megfelelő energiát igényel elfogyasztott élelmében (naponta 4,14 litert).

Az úgynevezett zöld forradalommal megoldottnak vélt világelelmzés is problémákkal terhelt. Egyrészt azért, mert „mellékhatásként” általa megkettőződött a népesség, másrészt mert nem fenntartható a fogyasztó öntözővíz (és termőtalajvesztés) miatt, harmadrészt az előbb bemutatott energiaszükséglet (főleg a műtrágya- és növényvédőszer-előállításban) növekvő költségei folytán. Az élelemtermelés növekvő költségei valószínűleg komoly akadályokat jelenthetnek a más területen esedékes fejlesztések megvalósításában. Gondolni kell arra is, hogy egy esetleges kiadáscsökkentő kényszerintézkedés legtöbbször az átmenetileg nélkülözhetőnek vélt jóléti, kulturális területeket érintheti leginkább.

Nemrég a „makro ökológia” megalapítója és munkacsoportja (Brown és mtsai 2011), akik korábban a növekedés és komplexitás energetikai korlátjait biológiai vonatkozásban kutatták, részletes elemzés tárgyává tették az emberiség gazdasági tevékenységét is. Következtetésükben határozottan kiemelik, hogy az energia a legfontosabb megkötöttség a gazdasági növekedésben és fejlődésben. Mint összefoglalójuk záró mondatában írják:

*„Hatalmas mennyiségű energiára lesz szükség a gazdasági növekedéshez, az életszínvonal emeléséhez és a fejlődő nemzetek szegénységből való felemeléséhez.”*

Tegyük hozzá ehhez a mondathoz egy másik cikk (Moriarty és Honnery 2009) összefoglalójából ugyancsak a legutolsó mondatot (a cikkben a szerzők az energiaellátást a legszélesebb környezeti, társadalmi, politikai és gazdasági összefüggéseiben, azok korlátjai között vizsgálták):

*„Összességében ezek a megkötöttségek azt jelzik, hogy a jövő energiafogyasztása a mostaninál lényegesen alacsonyabb lesz.”*

A két idézet alapján csak valamilyen alapvető, sikeres paradigmaváltásban vagy Homer-Dixont (2001) meghazudtoló zseniális problémamegoldó találékonyágunkban reménykedhetünk. (E szerző ugyanis könyvében arra következtetésre jutott, hogy az emberi leleményesség nem tud lépést tartani a növekvő gondok áradatával.)

### *A növekedés határai*

Meadows és munkatársai által írt, ma már klasszikusként számon tartott könyv 1972-ben jelent meg először, egy olyan időszakban, amikor a növekedés lendületében ennek megkérdőjelezése értetlenséget, sőt sokakban felháborodást váltott ki. Kritikák egész sora démonizálta e művet és szerzőit amint ezt Bardi (2011) könyvében részletesen

kifejtve is olvashatjuk. E kritika mögött többnyire a modell meg nem értése, a kedvezőtlen konklúziók átgondolás nélküli elutasítása sőt, olykor még szándékos meghamisítás is volt. A közvélemény ezek hatására többnyire olvasatlanul utasította el, mint felesleges és alaptalan rémisztgetést. Érdekes az akkori közfelfogást bemutató szemléletből idézni (Meadows et al. 1972):

*„A Föld élelemtermelő kapacitása és a modern technológia jobb felhasználása lehetővé teszi, hogy az emberiség egy-két évtizeden belül megszüntesse az éhínséget.”* (Donald Bogue: Principles of Demography, 1969)

A fenti sorok a hatvanas évek intenzív növekedésének hangulatát tükrözik. Fél évszázad (nem csupán egy-két évtized) elteltével ma is közel egymilliárd ember éhezik. Az egy főre jutó élelem sem nő már tovább, s a termőföldterület egy főre jutó értéke fokozatosan csökken. Pontosán ezt mutatta Meadows-ék modelljének futtatása.

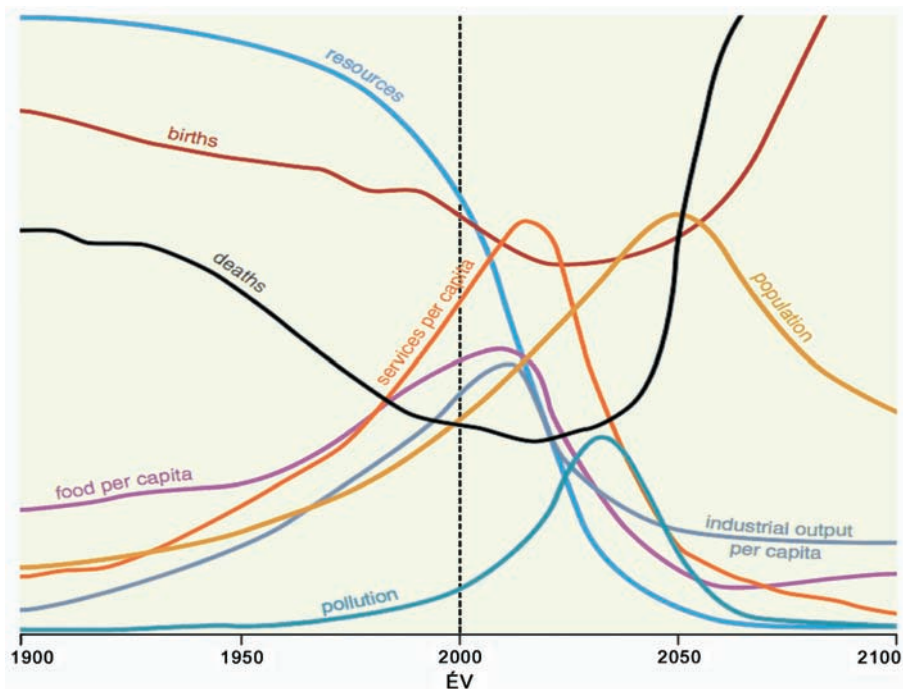
A World3 világmodell az alábbi legfontosabb mennyiség növekedésének dinamikáját kapcsolta össze, a rendszermodellben alaposan átgondolt visszacsatolási (feedback) hurkokkal és reális paraméterekkel:

- Népesedés (population)
- Egy főre jutó ipari termelés (industrial output per capita)
- Egy főre jutó élelem (food per capita)
- Források (resources)
- Szennyezés (pollution)
- Születések (births)
- Halálozások (deaths)

Ezekkel szerkesztették meg a meglehetősen bonyolult kinézésű („spagetti modell”) alapmodellt. Ennek egyik átrajzolt futtatását a 14. ábra szemlélteti.

A szerzők maguk is megdöbbenek a „túllövések” és az ezt követő „összeomlások” láttán, melyek ráadásul kedvezőbbre módosított paraméterek (több forrás, gyorsabb gazdasági növekedés, több élelemtermelés) mellett sem akartak eltűnni, csak időben változtak. Csak zéró népesség-növekedés és zéró ipartermelés-növekedés tette ebben a modellben elkerülhetővé az összeomlást. A jelenség háttérében a rendszert gerjesztő (pozitív feedback) és csillapító (negatív feedback) kapcsolatrendszerekbe beépített idő-elcsúszás hatása áll. Ez a jelenség kisebb nagyobb mértékben szinte mindig fellép a tényleges történésekben, és destabilizáló hatása régóta ismert az ökológia populáción-dinamikai modelljeiben.

A szerzők hangsúlyozták, hogy e futtatások nem jóslások a jövőre. Sokkal inkább veszélyfelhívásnak kell őket tekinteni. Ez történhet, ha nem változtatunk semmit (BAU = Business As Usual). Sajnos a rossz hír az, hogy ez a BAU scenárió működik az azóta eltelt időben. Erre a tényre nem csak a fenti szerzők mutatnak rá újabb könyvükben (Meadows és mtsai 2005). Egy igen részletes összevetésben az ausztrál Turner (2008) is nagyfokú megegyezést talált a BAU futtatás és az eddig bekövetkezett tényleges történések között.



**14. ábra: Az 1972-es „Limits to Growth” alap-forgatókönyve (base scenario)**

Feltűnő a trendek átfordulása a 2010-2050 közötti időszakban. (Az egyes görbék magyar nevei a szövegben.)

A múlt század végének minden korábbinál gyorsabb növekedése még cáfolni látszott az aggodalmakat. Erre az időszakra esik a biológus Paul Ehrlich és a neoliberais közgazdász Julian Simon vitája és fogadása a véges nyersanyagok árának változásáról. Ehrlich logikusan állította, hogy a készletek várható kimerülése árai növekedéséhez vezet. Simon hitt a piac és az emberi leleményesség erejében, s ezzel az árak csökkenésében. Várható ugyanis, hogy amint a kínálat csökkenése az árak növekedéséhez vezet, ez a drága árú alternatív helyettesítőinek keresésére és más leleményes megoldásokra ösztönöz, s ezen keresztül megakadályozza az ár elszaladását.

1980-ban közös megegyezéssel öt fém (réz, króm, nikkel, ón, wolfram) árát választották a fogadás tárgyául, s tíz év utánra tűzték ki a döntést. Simon nyert, Ehrlich fizetett, s ezzel a kornukópia (bőségszaru) hívók jelentősen megerősödtek határtalan növekedési hitükben. Az időelcsúszás azonban nem jelentett elmaradást. Ha kétszer hosszabb időt választottak volna, Ehrlich lett volna a nyerő.

Jeremy Grantham, az egyik legjelentősebb befektetési alap vezetője, világgazdasági trendek szakértője, nemrég (Grantham 2011a) igen lényeges tényre hívta fel a figyelmet. 2002-ben egy százéves trend fordult meg. 33 fontosabb árucikk árának átlaga a múlt század során némi szórással évi 1,2%-os csökkenést mutatott (inflációval korrigált értékben). Mindez annak ellenére történt, hogy a csökkenő hozadék (diminishing return) és legjobbat először (best first) elvek alapján – Ehrlich-hez hasonlóan – az árak növe-

kedését várják. Érvényesült tehát leleményességünk és zsenialitásunk a technológiai fejlesztésekben, melyekkel a produktivitást még jobban megnövelve csökkentettük az árakat. Átmenetileg.

Az ezredforduló tájékán azonban két alapvető változás történt. Egyrészt Kína és India látványosan felgyorsuló gazdasági növekedése számos fontos nyersanyag terén jelentősen fokozta a keresletet, másrészt az energiaforrások (főleg az olaj) növekvő kitermelési árai (fogyóban a „low hanging fruit”) kartelezési manipulációval (OPEC) párosulva világszerte fokozta mindenféle termelés költségeit. Mindez legszembetűnőbben a vasérc árában látható. 1900 és 2002 között ennek tonnánkénti ára felére csökkent, 2002-ben elérve a 40 dollár körüli minimumot, majd nyolc év alatt ennek több mint ötszörösére ugrott. A nyersolaj hordónkénti ára hasonló mértékben nőtt. 2009-re a világ vasérctermelésének felét Kína dolgozza fel (Grantham 2011a,b).

Kína gyors gazdasági növekedésének ugyanakkor igen nagy ára van. A környezet szinte minden vonatkozásban romlik. Az „ár” részleges kifizetése is óriási összegeket jelent. Csupán a vízszennyezés problémáinak megelőző és utólagos kezelésére 2011 őszen 5,5 milliárd dollárnak megfelelő összeget hagyott jóvá a Kínai Államtanács. Az intézkedésre nagy szükség is van, hiszen az ország felszín-közeli talajvízének 90 %-a szennyezett, s ennek 47 %-a olyan mértékben, hogy kezelve sem lehet ivóvíznek felhasználni (Qiu 2011). Emiatt évente mintegy 190 millió kínai betegszik meg és közülük 60 ezer meg is hal. A mindent csak pénzben értékelő Világbank szerint e betegségek évi 23 milliárd dollárnyi költséget jelentenek a kormánynak (ami a GDP 1 %-a), az élelmezési és ökoszisztéma-szolgáltatásokkal kapcsolatos további szükséges kiadásokról nem is beszélve.

A 2002-es év a világgazdaság történetében – Grantham (2011a) szerint – egy ropant nevezetes dátum lesz: „Úgy hiszem, hogy jelenleg a közgazdaság történetének egy hatalmas fordulópontjában vagyunk. Ez a népességbeli és gazdasági növekedés végét jelenti, melyet sokkal inkább nevezhetnénk Szénhidrogén Forradalomnak, mint Ipari Forradalomnak. A példa nélkül álló kiterjedt áremelkedés ezt látszik igazolni. Ennek ellenére pániknak nyoma sincs, elemzéseknek még kevésbé.”

A probléma súlyának fel nem ismerése többek között emberi tulajdonságaink evolúciós hátterével is magyarázható. Kedvezőtlen és hosszabb távú történések mérlegelésére, különösen, ha ehhez matematikai műveletre is szükség lehet, nem vagyunk kellően adaptálódva. Ugyanakkor az optimizmus, mi több, a túlzott önbizalom elterjedt, és számítógépes szimulációs kísérletekkel bizonyítottan előnyös evolúciós stratégia (Johnson és Fowler 2011). Mi ennek megfelelően evolválódhattunk, de ez a túlzott önbizalom végzetes is lehet a mai globalizált világtársadalom kihívásaiban (pl. klímaváltozás), hiszen ma nem csak egyes csoportok, hanem az egész emberiség teszi kockára ezzel a sorsát.

Az önbizalom természetesen alakítható tulajdonságunk is. Egy sikeres társadalmi környezetben nyilvánvalóan erősebbre nő. Grantham idézett cikkében az amerikai közfelfogás túlzott önbizalmúságát egy teszt felmérésre hivatkozva (P.I.S.A. Test 2003, OECD) mutatja be: Az amerikai egyetemi hallgatók e tesztet matematikából negyven ország között a gyenge-középszerű 28. helyen teljesítették, de ennek ellenére közvet-

lenül a teszt megírása után (a helyezést nem ismerve) kiválónak érezték eredményüket. Ugyanakkor, az egyébként első helyen végző hongkongiak szerénynek minősítették szereplésüket.

Az amerikai „we can do it” (meg tudjuk csinálni) lelkesítő jelszó hatása egyértelmű. Ennek bámulatosan pozitív eredménye volt például a II. Világháború kényszerintézkedéseinek idején, amikor e jelszó született, de irreális és életveszélyes a bolygó méretű téttel jelentkező problémák kezelésében (geoengineering – bolygó-mérnökösödés, Morton 2007).

Bármilyen hatalmas is a tudományba és technikai haladásba vetett hitünk, a nyilvánvalóan lehetetlenre – amíg nem bizonyítjuk ennek ellenkezőjét – nem célszerű alapozni. **A tudomány mai állása szerint ilyen lehetetlenség a vég nélküli növekedés egy véges kiterjedésű, véges forrás- és nyelő-kapacitással rendelkező bolygón.** Ez annyira nyilvánvaló dolog, hogy igazából azt nehéz megérteni, hogy a gazdasági és a politikai életben miért nem foglalkozunk kellő súllyal e témával.

Pedig a korlátok már egyre több területen érezhetőek. Néhány korábban annyira közkedvelt témában, mint az űrutazás például azt hittük, hogy néhány éven, de legfeljebb évtizeden belül űrhajóinkkal fogunk a naprendszerben száguldozni, s a Marson tartós településeink is lesznek. Ehelyett a holdutazások már régen leálltak, s 2011-ben a houstoni űrsikló (space shuttle) program is folytatás nélkül zárult le. A The Economist 2011. június 30-i száma az űrkorszak végéről ír. „Inner space is useful. Outer space is history.” – olvashatjuk. A szűkösség világában csak a kifizetődő, Földhöz közeli pályára állított, többnyire kereskedelmi vagy katonai műholdakra futja. Ennek ellenére a kellően nem tájékozott nagyközönség tudatában még ma is élénken él a növekvő távolságok meghódításának reménye. Nehéz elfogadni, hogy az ember ne tudjon a Holdnál tovább eljutni, netán más bolygóra (más naprendszer bolygóira) áttelepülni, ha már kellően tönkretettük saját lakhelyünket, a Földet. Irreális sci-fi regényeken túl sajnos erre semmi esélyünk sincsen, ha komolyabban számításba vesszük a távolságokat és az energiaigényt. Ez utóbbi kapcsán gyakori az a tévhit, hogy ha a Föld vonzásköréből kiszabadulunk, energia befektetés nélkül utazhatunk az űrben. Valójában a súlytalanság állapota nem azonos a gravitáció hiányával, mint a hogyan egy szabadesésben zuhanó repülőgépből sem a gravitáció hiánya miatt érezzük súlytalannak magunkat. A Föld vonzása sem szűnik meg, s a többi égitest, főleg a Nap gravitációs erejét is számba kell venni az ellentétes irány esetén. A Világűr, mint jövőbeli lakhely, vagy akárcsak erőforrás csábító, de valószínűtlen lehetőség (Murphy 2011a,b).

Űrutazás nélkül még nem lennénk komoly bajban. Sajnos azonban ennél sokkal életbevágóbb gondok is bőven akadnak. Fogyóban van az ivó- és öntözővíz, a termőtalaj, az élelem, egy sor ásványi anyag (különösen a foszfátok) a már említett fosszilis energiaforrások mellett. E komoly problémákat tovább tetézi az emberiség létszámának megnégyszereződése a legutóbbi száz évben, ezzel együtt bolygónk elszennyeződése, s az egykor mindent gazdagon beborító, változatos élővilágának pusztulása. Mindez egyértelműen jelzi a további növekedés korlátait, amely növekedés egyébként eddig sem hozta meg az éhezés és nyomor megszüntetését. Ennek tudomásul nem vétele válságok sorozatát, súlyosabb esetben az összeomlást eredményezheti.

Az ezredfordulóval lezárulni látszik egy korszak, az olcsó energia és bőséges erőforrás kora. Az anyagi tekintetben korlátok közé szorított új korszak neve (a geológiai időskála „Antropocén”-jétől eltekintve) még bizonytalan. Egy 1967-ben megjelent best-seller könyvben (J. Servan Schreiber: The American Challenge) az egyébként francia szerző jövőképe még a neoliberais gazdasági szemlélet előtti álmodozó hangulatot tükrözi:

„30 éven belül Amerikában már egy iparosodás utáni társadalom lesz. Hetenként csak négy munkanap lesz napi hét órával. Az évi 13 hét vakációval és a hétvégi pihenőnapokkal együtt 218 szabadnapra és 147 munkanapra számíthatunk.”

Vajon hogyan állunk e téren több mint negyven év elteltével? Egy amerikai székelyű világméretű utazási ügynökség rendszeresen készít felméréseket 20 ország vakációs lehetőségeiről. A 2011-es „Vacation Deprivation Study” szerint az Egyesült Államokban a fizetett szabadság átlagosan évi 14 napot tesz ki, s ebből is csupán 12-t vesznek ténylegesen ki. Ennél rosszabbul a vizsgált országok közül csak Japán (11 nap) és Dél Korea (10 nap) áll. Összehasonlításként a dánok, spanyolok, franciák, brazilok és németek több mint kétszer ennyi, évi 30 nappal rendelkezhetnek, s a németek kivételével ezt mind ki is veszik.

A huszadik századi munkaidő csökkenési trend a globális versenyben megfordulni látszik. Sok ember világszerte még a pihenőnapjait is kemény munkával tölti, a kiélestedt verseny és/vagy a munkanélküliség veszélyérzete miatt. Még a tudományos kutatás világában is kísért a „publish or perish” (publikálj vagy tűnj el) szelleme. Nem a Servan Schreiber szerint elképzelt irányba megy tehát a világ. Akkor merre? Vagy merre kéne mennie?

A növekedés-mániában szenvedő emberiség nem találja, és sokszor nem is keresi a helyét a földi bioszférában. Urbanizálódott fajunk nem tudja felfogni és elfogadni, hogy csak a Nagy Földi Rendszerbe illeszkedve van esélye a tartós fennmaradásra. Emiatt válságok sora vesz minket körül: társadalmi, gazdasági és környezeti válság. Vagy sikerül e válságból megújulva kijutni, vagy összeomlás a jövőnk.



## Hármas szorításban az emberiség

Az emberiség az ezredforduló után egyre erősödő globális válságba jutott. A kialakult helyzetért csak magunkat okolhatjuk, s ennek megfelelően a megoldást is nekünk kellene megtalálni. A helyzetet súlyosbítja a bibliai Babel tornyának történetéhez hasonló szituáció. Gazdasági, technikai, tudományos és politikai „szak”-emberek tömege igyekszik javítani a helyzeten, s ki-kí a maga területén talál is erre lehetőségeket, ám ez a rendszer egészébe integrálva működésképtelen vagy még rosszabb helyzetet teremt, mivel nem értjük más szakterületek nyelvét és gondolatvilágát. Mindemellett az a különös helyzet kezd kialakulni, hogy egy intelligens laikus sokszor jobban átlátja a dolgok lényegét és összefüggéseit, mint egy szűkebb szakterület kiváló tudósa. Ugyanakkor egy nagy ívű, átfogó érvelésben a szaktudós a saját szakterületét érintő rész kérdésekben nagy valószínűséggel talál kisebb-nagyobb hibákat, melyek alapján az egész érvelés hitelét veszítheti (Vida 1997, 2008).

E nehézségekből adódó kockázatokat vállalva vessünk egy pillantást a 15. ábrára.

Az emberiség jelenleg a társadalmi, gazdasági és környezeti válsághalmazok fenyegetően növekvő szorításában van. Bármelyik válság-összetevő részprobléma kezelése húzza magával a többit is. A teljesség igénye nélkül, csupán néhány kiemelt példa alapján is láthatjuk a gondok ijesztő nagyságát. Az okok háttérében kivétel nélkül az ember, konkrétan e faj természettudományos nevével ellentétes (Homo sapiens = bölcs ember) viselkedése áll. Önzés, tájékozatlanság és rövidlátás akadályozza a tartós beilleszkedésünket egy fenntartható bioszférába (Vida 2001).



15. ábra: A globális fenntarthatósági válság összetevői egymást erősítve növelik a gondokat (A felsorolás nem teljes.)

Hasonló megállapításra jutott az a mélyebb okokat kereső, öt szervezet (NGO) által létrehozott munkacsoport is, mely számos korábbi tanulmány alapján állított össze egy száz oldalas dokumentumot „Common cause” (közös ok) címen (Compton 2010): „...ahogyan e kihívások nagyságát és kezelésük növekvő nehézségeit érzékeljük, egyre inkább szakterület-specifikus taktikákban bízunk, melyek viszont gátolják a szükséges rendszeres korrekciók és tartós megoldások létrejöttét.”

Mindezeket szem előtt tartva a „hármasszorítást” vegyük röviden egyenként szemügyre.

### *Válságban az ember és társadalma*

Fajunk sok ezer évben mérhető története során sokszor és sokhelyütt került már válságba. Ezek során kultúrák és birodalmak omlottak össze belső, külső vagy ezek együttes okai miatt (Diamond 2000, 2007). Az okok elemzése tanulságul szolgálhat(na) a jelen társadalmak számára is. Sajnos az utóbbi évszázadok sikertörténetei elbizakodottá tettek minket. A válság kezelését sokszor csak a többféle módon értelmezhető „fenntartható” jelző hozzábiggyesztésével véljük megoldottnak. E jelzőszó látványos elszaporodása az utóbbi években mutatja a gond nagyságának társadalmi érzékelését (Láng 2010), ugyanakkor meggondolatlan használatával „gumifogalom” vált, amit mindenki a saját igényének megfelelően alakít (Keiner 2006).

Fenntartható társadalmon nem valamiféle ideális állapot vég nélküli befagyasztását, hanem a társadalom egésze számára kedvező működőképesség tartós megőrzését értjük, ami állandó változást, alkalmazkodást, rugalmasságot (rezilienciát) jelent. Ennek eléréséhez, szerényebben szólva az ehhez tartó közelítéséhez alapvető változásokra lenne szükség. Az első ezek között a korlátok tudomásulvétele. Az emberiség létszáma és fogyasztása bolygónk véges lehetőségeivel határolt.

Minden élőlény magában hordja a robbanásszerű exponenciális szaporodás képességét. Egy félóránként kettéosztódó baktérium egy óra után 4, két óra elteltével 16, öt óra (tíz félóra, tíz kettőződés)  $2^{10} = 1024$  utódot hozhat létre, kedvező körülmények között. A parlagfű egyetlen magjából kifejlődő növény 10000 új magot termelhet, melyek, ha mind kifejlődhetnének  $10000^2$  azaz százmillió maggal alapoznák meg a következő tenyészidőszakot. Ha az emberi populáció 1980-ban az évi 2%-os növekedési rátát tartotta volna, ezzel 35 évente kettőzödve 2120-ra már 72 milliárdan lennének, s további száz év múlva az 500 milliárdnál tartanánk.

A természetben a fajok populációinak ilyen mértani haladvány szerinti növekedése csak átmenetileg lehetséges. Környezetüknek véges lehetőségei (táplálék, tér, ragadozó, kórokozó, konkurensok, stb.) korlátozzák a további gyarapodást. Ezt legegyszerűbben az alábbi egyenlettel lehet modellezni, melyben  $N$  a populáció pillanatnyi létszáma,  $r$  a fajra jellemző gyarapodási ráta (Malthus-i paraméter), míg  $K$  jelöli az élőhely eltartó képességét (telítési szintet):

$$dN/dt = rN[1-N/K]$$

Az egyenletből leolvasható, hogy az  $rN$  szorzat, melyben az exponenciális növekedés fejeződik ki (a pillanatnyi létszám egy konstans rátával folyamatosan növekszik) egy „fékkel” van ellátva. Ha a létszám a telítési szinttől még messze van ( $N \ll K$ ), az  $N/K$  hányados csaknem nulla, így a szegletes zárójel értéke sem sokkal kisebb egynél, s ezzel a „fék” képletesen szólva „alig fog”. A létszám növekedésével a hányados értéke is nő, s a  $K$  értékét elérve a növekedés leáll.

A korábban már említett időelcsúszás lehetősége folytán előfordulhat, hogy a növekedés az eltartó képességi szintet elérve még tovább folytatódik (mivel ez esetben az  $N/K$  hányadosban nem a pillanatnyi, hanem egy korábbi  $N$  értéke van). Ennek hatására a fék később fog. Idővel azonban a növekedés csökkenésre vált, s ezzel a létszámot most a telítési szint alá viszi. A gyarapodási ráta és az időelcsúszás nagyságától függően csillapodó vagy gerjedő hullámzással halad tovább a folyamat, az utóbbi esetben az  $N = 0$  értékhez (kipusztulás) vezetve.

Az eltartó képességi szint túllépése azonban gyakran azt eredményezi, hogy az élőhely túlhasználata miatt degradálódik, s ezzel egy alacsonyabb telítési szint lesz. Sorozatos létszám-túllépés így előbb utóbb szintén kipusztulást eredményez.

Az emberiség a vadászó-gyűjtögető életmód mellett néhány tízmillió létszámával a telítési szint közelében lehetett. A mezőgazdasági termeléssel ezt félmilliárdra emeltük. Az ipari forradalom és a fosszilis energiaforrások segítségével további növekedés volt lehetséges. Az ökológiai lábnyom kalkulációk azonban arra figyelmeztetnek, hogy az 1970-es évek végén, az akkori alig 5 milliárdos lélekszámmal elértük, s mára túlléptük Földünk eltartó képességét (Wackernagel et al. 2002). A túllövésből következő romló ökoszisztéma-szolgáltatások pedig azt eredményezhetik, hogy még a mai agrotechnikai lehetőségekkel (gépesített és kemizált iparszerű mezőgazdaság) is tovább csökken (5 milliárd alá) földi élőhelyünk eltartó képessége. Ha pedig akár az energiaárak, akár a klímaváltozás kedvezőtlen változása is közbeszól, a  $K$  értéke ijesztő módon már az egymilliárd felé tarthat. Emlékeztetőül: 2011-ben hét milliárdan voltunk, s a demográfusok további 2-3 milliárdnyi növekedést jósolnak.

Tovább növeli a gondokat a növekvő fogyasztás és ennek szélsőséges földrajzi és társadalmi eloszlása. A növekvő fogyasztással környezetünknek szinte minden eleme romlik. A fogyasztás általános csökkentése a fogyasztói társadalomban elképzelhetetlen. Ennek ellenkezőjére buzdít minden média a reklámok tömegével. Állítólag ebből tartja el magát. A fogyasztás csökkenése a jelenlegi rendszerben ráadásul a gazdaság válságához, az adóbevételek visszaeséséhez, ezen keresztül közjóléti kiadások visszafogásához és munkanélküliséghez vezet.

Ki kellene valahogyan szállni ebből az ördögi körből. Ehhez az első lépés pénzügyi megújulásunk megszüntetése, s a nem anyagi jó élményének, köztük az emberi közösség, a társas kapcsolatok újrafelfedezése lehetne. Mindezt egy olyan világban kell elérni, ahol a korábbi egymást segítő, önfeláldozó emberképet egy önmegvalósításért versenyben törető, „kitörési pontokon” keresztül elért sikertörténeti „celebekre” váltottuk (16. ábra).

## Ez van...

**Anyagiasság  
Individualizmus  
Önzés  
Versengés  
Pénzimádat  
Mohóság  
Irigység  
Önhittség  
Beképzelttség**



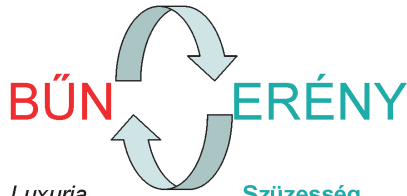
16. ábra: Korunk jellegzetes sikeres emberképe

David Korten a neoliberális közgazdaságtan nálunk is ismert kritikus (Korten 2006) így jellemzi a helyzetet a „Greed is not a virtue” (Mohóság nem erény) című internetes újságcikkében (Yes! Magazine, 6. April, 2011):

*„Évezredekken keresztül az emberiség legdicsőítettebb tanítói azt hirdették, hogy akkor működik legjobban a társadalom, és mi mindannyian akkor örülhetünk a beteljesülésnek, ha kapcsolatainkban megosztók, együttműködők és becsületesek vagyunk. Az utóbbi néhány évtizedben azonban ezt az igazságot erőszakosan kérdőjelezi meg egy piaci fundamentalizmusnak nevezett hit, egy erkölcstelen, tényekkel ellentétes gazdasági ideológia, amely magát a modern államvallás rangjára képzei emelni. Hívei a pénzistent imádják, tőzsdék és globális bankok a templomaik. Azt hirdetik, hogy ki-ki akkor teszi legjobban a dolgát, ha személyes pénzügyi nyereségének maximálását keresi, másokra való tekintet nélkül.”*

Hogy a fenti sorok kemény fogalmazása valóban mennyire helytálló, bizonyítja a 17. ábrán bemutatott értékrend váltás. A hagyományos keresztény értékrend hét főbűne olyannyira a sikeresség eszközévé vált, hogy egy „Prosperia Mephisto” nevű cég az interneten kedvező befektetési lehetőséget (Mephisto sin-vestment) kínál e főbűnök mindegyikére.

E bűnöket a keresztény hagyományban azért tartották veszélyesnek, mert bár önmagukban nem tűnnek komoly bűnnek, gyakorlójukat további nagyobb bűnök elkövetésére csábítják. A régi erények, ha ma még nem is bűnök, a versengő társadalomban hátrányt jelentenek, míg a bűnök a siker elismert eszközei lehetnek. Gondoljuk csak



<b>Bujaság</b>	<i>Luxuria</i>	<b>Szüzesség</b>	<i>Castitas</i>
<b>Falánkság</b>	<i>Gula</i>	<b>Mértékletesség</b>	<i>Temperantia</i>
<b>Mohóság</b>	<i>Avaritia</i>	<b>Jótekonyság</b>	<i>Caritas</i>
<b>Restség</b>	<i>Acedia</i>	<b>Szorgalom</b>	<i>Industria</i>
<b>Haragvás</b>	<i>Ira</i>	<b>Béketűrés</b>	<i>Patientia</i>
<b>Irigység</b>	<i>Invidia</i>	<b>Szívesség</b>	<i>Humanitas</i>
<b>Kevélység</b>	<i>Superbia</i>	<b>Alázatosság</b>	<i>Humilitas</i>

**17. ábra: A hét főbűn és erénybeli megfelelője. Napjainkban a bűn és az erény felcserélődése folyik**

meg, a pályázatok világában mire menne ma egy tudományos kutató az alázattal és szerénységgel. Sikert a manipulált szcientometriás mutatókkal, öndicsőítéssel hamarabb lehet elérni.

Az emberi tényező és annak társadalmi szövevénye számos további ponton érdemelne részletesebb kifejtést. Ezek mindegyike közvetve vagy közvetlenül a korunk értékrendjével, ezen belül a túlzott materializmussal és individualizmussal valamint a korlátok tagadásával kapcsolatos. Fontos tudni, hogy e tulajdonságok nem megváltoztathatatlan, génjeinkben kódolt bélyegek, nem a félremagyarázott „véres foggal és karmokkal” vívott darwini szelekció evolúciós termékei. Emberré válásunk során éppen az együttműködő közösség beszéddel megnövelt fölénye volt a meghatározó. Napjaink abnormális „versenyszellemével” pont ez az emberi kapcsolatrendszer sérül (Csányi 1999, 2011).

A már említett „Common cause” dokumentum (Compton 2010) is ezen értékek megerősítését tartja kiemelten szükségesnek, hangoztatva, hogy az emberi prosperálás az egymással és a természettel kialakított jó kapcsolatrendszeren múlik. (Ugyanerre a következtetésre jut hazai tanulmányai alapján Andrásfalvy 2007 is – egy harmadik fontos kapcsolattal, Istennel kiegészítve.) Ezzel szemben manapság az embert csupán fogyasztónak és „humán erőforrásnak” tekintik. De ez már a következő válságköteg, a mai profitéhes gazdaság mindent eláruló terminológiája.

A fosszilis energiaforrásoknak köszönhetően a legutóbbi 2-3 évszázadában csodálatos gazdasági fejlődésen mentünk keresztül. Ám ahogyan ezt a korábbi fejezetekben láthattuk, a bőséges és olcsó energiaforrás fogyása rendkívüli kihívás elé állítja korunk gazdaságát. Számos szerző szerint az emberiség eddigi legnagyobb próbatétele előtt áll. Bár nagyon sokáig nem akartuk tudomásul venni, az olajcsúcs (peak oil) és „minden csúcs” (Heinberg 2011) itt van a nyakunkon. Az átállást az új energiaforrásokra már korábban is nagyobb arányban kellett volna megvalósítani (tekintettel a roppant jelentős idő és infrastrukturális beruházás igényre), de sajnos a piac vezérelte világgazdaságban ehhez meg kellett várni az olaj árának ötszörösödését. Csak így „versenyképes” az új, megújuló alternatíva.

2008 második felében a hordónkénti olajár az ezredforduló idején jellemző húsz dollár körüli értékről 147 dollárra nőtt, s kitört a világválság, alapjaiban rázva meg az uralkodó közgazdasági szemléletet. A közvetlen ok a bankok mohóságtól hajtott felelőtlen pénzügyi akciói voltak ugyan, de alaposabb elemzésekből kiderül, hogy a háttérben az energiaár növekedéséből adódó általános drágulás állt (Jackson 2009, Vida 2009b, Grantham 2011a, Rifkin 2011). Bár a 2008-as kiugró olajár emelkedés mögött a spekuláció és szolgáltatói kapacitás-problémák is voltak, mindezek az évek óta növekvő erőforrás és környezeti gondok tetején jelentkeztek, mint az utolsó csepp a már teli pohárban. Az igazi ok a növekedés korlátlanágának hite és gyakorlata volt. Ebből az is következik, hogy az az elképzelhetetlenül nagy mentőcsomag, a 7 billió (7.10<sup>12</sup>!) dollár, amit az adófizetők pénzéből a bajbajutott bankok segítségként kaptak, csak ideiglenes megoldás lehet.

A növekedés anyagi (erőforrási) és környezeti hatása volt az alapvető ok a válságban, írja Tim Jackson (2009) könyvének „The age of irresponsibility” (a felelőtlenység kora) fejezetének végén:

*„A felelőtlenység kora az anyagi világ korlátozottságát hosszú távon negligálja. Ez a vakság egyértelmű mind a pénzpiac szabályozásában, mind a természeti erőforrások védelmének és az ökológiai károkozás megakadályozásában. Ökológiai eladósodásunk éppoly tarthatatlan, mint a pénzügyi. Egyiket sem számítjuk fel megfelelően a fogyasztás folytonos hajszolásában.”*

*„A növekedés védelmére készek vagyunk eltérni, sőt vállalni ormóttan pénzügyi és ökológiai terheket, azt gondolva, hogy ezek szükségesek a biztonságunkhoz és az összeomlás elkerüléséhez. De hosszabb távon ez sosem volt fenntartható. A pénzügyi válság azt mutatja, hogy még rövid távon sem az.”*

*„Az az igazság, hogy gazdaságunk még pénzügyi értelemben sem fenntartható. Ezért a válság olyan kezelése, amely a status quo helyreállítását célozza mélyen félrevezető és kudarcra van ítélve. A jelen boldogulása semmit sem jelent, ha ezzel aláássuk azokat a feltételeket, amelyekről jövőbeli boldogulásunk függ. És a 2008-as pénzügyi összeomlás egyetlen legnagyobb üzenete, hogy a jövő már itt van.”*

A kapitalizmus a fenntarthatóság vonatkozásában számos gyenge ponttal rendelkezik – írja egyik cikkében a neves befektető Jeremy Grantham (2011b). Ezek közül az egyik legkritikusabb hibája, hogy a közlegelő tragédiáját (ld. Vida 2001) képtelen kezelni. (Erre utal a tengerek túlhalászása és a klímaváltozás.) A másik, hogy egyszerűen ignorálja a természeti erőforrások végességének tényét, az árképzésnek egyedül a rövid távú kínálat és kereslet az alapja. Általánosabban, nagyon magas diszkont rátája miatt a modern kapitalizmus a távolabbi jövőben jelentkező károk anyagi árát teljesen figyelmen kívül hagyja. A globális felmelegedés, a fokozódó klimatikus instabilitás és különösen a nyersanyagforrások kimerülése, melyekkel unokáink lesznek kénytelenek szembesülni, a standard kapitalista mérlegelésekben nem szerepelnek.

„Ha a kapitalizmus eredményességét az idő horizontja mentén vizsgáljuk, úgy látom briliáns rövid távon, de elvész, irreleváns, vagy éppen nyilvánvalóan veszedelmes a hosszú távon” – állapítja meg Jeremy Grantham (2011b). Ennek ismeretében nem csoda, hogy Tim Jackson (2009) is hiába ajánlotta frissen kiadott munkáját az akkor éppen Londonban tanácskozó G 20-as vezetők figyelmébe.

A hazai Országgyűlés által életre hívott Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács egyik 2009-es ülésén magyarrá fordítva olvasta fel e sorok írója Jackson szinte könyörgő előszavát, mérsékelt sikerrel. Sem itthon sem másutt a kormányok nem akarják vagy nem merik vállalni a tudatosan nem-növekvő gazdaság (steady state economics, Daly and Farley 2004) irányába történő elmozdulást, hiszen ezzel könnyen saját bukásukat alapoznák meg a rövid távú kedvezőtlen anyagi hatások miatt. A növekedés erőltetése ma is a fő cél. A válságból máig nem sikerült kilábalni, s a véges lehetőségek miatt ez legfeljebb csak átmenetileg lesz lehetséges egy szabadpiacban versengő, adósságcsapdában vergődő, növekedéskényszeres globalizált világ gazdaságban.

Tim Jackson előszavának tömör helyzetértékelését érdemes szó szerint idézni:

*„Mindegyik társadalom ragaszkodik saját mítoszához. A mi mítoszunk a gazdasági növekedés. Az utóbbi ötven évben a növekedés hajszolása volt az egyetlen legfontosabb politikai cél világszerte. A globális gazdaság ötszörösére nőtt, s ha ilyen iramban folytatódna 2100-ra nyolcvanszorosára nőne.*

*A globális gazdasági tevékenység ilyen rendkívüli felgyorsulása példa nélkül áll történelmünkben. Ez ellentétben áll véges forráskészleteinkről és a minket fenntartó törékeny ökológiai rendszerről alkotott tudományos ismereteinkkel. És valóban, már együtt is járt e növekedés bolygónk ökológiai szolgáltatásainak 60%-os károsodásával.*

*E számok realitásáról többnyire nem veszünk tudomást. A tévhit szerint az átmeneti krízistől eltekintve a növekedés folytatódni fog a végtelenségig. S nem csupán a legszegényebb országokban, ahol a jobb életminőségre kétségtelenül szükség lenne, hanem még a leggazdagabbakban is, ahol az anyagi gazdagság bőségszaruja már alig növeli a boldogságot, és jólétünk alapjait fenyegeti.*

*E kollektív vakság okait elég könnyű megérteni. A modern gazdaság stabilitása szerkezetileg függ a gazdasági növekedéstől. Ha a növekedés elakad, ahogyan ez mostanában bekövetkezett, a politikusok pánikba esnek. Az üzleti vállalkozások a fennmaradásukért*

küzdenek. Az emberek elveszítik munkahelyeiket, sőt olykor otthonukat is. A recesszió spirálja fenyeget. A növekedés megkérdőjelezése örültségnek, idealistának, forradalmi-  
nak tűnik.

*De muszáj megkérdőjelezni. A növekedés mítosza cserbenhagyott minket. Cserbenhagyta a kétmilliárd embert, akik még mindig kevesebb, mint napi két dollárból élnek. Cserbenhagyta a törekeny ökológiai rendszerünket, melytől fennmaradásunk függ. És látványosan kudarcot vallott saját vonalán, a gazdasági stabilitás és az emberek meg-  
élhetésének biztosításában.*

*Napjainkban szembesülünk az olcsó olajkorszak végével, az állandó áremelkedések fenyegetésével (a mostani buborék után), az erdők, a tavak és a termőtalaj degradálódásával, földhasználati, vízminőségi, halászat-jogi konfliktusokkal, és a globális légköri széndioxid-koncentráció stabilizálásának igen fontos kihívásával. Mindezt pedig egy alapjaiban megroppant, kétségbeesetten megújulásra szoruló gazdasággal.*

*Ilyen körülmények között egy visszatérés a szokásos tevékenedéshez szóba sem jöhet. Kevesek jóléte ökológiai degradációra és tartós társadalmi igazságtalanságra alapozva elfogadhatatlan egy civilizált társadalomban. A gazdaság életre keltése létfontosságú. Munkahelyek védelme és újak létesítése abszolút fontosságú. De sürgősen szükségünk van egy új értelemben vett együttes boldogulásra. A tisztesség és jólét melletti elkötelezettségre egy véges világban.*

*E célok elfogadtatása a modern kor politikájában szokatlan, sőt képtelen feladatnak tűnhet. A kormányok szerepe túlzottan kötődik az anyagi célokhoz, és a korlátlan fogyasztói szabadság félreértett víziója járja át. Magának a kormányzásnak a szerepe is sürgős megújulásra szorul.*

*A jelenlegi gazdasági válság azonban kivételes lehetőséget teremt számunkra a változtatáshoz. El kell söpörni a rövid távú gondolkodást, ami évtizedek óta gyötri a társadalmat. Le kell cserélni egy olyan megfontolt politikára, amely kezelni tudja a tartós jólét óriási kihívásának ügyét.*

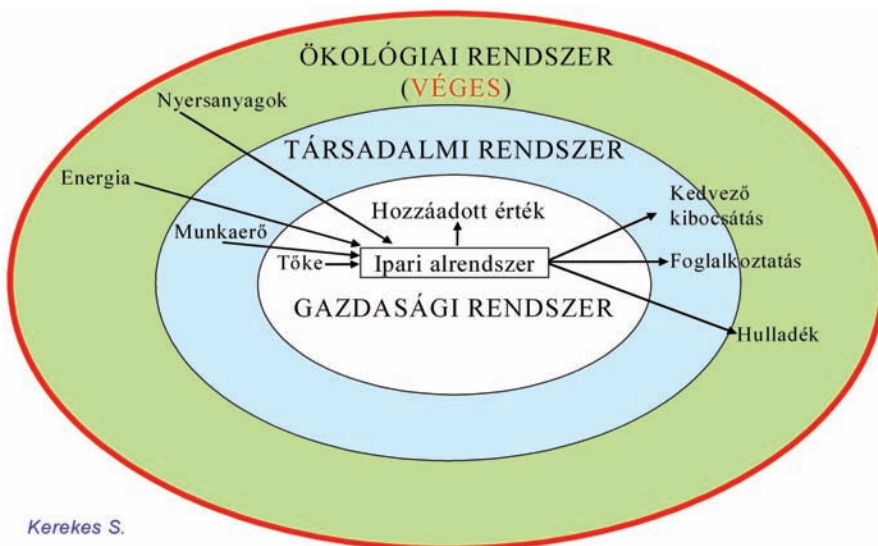
*Végül is, a prosperitás túlmutat az anyagi élvezeteken. Több mint az anyagi vonatkozások. Lényege életünk minőségében, családunk egészségében és boldogságában rejlik. Jelen van kapcsolataink erősségében, a közösségbe vetett hitünkben. Megnyilvánul munkánkkal kapcsolatos elégedettségünkben és a közös célokban és szándékokban. Függ a társadalom életében való aktív részvételünktől.*

*A prosperitás emberként való boldogulásunk képességéből áll, véges bolygónk ökológiai keretein belül. Társadalmunk kihívása ehhez a megvalósítás feltételeinek biztosítása. Ez most a legsürgetőbb feladat.*

*2009. márciusában Tim Jackson"*

A növekedés mindenki által könnyen belátható korlátja Földünk véges ökológiai rendszeréből adódik. A társadalmi és ökológiai rendszerbe ágyazott gazdasági rendszer nem nőhet ezek fölé (18. ábra). Eddigi terjeszkedése is csak az ökológiai rendszer rovására volt lehetséges, aminek viszont minket is érintő kedvezőtlen „mellékhatásai” is vannak, amint azt a következő fejezetben látni fogjuk.





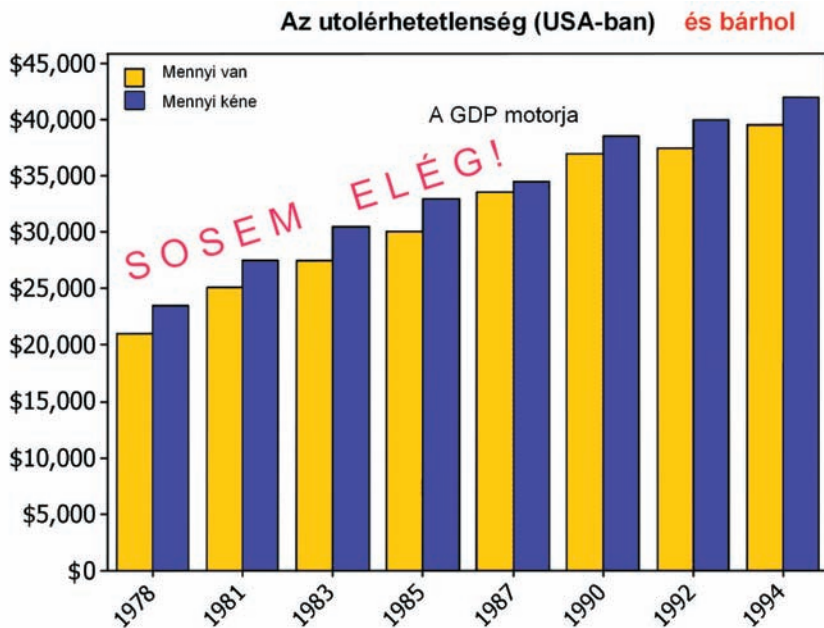
**18. ábra: A gazdasági és a társadalmi rendszerek beágyazottsága a véges, nem növelhető földi ökológiai rendszerbe (Kerekes 2007)**

Állítólag Kenneth Bouldingnak, a neves közgazdász-polihisztnak tulajdonítható az a mondás, hogy aki hisz a folytonos növekedés lehetőségében, az örült vagy közgazdász. Való igaz, hogy a főáramú közgazdászok számára többnyire fel sem vetődik a növekedés leállításának szükségessége. Ellenkezőleg, gyakran azzal érvelnek, hogy amíg az emberek százmilliói éheznek, erkölcstelen dolog a leállásról beszélni. Sajnos a tény az, hogy a legutóbbi fél évszázadban az éhezők száma nem csökkent, sőt növekedett. 2009-ben már az egy milliárdot is meghaladta, miközben a gazdaság GDP-ben mért teljesítménye intenzív növekedéssel csaknem megötszöröződött.

Gazdasági növekedésre a fejlődő országok legtöbbszörében valóban szükség lehet, de nem olyan módon, hogy az egy főre jutó GDP értékét egy néhány százaléknyi gazdag réteg húzza fel, míg a többség nyomorban tengődik. A fejlett országok további növekedése ugyanakkor azért veszedelmes, mert nemcsak tovább növeli a már amúgy is túl nagy ökológiai lábnyomunkat, de újabb utolérendő (vagy elérhetetlen) célként frusztrálja a fejlődőket. Elégedettségünk ugyanis többnyire viszonyítási kérdés országok között és országon belül egyaránt (19. ábra).

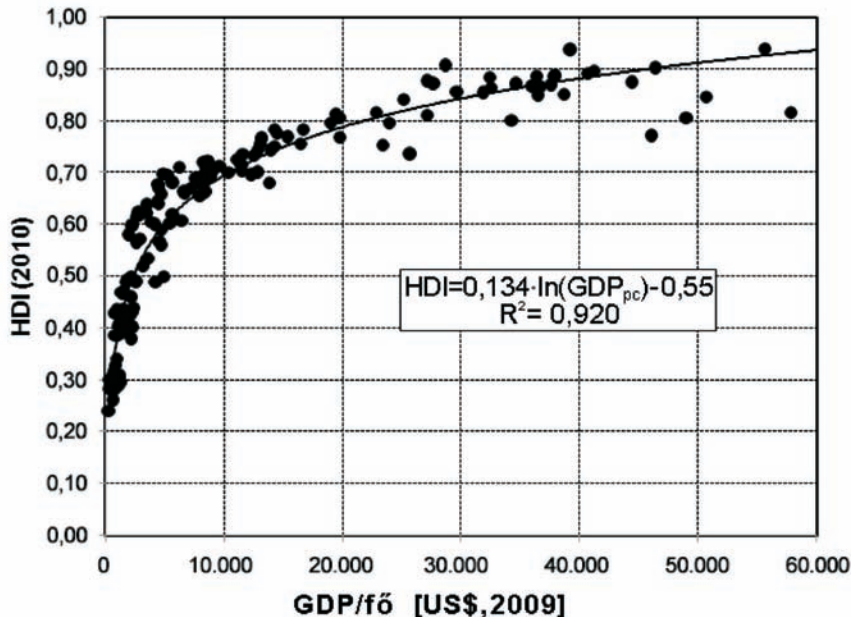
Érdeemes megjegyezni, hogy legtöbb olyan jóléti (pontosabban jól-léti) mutató, melyben az egészséges, boldogabb élet elemeit is igyekeznek figyelembe venni, a jövedelemmel csak egy kezdeti szakaszban mutat meredek növekedést. Az alapvető igények kielégítése után a további növekedés már nem jelent nagyobb boldogságot (20. ábra).

A gazdasági növekedés kényszere mögött a kamatozó pénz hatása van. Növekedni kell, hogy a befektetés kamattal együtt megtérüljön. Ha nincs növekedés, gyakran leépítés



**19. ábra: Egy amerikai felmérésben az éves átlagjövedelem (sárga oszlop) 16 éves növekedését látjuk**

Mindegyik alkalommal azt is megkérdezték, hogy mennyi jövedelemmel lennének elégedettek (kék oszlop). Bár a következő időszakban ezt már többnyire elérték, az igény tovább növekedett (Schor 1999)



**20. ábra: Az emberi fejlettségi index (HDI = Human Development Index) összefüggése az egy főre jutó GDP-vel (2009-es US dollárban) 150 ország adatai alapján**

A HDI-ben a születéskor várható életkor, az iskolázottság és a jövedelem alapján kalkulált érték. Forrás: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/HDI\\_GDPpercapitaPPP.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/HDI_GDPpercapitaPPP.png)

vagy csőd a következmény. Szerencsére azonban ez nem szükségszerű. A beruházások értelmes és hosszabb távú megtervezésével, munkaidő-csökkentéssel alapvető rendszerváltás nélkül is fokozatosan lassuló növekedéssel stabilizálható a gazdaság (Victor 2008, 2010).

A növekedés kedvezőtlen mellékhatásai átmenetileg többféle módon mérsékelhetők. Megújuló energiával, energiahatékonyság növelésével, és az úgynevezett „szétkapcsolással” remélik a további növekedés megvalósítását anélkül, hogy az ökológiai korlátokba ütköznénk. E szétkapcsolás relatív értelemben valóban eredményes. Ennek során például a kedvezőtlen szén-dioxid kibocsátás mennyisége csökkent az egységnyi gazdasági produktumra vonatkoztatva. Sajnos azonban a növekvő termeléssel az összes kibocsátás tovább növekedett, így az abszolút szétkapcsolás még nem működik (Jackson 2009). Ugyanez érvényes az anyagfelhasználásra is. A teljesen anyagtalanított gazdaság elvileg sem létezhet, mivel minden tevékenységhez, még a gondolkodáshoz is szükség van anyagra és energiára. Ettől függetlenül e módszerek a gondok enyhítésében (elodázásában) jelentősek.

Az egész világgazdaság átállása a „megtelt Föld” helyzetre (Beddoe et al. 2009) előbb utóbb elkerülhetetlen, ha nem akarunk egy globális összeomlással szembeülni.

### *Környezeti válságok szövedéke*

Az ezredfordulóhoz közeledve az Egyesült Nemzetek Szervezete felismerve bolygónk ökológiai rendszerében mutatkozó aggasztó jelek fontosságát, nagyszabású felmérést szervezett. Többéves munkával, 1360 tudós közreműködésével 2005-re el is készült a „Millennium Ecosystem Assessment” (Ezredforduló Ökoszisztéma Értékelés) jelentése. A jelentés hangsúlyozza, hogy az emberiség a legutóbbi ötven évben korábban sohasem tapasztalt mértékben változtatta meg az ökológiai rendszereket. Ennek oka főleg az élelem, édesvíz, fa, rost és tüzelőanyag iránti megnövekedett kereslet. Következése pedig egy lényegében visszafordíthatatlan veszteség a Föld biodiverzitásában.

Ezek a változtatások ugyan jelentősen növelték jólétünket és gazdasági fejlettségünket, de ennek ára az ökoszisztéma szolgáltatások degradálódása, a váratlan változások növekvő kockázata, és egyes embercsoportok súlyosbodó szegénysége lett. Ha e problémákkal nem foglalkozunk, a jövő generációkat fosztjuk meg az ökoszisztéma szolgáltatások előnyeitől.

A jelentés megállapítja, hogy az ökológiai rendszerek szolgáltatásai tovább romolhatnak századunk első felében, és megakadályozhatják a Millenniumi Fejlesztési Célok megvalósítását. (A Millennium Development Goals elnevezésű program célja 2015-ig az extrém szegénységet felszámolni, valamint a járványokat, gyermekhalandóságot és az elmaradottságot csökkenteni.)

Összegezőként leszögezi, hogy

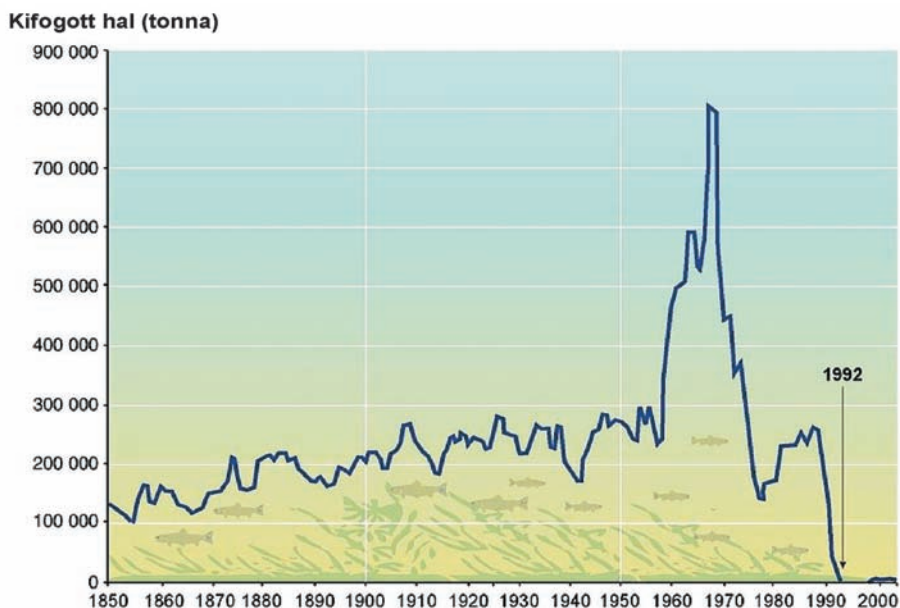
***„... az emberi tevékenységek kifosztják a Föld természeti tőkéjét, oly terhet róva a környezetre, hogy bolygónk ökológiai rendszerében már kérdésessé válik a***

***jövő generációk fennmaradása. Az ökológiai rendszerek degradálódásának megállítása, sőt javítása a szolgáltatás megtartása mellett bizonyos körülmények között megvalósítható lenne, de ehhez olyan politikai, intézményi és gyakorlati változtatások szükségesek, amelyeknek ma még nyomát sem látni.”***

Néhány ténytet külön is érdemes megemlíteni az igen részletes felmérésből. A természeti javak emberi jólétre gyakorolt hatása számos vonatkozásban csökkenőben van. Ennek legmegdöbbentőbb példája a tengerek halállományának romlása, egyes fajok esetében pedig teljes összeomlása (21. ábra).

Kanada keleti partjainál (New-Foundland) a tenger közismerten gazdag volt tőkehalban. Az 1950-es évek végéig a helyi halászat és időszakos kereskedelmi halászflokkok kissé növekvő hozamban gazdálkodtak vele. Ezt követően egy új módszerrel, a tengerfenék hálózásával háromszorosára nőtt a kereskedelmi halászati fogás, ami ellen Kanada 1977-ben a kizárólagos halászati zónájának kiterjesztésével válaszolt, nemzeti kvótával szabva magának is határt. A kvóta azonban így is soknak bizonyult, s a tőkehalállomány csaknem kipusztult. A kereskedelmi halászatra 1992-től teljes moratóriumot jelentettek be. Hat éves szünet után, 1998-tól a helyi, kisebb mértékű halászatot engedélyezték ugyan a partközeli vizekben, de a halállomány nem regenerálódott. A Millennium Ecosystem Assessment e történet kapcsán is felhívja a figyelmet arra, hogy a természeti erőforrások fenntartható használatát csak a helyben és felelősséggel gazdálkodók képesek megvalósítani.

A természeti javak és ezen belül különösen a biodiverzitás túlhasználata olyan fontos ökológiai szolgáltatásokat is meggyengített, mint a levegő és a vizek tisztítása,



**21. ábra: Az atlanti tőkehal állomány összeomlása a halászati statisztikák alapján nyomon követve (Millennium Ecosystem Assessment 2005)**

természeti katasztrófák mérséklése és gyógyszer alapanyagok nyújtása. Látnunk kell, hogy az élővilág változatossága nem csak a közvetlen anyagi jólétünket szolgálja. A biodiverzitás hozzájárul a biztonságunkhoz és rugalmasságunkhoz, a társadalmi viszonyokhoz, egészséghez és cselekedeteink megválasztásának szabadságához is – írja a dokumentum.

A biodiverzitás csökkenésének legfontosabb tényezője az élőhelyek megszüntetése vagy átalakítása. Ilyenek a földhasználat változtatás, folyószabályozás, lecsapolás, tengerfenék halászat, korall-zátonyok tönkretétele, hogy csak a legfontosabbakat említsük. További tényezők a klímaváltozás, szennyezés, a túlhasználat és az idegen, özfajok (invazív fajok) terjedése. A csökkenés megállítása csak a közvetlen és közvetett hajtóerők felismerésével lehetséges. A tudomány ehhez jelentős segítséget adhat a döntéshozók informálásával, de a biodiverzitás jövőbeli sorsa a társadalom kezében van.

A biodiverzitás globális csökkenése a „Rioi Föld Csúcs” óta, azaz hivatalos nevén United Nations Conference on Environment and Development (UNCED, Rio de Janeiro, 3-14 June, 1992) után, az emberiség hivatalosan is elismert gondja lett. Megoldása, azaz a csökkenés megállítása ennek ellenére máig sem sikerült. A 2002-es Rio+10 néven emlegetett következő Föld Csúcson már az Environment (környezet) szó is eltűnt a teljes megnevezésből (World Summit on Sustainable Development, vagy Earth Summit 2002, Johannesburg), s a hangsúly a fejlődés felé tolódott. Az Európai Unió egy évvel korábban (EU kormányfőinek csúcstalálkozóján, Göteborg 2001) példamutatási szándékkal vállalta, hogy 2010-ig saját területén megállítja a biodiverzitás csökkenését. A vállalás teljesítése kudarcba fulladt, így 2011. június 21-én egy újabb határozattal 2020-as határidőt jelöltek meg:

„Az Európa Tanács egy új ambiciózus stratégiát fogadott el a biodiverzitás és az ökoszisztéma szolgáltatások csökkenésének megállítására az EU-ban 2020-ig. Hat fő célterület és 20 akcióprogram segíti Európát céljának megvalósításában. A biodiverzitás veszteség óriási kihívás Európában, mivel minden negyedik fajt a kipusztulás fenyegeti és a halállomány 88%-a mára túlhalászott.” – olvasható az EU hírekben. (<http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/comm2006/2020.htm>)

A részleteket olvasva azonban nem sok újat találunk. Tesszük amit eddig csak jobban, többet, erősebben, stb. – ez más szóval a BAU (Business As Usual), amivel eddig kudarcot vallottunk.

Ugyanilyen szép szavakat olvashatunk az EU országok vezetőinek korábbi (2010. márciusi) nyilatkozatában, vagy világviszonylatban a pár hónappal később Nagoya-ban (2010 október) elfogadott Convention on Biological Diversity nyilatkozatban.

Rosszindulatú gyanakvással arra is gondolhatunk, hogy a vállalásokat aláíró politikusok tudatában lehetnek annak, hogy tíz év múlva a teljesítést már nem rajtuk fogják számon kérni. Még nagyobb baj, hogy a teljesítés nehezen ellenőrizhető, (kipusztultnak csak akkor tekinthetünk egy fajt, ha évtizedek óta nem találjuk) s emellett sokan fel sem ismerik a biodiverzitás alapvető jelentőségét az emberiség jövőjével kapcsolatban. Ezt a hozzáállást mutatja az ökoszisztéma „szolgáltatások” (ecosystem „services”) elnevezés is. Olyan ez, mintha a kölcsönös szeretet helyett a gyerek saját anyjától szolgáltatásokat kérne számon (Vida 2011a).

A megállíthatatlannak látszó biodiverzitás csökkenés alapvető oka, amint erre korábban Czech (2008), újabban pedig Sharman (2009, 2010) az Európa Tanács Kutatási Igazgatóságának biodiverzitási felelőse is rámutat, az az egyszerű körülmény, hogy ez a gazdasági növekedés velejárója. Az emberiség létszámának és igényeinek gyarapodása a véges bioszférában elkerülhetetlenül ehhez vezet. Nehéz ezt tudomásul venni, még nehezebb elfogadni. Az emberek zöme még a mai urbanizálódott világunkban is szereti a természet változatosságát, a biodiverzitást. Más a helyzet, ha választani kell a saját jólét és a változatosság megőrzése között. Legtöbb jó szándékú ember e választást elhárítja, feltételezve, hogy a kettő együtt is megvalósítható. Ezért hozzuk létre az állatkerteket, arborétumokat, botanikus kerteket, nemzeti parkokat és más védett területeket, újabban pedig az *ex situ* és *in situ* génbankokat.

Sajnos a populáció-genetika, az ökológia és a sziget-biogeográfia tudománya felvilágosít minket arról, hogy ezek zöme csak átmeneti megoldást jelent. A bioszféra fenntartható szerveződése (lásd a korábbi 9. ábrát) sérül az egyes szerveződési szintek szegényedésével. Egy faj tartós fennmaradásához legtöbbször több ezres egyedszám szükséges megfelelő genetikai diverzitással, különösen egy gyorsan változó környezetben. Noé bárkája az esetek zömében nem működik. Beltenyésztéses leromlás, genetikai sodródás az alkalmazkodóképesség hiányán keresztül vezet a kipusztuláshoz. A veszteségek sok generáción keresztül elhúzódva jelentkeznek, amit nem is lehet globálisan néhány éves akcióprogrammal megállítani. Hatásuk pedig áttételesen szinte minden környezeti elemre és ökoszisztéma szolgáltatásra kiterjed, alig érzékelhető fokozatossággal folytonosan rontva őket.

A 2010-es évre elérendő biodiverzitás-csökkenés megállításának célkitűzése kudarcba fulladt. Ennek kompenzálására a 2010-es évet a biodiverzitás évévé nyilvánították, újabb konferenciák és csúcstalálkozók, kutatási programok szervezésének lehetőségét teremtve meg, némiképp csökkent lelkesedéssel.

De hát mi mást is várhatunk – kérdi Martin Sharman (2009) elkeseredetten. Mai világunkban legtöbb ember nem is hallott a biodiverzitásról vagy az ökoszisztéma szolgáltatásokról, s azt sem tudja, hogy ezek mit is jelentenek. Az a kisebbség, aki hallott erről valamit, nagy valószínűséggel csak néhány szimbolikus veszélyeztetett fajra gondol (Panda), s egy olyan problémának tartja, ami a távoli területeket, trópusi esőerdőket, korallzátonyokat érinti csupán. Kár, kár értük, de nekünk most fontosabb a napi gondjainkkal törődni – vélik.

Rövidtávú jólétünk – úgy tűnik – mindennél előbbre való. A jövő problémáit oldja meg a jövő generáció. Hosszabb távon mindannyian halottak vagyunk, mondta a neves közgazdász (John Maynard Keynes: „In the long run, we're all dead”). Nem véletlen, hogy a „jövő nemzedék ombudsmanja”, ha van ilyen egyáltalán, kevés kormány számára kívánatos partner.

Sokak véleménye szerint a jólét megteremtése után lesz majd több lehetőségünk a környezettel is foglalkozni. Az ökonometria egyik neves továbbfejlesztőjéről elnevezett Kuznets görbére szoktak hivatkozni, amely szerint a GDP növelésével eleinte a környezetszennyezés is növekszik, majd egy bizonyos szint elérése után csökkenni kezd, egy fordított U betűnek megfelelő módon. A Kuznets görbe sajnos koránt sem általános

érvényű. Még a példaként nyilvántartott esetek egy részében is a környezetszennyezés csupán azért csökkent, mert az ilyen tevékenység „áthelyeződött” valamelyik „toleránsabb” fejlődő országba.

A korábban már hivatkozott Sharman (2009, 2010) szerint a környezet állapotának legjobb indikátora a biodiverzitás. Egyetlen példa sem ismert arra, hogy valamelyik gazdaságilag fejlett országban megfordult volna a biodiverzitás csökkenő trendje. Lassulás is jobbára csak ott következett be, ahol a változatosság legnagyobb része korábban már eltűnt (pl. Benelux államok). A környezet állapotának illetve pusztításának hétféle indikátora alapján pedig Bradshaw és munkatársai (2010) 179 országban a romlás sebességét a GDP korábbi növekedésével arányosnak találták. Felmérésük szerint a környezetre leginkább káros tevékenység rangsorában az első tíz a következő:

1. Brazília,
2. USA,
3. Kína,
4. Indonézia
5. Japán,
6. Mexikó,
7. India,
8. Oroszország,
9. Ausztrália,
10. Peru.

Ha a károsítást az egyes országok saját természeti erőforrásaihoz viszonyították, a negatív „rangsor” a következő volt:

1. Szingapúr,
2. Dél-Korea,
3. Katar,
4. Kuvait,
5. Japán,
6. Thaiföld,
7. Bahrein,
8. Malajzia,
9. Fülöp-szigetek,
10. Hollandia.

A nagyszabású felmérés publikálásának alkalmával adott sajtónyilatkozatban (University of Adelaide, Ausztrália, 2010. május 5.) Bradshaw megállapítja: *„It’s quite striking really – the richer you are, the more damage you do.”* („Ez valóban meglepő – minél gazdagabb vagy, annál több kárt okozol.”) E mondat alapján elgondolkozhatunk környezetünk, s ennek visszahatásával saját magunk hosszabb távú lehetőségein.

A rendszerben gondolkodás még jórészt ismeretlen a közfelfogásban. Nehéz is lenne elmagyarázni röviden a tudományosan már megalapozott tényt, hogy a biodiverzitás csökkenése miként hat az élelmiszertermelésre vagy akár a klímaváltozásra. A bioszféra rendszerében bármely változtatás valamilyen mértékben a többi elemre is hat, ráadásul gyakran váratlan és aránytalan módon. Ki gondolta volna a múlt század közepén, hogy a vegyészek által elfogadottan ártatlannak tartott freon gázok (kloro-fluoro-karbonok, CFC), amelyeket hűtőgépekhez és szóró palackok hajtógázaként alkalmaztak, a földi bioszféra ózonpajzsának tönkretételével fenyegethetnek. Ennek hatása a fokozódó ultraibolya sugárzással a bőrrákos megbetegedések gyakoriságának növekedése lett. S bár e gázok használatát még 1987-ben a Montreali Szerződés betiltotta, az ózonpajzs még azóta sem állt helyre.

A szegény embert még az ág is húzza – tartja a magyar közmondás. Úgy tűnik, ez a biodiverzitásra is igaz. Nem elég, hogy az emberiség kisajátítja a bioszféra termelői kapacitásának csaknem felét, veszedelmes mértékben károsítva annak biodiverzitását, a széndioxid-növelő energiafelhasználásával is jelentősen csökkenti az élővilág változosságát, s ezzel az ökológiai rendszerek szolgáltatásait.

Az egyes fajok génállományukban a jégkorszak utáni viszonylag stabil klímához alkalmazkodtak. Napjainkban ez a klíma változik, méghozzá a geológiai időskálán igen rövid idő alatt. Az élőlények korábbi evolúciós történetük során többször is szembesültek klímaváltozással, amire gyors migrációval és lassabb mikro-evolúciós adaptálódással reagáltak. Az előbbire a lágok iszapjában megőrzött virágpor és spóra maradványok tanulmányozásának tudománya (palinológia), az utóbbira a kísérletes evolúciós ökológia ad számos tankönyvi példát. A jelenlegi klímaváltozás azonban sokkal súlyosabb helyzet elé állítja a fajok többségét. A migrációt akadályok nehezítik, a genetikai alkalmazkodást a meggyengült genetikai diverzitás teheti lehetetlenné, s mindkettőt irreálisan rövid idő alatt kellene megvalósítaniuk.

A francia Wilfried Thuiller (2007) részletes összefoglalóban tárgyalta a klímaváltozás eddigi és lehetséges jövőbeli hatását az élővilág fajaira. Megállapította, hogy ahol a migráció nem ütközik akadályokba, az utóbbi ötven év alatt az eddigi melegedéssel átlag évi 6,1 kilométerrel vándoroltak északabbra (az északi féltekén), vagy hegyvidéken 6,1 méterrel magasabbra a vizsgált fajok. Ahhoz, hogy egy 1 fokos klímamelegedésben hőmérsékletileg változatlan helyet találjon, mindegyik fajnak 160 kilométerrel kellene északabbra, vagy 160 méterrel magasabbra költözni. Az évszázad végére ez a várható klímaváltozás hatására több mint 500 km-t (illetve métert felfelé) jelenthet. Ilyen sebességű migrációra a fajok többsége képtelen. Ebből következik, hogy a vándorlás a táplálékhálózatban összehangolt élőlényközösség együtt nem tudja megvalósítani, ami a hőmérséklet mellett a fajok közötti kölcsönhatásokhoz történő adaptáció szükségességét is igényli. S ha ez még nem lenne elég, ott van az ember által létesített rengeteg akadály. A mezőgazdasági, városi, ipari és közlekedési területek legtöbb faj számára átjárhatatlanok.

Marad tehát a helyben maradás, s ezzel az alkalmazkodás vagy a kipusztulás. Alkalmazkodáshoz genetikai variáció (genetikai diverzitás) szükséges, ami a populáció úgynevezett effektív egyedszámától ( $N_e$ ) függ. A szigetszerűen megőrzött védett területe-



ken ennek értéke gyakran elégtelen. Mindezek fényében jelentős mértékű kipusztulásra számíthatunk.

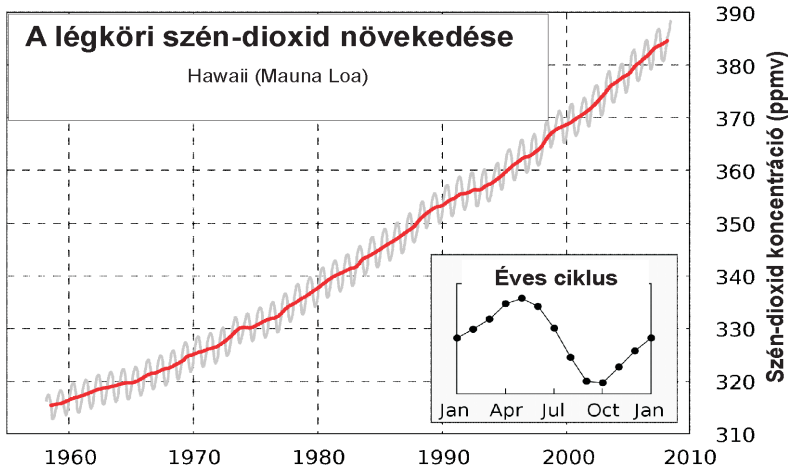
A pusztulási folyamat alattomosan, a láthatatlan genetikai diverzitás lecsökkentésével indul. A németországi Biodiverzitás és Klímakutató Központ (BiK-F) kutatói megállapították, hogy a várható melegedés hatására a vizsgált rovarfajok ötven éven belül mintegy 80%-os fajon belüli genetikai diverzitásvesztést szenvednek el (Bálint et al. 2011). Ennek hatása elhúzódva folytatódik a fajok lassú kipusztulásában. E sorok írója 33 évvel korábban hasonló konklúziókra jutott (Vida 1978), amit akkor az egyik bíráló erősen túlzónak vélt.

Nemrég egy Kaliforniai munkacsoport (Bergengren et al. 2011) olyan modellt szerkesztett (Equilibrium Vegetation Ecology – EVE) amelyben a klímaváltozás hatásait vizsgálhatták a vegetációra. A számítógépes szimuláció eredményeként azt kapták, hogy a szárazföldi vegetáció 49%-ában másféle társulás lesz, mi több, 37%-ban ez biom-váltást is jelent. E modellben nincs akadálya a migrációnak. Hogy ezt a fajok hány százaléka fogja megvalósítani és mennyi fog kipusztulni, azt ebből nem tudjuk meg.

Az élővilág ilyen mértékű átrendeződése nyilvánvalóan az embert és annak gazdaságát is jelentősen érinti. A veszély régóta nyilvánvaló volt, hiszen ennek vizsgálatára alakult meg az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel of Climate Change: IPCC) még 1988-ban, s született meg 1997-ben a Kioto-i Egyezmény (2005-ben lépett érvénybe), melynek hatékonyságára jellemző, hogy eközben napjainkig (2012) a szén-dioxid kibocsátás csaknem 50%-al növekedett.

A gazdasági élet szereplőinek nagyobb figyelmét azonban csak az 2006 októberében kiadott „Stern Jelentés” (Stern 2006) váltotta ki. A jelentés leszögezi, hogy a klímaváltozás egy gazdasági „externalitás” (az ár kalkulációban mellőzött tényező), s mint ilyen a piacgazdaság legjelentősebb csődjének tekinthető. Következései komoly károkat okoznak a világgazdaságnak. Kedvezőtlenül érintik az édesvíz hozzáférést, élelemtermelést, egészségügyet és a környezetet. Megfelelő ellenintézkedés nélkül ennek ára évenként a GDP legalább 5%-át, de lehet, hogy több mint 20%-át viszi el. Mindezt azonban meg lehetne előzni a fejlett országok GDP-jének kevesebb, mint egy százaléki ráfordításával.

A gazdasági élet és a politika döntéshozói nem lelkesedtek a javasolt szén-dioxid korlátozó intézkedésért. Ehelyett megpróbálták az egész klímaváltozás ügyét jelentéktelennek, nem létezőnek, vagy nem az ember által okozottnak beállítani. Az akkoriban közelgő koppenhágai csúcstalálkozóra (UN Climate Change Conference 2009) időzítve ehhez még egy kellően felnagyított „adatmeghamisítási” botrányt is felhasználtak a klímakutatók e-mail levélváltásának feltörésével, melyben a klímaváltozást meggyőzőbben bemutató hőmérsékleti görbék összeválogatása volt kifogásolható. A „munka” meghozta eredményét. A koppenhágai csúcson nem sikerült elérni a várt kötelező megállapodást. A klímaszkeptikusok tábora azonban fogyóban van, mivel a hatás már bőrünkön tapasztalható világszerte az erősödő hurrikánok, katasztrófális árvizek (Pakisztán, Banglades), aszályok (Texas) és szélsőségesen magas hőmérsékletek (Arktikus Kanada) formájában.



**22. ábra: 1958 óta a Hawaii Manua Loa-n folyamatosan mért növekvő szén-dioxid koncentráció**

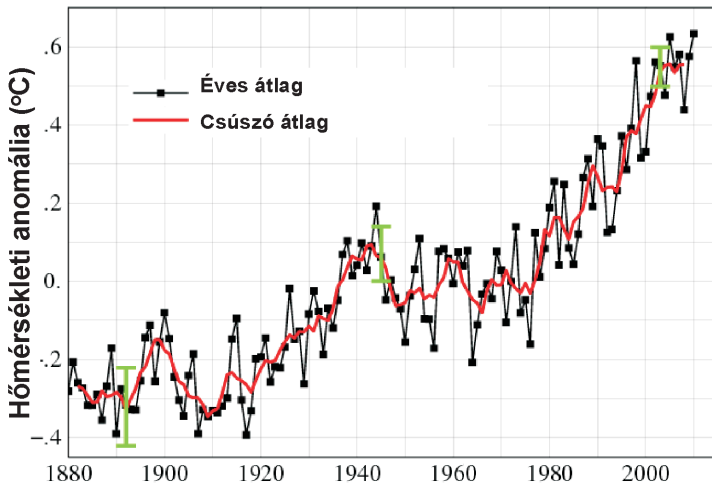
Az évszakos hullámzás (jobb alsó sarokban) a bioszféra fotoszintézisének lüktetése.

Az északi féltekén több szárazföld van, így az itteni nyár hatása dominál.

([http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mauna\\_Loa\\_Carbon\\_Dioxide.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mauna_Loa_Carbon_Dioxide.png) nyomán)

A klímaváltozás tudományos háttere roppant bonyolult a nagy földi éghajlati rendszer összetettsége miatt (Czelnai 2011). Ez adott lehetőséget arra, hogy a rendszerhez csak felületesen értő, kívülálló szkeptikus kritikusok kibúvókat keressenek a nyilvánvalóan kellemetlen szén-dioxid kibocsátást (=energiahasználatot) korlátozó kötelesség nyomása alól. A felelősség azonban óriási, mivel a korlátozás későbbre halasztása visszafordíthatatlan globális katasztrófát eredményezhet (Hansen 2010), míg az esetleg szükségtelennek bizonyuló korlátozás, csak az amúgy is fogyó fosszilis készletek megtakarítását hozná. A klímaváltozás elmaradása vagy megtorpanása pedig a klimatológia tudományának legjobb értőit tömörítő IPCC szerint roppant valószínűtlen. Aki e kérdésekkel bővebben szeretne foglalkozni, annak először Tom Murphy (2011) egyszerű számolásával, majd Weart (2008) elektronikusan is hozzáférhető részletes könyvével kell megismerkednie. Magyar nyelven ajánlható Czelnai (2011a,b) cikke és beszélgetése. Ehelyütt csupán néhány fontosabb tényre szorítkozunk.

A bioszféra történetének tárgyalása során már láttuk a szén-dioxid óriási szerepét bolygónk hőmérsékletének alakulásában. Emlékezzünk, Napunk milliárd éves skálán növekvő sugárzásának kompenzálása a légkör szén-dioxid szintjének csökkentésével valósulhatott meg. A legutóbbi félmillió évben ennek értéke 180 és 300 ppm között váltakozott, a hideg glaciális szakaszokban az alacsony, a meleg interglaciálisokban a magas értékekkel. Az ipari forradalom előtt ez 280 ppm volt. A fosszilis energiaforrások használatbavételével egyre fokozódó mennyiségben kerül szén-dioxid légkörünkbe, melynek felét a bioszféra (főleg az óceánokkal) elnyeli, míg a többi egyre növekvő mennyiségben halmozódik (22. ábra). E sorok írásakor már 391 ppm-nél tartunk. Ilyen magas érték sohasem volt a Föld légkörében a legutolsó 2 millió (de lehet, hogy 10 millió) évben.



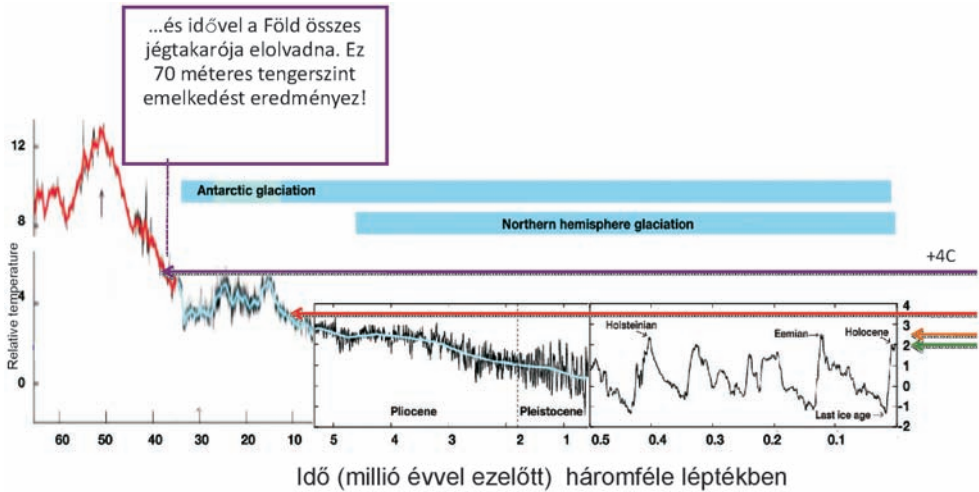
**23. ábra: A Föld teljes felszínének műszeresen mért adata sorja egyértelműen mutatja bolygónk melegedését (Hansen 2011)**

A baj az, hogy még nincs megállás. 2010-ben (jelenleg ez az utolsó feldolgozott év) rekord mennyiségű szén-dioxidot termeltünk (33,5 Gt CO<sub>2</sub> a fosszilis energiaforrásokból, mely az erdőirtásból és földhasználat váltásból eredővel együtt már 36,8 Gt CO<sub>2</sub> – <http://co2now.org/>). Közel 6%-al többet, mint az előző évben! Vészesen közelítünk az IPCC által kritikus szintnek tartott 450 ppm felé.

E növekvő CO<sub>2</sub> kibocsátás megdöbbsentette a kutatókat. Ez ugyanis meghaladta az IPCC legutóbbi (2007) jelentésében tárgyalt „worst case scenario” (legrosszabb eset) feltételezését is, amely mellett 4 fokok (2,4 és 6,4 között) melegedés várható. Az IPCC szerint 2 fokok emelkedés felett a katasztrófális mértékű változások lehetősége jelentősen megnő, ezért javasolták a légköri 450 ppm határt. Ennek betartásához viszont már most kellett volna csökkenteni a szén-dioxid termelést.

A szén-dioxid szint növekedés hőmérsékletnövelő hatása nem azonnal, hanem csak többéves késéssel következik be, hiszen a felszín és főleg a tengerek felmelegedése elhúzódik. Az eddigi hatás azonban így is egyértelmű (23. ábra). Mivel azonban a légkör felszín-közeli hőmérséklete az, amit rendszeresen mérünk (és nem a teljes atmoszférát), s más emberi hatások is befolyásolják ennek értékét, az emelkedés nem egyenletes. A szulfát aeroszolok, melyek a vulkánkitörések és a kéntartalmú szenek égetéséből keletkezhetnek a besugárzás csökkentésével mérséklék vagy meg is szüntethetik a CO<sub>2</sub> hőmérséklet-emelő hatását. A kockázatokat nem respektáló „bolygó-mérnökök” ezt fontolgatják globálisan alkalmazni a klímaváltozás mérséklésére (Morton 2007). A 23. ábra értelmezése ezért nem csak a szén-dioxiddal, hanem sok más tényezővel is összefügg.

A késlített hatás – a klímaszkeptikusok tevékenységével együtt – azt eredményezi, hogy elmarad a hatékony akció a klímaváltozás mérséklésére. A fokozódó kellemetlen hatások jelentkezésének idején pedig már nem lesz mód a visszafordításra.



- ← A Holocén természetes meleg-csúcsa (1900 előtti)
- ← Jelenlegi globális átlag 0,6 fokkal melegebb a Holocén csúcsnál
- ← 2 fokos melegedés a mai CO2 szint következtében
- ← 4 fokos melegedés

#### 24. ábra: A jövőben lehetséges hőmérséklet emelkedések visszavetítése a múltba

A megnövelt üvegházhatástól eddig már olyan magasra emelkedett a hőmérséklet, amilyen százezer év óta nem volt Földünkön (sárga nyíl). Ha elérjük a 2 fokos melegedést, ez megfelelne a tízmillió évvel ezelőttinek, melyben az északi féltekén (beleértve Grönlandot) már nem volt jégtakaró (piros nyíl).

A 4 fokos melegedéssel már a 40 millió évvel ezelőtti, jégtakarótól teljesen mentes Föld állapotához érünk (lila nyíl). Forrás: <http://www.climateactioncentre.org/resources>

A tudósok figyelmeztetése a döntéshozók körében úgy tűnik, nem talál kellő meghallgatásra.

Egy 2011-es „Eurobarometer” felmérés szerint, melyben 27 ország 27 ezer emberét kérdezték az emberiség legfontosabb gondjairól, a megkérdezettek szerint az első helyre a globális szegénység, a másodikra a globális felmelegedés került. Ma többen tartják ez utóbbi témát kritikusnak, mint a kudarcba fulladt Kopenhágai Csúcs előtt. Lassanként azért talán a kormányok szintjén is lesz eredmény. Valóban?

A legutóbbi dél afrikai csúcstalálkozón e témában (COP 17, Durban 2011) „diplomáciai siker” született. Megegyezés született ugyanis arról, hogy 2015-ig megegyezés fog születni egy majd 2020-tól induló akcióprogramra. S addig tovább haladunk az IPCC „worst case scenario”-ját is túllépő forgatókönyv szerint – a katasztrófa felé.

Nem tanulunk a múltból. Az 56 millió évvel ezelőtti drámai eseményekről (Paleocén Eocén Termális Maximum: PETM) már volt szó. Egy kutatócsoport beszámolója szerint (Cui et al. 2011) a jelenlegi légköri szén-dioxid növekedési ráta ehhez képest tízszer nagyobb sebességet mutat. Ha – amint ez a jelenlegi trendek alapján várható – a 4 fokos globális felmelegedésre kerülne sor, Hansen számításai szerint (Hansen 2010, Hansen és Sato 2011) Földünk az egyensúly beállta után a 40 millió évvel ezelőtti jég-

mentes állapotba kerülne, melyben a tengerek szintje Grönland és az Antarktisz jegének elolvadásával a jelenlegihez képest 70 méterrel magasabban van (24. ábra).

A felmelegedés mértékét és egyéb lehetséges hatásait kritikus átváltási pontok ('tipping points') léte bonyolítja. Ezek között a kilenc legfontosabb a következő (Lenton et al. 2008):

- Északi-sarki tenger jégmentesedése
- Grönlandi jégtakaró olvadása
- Nyugat-Antarktikus jégtakaró olvadása
- Permafrost felolvadása, metán kibocsátása
- Boreális erdők pusztulása
- Amazoniai esőerdő pusztulása
- Nyugat-Afrika monszun-változása
- Indiai monszun módosulása
- Déli félteke tengeráramlásának (ENSO) változása
- Arktikus termohalin áramlat változása
- Antarktikus termohalin áramlat változása

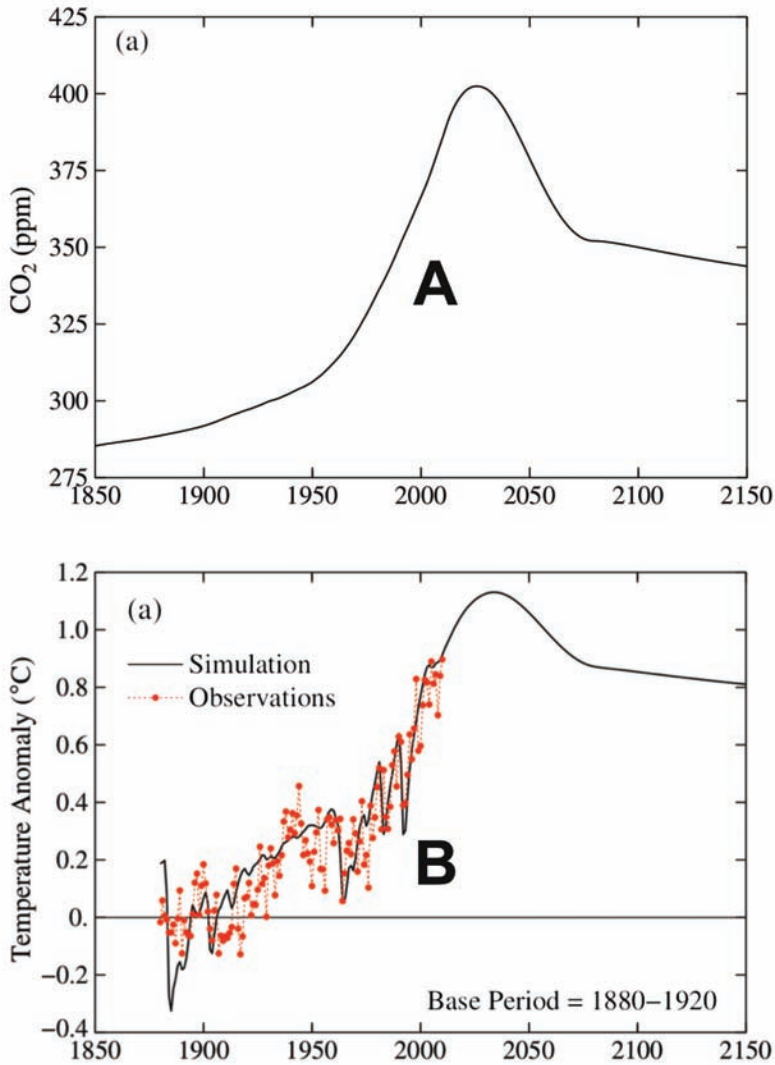
E módosulások mindegyike ugrásszerű változásokhoz vezet (bifurkációs pontok). A jégborítás eltűnése az albedó hatás csökkenésén keresztül fokozza a felmelegedést, a korábban állandóan fagyott (permafrost) talajokból kiszabaduló metán erős üvegházhatása folytán okoz további melegedést. Az amazoniai esőerdők reagálása egy emelkedő hőmérséklet hatásaira a kutatók körében élénk vitát hozott, melynek máig sincs megoldása. Egyes számítógépes szimulációs kísérletekben nagymértékű erdőpusztulás, és ezzel további komoly CO<sub>2</sub> termelés a válasz. Erre utaló aggasztó jelenségek máris észlelhetők voltak az Amazon-régiót sújtó 2005-ös és 2010-es aszály kapcsán (Gillis 2011). Az esetleges metánhidrát-eredetű katasztrófális lehetőségről az 56 millió évvel ezelőtti PETM kapcsán korábban már volt szó.

Ennyi veszély ismeretében azt gondolhatnánk, hogy a világ már lázasan tevékenykedik elhárításán. Hiszen ennél sok nagyságrenddel valószínűlenebb veszélyek kutatására is költséges programok léteznek. Egy katasztrófát kiváltó kisbolygó becsapódása Földünkre minden 26 milliomodik évben várható. Figyeljük is állandóan az eget e célból.

Mit kéne viszont tenni a veszélyes klímamelegedés ellen? Csökkenteni a szén-dioxid kibocsátást évi 6%-al és erdőtelepítéssel kivonni a légkörben már meglévő gáz egy részét (25. ábra). Nem lehetetlen feladat, de rövid távú érdekeinkkel nyilvánvalóan ellentétes lenne. S ezért azután szinte mégis az. Hiszen mint láttuk, 6%-al nem csökkent, hanem növekedett 2010-ben a még mindig gazdasági válságában lábadozó világ szén-dioxid termelése, Kínával és az Egyesült Államokkal az élen. Úgy tűnik, a kocka el van vetve.

Az eddigiekből valószínűleg nyilvánvalóvá válhatott, hogy az egyes részproblémák tömege kölcsönhatásaik révén miként erősödik egy globális válsággá. Veszélyben a Föld, mentsük meg a Földet, „Save the Planet”, halljuk az akcióra buzdító jelszót.

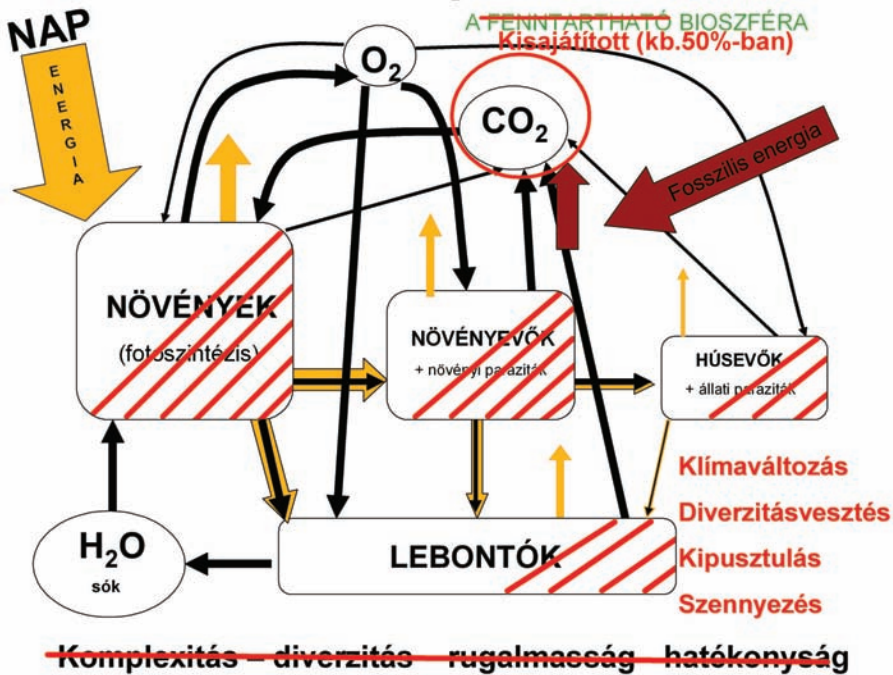
Valóban sok minden változik az emberi hatások következtében. Kiirtottuk és megváltoztattuk a szárazföldek felszínét beborító vegetációt, saját céljainkra használjuk a



**25. ábra: Hansen kiszámította, hogy milyen akciókkal lehetne a veszélyes kétfokos felmelegedést elkerülni**

Ha 2013-tól kezdve évenként 6%-kal csökkentenénk a globális szén-dioxid kibocsátást, plusz 2035 és 2080 között erdősítéssel százmilliárd tonna fát hoznánk létre, az évszázad végéig 350 ppm-re csökkenne a légkör CO<sub>2</sub> tartalma (A) és a hőmérséklet sem nőne a veszélyes szintig (B), (Hansen et al. 2011).

bioszféra szerves anyag termelésének (nettó primer produkció) közel felét, radikálisan csökkentjük változatosságát (biodiverzitását), lehalasztuk a tengerek halállományának tetemes hányadát, égetjük elraktározott szén, kőolaj és földgáz készleteit, megváltoztatjuk a Föld klímáját és ózonpajzsát, s elszaporítottuk saját fajunkat, s a bioszféra gazdagságához képest elenyésző számú természetett növényeinket, tenyésztett állatainkat. Röviden, létrehoztuk az Antropocén Földet fenntarthatatlanul szervezett bioszférájával (26. ábra).



**26. ábra: Az Antropocén bioszféra fenntarthatatlan szerveződése**

Az eredeti állapotot bemutató 8. ábrára pirossal felvitt módosítások az emberi hatásokat mutatják.

Az átalakítás a bioszféra által évmilliók alatt elraktározott fosszilis napenergia használatával volt lehetséges, melynek egyik mellékhatásaként (CO<sub>2</sub>) klímaváltozás zajlik

A veszély valóban komoly, de nem a Földet, a „környezetet” („környezetvédelem”), hanem annak „legbölcsőbb fajtát” azaz minket (Homo sapiens) érint leginkább. Bolygónk és annak bioszférája milliárdos időskáláján számtalan katasztrófát élt már túl. Valószínűleg minket is túl fog élni. Csak mi éljük túl rövidlátó, haszonlesőre fordított természetünket!

## Epilógus

Végiggondolva az emberiség bioszféra-leigázó tevékenységét, s ennek várható visszahatását nehéz valami reménysugarat találni, optimista jövőképet felvázolni. Lehet, hogy ez felelőtlenség is lenne egy olyan közfelfogás idején, amikor az emberek többsége nem veszi eléggé komolyan a hármasszorítás veszélyét.

Jobb félni, mint megijedni – tartja a népi bölcsességet tükröző közmondás. Igaz, az emberiség már számos krízishelyzeten lett úrrá. A mostani helyzet azonban más. A válság az egész világot érinti, és egyszerre többféle területen. Több, mint hétmilliárd ember egyre növekvő igényét, vagy akár csak élelmezését ellátni egy klímaváltozással terhelt (sújtott) világban, fogyó energia, édesvíz, termőtalaj és nyersanyag gondokkal, eladósodással és munkanélküliséggel küszködő gazdaságokkal óriási feladat, amelyhez foghatóval ez emberiség sohasem találkozott. Az egymilliárd éhezőről, a politikai feszültségekről és egyenlőtlenségekről ne is beszélünk.

Mégis, mi lehet akkor a teendő? Adjuk fel, és éljünk a mának – amíg lehet? Nem! Tennünk kell erőnk és legjobb tudásunk szerint. Ennek első alapfeltétele, hogy lássuk a veszélyt, és ne homokba dugott fejjel várjuk a csodát. Ez a könyv is ennek szellemében íródott. Készüljünk fel a legrosszabbra, de reméljük a legjobbat.



## Összefoglalás

Röviden áttekintve Földünk és rajta az élet kialakulásának körülményeit láthattuk, hogy a korábban élettelen atmoszféra, hidroszféra és litoszféra alrendszerben – ezekkel interakcióban – kialakult egy unikális képességekkel rendelkező újabb alrendszer, a bioszféra. Ennek szerveződési módja rendkívüli rugalmasságot biztosított, amellyel három milliárd éves története során „fenntartható fejlődést” valósított meg. E fejlődés alapvető feltétele a Napból folytonosan érkező energia (mely a fotoszintézisen keresztül tartja fenn az élővilágot), és az anyagciklusok globális záródása, amellyel a táplálékhálózatok forrás-nyelő rendszerei egyensúlyban tarthatók. A hatékonyságot és rugalmasságot a bioszféra roppant komplexitása és diverzitása biztosítja.

A bioszféra Föld története, különösen annak legutóbbi, 65 millió éves időszaka, a paleontológiai és paleoklimatológiai és lemeztektonikai kutatások révén számos tanulságot szolgáltatna a jelenre is. Több párhuzam ismerhető fel az akkori természetes és a mostani, ember által okozott klímaváltozásban.

Az ember a bioszférában és annak működésében a legutóbbi két-három évszázadban radikális változásokat vitt végbe, új korszakot, az Antropocént hozva létre. Ennek megvalósítását legjelentősebb mértékben a fosszilis energiahordozók használata tette lehetővé. A létszámában és igényeiben is nagyságrendekkel megnövekedett emberiség napjainkban találkozik az erőforrások és -nyelők végességének problémájával. A „megtelt Föld” helyzetet azonban nehéz elfogadtatni, mivel a gazdaság irányítói továbbra is a határtalan növekedésben gondolkodnak, bízva a piac és az emberi leleményesség erejében.

A folytonos növekedés egy véges világban lehetetlen. Eddigi sikereink alapvető forrása, az olcsó energiahasználat megszűnt. A véges készletek fogyasztását takarékoskodással, hatékonyságnöveléssel és fokozatos „anyagtalanítással” lehet és kell is fékezni, de az alapvető problémát ez nem oldja meg. Bármilyen fizikai vagy akár szellemi tevékenységhez valamennyi anyagra és energiára mindenképp szükség van, így nem létezhet olyan gazdasági tevékenység, amelyik folytonosan növekszik. A korlátok figyelmen kívül hagyása pedig összeomláshoz vezet.

A 21. századra az emberiség hármasszorításban vergődik. A társadalmi, gazdasági és környezeti válságok tömege egymást erősítve hat. A kiút keresés sikerére csak akkor lehet remény, ha kellően komolyan vesszük a korlátokat, és rendszer-szemléletben keressük a megoldást.

## Summary

In a short review on the history of the Earth and its interactive subsystems (lithosphere, hydrosphere, atmosphere, biosphere), emphasis is laid on the unique characteristics of the organization of the biosphere, which resulted in a „sustainable development“ for at least three billion years. The secret of this sustainability is in the availability of the continuous flow of energy from the Sun, and the closed characteristics of the material cycles. The efficiency and resilience have been achieved by the extreme complexity and diversity of the biosphere.

Thanks to the paleontologic, paleoclimatic and plate tectonic studies the history of the biosphere, especially its last 65 million years, gives us important messages. There are remarkable parallels between the present anthropogen and the former natural climatic changes.

Humankind made radical changes in the structure and functioning of the biosphere during the last 2-3 centuries, justifying the distinction of a new epoch called Anthropocen. The main driver of this change has been the availability of cheap fossil energy sources. The human population and its consumption have increased by orders of magnitude. The problems of finite resources and sinks are getting only recently realized. A „full earth“ strategy would require a paradigm change in economy, which at present still forces to proceed in terms of infinite growth, with supposed market efficiency and human ingenuity.

Endless growth is impossible in a finite world. The cheap energy, a key factor of our former success, is now over. Sparing energy and material use, increased efficiency, „dematerialization“ could and should help temporarily, but they are not the final solutions. Every kind of action, be it physical or mental, requires material and energy inputs, consequently a growth economy sooner or later will be halted. Disregarding the limits leads to collapse.

The 21st century Anthropocene is characterized by the triple squeeze of social, economic and environmental crises, amplifying each other. Success in search for solutions could only be expected, if we respect the limits and apply system-thinking.

### *Köszönetnyilvánítás*

Hálásan köszönöm Kékesi Violettnak, Podani Jánosnak, Szathmáry Eörsnek és Takács-Sánta Andrásnak a készülő szöveg átolvasását és az ennek során tett hasznos javítási, változtatási javaslataikat.

# Irodalom

- [1] Andrásfalvy B: *A Duna mente népének ártéri gazdálkodása*. Ekvilibrium Kft, Budapest, 2007
- [2] Austin S: Is shale gas the next cradle of energy? *Oil-Price.Net*, 2011 <http://www.oil-price.net/en/articles/shale-gas-the-next-cradle-of-energy/>
- [3] Bakan J: *The Corporation. Beteges hájsza a pénz és a hatalom után*. Független Média Kiadó, 2005, <http://www.fuggetlenmedia.hu>
- [4] Bálint M, Domisch S, Engelhardt CHM, Haase P, Lehrian S, Sauer J, Theissinger K, Pauls SU, Nowak C: Cryptic biodiversity loss linked to global climate change. *Nature Climate Change* 1313-1318, 2011
- [5] Bardi U: *Limits to growth revisited*. Springer Verlag, Heidelberg, Germany, 2011
- [6] Beddoe R, Costanza R, Farley J, Garza E, Kent J, Kubiszewski I, Martinez L, McCowen T, Murphy K, Myers N, Ogden Z, Stapleton K, Woodward J: Overcoming systemic roadblocks to sustainability: The evolutionary redesign of worldviews, institutions, and technologies. *Proc Natl Acad Sci* 106: 2483-2489, 2009
- [7] Bergengren JC, Waliser DE, Yung YL: Ecological sensitivity: a biospheric view of climate change. *Climatic Change* 107 (3-4): 433, 2011
- [8] Borhidi A: Gaia zöld ruhája. *Glatz F (szerk): Magyarország az ezredfordulón. Stratégiai kutatások/tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián* Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 2002
- [9] Bradshaw CJA, Giam X, Sodhi NS: Evaluating the Relative Environmental Impact of Countries. *PLoS ONE* 5, 5, e10440, 2010
- [10] Brinkhuis H et al: Episodic fresh surface waters in the Eocene Arctic Ocean. *Nature* 441: 606-609, 2006
- [11] Brown JH, Burnside WR, Davidson AD, DeLong JP, Dunn WC, Hamilton MJ, Nekola JC, Okie JG, Mercado-Silva N, Woodruff WH, Zuo W: Energetic limits to economic growth. *BioScience* 61: 19-26, 2011
- [12] Bujtor L: A nem fotoszintézis-alapú ökoszisztémák osztályozása, valamint biológiai jelenük és földtani múltjuk. *Magyar Tudomány* 271: 578-579, 2010
- [13] Commolli LR, Baker B, Downing KH, Siegerist CE, Banfield J: Three-dimensional analysis of the structure and ecology of a novel, ultra-small archaeon. *ISME Journal* 3(2): 159-167, 2009
- [14] Compton T: Common cause. The case for working with our cultural values. *Published in partnership by WWF, COIN, CPRE, Friends of the Earth, Oxfam*, 2010 [http://assets.wwf.org.uk/downloads/common\\_cause\\_report.pdf](http://assets.wwf.org.uk/downloads/common_cause_report.pdf)
- [15] Cox C, Hug A, Bruzelius N: *Losing Ground*. Environmental Working Group, Iowa, USA, 2011, <http://static.ewg.org/reports/2010/losingground/pdf/>
- [16] Crutzen PJ, Stoermer EF: The 'Anthropocene'. *Global Change Newsletter* 41: 17–18, 2000
- [17] Csányi V: *Az emberi természet*. Vince Kiadó, Budapest, 1999
- [18] Csányi V: *Társadalom és ember*. Gondolat Kiadó, Budapest, 2011
- [19] Cui Y, Kump LR, Ridgwell AJ, Charles AJ, Junium CK, Diefendorf AF, Freeman KH, Urban NM, Harding IC: Slow release of fossil carbon during the Palaeocene–Eocene Thermal Maximum. *Nature Geoscience* 4: 481–485, 2011
- [20] Czech B: Prospects for Reconciling the Conflict between Economic Growth and Biodiversity Conservation with Technological Progress. *Conservation Biology* 22: 1389–1398, 2008
- [21] Czelnai R: *A világoceán*. Vince Kiadó, Budapest, 1999
- [22] Czelnai R: Meddig játsszuk még, hogy mindenki másról beszél? *Természet Világa*, 2011(4): 148, 2011a
- [23] Czelnai R: „Manha de carnaval”. A karnevál reggele – kijózanodás nélkül. *Almár I, Czelnai R, Falus A, Kroó N (Szerk): Válság és apokalipszis*. Éghajlat Könyvkiadó, Budapest, 2011b

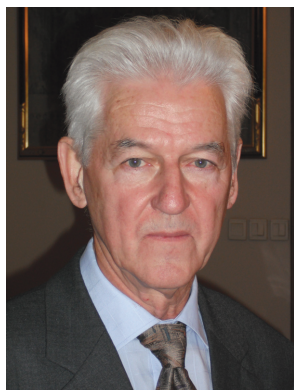
- [24] Daly H, Farley J: *Ecological economics: principles and applications*. Island Press, Washington, USA, 2004
- [25] DeLong EF, Pace NR: Environmental diversity of bacteria and archaea. *Syst. Biol.* 50(4): 470–408, 2001
- [26] DeLong JB: *Estimating World GDP, One Million B.C. – Present*. University of California, Berkeley, USA, 1998, [http://www.j-bradford-delong.net/TCEH/1998\\_Draft/World\\_GDP/Estimating\\_World\\_GDP.html](http://www.j-bradford-delong.net/TCEH/1998_Draft/World_GDP/Estimating_World_GDP.html)
- [27] Diamond JM: *Háborúk, járványok, technikák. A társadalmak fátumai*. Typotex Kiadó, Budapest, 2000
- [28] Diamond JM: *Összeomlás – Tanulságok a társadalmak továbbéléséhez*. Typotex Kiadó, Budapest, 2007
- [29] Eldredge N: *Life in the Balance: Humanity and the Biodiversity Crisis*. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA, 1998
- [30] Eldredge N: The sixth extinction. 2006, <http://www.actionbioscience.org/newfrontiers/eldredge2.html#fullbio>
- [31] Gillis J: The Amazon Dieback Scenario. *The New York Times*, October 7, 2011 <http://green.blogs.nytimes.com/2011/10/07/the-amazon-dieback-scenario/>
- [32] Grantham J: Time to wake up: days of abundant resources and falling prices are over forever. *GMO Quarterly Letter*, 1-18, 2011a
- [33] Grantham J: Resource limitations 2: separating the dangerous from the merely serious. *GMO Quarterly Letter*, 1-15, 2011b
- [34] Guardian News and Media: Oils sands. London, UK, 2011, <http://www.guardian.co.uk/environment/oil-sands>
- [35] Guilford MC, Hall CAS, O'Connor P, Cleveland CJ: A New Long Term Assessment of Energy Return on Investment (EROI) for U.S. Oil and Gas Discovery and Production. *Sustainability* 3: 1866-1887, 2011
- [36] Gyulai I: *A biomassza dilemma*. Harmadik, bővített kiadás. Lánchíd Kiadó, Budapest, 2009
- [37] Gyulai I: A „biomassza-láz” hozadéka. *Biokontroll* 1: 33-39, 2010
- [38] Hall C, Tharakan P, Hallock J, Cleveland C, Jefferson M: Hydrocarbons and the evolution of human culture. *Nature* 426: 318-322, 2003
- [39] Hall C, Balogh S, Murphy DJR: What is the minimum EROI that a sustainable society must have? *Energies* 2: 25-47, 2009
- [40] Hansen J: *Storms of my grandchildren: the truth about the coming climate catastrophe and our last chance to save humanity*. Bloomsbury, NY, USA, 2010
- [41] Hansen JE, Sato M: Paleoclimate implications for Human-made climate change. *Proceedings of Milutin Milanković 130<sup>th</sup> Anniversary Symposium, Beograd*, 2011
- [42] Heinberg R: Searching for a miracle: Net energy limits and the fate of industrial societies. *International Forum on Globalization*, Post Carbon Institute, Santa Rosa, CA, USA, 2009
- [43] Heinberg R: Earth's limits: why growth won't return. 2011, <http://www.counter-currents.org/heinberg150211.htm>
- [44] Heinberg R: *The end of growth. Adapting to our new economic reality*. New Society Publishers, Gabriola Island, BC, Canada, 2011
- [45] Heinberg R, Fridley D: The end of cheap coal. *Nature* 468: 367-369, 2010
- [46] Holland HD: The oxygenation of the atmosphere and oceans. *Phil Trans R Soc (B)* 361: 903-915, 2006
- [47] Homer-Dixon TF: *The ingenuity gap*. Vintage, London, UK, 2001
- [48] IEA – International Energy Agency: World energy outlook 2010. *International Energy Agency*, Paris, 2010, <http://www.worldenergyoutlook.org/>
- [49] Jackson T: *Prosperity without growth: economics for a finite planet*. Earthscan, Oxford, UK, 2009

- [50] Johnson DDP, Fowler JH: The evolution of overconfidence. *Nature* 477: 317-320, 2011
- [51] Juhasz A: *The Tyranny of oil: The World's most powerful industry – and what we must do to stop it*. HarperCollins, New York, USA, 2008
- [52] Keiner M (ed): *The Future of Sustainability*. Springer Verlag, Heidelberg, Germany, 2006
- [53] Kerekes S: *A környezetgazdaságtan alapjai*. Aula Kiadó, Budapest, 2007
- [54] Kertész M, Vida G: Ökológia és környezeti gondok. *Magyar Tudomány* 2009(1): 43-47, 2009
- [55] Kleidon A: Life, hierarchy, and the thermodynamic machinery of planet Earth. *Phys Life Rev* 7: 424-460, 2010
- [56] Kleidon A: Non-equilibrium thermodynamics, maximum entropy production and Earth-system evolution. *Phil Trans R Soc (A)* 368: 181-196, 2010
- [57] Kortén DC: *Tökés társaságok világuralma*. Kapu könyvek, Budapest, 2006
- [58] Kunstler JH: *The Long Emergency: Surviving the Converging Catastrophes of the Twenty-First Century*. Atlantic Monthly Press, New York, USA, 2005
- [59] Lane N, Allen JF, Martin W: How did LUCA make a living? Chemiosmosis in the origin of life. 2009, <http://www.nick-lane.net/LAM%20BioEssays.pdf>
- [60] Láng I: Félreértett üzenet. Kóródi M (szerk): *Az erőszak kultúrája. Fenntartható-e a fejlődés?* 30-56 old, Pallas Kiadó, Budapest, 2010
- [61] Lányi A (szerk): *Természet és szabadság*. Osiris Kiadó, Budapest, 2000
- [62] Lányi A: *Porcelán az elefántboltban*. Heti Válasz Kiadó, Budapest, 2009
- [63] Leggett J: *A fele elfogyott. Olaj, gáz, forró levegő és a globális energiaválság*. Typotex Kiadó, Budapest, 2008
- [64] Lenton TM, Held H, Kriegler E, Hall JW, Lucht W, Rahmstorf S, Schellnhuber HJ: Tipping elements in the Earth's climate system. *Proc Nat Acad Sci*, 105: 1786-1793, 2008
- [65] Maynard Smith J, Szathmáry E: *Az evolúció nagy lépései*. Scientia Kiadó, Budapest, 1997
- [66] Maynard Smith J, Szathmáry E: *A földi élet regénye*. Vince Kiadó, Budapest, 2000
- [67] Meadows DH, Meadows DL, Randres J, Behrens III WW: *The limits to growth*. Universe Books, New York, USA, 1972
- [68] Meadows D, Randers J, Meadows D: *A növekedés határai harminc év után*. Kossuth Kiadó, Budapest, 2005
- [69] Millennium Ecosystem Assessment, 2005, <http://www.maweb.org/en/Index.aspx>
- [70] Miller LM, Gans F, Kleidon A: Estimating maximum global land surface wind power extractability and associated climatic consequences. *Earth Syst Dynam*, 2: 1-12, doi:10.5194/esd-2-1-2011, 2011
- [71] Moriarty P, Honnery D: What energy levels can the earth sustain? *Energy Policy*, 37: 2469-2474, 2009
- [72] Morton O: Is this what it takes to save the world? *Nature*, 447: 143-144, 2007
- [73] Murphy T: Why not space? 2011a, <http://physics.ucsd.edu/do-the-math/2011/10/why-not-space/>
- [74] [he-math/2011/08/recipe-for-climate-change/](http://physics.ucsd.edu/do-the-math/2011/08/recipe-for-climate-change/)
- [75] Murphy T: Stranded resources. 2011c, <http://physics.ucsd.edu/do-the-math/2011/10/stranded-resources/>
- [76] Murphy T: Can Economic Growth Last? 2011d, <http://physics.ucsd.edu/do-the-math/2011/07/can-economic-growth-last/>
- [77] Nelder C: Why energy journalism is so bad? *Smartplanet*, November 30, 2011
- [78] Odum HT, Odum EP: *Energy basis for man and nature*. McGraw-Hill, New York, USA, 1981
- [79] Perlin J: *A forest journey: the role of wood in the development of civilization*. WW Norton Co, New York, USA, 1989
- [80] Pfeffer DA: *Eating fossil fuels. Oil, food and the coming crisis in agriculture*. New Soc Publish, Gabriola Island, BC, Canada, 2006

- [81] Pimentel D (Ed.): *Biofuels, solar and wind as renewable energy systems: benefits and risks*. Springer Verlag, Heidelberg, Germany, 2008
- [82] Ponting C: *A green history of the world: the environment and the collapse of great civilizations*. St. Martin's Press, New York, USA, 1992
- [83] Rifkin J: *The empathic civilization: the race to global consciousness in a world in crisis*. Penguin Group – Tarcher JP Inc, New York, USA, 2010
- [84] Rifkin J: *The third industrial revolution: how lateral power is transforming energy, the economy, and the world*. Palgrave Macmillan, Hampshire, UK, 2011
- [85] Qiu J: China to spend billions cleaning up groundwater. *Science*, 334: 745, 2011
- [86] Salkever A: The promise of fusion: energy miracle or mirage? *Yale Environment 360*, Yale University, New Haven, CT, USA, 2010 [http://e360.yale.edu/feature/the\\_promise\\_of\\_fusion\\_energy\\_miracle\\_or\\_mirage/2327](http://e360.yale.edu/feature/the_promise_of_fusion_energy_miracle_or_mirage/2327)
- [87] Schor J: *The overspent American*. HarperCollins, New York, USA, 1999
- [88] Smil V: *Energy in world history*. Westview Press, Boulder, CO, USA, 1994
- [89] Sharman M: *The wicked problem of biodiversity. Targets or sustainability – that is the question*. Biodiversity, sustainability and targets. Brussels, Belgium, 2009. [http://www.azoresbioportal.angra.uac.pt/files/noticias\\_The%20wicked%20problem%20of%20biodiversity%20\\_2\\_.pdf](http://www.azoresbioportal.angra.uac.pt/files/noticias_The%20wicked%20problem%20of%20biodiversity%20_2_.pdf)
- [90] Sharman M: The obvious solution to biodiversity loss: a bigger planet. *Presentation to the Linnean Society*, 2010 [http://linnean.org/index.php?id=243&tx\\_ttnews%5Bttnews%5D=274&tx\\_ttnews%5BbackPid%5D=139&cHash=13f3f76e68](http://linnean.org/index.php?id=243&tx_ttnews%5Bttnews%5D=274&tx_ttnews%5BbackPid%5D=139&cHash=13f3f76e68)
- [91] Stager K: *Will green nukes save the world?* Fast Co, New York, USA, 2011 <http://www.fastcompany.com/1727914/will-green-nukes-save-the-world>
- [92] Stern N: „Stern Review on The Economics of Climate Change (pre-publication edition). Executive Summary”. HM Treasury, London, UK, 2006 <http://www.webcitation.org/5nCeyEYJr>
- [93] Stringer C, Andrews P: *Az emberi evolúció világa*. Alexandra Kiadó, Budapest, 2005
- [94] Takács-Sánta A: *Bioszféra-átalakításunk nagy ugrásai*. L'Harmattan, Budapest, 2008
- [95] Thuiller W: Biodiversity – climate change and the ecologist. *Nature* 448: 550-552, 2007
- [96] Török K: A Föld ökológiai állapota és perspektívái (a Millennium Ecosystem Assessment alapján). *Magyar Tudomány* 2009(1): 48-53, 2009
- [97] Turner G: A Comparison of limits to growth with thirty years of reality. *CSIRO Working Paper*, 2008, <http://www.csiro.au/files/files/plje.pdf>
- [98] Victor PA: *Managing without growth: slower by design, not disaster*. Edward Elgar Pub, Cheltenham, UK, 2008
- [99] Victor PA: Questioning economic growth. *Nature* 468: 370-371, 2010
- [100] Vida G: Genetic diversity and environmental future. *Environmental Conservation (Lausanne)* 5: 127-132, 1978
- [101] Vida G: For variety's shake! (Editorial Comment). *Environmental Conservation* 16: 3-4, 1989
- [102] Vida G: Genetic resources. In: Polunin N, Burnett JH (eds): *Surviving with the Biosphere*. Edinburgh University Press, UK, pp 174-190, 1993
- [103] Vida G: *Global issues of genetic diversity*. In: Loeschcke V, Tomiuk J, Jain SK (eds): *Conservation Genetics*. Birkhauser, Basel, Switzerland, pp 9-19, 1994
- [104] Vida G: Sötét gondolatok a „rész”-ről és „egész”-ről s a tudományról. Ezredforduló. *Stratégiai Kutatások a Magyar Tudományos Akadémián*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 6: 18-20, 1998
- [105] Vida G: *Helyünk a bioszfériban*. Typotex Kiadó, Budapest, 2001
- [106] Vida G: Merre tovább? *Magyar Tudomány* 162: 641-646, 2001
- [107] Vida G: A fenntarthatóság buktatói. *Beszteri B (szerk): Fenntartható fejlődés, fenntartható társadalom és integráció*. Tanulmánykötet – I. Kodolányi János Főiskola kiadványa, Székesfehérvár, 28-31, 2005
- [108] Vida G: Fenntarthatóság és a tudósok felelőssége. *Magyar Tudomány* 168: 1600-1606, 2007

- [109] Vida G: Természetvédelem – remény nehéz időkben. *Természetvédelmi Közlemények* 13: 9-16, 2007
- [110] Vida G: Tanuljunk Földünk történetéből. *Egyenlítő* 2008(12): 25-27, 2008
- [111] Vida G: Véges Föld és végtelen vágyak. Kóródi M (szerk): *Az erőszak kultúrája. Fenntartható-e a fejlődés?* 59-85, Pallas Kiadó, Budapest, 2009a
- [112] Vida G: A gazdasági válság globális hátteréről. *A Falu* 24(2): 5-9, 2009b
- [113] Vida G: Biodiverzitás és ökoszisztéma szolgáltatás. Prológus. *Magyar Tudomány* 172: 170-173, 2011a
- [114] Vida G: Globális energiagondok. *Biokontroll* 2: 5-12, 2011b
- [115] Wackernagel M, Schulz NB, Deumling D, Linares AC, Jenkins M, Kapos V, Monfreda C, Loh J, Myers N, Norgaard R, Randers J: Tracking the ecological overshoot of the human economy. *Proc Nat Acad Sci*, 99: 9266–9271, 2002
- [116] Weart RS: *The discovery of global warming*. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, 2008





Vida Gábor az Eötvös Lóránd Tudományegyetemen 1957-ben szerzett diplomát biológia-kémia tanárszakon. Két évvel később Soó Rezsónél doktorált az erdélyi bükkösökről írt tanulmányával. Tudományos fejlődésére nagy hatással volt Györffy Barna, akinek intézetében (MTA Genetikai Intézete) a hatvanas években dolgozott. Közben több alkalommal töltött 3-4 hónapot a British Science Research Council ösztöndíjával a University of Leeds botanikai tanszékén Prof. Irene Manton meghívására, ahol a páfrányok polyploidias fajkeletkezését cytogenetikai módszerekkel tanulmányozta. Az itteni kutatókkal és a Nobel-díjas svájci T. Reichsteinnel közösen végzett kutatásai

során több ma élő faj eredetét tisztázták, s egy természetben nem létező új fajt is sikerült előállítaniuk. E munkáival érte el idehaza a kandidátusi (1965) majd az akadémiai doktori (1973) fokozatait.

1973-ban lett az ELTE Genetikai Tanszékének vezetője, ahol megszervezte a modern genetika és az ezen az alapon álló evolúció oktatását. 1985-ben választották a Magyar Tudományos Akadémia levelező, majd rendes (1993) tagjává.

A hatvanas évek óta folyamatosan vett részt nagyobb nemzetközi programokban (IBP, SCOPE, MAB), ahol szembesült az emberi tevékenységek kedvezőtlen környezeti hatásaival. Ezek gyökereit kutatva jutott el az e könyvben is kifejtett gondolatokhoz, melyek minden fórumon történő terjesztését tartja ma a legfontosabb feladatának. Fontosabb kitüntetései: Pro Universitate, Pro Natura, Magyar Ökológiáért, Széchenyi-díj, Ipolyi Arnold-díj és a Magyar Köztársaság Középkeresztje.



A kiadvány megjelenését  
a TÁMOP-4.2.3/08/1/KMR-2008-0003

Semmelweis Egyetem Piramis Projekt  
támogatta



Nemzeti Fejlesztési Ügynökség  
[www.ujszechenyiterv.gov.hu](http://www.ujszechenyiterv.gov.hu)  
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.