

## EGY VITATOTT BIOSZFÉRA-MODELL ERÉNYEI ÉS HIBÁI

KERÉNYI ATTILA

*Tájvédelmi és Környezetföldrajzi Tanszék, Debreceni Egyetem, 4032 Egyetem tér 1., Debrecen  
E-mail: kerenyi.attila@science.unideb.hu*

**Összefoglalás:** Az 1970-es években publikált Gaia-hipotézist a tudományos közvélemény elutasítóan fogadta, amely ennek következtében szinte feledésbe merült. A hipotézis megalkotója James Lovelock a NASA szakértője volt, akit egyes mikrobiológiai kérdések megválaszolásában Lynn Margulis társszerzőként segített. Tanulmányunkban a hipotézis értékeit, tudományos bizonyítékokkal alátámasztott állításait foglaljuk össze, amelyek egy részét az ökológusok és a földtudományok képviselői mára már elfogadták. Másrészt rámutatunk azokra a hibákra, amelyek jogos támadási felületet adtak a bírálók számára.

**Kulcsszavak:** Gaia, bioszféra, kibernetikai rendszer, érzékenységi pontok, környezet megváltoztatása

### 1. BEVEZETÉS

Már születése idején, az 1970-es években sok támadás érte a Lovelock J. E. nevéhez fűződő Gaii-hipotézist, amelyben a szerző a globális földi rendszert egyetlen élő szervezetként fogja fel. A Gaia (Földanya) elnevezés eleve a tudománytalanság gyanúját keltette a földi környezettel foglalkozó ökológusokban, földtudománnyal foglalkozókban. Goodwin (2003) szerint a természettudományok képviselői „Szemétdombra vetették és elsüllyesztették az egész hipotézist.”

Ilyen előzmények után kérdésként merülhet fel, miért foglalkozunk ezzel a tudományos hipotézissel több, mint 40 év után. Válaszunk: ha Lovelock és hozzá később csatlakozó Margulis munkáiról „lehámozzuk” a mitologikus burkot, továbbá elfogulatlan kritika tárgyává tesszük azokat, akkor megállapíthatjuk, születésének idején új szemléletű, egzakt bizonyítékokon alapuló állításokat tartalmaznak, amelyek közül egy-két sarkalatos állítást szép csendben mégis elfogadott a tudományos közvélemény. Cikkünkben a Gaia-hipotézis lényeges megállapításait elemezzük, összefoglaljuk erényeit és hibáit, máig ható következtetéseit. Elemzésünk alapjául az irodalomjegyzékben részletezett alábbi munkák szolgáltak: Lovelock (1972), Lovelock és Margulis (1973), Margulis és Lovelock (1974), Lovelock (1987).

## 2. A FÖLDANYA TULAJDONSÁGAINAK RENDSZERSZEMLELETŰ ÉRTELMEZÉSEI

### 2.1. Gaia mint fekete majd szürke doboz

Lovelock eleinte fekete doboz modellben gondolkodott: azt vizsgálta, hogy a bioszféra működése milyen végtermékeket juttat a földi környezetbe, elsősorban a légkörbe. Lovelock eredetileg a NASA megbízásából a Marson esetlegesen létező élet nyomait kutatta. Megállapította, hogy a Marson – a Földdel ellentétben – a nem reaktív gázok stabil atmoszférát alkotnak. Ebből arra következtetett, hogy most nincs élet a Marson – de nem zárta ki, hogy korábban lehetett. Abban az esetben azonban a légkörének másféle összetételűnek kellett lennie. Véleménye szerint a Föld atmoszférája kémiai ellentmondásokat mutat: túlságosan sok benne az oxigén és a metán. Ezek a gázok egymással keveredve és reakcióba lépve nem létezhetnének ilyen nagy koncentrációban, kivéve, ha valami folyamatosan termeli ezeket. Más gázok esetében is megfigyelt ilyen anomáliákat. A hidrogén, a nitrogén és az oxigén is reakcióba kellene, hogy lépjen egymással, s ez esetben kisebb kellene, hogy legyen a koncentrációjuk, mint ahogy a mérések mutatják.

Lovelock ezeket a kémiai anomáliákat a bioszféra (Gaia) életfunkcióinak tulajdonította. Ekkor már foglalkoznia kellett az élő rendszerek, élőlénycsoportok (a globális élő rendszer elemei) egymáshoz való viszonyával (szürke doboz modell), az általuk termelt gázokkal. Felismerte a kutatásban a mikrobiológia jelentőségét, a baktériumok szerepét a bioszférának az élettelen környezetre gyakorolt hatásaiban. A légköri metánnak az oxigénnel való reakcióképessége miatt gyakorlatilag el kellene tűnnie a légkörből. Ezzel szemben mindig mérhető mennyiségben van jelen a Föld légkörében, sőt az utóbbi évszázadban nőtt a koncentrációja. Fő természetes kibocsátói a metanogén baktériumok, melyek mocsarakban és a szarvasmarhák bendőjében élnek tömegesen, és a természetes is jelentős mennyiségű metánt termelnek. Tehát az élőlények tartják fenn a légkör kémiai anomáliáit. Ehhez az ember is hozzájárul földgáziparával, rizsföldjeivel (itt is baktériumok termelik a metánt), szénbányászattal és a biomassza égetésével.

Maga az oxigén is az élővilág terméke: a legalább 3 milliárd éve működő fotoszintézis (eleinte a cianobaktériumok életfunkciójaként) képes volt közel 21%-os légköri O<sub>2</sub>-arányt előállítani, a redukív légkörből oxidatívát készíteni, miközben a keletkezett oxigén a földkéreg ásványait is oxidálta.

Lovelock arra a következtetésre jutott, hogy az élővilág *aktívan szabályozza saját környezetét*, sok esetben *egyre kedvezőbbé teszi önmaga fejlődése számára*. Így pl. az előállított hatalmas mennyiségű oxigén tette lehetővé a légzés kialakulását, ami pedig – kedvezőbb energianyerési forma lévén – a magasabb rendű élőlények kialakulásához alapvetően hozzájárult. Ugyancsak az oxigén koncentrációjának növekedése teremtette meg a feltételt az ózonpajzs kialakulásához, ez pedig a szárazföldi élőlények elterjedéséhez.

Az élőlények és az általuk alkotott *élő rendszerek* a valóságban rendkívül bonyolult *hálózatot alkotnak*, s a hálózatban *állandó anyag- és energiaáramlás* zajlik. Lovelock a bioszféra működésének tanulmányozásával kapcsolatban abból indult ki, hogy a termodinamika második törvénye alapján egy élő szervezet csak úgy tud fennmaradni, ha állandóan hőt ad le (energiát veszít), ehhez azonban szüksége van táplálékfelvételre (annak anyag- és energiataralmára), s mindeközben minden organizmus hulladékot termel. Ez a hulladék még energiataralommal rendelkezik, és más élőlények számára táplálékul szolgál. Gaia (= Földanya = bioszféra) *globális szinten visszaforgatja az anyagot, nincs „valódi hulladék”* (= haszontalan, fel nem használható anyag).

## *2.2. Gaia mint kibernetikai rendszer*

A szerző számos példát hoz arra, hogy a bioszféra a földtörténet során sok esetben negatív visszacsatolással szabályozta a Föld környezeti tulajdonságait, a légkör összetételét, a globális földi középhőmérsékletet. Ez a planetáris szabályozó rendszer a Gaia legalapvetőbb képessége. A Föld szerinte egy kibernetikai rendszer homeosztatikus tendenciákkal, ami kimutatható a bolygó légkörének kémiai rendellenességeiben.

Lovelock Gaia című könyvében az alábbi definícióit adja (Lovelock 1987): „Gaia olyan összetett egység, amely magában foglalja a Föld bioszféráját, légkört, óceánjait és talaját, olyan kibernetikai rendszert képezve, amely optimális fizikai és kémiai környezetet keres a bolygó élővilága számára. Viszonylag állandó feltételek fenntartása aktív szabályozás útján kényelmesen leírható a 'homeosztázis' fogalmával.”

A korábbiakban Gaiát a bioszférával azonosítottuk Lovelock másutt leírt szövegei alapján, az itt idézett definíció azonban nem teljesen felel meg a bioszférának. Az ugyanis nem fogja át az egész légkört, az óceánok pedig kevesebbet jelentenek a vízburoknál (folyók, mocsarak, tavak, talajvíz, stb.), amit az élővilág teljes mértékben élőhelyként használ. A szerző hosszú eszmefuttatásai azonban arra utalnak, hogy Gaia mégiscsak megfelel a bioszférának. Az ilyenfajta pontatlanságok is támadásai felületet adnak a hipotézis bírálóinak.

## *2.3. Az ember a Gaia része*

A definícióból nem derül ki, de az 1987-es műből egyértelművé válik, hogy az embert is Gaia részeként kezeli. Egy egész fejezetet szán Gaia és az ember közötti kapcsolatok boncolgatásának. Ennek során a következő fontosabb megállapításokat teszi.

- Az ősember teljes összhangban élt Gaia többi részével. (Vagyis amíg az emberek nem szerveződtek társadalomba, és nem kezdtek el termelni, építkezni, nem okoztak változást a bioszférában.)
- Az első ipari forradalom eredményeként ipari tevékenységeivel „belepiszkít fészkébe”. A fokozódó szennyezést sem tartja azonban veszélyesnek a bioszférára nézve.
- Azok a bizonyítékok, amelyek szerint az ipari tevékenység akár ma, akár a közeljövőben Gaia egészének létét veszélyeztetné, nagyon gyenge lábon állnak.
- Gaia önszabályozó tevékenységének nagyobb részét a mikroorganizmusok irányítják. Az embernek ezért a talaj és a tengerfenék aerob lebontó lényeiével, a kontinentális talapzatok és nedves területek kiterjedt anaerob mikroflórájával kíméletesen kell bánnia.
- A kontinentális talapzatok létfontosságúak lehetnek az oxigén-szén körforgás szabályozásában is. A szén eltemetődése a tengerfenék iszapjában teszi lehetővé a levegőben a nettó oxigéntartalom-növekedést. Ostobaságnak tűnik megbolygatni ezeket a területeket.
- Nyolcmilliárd ember etetése anélkül, hogy komolyan károsítanánk Gaiát, sürgetőbb gond, mint az ipari szennyezés.
- A magasszintű technológia nem feltétlenül nagyobb energiafogyasztó, mint a kezdetleges technológia. (Vagyis nem biztos, hogy nagyobb a környezeti hatása.)
- Bizonytalanságunk bolygónk jövőjét és a szennyezés következményeit illetően jórészt a bolygóméretű szabályozórendszer figyelmen kívül hagyásából ered.
- Gaia „központi” területein (a 45 fokos É-i és D-i szélességek között) a helytelen művelés (erózió fokozódása, szénvesztés a talajban) a légkört is olyan mértékben zavarja meg az egész bolygón, ami legalábbis összemérhető a városok ipari tevékenységének hatásával.

- A bozótos és erdős területek felégetése és az évenkénti fűégetés a szén-dioxid mellett szerves anyagok sorát és a lebegő részecskék tömegét juttatják a levegőbe. A légkörben lévő klórmennyiség zömét a metil-klorid gáz, a trópusi mezőgazdaság közvetlen terméke adja.
- Bolygónkra leselkedő elsődleges veszélyeket a trópusokon lezajló emberi beavatkozások jelentik mind a szárazföldi területeken, mind a szárazföldek partjaihoz közeli tengereken.
- Az emberiség optimális létszáma nem egyenlő azzal a létszámmal, amit a Föld még el tud tartani.

A Gaia-hipotézis kétségtelen pozitívuma, hogy az emberiséget mint biológiai fajt is a rendszer részeként kezeli, de azt nem tartjuk helyes megközelítésnek, hogy az embert mint biológiai lényt és a társadalmat a maga épített környezetével, tudatosan szervezett és irányított rendszerével nem különbözteti meg egymástól. Szerintünk az emberi társadalom más minőséget képvisel a rovar társadalmakhoz és az állatvilágban megfigyelhető más szerveződésekhez képest, ezért a Föld önálló alrendszereként helyes kezelni. Az emberi faj, biológiai lényként nagyon nagy egyedszámú, sérülékeny élőlény, társadalmi termékek nélkül (ruházat, épületek, termelt élelmiszerek) nem lenne képes megélni. Társadalmi lényként azonban rendkívül alkalmazkodóképes.

#### 2.4. Gaia mint kaotikus rendszer

Lovelock külön foglalkozik Gaia érzékeny területeivel is. Megállapításaival kapcsolatban emlékeztetnünk kell a kaotikus rendszerek tulajdonságaira. Edward Lorenz szerint a kaotikus rendszer bármely pontja lehet ún. *érzékenységi pont*, amelyre gyakorolt hatás az egész rendszer viselkedését kiszámíthatatlanná teszi (Gleick 1999). Neumann (1955) is felismerte, hogy egy bonyolult dinamikai rendszerben léteznek *instabilitási (érzékenységi)* pontok, de nem gondolta, hogy a rendszer kaotikus (kiszámíthatatlan) viselkedésű. Márpedig a kaotikus rendszerben – Edward Lorenz szerint – *minden pontban* felléphet ilyen instabilitás. Ez utóbbi azért fontos, mert a társadalom számtalan tevékenysége hatással van a globális földi rendszerre, ezek a hatások bolygónk bármely pontján kimutathatók, s nem mindegy, hogy az emberi hatások következményei milyen mértékűek lehetnek. Az instabilitási pontok, területek bolygatása súlyosabb következményekkel jár, mint más területeké.

Nemcsak elméleti szempontból fontos kérdés, hogy a Föld minden pontja lehet-e érzékenységi pont, hanem gyakorlati környezetvédelmi szempontból is. Ha ugyanis bármely *pontja lehet instabil, akkor az emberi tevékenységek mindenütt állandó veszélyt jelentenek* abból a szempontból, hogy hatásukra az egész rendszerben nemkívánatos folyamatok, túlméretezett turbulenciák mehetnek végbe. A globális környezeti folyamatokkal foglalkozó kutatók túlnyomó része – Lovelockhoz hasonlóan – azonban úgy ítéli meg, hogy a Földnek vannak kitüntetett érzékenységi pontjai, ill. területei, nem minden pontja egyformán érzékeny.

Az ökológusok egymással eléggé egybehangzóan a trópusi területeket, azon belül is főleg a trópusi esőerdőket, a tengereken pedig a korallzátonyokat tartják a bioszféra legérzékenyebb részeinek. Ezek megjelölésében fontos szempont az endemikus fajok száma. Az 1. táblázatban az érzékeny területek endemikus növényfajainak számát tüntettük fel. Lovelock ezzel egyetért ugyan, de egy újabb szempontot is felvet: „Kiderülhet, hogy Gaia testének létfontosságú szervei nem a szárazföldeken, hanem a folyótorkolatokban, a nedves területeken és a kontinentális talapzat iszapjában található meg” (Lovelock 1987). Szerinte

a legnagyobb kiterjedésű összefüggő selfterület a Sárga-tengertől a Szunda-szigetekig húzódik, s ez a térség annak a feltételnek is megfelel, hogy bővízű folyók hatalmas mennyiségű hordalékot szállítanak a tengerbe. Lovelock szerint ez azért teszi kiemelten fontos térségekké a selfterületeket, mert a szén eltemetődése a tengerfenék iszapjában – mint azt korábban említettük – teszi lehetővé a légkör oxigéntartalmának növekedését, ill. az egyéb folyamatok által elhasznált oxigén pótlását. A szén eltemetődése nélkül a légköri oxigéntartalom csökkenne, és idővel nullává válna.

A szerző foglalkozik a mikroorganizmusok metánkibocsátásával, mivel szerinte a metán fontos lehet az oxigénszabályozásban. Az óriási mocsaras területek, mint pl. a Ny-Szibériai-alföld, ugyancsak bolygónk érzékenységi területei közé tartoznak. Megjegyezzük, Lovelock ellentmondásba kerül önmagával, amikor a nedves területeket Gaia létfontosságú szerveinek nevezi. Másutt ugyanis azt fejtegeti, hogy Gaia nem lehet érzékeny a sarkok közelében, mert nagyobb trauma nélkül átvészelte a jégkorszakokat, holott a jégtakaró pusztításának mértékét eddig még meg sem közelítette az emberiség. Szerinte a nedves trópusok helyrehozhatták a jég által okozott károkat.

A metán a globális éghajlat szabályozása szempontjából is fontos vegyület. Flannery (2003) szerint, az óceánok É-i területein a mélyben (az óceánok aljzatában) nagy mennyiségű klatrát (metánhidrát) van, ami nagy nyomáson és alacsony hőmérsékleten stabil vegyület, de a hőmérséklet emelkedésének hatására (pl. tenger alatti vulkanizmus) belőle gyorsan óriási mennyiségű metán szabadulhat fel, ami a tengerből elvonja az oxigént, a légköri üvegházhatást pedig megnöveli. Ilyen hatásnak tulajdonítják az 55 millió évvel ezelőtt bekövetkezett hirtelen globális felmelegedést, ami fajok kihalását okozta.

1. táblázat A biológiai sokféleség súlyos veszélyeztetésének főbb területei a szárazföldek érzékenységi pontjai (Fischer Weltalmanach 2001)

Sorsz.	Veszélyeztetett terület	Megmaradt eredeti vegetáció %	Az endemikus növényfajok száma
1.	Közép-Amerika	20	5000
2.	Karib-szigetek	11	7000
3.	Trópusi Andok	25	20000
4.	Cerrado (Brazília)	20	4400
5.	Brazília atlanti parti erdei	7,5	8000
6.	Közép-Chile	30	1605
7.	Földközi-tenger	5	13000
8.	Kaukázus	10	1600
9.	Nyugat-Afrika esőerdei	10	2250
10.	Kenya és Tanzánia erdei	7	1500
11.	Madagaszkár	10	9704
12.	Karoo és Fokvárosi flóratart.	25	7622
13.	Nyugati Ghatok és Sri Lanka	7	2180
14.	Indokína	5	7000
15.	Dél-Közép-Kína	8	3500
16.	Szunda- és Fülöp-szigetek	10	22332
17.	Polinézia/Mikronézia	22	3334
18.	Délnyugat-Ausztrália	11	4331
19.	Új-Zéland	22	1865

Bár a globális felmelegedés is okozhatja a mélytengeri metán felszabadulását, de ez a felszíni felmelegedéshez képest valószínűleg évezredek késéssel következhet csak be.

Az említett érzékenységi területeken kívül feltételezhetően más instabil pontok, régiók is lehetnek a globális földi rendszerben, de ismereteink még nem elegendők ezek meghatározására. Több kutató egyetért abban, hogy a mikroorganizmusok területén a legnagyobb a tudatlanságunk. A globális rendszer önszabályozó képességében valószínűleg ezek játsszák

a legnagyobb szerepet, de még nem tudjuk hogyan. Meghatározó funkciójukat támasztotta alá az Egyesült Államokban végzett „Bioszféra 2” elnevezésű kísérlet. Ennek az volt a lényege, hogy mai rendszerelméleti ismereteink szerint a kutatók megterveztek egy kis méretű „bioszférát” a valódi bioszférától teljesen elszigetelve, benne néhány vállalkozó szellemű emberrel.

A rendszernek önfenntartó módon kellett volna működni, de egy idő után a „Bioszféra 2” légkörében a gázösszetétel kezdett megváltozni a földi légkör összetételéhez képest (erősen csökkent az oxigén koncentrációja), így a kísérletet be kellett fejezni, vagyis sikertelen volt az ember-alkotta bioszféra önszabályozása. A kutatók a kísérlet kudarcát a mikroorganizmusok tevékenységének nem kellő ismeretére vezették vissza. Úgy tűnik tehát, hogy a mikroorganizmusok élettevékenységei miatt lehetnek instabilitási területek a talajokban és a tengerfenék üledékeiben, ill. magában a tengerben is, amelyekről még nem tudunk. Vagyis a kísérlet megerősítette Lovelock feltételezését.

Bár mint láttuk, a kutatók véleménye egyes kérdésekben megoszlik, abban közös az álláspontjuk, hogy a globális földi rendszernek van több olyan területe is, amelynek megzavarása nagyobb változásokat okozhat az egész rendszer működésében, mint a többi terület zavarása. Ezeknek az érzékenységi pontoknak/területeknek a további feltárása az egész emberiség szempontjából fontos, mert ezeken a helyszíneken korlátozni kell az emberi tevékenységeket, különben a globális földi rendszer működési zavarai visszaütnek a társadalomra.

### 3. A HIPOTÉZIS FŐ EREDMÉNYEI ÉS HIBÁI

A Gaia-hipotézist a természettudósok erősen támadták, holott Lovelock szerzőtársával, Lynn Margulis-szal egzakt bizonyítékokon alapuló megállapításokat tettek. Mindenekelőtt megállapították, hogy a mikroszervezetek képesek megváltoztatni bolygónk környezeti feltételeit. Az élőlények nem egyszerűen csak alkalmazkodnak környezetükhöz, hanem meg is változtatják azt, mégpedig úgy, hogy az számukra kedvezőbb feltételeket biztosítson. Ez túlmutatott a Darwin-féle természetes kiválogatódás elméletén, s ma már ez a tézist széles körben elfogadják a kutatók. Goodwin (2003) szerint „Lovelockék azzal vétettek az ortodox tudomány elvárásai ellen, hogy a hipotézist a „Gaia” névvel illették, amiből eleve az következett, hogy a Föld valamiféle élőlény. Vissza kellett táncolnia elmélete azon következtetéseitől, miszerint a Földnek bármiféle képessége, szándéka vagy célja lenne azzal, hogy gondoskodik a rajta létező életről.”

Lovelock elkövetett néhány hibát hipotézise kidolgozásakor és publikálásakor. Korábban jeleztük, hogy maga a Gaia kifejezés is misztikus, mitologikus gondolatokat ébreszt az olvasókban, nem pedig az egzakt tudományosság felé tereli a figyelmüket.

Azt sem tartjuk szerencsés okfejtésnek, hogy Gaia egyetlen élőlény, és ennek az élőlénynek egyes szerveit próbálja az emberi szervekkel párhuzamosítani (pl. A tengeri barnamoszatok a pajzsmirigyhez hasonló feladatot láthatnak el bolygóméreteken.)

Még inkább támadható az a feltételezés, mely szerint a légköri egyensúlyhiány mértéke arra utal, hogy „a légkör nemcsak eredménye az élővilág tevékenységeinek, hanem – sokkal valószínűbb módon – annak céltudatos alkotása.” Ez a kijelentés (céltudatos alkotás) azt sejteti, hogy Gaia értelmes lény, (ilyen utalás másutt is előfordul a műveiben) ami az egész bioszférára vonatkoztatva meglehetősen merész állítás. Lovelock további magyarázata

végképp zavarossá teszi a céltudatosság és az élő vagy élettelen lény közötti választási lehetőségét. Az előbb idézett gondolatát így folytatja: „Nem él, de a macska bundájához, a márdartollhoz vagy a darázs-fészekhez hasonlóan az élő rendszer olyan kiterjesztése, aminek feladata a kiválasztott környezet fenntartása.” Milyen élőlény az, amelyik nem él? A macska bundájához hasonló élettelen anyag hogyan lehet céltudatos?

Nem növeli a szerző tekintélyét az írásaiban a több helyen is előforduló pontatlanság. Ld. a kulcsfontosságú Gaia-definíciót, vagy az iménti idézetek ellentmondásosságát.

E hibák és pontatlanságok ellenére Lovelock Gaia-hipotézisének az előzőekben megfogalmazott főbb megállapításait máig ható fontos tudományos eredménynek tartjuk.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Der Fischer Weltalmanach (2001) Fischer Taschenbuch. Verlag, Frankfurt am Main  
Flannery T (2006) Időjáráscsinálók. Akkord Kiadó, Budapest  
Gleick J (1999) Káosz – Egy új tudomány születése. Göncöl Kiadó, Budapest  
Goodwin B (2003) A kultúra árnyékában In: Brockmann J (szerk) A következő 50 év. A tudomány a XXI. század első felében. Vince Kiadó, Budapest, 52-61  
Lovelock JE (1972) Gaia as seen through the atmosphere. Atmospheric Environment 6:579  
Lovelock JE, Margulis L (1973) Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis. Tellus 26:2  
Lovelock JE (1987) Gaia – A földi élet egy új nézőpontból. Göncöl Kiadó, Budapest  
Margulis L, Lovelock JE (1974) Biological modulation of the Earth's atmosphere. Icarus 21:471  
Neumann J (1955) Can we survive technology? Fortune 51:151-152