

## 13. Következtetések és zárszó

“*A*hogy a házasság előtt *Empivel* az egyházi oktatásra jártunk, találtunk neked egy kiváló idézetet: 'Mindezekből, fiam, intessél meg: a sok könyvek írásának nincs vége, és a sok tanulás fáradtságára van a testnek' (Prédikátor 12:14). Nem gondolod, Péter, hogy itt lenne az ideje befejezni a könyved?" Jó híreim vannak, Kecec. Közeledünk a könyv VÉGÉ-hez. Ebben az utolsó fejezetben először össze fogom foglalni, amit a gyenge kapcsolatokról és a komplex rendszerekről tanultunk. Utána megpróbálom egy végső definícióban megfogalmazni, hogy mik is azok a gyenge kapcsolatok, és mi jellemzi a hálózatok stabilitását. Ez lesz a könyv szintézise, ami remélem néhány fontos gondolatot fog adni az Olvasónak és nektek, Kecec. Búcsúzóként néhány tanács zárja a könyvet arról, hogy hogyan érdemes a megfelelő kapcsolatokat kiépíteni az ember életében. Figyelj majd jól Kecec, ha ehhez a részhez érünk: a gyermeketeknek még nagyobb szüksége lehet e tanácsokra, mint neked.

### 13.1. A gyenge kapcsolatok csodálatos ereje

A 8. Táblázatban foglaltam össze a gyenge kapcsolatoknak az előző 12 fejezetben említett legfontosabb hatásait. A Táblázatból világossá válik, hogy tucatszámú is több olyan példánk van, ahol a gyenge kapcsolatok stabilizáló ereje a legkülönbözőbb hálózatokban bizonyítást nyert. Ehhez még további több mint tucatszámú olyan példa jön, ahol a gyenge kapcsolatok stabilizáló hatásai több mint valószínű, hogy igazak. Annak ellenére, hogy a gyenge kapcsolatok stabilizáló szerepéről az általános, matematikai bizonyíték nem áll rendelkezésre, remélem az Olvasó a 8. Táblázat láttán egyetért velem abban, hogy a bizonyítékok ilyen széles skálája több, mint pusztán egybeesés. A gyenge kapcsolatok valószínűleg nagyon sok fel nem sorolt komplex rendszer stabilizálásában is részt vesznek.

## 8. Táblázat. A gyenge kapcsolatok hatásai a hálózatok viselkedésére

Gyenge kapcsolatokat létesítők	Stabilizált hálózat	Stabilizált funkció	Fejezet és legfontosabb irodalmi hivatkozások
<b>A gyenge kapcsolatok általános hatásai</b>			
hálózatok és hálózatok moduljai	különböző hálózatok	segítség a modulok összekötésében, és a főhálózat szerveződésében	3.4. fejezet; Csermely, 2001b; Degenne és Forse, 1999; Granovetter, 1973; Maslow és Sneppen, 2002; Rives és Galitski, 2003; Spirin és Mirny, 2003
a társadalom tagjai	társadalmi hálózatok	a kisvilágság kialakítása; jobb hálózati bejárhatóság; hatékonyabb innováció	3.1. és 3.4. fejezetek; Dodds és mtsai, 2003a; Granovetter, 1973; 1983; Skvoretz és Fararo, 1989
„távoli” elemek a hálózatban	különböző hálózatok	a relaxáció segítése, a perturbációk elosztása	4.2. fejezet; Ghim és mtsai, 2004
hálózatok moduljai	különböző hálózatok	a hálózat integritásának fenntartása a modulok szétkapcsolásával	4.2. fejezet; Sethna és mtsai, 2001; Sornette, 2002
hálózatok elemei	különböző hálózatok	„tartalékszerű” kapcsolatok, amelyek stressz esetén lebomlanak, majd újraépülnek	4.4. és 7.2. fejezetek; Granovetter, 1983
oszcillátorok	különböző hálózatok	segít a szinkron megteremtésében	4.5. fejezet; Blasius és mtsai, 1999; Bressloff és Coombes, 1998; Gao és mtsai, 2001; Lindner és mtsai, 1995; 1996; Strogatz, 2003;
<b>Példák a gyenge kapcsolatok stabilizáló szerepére: ahol tudjuk</b>			
víz és a fehérjék atomjai	fehérjék	fehérjeszerkezet és konformációs átmenetek	6.2. fejezet; Barron és mtsai, 1997; Brinker és mtsai, 2001; Csermely, 1999; Klibanov, 1995; Papoian és mtsai, 2004

## 8. Táblázat. A gyenge kapcsolatok hatásai a hálózatok viselkedésére (folytatás)

Gyenge kapcsolatokat létesítők	Stabilizált hálózat	Stabilizált funkció	Fejezet és legfontosabb irodalmi hivatkozások
<b>Példák a gyenge kapcsolatok stabilizáló szerepére: ahol tudjuk (folytatás)</b>			
fehérjék (pl. stresszfehérjék)	a sejt fehérjehálózata	A sejt fenotípusa	7.1. fejezet; Rutherford és Lindquist, 1998
motorikus egységek oszcillációi	izom	A mozdulatok pontossága	8.3. fejezet; Semmler és Nordstrom, 1998
emberek	psziché	pszichológiai jóérzés, jólét	8.6. és 11.3. fejezetek; Degenne és Forse, 1999; Freud, 1915; Kawachi és Berkman, 2001; Kunovich és Hodson, 1999; Veiel, 1993
állatok	állatközösségek	túlélés, csoport összetartás	9.1. fejezet; Noe, 1994; Silk és mtsai, 2003
idős nők (menopauza után)	állatközösség, társadalmi hálózat	utódok túlélése csoport összetartás	9.2. fejezet; Connor és mtsai, 1999; Lusseau, 2003; Silk és mtsai, 2003
a társadalom tagjai	társadalmi hálózat	társadalmi összetartás, innovativitás, hatékonyság	2, 9.3. és 11.3. fejezetek; Degenne és Forse, 1999; Granovetter 1973; 1983; Putnam 1985; 2000
a cég alkalmazottai	a cég szociális hálója	A cég ellenálló képessége, innovativitása	9.4. és 11.3. fejezetek; Cross és Parker, 2004; Dodds és mtsai, 2003b; Fukuyama, 1995
tulajdonosok és tulajdon	a cég tulajdonosi köre	A cég működésének stabilitása	9.4. fejezet; Stark és Vedres, 2002
tulajdonosok és tulajdon	befektetési portfólió	profit	9.4. fejezet; Stark, 1996
vakargatás és pótvakargatás résztvevők, csevegők, pletykások, stb.	társadalmi hálózat	pszichológiai jólét, társadalmi összetartás	9.5. fejezet; Dunbar; 1998; Sztvetelszky, 2005
jelenetek	színdarab	cselekmény	10.2. fejezet; Stiller és Hudson, 2005
építészeti tárgyak (kerületek, házak, stb.)	város	közlekedés, a város élete	10.3. fejezet; Salingeros, 2004
szoftver elemek	szoftver (refaktorizálás után)	program	10.4. fejezet; Brown és mtsai, 1998; Fowler és mtsai, 1999
a tápláléklánc elemei	ökoszisztéma	az ökoszisztéma stabilitása	12.1. fejezet; Berlow, 1999; Blasius és mtsai, 1999; Garlaschelli és mtsai, 2003b; McCann és mtsai, 1998; Neutel és mtsai, 2002

## 8. Táblázat. A gyenge kapcsolatok hatásai a hálózatok viselkedésére (folytatás)

Gyenge kapcsolatokat létesítők	Stabilizált hálózat	Stabilizált funkció	Fejezet és legfontosabb irodalmi hivatkozások
<b>Példák a gyenge kapcsolatok stabilizáló szerepére: ahol sejtjük</b>			
atomok	kristályok	szilárdság	6.1. fejezet; Ball és mtsai, 1996
víz és a ribonukleinsav (RNS) atomjai	RNS	RNS szerkezet és konformációs átmenetek	6.2. fejezet; Csermely, 1997
enzimfunkciók	anyagcsere hálózat	sejtes anyagcsere	7.1. fejezet
transzkripciós modulátorok, DNS	génexpressziós hálózat	transzkripció	7.1. fejezet
citoszkeletális fehérjék	citoszkeleton	a sejt szilárdsága és mozgása	7.1. fejezet
hormonok	hormon-hálózat	hormonválasz	7.3. fejezet
immunsejtek, immunmodulátorok	immunrendszer	Immunválasz	8.1. fejezet; Brede és Behn, 2002
vérerek	véredényrendszer	véráramlás	8.2. fejezet
idegsejtek, ingerület átvivő anyagok, asztrociták (gliasejtek)	ideghálózat	agyi funkciók, tanulás és tudat	8.4. fejezet
szavak	nyelv	jelentés	10.1. fejezet
félvezetők	elektromos áramkör	áramkörü funkció	10.5. fejezet
piaci szereplők	piac	piaci ingadozások	11.1. fejezet
az összes ökoszisztéma elemei és környezetük	Gaia	múltunk, jelenünk és jövőnk ezen a bolygón	12.3. fejezet

A gyenge kapcsolatok nagy meglepetést okoztak nekem. Nem a létükkel, hiszen az nyilvánvaló. Az olvasmányaim meglepően új üzenete, és ennek az egész könyvnek a legfontosabb mondanivalója a gyenge kapcsolatok fontossága volt. Ezek a kapcsolatok képezik a bennünk és körülöttünk lévő kapcsolatok döntő többségét. Ezek a kapcsolatok azok, amelyek stabilizálják a legtöbb olyan hálózatot, amely a részünket képezi, és azokat is amelyeknek a részei vagyunk.

Nagy köszönettel tartozom a gyenge kapcsolatoknak. A mellett, hogy stabilizáltak engem a könyv írása során, egy kiváló ürügyet szolgáltatott arra, hogy megmutassam a hálózatos gondolkodás erejét. Remélem sikerült meggyőzőnöm az Olvasót arról, hogy az egymásbaágyazott hálózatok, és általános tulajdonságaik egy rendkívül jó megközelítést adnak a bennünk rejlő és minket körülölelő komplex világ megértéséhez.

Az egymásbaágyazott hálózatok úgy viselkednek, mint egy többdimenziós kirakós játék, és nagyszerű lehetőségeket kínálnak arra, hogy megkeressük a hiányzó elemeket, illetve megtaláljuk az ismert elemek között még fel nem térképezett kapcsolatokat. A genetika nemrégiben elért eredményei igen jó példák sorát hozták a hálózatközi összefüggések

felhasználására a már ismert, de kapcsolatok híján meglehetősen értéktelen információk „helyretételére”. E példák egyikeként fehérjék sokaságának funkcióját lehetett valószínűsíteni egyetlen kísérlet elvégzése nélkül, pusztán a párhuzamos információk alapos összehasonlításával (Bergmann és mtsai, 2004; Stuart és mtsai, 2003). Ennek a hálózatközi ismeretbővítésnek az analógiák keresése az egyik leghasznosabb eszköze. Az analógiák e könyvben is igen nagy szerepet játszottak. Hadd jegyezzem itt meg, hogy teljesen egyetértek Rose (1997) megállapításával, hogy az analógiák rendkívül veszélyes mezőre vihetik az embert. Nagyon nagy köszönettel tartozom Kekecnek („*Látod, Empi? Látod?? Ez az ember tanult egy kis illemet az alatt a pár hónap alatt, amit együtt eltöltöttünk.*”) hogy számos esetben megmentett a túlzott általánosítások elfogult alkalmazásától. Ha néha mégis becsúszott egy-egy hibás analógia, kérem az Olvasót, hibáztassa ezért Kekecet, és ne engem. („*Sajnálom, Empi. Túl korai volt az örööm. Tévedtem. Péter, már túl öreg ahhoz, hogy változni tudjon.*”)



### A legfontosabb és legkedvesebb hipotéziseim a

**könyvben.** Mindezek előrebocsátásával hadd soroljak fel néhány olyan analógiát, amely izgalmas és új ismereteket alapozott meg, vagy ilyen ismeretek lehetőségére hívta fel a figyelmet. Az analógiák zöme feltételezés. Ezért került az egész analógiacsokor két vidorka mögé. Előre elnézést kérek azért, hogy az alábbi példák közül egy-kettő háromvidorkás, nagyon merész megállapítás. A mosolygó jelek száma az adott megállapítás előtt a megállapítás fontosságára utal – természetesen kizárólag az én szubjektív értékítéletem szerint.

- ●●● A könyv alapvető megállapítása: a gyenge kapcsolatok stabilizálják az összes komplex rendszert.
- ●● A Levy-utak a skálafüggetlenség iránti vonzódásunknak az evolúció során megőrzött, a szervezetünk gátolt relaxációján alapuló okai. A Levy-utak genetikai rögzülése fontos oka lehet a játékok, a zene, és a művészetek skálafüggetlen jegyeinek (3.2. és 10.2. fejezetek).
- A zene azért képes a tanulást segíteni, mert a skálafüggetlen zajszerkezete jel/zaj-rezonanciával segíti a emberi idegsejtek szinkronizációját (4.1. és 4.5. fejezetek).
- A könyv az eddig még nem azonosított önszerveződő kritikus állapotok egész csokrát javasolta (cégátszervezés, kamaszkor, köhögés, nevetés, pletyka, sírás, szex, udvarlás, villámlás, stb.; sok részlet a 4.2. fejezettől kezdve).
- ● A könyv a hálóátmenetekre egy sor új példát és alkalmazást sorolt fel: pl. sejtihal, állatközösségek és a történelem fordulópontjai (4.4. és 11.2. fejezetek).
- ● A hálózatok különböző szintjei kellő intenzitás esetén egymás között is képesek szinkronizációt létrehozni: ez magyarázhat egy sor, igen ezoterikusnak tűnő emberi tapasztalatot, mint pl. a beteljesült álmok, vagy imák (4.5. és 8.4. fejezetek).
- ●● A gyenge kapcsolatok kisimítják a stabilitási felületeket (mint az energiafelületek, evolúciós felületek, innovációs felületek, cselekményfelületek, stb.) és megkönnyítik a különböző helyi egyensúlyok közötti átmeneteket (sok részlet a 6.2. fejezettől).
- ● A stresszfehérjék és más sejtes mechanizmusok azért képesek a sejtes zaj és diverzitás lecsökkentésére (pufferelésére), mert gyenge kapcsolatban állnak a sejtes fehérjehálózat többi elemével (7.1. fejezet).
- A sejtszervecskék különbözősége, diverzitása stabilizálja az eukarióta sejteket (7.1. fejezet).
- ● A sejt fehérjehálózata igen tervszerűen esik szét az apoptózis során (7.2. fejezet).
- ● A rákellenes terápiákban a rózsaszín zaj alkalmazása igen hasznos lehet (7.3. fejezet).
- ● A betegségek kezelésében a több támadásponton egyszerre ható gyógyszerek hasznosabbak lehetnek a jelenleg alkalmazott, egy célpontra ható gyógyszereknél (7.3. fejezet).
- ● Az öregedés során a sejtes és magasabb rendszerek gyenge kapcsolatai szűnnek meg a leghamarabb: ez az idős kor bizonytalanságainak egyik fontos oka (7.3. fejezet).

- Az izom motorikus egységeinek laza szinkronja gyenge kapcsolatként stabilizálja a mozdulatainkat. A motorikus egységek erős szinkronja váltja ki a méh hirtelen összehúzódását a szülés folyamán (8.3. fejezet).
- ● ● Az ember több generáción keresztül rögzült KICSI vagy NAGY fenotípusai erős kölcsönhatásokat, illetve gyenge kapcsolatokat építő pszichológiai típusoknak felelnek meg (8.5. fejezet).
- ● A menopauza evolúciós fennmaradásának az idős hölgyek által létrehozott gyenge társadalmi kapcsolatok stabilizáló hatása is egy igen fontos oka lehet (9.2. fejezet).
- ● ● ● A diverzitás toleranciája a társadalmi stabilitás alapvető követelménye (9.3. fejezet).
- ● A nők társadalmi stabilizáló szerepének hiánya hozzájárul a Föld feszültségóccainak (Balkán, Közel-Kelet, Afganisztán, stb.) kialakulásához (9.3. fejezet).
- ● ● A demokrácia meghonosításához előbb két-három generációnyi jólét kell, hogy a KICSI fenotípus társadalmi méreteiben NAGY-gyá alakulhasson át (9.3. fejezet).
- A peremterületek kiemelten fontosak minden komplex rendszer működésében (agyterületek, mérnöki pidgin-formalizációk, várostervezési átmenetek, szoftver tervezési sémák; 8.4., 9.4., 10.3., 10.4. és 10.5. fejezetek).
- A pletykák stabilizálják, a rágalmak viszont bomlasztják a társadalmi csoportokat: ellentétes hatásuk a gyenge kapcsolatok stabilizáló és az erős kölcsönhatások bomlasztó hatásaival magyarázható (9.5. fejezet).
- A XXI. század a pótvakargatások korábban soha nem látott komplexitását hozta el. A modern korra a kapcsolatok relativizálódása (szétmosottsága) a jellemző (9.5. fejezet).
- A Superman a modern kori történetek gyenge kapcsolatban álló, stabilizáló figurája, amelyik maga is a nemi identitás szétmosottságának jelképe (10.2. fejezet).
- A katarzis (a tapshoz, a stadionbeli hullámmáshoz, a nevetéshez és a síráshoz hasonlatosan) a nézőközönség szinkronizált relaxációja (10.2. fejezet).
- A nagy Mesterek, a nagy építészek és a tőzsdeguruk egyaránt kognitív zsenik, akik minimum a hatodik hatványon képesek gondolkodni (10.2., 10.3. és 11.2. fejezetek).
- ● Az építészet skálafüggetlensége tömegméreteiben segíti a relaxációnkat és a pszichológiai stabilitásunkat (10.3. fejezet).
- ● ● A gyenge kapcsolatok a társadalmi tőke kiemelten fontos részei (11.3. fejezet).
- ● ● ● (???) → Ez a pót-pont a fejezet későbbi részében sorra kerülő szintézisre utal: ez lesz a coda, amit már korábban megígértem).

El kell, hogy ismerjem, hogy a felsorolt példák többsége hipotetikus. Néhányuk egészen hihetetlen, számosan közülük pedig az analógiát olyan széles értelemben használják, ami már megengedhetetlen lehet. A fenti megállapítások közül pár év múlva jó néhányról minden bizonnyal kiderül, hogy egy nagy marhaság. Ennek ellenére a lista nagyon szép gondolatokat tartalmaz, és önmagában is mutatja, hogy milyen sokrétű gondolatmenet fakadhat a hálózati tulajdonságok átgondolásából és alkalmazásából a legkülönbözőbb területeken.

A tudományos redukcionizmus képes elfedni, hogy a tudomány eszközeivel nem tudjuk az egészet megragadni. Így a tudományos megközelítés számára csak a részletek elemzése marad. Gould és Levontin (1979) a San Marco székesegyház boltíveit példaként hozó híres esszéjükben figyelmeztettek az extrém redukcionizmus veszélyeire. Rose (1997) a túlzásba vitt redukcionizmus alábbi hibáit írja le:

- befagyasztás (a kutató egy dinamikus folyamatot egy statikus jelenség formájában vizsgál);
- mesterséges csoportosítás (a kutató különböző befagyasztott állapotokat egy-egy kiragadott jellemzőjük szerint egy közös tulajdonság mesterségesen egymás mellé rakott példaként mutat be);
- hibás számszerűsítés (a kutató a fenti jellemző különböző értékeit számszerűsíti, és a mesterségesen egymás mellé rakott állapotok között matematikai összefüggéseket vél felfedezni) és
- a metafora összecszerélése az analógiával illetve a homológiával.

A redukcionista gondolkodásmóddal ellentétben a hálózatok segítenek bennünket abban, hogy visszanyerjük a világ jelenségeiről alkotott egységes képünket. Igen fontos hangsúlyozni, hogy a „hálózatizmus” remélhetőleg soha nem fog vallássá fejlődni. A hálózatos megközelítés egy rendkívül hasznos és igen általános vizsgálati módszer, de nem „hit”, azaz nem a világ legfontosabb mozgató rugóiról, a folyamatok általános okáról és céljáról alkotott alapvető elképzelés. A hálózatos megközelítés ugyanakkor egyszerre ad egy általános képet és mutatja meg a kis részletek működésének alapjait. Érdekes itt visszaemlékezni az egymásbaágyazott hálózatokról szóló 3.3.-as fejezetre: „Ha elég távolról nézem: pont. Ha elég közelről nézem: maga a végtelen”. A világ egysége, meglepően egységes megérthetősége, és az önszerveződés lépten-nyomon felbukkanó nyomai természetesen rendkívül általános gondolatokat ébresztenek az emberben, de ezek már túlmutatnak a jelen könyv tárgyán és terjedelmi korlátain.

## 13.2. Visszatérés a definíciókhoz: szintézis

Az előző fejezetben összefoglaltam az eddig szerzett ismereteinket a könyv alapvető feltételezéséről: A GYENGE KAPCSOLATOK STABILIZÁLJÁK AZ ÖSSZES KOMPLEX RENDSZERT. *„Péter, amikor legutoljára leírtad ezt a megállapítást az 5.1. fejezetben, akkor kicsbetűkkel volt írva, és nem ezzel a ronda, nagybetűs fonttal. Nem érzed magad egy kicsit bizonytalanul és áltudományosan, amikor a kedvenc hipotézisedet ilyen hangsúlyosan szerepelteted itt?”* Igazad van, Kekec. A meggyőző példák hosszú sora ellenére a fenti megállapítás még mindig csak egy feltételezés. Hogy bizonytalanul érzem-e magam? Jobban, mint hinnéd... Még a gyenge kapcsolatok és a stabilitás pontos definíciójával is adós vagyok. Ebben a fejezetben megpróbálok mindkettőről egy kicsit többet mondani.



**Vigyázat! Veszélyzóna!** Ahogy az Olvasó előre fog haladni ebben a fejezetben, néhány igen merész elképzelést fog találni az erős kölcsönhatások és a gyenge kapcsolatok hasznáról a komplex rendszerek rendkívül bonyolult egyensúlyi viszonyaiban. (Itt már rögtön csapdába futottam: a komplex rendszerek szinte soha nincsenek egyensúlyban – így talán érdekesebb lenne azt mondani: a gyenge kapcsolatok hasznáról a komplex rendszerek stabilitásának leírásában.) Akkor jártam volna el helyesen, ha az egész fejezetet egy vidorka mögé rejtettem volna el. Ugyanakkor az a meggyőződésem, hogy az itt leírt ötletek elég újak, és elég fontosak ahhoz, hogy ennél a kis fontnál nagyobbat is érdemeljenek. Így megtartottam a „normál” tipográfiát a leírásuk során, de már a bevezetőben szeretném figyelmeztetni az Olvasót: a fejezet szinte minden kijelentése (még...) feltételezés csupán.

### Gyenge kapcsolatok: a definíció változatlan

Rögtön az elején be kell, hogy ismerjem, hogy ennyi fejezet és hálózatos példa után nem tudok semmivel sem jobb definíciót adni a gyenge kapcsolatokra, mint az, amit az 5.2. fejezetben már leírtam. A 8. Táblázat példáinak gondos átolvasása megmutatta nekem, hogy a stabilizáló gyenge kapcsolatok pontos aránya rendkívüli mértékben függ a hálózat konkrét paramétereitől, és így általánosan nem definiálható. A gyenge kapcsolatok „gyengesége” is hasonlóképpen a konkrét hálózat függvénye. Az sem mellékes, hogy hol helyezkednek el a gyenge kapcsolatok a hálózaton belül. Nagyon kézenfekvő, hogy mind „gyenge csomópontokra” (randevúzó csomópontok; Han és mtsai, 2004; Luscombe és mtsai, 2004), gyenge hidakra és „egyszerű, mezei” gyenge

kapcsolatokra szükségünk van a hálózatok stabilizálásához. Sokkal több kísérletes munka, és modellezési tapasztalatok szükségesek annak eldöntéséhez, hogy lehet-e bármilyen általános megállapítást tenni ezek pontos jellemzőiről és szükséges arányairól.

Az elméleti és modellezési megközelítésekhez elegendő ismeretek hiányában csak az 5.2.-es fejezet kísérletes definíciója marad: „Egy kapcsolatot akkor nevezünk gyengének, ha hozzáadása vagy elvétele nem befolyásolja statisztikailag kimutatható mértékben a hálózat külső paramétereinek átlagértékét” (Berlow, 1999).

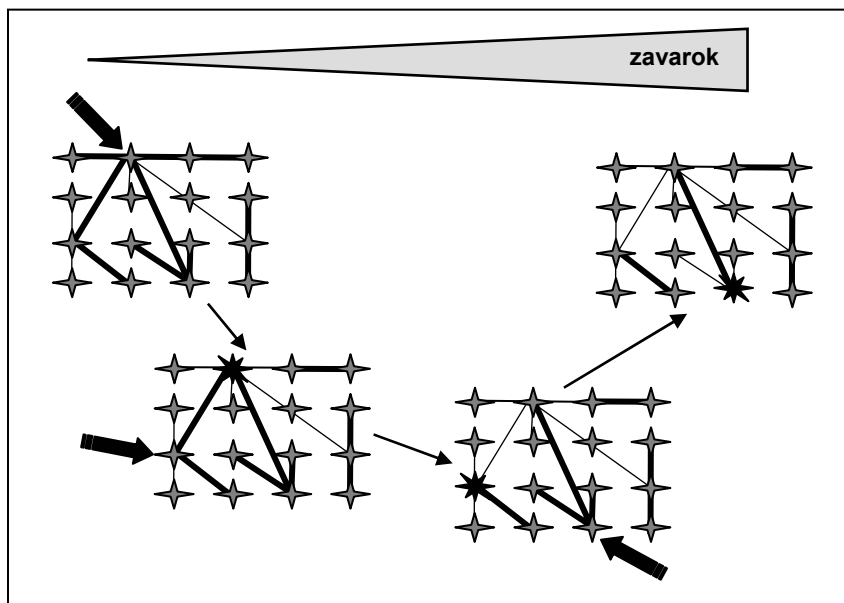
Szerencsére az előző fejezetek példái után sokkal többet tudok mondani a komplex rendszerek stabilitásáról. Az 5.3. fejezet megjegyzéseit visszaidézve a hálózatok stabilitását kétféle módon lehet definiálni: vagy a hálózat paraméter-stabilitásaként, vagy pedig a hálózat ellenálló-képességeként. Az ellenálló-képesség meghatározása viszonylag egyszerű: ha a hálózat ellenálló-képes, meg kell őriznie az integritását, azaz a hálózat legtöbb elemének egymással összeköttetésben kell maradnia. Más szavakkal: a hálózat törzshálójának meg kell maradnia. Az általam eddig olvasott cikkek és könyvek nem adtak választ arra, hogy a hálózat gyenge kapcsolatai és ellenálló-képessége között van-e valamilyen egyszerű összefüggés. Talán a Vicsek Tamás és munkatársai által kifejlesztett hálózátalozási modell (Derényi és mtsai, 2003; Palla és mtsai, 2004) jövőbeni alkalmazásai fognak olyan adatokat szolgáltatni, amelyek közelebb visznek a kérdés megválaszolásához bennünket. Ennek hiányában, a továbbiakban a hálózatok paraméter stabilitásának és gyenge kapcsolatainak összefüggéseit fogom részletesebben elemezni.

A hálózatok paraméter stabilitása általában „elhomályosítja” a hálózatok ellenálló-képességét. Ha a hálózat képes arra, hogy a legtöbb paraméterét stabilizálja, elég valószínűtlen, hogy akárcsak a közelébe jutna annak az állapotnak, amikor a topológiája alapvetően megváltozik, és az integritása, törzshálója számottevően sérülni kezd. (Muszaj itt megjegyeznem, hogy a kétféle stabilitás pontos összefüggései ugyancsak nem ismertek még.) Bánkódnunk azonban emiatt nem kell. A gyenge kapcsolatok a paraméter stabilitásban betöltött szerepének vizsgálata önmagában is igen nagy meglepetésekkel fog járni. Hadd járjam be ezt az óriási területet úgy, hogy az egyszerűbbtől a bonyolultabb felé haladok. Először csak a gyenge kapcsolatok topológiáját fogom figyelembe venni, és javaslatot teszek egy újfajta Le Chatelier elvre, ami azt mutatja meg, hogyan tudják lecsökkenteni a gyenge kapcsolatok átrendeződései a hálózatot érő eredeti hatást. A következő lépésben össze fogom foglalni a könyv különböző fejezeteiben már érintett stabilitási felületeket, és javaslatot teszek a gyenge kapcsolatok általános szerepére e stabilitási felületek bejárhatóságának növelésében. Végezetül egy lépéssel még közelebb megyek a valós világhoz, és megmutatom, mi történik, ha a hálózat egyik elemének változásaira a hálózat többi eleme is megváltozik. Ilyen körülmények között a stabilitási felület maga is állandóan változni fog. Ennek a felfoghatatlanul bonyolult helyzetnek jó néhány konkrét alosete, mint a Nash-egyensúly vagy a szupermodularitás a játékelmélet alapvetően fontos elemeivé váltak. A terület áttekintését azzal fogom befejezni, hogy felvázolom, hogy hogyan képesek a gyenge kapcsolatok az egymással átfedő stabilitási felületrengteteg egyszerűsítésére, és hogyan tudják redukálni az optimum reménytelenül bonyolult keresését egy belátható és záros időn belül bejárható folyamattá.



## A hálózatok Le Chatelier elve

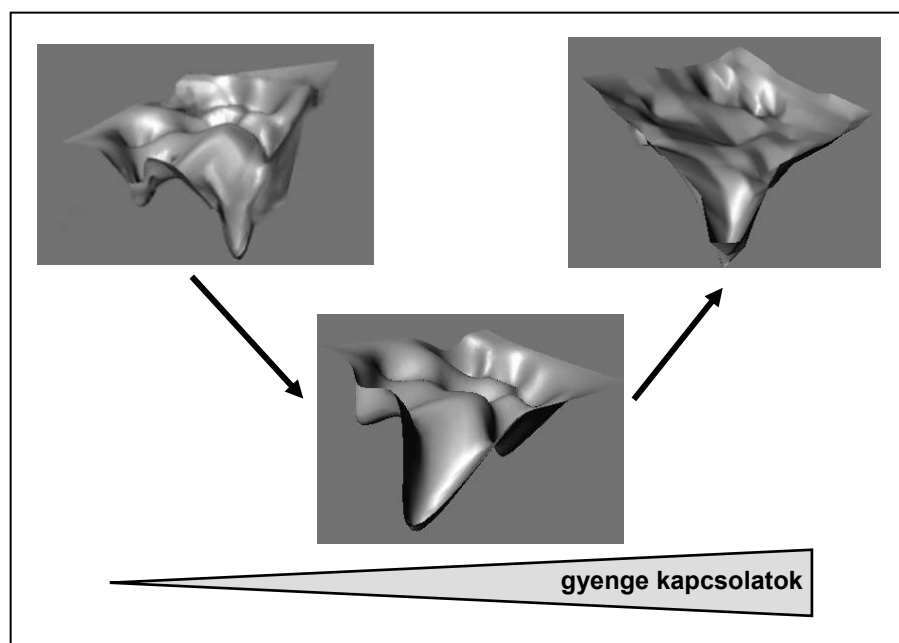
Az Olvasó még emlékezhet Zavar úr, Zavar úr népes családja és meglehetősen durva viselkedésű barátai (a Zavar-Klub tagjai) a 4. fejezetben tárgyalt látogatásaira a hálózatok világában. Hadd kövessem a történetüket még egy rövid ideig. Akkor érkezünk meg a helyszínre, amikor Zavar úr a megfelelő relaxáció hiányában éppen benragadt a hálózat egyik elemében. Az elemnek megfelelő alhálózat a hatalmas energiátöbblet hatására instabil lett, és így képtelen annyi erős kölcsönhatást kialakítani a szomszédaival, mint azelőtt (tétélezzük itt fel, hogy az adott elemnek volt korábban erős kölcsönhatása). Néha ez úgy valósul meg, hogy egy erős kölcsönhatás gyenge kapcsolattá alakul, más esetben pedig akár erős kölcsönhatások, akár gyenge kapcsolatok teljesen megszűnnek, és más gyenge kapcsolatok formálódnak helyettük. A 4. fejezetben már láttuk, hogy Zavar úr irtózik a magánytól, és sohasem jön egyedül. Ahogy a Zavar család újabb és újabb tagjai egymás után érkeznek, és ragadnak be a hálózat különböző elemeibe, a hálózatban az erős kölcsönhatások és a gyenge kapcsolatok aránya egyre inkább a gyenge kapcsolatok felé tolódik el. A gyenge kapcsolatok relatív felszaporodása miatt a hálózat stabilabb lesz. Így – abban az esetben, ha Zavar úr, családja és barátai nem terhelték teljesen túl a hálózatot – a hálózat automatikusan stabilizálja magát azzal, hogy kényszerű módon az erős kölcsönhatásait sorra gyenge kapcsolatokká alakítja (14. ábra). Ez egy kissé bonyolult, de igen hatékony és a hálózatokra minden bizonnyal általánosan érvényes változata az egyszerű fizikai-kémiai folyamatok egyensúlyára érvényes Le Chatelier elvnek.



14. ábra. **A hálózatok Le Chatelier elve.** Ahogy a hálózat egyik elemét Zavar úr megtámadja (az ábrán Zavar úr elakadásának helyét nyolcágú csillaggal jelöltem), az elem instabillá válik, és erős kölcsönhatásait gyenge kapcsolatokká alakítja (ez sokszor az addigi kapcsolatok egy részének megszűnésével és új – általában gyenge – kapcsolatok kialakulásával is együtt jár). Így a zavarsorozat végére a hálózat kapcsolatai az erős kölcsönhatásaiból a gyenge kapcsolatok fele tolódnak el, a gyenge kapcsolatok relatív túlsúlya pedig segíti a hálózat stabilizálódását. (A vastag nyilak a zavart, a nyolcágú fekete csillagok az instabil elemeket, a vastag vonalak az erős kölcsönhatásokat, a vékony vonalak pedig a gyenge kapcsolatokat jelölik.)

„Péter, mielőtt elkezded ünnepelni magad, mint a 'hálózatok Le Chatelier elvének' megalkotóját, hadd idézzem a saját soraidat a 4.4.-es fejezetből: 'magas szintű munkanélküliség, vagy más folyamatos stressz esetén a gyenge kapcsolatok el fognak tűnni, és a stressznek kitett embercsoport egyre fokozottabban az erős kölcsönhatásaira támaszkodik (Granovetter, 1983)'. Nem tűnik itt fel valamiféle ellentmondás neked, és nem érzed úgy, hogy a 'Le Chatelier' elved kedves játék ugyan, de sokat nem ér?" Ez szép munka volt, Kecec, gratulálok! Valójában itt egy látszólagos ellentmondás van csak. A fenti, erős kölcsönhatásokra utaló megállapítás statikus. Azaz arra utal, hogy alacsony erőforrások esetén hosszabb távon, átlagosan a hálózat erős kölcsönhatásokat épít ki, mert a gyenge kapcsolatokra már nem jut energiája. De ebben az esetben is igaz, hogy a konkrét zavar konkrét pillanatában az erős kölcsönhatás meglazul. Azaz a hálózatok Le Chatelier elvének dinamikus viszonyai (ugyan átmenetileg de) erre az esetre is igazak.

### A gyenge kapcsolatok növelik a stabilitási felületek bejárhatóságát



15. ábra. **A hálózatok stabilitási felülete.** A gyenge kapcsolatok simábbá és bejárhatóbbá teszik a stabilitási felületet.

A hálózatok topológiája fontos, de kétségtelenül nem elég ahhoz, hogy a hálózatok stabilitását elemezzük. Egy sokkal jobb képet kaphatunk a stabilitási viszonyokról, ha bevezetjük az előzőekben már jó néhány fejezetben előforduló stabilitási felületek fogalmát. Ezeknek a felületeknek a képszerű megjelenítése a stabilitási viszonyokat úgy írja le, hogy a rendszer lehetséges paramétereiből kettőt kiválaszt (ezt ábrázolja a vízszintes, x-y síkban), és a stabilitásra jellemző paramétert (például az energiát) a fennmaradó függőleges (z) tengelyen tünteti fel (15. ábra). Nyilvánvalóan ez a háromdimenziós ábrázolás a valós viszonyoknak csak egy nagyon leegyszerűsített képét adja, hiszen a tényleges hálózatoknak nem két, hanem akár száz paramétere is lehet, ami százegy dimenziós felületet igényel. A stabilitási felületek fogalmát először Sewall Wright vezette be 1932-ben. Később a megközelítést sikerrel alkalmazták a fehérjék

stabilitásának vizsgálatára (energiafelület; Bryngelson és Wolynes, 1987; Bryngelson és mtsai, 1995; Dill, 1985; 1999), az evolúcióra (rátermettségi felület; Kauffman és Levin, 1987) és az innovációra (innovációs felület; Kauffman és Levin, 1987; Tyre és Orlikowski, 1994).

A komplex rendszerek stabilitási felületei durvák. Ezek a felületek általában igen sok helyi minimummal rendelkeznek, amelyeket egymástól kisebb vagy nagyobb nyergek választanak el. A hálózat nem folyamatos változással jut át a stabilitási felület egyik minimumából a másikba. Általában (az egyik minimumban eltöltött) rövidebb vagy hosszabb nyugalmi szakasz után egy hirtelen ugrás következik be, amely együtt járhat a hálózat tulajdonságainak ugrásszerű megváltozásával. Ezt a jelenségsorozatot szaggatott egyensúlynak szokás hívni a hasonló módon működő evolúciós folyamatok Gould és Eldredge (1993) által adott igen jó leírása után. A szaggatott egyensúly igen sok komplex rendszer fejlődésére jellemző, mint például a gazdaságéra (Schumpeter, 1947), az innovációra (Tyre és Orlikowski, 1994), az intézményekre (Aoki, 1998), a szoftverek fejlesztésére (Crutchfield, 1994) és a tudományos előrehaladásra (Kuhn, 1962). Érdemes hangsúlyozni, hogy a szaggatott egyensúlyban a nyugalmi szakaszok nem olyan szakaszok, amelyek alatt nem történik semmi, hanem önmagukban is aktív, állandóan változó időszakok (Gould és Eldredge, 1993), ahol a hálózat a gyenge kapcsolatok folyamatos stabilizáló hatását igényli.

A szaggatott egyensúly fentiekben leírt változásai a 4.2.-es fejezetben megismert, változatos rengésekhez hasonlítanak. A rengések az önszerveződő kritikus folyamatok jellemző megnyilvánulásai. Ezek után nem meglepő, hogy az önszerveződő kritikus folyamatok számos konkrét példájára igazolták, hogy viselkedésükre a szaggatott egyensúly a jellemző (Kauffman és Johnsen, 1991; Bak és Sneppen, 1993; Sneppen és mtsai, 1995). *„Péter! Ez annyira általánosnak tűnik nekem, hogy azt is mondhatnám: mi mindannyian egy folyamatos élet-rengésben élünk.”* Gratulálok, Kecec! Ez egy nagyon szép mondás volt. De azt hiszem sajnos nem igaz. A fentieket kiterjesztve valószínű, hogy az önszerveződő kritikus folyamatok általában a szaggatott egyensúly állapotában vannak. Ugyanakkor az összefüggés fordítva nem biztos, hogy igaz. Nem minden szaggatott egyensúly önszerveződő kritikus állapot. Ha a hálózat alkotó elemeinek kölcsönhatása egymástól igen különbözik: vagy nagyon gyenge, vagy nagyon erős, akkor az önszerveződő kritikus állapot nem biztos, hogy kifejlődik (Sethna és mtsai, 2001). Ettől azonban a szaggatott egyensúly jelensége még felléphet, hiszen ahhoz a relaxáció gátoltsága (a stabilitási felület minimumainak viszonylagos elzártsága) kell csak. A szaggatott egyensúly tehát az önszerveződő kritikus állapot kifejlődésének egyik nagyon fontos, de nem egyedüli feltétele.

Ez után a bevezetés után elértem a mondandóm új részéhez. Hogyan hatnak a gyenge kapcsolatok a hálózatok stabilitási felületeire és a szaggatott egyensúlyra? A gyenge kapcsolatokkal jól ellátott, illetve gyenge kapcsolatokban szegény hálózatok stabilitásának jellemzőit a 9. Táblázatban foglaltam össze. A Táblázat az 5.1. fejezet 2. Táblázatát egészíti ki. Az összehasonlítás jól mutatja, hogy a hálózatok stabilitási felülete kisimul a gyenge kapcsolatok hatására. Más szavakkal: a gyenge kapcsolatok a szaggatott egyensúlyt kevésbé szaggatottá teszik.

9. Táblázat. A gyenge kapcsolatok hozzájárulása a hálózatok stabilitásához<sup>a</sup>

<b>Sok gyenge kapcsolat</b>	<b>Kevés gyenge kapcsolat</b>
A hosszú távú kapcsolatok kisvilágsághoz vezetnek, a modulok sűrűn kötődnek egymáshoz.	Az elemek közötti átlagos távolság nagy, a modulok kevésbé kötődnek egymáshoz.
Az alhálózatok szinkronizáltak, kevés fluktuáció tapasztalható.	Az alhálózatok vagy túl mereven szinkronizáltak, ami erős fluktuációkhoz vezet, vagy egymástól függetlenek.
A hálózat kommunikációja jó, a relaxáció akadálymentes, gyors.	A hálózat kommunikációja gátolt, a relaxáció zavart, relaxációs lavinák képződése valószínű.
A zaj gyorsan széteszik, felszívódik a hálózatban.	A hálózat zajos. A zaj a hálózat egyes részeiben felhalmozódhat.
A hálózat integrált, egészként viselkedik.	A hálózat részekre szabdalt, moduljai, alhálózatai halmazaként működik.
A hálózat szétesztja a zavarokat, a hibák izoláltak maradnak, a hálózat stabil.	A zavarok tartósan fennmaradnak, a hálózat hibaérzékeny, a hálózat instabil.
Az „aktivációs energiák” <sup>b</sup> hegygerincei alacsonyak, illetve időszakosan lecsökkennek. A helyi minimumok közötti átmenet egyszerű.	A helyi minimumok közötti hegygerincek magasak. A minimumok közötti átmenet ritka és nehéz.
A hálózat relaxációja akadálytalan.	A hálózat relaxációja gátolt.
A stabilitási felület paramétermezőjét a hálózat könnyen be tudja járni, „fel tudja fedezni”. Az abszolút minimum megtalálásának esélye nagy.	A stabilitási felület paramétermezőjének nagy része elérhetetlen a hálózat számára és így felderítetlen marad. Az abszolút minimum megtalálásának az esélyei kicsik.
A hálózat zaja kicsi. Nincsenek a helyi minimumok közötti „szokatlan” átmenetek. A hálózat legvalószínűbb állapota elég jól megjósolható.	A hálózat a relaxáció gátoltsága miatt zajos. A zaj (különösen, ha rózsaszín zaj) váratlan átmeneteket is lehetővé tesz. A hálózat legvalószínűbb állapota nehezen jósolható.
A hálózat rugalmas. Egy másik minimumra való ugrás után a hálózat újraalakulása egyszerű. A keletkező új gyenge kapcsolatok stabilizálják és elmélyítik az új minimumot. A hálózat az új minimumban megmarad mindaddig, amíg az egyik környező gerinc el nem tűnik el ismét.	A hálózat merev. Egy ugrás után nem mutat pótlólagos változásokat, nem alkalmazkodik az új minimumhoz. Így az új minimum nem mélyül el, a hálózat stabilitását csak egy további ugrás javíthatja. A hálózat nem marad meg az új minimumban.

<sup>a</sup>A 2. Táblázat tartalmát a Táblázat tetején kisebb fonttal szedve ismételttem meg. Az új megállapítások a Táblázat alján, nagyobb fonttal szedve találhatóak.

<sup>b</sup>Az „energia” szó itt igen széles jelentéssel bír. Jelenthet rátermettséget, hatékonyságot, piaci értéket, a cselekmény egységét, stb. A stabilitási felület energiadimenziójának konkrét megnevezése a hálózat és a rá jellemző stabilitási felület fajtájától (pl. konformációs, evolúciós, innovációs, gazdasági, műalkotás cselekményét leíró, stb.) függ.



**Túl sok gyenge kapcsolat árt az egyensúlynak.** Az a tény, hogy a gyenge kapcsolatok segítik a stabilitási felületek átmeneteit, új értelmet ad a túl sok gyenge kapcsolat már a 4.3. fejezetben leírt destabilizáló hatásának (Fink, 1991; May, 1973; Siljak 1978; Watts, 2002). Ha a gyenge kapcsolatok túlsúlya miatt a stabilitási felület minden része szabadon bejárhatóvá válik, megnő annak az esélye, hogy olyan minimális „energiájú” állapotok jelenjenek meg, amelyek közel egyformán maximális stabilitást adnak a hálózatnak. Ebben az esetben a hálózat ezek között az állapotok között ingázik, és az egyensúly nem jön létre.<sup>1</sup>



**A gyenge kapcsolatok segítik az alhálózatok és a főhálózat stabilitásának összehangolását.** Nem szabad elfeledkeznünk itt sem a hálózatok egymásbaágyazottságáról. A főhálózat minden egyes eleme egy-egy külön alhálózatot foglal magában. Ahogy az 5.3. fejezetben már említettem, a főhálózatok számos mechanizmust találtak ki az alhálózatok stabilizálására, illetve az instabil alhálózatok elkülönítésére. A jelenség fordítva is igaz: az alhálózatok igyekeznek stabilizálni a környezetüket, azaz végső soron a főhálózatot. Ha a főhálózatot nem integrálják az alhálózatok között kialakuló gyenge kapcsolatok, akkor az alhálózatokat a főhálózat nem tudja kényszeríteni arra, hogy a főhálózat kölcsönös viszonyainak és optimumának megfelelő állapotot vegyék fel, így az alhálózatok mindegyike a saját önálló optimuma fele fog törekedni, és ettől a főhálózat még jobban szétesik.



**Kiválogatódás és szelekció: egy új különbség.** Vrba és Gould (1986) fogalmazták meg a legtömörebben és lehangsúlyosabban a különbséget az evolúció során az egyszerű kiválogatódás és a szelekció, mint a kiválogatódás mögött álló okok egyike között. A gyenge kapcsolatoknak az előzőekben leírt tulajdonságai és hatásai alapján ezt azzal tudom kiegészíteni, hogy az adott faj egyedei és a környezetük közötti gyenge kapcsolatok jelenlétében a tényleges és adott pillanatban észlelt kiválogatódás hamarabb tart (simul be) a mögötte álló szelekciós folyamatba, mint gyenge kapcsolatok hiányában. A gyenge kapcsolatok ugyanis könnyebbé teszik a rendszernek (fajoknak) hogy megtalálják a tényleges minimumot a rátermettségi felületen, és teljesebb illeszkedést tesznek lehetővé a tényleges kiválogatódás és a szelekciós trend között.<sup>2</sup> Fontos azonban azt hangsúlyozni, hogy a gyenge kapcsolatok jelenléte nyilvánvalóan nem mossa el a különbséget a szelekció (amely az egymásbaágyazott hálózatok egy bizonyos szintjén működik) és a kiválogatódás között (amely ugyanazon a szinten, illetve akár bármely más feljebb illetve lejjebb lévő szinten észlelhető).

Bár erre konkrét és általános matematikai bizonyítékot nem találtam, elég kézenfekvőnek tűnik, hogy minél komplexebb lesz egy hálózat, annál messzebb helyezkednek el a hálózatra jellemző stabilitási felület helyi minimumai egymástól. Összefoglaló jelzővel azt mondhatjuk, hogy a komplex rendszerek stabilitási felületei „durvábbak”. A komplex hálózatok stabilitási felületei több helyi minimummal rendelkezhetnek, illetve ezeket a minimumokat magasabb nyerges (hegygerincek) választhatják el egymástól. Kauffman és Levin (1987) hasonló következtetésekre jutottak az általuk bevezetett rátermettségi (fitness) felület elemzése alapján. Megmutatták, hogy a komplexitás növekedésével a legmélyebb minimum elérése

<sup>1</sup>Az ötletért köszönettel tartozom Ormos Kleopátrának.

<sup>2</sup>Amennyiben ez a feltételezés igaz, a sok gyenge kapcsolattal rendelkező mindenevők evolúciójának átlagosan „simábbnak” kell lennie, mint növényevő, illetve ragadozó társaiké.

nehezebbé válik. Hadd hozzak néhány példát, hogy ezt a kijelentést jobban megvilágítsam:

- a komplex fehérjék több tekeredési problémával küzdenek, az energiafelületük „durvább”, mint az egyszerűbb szerkezetű fehérjéké (Bryngelson és Wolynes, 1987; Bryngelson és mtsai, 1995; Csermely, 1999; Dill, 1985; 1999);
- a komplex élőlényeknek valószínűleg az evolúciós rátermettségi felületük „durvább” azaz az egy bélbaktérium hamarabb tud egy stabil fenotípust találni, mint egy mókus, ha az életkörülményeik alapvetően megváltoznak;
- a komplex mérnöki alkotásoknak valószínűleg az innovációs felületük „durvább”: egy mosógép újratervezése egyszerűbb feladat, mint egy Boeing 777-esé;
- a komplex regények cselekményfelülete, gondolati felülete „durvább”: azaz a három kicsi kismalac videoklip-re vitele nem csak azért egyszerűbb feladat a Háború és Béke filmváltozatának elkészítésénél, mert a kismalacok között sem Napóleon, sem Kutuzov nem akadt (legalábbis a történet általam ismert változatában...).

„Péter, ez egészen riasztóan hangzik. Úgy is mondhatnám: tragikus. Minél komplexebbek leszünk, annál jobban be leszünk szorítva a dédnagymamáink és dédnagypapáink 'véletlen baleseteinek' megváltoztathatatlan következményeibe.” Ne keseredj el, Kecec. Először is: a dédnagymamik és dédnagypapik „véletlen balesetei” nélkül az őseink soha nem tudták volna kifejleszteni, és mi soha nem tudtuk volna örökölni azt a komplexitást, amiben élünk (Gell-Mann, 1995). Mindent nekünk kellene kezdenünk előlről. Másodszor: úgy gondolom, hogy van egy szinte automatizált kiút ebből a látszólagos „22-es csapdjából”. Egy lehetséges megoldást az alábbiakban írok le.

A 7.2. fejezetben leírtam, hogy az adott hálózat (például sejtes fehérjehálózat) gyenge kapcsolatai hogyan egységesítik a hálózatnak, vagy a hálózatot tartalmazó főhálózatoknak különböző megjelenési formáit (azaz a sejtek sokaságát, illetve a sejtekből felépülő élőlények sokaságát). A változatosság elrejtése kikapcsolja a szelekciót, és lehetőséget ad arra, hogy az adott hálózat számos változata rejtetten felhalmozódjon. Ha stressz lép fel, a gyenge kapcsolatok és az egységesítés lecsökken, az addig gyűjtögetett rejtett különbségek zöme pedig hirtelen a napvilágra kerül. Ezek után a szelekció hatni kezd, és a most már tényleges diverzitást hosszabb távon megszünteti. Újrafogalmazva az ott leírtakat: a stressz által kiváltott diverzitás növekedéssel a rendszer át tudja hidalni a lokális minimumok közötti különbségeket a stabilitási felületen. Eddig még nem látunk semmi különbséget az egyszerűbb és a komplexebb rendszerek között. Itt azonban érdemes felfigyelni arra, hogy a stressz gyakorisága a komplexitás növekedésével párhuzamosan változik. Ha a baktériumok nem képeznek biofilmet, az életük borzalmas stresszek állandó sorozata, hiszen nincs egy olyan mikrokörnyezetük, amely a külső körülményeiket állandósítani tudná. Évmilliárdok szimbiózis-sorozata és a többsejtű élőlények kifejlődése után az egyedi sejtek által tapasztalt helyi stressz sokkal ritkábbá vált. A mi saját sejtjeink számára a stressz egy kis sziget a többé-kevésbé zavartalan egyensúly óceánjában. Következésképpen, a komplexebb rendszerek sejtjeinek nagyobb esélye van arra, hogy a rejtett diverzitás nagyobb mennyiségét összegyűjtsék, hiszen a diverzitást előhívó és így „lenullázó” stressz ritkábban érkezik meg. De ha egyszer megérkezik (ami valamikor biztosan meg fog történni), akkor a diverzitás nagyobb mértéke szabadul fel

egyszerre. Így a dédmamik és dédpapik véletlen balesetei által befagyasztott stabilitási felületén a komplex rendszer – éppen azért mert ő komplex, és így stabilabb mikrokörnyezetet tudott teremteni magának – nagyobb ugrásokat tud tenni.<sup>3</sup>



### Optimális esetben a „durva” stabilitási felület abszolút

**minimumát a hálózat Levy-utakkal keresheti.** A gyenge kapcsolatok stressz-indukált lebomlása visszaszorítja a hálózat relaxációját, és ezzel párhuzamosan megnöveli az egyes minimumok közötti ugrások „hosszának”<sup>4</sup> a változatosságát. Valószínűleg a komplex hálózatoknak létezik olyan formája, ahol a gyenge kapcsolatok optimális mennyisége van jelen. Ilyenkor ritka és rövid ugrások mellett épp a rejtett változatosság megjelenése és eleresztése miatt hosszabb ugrások is felléphetnek, és az ugrások „hossz-eloszlása” megközelítheti a skálafüggetlen eloszlást (kis ugrás a legtöbb esetben → kis változás, ritkán azonban → nagyobb ugrások, és valóban nagyon ritkán → egy igen nagy ugrás). Így ebben az esetben a hálózat bejárása Levy-utak formájában történhet, ami egy ismeretlen terület felderítésének a leghatékonyabb módja (Vishwanathan és mtsai, 1999). Egy hálózat tehát háromféle módon keresheti meg a stabilitási felületének optimumát:

- rengeteg gyenge kapcsolat esetén a változás esélye nagy, a keresés a véletlen bolyongáshoz közeli stratégiát követ;
- közepes (optimális) gyenge kapcsolat esetén a fent leírt rejtett változatosság megjelenése a komplex hálózatoknak esélyt ad arra, hogy az ugrások számának visszaszorulásával párhuzamosan hosszuk eloszlását optimalizálják, és a stabilitási felületet Levy-utakkal járják be;
- még kevesebb gyenge kapcsolat esetén a hálózat a stabilitási felület éppen aktuális minimuma körül „toporog” azaz változásképtelen lesz, befagy.

Meg kell, hogy jegyezzem, hogy még nagyon sok modellt és kísérletet kell felépíteni és értékelni ahhoz, hogy eldönthessük:

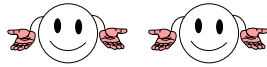
- hogy a leírt feltételezés igaz-e;
- hogy a feltételezés általános-e mindenfajta stabilitási felületre (konformációs, evolúciós, innovációs, műalkotásbeli, stb.);
- hogy a fenti feltételezés általános-e minden hálózatra, vagy csak a komplex hálózatokra igaz;
- hogy megtudjuk: a véletlen bolyongás, a Levy-utak és a „befagyás” között a gyenge kapcsolatok arányának (a stressz mennyiségének) változása esetén vajon folyamatos-e az átmenet, vagy inkább egy fázisváltáshoz hasonló, hirtelen átfordulással jellemezhető folyamat (Vicsek Tamás és munkatársai fázisátmeneteket jellemző munkájából kiindulva én az utóbbira szavaznék...) és
- hogy van-e a stabilitási felületek bejárásának és az abszolút minimum megtalálásának alapvetően más keresési stratégiája, amelyet itt nem említettem.

Ahogy a 7. fejezetben már leírtam, a hálózatoknak meglehetősen bonyolult eszközök állnak a rendelkezésre ahhoz, hogy a gyenge kapcsolataik mennyiségét, és így a stabilitási felületük alapvető formáját szabályozzák. Ahogy a fentiekben láttuk, a gyenge kapcsolatok mennyisége egy fontos meghatározója a rendszer evolúcióképességének: gyenge kapcsolatok nélkül a rendszer befagy, kevésbé evolvál, azaz a rendszer evolúcióképessége, evolvabilitása (Kirschner és Gerhart, 1998) kicsi lesz. Ez az elképzelés összhangban van Earl és Deem (2004) nemrég megjelent munkájával, akik megmutatták, hogy az evolúcióképesség szelekció tárgya lehet, azaz a

<sup>3</sup>Egy kissé távoli analógiát hozva, a fenti eszmefuttatás az innovációs felületre is úgy tűnik igaz: a hosszabb elzártág (zavartalan alkotói szabadság) nagyobb innovációs ugrás megtételét teszi lehetővé.

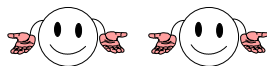
<sup>4</sup>Itt „hossz” alatt természetesen nem fizikai úthosszt, hanem a stabilitási felület két minimumát jellemző paraméterek között található átlagos különbséget kell érteni.

bonyolult hálózatok konkrétan szabályozható, és egy adott fokon stabilizálható tulajdonságának kell, hogy legyen.



### A komplex rendszerek Le Chatelier elve.

Ha összevetjük a rejtett különbségek felgyűlésének és eleresztésének a komplex rendszerekben megjelenő esélyét azzal, hogy ugyanezek a komplex rendszerek a fejlődésükhöz nagyobb ugrásokat igényelnek a stabilitási felületükön, egy újabb önszabályozó folyamatra figyelhetünk fel. Ahogy a rendszer komplexitása nő, a gyenge kapcsolatainak és a környezetének stabilizálása segítségével a komplex rendszer növelni tudja az evolúcióképességét is. Így át lehet fogalmazni a „komplex rendszerek kitörése a fejlődés 22-es csapdájából” előzőekben leírt mechanizmusát: ahogy a rendszer egyre komplexebb lesz, egyre nagyobb esélyt szerez arra, hogy magát és környezetét stabilizálja. Ennek egyenes következményeként megnő az evolúcióképessége, amely segít neki abban, hogy megőrizze a fejlődőképességét annak ellenére, hogy a komplexitása sokkal nagyobb követelményeket állít a fejlődőképességének fenntartására. A „túl komplex, ezért nem tud fejlődni → elég komplex ahhoz, hogy stabilizálja a környezetet → rejtett változást gyűjt → hiába komplex: mégis tud fejlődni” folyamatsorozatot akár a komplex rendszerek Le Chatelier elvének is nevezhetjük.



### Az evolúcióképesség evolúciója – és a jövőnk.

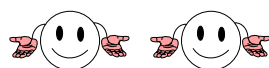
A stressz alapvetően fontos az evolúcióképesség fenntartásában. A stresszmentes periódusok gyűjtik fel a rejtett változatosságot, és a stressz ereszti őket el. Máshogy fogalmazva ugyanezt: „Egy olyan populáció, amelyik számottevő környezeti változásokat szenved el, sokkal alacsonyabb energiájú egyedeket tud kifejleszteni, mint az a populáció, amelyek nem élnek át elég környezeti változást” (Earl és Deem, 2004). A dinók kihalása nem biztos, hogy csak a Yucatán-félszigetre lepotyogó aszteroida miatt volt (Alvarez és mtsai, 1980). Könnyen lehet, hogy a kihaláshoz az is kellett, hogy az aszteroida előtt a dinók nagyon hosszú ideig elég stresszmentes életmódot folytassanak és így az evolúcióképességük (rejtett változatosságuk) annyira lecsökkenjen, hogy az aszteroida megváltozott körülményeit már ne tudják túlélni. (Ez a megállapítás valószínűleg nem is annyira az egyedi dínókra, semmint az egész dínó-uralta ökoszisztémára igaz.) Mi, emberek egészen stresszmentes életet kezdtünk élni néhány száz év óta. Bár ezek a századok evolúciós mércével mérve semmit sem jelentenek, a hosszú-távú hatások magukért beszélnek. „Péter, a Gaia fejezetben halálra rémítettél engem azzal, amikor Nostradamus-növendéknek álcázva magad felvázoltál egy lehetséges 2060 és 2080 közötti katasztrófasorozatot. Ez az a pillanat, ahol lassan kezdem visszanyerni a bizalmam az emberiség jövőjében. Lehet, hogy egy ilyen megrázkódtatás-sorozat egyéni tragédiák milliárdjait okozza, de végső soron hozzájárul az emberiség túléléséhez.” Kecec, imádom a globális optimizmusodat. Ennek ellenére hadd figyelmeztesselek arra, hogy Gaia-ról nem tudunk még szinte semmit, így szerintem nincs olyan ember a Földön, aki jelenleg meg merné jósolni, hogy mi az a maximális katasztrófasorozat, ami még fájdalmas áldozatok árán ugyan, de kondicionálja az emberiséget a jövőre, és mi az, ami már egyszerűen kitorli a Föld felszínéről. A legjobb ezeket úgy, ahogy vannak elkerülni. Ha megőrzöd a diverzitást ma, akkor egyszerre segíted Gaia stabilizálódását, és növeled az általános evolúcióképességet beleértve a saját magad evolúcióképességét is (Earl és Deem, 2004).

Az önszerveződő komplex rendszerek általában eljutnak addig, hogy megengedhessék maguknak a degenerált alrendszerek energetikai luxusát, amelyek (a degenerált rendszerek által képzett gyenge kapcsolatokkal együtt, ld. 5.5. fejezet) nagyobb hibaturést adnak a komplex rendszernek. A stabilitási felület helyi stabilitási minimumait így ki lehet terjeszteni, ami az egész rendszernek önmagában is jobb evolúcióképességet biztosít. Ez kötődik a 10.5. fejezetben említett felépítési



kombinatívitas (designability)<sup>5</sup> fogalmához is. A komplexebb fehérjeszerkezetek nagyobb felépítési kombinativitással rendelkeznek (Li és mtsai, 1996; Tiana és mtsai, 2004). Noha nincs konkrét bizonyítékom rá, valószínűnek tartom, hogy a felépítési kombinativitás mértéke a komplex rendszer helyi stabilitási szigetének méretével együttl nő. (Minél elmosottabb, kiterjedtebb, laposabb a stabilitási felület helyi minimuma, annál több egyedi variációt engedhet meg.) Azaz: a gyenge kapcsolatok nemcsak meggyorsítják a stabilitási optimum elérését, nemcsak az evolúcióképességünket növelik meg a rejtett változatosság biztosításával, hanem megnövelik a belső változatosság mértékét is (a felépítési kombinativitást). Máshogy fogalmazva: az alhálózat gyenge kapcsolatai egy olyan változatosságot tesznek lehetővé az alhálózat szintjén, amelyik a főhálózat szintjén is több gyenge kapcsolatot generál. Ezzel a hálózatok szintjein átnyúló stabilizálási folyamatoknak egy újabb szép példáját sikerült felvázolnom.

Az összes fenti példában a hálózatok „jóságának” a mércéje egy energiaszerű fogalom volt. Ez vagy az energia maga volt, vagy a rendszer „rátermettsége”, vagy a megtervezett típus „hasznossága”, vagy a piaci érték, vagy pedig a cselekmény, a fő mondanivaló egysége. Mi ezekben a rendkívül széles fogalmi típusokban a közös? Miért érdemes éppen ezekre optimalizálni a rendszert? Mielőtt a válaszba belekezdenék, hadd jegyezzem meg, hogy az összes fenti kifejezés egy-egy fogalmi mankó a számunkra, hogy a rendszerek „jóságáról” röviden beszélni tudjunk, illetve a rendszerek „jóságát” számszerűen mérni és jellemezni tudjuk. *Mi történik*, ha egy hálózat „jó”, ha egy hálózatnak sikerült elérnie a stabilitási felület optimális minimumát? Ilyenkor a hálózat stabil lesz. Tényleg ez az, ami ilyenkor *történik*? Nem. Ez csak egy újabb gondolati hókusz-pókusz, amivel a hálózatok „jóságáról” röviden beszélhetünk. *„Péter, ne haragudj, de én nem értem ezt a nagy felvezetést ezzel a 'történik' dologgal. Mi ebben az, ami ennyire megfogalmazhatatlan neked? Nem tudod kitalálni, hogy mi TÖRTÉNIK? Túlélés történik, Ez az, ami történik – vagy nem történik. Ez ennyire bonyolult?”* Húha, Kekec, de indulatba jöttél. Igazad van. Tényleg túlélés *történik*... – hosszú távon. De abban a pillanatban, amikor a stabilizáció éppen zajlik, ez még csak egy valószínűség. Amire a túlélés tényleg „megtörténik”, a rendszer stabilitása már akár egymilliószor megváltozott. A túlélés nem egy történés, hanem az átlagos stabilitás integratív mércéje. Nem erre vagyok én most kíváncsi. Ami a stabilitás beálltakor helyben, és kimutathatóan, láthatóan történik, az az önszerveződés. Ha a hálózat legalább minimálisan stabil, akkor része lehet egy nagyobb hálózatnak. A megtervezett alkotásokat használják, a könyveket olvassák, a cégeket adják-veszik. A fehérjék sejteket, a sejtek szerveződéseket, a szerveződések pedig ökoszisztémákat építenek. És így tovább... És így tovább meddig? Addig, amíg el nem érjük Gaia-t. Mit épít Gaia ha stabil? Hol használják Gaia-t? Ki olvassa? Hol adják-veszik? Mi a „felső kapcsolat”, mi a jutalom akkor, ha Gaia stabil? Mi adja itt a stabilitás mércéjét? Micsoda Gaia főhálózata?



**Gaia kapcsolatai.** A fenti kérdésekre a választ csak egy háromvidorkás részbe mertem beletenni. Kérem az Olvasót, legyen türelemmel hozzám

<sup>5</sup>A felépítési kombinativitás fogalmán az adott tervezési séma elvárásait kielégítő (az adott környezeti feltételek mellett stabil) összes egyedi hálózat számát értjük.

megint. Három választ tudtam kitalálni Gaia „felső kapcsolatára”. Az első válasz túlmutat a tudományos megismerésen. Az első válasz spirituális. Gaia felső kapcsolata Isten maga. Gaia a világegyetem összes többi részével együtt egy olyan hálózat része, amelyet a földi gondolkodás Istennek nevezett el. Ha Gaia stabil, része lehet Istennek. Ha Gaia stabil, Isten elfogadja részeként. Ha viszont Gaia nem stabil, ahogy jelenleg mintha egyre kevésbé lenne az... Rendben. Azt hiszem, itt kell áttérnem a második válaszra, mielőtt néhányan a könyv e mondatait egy közalgó világvége „tudományos magyarázatoként” kezdik el használni.<sup>6</sup> A második magyarázat szerint Gaia, a Föld Istennő, megérett a házasságra. E szerint a magyarázat szerint Gaia elérkezett a fejlődés azon szakaszára, amikor már nagyon szeretne egy felső hálózathoz tartozni, de még nem tud. Gaia integrálódni akar. Stabilizálódik, ügyeskedik, kicsinosítja magát, izgatottan körül néz – és újra meg újra visszasüpped a pártában maradt vénkisasszonyok sokszor boldogtalan életébe. A család után a külső stabilizáció hiányában egy belső átrendeződés ad a stabilitás megőrzéséhez további esélyt. Az önszerveződő kritikus állapot egy újabb esete keletkezett: a felső-szintű stabilizáció vissza-visszatérő elmaradásából származó kritikusság. Ha a második eset az igazi válasz: vajon egy ilyen kritikusság fele közeledünk? Vajon közel van a világ egységesedésének újabb pontja, amikor a külső kapcsolat híján egy újabb belső átrendezés következik? Ha ez így van, nem lenne célszerű minden erőforrásunkat arra fordítani, hogy megkeressük Gaia külső kapcsolatát? Nem lenne célszerű méltó párhoz segíteni a kedves, jó, négymilliárd éves öreglányunkat, mielőtt megint dühös lesz? Gaia-ról szinte semmit nem tudunk. Ezek a kérdések szinte bizonyos, hogy teljesen tévúton járnak, és még a megfogalmazásuk is túl korai. Hadd kérdezzek itt vissza. Biztos, hogy ezeknek a kérdéseknek a megfogalmazása túl korai? Biztos, hogy teljesen tévúton járnak?

*„Péter, amit itt leírtál, attól kírázott a hideg. Ez félelmetes. Többet mondd, Ez veszélyes. Biztos vagy benne, hogy ez a kézirat valaha nyomtatásba kerül benne ilyen gondolatokkal?”* Egyetértek veled, Kecec. Ha megtehettem volna, nem három, hanem hét vidorkát teszek az előző bekezdés fölé (olyan lett volna, mint az egyik kedvencem, a Metaxa konyak...). Van mentségem! A harmadik válasz. Gaia nem épít semmit. Továbbmegyek. Gaia nem tud építeni semmit. Hálózati lét szempontjából Gaia zárt rendszer. Kapcsolatnélküli. Mércenélküli. Reménynélküli. Gaia lassan fő-födögél az egyszemélyes üvegházában, és egyre izzadtabb a pólóján az alábbi felirat virít természetes keblei felett: „Itt az önszerveződés vége”. Szomorúan hangzik? Vedd a jó oldalát. Egyedüli felelősei vagyunk annak, ami itt történik. Nincs külső megmérettetés, nincs mérce, nincs segítő kapcsolat, nincs olyan szinkron, aminek örülhetnénk, magunkon kívül nincs semmi, ami biztonságot adna. Nincs semmilyen segítség. Vagy ki tudjuk találni és meg tudjuk tartani a saját mércéinket, vagy összeomlunk. Bocs Kecec, ma nincs ennél jobb hírem sem neked, sem Empivel közös gyermeketeknek.

### **Amikor a stabilitási felület maga is változni kezd: a hálójátékok**

Nagyon messze jutottunk a gyenge kapcsolatoktól és a hálózatok stabilitásától. Elnézést kérek attól, akit ez megzavart. A hálózatok olyan logikusak és olyan általánosak, hogy még az elgondolhatatlan elgondolására is ráveszik néha az embert. Mindazonáltal, ideje a tudományhoz visszatérni megint. A hálózatok stabilitásával foglalkozó előző részben azt elemeztem, hogy a stabilitási felületek hogyan változnak,

<sup>6</sup>Ilyen „magyarázat” adása a szerzőnek a legkevésbé áll szándékában, hiszen számára nyilvánvaló, hogy az első magyarázatnak a tudományhoz nincs semmi köze. Nem azért nincs köze, mert ez a gondolat „buta”, „babonás”, „alacsonyrendű”, hanem azért nincs köze, mert ez a gondolatmenet túlmutat a tudományos megismerésen, és olyan mezőre téved, ahol annak az eszközei elfogytak, illetve jelenleg még nem alakultak ki. Így a gondolat szép, izgalmas, érdemes rajta meditálni, de attól még a tudományhoz semmi köze nincsen.

ha a hálózatok gyenge kapcsolatainak a száma megváltozik. Most jött el a pillanat, hogy eláruljam: AZ EGÉSZ ELŐZŐ RÉSZ HIBÁS VOLT. Kekec!!! Kérlek, ne nézz így rám. Nem hazudtam. Elhanyagolásokkal tárgyaltam egy bonyolult kérdést. Közelítő megoldásokat vázoltam fel. A tudományos eredményeink döntő többsége közelítő megoldásokat vázol fel. Kis szabadossággal ki merném jelenteni, hogy minden tudományos eredményünk közelítő megoldásokat vázol fel. A közelítő megoldások a kutatónak olyanok, mint az éltető víz. Nélkülük sem gondolkodni, de a gondolatairól beszélni nem tudna. (Könyvírásba meg eleve kár lenne belefogni...)

Mi a baj a stabilitási felületekkel? Sajnos nem állandóak. Változnak. Újra belefutottunk az egymásbaágyazottság problémájába. Amikor az alhálózatok fejlődnek, nem légüres térben fejlődnek. Más alhálózatokkal kölcsönhatásba kerülnek, és kapcsolatokat alakítanak ki velük. Ahogy az egyik alhálózat kölcsönhatásba kerül többivel, a többi alhálózat válasza megváltoztatja az eredeti alhálózat környezetét és ezzel az eredeti alhálózat egész stabilitási felületét (Nowak és Sigmund, 2004; Ruthen, 1993). Kekec! Képzeld el száz, dehogy száz! Ezer alhálózatot. Ahogy elkezdnek kölcsönhatásba kerülni egymással, és mindegyikük stabilitási felülete ezer dimenzió mentén változni kezd... Mi történt??? Kekec!!!

*„Péter, ha tovább folytatod, itt hagylak. Ez nekem túl sok. Felfoghatatlan. Elképzelhetetlen. Kezelhetetlen. Hogy lehet a világ ilyen reménytelenül bonyolult???”* Egyetértek veled, Kekec. A sokszoros stabilitási felületek komplexitása *tényleg* a felfogóképességünk határain túl van. Van azonban egy jó hírem. Nem mi vagyunk az egyedüli zombik! Ez a komplexitás valószínűleg az összes földi ember felfogóképességének határain túl van. Emlékszel Dunbarra (2005)? A hatodik hatványú gondolkodására? A főhálózat hat alhálózatának az egymásra hatása egy Shakespeare-t igényelne. Egy hatelemű hálózat nem hálózat. Legfeljebb egy hálózat-embrió. A valódi hálózatok megértéséhez az ezredik hatványon kellene tudni gondolkodnunk. Sőt. Inkább a tízezrediken. Ez nyilvánvalóan lehetetlen. Az emberiség legnagyobb gondolkodói közül jó néhányan ennek az elképzelhetetlenül bonyolult rendszernek a leegyszerűsítésén dolgoznak már több mint fél évszázada. A gondolkodásuk eredményét játékelméletnek hívjuk. Nyilvánvalóan sem helyem, sem bátorságom nincs arra, hogy a továbbiakban részletesen elemezzem a játékelmélet és a hálózatok elmélete közös pontjait, és megállapítsam, hogy a gyenge kapcsolatok hol és hogyan befolyásolják a két elméleti konstrukció egymásra hatásait. Hadd korlátozzam magam és a terület tárgyalását csupán két példára, amellyel azt szeretném megmutatni, hogy a játékelmélet milyen megoldásokat kínál a fenti, borzasztóan bonyolult helyzet megértésére és kezelésére.

Az első példám a Nash-egyensúly. A Nash-egyensúlyt John Nash (1950) egy 28 soros, rendkívül elegáns közleményben írta le.<sup>7</sup> Ha a játék eléri a Nash-egyensúlyt, egyik játékos sem nyer semmit akkor, ha megváltoztatja a játékstratégiáját, feltéve, hogy közben az összes többi játékos nem változtatja meg a saját addigi játékstratégiáját. Más szavakkal: a Nash-egyensúly állapotában az agresszív viselkedés által provokált

<sup>7</sup>A 28 sorból a tényleges bizonyítás 8 sor, amely egy kolléga által Nash figyelmébe ajánlott, korábban bizonyított tényre vezet vissza az egyensúly létének szükségszerűségét. A szövegből nyilvánvaló, hogy Nash számára ez a „bizonyítás” teljesen másodlagos, felesleges dolog: számára ugyanis ezen egyensúlyok léte teljesen nyilvánvaló. Ez arra enged következtetni, hogy Nash agya nem kifejezetten az átlagos hatodik hatványon szokott működni...

nyeremények és veszteségek azonosak. A sokszoros stabilitási felületek szempontjából a Nash-egyensúly az a nagyon speciális eset, amikor minden egyes alhálózat a saját stabilitási minimumában ül, és nem reagál akkor, ha bármelyik alhálózat átmenetileg megváltozik. Így nincs szükség a stabilitási felület megsokszorozására. Ha a játék (az alhálózatok kölcsönhatása) elérte a Nash-egyensúlyt, a sokszoros stabilitási felületeket egyetlen stabilitási felületté lehet egyszerűsíteni, és így az előző részben tett összes megállapítás érvényes marad.

A második példám a szupermoduláris játékok példája. A szupermoduláris játékok nem együttműködésen alapuló (nem kooperatív) játékok. Ugyanakkor ebben a játékokban a szereplők cselekedetei egymástól nem teljesen függetlenek, hanem egymást kiegészítik. Ezt a játék egy sor feltétele biztosítja. Ezek közül a legfontosabb, hogy a játék során teljes körű pozitív visszacsatolás érvényesül: bármely résztvevő megnövekedett aktivitása megnöveli az összes többi résztvevő megnövekedett aktivitásának az értékét, vonzerejét. Ilyen körülmények között a legtöbb esetben egy cselekvési lavina indul be. A valós világban ilyen helyzet állhat elő egy technológiai újítás alkalmazása során, vagy egy anyagilag megroggyant bankból történő pénzkivonás alkalmával. Ezek a játékok elérhetnek a Nash-egyensúly állapotába (Milgrom és Roberts, 1990; Topkis, 1979). Ha ezt az esetet a sokszoros stabilitási felületek szempontjából elemzem, azt mondhatom, hogy a lehetséges stabilitási felületek legtöbbször a játék kezdőfeltételeivel eleve kiiktattuk, a maradék felületek pedig egy közös stabilitási felület fele konvergálnak, ahogy a játék tart a Nash-egyensúly állapota felé. (Ahogy a fenti konkrét példák mutatják, ez az egyensúly egészen rövid életű is lehet: hiszen ahogy az újítást mindenki elfogadta, illetve a bank pénztára teljesen kiürült, a játék véget ér.)

A szupermoduláris játékok logikáját általánosítva, azt lehet mondani, hogy a játékelmélet nagyon sokszor az „elvárható”, „ésszerű” emberi viselkedésből indul ki, és ennek a szabályszerűségeivel drasztikusan lecsökkenti a sokszoros stabilitási felületeket pusztán néhány stabilitási felületre. Ezeken a maradék felületeken az egyensúlyi helyzet megkeresése már egy reménytelibb feladat, mint a kiindulási, ezerszeres-tízezerszeres stabilitási felület-rengetés. Az egyensúly megkeresése során ugyancsak az „elvárható” és „ésszerű” emberi magatartás szabályai segítenek. A játékelmélet egy gyönyörű összefoglalását adja Harsányi és Selten (1988) könyve, amelyben leírt munkásságukért kettőjüket a korábban említett John Nash-sel együtt 1994-ben a közgazdasági Nobel-díjjal tüntették ki.

Azok az erőfeszítéseink, amellyel a sokszoros stabilitási felületek kezelhetetlen bonyolultságát egy egyszerű stabilitási felületre igyekszünk lecsökkenteni, nem csak a játékosok (kölcsönható alhálózatok) ad hoc döntésein alapulnak. A játékoknak általában vannak szabályaik. Az emberpalánták családi, iskolai, csoport-szocializációs folyamatának zöme arra való, hogy képesek legyenek együttműködni, és egy megadott szokásrendszer mentén már eleve egy lecsökkentett stabilitási felület-csoporttal kelljen törődniük. *„Hoppá! Azt mondd, hogy amikor utált földrajztanárunk nevelni próbálta az osztályt, akkor tulajdonképpen segített nekünk abban, hogy sikeresebbek legyünk később, amikor a saját játszmáinkba belekezdünk?”* Igen Kecec, fején találtad a földrajztanárt, akarom mondani: a szöveget. Ha úgy érzed, hogy képtelen vagy ahhoz a stabilitási felülethez konvergálni, amelyet a csoportod magának közösként elfogadott, sok esetben ott tudod hagyni a

csoportot, ahova addig tartoztál. De ha úgy döntesz, hogy maradsz (vagy nem tudsz elmenni), akkor a csoport közös felületéhez kell neked is közelítened, ha azt akarod, hogy a csoport és te együtt hatékony legyetek. (Ez persze a csoport minden tagjára igaz. Azaz az osztály közös stabilitási felületét a földrajztanárnak is figyelembe kellett volna vennie.) Az emberi társadalomban a sokszoros stabilitási felületeket nemcsak a földrajztanárok egyszerűsítik. Az általános játékszabályok megállapítását szolgálják a törvények, intézmények, viselkedési normák, társadalmi szerepek és szokások is. Mindezek segítenek bennünket abban, hogy el tudjunk igazodni a sokszoros stabilitási felületek borzasztóan komplex, és felfoghatatlan világában.

Az előre leírt szabályok a legtöbb esetben még mindig egészen sok stabilitási felületeket hagynak meg. Ezeket a stabilitási felületeket a játék során a játékosok (a kölcsönható alhálózatok) maguk redukálják tovább. Így a játék maga egy tanulási folyamattá válik, ahol a játékosok egymás preferenciáit, viselkedését tanulmányozzák, és ebből következtetnek arra, hogy a meg mindig megmaradt jó néhány stabilitási felület melyik részét lehet a továbbiakban figyelmen kívül hagyni (Axelrod, 1997). Ennek egyik példaként a szupermoduláris játékokban a komplementaritás egyre jobban kifejlődhet, ahogy a játékosok egymás után arra a játékformára korlátozzák magukat, amely hasznosnak bizonyul a számukra, és sorra elhagyják azokat a játékformákat, amelyek visszatérően elnyerteleneknek bizonyultak (Milgrom és Roberts, 1990).

Utolsó megjegyzésként nem szeretném azt a látszatot kelteni, hogy a játékok vagy a lecsökkentett számú sokszoros stabilitási felületek mindig egy Nash-egyensúlyra vezetnének. Jó néhány esetben az alhálózatok csoportja soha nem éri el még akár az átmeneti egyensúly helyzetét sem, és végig instabil módon oszcillál, vagy más, teljesen irreguláris változásokat produkál. Úgy érzem, hogy a sokszoros stabilitási felületek további tanulmányozása még nagyon sok meglepő egyensúlyi viszont tárhat fel a jövőben.

A fenti néhány sort nem szabad az Olvasónak a játékelmélet valamiféle „egyoldalú összefoglalásaként” tekintenie. Ez a hihetetlenül komplex és izgalmas terület egy (több...) önálló könyvet érdemelne. A fentiekkel csak azt szerettem volna megmutatni, hogy milyen logikát használ a játékelmélet a sokszoros stabilitási felületek egyensúlyi viszonyainak megkeresésére, amelyeket ilyen mankó nélkül talán csak John Nash ért meg egyedül.

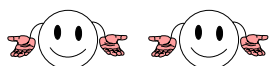
### **A gyenge kapcsolatok segítik a sokszoros stabilitási felületek konvergenciáját**

Ahhoz, hogy be tudjam mutatni a gyenge kapcsolatok feltételezett szerepét az egymással kölcsönható alhálózatok bonyolult egyensúlyaiban, először azzal az egyszerűsítéssel fogok élni, hogy az egységes alhálózatot alkotó gyenge kapcsolatokat és erős kölcsönhatásokat képzeletben szétválasztom, és feltételezem egy gyenge és erős részhálózat önálló létét. Kiindulásképp ezt a két hipotetikus részhálózatot fogom jellemezni a játékelmélet szempontjából.

- **Gyenge részhálózat.** A gyenge részhálózat elemei nincsenek számottevő kölcsönhatásban egymással. Ha bármelyik „gyenge elemet” képző alhálózat

megváltozik, a többi gyenge elemet ez a változás nem érinti, illetve ezek az elemek nem fogják megváltoztatni a játékstratégiájukat. Azaz: a gyenge részhálózat stabilitási felülete nem változik. A gyenge részhálózat stabilitási viszonyai javarészt kiszámíthatóak. Mivel az elemek csak nagyon kevésé állnak egymással kölcsönhatásban, a játékelmélet használatára nincs szükség ahhoz, hogy megtaláljuk a gyenge részhálózat stabilitási viszonyait.

- **Erős részhálózat.** Az erős részhálózat bármely elemének bármely változása az összes környező elemet is megváltoztatja. Ahogy az előző részben már összefoglaltam: az erős részhálózat esetén a durva stabilitási felület miatt már az is megjósolhatatlan, hogy a hálózat az egyedi stabilitási felület melyik minimum értékén fog tartózkodni. Mivel az adott elem bármely változása az összes szomszéd játékstratégiáját megváltoztatja, az erős részhálózat egyensúlyi viszonyait csak a játékelmélet segítségével tudjuk meghatározni.<sup>8</sup>



#### A fehérjék és a sejtek játékelmélete.

A játékelmélet esetén eddig még soha nem beszéltem arról, hogy a játékosoknak okvetlenül embereknek kell-e lenniük. Az „evolúciós játékok” mutatják, hogy nem muszáj a játékosoktól tudatos viselkedést elvárunk ahhoz, hogy a játékelméletet alkalmazni tudjuk a bonyolult egyensúlyi viszonyok kezelésére. A játékszabályok nemcsak azok a szabályok, amelyeket a tudatos játékosok elfogadnak, hanem minden olyan szabályszerűség játékszabálynak tekinthető, amely korlátozza az adott hálózat elemeinek viselkedését. Így a játékelmélet alkalmazása minden bizonnyal segítségünkre lesz abban, hogy megállapítsuk: hogyan változnak meg a stabilitási felületek (energiafelületek), amikor két (vagy több) fehérje kölcsönhatásba lép egymással (Kovács és mtsai, 2004). Ugyanígy lehet majd alkalmazni a játékelméletet a sejtek stabilitási felületeinek leírására pl. akkor, ha két (több) immunsejt egymással kapcsolatba kerül, vagy ha két (több) idegsejt egymással „játszani kezd”, azaz a gazda éppen szeret, és/vagy gondolkodik. A hálózat elemeinek tudatossága „csak” a komplexitást növeli meg úgy, hogy az elemeknek ne kelljen okvetlenül fizikai kontaktusba kerülni egymással ahhoz, hogy egymás hatásait és céljait értékelni tudják. Annak a százezer fajta fehérje molekulának az egyvelegéből, amit sejtnak hívunk, csak azok fogják egymás energia felületét számottevően megváltoztatni, amelyek tartós kapcsolatba kerülnek egymással úgy, hogy pl. egy fehérjekomplexet alkotnak. Ha a fehérjék tudattal rendelkezének, ilyen fizikai kölcsönhatásra nem okvetlenül lenne szükség a játék kialakulásához, hanem a szomszédos mitokondriális fehérjék „Segítség!” „Segítség!” kiáltásai bőven elegendők lennének a veszély jelzésére, még mielőtt a sejthalál direkt fizikai hulláma elérné a fehérjét oxidációs erő vagy kalcium ion formájában.

Miután a játékelmélet alkalmazását leszűkítettem, az erős részhálózat elemeire, most újra egyberakom a két (eddig mesterségesen szétszakított) részhálózatot, és az elemek eddigi „gyenge” és „erős” megnevezésének megtartásával megvizsgálom azt, hogy a gyenge elemek vajon befolyásolják-e az erős elemek kölcsönhatásait. Ahogy azt korábban láttuk, az egyedi stabilitási felület esetén a gyenge kapcsolatok lecsökkentik a minimumokat elválasztó nyergék magasságát, számos helyi stabilitási minimumot „el is tüntetnek”, így az egyedi stabilitási felületet kisimítják. Mi felel meg ennek a hatásnak a

<sup>8</sup>Fontos megjegyzésként meg kell itt említenem, hogy ha az erős részhálózatot alkotó elemek (alhálózatok) nem elég komplexek ahhoz, hogy megváltoztassák a viselkedésüket a szomszédjuk változása esetén (pl. csak egyetlen egyensúlyuk stabil), akkor az erős részhálózat esetén sincs sokszoros stabilitási felület, és nincs szükség a játékelmélet alkalmazására sem.

valódi játékok esetén? A gyenge elemek maguk nem igazán vesznek részt a játékban. Ugyanakkor a tényleges játékosokat (az erős elemeket) segítik abban, hogy könnyebben megtalálják a közös egyensúlyt, a közös stabilitási felületet. Hogy szoktuk hívni a gyenge elemeket a valódi játékokban? A valódi, emberi játékokban ezeket a gyenge elemeket általában közvetítőknak, vitavezetőknak, döntőbíróknak vagy becsüsöknek hívjuk. Tulajdonképpen mindenki, akit a 9.3. fejezetben felsoroltam: a barátok, a fodrászok, a kofák, a kabinosok, a papok, a pletykafészek és a pszichológusok (és még igen sokan mások) az életünk ilyen-olyan játékainak minket, játékpartnereinket és másokat egyaránt segítő gyenge elemei.

Ahogy a 9.3.-as fejezetben részletesen leírtam, ezek a gyenge elemek stabilizálják a társadalmat. A jelen gondolatmenet egy újabb nagyon izgalmas érvet ad arra, hogy hogyan is stabilizálják ezek a szereplők a társadalmunkat. A társadalomnak a többiekkel gyenge kapcsolatban álló tagjai segítik azt, hogy a tényleges játékosok (akik erős kölcsönhatásban állnak egymással) hamarabb eldobálhassák a sokszoros stabilitási felületek legtöbbszörét, és kiegyezhessenek abban a stabilitási felületben (abban a játékmódban), ami hatékonyan egy egyensúlyhoz juttatja el őket, és az általuk játszott játékot egyaránt. A gyenge kapcsolatok természete miatt a legtöbb esetben a gyenge elemek segítsége nem egyoldalú, hanem a játék sok, ha nem minden résztvevőjére kiterjed. (Természetesen ezt nem úgy kell elképzelni, hogy mindegyik gyenge kapcsolatban álló elem minden erős elemmel kapcsolatban van.) Összefoglalva: a gyenge elemek segítik az erős elemeket abban, hogy a játékaik során hamarabb megtalálják a közös stabilitási felületüket.

Minden gyenge elem részt vesz ebben a folyamatban? Nagy valószínűséggel: igen. Ha esetleg részt nem is vesznek mindig, de megadják annak a lehetőségét, hogy a sokszoros stabilitási felületek egyszerűsödjenek. Nagyon fontos hozzátenni, hogy ezt az esélyt úgy adják meg, hogy saját maguk nem igazán vesznek részt a játékban, azaz *ők maguk a stabilitási felületeket nem bonyolítják*, maximum segítenek egyszerűsíteni.<sup>9</sup>

Minden gyenge elem egyformán hatékony a közvetítésben? Majdnem biztos, hogy nem. Az eredetileg különböző stabilitási felületek akkor tudnak gyorsan közeledni egymáshoz, ha a közvetítők az összes játékost ugyanannak az egymással összeillő stratégia-halmaznak a betartására tudják rávenni. Ez akkor igazán sikeres, ha a gyenge kapcsolatban állók tényleg össze tudják kapcsolni a játékosokat, és hidat tudnak képezni a két (több) játékos eredeti játékszabályai között. Ehhez a gyenge kapcsolatoknak részben azonosulni kell tudni mindkét (az összes) játékosal. Mit okoz ez a gyenge elemeket és a játékosokat egyaránt tartalmazó hálózat szempontjából? Ahol a sokszoros stabilitási felületek fellépnek, és egyszerűsítésük fontos az egész hálózat stabilitása szempontjából, ott a hasonló elemeknek kell egymás mellé kerülniük. Ezt az elrendeződést összeválogatódásnak és csoportképződésnek hívjuk. Ahogy a 9.3. fejezetben már említettem, ez a két tulajdonság a társadalmi hálózatok különleges jellemzője (Newman, 2003b; Newman és Park, 2003). A társadalmi hálózatok e

<sup>9</sup>A valós hálózatokban egy adott elemnek egyszerre vannak gyenge kapcsolatai és erős kölcsönhatásai. Így szinte minden elem „részt vesz a játékban”, és ezzel bonyolítja a sokszoros stabilitási felületeket. Ugyanakkor a gyenge kapcsolatok száma a legtöbb esetben sokszorosán felülmúlja az erősekét, így a gyenge elemek végső soron egyszerűsítik a sokszoros stabilitási felületeket.

sajátosságának oka nem teljesen ismert. A hasonló társadalmi szereplők közötti egyszerűbb játékok, és a hasonló gyenge társadalmi kapcsolatok nagyobb hatékonysága a tényleges játékosok játékszabályainak közvetítésében két nagyon fontos olyan elem, amelyik megmagyarázhatja, hogy miért van szükség a hasonló emberek közelségére a társadalmi hálózatok hatékony működésében. A technológiai és a biológiai hálózatok elemei vagy nem olyan bonyolultak, hogy jelentősen megváltozzanak a többi elem változásai hatására (így sokszoros stabilitási felületeket ki sem fejlesztenek), vagy a változásaik túl kicsik ahhoz, hogy a hasonló elemek egymáshoz rendelése kiemelt fontosságú legyen. A hasonló elemek egymás mellé kerülése a komplexitás egy bizonyos fokán túl (társadalmi hálózatok, ökoszisztémák, evolúciós hálózatok és talán sejtes hálózatok) válik fontossá. Ezek közül a hálózatok közül csak a társadalmi hálózatokat tanulmányozták eddig olyan részletességgel, amely elég volt ahhoz, hogy az összeválogatódottságukat teljesen megbízhatóan kimutassák. A sokszoros stabilitási felületek hatékony egyszerűsítése egyik fontos magyarázata lehet annak, hogy miért az összeválogatódott és csoportképző társadalmi hálózatok alakultak ki, és őrződtek meg az evolúció során.



### A kapcsolaterősség relativizálódása és a játékelmélet.

„Péter, ismét ellent kell, hogy mondjak neked. A társadalmi hálózatok csoportjai általában erős kölcsönhatásokat feltételeznek. Ha van két barátom, és ők is barátságba kerülnek egymással, akkor mind a hárman erős kölcsönhatásban vagyunk egymással. Sokra megyünk a te 'gyenge kapcsolat hatékonyabbá teszi a játékot' elméleteddél!” Gratulálok Kecec, ez egy szép ellenvetés volt. Ugyanakkor gondolj bele abba, hogy csak addig van a hármók között erős kölcsönhatás, ameddig mindenki egyetért mindenkiel. Ez esetben viszont nem is kell semmilyen egyeztetés, hiszen a teljes egyetértés miatt már eleve csak egy stabilitási felületen játszottok. Ha azonban akármelyik két barát vitába keveredik, akkor fordulhat elő, hogy a harmadik segíteni próbál az ellentétet áthidalni a kettőjük között. Ez viszont már egy tipikus gyenge kapcsolat szituáció, hiszen a harmadik barát átmenetileg egyik barátjával sem tud teljesen egyetérteni az első kettő közül.<sup>10</sup>

Azok meglehetősen izgalmas kérdések,

- hogy hogyan képesek a fentiekben leírt gyenge kapcsolatok az evolúciós stabilitási felületek egyszerűsítésére;
- hogy az ökoszisztémákban mindez hogyan érvényesül;
- hogy bármit is ki tudunk hozni ebből az elméletből, ha a kedves jó aggszűzünkre, Gaia-ra alkalmazzuk;
- hogy a fehérjék energia felületei és a sejtek hálózatai tudnak-e bármilyen új megközelítést adni a sokszoros energia felületek fontos kérdéseihez, és végül az,
- hogy ez az egész ötlet sorozat hogyan alkalmazható a műalkotások cselekményfelületeire, illetve jelentésfelületeire?

„És??? Annyira izgatott vagyok! Nem hagyhatod ezeket a kérdéseket csak így itt!!!” Nagy szomorúsággal azt kell, hogy mondjam Kecec – itt fogom hagyni ezeket a kérdéseket most megválaszolatlanul. Valamit hagynunk kell, tudod a legközelebbi könyvünkre is...

Nyilvánvalóan a valós világban az erős kölcsönhatások és a gyenge kapcsolatok soha nem választhatók szét egymástól teljesen. Nincs teljesen pártatlan közvetítő. (A kutatások azt mutatják, hogy a teljesen pártatlan közvetítő nem is annyira hatékony,

<sup>10</sup>Az ötletért köszönettel tartozom Borsodi Zoltánnak.



mint a nagyon picit részrehajló – aki azonban mindkét félnek tesz gesztusokat; Kydd, 2003.) Mindazonáltal a legfontosabb mondanivaló így is érvényben marad: a gyenge kapcsolatok nemcsak az egyedi stabilitási felületeken belül segítik a legjobb minimum megtalálását, hanem a sokszoros stabilitási felületeket is segítik abban, hogy egy egyedi stabilitási felületté konvergáljanak. Másként fogalmazva: első lépésben a gyenge kapcsolatok definiálhatóvá teszik az egyensúlyi feltételeket azzal, hogy a sokszoros stabilitási felületeket egyedi stabilitási felületekké egyszerűsítik. Második lépésként a gyenge kapcsolatok lehetővé teszik az immár definiált egyensúly megtalálását azzal, hogy az egyedi stabilitási felületet kisimítják. A gyenge kapcsolatok ilyen kettős konvergáltató szerepe nélkül a legtöbb esetben a hálózat soha nem találná meg az egyensúlyi helyzetét.



### **A kapcsolatok erőssége, a valószínűség és a termodinamika.**

A valószínűség és a termodinamika a klasszikus interpretációikban az erős kölcsönhatások hiányát feltételezik a vizsgált rendszer egymással kapcsolatban álló részecskéi között. Így a fenti felosztást alkalmazva azt mondhatjuk, hogy a valószínűség és a termodinamika fogalmai a gyenge részhálózatra igazak. Nagyon óvatosnak kell lennünk, ha a klasszikus valószínűség és termodinamikai értelmezések valamilyen formában „becsúsznak” a gondolatainkba akkor, amikor egymással erős kölcsönhatásban álló elemekről akarunk valamit mondani.

Kecec, kérlek segíts nekem abban, hogy felmérjem, mennyire volt ez a fejezet érthető. Megkérhetlek arra, hogy foglald össze, mire jutottunk? *„Túlzottan megbízol bennem, Péter. Ez egy nagyon nehéz fejezet volt. De azért szívesen megpróbálkozom egy összefoglalással.”* Kecec, figyelj. Valamit egészen világossá szeretnék tenni. Az nem a te hibád, ha valamit nem értettél meg ebből a fejezetből, vagy akármelyik másik fejezetből. Az egyedül az én hibám. Ebben az esetben ugyanis vagy rosszul tudtam kifejezni a gondolataimat, vagy pedig a gondolataim egyszerűen nem voltak elég érettek arra, hogy egyáltalán belefoghassak a megfogalmazásukba. A tudomány nem tudomány (vagy legalábbis nem fontos dolgokról szóló tudomány) akkor, ha legalább a lényege nem mondható el olyan nyelven, amit bárki megért. *„Ez nagyon rendes volt tőled, Péter. Most már nagyobb bátorsággal merek beleküzdeni. Először leírtad a hálózatok egy érdekes visszacsatolását, amelyben arra tettél javaslatot, hogy Zavar úr annak az elemnek, ahol a hálózatban tett útja során megakad, az erős kölcsönhatásait gyenge kapcsolatokká alakítja. A gyenge kapcsolatok felszaporodásával a hálózat stabilitása megnő, így Zavar úr depressziós lesz, mert nem tudta elérni a célját. Leírtad, hogy a gyenge kapcsolatok a stabilitási felületeket simábbá, a szaggatott egyensúlyokat pedig kevésbé szaggatottá teszik. Ezeknek az elképzeléseknek az utolsó elemeként kiterjesztetted a gyenge kapcsolatok hatását a sokszoros stabilitási felületekre, és bemutattad, hogyan segítenek a gyenge kapcsolatok abban, hogy ezekből a sokszoros stabilitási felületekből egyszeres felületek legyenek. Erről sokat beszélünk Empivel. Elhatároztuk, hogy ezen túl a problémáinkról egymásnak és a közös barátainknak is többet fogunk beszélni. Elég buta dolog lenne ugyanis a rendelkezésünkre álló gyenge kapcsolatokat kihasználatlanul hagyni abban, hogy a mindennapi kis játékainkban könnyebben megtaláljuk az egymást becsülő és szerető egyensúlyt. Nagyon tetszett a komplex rendszerek evolúcióképességének evolúciójáról leírt ötleted, és ha Gaia kapcsolataira gondolsz – ahogy már ott mondtam neked – még mindig libabőrös lesz a hátam. Szerintem ennyi volt. Vagy megint kihagytam valamit?”* Kecec, az összefoglalód jobb volt, mint amit én tudtam volna írni. Köszönöm!

A fejezet végén úgy érzem magam, mint egy kíváncsi és makacs kisgyerek. Ahogy a padláson jártam, egyszer csak a kezembe akadt egy gyönyörű színes fonál: a gyenge kapcsolatok. Az újdonság izgalmas érzése töltött el és elkezdtem húzni a fonalat. Húztam, húztam, és húztam. Aztán hirtelen, óriási robajjal – rám dőlt az egész tető... „A matematikusok szeretik a korlátozott definíciókat, a mérnökök a széleskörű definíciókat kedvelik, a fizikusok pedig a kettő közöttieket” (Turcotte, 1999). Milyen típusú definíciókat kedvelhetnek a hálózatkutatók, vagy még pontosabban, az olyan gyengehatás-kutatók, mint amilyen én lettem? A természet hálózatai folyamatosan nőnek, és soha nem lehet rájuk mondani azt, hogy „készen vannak”. Elnézést kérek az Olvasótól, ha úgy érzi, a gyenge kapcsolatok vagy a stabilitás definíciója befejezetlen maradt. Ennek ellenére: nagyon remélem, hogy a definiálási kísérleteim, ha kielégítőek nem is, de legalább érdekesek, és néhol talán hasznosak is voltak.

### 13.3. A gyenge kapcsolatok határain túl

A könyv központi gondolatának: A GYENGE KAPCSOLATOK STABILIZÁLJÁK AZ ÖSSZES KOMPLEX RENDSZERT alátámasztása és a kijelentés fogalmainak ismételt körbejárása után ez a fejezet először néhány újabb ötletet fog felsorolni a gyenge kapcsolatok kutatásának további lehetséges irányairól. A fejezet második részében a gyenge kapcsolatok lehetséges stabilizáló hatásait fogom felvillantani azoknál a hálózatoknál kisebb és nagyobb elemekből álló hálózatok esetén, mint amelyekről a könyv eddigi részében szó esett.

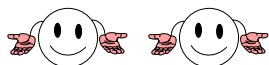
Kecec, itt az idő, hogy te, mint egy jövő kutató, még az eddigieknél is jobban figyelj egy kicsit. Indításként a 13.1. fejezetben már felsoroltam 28 új ötletet, ami mind egy-egy új kutatási irány alapja lehet. Az itt következőkben néhány olyan ötlettel egészítem ezeket ki, amelyeket az előző fejezet megállapításai fogalmaztak meg:

- a gyenge kapcsolatok stabilizáló szerepének nagyon sok példája jelenleg feltételezés csupán; az általános, matematikai bizonyíték hiányzik arra, hogy hogyan képesek stabilizálni a hálózatok működését a gyenge kapcsolatok;
- bár nagyon sok példa van arra, hogy a kapcsolaterősség megoszlása skálafüggetlen a különböző hálózatokban, nem tudjuk, hogy melyek ennek a kijelentésnek a korlátai: milyen gyakran lehet skálafüggetlen kapcsolaterősség eloszlást találni, milyen általános ez, és mennyire szükségszerű;
- nem tudjuk, hogy a kapcsolaterősség és a foksám egyaránt skálafüggetlen eloszlásai hogyan függenek egymással; azaz: nem tudjuk, hogy mi a leosztása a gyenge kapcsolatoknak a különböző foksámú elemek között; vannak-e gyenge csomópontok? vannak-e erős csomópontok? a randevúzó csomópontok (Han és mtsai, 2004; Luscombe és mtsai, 2004) gyenge csomópontok ugyan, de nem tudjuk, hogy mi a hozzájárulása a gyenge csomópontoknak, a gyenge hidaknak, illetve a valószínű csendes többségnek: az „egyszerű” gyenge kapcsolatoknak a hálózatok stabilitásához;
- nem tudjuk, hogy a gyenge kapcsolatok csak a skálafüggetlen csomópont-eloszlású hálózatokat stabilizálják, vagy a random hálózatokat, a csillaghálókat és az izolált szubgráfokat is;

- a „hálózatok Le Chatelier elve” nagyon sok további gondolkodást igényel még; példák, és formális bizonyíték kell arra, hogy tényleg működik, valamint meg kell határozni az érvényességének korlátait is;
- az evolúcióképeség evolúciója még nagyon sok kísérletes, modellező és elméleti tanulmányt igényel; e gondolat összefüggése a rendszer növekvő komplexitásával különösen jelentősnek tűnik;
- a játékelmélet minden bizonnyal új reneszánsz előtt áll, ahogy egyre több és több hálózatot meg fog hódítani a társadalmi hálózatokon és az evolúciós rendszereken túl; még a „klasszikus” alkalmazási területein. A valódi, emberi játékok esetén a gyenge kapcsolatok szerepe, valamint az összeválogatódással és a csoportképződéssel való összefüggéseik még nagyon sok figyelmet fognak kapni a jövőben.

„Péter, ezek szép ötletek, de a legtöbbjük matematikusoknak és fizikusoknak való. Én egyik sem vagyok ezek közül. Ugyanakkor ennyi időt veled és ezzel a könyvvel eltöltve tényleg elkezdtek érdekelni a gyenge kapcsolatok. Tudok szerinted *TENNI* is valamit egy ilyen helyzetben?” Kecec, először is hadd köszönjem meg neked, hogy félretetted a fenntartásaidat (amivel a könyv elején néha a sírba vittél), és megszeretted a gyenge kapcsolatokat a könyv végére. A kérdésedre válaszolva, ha nem ismernénk egymást, azt mondanám: írd egy emailt a bevezető végén található email címre és fejtse ki benne, hogy milyen területtel szeretnél foglalkozni, illetve mi az ötleted. Mivel már jó ideje együtt dolgozunk, biztos vagyok abban, hogy az esküvő és a kenutúra után, fogsz találni magadnak egy nagyon izgalmas témát azok közül, amelyekkel a LINK-csoport tagjai már eddig foglalkoznak.

Emlékszel, Kecec? („*Úristen Empi! Most jönnek a régi szép idők...*”) Amikor Hálóvilágban utaztunk ide-oda, a molekulákkal kezdtük el az ismerkedést és Gaia-val fejtük be. A közben lévő sok-sok hálózat mind egymásba volt ágyazva, és a legtöbbjük egymást építette fel. Az egymásbaágyazottság annyira szabályos, hogy az ember automatikusan elkezd gondolkodni: vajon befejeződik a hálózatok sora ennél a két pontnál? Lehangoló hírem van. Minden bizonnyal igen. A hálózatok elmélete egy nagyon széles körben használható, és nagyon erőteljes elmélet, amely sok-sok más elméletnél nagyobb általánosításokat tesz lehetővé. Ugyanakkor, mint minden elmélet és fogalom, amit a földi gondolkodás valaha kitalált, nagy valószínűséggel emberközpontú és semmire sem használható akkor, ha túl messzire megyünk az emberi dimenzióktól. Ennek ellenére teszek egy kísérletet arra, hogy elgondolkojjak a hálózati koncepció kiterjesztésén a makromolekuláknál kisebb és Gaia-nál nagyobb hálózatok felé. Kérem az Olvasót, legyen türelemmel hozzám és ötleteimhez, vagy lapozzon a 13.4.-es zárófejezetre.



### A részecskeháló: ahol a dolgok

**felcserélődhetnek.** A 6.1.-es fejezetben írtam le az energiahálót, az energiaszintek hálózatát. Azok az energiák, amelyek az ott leírt hálózatban szerepeltek, meglehetősen alacsonyak voltak. Az anyaggá való átalakulásuk (és viszont) elhanyagolható volt. Mi van akkor, amikor az energiák már olyan nagyokká válnak, hogy az  $E = mc^2$  képlet szerint nem tudunk ettől a jelenségtől eltekinteni? Ha elemi részecskékről beszélünk, lehetséges az, hogy az anyag válik az energiaháló átalakulásainak „jósági tényezőjévé”, mint ahogy az energia volt korábban az anyagi

részecskék hálózatának „jósági tényezője”? Ha a hálózatot elemi részek alkotják, a közöttük lévő gyenge kapcsolatok az egymásba való átalakulásuk alacsony valószínűségét jelenthetik = a részecske → energia átmenet kicsi. Ha a hálózatot az energiaszintek alkotják, a közöttük lévő gyenge kapcsolatok az energiaszintek közötti átmenet alacsony valószínűségét jelenthetik = az energia → részecske átmenet kicsi. Összefoglalásként: a gyenge kapcsolatok azok lehetnek egy ilyen rendszerben, amelyek a legkevésbé zavarják meg a rendszer energia/részecske kettős viselkedését. Lehet, hogy az ilyen kapcsolatok is hozzájárulhatnak a rendszer stabilitásához?

A másik végleten, a naprendszeren és a világegyetem többi részén, mint lehetséges hálózaton gondolkodva skálafüggetlen sűrűségeloszlást találunk a csillagok, galaxisok, intergalaktikus gázfelhők, galaxiscsoportok és talán a galaxis szupercsoportok szintjén. A világegyetem fraktál jellegét először Mandelbrot jósolta meg 1977-ben. Jelenleg a világegyetem e tulajdonsága már széles körben elfogadott tény.<sup>11</sup> Ugyanakkor az még mindig egy nyitott kérdés, hogy hol van a határ e között a skálafüggetlen sűrűségeloszlás között és a világegyetem egészének feltételezetten homogén és izotróp anyageloszlása között. A 100 megaparsec alatti fraktál természetet a gravitáció hatásaival meg lehet magyarázni. A Máté-hatás működik itt is: “Mert mindenkinek, a kinek van, adatik és megszaportítatik...” Máté 25:29 (Baryshev és Teerikorpi, 2004; Mahdavi és Geller, 2004; Pietronero, 1987; Wu és mtsai, 1999).



**Melyek a világegyetem gyenge kapcsolatai?** A sötét anyag? A sötét energia? Valami jelenleg még elképzelhetetlen? Vajon ezek a gyenge kapcsolatok stabilizálják a világegyetemet? Vagy nincsenek a világegyetemnek gyenge kapcsolatai?

Laughlin és Pines írták a 2000-es, híres esszejükben, amelynek „A minden elmélete” címet adták, hogy: „Nem lehet nem észrevenni azt a hasonlóságot, amely a galaxisok nemrég felfedezett sűrűség-szerkezete, és a hungarocell, a pattogatott kukorica, vagy a reggeli müzliszemek szerkezete között van”. Ugyancsak megjegyezték, hogy „Az elméleti fizika központi feladata jelenleg már nem az, hogy a végső egyenleteket leírja, hanem az, hogy katalogizálja és megértse a komplex rendszerek viselkedésének csoportjellemező tulajdonságait, és így magát az életet”. Remélem, a könyv hasznos volt annyiban, hogy megmutatta: a hálózatok rendkívül jó eszközei ennek a katalogizálásnak és megértésnek. Jiddi Krishnamurti (1992) éles különbséget tett a tudás és a bölcsesség között. Megfogalmazásában a tudás a világot alkotó részletek ismerete, a bölcsesség viszont ezeknek a részleteknek a kölcsönhatásait és viselkedését tárja fel és érti meg. Úgy érzem, hogy a hálózatos megközelítés Krishnamurti megfogalmazásában a bölcsességre tanít.

„A paradigmák olyan modellek, amelyek egyszerűsítik a komplexitást, olyan gondolatok, amelyek értelmet adnak annak a végtelenül komplex folyamatosságnak, amit valóságnak hívunk. Semmilyen gondolat nem tudja a valóságot a maga teljességében leírni. Egy paradigma csak a valóság egy picike szeletét képes megjeleníteni, és ezt olyan módon teszi meg, hogy az agyunk képes legyen ezt befogadni: azaz a paradigma a világ egy szeletét az agyunk gondolkodási sémáinak megfelelően jeleníti meg. A paradigmát azért fogalmazzuk meg, és azért tartjuk meg, mert hasznos, és nem azért, mert valóságos. A tudományos paradigma egy olyan gondolati

<sup>11</sup>Hadd fűzzem ehhez hozzá, hogy a világegyetem sűrűség eloszlásának skálafüggetlen jellege lehet, hogy utal valamiféle Gaia-nál magasabb szintű hálózat létezésére. Ugyanakkor annak jelenleg semmi nyoma nincsen, hogy ennek a hálózatnak Gaia a maga ökoszisztéma-bonyolultságával szerves részét képezné.

mezőt jelöl ki, ahol a valóság további feltérképezése célszerűnek tűnik. A tudományos paradigma egy olyan világgépet határoz meg, amelyik eldönti, hogy mely kérdéseket célszerű tanulmányozni, és ezekre a kérdésekre milyen válaszok várhatóak.” (Cohen, 1992a)

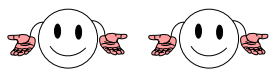
A jövő fogja eldönteni, hogy a hálózatos gondolkodás általában véve, és a gyenge kapcsolatok stabilizáló ereje a maga konkrétságában mennyire hasznos elképzelések, és adnak-e „egy olyan világgépet, amelyik eldönti, hogy mely kérdéseket célszerű tanulmányozni, és ezekre a kérdésekre milyen válaszok várhatóak”.

„Amikor egy tudós megír egy közleményt, akkor egy levelet küld ismeretlen címzetteknek. Ha a munkáját jól végezte, akkor a levelet akár évekkel később valaki megtalálja, és elolvassa...” (Myerson, 2001)

A hálózatok és a gyenge kapcsolatok nekem személy szerint bizonyosan meghatároztak „egy olyan világgépet, amelyik eldönti, hogy mely kérdéseket célszerű tanulmányozni és ezekre a kérdésekre milyen válaszok várhatóak”. Nagyon nagy köszönettel tartozom ezért mindenkinek, akit idéztem ebben a könyvben, és azoknak a hálózatkutatóknak is, akit a terjedelmi korlátok, vagy nagyon sajnálatos felületességem miatt nem tudtam idézni.

### 13.4. Gyengességünk ereje

A hálózatok és a hálózatokat alkotó kapcsolatok nemcsak a gondolataink rendezésére alkalmasak, nemcsak stabilizálnak bennünket és a minket körülvevő környezetet, hanem segítenek nekünk abban is, hogy jobb emberek legyünk. Az életünk is úgy viselkedik, mint egy önszerveződő hálózat. A bennünk ébredő bizalom a belső stabilitásunk jele, ami azt mutatja, hogy képesekké váltunk a saját élethálózatunk további építésére. E képesség birtokában boldognak és gazdagnak érezzük magunkat, hiszen mind belső, mind külső hálózataink fejlődni képesek.<sup>12</sup> Minden olyan perc, ami meggátolja a hálózataink fejlődését, felgyorsítja az öregedésünket, és közelebb visz minket a halálhoz. Ebben a záró fejezetben néhány búcsúzó tanácsot szeretnék adni arra, hogy hogyan végezhetjük jól ezt az egész életre szóló önépítő és világegyetem-építő feladatot.



**Élethálózat.** Az élet maga, minden egyes döntési pontjával, sokszoros stabilitási felületeivel és lehetséges (de legtöbbször NEM követett) sorsvonaláival egy hálózatként is felfogható. Életünkben csak néhány nagyon-nagyon fontos döntési pont van (ahol ezer irányba elindulhatnánk) és nagyon sok kisebb döntési pont (ahol két-három, többnyire jelentéktelen alternatíva között kell választanunk; Ancsel, 1995). Sajnos ebben az esetben a kontrollkísérlet nem végezhető el... Nem tudjuk újramezteni az életünket, hogy megnézzük, melyek voltak azok az utak, amelyeket *nem* jártunk be eredetileg. Így aztán az a kérdés, hogy az élethálózat vajon skálafüggetlen-e, és melyek a többi izgalmas hálózati tulajdonságai – örökre felderítetlen marad.

A 9.4 és 11.3. fejezetekben a személyes kapcsolatok rengeteg hasznát soroltam fel. A kapcsolatok sikereket hoznak nekünk. A legtöbbet teljesítő embereknek nagyon jól

<sup>12</sup>Az ötletért köszönettel tartozom Söti Csabának.

fejlett személyes kapcsolatrendszere van. Még fontosabb tanulság az, hogy a kapcsolatok segítenek a relaxációban, a feszültségeink levezetésében és segítenek megőrizni az egészségünket (Cross és Parker, 2004). Megfelelően gazdag személyes kapcsolatrendszer birtokában csökken a magas vérnyomás és a szívinfarktus veszélye, és aktívabb marad az immunrendszer is (Putnam, 2000). Hogyan fejlesszük ki, és hogyan tartjuk meg a kapcsolatainkat? Ez a kérdés hibás. A kapcsolatok fejlesztése önmagában nem megoldás. A kapcsolatoknak ugyanis van egy másik vége... Ráadásul a stabilitást is csak együtt lehet kifejleszteni és megőrizni. Így egy még fontosabb kérdés merül fel: hogyan segítsünk másoknak abban, hogy a kapcsolataikat kifejlesszék és megőrizzék?

- **Hagyd ott a cuccaidat.** Ha egyedül érzed magad, azt hiheted, hogy nincsenek kapcsolataid. Tévedsz. Kapcsolatai mindenkinek vannak. A magányos embereknek is szépen fejlett kapcsolatrendszere van, csak ez a kapcsolatrendszer rossz helyre irányul. Talán itt az ideje, hogy feltárd a saját kapcsolataid rendszerét. Hasznos lehet, ha eljátszol az előtted álló héten azzal, hogy mivel töltöd el az idődet? Mi vesz körül? Mire irányul a figyelmed? Mi a célja a tetteidnek? Mi vagy ki van azoknak a kapcsolatoknak a másik végén, amelyeket a környezeteddel kiépítesz, és fenntartasz? Az autóápolással, az új mobiloddal, és a konyhai robotgéppel törődsz-e többet, vagy a gyermekeiddel játszol inkább, esetleg a benned és körülötted lévő bölcsességet fedezed fel? Ha a hálózati leltárod cuccorientált, akkor itt az ideje, hogy változtass ezen. Ha a cuccokhoz kötődsz, akkor a kapcsolataid lefele és nem felfele mutatnak. A cuccaid nem fognak téged segíteni abban, hogy részt vegyél az önszerveződés feladatában.
- **Stabilizáld magad.** Instabil alhálózatok nem tudnak részt venni a főhálózat működésében. Ne várd el, hogy kapcsolataid legyenek, ha az egyedüli segítség, amit másoknak és a főhálózatnak fel tudsz ajánlani az, hogy destabilizáld a szomszédaidat. Ha így cselekszel, a főhálózat (a társadalom) el fog szigetelni téged a hosszú-hosszú idő óta kifejlődött önvédelmi reflexe részeként. AZ EGÉSZ ÉLETED EGYIK LEGFONTOSABB VÁLTOZÁSA LESZ, ha csak egy kicsit stabilabbá tudod tenni magad. Miért? Az önstabilizálás önerősítő folyamat. A saját magad stabilizálása irányába tett legkisebb lépés azonnal új kapcsolatokat fog adni neked, amelyek segíteni fogják a stabilizálás irányába megtett következő lépésedet.
- **Fedezd fel a bizalmat magadban.** Ha meg tudtad növelni a stabilitásodat, készen állsz arra, hogy örülhess a téged körülölelő hatalmas társadalmi hálózat megannyi segítségének és előnyének. De van itt más előny is. A társadalmi hálózat mellett minden olyan hálózat előnyeit jobban fogod érezni, ami a társadalmi hálózat alatt vagy felett helyezkedik el. Nyilván, ezeknek a hálózatoknak a hatásait egyre kevésbé fogod megérezni, ahogy egyre távolabb és távolabbi szinteken vannak. De nagyon hamar rá fogsz jönni arra, hogy a társadalmi hálózat felé megteremtett kapcsolataid az egész világgal, annak minden szintjével összekötnek téged. A hálózati szintek közötti stabilizáció segíteni fog egészséged megőrzésében, és simábbá teszi

az életet körülötte. Hogyan kezd el a kapcsolatépítést? Fedezd fel a bizalmat magadban. Hogyan érezd meg bizalom erejét? Stabilizáld magad.

- **Válogasd meg és ápd a kapcsolataidat.** Minél több kapcsolat – annál jobb élet. Az állítás hamis. Ha a kapcsolataid mindenféle irányulnak – nem irányulnak sehova sem. Rengeteg kapcsolatot nem lehet fenntartani. Ráadásul a rengeteg kapcsolat nem is jó semmire. Emlékezz a túl sok kapcsolattal rendelkező hálózat instabilitására. A random hálózat egy nagyon primitív hálózat, amelynek a komplexitása kicsi. Te ennél többet érdemelsz. Neked néhány erős kölcsönhatás és sok gyenge kapcsolat gondosan kimunkált, komplex egyensúlyára van szükséged. Becsüld meg mindet értéke szerint: építs ki erős kölcsönhatásokat, és ne térj ki a gyenge kapcsolatok elől sem. Fordíts különleges figyelmet arra, hogy legalább néhány, egymástól nagyon eltérő kultúrájú, szokású csoport között te legyél az összekötő kapocs. Adj időt és teljes figyelmet a kapcsolataidnak. Ápd őket. Érezd az összekötöttség örömét. A kapcsolataid új gondolatok megalkotásához vezetnek el, sikert és stabilitást adnak neked, és részesévé tesznek annak a gyönyörű szinkronnak, ami az élet maga.
- **Segíts másokat abban, hogy kapcsolataik legyenek.** A saját kapcsolataid önmagukban semmit nem érnek, ha mások bezárva tengetik az életük. Te már megtanultad a leckét. Segíts hát nekik is. Cross és Parker (2004) kapcsolatsegítő embereket energiaadó embereknek hívják. Mi kell ahhoz, hogy te is energiaadó legyél? (a) egy hosszú távú cél, hogy az emberek a céljaidat kövessék és ne téged; (b) hitelesség, amelyik igazolja a célokat; (c) lehetőség arra, hogy a többiek alkotó módon részt vehessenek az általad kitűzött cél megvalósításában; (d) pozitív gondolkodás, amelyik összeköt, és nem elválaszt. Ezekből a tulajdonságokból (a) és (b) a stabilitásod mércéi; (c) a bizalmad szintjét tükrözi és (d) a kapcsolataid mások kapcsolataival megsokszorozott öröme.

Megfigyelhetted, hogy a kapcsolatok fejlesztésének ürügyén adott néhány tanácsom átfed azokkal, amelyeket a 12.3. fejezet végén már olvashattál. A stílushiba szándékos volt. A személyre és nem a tárgyakra irányuló kapcsolatrendszer, a különböző típusú kapcsolatok megfelelő arányai és a hídjellegű kapcsolatok (az ezekhez kellő bizalommal, toleranciával és diverzitással) ennek a könyvnek a legfontosabb üzenetei.

Hadd kérjem meg az Olvasót az utolsó alkalommal, hogy üljön le, lazuljon el, igyon egy korty kristálytiszta vizet, vegyen egy mély levegőt, és gondolkozzon el. A kapcsolatépítés nem csak a saját személyes jólétünk és sikerünk egyik kulcsfontosságú eleme. A kapcsolatépítés olyan evolúciós kötelességünk, amellyel az önszerveződő világ egyik legáltalánosabb követelményének teszünk eleget.

Közel kerültünk a könyv végéhez. Ideje, hogy búcsút vegyek tőled, Kecec. Szeretném megköszönni, hogy velem tartottál, szeretnék megköszönni neked minden kritikát és segítséget. *„Ez rendes dolog volt tőled Péter. Ígérem, hogy ki fogom próbálni a Levy utakat Empível a Kenu tóán, a nászutunkon. Akármikor zenét hallgatunk, eszünkbe fog jutni a rózsaszín zaj, és megfogadtuk, hogy a tanácsaidat el fogjuk mondani a gyermekünknek.”*

Ez a könyv maga is egy kapcsolat volt. Kapcsolat mindazokhoz a hálózatokhoz, amelyeket az útjaink során érintettünk, és kapcsolat az én számomra is ahhoz, hogy elmondjak valamit a világról – ahogy ebből a fejből látni lehet. Remélem a könyv az „igazi tudománynak”, az egy- és kétvidorkás hipotéziseknek és a háromvidorkás hiteknek egy érdekes keveréke lett. Egy utolsó mentségem hadd legyen a hipotézisek és hitek szerepeltetésére:



### A tudomány és a megismerés gyenge

**kapcsolatai.** A tudomány világos válaszokat szeretne adni a feltett minél precízebb kérdésekre, így erős megismerésbeli kölcsönhatásokat épít ki. Amikor a modern tudomány Kopernikusszal, Galilleivel, Newtonnal és Descartes-tal elkezdődött, megnövelte az emberiség belső stabilitását, mert az erős megismerésbeli kölcsönhatásokkal ellensúlyozta az érzések és hiedelmek korábban létező világának gyenge kapcsolatait. Ugyanakkor az ellenkező végtel sem szerencsés. A végteltekbe vitt pozitívizmus „túl sok tudományt” adhat nekünk. Ha olyan gondolatok, kezdenek teret hódítani, amelyek szerint „mindaz, ami nem tudományos, az nem is érvényes, az nem része az ember világról alkotott képének”, akkor elindulunk abba az irányba, amely a világról alkotott képünket kizárólag erős kölcsönhatásokra csökkenti le. Ez éppolyan instabillá teszi az életünket, mint amilyen instabil volt a felvilágosodás előtti érzés- és hiedelemvilág. A tudománynak alázatosnak kell lennie, és korlátoznia kell magát arra, amire hivatott. Meg kell hagyni a tudomány mellett a teret azoknak a gyengébb megismerésbeli kapcsolatoknak, amelyeket a hit, a művészetek, és köznapi megismerés egyszerű hiedelmei jelentenek. Ezek azok a gyenge kapcsolatok, amelyek stabilizálják a világról alkotott tudás-hálózatunkat, és amelyek ezzel együtt stabilizálják a belső énünket.

Ez a könyv a gyenge kapcsolatokról szólt. Így a végén még egyszer szeretném hangsúlyozni, hogy a gyenge kapcsolatok önmagukban nem jelentenek semmit. A stabil rendszerek kapcsolatainak erőssége valószínűleg skálafüggetlen eloszlást követ. Továbbmegyek. Az igazán stabil rendszerek skálafüggetlen eloszlásra törekedhetnek minden lehetséges dimenziójukban. Egy minden elképzelhető dimenzióra kiterjedő, tökéletesen skálafüggetlen eloszlás ugyanazt a képet mutatja minden lehetséges pontból minden lehetséges skálán. Egy ilyen skálafüggetlen eloszlás függetlenné válik minden dimenziótól és skálától. Az emberiség a minden pontból azonos, minden mértéktől független létező fogalmát nagyon régen megalkotta, és Istennek nevezte el.<sup>13</sup> Ebben a felfogásban az Isten annak végső hálózatnak tekinthető tehát, amelyik gyenge kapcsolatok sokaságát adja. Ezek a gyenge kapcsolatok átfogják az egész életünket, és mindenütt jelen vannak. E gyenge kapcsolatokat az emberi gondolkodás szeretetnek nevezte el.

A könyv végső üzenete tehát az, hogy nem kell aggódnunk. Ha megtanuljuk elfogadni a szeretetet: stabilak maradunk. A (gyenge) Kapcsolat mindaddig velünk marad, amíg mindennek nem lesz

VÉGE.

<sup>13</sup>Az ötletért köszönettel tartozom Pató Bálintnak.



... ÉS TOVÁBB.