

# ÉLHETŐ MARAD-E AZ EMBERI KÖRNYEZET?

Kiss Ádám – Eötvös Loránd Tudományegyetem, Atomfizikai Tanszék

Szabó Mária – Eötvös Loránd Tudományegyetem, Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék

Napjaink társadalmi közösségei az utóbbi évtizedek – addig soha nem látott mérvű és ütemű – változásai után jöttek létre. A mélyreható társadalmi változások napjainkban is folytatódnak, sőt sok területen még gyorsulni is látszanak. Ezen társadalmi változásoknak sok kiváltó oka van, amelyek közül biztosan kiemelkedik a népességrobbanás, a kulturális-vallási különbségek kiegyenlítése, a klímaváltozás, a nagy mértékű technológiai fejlődés és a szinte minden terület infrastruktúrájában megjelenő forradalmi megújulás. Ez utóbbi átalakulások oka egyértelműen a természettudományok fejlődése és az új eredmények rendkívüli gyorsasággal való alkalmazása.

A mai világ sok, a múltban gyökerező, de többségükben csak az utóbbi évtizedekben, években felismert problémával küzd. Ezeknek szinte mindegyike jórészt a természettudományokra alapuló környezet-tudomány területére esik. Ez a tény rámutat arra a társadalmi igényre, hogy a környezeti ismereteket rendszeresen, tudományos pontossággal és a modern kor kihívásainak megfelelően szerepeltessük oktatási rendszerünkben és problémaorientált módon adjuk át a következő generációnak.

Tanulmányunkban a természettudományos ismeretek fontosságát emeljük ki a társadalmi közösségeket ma körülvevő és gyorsan egyre bonyolultabbá váló környezeti kérdések megértésében. Az emberiséget biztosan érintő problémák egy csokrának felsorolásával érzékeltetjük a környezettel kapcsolatban reánk váró feladatok nagyságát. Példákon keresztül mutatjuk meg, hogy a világ népessége legfontosabb kör-

nyezeti problémáinak jellege multidiszciplináris. A megfelelő szemléletnek mind az oktatásban, mind az ismeretterjesztésben tükröződnie kell. Három példán keresztül utalunk arra, hogy a jövő generációk élhető környezetet örökölnék tőlünk, az nagy mértékben rajtunk is múlik.

## Átalakuló környezetünk

A 20. század utolsó és a 21. század első évtizedeit megelőző embertársaink legfontosabb életélménye a gyorsan változó világ. A természeti, társadalmi, gazdasági, műszaki környezet mindegyike alapvetően megváltozott körülöttünk. Ma napi szinten használunk olyan eszközöket, amelyekre – mondjuk fél évszázaddal ezelőtt – még csak nem is gondoltunk, s olyan körülmények alakultak ki körülöttünk, amelyek még nem is olyan régen elképzelhetetlenek voltak. Ezen változások mélyreható következményei vannak az élet szinte minden területén már most is, és világosan látszik, hogy további következményei lesznek a jövőben is. Mi a lényegük és mi váltotta ki ezeket az óriási átalakulásokat?

A változások lényegét igen nehéz összefoglalni, de a tényleges részletei közül sokat viszonylag könnyű felsorolni. Így mindannyian tudjuk, hogy az informatikai forradalom robbanásszerűen felgyorsította és leegyszerűsítette az információ- és adatátadás sebességét és módját. A mobil telefonok általánosan elterjedtek és alapvetően megváltoztatták a kis és közepes nagyságú közösségek, így többek között a családok, baráti körök életét. De például az egészségügyben is újabb és újabb magas technológiai szintű berendezések készítenek belső szerveinkről jobbnál jobb felvételeket. Az agrárgazdaság szinte teljesen átalakult, és a boltokban kapható ipari termékek jelentős része röviddel ezelőtt kifejlesztett olyan új anyagokból készül, amelyek pár évvel ezelőtt még nem is léteztek.

Ha belegondolunk az új eszközök, módszerek felbukkanásába, azok körülményeire, akkor könnyen belátható, hogy mindegyik háttérben a természettudományok szédületes ütemű fejlődése eredményeképpen bekövetkezett, az eredményeket felhasználó műszaki innováció van. Korunk egyik meghatározó jelensége a tudományos eredmények gyakorlatba való átültetésének igen gyors üteme. Tekintettel arra, hogy ez minden természettudományos szakterületen igaz, így a minket körülvevő világ minden területén érezhetjük a drámai átalakulásokat.

A fizikában például jelentős fejlődésnek indult a szilárdtestfizika. Az ezen a területen elért új tudományos eredmények lehetővé tették a félvezetők tulajdonságainak megértését, ami viszont előfeltétele volt az in-

A tanulmányt az OTKA K112477 számú pályázata támogatta.



*Kiss Ádám* (1942) az ELTE emeritus professzora, az OAH Tudományos Tanácsa elnöke. Kísérleti magfizikus, nemzetközi figyelmet keltett kísérletek szervezője, résztvevője. Atom- és magfizikát oktatott. Az ELTE TTK Környezettudományi Centruma és a Környezettudományi Doktori Iskola igazgatója volt. A radioaktív hulladékok elhelyezésére irányuló Nemzeti Célprogram Szakértői Bizottságát vezette. Napjainkban fő érdeklődési területe az emberiség energiajövőjének kutatása.



*Szabó Mária* (1947) az ELTE professzora. Tájékológus, fő kutatási területe a vizes élőhelyek környezet- és természetvédelme, rehabilitációja; a biodiverzitás változásai; a tájak terhelhetősége, érzékenysége; megújuló energiaforrások alkalmazása és a tájvédelem. Tankönyvek, jegyzetek társszerzője. Igazgatója volt az ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézetének. Az ELTE TTK Földtudományi Doktori Iskola Földrajz- és Meteorológia program vezetője. Az MTA Földtudományi Doktori Bizottság tagja.

formatikai forradalom kibontakozásának. A computer-technológia, vagy a távközlési módszerek ma már mindenütt elterjedt átalakulását, így például az okos telefonok világméretű elterjedését is ezek a tudományos eredmények alapozták meg. Vagy gondoljunk a világítástechnológia forradalmi megújulására. A LED-es világítás alapjait is fizikai laboratóriumokban kísérletezték ki. Az anyagtudományban az elmúlt évtizedekben igazi tudományos forradalom zajlott le. Az új, igen sokszor először elméleti munkával megtervezett és ténylegesen csak később előállított anyagok sok területen alapvetően alakították át a mindennapokban használt eszközeinket. Izgalmas újdonságokat hoz a mai fizikai kutatások egyik kiemelten érdekes területe, a nanotechnológia a maga eddig soha nem látott tulajdonságú felületeivel, anyagminőségeivel.

Az élettudományok és azon belül a biológia területén az új ismeretek megfejteni látszanak az életjelenségek és a biológiai folyamatok fiziológiai és genetikai hátterét. Ez, párosodva a biológia egyéb területein begyűjtött újabb ismeretekkel, nagy mértékben átalakította többek között az orvostudomány vagy az agrártudomány területét is. Ide tartoznak olyan, vitatott hatású, de intellektuálisan kétségtelenül figyelemre méltó ismeretek, amelyek a genetikailag módosított szervezetek (GMO – növények, állatok, mikroorganizmusok) előállításával, klónozásával függenek össze.

Korunk átlagemberének – valószínűleg – leginkább az orvostudomány fejlődése szembeötlő, talán itt a legnagyobb az érezhető változás. A gyógyítási módszerek vitathatatlan átalakulása olyan betegségek leküzdését teszi lehetővé, amelyekből korábban a felépülés lehetetlennek látszott. Mindezeket az eljárásokat új gyógyszerek alkalmazása is segíti. Ráadásul a többség számára is elérhetővé váltak olyan diagnosztikai eljárások, amelyek a fizikai módszerekre épülve részletes bepillantást adnak a vizsgált személy testébe – annak roncsolása nélkül. Itt például a CT- (computer tomográfiára), az MR- (mágneses rezonancia képalkotásra), vagy a PET- (pozitronemissziós tomográfiára) vizsgálatokra gondolunk.

A földtudományok is jelentős mértékben fejlődtek. Ezt elsősorban a teljesen megújult, a földtudományokban alkalmazott vizsgálati technikáknak köszönhetjük. Ma sokkal többet tudunk a Föld mélyéről, mint pár évtizeddel ezelőtt. Így például a földgázellátást az Egyesült Államokban megújító palagáz mezők felfedezése és kitermelése óriási mértékben megváltoztatta a fosszilis energiahordozókkal kapcsolatos elképzeléseinket. De a geográfia is átalakult. A táj gyors tér-idő változása, ipari létesítmények telepítése, úthálózatok létesítése, a bányászat átalakulása, vagy a nagyvárosok terjeszkedése megváltoztatta földrajzi és ökológiai környezetünket. Az átalakulások tudományos értékelése, a következtetések levonása, a jövő településeinek megtervezése a földrajztudományt is nagy kihívás elé állítja.

Hogyan érthetjük meg a ma minket körülvevő világot? Nyilvánvaló, hogy a természettudományok alapjainak megértése nélkül még tájékozódunk sem le-

het napjaink új világában. Az oktatók, a tanárok kezében van az ismeretátadás kulcsa. Nekik olyan tudást kell átadniuk a következő generációknak, amely képessé teszi a fiatalokat arra, hogy a társadalom felelős, tájékozott tagjaivá váljanak. A természettudományok magas színvonalú, a legfontosabb alapokra koncentráló oktatása nélkül elképzelhetetlen a következő generációk új világ jelenségei között való tájékozódása.

## Az emberiség mai problémái

Mindaz, amiről eddig gondolkoztunk azzal foglalkozott, hogy az elmúlt pár évtizedben, ilyen történelmi mértékben igen rövid idő alatt milyen mértékben változott meg a világ körülöttünk. Azt is láttuk, hogy milyen sok ismeretre van szükségünk már csak ahhoz is, hogy ezeket a változásokat megértsük, követni tudjuk.

A változások azonban nem csak az élővilágunkat alakították át, hanem olyan folyamatokat is elindítottak, amelyek következményei elkerülhetetlennek látszanak és sajnos nem sok jót ígérnek. Természetesen szembe kell néznünk ezekkel a problémákkal, és keresnünk kell a számunkra, a nagyobb közösség számára optimális megoldásokat [1].

A problémák, válsághelyzetek mindig a társadalmi lét természetes velejárói voltak. A közösségek feladata, hogy a felmerülő nehézségeket közösen elfogadott szabályok szerint, a többség számára legjobb módon megoldja. A problémák megoldására a ma általánosan elterjedt, sikeresnek tartott társadalmi modell a többségi véleményen alapuló demokratikus módszereket dolgozta ki. E szerint a társadalom működésében felmerülő problémákat – a rendelkezésre álló tudományos ismeretek keretein belül – felelősen, szakszerűen meg kell vizsgálni, rögzíteni kell a tényállásokat, ki kell dolgozni a lehetséges megoldások különböző változatait és a közösség tagjait az ismeretek feltárásával döntéshelyzetbe hozva, demokratikus többséggel kell kiválasztani a probléma megoldásának elhatározott módját.

A ma felmerülő súlyos és néhány esetben sürgősen megoldandó problémák – konzervatív becslés szerint is – több mint fele, de egyes szakemberek szerint akár túlnyomó többsége is a környezettel, annak védelmével, kutatásával, fenntartásával és a helyreállítással kapcsolatos [2]. A problémák olyanok, hogy biztosan nem elegendő egy-egy szakterület, a természet-, illetve a társadalomtudományok – mint például a biológia, a fizika, a földrajz, a földtudományok és a kémia, illetve a közgazdaságtan, gazdaságföldrajz, társadalomföldrajz, demográfia, szociológia, urbanisztika, humánökológia valamennyire kibővített tárgyalása – területén azok tanításához-megismertetéséhez, illetve a kezeléséhez-megoldásához.

A következőkben – hangsúlyozottan a teljesség igénye nélkül, a külön csoportosítást is elkerülve – olyan témákat sorolunk fel, amelyek környezeti jellegük miatt legalább két-három, az előbbieken értel-

mezett szakterülethez tartozó ismereteket igényelnek a velük kapcsolatos problémák kifejtéséhez és kezeléséhez. Így ezek nyilvánvalóan nem tárgyalhatók csak a klasszikus természet- vagy társadalomtudományi szaktárgyak körében.

- Ivóvízkérdés, vízellátás,
- népességrobbanás és lehetséges következményei,
- a globális méretűvé váló migrációs folyamatok okai és lehetséges következményei, kezelésük kérdései,
- a társadalom, nagyobb közösségek biztonságos energiaellátása,
- az energiatermelési módok áttekintése és kritikai összehasonlítása,
- a megújulóenergia-termelési módok környezeti hatásai,
- az atomenergetika alkalmazásának előnyei és veszélyei,
- a természeti erőforrások kimerítése, illetve fenntartható felhasználása,
- óceánok, tengerek állapotának hatása a környezetre,
- a légkör és a világtengerek kölcsönhatásai,
- a biodiverzitás változásai, illetve csökkenése és következményei,
- tájdegradáció, természetközeli élőhelyek fragmentációja és izolációja,
- az ökológiai lábnyom, vagyis azon terület nagyságának növekedése, amelyre egy emberi közösség és életszínvonala fenntartásához szükség lenne,
- hulladék, veszélyes hulladék kezelése,
- levegőszennyezés,
- klímaváltozás és hatása globális és regionális szinten,
- ózonréteg elvékonyodása,
- a zaj és a zajterhelés általános növekedése, kezelése és társadalmi hatásai,
- urbanizáció, élhető város, várostervezés, városrendezés,
- talajdegradáció és talajpusztulás,
- környezeti sugárzások és hatásuk a biológiai rendszerekre,
- a közlekedés szervezése, fenntarthatósága,
- katasztrófák hibás emberi döntések miatt.

Ezek a témák mind olyanok, hogy a környezeti képzésre, ismeretterjesztésre tett külön intézkedés nélkül az oktatásban, ismeretterjesztésben nem, vagy legfeljebb csak felszínesen kerülhetnek szóba. Ugyanakkor feltétlenül szükségesnek tartjuk, hogy a szélesebb közösség minden egyes tagja a súlyának megfelelő módon és helyes szemlélettel ismerkedjen meg ezekkel – a több esetben is fenyegető következményekkel járó – problémákkal.

Az előbbi, csak multidiszciplináris szemlélettel tárgyalható témák zöme olyan, hogy a kortárs közösségekben élő emberek többsége néhányról már feltétlenül hallott-olvasott, vagy a televízióban látott velük kapcsolatos anyagokat. A témák, bár együttesen ritkán tárgyalják őket, általában napirenden vannak a tudományos műhelyek kutatási területeitől a napi politikai csatározásokig. Napjainkra már mindegyik problémának óriási az irodalma, amelyek áttekintése

is nagy munkát igényel. Ráadásul mindegyik problémakör olyan, hogy velük kapcsolatban – szinte állandóan – új ismeretek merülnek fel, amelyek még kevésbé átláthatóvá teszik a rendezett tudást.

## Megjegyzések néhány kiemelkedő környezeti problémához

A következőkben, a példa kedvéért, három területre fogunk elemző megjegyzéseket tenni. Célunk, hogy bemutassuk a problémák meg nem oldásakor fellépő veszedelmeket, a veszélyek elhárításához szükséges ismeretek jellegét. Úgy gondoljuk helyesnek, ha az egyik probléma, amihez megjegyzéseket teszünk az az emberiség következő évtizedeinek egyik sorskérdése, az emberi társadalmak biztonságos energiaellátása, a másik a természeti környezetünk figyelemre méltó problémája, a biodiverzitás csökkenése lehet. Végül egy olyan katasztrófát tárgyalunk, amire felelős döntéshozók hibás elhatározásai miatt került sor. Mindhárom kiválasztott esetben a komplex, multidiszciplináris megközelítésre tesszük a hangsúlyt.

### A társadalom biztonságos energiaellátása, a megújulóenergia-termelési módok környezeti hatásai és az atomenergia szerepe

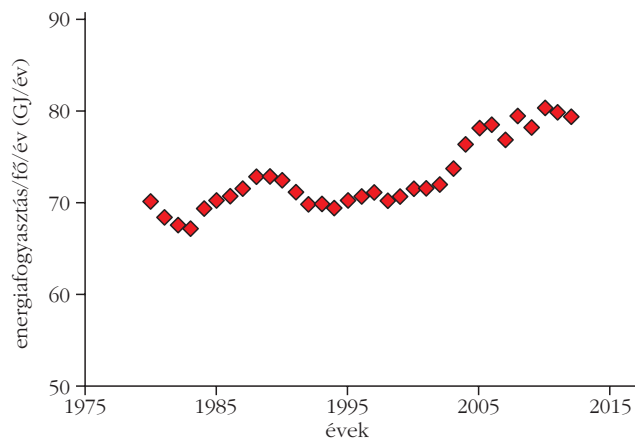
A biztonságos és folyamatos energiaellátás a társadalom működtetésének alapvető feltétele. A civilizált élet minden mozzanatához energiára van szükség, amely összességében már jelenleg is hatalmas. Túlzás nélkül állíthatjuk, hogy a közösségek energiaellátása az emberiség egyik sorskérdése.

Ugyanakkor négy évtizede, az 1973-as első energiválság óta minden döntéshozó tudja, hogy az energiaellátás jelenlegi, főleg az ásványi energiahordozókra épülő rendszere sok ok miatt (így például a források korlátai, környezeti szempontok) is fenntarthatatlan. A világ energiafogyasztása ennek ellenére az elmúlt négy évtizedben folyamatosan nőtt és napjainkra a földi társadalmak fogyasztása megközelítette az óriási, ~540 EJ<sup>1</sup> értéket. Ez mintegy 80%-kal magasabb az 1980-as ~300 EJ fogyasztásnál. Ráadásul a fosszilis energiahordozók részaránya a megtermelt energiából már egy évszázada érdemben nem változik, most is 80 és 85% között van.

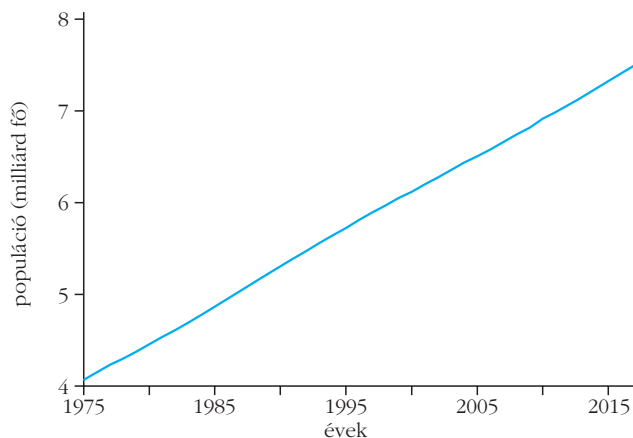
Mi az oka az energiafogyasztás növekedésének? A vizsgálatok azt találták, hogy az egyetlen paraméter, amivel az energiafogyasztás immár három és fél évtizede erős korrelációt mutat: az emberek száma! Bármilyen meglepő, az egy főre eső átlagos energiafogyasztás három évtizede alig változott (1. ábra), legfeljebb kis mértékben – (1-2%)/évtized – növekedett, és néhány százalékon belül 70-75 GJ/fő/év körül mozog [3].

Ma (2017) 7,5 milliárd ember él a Földön (2. ábra). Ez a szám évente körülbelül 70 millióval növekszik. Ezt összevetve az előzőekkel látszik, hogy a világ

<sup>1</sup> EJ (exajoule) = 10<sup>18</sup> J.



1. ábra. A fejenkénti energiafogyasztás változása 1980 és 2012 között (forrás [3] és hivatkozásai).



2. ábra. A populáció növekedése az elmúlt 40 évben (forrás: Wikipedia).

népességének növekedése miatt energiaigény-csökkenés a következő évtizedekben valószínűleg nem érhető el. A jelenlegi, ásványi forrásokra alapozott energiaellátó rendszerek azonban bizonyosan nem tarthatók fenn sokáig, szükség van más, a megújuló energiaforrások és az atomenergia széleskörű alkalmazására [3].

#### Megújuló energiaforrások

A napenergia hasznosításának fő területei a következők: a) az aktív szoláris termikus rendszerek, b) a mezőgazdasági termikus alkalmazások, c) a szoláris fotovoltaiikus rendszerek energetikai célú hasznosításra, d) passzív szoláris termikus rendszerek. Az elemzés azt mutatja, hogy a fenti lehetőségek mindegyikének létjogosultsága van és megfelelő kihasználás esetén az energiaigények jelentős részét fedezhetné. Mindezzel szemben áll, hogy a napenergia alkalmazása óriási területek felhasználását igényli. Egy kanadai (Sandia, Ontario) fotovoltaiikus naperőmű 80 MW<sub>csúcs</sub> kapacitással átlagosan 13,7 MW<sub>e</sub> teljesítménnyel működött 2011-ben és ehhez 1 km<sup>2</sup> területet vett igénybe. Ráadásul napenergia műszaki-gazdasági kultúrája csak napjainkban alakul ki a közép-európai térségben. Gazdaságilag egyelőre mérsékeltlen vonzó alternatívának tűnik. A tudatos fejlesztéshez ki kell dolgozni a klímapolitikai célkitűzéseket, miközben vizsgálni kell a környezeti hatásokat is.

A vízenergia igazi megújuló energia, amelyet energetikai célokra már régóta felhasználnak. Jelenleg az összes megtermelt elektromos energia 16%-át vízenergia segítségével állítják elő.

A vízenergia előnyei közé tartozik, hogy működtetése alacsony költségek mellett folyhat és egy vízerőmű élettartama hosszú. Ráadásul ez régen alkalmazott, ismert és bevált technológia. A vízerőművek külön előnye, hogy hasznos elemei a nagy elektromos hálózatoknak. A gátak az árvízvédelem kipróbált segítői és a folyami hajózást is elősegítik. Környezetkímélő abból a szempontból, nincs közvetlen széndioxid-kibocsátása. Trópusi és szubtrópusi viszonyok között azonban a duzzasztott tóban kialakuló, esetleg buja vízinövénytermeg szerepet játszhat a széndioxid-kibocsátásban.

A folyókon gátakkal megépített erőműveknek azonban jelentős hátrányai és figyelemre méltó környezeti hatásai vannak. Gazdasági jellegű hátrány, hogy az építkezések nagy kiterjedésűek, sok tőkét kötnek le, az erőművek csak lassan épülnek meg. A folyami gátak fölött nagy vízfelületek (tározóterek) jönnek létre, amelyek sok embert érinthetnek akár úgy is, hogy lakóhelyüket el kell hagyniuk. A megváltozott vízügyi körülmények új vízhasználati és földhasználati módok kialakítását teszi szükségessé. Nyilvánvaló, hogy komoly ökológiai károk keletkezhetnek. A duzzasztott vízfelületek addig összefüggő élőhelyeket választanak el egymástól, megváltozik a vízjárás és a vízi élőhelyek is átalakulnak. A vízminőséget folyamatosan ellenőrizni szükséges és a halak vándorlását is külön biztosítani kell. Egy nagy teljesítményű vízerőmű hatalmas területre kiterjedő talajvízszint-változást okozhat.

Fontos lenne a szivattyús vízerőművek telepítése kérdésének megvizsgálása. Ezeket is figyelembe véve a vízerőművek jelentős szabályozó szerepet töltenek be az elektromos hálózatok működtetésében.

A biotömeg energetikai felhasználásában sokan nagy lehetőségeket látnak. Ezt arra alapozzák, hogy a sok ország felesleges agrárpotenciáljának egy részét erre a célra lehetne alkalmazni. A lehetőségek azonban korlátozottak. A biomassza energiatartalma a különböző növényfajok esetén csak mintegy 10%-os eltérést mutat, a termőföld energetikai hasznosításában jelentkező tényleges különbséget a hozamok közötti eltérések okozzák. Az elemzések azt mutatják, hogy jelentős mennyiségű energia megtermeléséhez rendkívül nagy területekről kellene összegyűjteni a növényi biomasszát. Így például egy 1 MW teljesítményű, folyamatosan működő elektromos erőmű táplálásához ~600-1500 hektárnyi földterület termését kellene begyűjteni.

Hibás energiapolitikával akár rablógazdálkodásra (például erdők tarvágása) is készíthetjük az alkalmazókat. Ezen túlmenően a földhasználat egy sor további jogi és közigazgatási problémát is felvet. Ráadásul mindvégig megoldatlan maradhat az élelem- és az energia-termelés szembeállításának súlyos etikai kérdése.

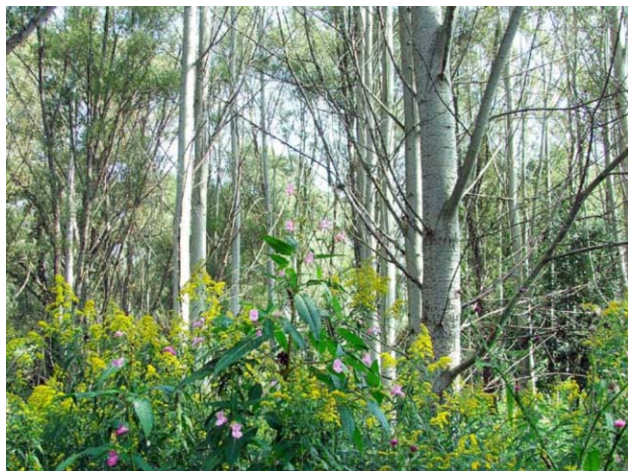


Fentiekén túl az energiaültetvények – mind a fás, mind a lágyszárú növények esetén – komoly természetvédelmi problémákat vetnek fel nemcsak hazánkban, hanem szerte a világban. Tudni kell, hogy Közép-Európa eredeti vegetációjának mára csupán mintegy ~15%-a maradt fenn. Így például hazánkról a Magyarország Élőhelyeinek Térképi Adatbázisa (MÉTA) program keretében kiderült, hogy a természetes növényzet – mennyiségileg és minőségileg egyaránt – évente egy százalékkal fogyatkozik. Noha az ilyen pusztulás csekélynek tűnik, ám ez azt jelenti, hogy hatvan-hetven év múlva a jelenlegi természetes növényzet mintegy 75 százaléka eltűnik.

Mindezt alapvetően a tájidegen, gyakran invazív váló, úgynevezett özönnövények gyors terjedése okozza. Ezek közül régóta ismertek az idegen kontinensekről behurcolt fajok. Ilyenek például az Észak-Amerikából származó akác, parlagfű, amerikai kőris, zöld juhar és a gyalogakác, vagy a keletről érkezett japán keserűfű és a kaukázusi medvetalp. Az ártéri ligeterdőkben és egyéb vizes élőhelyeken egyre nagyobb teret hódít el az őshonos nyárfaktól és fűzektől – az amerikai kőrisen és zöld juharon kívül – az energetikai célokra telepített gyorsan növő hibrid nyárak és fűzfélék (3. ábra). Ezek az „energiaerdők”, amelyek egyidős nemesített egyedekből, számos esetben klónokból állnak, gyakorlatilag monokultúrák, kis biodiverzitással rendelkeznek, és lágyszárú szintjükben a természetvédelmi szempontból rendkívül káros tájidegen özönfajok uralkodnak.

A lágyszárú energianövényeknél a fűfélék közül több országban – mások mellett – a *Miscanthus* fajtákat termesztik, míg Magyarországon a Szarvasi-1 (*Elymus elongatus cv Szarvasi-1*) növénnyel folynak kísérletek. Ez a növény az Alföld szikes talajú területeiről, illetve Közép-Ázsia száraz térségeiből begyűjtött növényanyagok keresztezésével jött létre és nagy variabilitást mutat. Tarackféle lévén – vegetatív úton – gyorsan terjeszkedik, emellett nagy maghozammal is rendelkezik, így fertőzi a védett területeket és a ter-

3. ábra. Energiaültetvény tájérték szempontjából kevés értékű monokultúrák kialakulásához vezet. A telepített nyárerdő lágyszárú szintjében uralkodik a tájidegen magas aranyvessző (*Solidago gigantea*).



mészetes élőhelyeket. Agresszív terjeszkedése és nagy ökológiai tűrőképessége miatt kiszorítja a természetes növényzetet, megjelenését természetvédelmi szempontból sokan rendkívül károsnak tartják.

A szélenergia felhasználása a tengerekhez közel eső területeken kedvező tapasztalatokat hozott, azoktól távol az alkalmazásnak természetes korlátai vannak. Összességében: a teljes energiaigény néhány százalékanak szélenergiával történő előállítása – hosszabb fejlesztés után – reálisnak tűnik. A jelenlegi szélerőművi kapacitás ingadozásai kicsik az egyéb ingadozások mellett. Ráadásul elképzelhető, hogy arra alkalmas helyeken a vízerőművekkel való szoros vezérlési kapcsolatot lehet megvalósítani. Ez szép példája lenne különböző földrajzi régiók együttműködésének.

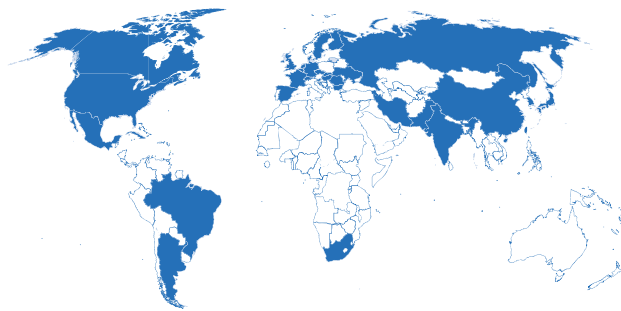
Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy egy sor megújuló forrásról bizonyították be, hogy alkalmas jelentős mennyiségű energia megtermelésére [4]. Az elemzésekből azonban az is látszik, hogy a közel teljes energiaigény kielégítése csak a megújuló források alkalmazásával a következő 30-50 évben valószínűleg nem érhető el.

Ugyanakkor jelentős energia megtermelése mindig komoly tájökológiai és környezeti hatásokkal jár. Ez nagy mennyiségű, egészségre, környezetre káros anyag kibocsátásában, veszélyes hulladékok keletkezésében, igen nagy területek igénybevételében nyilvánul meg. Fontos azonban emlékezni, hogy az egyes energiafajták összehasonlításánál az elemzéseket az azonos megtermelt energiára kell elvégezni [4].

#### Az atomenergia széleskörű felhasználása

Az előbb tárgyalt megújuló energiaforrásokon kívül egyedül a hasadós magenergia tud olyan technológiát kínálni, amely nagy mennyiségű, emberi felhasználásra alkalmas energiát képes termelni. A nukleáris energetika már most komoly részarányt képvisel az energiaellátásban (4. ábra), hiszen az összes megtermelt elektromos energia mintegy 11%-át (5. ábra) a jelenlegi 447 atomreaktor termeli (2017. március). Ráadásul az atomenergia egy olyan energiatermelési módot jelent, amely egyáltalán nem bocsát ki klímaváltozás folyamatát elősegítő széndioxidot. A nukleáris energia egy olyan technológiát testesít meg, amely alapvetően különbözik minden más alkalmazott energiatermelési módtól.

4. ábra. Országok, amelyekben jelenleg is működik atomerőmű.



A nukleárisenergia-termelés értékelésekor több komoly aggodalom is felmerülhet. Ezeket a fenntartásokat a legegyszerűbben a nukleáris fűtőanyag útjának vázlatos követésével mutathatjuk be.

Az eddig megépített atomerőművekben az energiát néhány, igen nehéz atommag (ilyenek például a  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ) két kisebb atommaggá történő elhasadásakor felszabaduló reakcióhő adja. Ez az energia olyan nagy, hogy mintegy 5-6 nagyságrenddel felülmúlja

az azonos tömegű anyagok kémiai reakciójánál felszabaduló energiákat. Magát a hasadást neutronokkal váltjuk ki. Tekintettel arra, hogy a hasadásnál neutronok keletkeznek, az energiatermelés neutron-láncreakció formájában valósul meg. Az atomerőművek biztonságos működtetése éppen e láncreakció ellenőrzésével valósul meg.

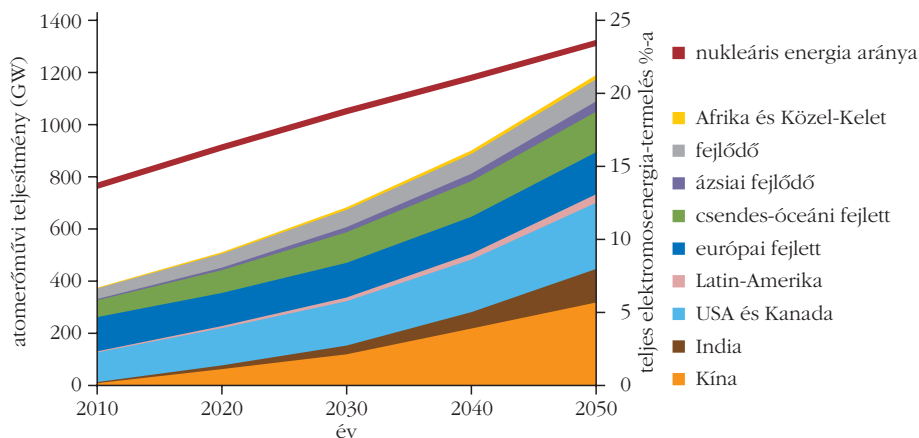
A nukleáris fűtőanyagciklus kiinduló pontja a hasadóanyagok előállítása. Ez az urán bányászását jelenti, ami különleges nehézségeket nem rejt magában. A fűtőanyag előállításának következő lépése az, hogy a természetben előforduló két uránizotóp ( $^{235}\text{U}$ , illetve  $^{238}\text{U}$ ) közül a hasadó könnyebb izotóp viszonylagos részarányát meg kell növelni, vagyis a 235-ös uránt dúsítani kell. Ez azért okoz problémát, mert minden olyan szervezet, amelyik dúsítani tud, végső soron atombombát is előállíthat. Ez pedig nemzetközi bizonyság nélkül komoly feszültségek forrása.

A fűtőelemek a reaktor magjába kerülnek és velük beindulhat a nukleáris láncreakció. A reaktorok magjában hamarosan hatalmas aktivitások épülnek fel rendkívüli energiasűrűség mellett. Ezen a ponton hihetően biztosítani kell a reaktor a balesetmentes működését, vagyis azt, hogy a radioaktivitás nem kerül ki a bioszférába.

A fűtőelemekben a neutronokkal kiváltott magreakciók révén egy sor uránon túli izotóp, transzurán atommag termelődik. A hasadványok és a transzuránok elválasztása jelenti a fűtőelemek újrafeldolgozását. Itt az a nehézség merül fel, hogy mindazok, akik ezt végre tudják hajtani, atombomba előállítására alkalmas, hasadásra képes transzuránokhoz juthatnak.

Végezetül tudomásul kell venni, hogy a nukleáris fűtőanyag nagy aktivitású, hosszú felezési idejű transzuránokat tartalmaz, amelyeket igen hosszú időre (sok ezer évre) biztonságosan el kell zárni a bioszférától.

Az atomenergiával kapcsolatban felmerült problémák tárgyalásakor azonban hangsúlyozni kell, hogy – elsősorban a lényegesen nagyobb energiasűrűségek miatt – azonos megtermelt energiára vonatkoztatott hulladékok, tárolandó aktív anyagok mennyisége nagyságrenddel kisebb, mint más energiatermelő eljárásokban keletkezetteké. A problémák jellege egészen más,



5. ábra. Előrejelzés az atomerőművi kapacitás változására (forrás: IEA/NEA).

mint a többi alkalmazásnál. Ma úgy tűnik, hogy a tudomány az atomenergia minden felmerült nehézségére kínál mérlegelhető megoldást és a társadalmi megítélés kérdése is, hogy mennyire fogadjuk meg ezeket. Mindenesetre a jövő reaktorainak a felmerült összes problémára alapos és meggyőző választ kell adniuk.

Az energiatermelés átalakítása, a megújuló energiaforrások és a körülményektől függően az atomenergia bevonása, az energiaipar megújítása sürgős és halaszthatatlan feladat. Ráadásul nincsen eleve ismert, a jó megoldás felé vezető út. Az energia legfeljebb átmenetileg lesz olcsó, és mindenkinek fel kell készülnie arra, hogy akár ténylegesen harcolni kell az energiáért, de a jelenlegi életszínvonal csökkenését valószínűleg el kell majd viselni. Ezt a küszöböt csak fegyelmezett, öntudatos csoportok lesznek képesek átlépni!

## A biodiverzitás változásai, csökkenésének következményei

A biodiverzitás az 1992. évi Rio de Janeiróban megtartott ENSZ konferencia óta – *Biológiai Sokféleség Egyezmény*<sup>2</sup> gyakran használt nevén Riói egyezmény – korunk egyik kulcsszava, amely a görög biosz, illetve latin diversitas szavak jelentésének megfelelően a biológiai sokféleséget jelenti. Az értelmezésnél ide kell érteni mind a genetikai, egyedi, populációs, ökoszisztéma és táji szintű sokféleséget, és mindezt a szárazföldekre, tengerekre és édesvizekre is értelmezve. Mostanában a geográfusok és a geológusok a geodiverzitás vizsgálatával is egyre gyakrabban foglalkoznak. Ez a sokféleség a földtörténet során mindig változott, átalakult, így például a valaha élt fajok túlnyomó része mostanra kihalt. Maga a fajkihalás tehát természetes jelenség. A jelenkori fajkipusztulást a korábbi földtörténeti korokban tapasztaltaktól a kihálás sebessége – mely 100-szor, 1000-szer gyorsabb a korábbiaknál – különbözteti meg. A nagy kihálási hullám 65 millió évvel ezelőtt, ami a dinoszauruszok kihálásával is járt, földtörténeti szempontból „hirtelen” váltást jelentett az élővilágban, ténylegesen azonban több százezer év alatt játszódott le [5].

<sup>2</sup> Convention on Biological Diversity

A jelenlegi kihálási hullámnál más a helyzet. Elég, ha példaként csak néhány, sokak által jól ismert fajt idézünk. Ezek egyike a dodó galamb, mely Mauritius szigetéről tűnt el a gyarmatosítók által behurcolt ragadozók (kutyák, macskák, patkányok stb.) miatt. Az észak-amerikai vándorgalamb<sup>3</sup> egy másik ismert példa. Ezek néhány száz éve még óriási csapatokban vonultak, ám 1914-ben elpusztult az utolsó egyed is. A kihálás oka a vándorgalamb élőhelyeinek átalakítása (területcsökkenés, fragmentáció, izoláció), illetve a vadászat volt. A gyors kihálási ütem ezeknél, és más fajoknál is az emberi tevékenységekre vezethető vissza. Egyik legjelentősebb hatás az, amikor az érintetlen, természetes állapotú élőhelyeket mezőgazdasági területekké, faültetvényekké, infrastruktúrával lefedett területekké (település, zöldmezős beruházás, úthálózat) alakítanak át. Ez a veszélyforrás – a Föld lakosságának rohamos növekedésével – egyre jelentősebbé válik.

A biodiverzitás csökkenésének (újabbán már diverzitásvesztésről beszélünk) becslésekor-felmérésekor problémát jelent, hogy nem ismerjük a Föld bioszférájában élő fajok számát. A tudomány eddig mintegy 1,7 millió fajt írt le, ám a teljes fajkészletet egyesek minimum 5 millióra teszik, de vannak 15-50 milliós, vagy még ennél is magasabb becslések. A teljes fajszám tehát nem ismert, annak csökkenési üteme azonban jól becsülhető. Ismert ugyanis a fajszám-terület törvényszerűség, ami azt jósolja, hogy 100%-os területnövekedés 20-30%-os fajszámnövekedést eredményez. Ez fordítva is igaz. Ha például a trópusi esőerdők 1%-át írjuk ki évente, az 0,25% fajszámcsökkenést okoz. 10 millió fajt feltételezve e rendkívül fajgazdag trópusi erdőkben, évente 25 000, azaz óránként három faj kipusztulásáért vagyunk felelősek! Az evolúció során új fajok is kialakulnak, de ezt a gyors kihálási sebességet képtelen ellensúlyozni [6].

A biodiverzitás alapvetően fontos az egész bioszféra, az élővilág „működtetéséhez”. Ez magába foglalja a fotoszintézis során megkötött energia révén létrehozott elsődleges produktókat (amelynek során szerves vegyületek, például cukrok képződnek), amely a fogyasztó (heterotróf) szervezetekben végbemenő lebontások folyamán energiává alakul, és lehetővé teszi az életet. Kísérleti parcellákba vetett eltérő fajszámú növénytársulások alapján kimutatták, hogy az elsődleges produktó nagyobb a fajgazdagabb helyeken. Ha tehát csökken a biodiverzitás, egyre kevesebb produktum (szerves anyag) keletkezik. Elsősorban a mező- és erdőgazdálkodás révén az élővilág által megtermelt anyag mintegy 40%-át használja fel jelenleg az emberiség. Amennyiben csökken a produktó és növekszik az emberiség által kisajátított arány, néhány évtizeden belül a természetes rendszerek műkö-

dése „üzemanyag” hiányában akadozni fog, azok jelentős mértékben átalakulnak, a Föld eltartó képessége rohamosan csökken és a jelenlegi emberi társadalmat nem fogja tudni eltartani.

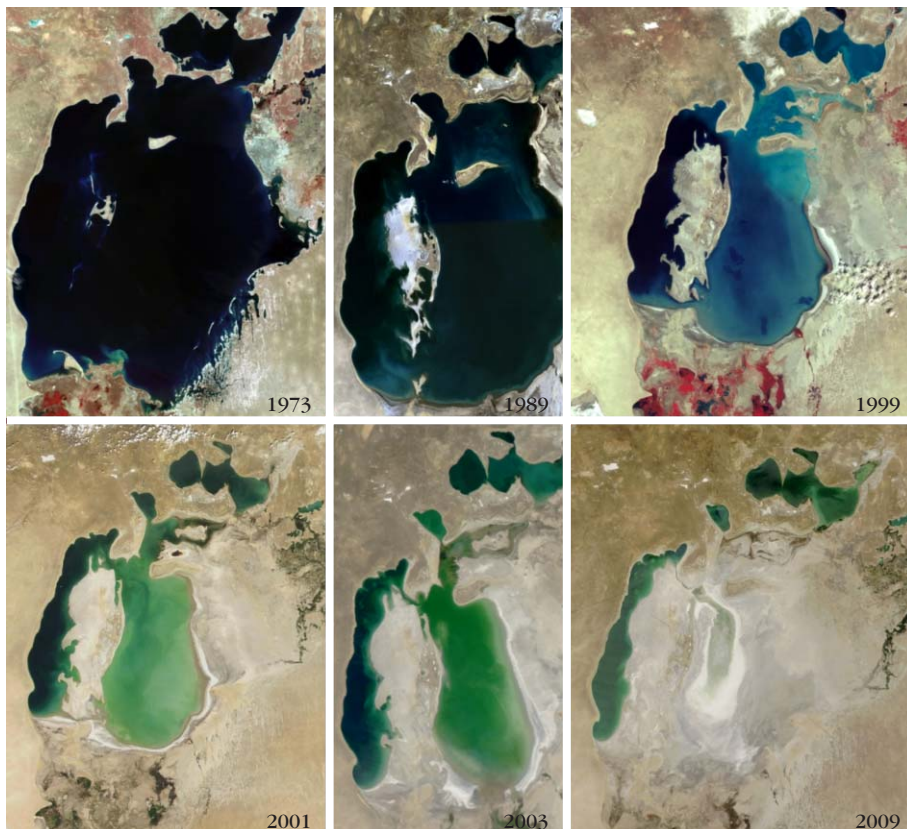
A fentiekén túl, a biodiverzitás csökkenésének számos egyéb olyan káros következményei is lehetnek, amelyek alig ismertek. Mennyire van a köztudatban például az, hogy a gyógyításra használt szerek 80%-a természetes eredetű, azaz különböző növényi, állati vagy mikrobiális forrásból származik? Ismert-e, hogy az emberiség által fogyasztott növényi termékek 75%-a a vadon élő rovarok beporzó tevékenységének köszönhető, ami pénzben kifejezve több, mint 100 milliárd euró szolgáltatást jelent évente? Tudjuk-e, hogy egy-egy földrajzi területen élő fajgazdag ízeltlábú rovarközösség a mezőgazdasági táblákon előforduló rovarkártevőket, például levéltetveket vissza tudja szorítani, míg egy monokultúrában, ahol a kártevőket vegyszerezéssel irtják, az jelentős mértékű környezetszennyezést eredményez? A példák sora szinte végtelen, hiszen a természet rengeteg „adománnyal”, más néven szolgáltatással (úgynevezett ökoszisztéma szolgáltatással) támogatja az emberiséget.

Az emberiség okozta biodiverzitás-csökkenést a szintén az emberiség által gerjesztett klímaváltozás csak tovább erősíti. Közvetve például a földhasználatváltozás és a tájidegen inváziós fajok elterjedése hat negatívan a biodiverzitásra. Jelentősek a közvetlen hatások is, például az egyes fajok elterjedési területének változása, vagy a szaporodási időszak eltolódása. A melegebb, és egyre korábban kezdődő tavaszok miatt például az Afrika déli részén telelő vonuló madárfajaink nem érnek vissza, hogy a nekik optimális időben és élőhelyi viszonyok között rakjanak fészket. Ezzel szaporodási sikerük kisebb lesz, állományaik csökkennek.

A Kárpát-medencében és azon belül Magyarországon, csakúgy, mint sok más régióban is, az évezredes emberi jelenlét fokozatosan átalakította a környezetet. Ugyanakkor a nagyléptékű átalakítások, például a folyószabályozások csak a 19. században indultak meg, így addig egy gazdag, az emberi jelenléthez alkalmazkodó, sőt, azt már igénylő élővilág alakult ki. Gondoljunk például a Kárpát-medence pusztáira, amelyek a legeltetés miatt jöttek létre, és amelyek a legeltetés (vagy a kaszálás) hiányában elcserjésednek, így átalakulnak és idővel eltűnnek. A 20. század második felében a nagyüzemi mezőgazdálkodás, a műtrágya és egyéb vegyszerek használata miatt azonban számos faj állománya jelentősen csökkent. Például a magyar puszták nagytermetű madara, a túzok mára mindössze 1500 példányban fordul elő Magyarországon. Az 1900-as évek elején a trianoni határokon belüli túzokállományt 8000 körülre becsülték. A 20. század leg- elején viszont még rendszeresen vadászták a fajt, a hivatalos statisztikák szerint évi 1000-4000 példányt lőttek ki. Az aktív természetvédelmi kezelésnek köszönhetően növekedett meg 1100 példányról 1500-ra az elmúlt évtizedekben. A 20. századi biodiverzitás-

<sup>3</sup> A vándorgalamb múzeumi példányából kinyerhető gének és szirti galambok segítségével elképzelhető a kihalt faj „feltámasztása”. Erről írt a *National Geographic* magyar kiadása 2016. júniusi száma a 131. oldalon. Az írás a <https://www.scribd.com/document/348995700/National-geographic-2016-06-Szam-hun-Scan-ebook#download> webhelyen megtekinthető. (szerk.)





6. ábra. Műholdfelvételek az Aral-tóról 1973 és 2009 között. A vízfelület drámai zsugorodása nyilvánvaló.

csökkenés ellenére – az Európai Unió legtöbb államához képest – Magyarország jelenlegi élővilág-állapota kedvező. Számos, Magyarországtól nyugatra eső területen zsugorodó állományú faj a Kárpát-medencében még jelentős számban fordul elő. Az uniós csatlakozás számos lehetőséget biztosít a gazdagság megőrzésére. Remélhetőleg sikerül élni velük az urbanizáció, az infrastruktúra-fejlesztések és a földhasználati változások kedvezőtlen hatása ellenére.

A 21. század során a biodiverzitás-csökkenés olyan globális mértékű problémát fog okozni az elsődleges produkció elégtelensége és az ökoszisztéma-szolgáltatások akadozása miatt, amely alapjaiban fogja megrengetni a Föld jelenlegi fogyasztói civilizációit.

Környezeti katasztrófa, amely hibás vezetői döntés miatt következett be: az Aral-tó drámai pusztulása

Az 1940-ben még 68 000 km<sup>2</sup> területű Aral-tó az akkori Szovjetunióban Kazahsztán, Üzbegisztán és Türkmenisztán határvidékén terült el. A tavat két bővizű folyó, délről az Amu Darja és keletről a Szir Darja táplálta. Az Aral-tó a világ negyedik legnagyobb sós tava volt. A tóhoz komoly gazdasági tevékenység kapcsolódott. Jelentős halászata eltartotta a ráépülő feldolgozó ipart és mintegy 30 000 embernek nyújtott megélhetést. Vízét több mint száz halászhajó járta, amelyek az akkori Szovjetunió haltermelésének egyhatodát adta.

Az 1940-es évek végén, az 1950-es évek elején a szovjet vezetés elfogadta azt a javaslatot, hogy a tavat

tápláló folyók mentén öntöző csatornákat létesítsenek. Az öntözéssel a terméketlen Karakum-sivatag aszályos területein kívántak komoly mezőgazdaságot kiépíteni és többek között rizst, dinnyét és gyapotot termelni.

A csatornák megépültek, jelentősen csökkentve az Aral-tóba beszállított víz mennyiségét, anélkül, hogy számottevő mezőgazdasági termelés alakult volna ki az öntözött területeken.

2008-ra a tó elveszítette korábbi területének háromnegyed részét és vízmennyisége a pár évtizeddel azelőttinek tizedére csökkent (6. ábra). Az Aral-tó menthetetlenül elpusztul!

Az Aral-tó tragédiája emberileg is megrázó. Még sokan élnek azon halászok közül, akik egykoron a – most – homokban fekvő hajókon dolgoztak (7. ábra).

## Élhető lesz-e környezetünk száz év múlva?

Az előbbi három, nem tendenciózusan kiválasztott példa áttekintéséből riasztó kép rajzolódik ki. Sajnos, *Az emberiség mai problémái* fejezetben megemlített, hangsúlyozottan csak példákat felhozó problémacsoport bármelyik más elemét kiválasztva sem lenne lényegesen eltérő a kép. Vegyük sorra a felsorolt kör-

7. ábra. Elhagyott halászhajók az Aral-tó kiszáradt medrében.





nyezeti problémákat! Egyet kell értenünk abban, hogy amerre csak nézünk, komoly, kezelendő környezeti anomáliák, nehézségek sorát látjuk.

Napjainkban szédületes ütemben folyik környezetünk átalakulása. Az alig követhető, napi szintű változás mellett a legnehezebb problémákat a környezetünk jövője oldaláról felmerülő kérdések vetik fel. A természeti erőforrások végesek és nem hosszú időn belül egészen biztosan beszűkülnek. A klíma nagy valószínűséggel meg fog változni. Ez magával hozza majd, hogy az elszaporodott emberiség jelentős része a tengerek által elöntött, vagy éppen az elsivatagosodott területekről, a valóban élehetetlen régiókból a szerencsésebb környezetű vidékek felé fog vándorolni.

Az előbb említett példák, de a legnagyobb környezeti problémák elemzése világosan utal arra, hogy az elmúlt évtizedekben nemcsak a világgazdaság globalizálódott, hanem az átalakulás során előhívott környezeti problémák zöme is. Nyilvánvaló, ezen környezeti veszélyeket csak nemzetközi erőfeszítésekkel lehetne kezelni.

Ugyanakkor a mai világban nincsenek az emberi törekvéseket összefogó erők. Még szervezetek is alig vannak az egy-egy kérdésben egységes álláspontok kialakításához. Ráadásul, az emberiség mély morális válságon megy keresztül. Kortársaink többségének morális színvonala alacsony, ami még a globálisan célszerű és végrehajtható javaslatok megvalósítását is majdnem lehetetlenné teszi. Nekünk úgy tűnik, hogy a társadalom minden szereplője – néhány kivétellel – úgy tesz, mintha csak rövid távú érdeke lenne. Az

egyének többsége csak az anyagi javakat akarja megszerezni és nekik a hosszú távú célok, erkölcsi megfontolások semmit nem számítanak. Az olyan kérdések, mint az emberiség jövője, a környezet, a Föld további sorsa a legtöbb emberben fel sem merül, élik világukat és csak igen távoli, zavaró rossznak tartják a józan kérdések felvetését.

Mindezek ellenére e sorok írói a Föld jövője szempontjából optimisták és vallják, hogy a Föld élhető marad a következő évszázadban is! Ennek alapja az, hogy hiszünk a tudomány hihetetlen erejében és hatékonyságában. A tudomány szinte minden probléma megoldásához segítségül hívható. Ha tömegesen leszünk képesek ezt felismerni, és a segítséget elfogadni, akkor még kiépíthető egy vékony palló, amelyen átmehetünk, hogy a jövő generációk környezete is élhető maradjon! Ehhez azonban már most óriási elszántságra és munkára van szükség.

#### Irodalom

1. D. H. Meadows, D. L. J. Randers, D. Meadows: *A növekedés határjai – Harminc év múltán*. Kossuth Kiadó, Budapest, 2005.
2. Rakonczai J.: *Globális környezeti kihívásaink*. Universitas Szeged Kiadó, Szeged (2008) 19–163.
3. M. Szabó, Á. Kiss: Effects of renewable energy resources on the landscape. *Hungarian Geographical Bulletin* 63/1 (2014) 5–16. DOI: 10.15201/hungeobull.63.1.1.
4. Vajda Gy.: Energiaellátás ma és holnap – Magyarország az energifordulón sorozatban, MTA Társadalomtudományi Központ, (2004) 177–236.
5. Szabó M.: A bioszféra sokfélesége – az élővilág változatossága és veszélyeztetettsége. *Földrajzi Közlemények* 132/4 (2008) 441–449.
6. E. O. Wilson: *Az élet jövője*. Akkord Kiadó Kft. (2006) 288.

## KRITIKUS DINAMIKA EGY NAGY EMBERI KONNEKTOMON

Ódor Géza

MTA-EK, Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet

### Kritikusság és Griffiths-fázisok hálózati modelleknél

Elméleti és kísérleti kutatások arra utalnak, hogy az agy többnyire egy aktív és inaktív fázist elválasztó kritikus állapot környékén működik [1]. A kritikus rendszerek optimális számítási képességekkel rendelkeznek, így ez az állapot hasznos az idegrendszer számára. Miután a kritikusság eléréséhez bizonyos kontrollparamétereket hangolni kell, felmerül a kérdés, hogy miként is történik ez. A probléma jól ismert

a statisztikus fizikában, és helyfüggetlen kölcsönhatású rendszerek esetében az úgynevezett önszerveződő kritikusság (SOC) elméletét vezették be [2]. Az SOC-s modellekben egy lassú és egy gyors folyamat versengésével a rendszer magát hangolja egy kritikus fázisátalakulási pont köré. A kritikus pont környékén a fizikai mennyiségek hatványfüggvény-viselkedést mutatnak, és ha ilyent figyelnek meg, sokan – a fenti ver-

A cikk az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szegedi Vándorgyűlésén, 2016. augusztus 26-án elhangzott előadás alapján készült.

Köszönöm C. C. Hilgetag, R. Juhász és M. A. Muñoz megjegyzéseit, W. Cota ábráját, Ódor Gergely konnektom-adatbázis felfedezését és dekódolását, az OCP projekt segítőkészségét, valamint NIIF HPC szuperszámítógépes támogatását. A kutatást az OTKA (K109577) támogatta.



Ódor Géza 1984-ben villamosmérnöki diplomát szerzett a BME-n. Azóta a KFKI területén levő, különböző nevére átkeresztelt MTA kutatóintézetek kutatója. Fizikusi MSc-t 1993-ban Chicagóban, PhD-t 1996-ban az ELTE-n kapott. 2004 óta az MTA doktora. Kétszer 1 évig CERN kutatói ösztöndíjas volt. Jelenleg az MTA-EK MFA tudományos tanácsadója, több nemzetközi projekt tagja. Fő kutatási területe a nemegyensúlyi rendszerek statisztikus fizikája a rendezetlen és univerzális viselkedések vizsgálata.