

## 12. Az élővilág egysége

„Péter, én itt rögtön az elején nem értek valamit. Miért az emberi társadalmak, a világgpiac és az egész emberi történelem után írsz az ökoszisztémákról? Eddig az volt az érzésem, hogy a kevésbé komplex hálózatoktól haladunk a komplexebbek felé.” És mennyire igazad volt, Kecec! Még mindig a kevésbé komplex hálózatoktól haladunk a komplexebbek felé. Az emberiség minden globalizációs büszkeségével és párezer évnyi írott történelmével együtt csak egy pirinyó része annak az óriási és áttekinthetetlenül bonyolult hálózatnak, amelyet a Föld teljes ökoszisztémája jelent. A Földi élet hálózata csaknem négymilliárd év óta építgeti magát (Schidowski, 1988; Holland, 1997). Hálóvilágban tett hetedik, és egyben utolsó utazásunk során ezt a legrégebbi és a legnagyobb hálózatot fogjuk megismerni: a minket körülölelő ökoszisztémát.

### 12.1. Életközösségeink stabilitása

Az ökoszisztéma élete nem születésnap bulik sorozata. Ebben a hálózatban a kapcsolatok zabálók és felzabáltak, gyilkosok és áldozatok között teremődnek. Vagy te eszel – vagy téged esznek.<sup>1</sup> A táplálékhálózatok a hálózatok szokásos tulajdonságait, a kisvilágságot és a skálafüggetlenséget egy kicsit más módon hordozzák, mint az eddig megismert hálózati formák. A közmondásos „hat lépés távolság” az ökoszisztémákban kettőre redukálódik (Williams és mtsai, 2002). Ez a világ mégsem egy szabályos kicsiny világ, mert a hálózat elemeinek átlagos távolsága, és a másik fontos kicsiny világgjellemző, a csoperterösségi együttható alig különbözik a random hálózatok hasonló értékétől (Dunne és mtsai, 2002a).

Az ökoszisztémákra a szomszédok számának skálafüggetlen eloszlása is máshogyan igaz. Ténylegesen skálafüggetlen viselkedést csak a kisebb öko-hálózatokra, vagy a nagyobb ökoszisztémák moduljaira lehetett bizonyítani, ahol a kapcsolatok összes száma viszonylag alacsony. Ezzel ellentétben, jónéhány tényleges tápláléklánc a skálafüggetlennél sokkal meredekebb, exponenciálisba hajló kapcsolat-eloszlást mutat

<sup>1</sup>Általában azt hisszük, hogy a teremtés koronája az ember. De ha egy kicsit jobban belegondolunk, a tápláléklánc csúcán nem az ember, hanem a természet igazi ura, a pitbull áll. (Mint azt néha olvashatjuk, a pitbullok esznek embert. Ugyanakkor a keleti konyha más kutyakülönlegességeket ismer, azaz: az emberek nem esznek pitbullt. Ugyanez nem mondható el például a cápákról, amelyek szintén esznek embert, de amelyek – a pitbullal ellentétben – egy peches napjukon az emberi lakoma részei lehetnek.)

(Dunne és mtsai, 2002a; Jordan és Scheuring, 2002; Jordano és mtsai, 2003; Montoya és Sole, 2003).

A hálózati jellemzők nagy változatosságát a vizsgált ökoszisztémák méretének, kapcsoltsági fokának, és komplexitásának igen nagy különbségei magyarázzák. E mellett a korábban bemutatott hálóváltások (4.4. fejezet; Derényi és mtsai, 2003; Palla és mtsai, 2004) is hozzájárulhatnak a tapasztalt különbségekhez. Sajnos a forrásgazdag és a forrásszegény állapotok jellemzésére elég ritkán került eddig sor a táplálékláncok elemzése során. A Dunne és mtsai (2002a) által leírt „random-szerű”, „skalafüggetlen” és „magas konnektivitású, kevés elemű” hálózatok nagy valószínűséggel megfelelhetnek a Derényi és mtsai (2003) által leírt random, skalafüggetlen és teljesen összekötött szubgráf fázisoknak. A hálózati formák fenti sorrendje minden bizonnyal egyre szűkülő források, illetve egyre növekvő stressz esetén jelentkezik. Még ha ez a viszonylag egyszerű megfeleltetés nem is minden esetben bizonyulna igaznak, akkor is érdemes lenne megvizsgálni, hogy a „random-szerű” tápláléklánc át tud-e alakulni „skalafüggetlenné”, ha a környezet forrásait lecsökkentjük.

A táplálékláncok skalafüggetlenségének egy másik magyarázatát a korábban megismert transzportáló hálózatok viselkedése adhatja. Garlaschelli és mtsai (2003b) az ökoszisztémák visszakanyarodó ágainak kiiktatása után a táplálékláncnak a környezetből kiinduló energiaáramlását vázolták fel. Ezzel a módszerrel egy fa elágazásaira hasonlító fraktálszerkezetet kaptak, amelyre az allometrikus törvények korábban megismert skalafüggetlen szabályai (3.2. fejezet; Kleiber, 1932) egészen jól érvényesültek.

Az ökoszisztémák egészen komplex dinamikát mutathatnak. A 4.5. fejezetben már említettem a nyúl és hiúz populációk szinkronizálódását Kanada több millió négyzetkilométerre kiterjedő, hihetetlenül nagy területein (Blasius és mtsai, 1999). Az amerikai madárfajok populációméretének és élettartamának változásai skalafüggetlen eloszlást mutatnak, ami szintén kooperatív viselkedésre utal (Keitt és Stanley, 1998).

Ahogy az általában igaz a nem-random, skalafüggetlen rendszerekre (Albert és mtsai, 2000), egy elem hozzáadása, vagy elvétele megdöbbentően eltérő következményekkel járhat. Ha egy kulcsfajt (keystone species) kiveszünk az ökoszisztémából (például egy olyan fajt, amelyik két eltérő modul között az egyetlen kapcsolatot biztosítja, stb.), annak általában katasztrofális következményei vannak. Ezzel ellentétben, ha véletlenszerűen távolítunk el egy fajt a táplálékláncból, a legtöbbször nem okoz óriási változásokat. Ha a károk egymás után, sorozatban érik a rendszert, el kell érniük egy küszöbértéket, ami után a rendszer hirtelen óriási érzékenységet mutat minden további faj eltávolítása során. Az egyszerű gondolkodás számára a természeti környezet megóvásának egy igen kényelmes szabálya következik ebből. Meg kell találnunk a rendszer nagyon kevés kulcsfaját, meg kell óvnunk őket, és rajtuk kívül azt a fajt irthatjuk, amelyik jól esik. Szerencsére ez nem ilyen egyszerű. Ahogy a környezeti viszonyok megváltoznak, egy ártalmatlan, addig meglehetősen redundáns faj minden átmenet nélkül kulcsfajjá léphet elő. A kulcsfaj státuszának kiszámíthatatlansága nagymértékben hasonlít az élesztő korábban már említett esetére, ahol a gének 40%-a csak adott környezeti feltételek mellett volt élet-halál ura az élesztő anyagcseréjében (Papp és mtsai, 2004). A „fakultatív nélkülözhetetlenség” a komplex

hálózatok egy igen általános tulajdonsága, és ezeknek a hálózatoknak a flexibilitását tükrözi.

Egy további fontos figyelmeztetésként nagyon nehéz megjósolni az ökoszisztémáknak a fentiekben már említett érzékenységi küszöbét. Más szavakkal: soha nem tudhatjuk, hogy az ökoszisztéma a második, az ötödik, vagy a huszonötödik faj kihalása után válik katasztrofálisan kiegyensúlyozatlanná (Dunne és mtsai, 2002b; Holling, 1973; Ives és Cardinale, 2004; Jordan és Scheuring, 2002; Jordan és mtsai, 2002; Montoya és Sole, 2003; Paine, 1969). Mivel nem tudjuk a Földet egy inkubátorba rakni... *“Péter, ne hülyéskedj, már hogyan tudnánk! Éppen ez az, amitől szenvedünk! Nem hallottál még az üvegház-hatásról? Neked nincs meged?”* Keckecke! Figyelj jobban! Én másféle inkubátorról beszéltem. Mivel nincs módunk arra, hogy a földi körülményeket stabilizáljuk,<sup>2</sup> muszáj megőriznünk az ökoszisztéma diverzitását, hogy változatos körülmények között se omoljon össze.

Az ökoszisztémák szinte definíció szerint diverzek. A rendszer kezdeti diverzitása tovább nőhet a bevándorlással és a fajképződéssel. A baktériumkolóniákban a diverzitás igen nagy része mikrodiverzitás. Ez azt jelenti, hogy a résztvevő fajok döntő többsége egymástól csak igen apró részletekben különbözik (Acinas és mtsai, 2004). A bakteriális mikrodiverzitás egyik oka a bakteriális DNS baktériumok közötti élénk cseréje lehet (Ochman és mtsai, 2000).<sup>3</sup> A diverzitás, és különösen a mikrodiverzitás az ökoszisztéma különböző tagjai között különböző intenzitású: erős és gyenge kapcsolatok kialakulásához vezet. A gyenge kapcsolatok az ökoszisztémákban indirekt kapcsolatok formájában is jelen vannak (Abrams, 1983). A táplálékláncok elemzése azt mutatja, hogy a legtöbb kölcsönhatás a komplex ökoszisztémákban gyenge (Berlow, 1999; McCann és mtsai, 1998; Montoya és Sole, 2003; Paine, 1992).



### Az ökológiai diverzitás forrásai – nagy szükség esetén.

A stressz az ökológiai rendszerek fokozott variabilitását okozza (Warwick és Clarke, 1993). Ennek egyik lehetséges okaként, ha az ökoszisztéma kiegyensúlyozatlanná válik, a résztvevők szokatlan élelemforrások után néznek. Ez tökéletes módja annak, hogy addig számukra ismeretlen vírusokat és prionokat gyűjtsenek be, amelyek sok esetben nem tartják tiszteletben a fajhatárokat (Scott és mtsai, 1999). Ezek a mechanizmusok (és minden bizonytalannal nagyon sok más hatás) megváltoztatják az ökoszisztéma genetikai és epigenetikai állapotát, és új utakat nyitnak a rendszer diverzitásának növelésére (lásd 7.2. fejezet). Az ennek következtében fellépő diverzitás segít az ökoszisztéma stabilizálódásában, és a hálózat ellenálló-képességének növelésével növeli a rendszer túlélésének esélyeit.

<sup>2</sup>Ami azt illeti, még ha lehetséges is lenne egy ilyen „stabilizálás”, kötve hiszem, hogy sokan lennének, akik szívesen élnének egy állandóan 25 fokra temperált, mindig napos, rezzenéstelen, szűrt levegőjű, steril bolygón, ahol a pártagú tápláléklánc mintaként meghagyott és gondosan kiválasztott elemei (A növényke, A bogárka, A hangyászszün és A hangyászszűvő gonosz mostoha) egymással tökéletes és örök egyensúlyban élnek.

<sup>3</sup>Az ötletért köszönettel tartozom Tóth Mártonnak.



### A részleges kihalás komoly veszélyei: a genetikai diverzitás

**diverzitása.** A diverzitás nem mindenütt egyforma. Ez a külsődleges diverzitásban is megmutatkozik, de ennél talán a rejtett, belső diverzitás még fontosabb, hiszen a 7.2. fejezetben leírtak szerint ez a faj ellenálló-képességének és fejlődőképességének egyik legfontosabb eleme. Rauch és Bar-Yam (2004) nemrégii cikke kimutatta, hogy a genetikai diverzitás eloszlása is skálafüggetlenül változik. Azaz: egy faj kincset érő genetikai diverzitása egészen kicsiny területre koncentrálódhat. Ráadásul a genetikai diverzitáshatár sokszor semmilyen makroszkópikus változással nem hozható összefüggésbe. Következésképpen: egy faj látszólag kicsiny részletének kihalásával az egész faj továbbélését stabilizáló genetikai diverzitás tűnhet el.

Újabb adatok azt igazolják, hogy mind a genetikai, mind pedig a fajokban megjelenő diverzitás növeli az ökoszisztéma stabilitását (Hughes és Stachowicz, 2004; McCann, 2000). Ugyanakkor meg kell említeni, hogy ennek az egyszerűnek és logikusnak látszó kijelentésnek igen viharos múltja van a szakterületen. A kijelentéssel kapcsolatos vita a „diverzitás-stabilitás vita” néven szerepel tudománytörténet lapjain (McCann, 2000). A hetvenes évek előtt az ökológusok azt hitték, hogy a diverzitás növeli az ökoszisztémák stabilitását. Az ausztrál ökológus, Robert May (1973) és más kutatók azonban a feje tetejére állították ezt a képet, amikor bebizonyították, hogy minél több résztvevőt tartalmaz az ökoszisztéma, annál nagyobb ingadozásokat produkál, ha egy résztvevőt hozzáadunk, vagy eltávolítunk. May-nek és kollégáinak részben igaza volt. Ahogy azt már a 4.3.-as fejezetben említettem, a túl sok kapcsolatot tartalmazó hálózatok meglepően instabilak (Fink, 1991; Siljak 1978; Watts, 2002). Ugyanakkor azt is figyelembe kell venni, hogy a túl sok kapcsolat energetikailag kedvezőtlen (új területeket kell felderíteni az új élelemforrás eléréséhez, új vadászati technikákat kell kidolgozni, stb.),<sup>4</sup> és így igencsak kérdéses, hogy a valódi ökoszisztémák valaha is elérik a túl sok kapcsolatot tartalmazó, instabil állapotot.

May (1973) a modelljeiben alkalmazott ökoszisztémákat random gráfnak képzelte el, és a rendszerek egyensúlyi állapotát számolta ki. A valódi ökoszisztémák kapcsolatai általában nem véletlenszerűek, és e rendszerek szinte soha nincsenek egyensúlyban (McCann, 2000). Ha az ökoszisztémákat dinamikus, nem-egyensúlyi módszerek segítségével vizsgáljuk, a diverzitás és a gyenge kapcsolatok az ingadozásokat és az egyes fajok kihalásának esélyét egyaránt csökkentik (Berlow, 1999; McCann és mtsai, 1998).

Igen nagy számú adat elemzése után a diverzitás-stabilitás vitában a diverzitás kiütéssel győzött. A diverzitás nemcsak stabilizálja az ökoszisztémákat, hanem nagyobb esélyt is ad nekik arra, hogy továbbfejlődjenek (Earl és Deem, 2004). A funkcionális és térbeli diverzitás egyaránt növelik a rendszer stabilitását – mindkettő gyenge kapcsolatokat teremt. Az erős kölcsönhatások és a gyenge kapcsolatok egymást kiegészítő szerepet töltenek be az ökoszisztémákban: az erős kölcsönhatások építik fel a hálózat gerincét, a gyenge kapcsolatok adják a robusztusságát (7. táblázat; Garlaschelli és mtsai, 2003b; McCann, 2000).

<sup>4</sup>Egyszerű példaként gondoljon bele az Olvasó, hogy a legutóbbi étkezéséhez szükséges alapanyagok hány országból/földrészből kerültek az asztalára...

## 7. Táblázat A gyenge kapcsolatok stabilizáló ereje az ökoszisztémákban

Gyenge kapcsolatok	Hatás a stabilitásra	Irodalmi hivatkozások
ragadozók gyenge hatásai ökológiai kísérletekben	a gyenge kapcsolatok eltávolítása magasabb hálózati zajt okoz	Berlow, 1999
a nyulak és hiúzok gyengén kapcsolt oszcillációi	ellenállás a perturbációkkal szemben	Blasius és mtsai, 1999
erős és gyenge kapcsolati sémák együttese	az erős és gyenge kapcsolatok megfelelő aránya kell a stabilitáshoz	de Ruiter és mtsai, 1995; Yodzis, 1981
gyenge visszacsatolással működő táplálék-fluxus körök	a stabilitás a gyenge kapcsolatok számával nő	Garlaschelli és mtsai, 2003b; Neutel és mtsai, 2002
gyenge és közepes kapcsolatok	csökkent oszcillációk modellrendszerekben	McCann és mtsai, 1998
indirekt kölcsönhatások	a stabilitás kb. 40%-a ezekből a kapcsolatokból származik	Menge, 1995

**Az erdők gyenge kapcsolatokkal összetartott szuperélőlények.**

Gondolta valaha a kedves Olvasó, amikor erdőben járt, hogy az erdő legfontosabb része nem a feje fölött susogó lomb, hanem a talpa alatt húzódó láthatatlan fonadék? Az erdő fáit a velük szimbiózisban élő mycorrhiza gombák „wood-wide web”-je táplálja, és stabilizálja. Ezt az elképzelést már több mint száz évvel ezelőtt megfogalmazták (Frank, 1885), de csak napjainkban sikerült bebizonyítani. A kölcsönös haszon egyik bizonyítékaként hadd említsem azt az esetet, amikor azok a fák, amelyek a napon állnak, a föld alatti gombaháló segítségével etetik azokat a fákat, amelyek a sötétben vannak (Wiemken és Boller, 2002). A mycorrhiza gombák az erdő egészét egy csodálatos szuperélőlényé fonják össze, ahol az élőlény stabilitását a gombafonadék gyenge kapcsolatai adják. A stabilizáló gombafonadéknak a túl sok taposás kárt okoz, így érdemes a legközelebb erdei séta alkalmával óvatosabban lépkedni.<sup>5</sup>

**12.2. Azok a csodálatos mindenevők...**

Mi szolgálja jobban az ökoszisztéma stabilitását? Az, ha a napi étrendünket öt liter friss narancslére redukáljuk, vagy inkább érdemes mindent felzabálni, ami az orrunk elé kerül? Mielőtt a válaszadásban nagyon elmennénk bio-vegetáriánus irányba, előzetes válasz gyanánt hadd jegyezzem meg, hogy első megközelítésben az ember mindenevő állat. A fejezet során a mindenevőkkel, mint az ökoszisztémák speciális stabilizáló elemeivel fogok foglalkozni.

A mindenevők tipikusan kis hatásfokkal pusztítják a táplálékforrásul szolgáló fajokat (Sole és mtsai, 2003a), ami egy gyenge kapcsolatot jelent. Az adaptív gyűjtögetés általában kevés erős kölcsönhatáshoz és sok gyenge kapcsolathoz vezet az

<sup>5</sup>Az ötletért köszönettel tartozom Tóth Mártonnak.

ökoszisztémán belül (Kondoh, 2003). A mindenevő leginkább az elérhető legalsó táplálékszintet fogyasztja. Ennek eredményeként a mindenevők a legalsó táplálékszinttel állnak a legerősebb kölcsönhatásban, és a táplálékszint egyre feljebb lévő rétegeivel a kapcsolatuk egyre gyengül (Neutel és mtsai, 2002). Összefoglalásként: a mindenevők segítik a gyenge kapcsolatok kialakulását az ökoszisztémákon belül.

A diverzitás-stabilitás vitával párhuzamosan a mindenevők hozzájárulása az ökoszisztéma stabilitásához is hosszú ideig igen élénk viták tárgya volt. Pimm és Lawton (1978) a mindenevők destabilizáló hatása mellett törtek lándzsát, míg Dunne és mtsai (2002b) azt találták, hogy a mindenevők jelenléte nem befolyásolja az ökoszisztémák robusztusságát. Ezekkel a tanulmányokkal ellentétben (és a gyenge kapcsolatok stabilizáló hatásaival összhangban) számos elemzés azt mutatta ki, hogy a mindenevők stabilizáló hatással vannak az ökoszisztémák ingadozásaira (Borrvall és mtsai, 2000; Fagan, 1997; Holyoak és Sachdev, 1998; McCann és mtsai, 1997; 1998). Egy más megfogalmazásban: a mindenevők kiterjesztik azoknak a hálózati elrendeződéseknek a számát, amelyeken belül az ökoszisztéma stabil marad (Kondoh, 2003). A mindenevők hatása így hasonlatos a víznek a 6.2. fejezetben leírt hatásához, amellyel a fehérjék helyi stabilitási szigetek közötti átmeneteket egyszerűbbé tette. A mindenevők jelenlétében az ökoszisztémák átmenetei is könnyebbé válhatnak, és így a rendszer alkalmazkodóképessége megnő.

Mi lehet a mindenevők hatásainak megítélésében fennálló különbségek oka? Az eltérések egy része ugyanazokból az okokból fakad, amelyeket már a diverzitás-stabilitás vita kapcsán említettem. A másodlagos kihalásokat leíró korábbi modellek nem tartalmazták a kapcsolatok erősségének és a rendszer dinamikájának részleteit. Ezekben a modellekben is előjött a kapcsolatgazdagságnak a 4.3. fejezetben és a diverzitás-stabilitás vita során már említett destabilizáló hatása. (A valóságban a mindenevők viselkedése általában fakultatív, azaz a mindenevő a legtöbbször a kedvenc ételét eszi, és csak akkor fanyalodik valami másra, ha az már felzabáltott.)



**A mindenevés, mint a túlélésünk záloga.** Az ember mindent meg tud enni, amit csak el lehet képzelni – sőt még annál is többet (a kedves Olvasó nézze meg a kedvenc esti beszélgető-műsorát a TV-ben, vagy rendeljen valamit egy gyorsétteremből, és vesse tüzetes vizsgálat alá, ha nem hisz nekem). A mindenevés stabilizáló hatása valószínűleg segített nekünk abban, hogy meghódíthassuk a Földet. Ha az ember kizárólag növényevő, vagy ragadozó állat lett volna, a minket körülvevő ökoszisztéma egyensúlyzavarai valószínűleg már a fejlődésünknek azon fázisában kiirtottak volna bennünket, amikor még nem népesítettük be a Föld felületének 90%-át pipitérmezőkkel, vagy csótányfarmokkal. Alternatív megoldásként esetleg az emberi faj egy növényevő és egy ragadozó alfajra vált volna szét, és a Gilgames eposz, az Íliász, valamint az Artúr király legendája mind-mind a növényevő zombi-emberek dicsőséges levadászásáról szóltak volna.

A fejezet elején feltett kérdésre válaszolva: érdemes a nagy fogadalmainkat félretenni, ha nehéz idők jönnek. Az első gyümölcs megevése nyolc kemény hamburgeren töltött év után nemcsak a saját túlélésünk záloga lehet, hanem az ökoszisztéma stabilizálásához is hozzájárul. Ugyanakkor a mindenevők példája a hálózatok egymásbaágyazottságának bonyolult összefüggéseire is rávilágít. Hosszú

távon az, hogy mikor és mit választok az öko-menüből a helyi öko-hálózat szintjén, meghatározza azt is, hogy a fajom hogyan boldogul a globális öko-hálózat szintjén. A helyi hálózatokról szerzett ismeretek igen merész kiterjesztése vezetett el az egész Földre érvényes hálózatközi kölcsönhatások, és az egész Föld ökoszisztémájának, Gaiajának a felfedezéséhez. Erről fog szólni a következő fejezet.

### 12.3. Gaia és a gyenge kapcsolatok

James Lovelock a hatvanas évek végén fogalmazta meg a Gaia hipotézist. Gaia az egész Föld ökoszisztémájának összefoglaló neve. Minden bennünk és körülöttünk Gaia része, a bioszféra, az atmoszféra, az óceánok, a talaj, stb., stb. Mindezek egy igen bonyolult, és rendkívül finoman szabályozott, óriási hálózatot képeznek. Kezdetben a Föld egészére érvényes szabályozó mechanizmusok létét igen erős szkepticizmus és kritika fogadta. A bizonyítékok egyre növekvő sora azonban fokozatosan meggyőzte a kételkedőket: a nyolcvanas évek végére a Gaia hipotézis általánosan elfogadottá vált (Lovelock, 1979; 2003; Lenton, 1998).

„Ahogy egyre öregebbé és öregebbé válik, a Föld-rendszer egyre gyengébb lesz”. A Gaia hálózat “idős, és ennek megfelelő tisztelettel és gondoskodással kell kezelnünk” (Lovelock, 2003). Hogyan tudjuk az idősödő Gaiát stabilizálni? Gaia legtöbb ismert szabályozó mechanizmusa negatív visszacsatoláson alapul (Lenton, 1998). Ugyanakkor egészen világos, hogy a megismert mechanizmusok a millió-millió szabályozó mechanizmus közül az első néhány példát jelentik csupán. Gaia szinte bizonyosan sokkal többfajta szabályozó mechanizmust tud felmutatni, mint amit valaha eddig feltártunk vagy elképzeltünk. Az ökoszisztémáknak a 12.1. fejezetben bemutatott kivételes stabilitása és hálózati ellenálló-képessége arra a könnyelmű gondolatra ragadtathat bennünket, hogy nem nagyon kell törődnünk a legnagyobb ökoszisztéma, Gaia stabilitásának a megőrzésével. Gyakran hallhatjuk: „Azt tehetünk, amit akarunk, Gaia úgymint megvédi magát. Ha egy faj kihal valahol, másutt úgymint találunk még belőle élő példányokat. Ha nem találunk, akkor elég rezervátumokba rakni, vagy esetleg levideózni és DNS mintát venni tőle addig, amíg még lehet. Az ökoszisztéma úgymint megmarad. Az elmúlt 3-4 milliárd évben ennél sokkal nehezebb helyzeteket is túlélte.” Valóban. Gaia stabilitása (hálózati ellenálló-képessége) úgy tűnik, elképesztően erős. Két fontos megjegyzés azonban ide kíváncsok. Valóban olyan megnyugtató az, hogy Gaia mindent túlél, ha a túlélés– nélkülünk fog megvalósulni? A kedves Olvasó erre azt mondhatja, hogy a kihalásunk igen valószínűtlen, és be kell, hogy valljam: csak sejtésem van, de érveim nincs arra, hogy az ellenkezőjéről meggyőzzem. Van azonban egy másik megjegyzésem is.

A diverzitás nemcsak azért fontos, hogy egy változatosabb genetikai állománnyal a jövő esetleges kihívásait jobban leküzdhessük, hanem azért is, hogy elkerülhessük a *mai nap* óriási ingadozásait is. Pfefferkorn (2004) a permi katasztrófa kapcsán arról ír, hogy „Ma egy újabb tömeges kihalás tanúi vagyunk.” A globális felmelegedés egy friss becslése szerint a létező fajok 15-37%-a ki fog halni (Thomas és mtsai, 2003). Ha elszegényítjük az ökoszisztémát, a megmaradt hálózatban felszaporodnak az erős kölcsönhatások. A gyenge kapcsolatok fokozatos kiiktatásával a rendszer ingadozásai egyre nagyobbak, egyre kiszámíthatatlanabbak lesznek. Az ingadozások extrémumai

újabb és újabb kihalásokat idézhetnek elő, amelyek még nagyobb ingadozásokhoz vezethetnek. És így tovább... (McCann, 2000; McCann és mtsai, 1998; Scheffer és mtsai, 2001) További nyugtalanító összefüggésként a kisebb diverzitás lecsökkenti a degenerált funkciókat, amelyek a rendszer egyensúlyvesztése alkalmával egymást tudnák helyettesíteni (Edelman és Gally, 2001; McCann, 2000). A fenti okfejtésekből adódó következtetésként nem engedhetjük meg egyetlen faj kihalását sem. Nem valamiféle altruista, Istenpótló magatartásból, ami szerint „ha mi lettünk a Föld urai, akkor nekünk kell gondot viselnünk az ő teremtményeire”, hanem azért, mert minden egyes faj kihalásával vészesen közelebb és közelebb kerülünk ahhoz a nem ismert határhoz, amelytől kezdve az egész ökoszisztéma kiszámíthatatlan, kontrollálhatatlan és megállíthatatlan ingadozásokba kezd.

*„Péter, teljesen meggyőztél arról, hogy a diverzitás és a fajok védelme igen fontos. Hadf legyen azonban egy kérdésem megint. Engem ugyanerről már fejezetekkel ezelőtt meggyőztél. Miért ismétled meg megint? Több oldal – nagyobb honorárium?”* Nem Kecec, hála Istennek ez itt az Olvasó kezében nem szafaládé, hanem könyv. A könyveket nem kilóra fizetik. A könyvnél az alapvető szabály csaknem fordított: minél több szó van benne – annál kevesebbet jelent. Ha ezt ilyen jól tudom, akkor miért időzöm megint a diverzitásnál? Először is azért, mert *fontos*. HA CSAK EGYETLEN EGY GONDOLATBAN FOGLALHATNÁM ÖSSZE A GYENGE KAPCSOLATOK STABILIZÁLÓ EREJÉNEK TANULSÁGAIT, AKKOR AZ A DIVERZITÁS MEGŐRZÉSÉNEK FONTOSSÁGA LENNE.

Van azonban itt még egy lecke. A Gaia hipotézis ebben a vonatkozásban azt jelenti, hogy AZ ÖSSZES földi hálózat össze van kötve egymással. Azaz nagy a valószínűsége annak, hogy a globális felmelegedés miatt bekövetkező kihalási kaszkád nemcsak az ökoszisztémákban fog elviselhetetlenül nagy ingadozásokat okozni. Az öko-fluktuációk szinte biztos, hogy át fognak terjedni a Föld többi fizikai-kémiai rendszerére, és jelentkezni fognak – többek között – az időjárás korábban nem ismert ingadozásaiban is. Az időjárási ingadozások elmélyíthetik az ökoszisztéma ingadozásait. Ha nincs szerencsénk, itt is egy nagyon veszélyes ördögi kör indulhat be.

Még egy megjegyzés ide kívánczik: a fentiekben szereplő diverzitás nemcsak a fajok diverzitása. A kulturális diverzitás is legalább ilyen védendő (Pagel és Mace, 2004). A kulturális diverzitás nemcsak azért fontos, mert stabilizálja az emberi társadalmakat és a globalizálódó világ társadalmi világhálóját, hanem azért is, mert a kulturális diverzitás gyenge kapcsolatokat épít ki az embereket körülvevő ökoszisztéma felé. A hódító természetű, mindent behálózó nyugati kultúránk amellet, hogy elszegényíti az emberiség egésze által évezredek alatt felhalmozott kulturális örökséget (Axelrod, 1997), az egész földi ökoszisztémát, Gaiát is destabilizálja. Amikor a 11.1. fejezetben a 2060 és 2080 körüli katasztrófákat jósoló előjelzésekre céloztam, Johansen és Sornette (2001) népesség- és gazdaságnövekedési elemzéseit idéztem. A helyzet azonban lehet ennél rosszabb is. Ha nagyon-nagyon balszerencsések vagyunk, az emberi hálózatok növekedésének instabilitása, az ökoszisztéma instabilitása és Gaia egészének instabilitása egyszerre jelentkezik.

*„Péter, a hideg futkos a hátamon. Komolyan megijedtem. Ha Empire, magamra és a gyermekünkre gondolok, alig tudok megmaradni a széken. Muszáj tennem valamit a jövőnk, és a*



*legnagyobb ismert hálózat, Gaia érdekében.”* Gyermek?? Gratulálok mindkettőtöknek! A 13.4.-es fejezetben lesz néhány megjegyzésem majd arról, hogy vajon Gaia-e a legnagyobb ismert hálózat. Ettől eltekintve: nagyon örülök az elszántságodnak. A fejezet végén hadd adjak néhány tanácsot neked.

Az ökoszisztéma védelme (azt is írhattam volna: Gaia védelme) során általában úgy viselkedünk, mintha a Le Chatelier elven kívül semmit sem tanultunk volna az iskolában. Megváltozott az egyensúly? Elég baj az. Akkor találjunk ki valamit, ami visszafozza az egyensúlyt az eredeti helyére. Általánosabban fogalmazva: az ökoszisztéma védelmében a hangsúly még mindig sokszor az eredeti állapot helyreállításán van. Ez egy nagy hiba. Óriási hiba. Elsősorban: az eredeti állapot *nem* egy egyensúlyi állapot volt. Egyáltalán nem biztos, hogy az eredeti állapot stabilabb, vagy kívánatosabb lenne a jelenlegi, megváltozott körülmények között, mint az az állapot, amiben a rendszer éppen jelenleg van. Másodszor: ahogy a 4.2. fejezetben már írtam, az élet és a hálózatos rendszerek egyik legfontosabb tulajdonsága a relaxáció. Ha visszaállítjuk az eredeti állapotot, könnyen lehet, hogy éppen ezt a relaxációt akadályozzuk meg. Harmadik megjegyzés: a bonyolult ökoszisztémák nem a kémia tankönyv hajdani reakciói. Még ha az is képzeljük, hogy ezek a rendszerek valamilyen tranziens, kvázi-egyensúlyban vannak, ez az egyensúly millió paramétertől függ, és nem érvényes rá a Le Chateiler elv. (A bonyolult egyensúlyokról majd a 13.2. fejezet szintézisében fogok részletesebben írni.) Ha azok ellen a változások ellen harcolunk, amelyeket ma észleltünk, könnyen lehet, hogy egy olyan kaszkádszerű változás-sorozatot indítunk el, amely a leküzdeni kívánt változásoknál sokkal nagyobb ingadozásokhoz vezet. Még ha sikeresek is vagyunk, a mai stabilizáció semmit sem fog érni a holnap egész máshonnan, és egész máshogyan érkező zavar kivédésével szemben. „Péter, gratulálok! Mostanra már nemcsak ijedtnek, de teljesen tehetetlennek is érzem magam. Ez volt a tanácsod??” Nem Kecec, a tanácsok csak most jönnek.

- **Értsd meg a bonyolult rendszereket.** Az ökoszisztéma és a globalizált világ más komplex hálózatai át- meg átszövik az életedet. Ha nem akarsz kiszolgáltatott lenni, ha érteni akarod a világot magad körül, meg kell tanulnod, hogy hogyan működnek, és hogyan tudod befolyásolni a működésüket. Remélem ez a könyv meggyőzött arról, hogy a hálózatos gondolkodás rendkívül hasznos a bonyolult rendszerek megértésében és a róluk eddig felhalmozott adatok rendszerezésében.
- **Hagyd égni.** Ha már legalább fő vonalaiban megértetted, hogy hogyan is működik egy bonyolult rendszer, segítened kell a rendszer relaxációját. Ha ezzel nem törődsz, akkor egy hálózatregés következik be, és a kaszkádszerű ingadozások elmoshatják az egész rendszert, és vele együtt téged is. „*Mi ez az égés a címben?*” Ha nem engeded a kis erdőtüzeket végigégni, akkor a felhalmozódó faanyag miatt később sokkal nagyobb és sokkal megállíthatatlanabb erdőtüzek fognak keletkezni (Malamud és mtsai, 1998; Sornette, 2003). Ehhez igen hasonlóan a kisebb betegségeket sem szabad „kezelgetned”. Hadd relaxáljon az immunrendszered. Ha bajod van valakivel, tárgyalj meg vele. A krónikus neheztelés miatt krónikus egészségi

panaszaid lesznek. Folytathatod a listát magad is, és segítheted a rendszerek relaxációját mindenütt, ahova eljutsz.

- **Ott növekedj, ahol érdemes.** Az emberiség történetének kezdetétől minden emberalkotta hálózat folyamatosan nő. Az anyagi világ hálózatai ma már azt a határt súrolják, ahol az emberiséget magában foglaló hálózat, Gaia stabilitása és hálózati ellenálló-képessége került veszélybe. Le kell lassulnod. Kevesebbet kell cselekedned, és többet kell gondolkodnod. Gondolkodó emberhez méltatlan viselkedés mindenbe belekezdeni, amibe csak lehet. A türelem és az önmeztartóztatás ereje mérhetetlenül hiányzik a mai világból. Ugyanakkor az egyhelyben toporgás sem egy működőképes alternatíva. Nem állíthatod meg a növekedést. De más irányt adhatsz neki! A nyugati világ,<sup>6</sup> amelyik a rendelkezésre álló források döntő többségét fogyasztja el, át kell, hogy helyezze a növekedés súlypontját az anyagi növekedésről a szellemi, művészeti és spirituális növekedésre. A tudás fejlődése nem kisajátító jellegű fejlődés (Johansen és Sornette, 2001): növekedése nem zavarja a többi hálózatot. Át kell, hogy rendezd a kapcsolataidat is. Nem a cuccaid, hanem az embertársaid azok, akiknek az idő és törődésed középpontjában kell állniuk. Simogasd a partnered a számítógéped billentyűi helyett. („*Empi, nem gondold, hogy szólnunk kellene neki, hogy vegye ezt komolyan, és hagyja abba az írást.*”) Hogyan lehet mindezt megtenni? A nyugati civilizációnak sokkal többet kellene a keleti civilizációk és néhány primitív törzsi civilizáció legnemesebb hagyományaiból merítenie – amíg még léteznek...
- **Védd meg a diverzitást.** A diverzitás a komplex rendszerek stabilitásának és továbbfejlődésének záloga. Minden adandó alkalmat meg kell ragadnod, hogy védjed és növeld. Ha egy komplex rendszer bajba kerül, a csillagháló irányába indulhat el, vagy kritikus állapotba kerülve kollektív viselkedést vehet fel. Ezek egyike sem segíti a diverzitást. Ha baj van, vigyázz! Idézd fel generációk százainak minden bölcsességét magadban: őrizd meg a józan eszed és a függetlenséged. Ne menj a tömeggel, ne legyél birka. Nagyon jól gondold át azt is, hogy mikor engedsz a tekintélyelvűségnek, a hierarchikus viszonyoknak. Szeresd az idegeneket, a másokat, a furcsákat. A toleranciád nemcsak a többség stabilizálásában segít, hanem a fanatikus kisebbséget is elszigeteli. Ha sikerül a holnap fanatikusait bekapcsolnod a ma hálózataiba, akkor értél el igazi sikert. A jelened és jövőd stabilizálása mind-mind megfelelő kapcsolatokat kíván tőled. Ez az utolsó tanács és a könyv központi mondanivalója.
- **Egyensúlyozd ki a kapcsolataidat.** A gyenge kapcsolatok segítenek abban, hogy az elviselhetetlen ingadozásokat kivédhessed. Ennek ellenére sem szabad a gyenge kapcsolataidat nyakló nélkül szaporítanod. Ez ugyanis egy túlzottan összekötött hálózathoz fog elvezetni, ami még az eredetnél is sokkal instabilabb lesz. Meg kell őrizned a néhány erős kölcsönhatás és a sok gyenge kapcsolat közötti megfelelő egyensúlyt. Neked személy szerint is

---

<sup>6</sup>Nyugati világ alatt nemcsak az USA-t, az Európai Uniót és többi G7 országot értem, hanem egyre jobban és jobban a hihetetlen mértékben fejlődő Kínát és Indiát is.

feladatod az, hogy összekössed azokat a társadalmi csoportokat, amelyek korábban egymástól elzártak voltak. Ha elő tudod mozdítani a kölcsönös megértést közöttük, megtetted az egyik legfontosabb lépést a biztonságos jelened és jövőd érdekében. Hogyan tudod mindezt végbevinni? Lapozz vissza és kezd el újra olvasni a tanácsokat: „Értsd meg a bonyolult rendszereket.”

Ezekkel a tanácsokkal elértünk a Hálóvilágban tett hetedik utazásunk végére. Nem hiszem, hogy képes lennék a fentieknél jobb összefoglalásra. Itt az idő, hogy az Olvasó leüljön, lazuljon el, igyon egy korty kristálytisztá vizet, vegyen egy mély levegőt, és elgondolkozzon ezeken a tanácsokon. A következő fejezet a könyv záró-, összegző fejezete lesz. A coda, amit korábban megígértem.

