

Mark Buchanan



NEXUS

AVAGY KICSI A VILÁG
A HÁLÓZATOK ÚTTÖRŐ TUDOMÁNYA

Mark Buchanan
NEXUS,
AVAGY KICSI A VILÁG
A hálózatok úttörő tudománya
([Tartalom](#))

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom mindazon tudósoknak, akik szívélyesen rendelkezésemre bocsátották a könyv megírásához nélkülözhetetlen számadatokat, ábrákat, hasznos információkat. Külön köszönet jár Duncan Watts, Steve Strogaty, Thomas Bass, Mark Granovetter, Albert-László Barabási, Hawoong Jeong, Jack Scanell, Harry Swinney, Nebojsa Nakićenovič, Luis Amaral, Gene Stanley, Peter Yodzis, Gennady Gorelik, John Potterat, Alden Klovdahl, William Darrow, Alessandro Vespagnini, Paul Meakin, Jean-Philippe Bouchaud, Mark Mézard, Hal Cheswick, Manuel Velarde, Bill Krantz, Nigel Gilbert és Klaus Tritzsch önfeláldozó együttműködéséért. Ne gondolják azonban, hogy e kutatók közül bárki akárcsak nagy vonalakban egyetértene az itt leírtakkal! A szövegbe becsúsztott hibákért, koncepcionális tévedésekért minden felelősség kizárólag engem terhel.

Hasonlóképpen köszönetet szeretnék mondani a W.W. Norton Kiadónál összekötőmnek Kerry Nugent Wellsnek és szerkesztőmnek, Angela Vonderlippe-nek, akik hittek e vállalkozás értékében, és akik sokat tettek azért, hogy e könyv jobba válhasson. Mindenekelőtt azonban végtelen hála illeti feleségemet, Kate-et lankadatlan támogatásáért és bátorításáért e jó néhány hónapon át húzódozó munka egész folyamán.

Mark Buchanan
Notre Dame de Courson
2001. november

ELŐHANG

A tudomány tényekből építkezik, ahogy egy ház kövekből. Tények együttese azonban még ugyanúgy nem tudomány, ahogy egy halom kő sem ház.

– Henri Poincaré^[1]

Negyvenegy évvel ezelőtt, a hidegháború tetőpontján jelentette meg Karl Popper *A historicizmus nyomorúsága (The Poverty of Historicism)* című antimarxista kötetét. A historicizmus megjelöléssel Popper az olyan eszmerendszerekre kívánt utalni, amelyek – mint Karl Marx filozófiája is – azt állítják, az emberi történelem alakulását előre lehet látni. Marx közismerten azt hirdette, hogy a világ jövője társadalmi és politikai értelemben egyaránt a kommunizmus. Popper pedig, aki egész életén át undorral gondolt a kommunizmusra, ki szerette volna fogni a szelet Marx vitorlájából.

Popper gondolatmenete amilyen éles eszű, olyan egyszerű volt. Először is azzal kezdte, hogy mindannyian elfogadjuk: az emberi ismeretek bővülése hatással van a történelem menetére. Az 1930-as évekre a tudósok megismerték az atommagfizika alapjait, és az emberiségnek rövidesen szembe kellett néznie a nukleáris fegyverek rettenetes erejével. Az ismeretek változása nyilvánvalóan hat a történelemre. Másfelől az is igaz, mondta Popper, hogy ismereteink bővülését nem láthatjuk előre, hiszen a megismerés mindig valami új és váratlan dolog felfedezését jelenti. Ha ma előre látnánk a jövőbeli felfedezéseket, azt jelentené, hogy máris tudunk róluk.

Ha tehát az ismeretek változása kihat a történelem menetére és az ilyen változásokat nem láthatjuk előre, a történelemnek kívül kell esnie előrelátásunk hatókörén. „A történelmi elrendelés hite – írja Popper – nem több pusztá babonánál... Az emberi történelem menetét semmiféle tudományos vagy más racionális módszer nem képes előre látni.”^[2]

Akár helytálló ez a gondolatment, akár nem, végkövetkeztetését a legtöbben elfogadnánk. Az emberiség hatmilliárdnál több egyén igen komplikált hálózata, és ha arra gondolunk, akár csak egyetlen emberi lény is milyen elképesztően bonyolult, nem csoda, hogy kollektív jövőnket képtelenek vagyunk előre látni. A történelem minden bizonnyal nem írható le egyenletekkel. Mert amíg a természettudományok számtalan szabályosságot képesek feltárni

megingathatatlan tudományos törvények formájában, úgy tűnik, a társadalmi életben, ahol kiszámíthatatlan érzelmektől vezérelt emberek játsszák a főszerepet, nem ez a helyzet. Vegyük mindazon területeket, a történelemtől kezdve a közgazdaságtanon és politikatudományon át egészen a pszichológiáig, amelyek emberek életével és cselekedeteivel foglalkoznak – képtelenek volnánk akár csak egyetlen olyan témát találni bennük, amelyeket a fizikához vagy kémiához hasonlóan néhány egyszerű törvénnyel leírhatnánk.

Elképzelhetőek-e matematikai törvények az emberi társadalomra? Sokmindenkit már e lehetőség felvetése is módfelett nyugtalanítana. Az ember rendkívül nagyra tartja cselekvési és gondolkodási szabadságát. A matematikában viszont merev, behatárolt tudományt lát, amelynek rugalmatlan szimbólumai, ha az értelmetlen és lélektelen anyag leírására meg is felelnek, eleven, hús-vér emberekére semmiképpen sem.

E könyv egyik mondanivalója mégis az, hogy igenis felfedezhetünk matematikai törvényeket és értelmes mintázatokat az emberi világban. A tudomány célja néhai Herbert Simon társadalom- és politikatudós egykori megfogalmazása szerint, „a rendetlen bonyolultságban fellelni az értelmes egyszerűséget”.^[3] Az elmúlt öt évben pedig szociológusok, fizikusok, biológusok és egyéb tudományágak művelői számos váratlan összefüggést tártak fel az emberi világ és más, attól látszólag távol eső dolgok, például az élő sejt, a globális ökoszisztéma, az Internet és az emberi agy között. Ez persze nem jelenti azt, hogy ne lenne szabad akaratumk, vagy hogy Karl Popper tévedett volna, és a történelem mégis előre megjósolható. Arra utal azonban, hogy az emberi társadalom eredendő komplexitásának valójában semmi köze az ember bonyolult lélektanához, hiszen hasonló mintázatok figyelhetőek meg sok olyan környezetben is, amelyekben tudatos lények semmiféle szerepet nem játszanak.

Meglepő módon e felfedezések eredetileg tiszta matematikai kutatásokban bukkantak fel. Mindazonáltal ma már a legkülönbözőbb tudományterületek régi keletű problémáinak, de az emberi társadalom legősibb rejtélyeinek megértéséhez is hozzájárulnak.

Kicsi a világ

1998-ban egy téli napon a New York állambeli Ithacában a Cornell University két matematikusa, Duncan Watts és Steve Strogatz, leült Strogatz irodájában, és pontokat kezdtek rajzolni egy papírlapra. Aztán egyes pontokat vonalakkal kötötték össze, így olyan egyszerű ábrát hoztak létre, amit a matematikusok *gráfnak*, neveznek. Nem hangzik komoly dolognak, matematikai felfedezések célravezető módszerének pedig végképp nem. Pedig, amint hamarosan kiderült, olyan különleges módon kötötték össze a pontokat, amire előttük egyetlen matematikus sem gondolt. És a gráfok egy soha nem ismert, páratlanul izgalmas fajtájára bukkantak. Watts és Strogatz társadalmi életünk egy különös rejtélyét kívánta elemezni és ennek során talált rá erre a gráfra. Az 1960-as években Stanley Milgram amerikai pszichológus a személyközi kapcsolatok egyes embereket közösséggé szervező hálóját próbálta megrajzolni. E célból Nebraska és Kansas államban élő emberek véletlenszerűen kiválasztott csoportjának levelet küldött azzal a kéréssel, hogy valamennyien továbbítsák a levelet Bostonban élő tőzsdeügynök barátjának, akinek a címét azonban elmulasztotta megadni. Csak arra kérte őket, olyan személyes ismerősüknek küldjék tovább, akiről úgy vélik, társadalmi kapcsolatai révén közelebb lehetnek a nevezett tőzsdeügynökhöz. A levelek többsége idővel valóban meg is érkezett barátjához. Még sokkal döbbenetesebb azonban, hogy milyen gyorsan – nem több száz lépésben, hanem átlagban mindössze hatszori postázással. Az eredmény hihetetlennek tűnt, lévén, hogy az Egyesült Államokban százmilliók élnek, és – a társadalmi életben – úgy tűnik, mind Nebraska, mind Kansas elég távol esik Bostontól. Milgram felfedezése közkeletűvé vált és *hatlépéses távolság* néven be is vonult a folklórbá. Amint John Guare író fogalmaz hasonló című, nemrég született darabjában: „Ezen a bolygón mindenkit mindenkitől csupán hat ember választ el... Az Egyesült Államok elnökét. A velencei gondolást. De nemcsak nagy neveket. Bárkit. Egy őserdei bennszülöttet. Egy tűzföldit. Egy eszkimót. Engem a földön bárkivel hat emberből álló láncolat kapcsol össze. Mély gondolat.”^[4]

Ha mély gondolat is, igaznak tűnik. Egy német újság néhány éve arra a játékos feladatra vállalkozott, hogy kapcsolatot találjon egy frankfurti török kebab-árus és kedvenc színésze, Marlon Brando között. A *Die Zeit* munkatársai néhány hónapon belül kinyomozták, hogy ehhez személyes ismeretségek mindössze hattagú láncolata elegendő. A Salah Ben Ghain nevű Irakból származó kebabosnak Kaliforniában él egy barátja. Mint kiderült, ez az ember együtt dolgozik egy nőnek a barátjával, aki viszont tagja annak a diákklubnak, ahova a *Don Juan de Marco* című, Brando főszereplésével készült film producerének lánya is jár. A hatlépéses távolság tagadhatatlanul megdöbbentő jellegzetessége társadalmi kapcsolatainknak, ám igazságát számos, még alaposabb szociológiai vizsgálat bizonyítja és nemcsak speciális esetekben, de teljes általánosságban is. Hogyan lehetséges ez? Hogyan képzelhető el, hogy hatmilliárd ember ilyen szorosan össze legyen kapcsolva?

Watts és Strogatz éppen ezt a kérdést tették fel maguknak. Ha az embereket pontoknak képzeljük, a köztük fennálló ismeretséget pedig összekötő vonaloknak, a társadalmi kapcsolatok gráfot alkotnak. Watts és Strogatz tehát hónapokon keresztül rajzolgatta a legkülönbözőbb gráfokat, mindenféle módon összekötögetve a pontokat, abban a reményben, hogy olyan figyelemreméltó összefüggésre bukkannak, amelyből kiviláglik, hogyan képzelhető el hatmilliárd ember ennyire szoros összeköttetése. Próbálták a sakktábla mezőire emlékeztető négyzethálóba rendezni a pontokat és próbálták véletlenszerűen összekötni őket, random gráfokká, amelyek mind úgy néztek ki, mintha csak valami esztelen összekötősdit játszanának. Ám sem a rendezett, sem a random gráfok nem tudták megragadni a társadalmi hálózatok valóságos finomságait. A *kicsi világ* rejtélye ellenállt a vizsgálódásnak.

És akkor, azon az 1998-as téli napon, a két kutató rábukkant arra a különös gráfra. A pontok összeköttetésének valami ravasz módját fedezték fel, amely nem volt sem egészen szabályos, sem egészen véletlenszerű, hanem valahol a kettő között, egyenlő arányban ötvöződött benne a káosz és a rend. A rákövetkező hetekben Watts és Strogatz ennek a furcsa gráfnak különböző változataival játszadozott, és rájöttek, ebben rejlik a nyitja annak, hogy hatmilliárd

ember mindössze hat lépésben össze tud kapcsolódni.

Könyvünkben ezeket a *kicsi világ* gráfokat tárjuk fel részletesen, és bennük nézzük meg, pontosabban hol is történik a csoda. Ezek az izgalmas matematikai struktúrák azonban csupán egy még sokkal fontosabb felfedezés előhírnökei. Watts és Strogatz, miután kíváncsiak voltak, a társas hálózatok miben térnek el más hálózatoktól, az Egyesült Államok energiahálózatait kezdték vizsgálni, valamint a fonalféreg neuronjainak hálózatát, a biológusok ugyanis ennek az egyszerű lénynek már az 1980-as években a teljes idegrendszerét fel tudták vázolni. Az USA energiahálózatát emberek tervezték meg, a féreg idegrendszerét az evolúció. Ennek ellenére az derült ki, hogy majdnem pontosan ugyanolyan *kicsi világ* struktúrával rendelkeznek, mint a társadalmi kapcsolatrendszerek. Valamilyen rejtélyes oknál fogva Watts és Strogatz furcsa gráfjai az egész világ egyik mély rendezőelvére mutattak rá.

A Watts és Strogatz kezdeti eredményeinek megjelenését követő néhány év alatt további matematikusok, fizikusok és számítógéptudósok robbanásszerűen szaporodó munkái alapvetően hasonló struktúrákat tártak fel a világ más jellegű hálózataiban is. Kiderült, hogy a társas hálózatok architektúrája úgyszólván megegyezik a World Wide Web, vagyis hypertext-hivatkozásokkal világhálónak kapcsolódó weboldalak hálózatának szerkezetével. Mindezek a hálózatok alapvető szerkezeti tulajdonságaikban osztoznak bármely ökoszisztéma táplálékhálózatával vagy bármelyik ország gazdasági tevékenységét meghatározó üzleti kapcsolatok hálózatával. Hihetetlen, de igaz, hogy mindezen hálózatok pontosan úgy szerveződnek, mint az emberi agyban összekapcsolódó idegsejtek, vagy az élő sejtekben egymással kölcsönhatásban álló molekulák hálózata.

E felfedezések alapozzák meg a hálózatok új tudományát, és könyvünk éppen ezzel foglalkozik. Meglepő módon a fizikai világban ugyanazok a szerveződési elvek működnek, mint az emberi világban. Eltérő feltételek közepette és egészen különböző szükségletek által életre hívott hálózatok architektúrája szinte pontosan megegyezik. Vajon miért? A hálózatok új elméleti gondolkodásmódja segít választ adni erre a kérdésre, és a tudomány jóformán minden területén segíti a kutatókat a

legfontosabb és legizgalmasabb problémák kezelésében.

A tudósok évszázadokon keresztül szétszedték a természetet, és egyre részletesebben elemezték alkotórészeit. Manapság nem is szükséges hangsúlyozni, hogy ilyesfajta a „redukció” révén ismereteink csak eddig juthattak el. Hiába elemezzük tetszés szerint például egyetlen vízmolekula felépítését és tulajdonságait, mit sem fogunk tudni arról, hogy ha egyetlen csoportjukat tekintjük, az 1 °C-n még folyékony, de -1 °C-n már szilárd lesz. Ez a hirtelen halmazállapot-változás nem jelenti maguknak a molekuláknak a változását, csupán kölcsönhatásaik hálózatának finom szerveződése alakul át. Egy ökológiai rendszerben vagy a gazdaságban ugyanígy fennáll ez a különbség. Az egyedi fajok vagy gazdasági szereplők szintjén akármennyi információ sem deríthet fényt azokra a szerveződési mintázatokra, amelyek miatt a közösség éppen úgy viselkedik, ahogy viselkedik. Manapság a legizgalmasabb és legégetőbb problémák szinte kivétel nélkül elképesztően összetett hálózatok finom és bonyolult szerveződéseivel kapcsolódnak.

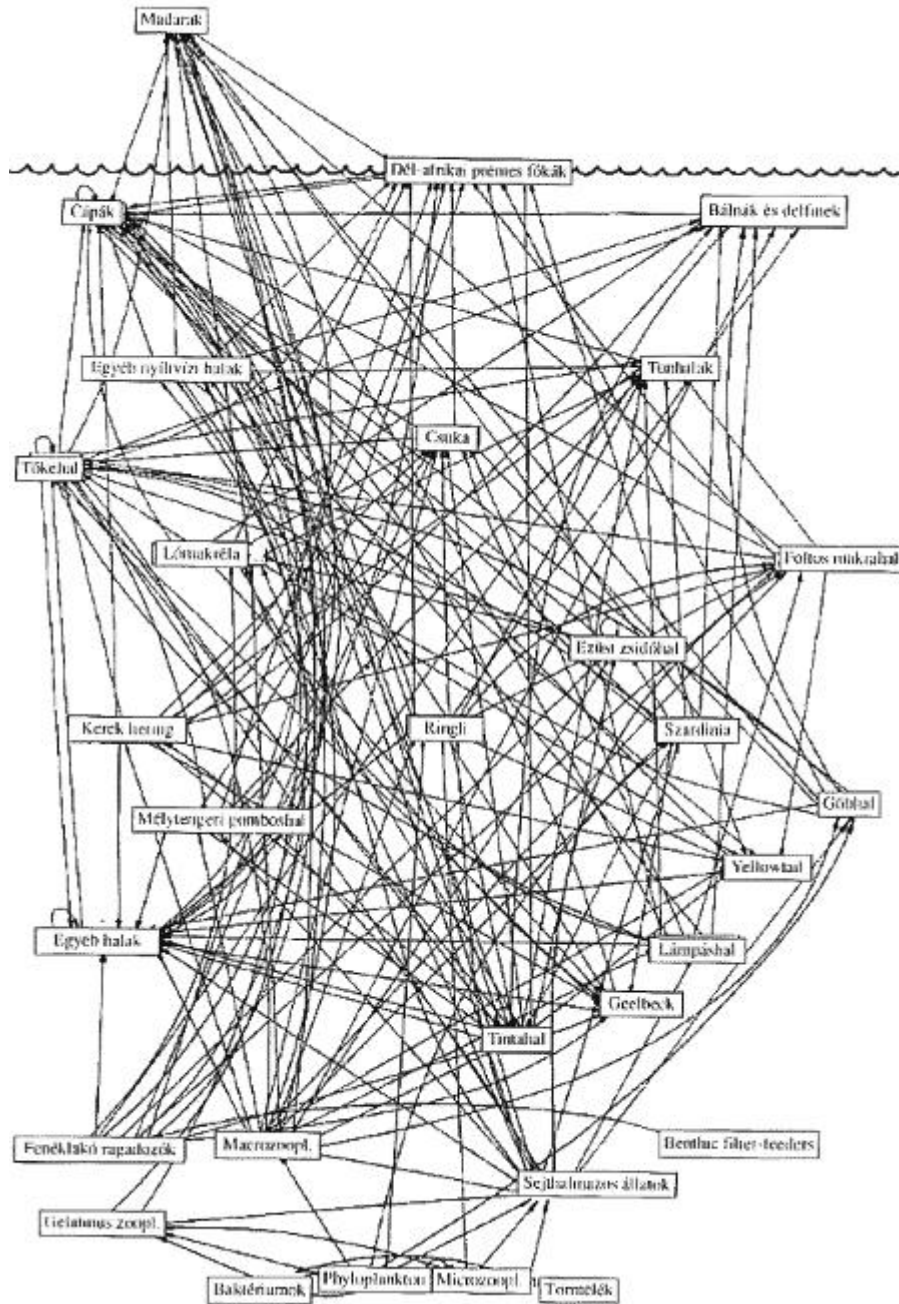
Vonalak és összeköttetések

2001 februárjában egy nemzetközi biológustársaság bejelentette, hogy elkészültek a humán genom, azaz az emberi DNS-ben kódolt többé-kevésbé teljes genetikai információ első leírásával. E korszakos eredmény óriási haladást fog elindítani az emberi betegségek megismerésében, noha a genom ismerete voltaképpen csak az első lépés afelé, hogy megértsük, mi tesz bennünket emberré. A Human Genome Project (Emberi Genom Program) meglepő felfedezése, hogy minden embernek nagyjából harmincezer, a várt durván százezernél jóval kevesebb génje van. Ez annak fényében különösen zavarba ejtő, hogy egyes növények majdnem huszonötezer génnel rendelkeznek. Úgy tűnik, vagy mi emberek nem vagyunk olyan bonyolultak, mint szeretnénk gondolni, vagy pedig *nem pusztán a gének száma* határozza meg egy szervezet bonyolultságát.

A szív, a tüdő, a máj nem génekből épül fel, az egyes gének csupán olyan *fehérjéknek* nevezett molekulák felépítésére szolgáló utasításokat tartalmaznak, amelyek aztán több tízezer egyéb,

egymással bonyolult kölcsönhatásban álló fehérje hálózatában fognak működni.^[5] Hogy megérthessük, mitől élünk, elsősorban pedig, hogy miért különbözünk a növényektől, bele kell látnunk ennek a hatalmas hálózatnak a működésébe, fejlettségünk ugyanis nem egyik-másik fehérjének, hanem az egész hálózat finom szerkezetének köszönhető.

Az ökológia területén a kutatóknak ugyanilyen elképesztően bonyolult hálózatokkal kell dolgozniuk. Például Dél-Afrika halászati vállalatai régóta hangoztatják, hogy a nyugati partvidék mentén a fókáállomány csökkentésével lehetne emelni a jól értékesíthető tőkehal fogását. A fókák tőkehállal táplálkoznak, a halászok érvelése tehát nem nélkülöz bizonyos durva logikát. A dolog azonban nem ilyen egyszerű. A fóka és a tőkehal csupán egy mérhetetlenül bonyolult táplálékhálózat ([1. ábra](#)) két eleme és semmiféle ökológiai beavatkozás nem izolálható. A kanadai University of Guelph biológusa, Peter Yodzis becslése szerint a fókák létszámának megváltozása közbeeső fajokon keresztül több mint 225 millió dominószerű ok-okozati láncolaton keresztül hatna a tőkehal-populációra.^[6] Szaporodna-e a tőkehal, ha a halászatok csökkentenék a fókanépeséget? Jelenleg még csak értelmes találgatásra sem vállalkozna senki. Az is előfordulhat, hogy a fókairtás után még kevesebb lesz a tőkehal.



1. ábra

A Dél-Afrika nyugati partjai közelében található Benguela-ökoszisztéma táplálékhálózatának részlete (Peter Yodzis szíves engedélyével)

A fókák és tőkehalak hálózata csupán egyetlen példa ökoszisztémánk riasztó bonyolultságára – természetesen mások is vannak és ha félreismerjük őket, az valóban katasztrofális következményekkel járhat. A földtörténet során legalább öt olyan

nagy tömeges kihalás történt, amelynek során az összes faj legalább ötven százaléka rövid idő alatt világszerte kipusztult. Az utóbbi években egyes biológusok olyan jelzéseket adtak, hogy jelenleg valószínűleg éppen a hatodik ilyen kipusztulási hullám kellős közepén tartunk, amit éppen az indíthatott el, hogy az ember megzavarta a földi környezetet. Ahhoz, hogy megítélhessük egy ilyen drámai helyzetkép valószínűségét, vagy megtudhassuk, mit tehetnénk ellene, a tudósoknak jobban kell érteniük a bonyolult hálózatok működését.

Ami a társadalmi életet illeti, például a gazdaságban az okok és következmények bonyolult hálózatának ismerete sajnálatos módon megintcsak kívánnivalót hagy maga után. Vegyük a gazdaság példáját! A föld minden országában meglehetősen aránytalan a gazdagság elosztása, jóformán az egész tőke emberek kis töredékének kezében van. Ezt az alapvető igazságot több mint egy évszázada ismerjük. Vajon mi ennek az oka? Melyik az a mélyen gyökerező elv a kapitalista gazdaságban vagy éppen az emberi természetben, amely a tőke ilyesfajta koncentrációjához vezet? Vajon a gazdagság megoszlása az emberek tőkefelhalmozó képességét tükrözi? Noha a különböző politikai meggyőződésű közgazdászok hevesen vitatkoznak és indulatosan kardoskodnak egyik vagy másik álláspont mellett, az ortodox közgazdaságtan nem sokat tud mondani erről a kérdéstről. Miután nem képes a gazdaságot komplex és fejlődő hálózatnak felfogni, a gazdasági realitás egyik legátfogóbb tényének magyarázatára sem alkalmas.

Világos, hogy a közgazdászoknak, ökológusoknak, biológusoknak valamilyen úton-módon felismerésekhez kell jutniuk az összetett hálózatok struktúráját és működését illetően. A hálózatok megismeréséhez az alkotóelemek konkrét természetétől független elméletre van szükség. Szerencsénkre szemünk előtt csodálatosképpen pontosan egy ilyen elmélet bontakozik ki.

A forma törvényei

A hálózatok kutatása a *bonyolultságelmélet* általános tudományterület részét alkotja. Absztrakt értelemben egymással kölcsönhatásban álló részek bármely sokasága – az atomoktól és

molekuláktól kezdve a baktériumokon, a gyalogosokon, a tőzsdeparkett szereplőin át egészen a nemzetekig – valamilyen szubsztanciát képvisel. Akármiből áll is egy szubsztancia, bizonyos formai törvényeknek engedelmeskedik, és éppen ezek feltárása a bonyolultságelmélet feladata. Egyes tudósok egy általános bonyolultságelmélet kutatását hiú ábrándnak tartják, a könyvünk magvát alkotó gondolatok azonban arra utalnak, hogy a bonyolultságelméletnek léteznek értelmes és konkrét elvei. Kiderülhet, hogy a legmélyebb igazságok egyike-másika nem a világot alkotó dolgok egyedi tulajdonságairól és viselkedéséről, hanem azok szerveződéseiről szól. A *kicsi világ* gondolata a formák tudományának egyik legújabb keletű és legfontosabb felfedezése, amelynek gyökerei az antikvitásba nyúlnak vissza.

Platón görög filozófus szerint minden valóságos, kézzel fogható tárgy mögött a tökéletes formák világa áll, a helyes gondolkodás e formák megismerésére törekszik és nem engedi magát félrevezetni a fizikai valóság hibás, tökéletlen megnyilvánulásai által. Immanuel Kant német filozófus szintén egy mélyebb valóságot sejtett a látszatok mögött – a Magánvaló minden fizikai tárgy mögött ott lappangó, megfoghatatlan lényegét. A hálózatok, általánosságban pedig a bonyolultság kialakulófélben levő elméletében van egy gondolat, amely szellemi rokonságot mutat ezekkel az eszmékkel, noha nem filozófiai, hanem matematikai és empirikus tudományos alapon.

A tudósok a történelemben először kezdenek értelmesen beszélni mindenféle hálózat architektúrájáról, lényeges mintázatokat és szabályszerűségeket felfedezni ott, ahol azelőtt nem láttak semmit. Ez a tudás máris figyelemreméltó felismeréseket tesz lehetővé. Miért mindig a tehetős keveseknek jut a javak jó része? Mint látni fogjuk, e régi keletű gazdasági rejtély megoldása egészen egyszerű. Semmi köze a gazdasághoz, teljes egészében a hálózatok alapvető működésén múlik. Miért működik a világháló olyan hatékonyan, miért omlik össze olyan ritkán? Hogyan maradhat életben az élő sejt, amikor annyiféle molekuláris szintű hiba fenyegeti? E kérdésekkel kapcsolatban alapvető felismerések úgyszólván „kipotyognak” a hálózatok szemléletéből, akárcsak olyan ötletek, hogyan hasznosíthatja egy vállalat vezetői hálózatának megszervezésében

a hatékony felépítés hasonló elveit.

A Duncan Watts és Steve Strogatz által felfedezett *kicsi világ* hálózatok, akárcsak más, velük szoros rokonságban álló hálózatok át- meg átszövik mind a természet, mind az emberi társadalom világát. A világhálón ma jóval több, mint egymilliárd weboldal található, mégsem tart egy örökkévalóságig, amíg egyikről a másikra jutunk – elegendő néhány kattintás, ugyanazon okból, amiért a földön bármelyik embertől mindössze hat kézfogással eljuthatunk bárki máshoz. Amint látni fogjuk, ezek a hálózati struktúrák valamiféle eredendő intelligenciával rendelkeznek, mintha egy isteni építész tervét követnék. A tudósok csak mostanában kezdik megérteni, honnan ered ez az intelligencia, hogyan jön létre egész természetesen, legfőképpen pedig, hogy hogyan tanulhatnánk belőle.

Nem volna tisztességes, ha azt mondanánk, hogy a hálózatok kialakuló tudománya az említett nehéz kérdések mindegyikére választ tud adni. Hogyan befolyásolja egy élőlény kiesése a többi egy ökológiai rendszerben? Hogyan kerülhetnénk el, hogy a gazdaság recesszióba kerüljön? És mi az oka, hogy a harmincezer génnel rendelkező ember jóval bonyolultabb a huszonötezer gént tartalmazó növénynél? Hasonló kérdések még hosszú évekig nyitva maradhatnak, a hálózatok tudománya mindenesetre ígéretes kiindulópontot jelent a megoldás útján.

Ubiquity: The Science of History or Why the World is Simpler Than We Think (Lépten-nyomon: a történelem tudománya, avagy miért egyszerűbb a világ, mint gondolnánk?) című korábbi könyvemben egyszer már áttekintettem a hálózatok kialakuló tudományának némely aspektusát. Újabb keletű matematikai gondolatok azonban arra mutatnak, hogy a logika egyszerű állványzata rejlik mindenféle zűrzavaros esemény mögött, a földrengéstől a tőzsdekrachon át a súlyos katonai konfliktusokig. Az utóbbi évtized felfedezései azt jelzik, hogy jelentős világméretű hálózatok sokasága – gazdaságok, politikai rendszerek, ökoszisztémák és így tovább – folyamatosan az instabilitás és felfordulás peremén egyensúlyozik. Következésképpen azzal az univerzális természettörvénnyel rokonítható, hogy a történelem menetét rendszeresen (és meglehetősen gyakorisággal) látszólag megmagyarázhatatlan

felbolydulások szakítják meg.

Mindez egy elméleti összefüggésre utal a történelem jellegével kapcsolatban: számolnunk kell azzal, hogy a viszonylagos nyugalom és fokozatos változás hosszú korszakait megrázó hatású események tarkítják, amelyek teljesen átformálják a társadalmi-politikai tájképet. Jól illusztrálja ezt a szeptember 11-i terrortámadás és az azt követő események. Alig egy évvel korábban – legalábbis az Egyesült Államokban – a legtöbben olyan békés, virágzó jövőt képzeltek el, amelyben a tudomány folyamatos fejlődésre sarkallja a technikát, a demokrácia feltartóztatlanul elterjed az egész Földön és az emberiség elérkezik a Történelem végéhez. Az esti újság a fogyasztói költségekről, az internetes részvények alakulásáról és a Microsoft ügyeiről szólt. Semmi nem állt távolabb tőlünk, mint a globális terrorizmus, a lépfene vírus, a kommandóakciók és a B-52-esek. A történelem azonban, mint mindig, ezúttal is megmutatta a maga igazi szeszélyes, zűrzavaros ábrázatát. A történelem – állította Karl Popper – nem egyszerűen újdonság, hanem hatalmas, váratlan, rémisztő adagokban érkező újdonság.

A támadások óta hozzászoktunk ahhoz a gondolathoz, hogy a Nyugatnak olyan „terrorista sejtek” decentralizált, az egész világra kiterjedő hálózatával kell megküzdenie, amelyeknek nincs hierarchikus parancsnoki struktúrája. Ez a hálózat az Internet rendkívül nehezen támadható szerves struktúrájának emberi megfelelője. Miközben az USA katonai műveletei Oszama Bin Ladenre koncentrálnak (legalábbis 2001 novemberében), illúzió azt feltételezni, hogy a középpontban egyetlen ember áll. Az angliai Cambridge University Center for International Studies (Nemzetközi Kutatások Központja) Közel-Kelet specialistája, George Joffe szerint Bin Laden csoportja egyfajta klíringház, elszámolási központ, amely pénzt, kiképzést, logisztikai támogatást nyújt az Egyiptomban, Algériában, Szomáliában, Jemenben, Szaúd-Arábiában és a Fülöp-szigeteken működő militáns iszlám csoportoknak. Bin Laden letartóztatása vagy kivégzése komolyan akadályozhatja a hálózat működését, de az is lehet, hogy nem sok hatással jár.

A Fehér Házból kiszűrődő „zsolozsma” mindenestre arról szól, hogy Amerika új típusú háborút vív egy ködbe vesző ellenséggel,

egyszerre mindenütt és sehol sem jelen levő szörnyetegek fantom-hálózatával. Ez ugyan talán megfelel a valóságnak, e hálózat kevésbé lokalizált jellege azonban egyáltalán nem csupán a terrorizmusra jellemző. Hogy megértsük a globális politikát, egyre lényegesebb felismernünk, hogy az oly sokáig uralkodó nemzetállamokat nem kizárólag a terrorista szervezetek, hanem az egyedül részvényeseinek nyeresége iránt elkötelezett nemzetek felett álló korporációk is fenyegetik. A számítógépes hálózatok és az Internet nagyban megkönnyítik az ilyen hálózatokon alapuló erők globális koordinációját, és ezáltal a világrend jelentős változásait indukálják.

Abszurd feltételezés lenne, hogy a hálózatelmélet egy-két felfedezése alapján a hatóságok hatékonyan fel tudnának lépni a terrorista hálózatokkal szemben. A vicc azonban az, hogy a terroristák nyilvánvalóan bevetik a hálózatokat ellenünk. Egyfelől a hírhedt Bin Laden hathatós kiképzést és anyagi támogatást kapott a CIA-től a Szovjetunió afganisztáni háborúja idején, amikor őt és honfitársait mint „szabadságharcosokat” meleg szavakkal méltatták. Az amerikai adófizetők pénzén épültek azok a terrorista-kiképző bázisok, amelyeket most próbálnak elpusztítani az USA bombái. Másfelől a terroristák éppen a modern világot fenntartó hálózatok központjára sújtottak le. Semmi nem köt annyira össze bennünket, mint az a postai szolgálat, amelyben manapság anthraxszal töltött levelek keringenek. Szeptember 11. első akciói saját légiközlekedési hálózatunkat használták fel ellenünk, távolról irányított pénzügyi műveletek és internetes kommunikáció mellett. Ez a fajta koordináció sokkal nehezebb lett volna akár egy évtizeddel ezelőtt.

A hálózatok tehát bekerültek a hírekbe, és valószínűleg meg is maradnak ott. Világunk megértéséhez el kell kezdenünk ilyesfajta új fogalmakban gondolkodni. A *Nexus* a világ néhány legfontosabb hálózatára, valamint bizonyos döntő kérdésekre koncentrált: Mely fajok a legfontosabbak a világ ökológiai rendszerének egészségéhez? Mi a legjobb stratégia az AIDS és más betegségek elleni küzdelemben? A vállalkozások hogyan aknázzhatják ki a társadalmi hálózatok struktúráját, hogy fejlesszék a lényeges információk megszerzésének képességét? És hogyan védhetjük meg legjobban a legfontosabb hálózatainkat, a telefonhálózattól az

elektromos hálózaton át az Internetig? Ezekben és egy sor további kérdésben a hálózatok kialakuló tudománya mélyebb betekintést enged arról, mennyire döntő szerepet játszanak világunkban a „kapcsolatok”.

1. KÜLÖNÖS KAPCSOLATOK

A matematikatörténet jószerivel hiányzik a tanult közönség „műveltségéből”, beleértve a matematikusokat és a történészeket is. A matematikát talán sokan csodálják, mint mondjuk a szivárványt, azonban – főként értelmiségi körökben – a való élettől és a kellemes társalgástól illik távol tartani.

– Ivor Grattan Guinness^[7]

A Nature magazin londoni kiadóhivatalába 1998 tavaszán egy különös kézirat érkezett. A Nature a globális felmelegedés, a humán genetika és számos egyéb, általában az emberiség jövőjét érintő kérdésben a világ vezető folyóiratának számít. Ez a dolgozat azonban nem a „megszokott” témák valamelyikével foglalkozott. A New York állambeli Ithakából küldte a Cornell University két matematikusa, ennek ellenére jóformán nem voltak benne egyenletek és a legkevésbé sem tűnt matematikai munkának. Számok kizárólag olyan különös témák adatait bemutató táblázatokban szerepeltek, mint hogy az elmúlt ötven év során mely színészek játszottak közös filmekben.

A „»Kicsi világ« hálózatok kollektív dinamikája” címet viselő kéziratban érdekes, dekoratív tapétákat, csipkemintát vagy tizenharmadik századi alkímiai ábrákat idéző körkörös diagramok is szerepeltek: gyűrű alakban elhelyezkedő pontok, görbe vonalakkal összekötve. A dolgozat mindazonáltal a legkevésbé sem volt blöff. Komoly témával foglalkozott, nyomban felkeltette a szerkesztők figyelmét és néhány hónapon belül meg is jelent.^[8] A két matematikus, Duncan Watts és Steve Strogatz matematikai magyarázatot talált arra a sok évszázados rejtélyre, amit úgy fogalmazhatnánk meg, hogy „kicsi a világ”.

Életünk során egy-kétszer mindannyian átéltünk ezt az élményt. Amikor az ember Denverből New Yorkba repül, a gépen véletlenül

apja negyven évvel azelőtti osztálytársa ül mellette. Párizsi nyaralása során szóba elegyedek egy hölgygel, akiről kiderül, az Idaho-beli Boise városban az ő legjobb barátjának nővérével lakott együtt. Mindenkinek vannak ilyen történeteik. Saját történetem: néhány éve az Egyesült Államokból Londonba költöztem, hogy elfoglaljam a Nature egyik szerkesztői állását. Hetekkel érkezésem után újdonsült barátaimmal elmentem egy összejövetelre. A legtöbb résztvevő angol volt, egész véletlenül azonban mellettem olyasvalaki ült, aki egy-két évvel azelőtt jött Amerikából. Pontosabban honnan, kérdeztem. Különös módon Virginiából, ahol magam is éltem. No és Virginián belül? Megdöbbenő módon Charlottesville-ből. De hiszen magam is éppen ebből a nem túl nagy városból származom! És Charlottesville-ben hol lakott? Mint kiderült, pontosan az én utcámban, alig egy-két ház távolságra tőlem, pedig soha nem találkoztunk.

Tekintetbe véve a Földön élő emberek elképesztően nagy számát, akiknek a túlnyomó többsége soha közelében sem járt azoknak a helyeknek, ahol én valaha is laktam vagy megfordultam, úgy tűnhet, egy ilyen véletlen találkozás esélye hihetetlenül csekély. Így is van. Mivel pedig mindannyiunkkal megesett ilyesmi, és nem is egyszer, elgondolkodhatunk, vajon mit jelentenek ezek a különös véletlenek. Az egész emberiséget felölelő társas hálózat kétségtelenül meglehetősen terjedelmes. Az ENSZ Gazdasági és Társadalmi Ügyosztálya szerint a világ népessége 1999. október tizedikén elérte a hatmilliárdot. Vajon a pusztán számokon túl van-e értelme, ha azt mondjuk, igazából minden látszat ellenére kicsi a világ? Létezik-e valamely ismeretlen tényező, amely megmagyarázhatná ezeket a véletlen eseteket?

Nos, ezekkel a kérdésekkel foglalkozott a Cornell University matematikusainak három rövid oldalban leírt dolgozata, amelyben mindössze néhány egyszerű diagram szerepelt, de egyetlen egyenlet sem. Watts és Strogatz válasza, hogy egy olyan speciális, mindeddig ismeretlen társas szerveződésben élünk, amely valóban megmagyarázza, mitől kicsi a világ. Éppen ez a szerveződmód az ismeretlen tényező. Könyvünk első részében részletesen megvizsgáljuk ezt a gondolatot. És elkezdjük felgöngyöltetni, mi következik ebből nem pusztán a társas hálózatok, de általában a

biológia, a számítógép-tudomány, a közgazdaságtan és a mindennapi élet megannyi hálózatára nézve.

Mielőtt azonban rátérnénk a központi gondolatra, egy kicsit szemügyre kell vennünk a kiinduló problémát. Valóban történnek furcsa esetek, és akármennyi anekdota sem lenne elegendő bizonyíték arra, hogy egyszerűen túl sok mindent kellene a véletlennel magyaráznunk. Meg kell bizonyosodnunk, hogy valójában fennáll a kicsi világ rejtélye, ami megoldásra vár. De vajon létezik-e tudományos bizonyíték egy ilyen rejtélyre?

Levél az ismeretlenhez

Stanley Milgram híres *kicsi világ* kísérleteit, amelyekre már utaltunk az Előhangban, a Harvard Egyetemen végezte az 1960-as évek közepén. Mint fiatal tanársegéd, hihetetlenül kreatív kísérletei révén rövid idő alatt nagy tekintélyre tett szert. Az „elhagyott levél” technikájával, amelyet néhány évvel azelőtt talált ki, anélkül tudta vizsgálni egy adott közösség tagjainak attitűdjeit, hogy beleütközött volna a társadalmi befolyás és politikai tisztesség tipikus, az interjúk vagy kérdőíves felmérések eredményeit oly sokszor kétségbe vonó problémáiba. A módszer demonstrálására néhány diákjával négy, száz-száz levélből álló csomagot készített, amelyeket a Náci Párt Támogatóinak, a Kommunista Párt Támogatóinak, egy orvosi kutatócsoport munkatársainak és egy Mr. Walter Carnap nevű magánszemélynek címzett. Ezután találomra kiválasztott helyeken, ahol az emberek rájuk találhattak, „elhagyták” őket. Néhány hét után azt találták, hogy míg az orvosi kutatócsoport munkatársainak és Walter Carnap-nak szóló levelek mintegy 70 százalékban, a másik kettőnek címzettek csak mintegy 25 százalékban kerültek meg. Ez az elhagyott levél technika hamarosan széles körben elterjedt a szociálpszichológiában az érzékeny kérdésekkel kapcsolatos közösségi attitűdök vizsgálatára.^[9]

A *kicsi világ* kísérletek ugyanennek a módszernek némileg módosított változatai azzal az eltéréssel, hogy ezúttal nem emberek attitűdjei, hanem az őket összekapcsoló társas hálózat struktúrája a lényeg. Mindössze néhány boríték és bélyeg segítségével Milgram a társas struktúrák vizsgálatához saját szolgálatába állította az USA

postaszolgálatát és érvényes kísérleti bizonyítékot nyert arra, hogy a világ társadalmi értelemben sokkal kisebb, mint gondolnánk. Milgram 160 levelet küldött ki, és azok közül, amelyek végül eljutottak a tőzsdeügynökhöz, úgyszólván mindegyik három barátján keresztül ért el hozzá – mintha a hozzá vezető társadalmi útvonalak mind néhány szűk csatornában futnának össze. Még meglepőbb, hogy szinte mindegyik levél legfeljebb hat lépésben megérkezett, ami azt jelzi, hogy a társadalmi kapcsolatok világa a vártnál összehasonlíthatatlanul kisebb.^[10]

A kísérleti konstrukciók tekintetében Milgram a huszadik század egyik legeredetibb pszichológusa volt. Szégyen volna, ha nevével kapcsolatban nem említenénk azt a másik kísérletét, amely maradandó hírnevet biztosított számára, ám egész pályája során viták keresztüzébe is állította. Ebben a „kicsi világ” vizsgálat előtt néhány évvel elvégzett kutatásban Milgram önkénteseket kért fel, hogy gombnyomásokkal egyre fájdalmasabb áramütéseket mérjenek a laboratóriumi székhez kötött kísérleti személyre. Ő a kísérleti „alany”, mondták nekik, és azt vizsgálják, hogyan hat a büntetés a tanulásra. Valójában a székben színész ült, az igazi kísérleti személyek pedig maguk az önkéntesek voltak.

Milgram arra volt kíváncsi, mekkora fájdalmat képesek mérni az emberek egy ártatlan személyre másvalaki, jelen esetben a pszichológus tekintélyének nyomására. A kísérletben Milgram különböző kérdéseket tett fel a „tanulónak”, és ha az rosszul válaszolt, az önkéntesnek áramütéssel kellett büntetnie. A laboratóriumi feszültségforrás beállítása 15 volttól („enyhe áramütés”) egészen 450 voltig terjedt, amit „Vigyázat – komoly áramütés!” felirat jelölt. A feszültség 15 volttól indult, és Milgram kérésére a kísérlet során fokozatosan emelni kellett. 75 voltnál a kísérleti személy minden áramütésre felmordult. 120 voltnál hangosan felnyögött, fájdalomra panaszkodott, 150 voltnál pedig követelte, hogy hagyják abba a kísérletet. A feszültség emelésével egyre kétségbeesettebb hangokat hallatott, siránkozott, míg végül 285 voltnál halálsikolyt hallatott.

Milgram így írta le a kísérlet mélyén meghúzódó dilemmát: „A kísérleti személy számára szó sincs játékról – nyilvánvalóan erős konfliktust él át. Egyfelől a tanuló látványos szenvedése a kísérletből

való kilépésre sarkallja. Másfelől bizonyos elkötelezettséget érez a kísérletvezető, az elfogadott tekintély iránt, aki folytatásra utasítja... Ahhoz, hogy a kísérleti személy ki tudjon keveredni a bonyodalmas szituációból, egyértelműen szakítania kell az autoritással. E vizsgálat annak kiderítésére irányult, hogy a tiszta erkölcsi imperatívusz nevében az emberek mikor és hogyan szállnak szembe az autoritással.”^[11]

Az eredmények zavarbaejtőek voltak. A kísérlet egyik-másik pontján az önkéntesek többsége felvetette, hogy a tanuló szenved, talán nem kellene folytatni a kísérletet, és néhányan valóban szembe is szálltak a kísérletvezetővel. Mindazonáltal a negyven kísérleti személyből huszonhat egészen 450 voltig folytatta az áramütéseket. A kísérlet eredménye kevésbé biztató abban a tekintetben, hogy a hétköznapi ember mennyire képes fölébe helyezni erkölcsi megfontolásait a tekintéllyel szembeni engedelmességnek. Mint Milgram leszögezte, „számos kísérleti személy engedelmeskedik a felszólításnak, bármilyen fájdalmasnak tűnnek is az áramütések, bármilyen hevesen könyörög is az áramütésekkel sújtott személy, hogy engedjék ki... E vizsgálat legfőbb eredménye az a sürgős magyarázatért kiáltó tény, hogy felnőtt emberek egy tekintély parancsára szélsőséges mértékben hajlandóak úgyszólván akármeddig elmenni”.^[12]

Amint a könyvben látni fogjuk, Milgram a későbbiekben olyan magyarázattal állt elő erre a jelenségre, amely meglepő módon nem az egyéni pszichológián, hanem a társas interakciók minden működő társadalmi hálózatban fellépő mintázatán alapul.

Visszatérve azonban a kicsi világ kísérlethez, van néhány fontos részlet, amit meg kell említenünk. Mint később kiderült, ezek az eredmények nem annyira perdöntőek, mint amilyeneknek tűnnek. A kísérlet során számos levél feltehetőleg azért nem jutott el Milgram barátjához, mert egy közömbös ember menet közben kidobta. Így viszont a Bostonba mégis megérkező levelek torzított képet mutatnak. Ha ezek a levelek hat lépésben célhoz értek, lehetséges, hogy a többi tíz, húsz, harminc lépés után került szemétkosárba. Ily módon Milgram eredményei kis mértékben alulbecsülhetik az összeköttetéshez átlagosan szükséges kapcsolatok számát. Talán

mégis nagyobb a világ, mint ahogy ezek az eredmények naiv módon jelzik?

Mit mond az orákulum?

Milgram 1970-ben szeretne volna alátámasztani korábbi eredményeit, ezért új kísérletbe kezdett. Nem csoda, hogy két-két embert bizonyos esetekben, vagy akár nagyon sok esetben is, hatlépéses távolság választ el. A meglepő az, ha *mindenkit* hasonlóan össze lehet kapcsolni néhány lépésben. Milgram úgy gondolkodott, hogy az Egyesült Államokban uralkodó faji szegregáció következtében a fehérek és feketék társadalmi értelemben meglehetősen távol állnak egymástól. Ezért kísérletképpen véletlenszerűen kiválasztott Los Angelesben élő fehérek kezébe juttatta a leveleket, amelyeknek véletlenszerűen kiválasztott New York-i feketékhez kellett eljutniuk. Az ember azt várná, hogy ez a kísérlet jobban felméri a társas hálózatban meglévő maximális távolságokat. Amikor azonban a levelek kezdtek megérkezni, az eredmények nem tértek el az előző kísérletben megfigyeltektől. A legtöbb levél ezúttal is hat lépésben célba ért.

Hacsak nem vagyunk egészen szkeptikusak, úgy tűnik, hogy (legalábbis az Egyesült Államok) társadalma megdöbbentően kicsi világ. Vajon csak az Egyesült Államok sajátossága ez? Aligha valószínű. Végül is nehéz lenne elképzelni, hogy az amerikaiak valami egészen egyedülálló módon ismerkednének és barátkoznának, és így a társadalmi hálózat tekintetében Amerika egészen más volna, mint mondjuk Svájc, Brazília, Japán vagy bármely egyéb ország. Mi több, nem csupán Milgram kísérletei szolgáltatnak bizonyítékot a kicsi világ jelenségére. Számtalan közvetett bizonyíték utal rá, hogy ez mindenféle társas hálózat általános jellegzetessége.

Hat évvel ezelőtt például a University of Virginia két számítógéptudományt hallgató diákja könnyed szórakozást eszelt ki. Brett Tjaden és Glenn Wasson kitalálta az *Oracle of Kevin Bacon* (*Kevin Bacon Orákulum*) című játékot és fel is tette a világhálóra. Mi is ez a *Kevin Bacon Orákulum*? Tekintsünk bármely két színészt összeköttetésben állónak, ha valamikor ugyanabban a filmben

játszottak. Hány ilyen kapcsolattal lehet eljutni mondjuk Elvis Presleytől Kevin Baconig? Mint valami görög tragédiában, amelyben a főhősök lényeges kérdéseire a Delphoi jósdából várták a választ, *Kevin Bacon Orákuluma* mély bölcsességgel felel minden, színészeket és Kevin Baconhez fűződő kapcsolatukat firtató kérdésre. Ezt az Orákulumot szinte lehetetlen zavarba hozni, vagy akár csak egy pillanatra megizzasztani.

Írjuk be például egy mai színész, Will Smith nevét, és az Orákulum másodpercek alatt kiköpi a megoldást: Will Smith az *Independence Day* (1996) forgatásán együtt játszott Harry Connick Jr.-ral, aki viszont közösen szerepelt Kevin Baconnel a *My Dog Skip* (2000) című filmben. Vagyis Smithtől mindössze két lépésben el lehetett jutni Baconhoz. Próbálkozzunk egy régebbi személlyel! Legyen például Bing Crosby: a válasz most is ugyanolyan gyorsan érkezik: Bing Crosby együtt játszott Robert Wagnerrel (*Say One for Me*, 1959), Robert Wagner pedig Kevin Baconnel (*Wild Things*, 1998). Megint csak két lépés elegendő. Az Orákulum rendíthetetlenül állja a sarat. No és Elvis Presley? Elvis Presley együtt forgatott Courtney Brownnal (*Speedway*, 1968), ő viszont Kevin Baconnel (*My Dog Skip*, 2000).

Tjaden és Wasson kezdetben csupán saját maguk szórakoztatására találták ki ezt a játékot. „Aztán beszéltünk róla néhány végzett diáknak, és híre kelt... Hamarosan sokan használták.” Két héten belül nemzetközi ismertségre tett szert, és Tjadent meghívták Los Angelesbe, ahol a Discovery Chanel műsorában volt szerencséje együtt szerepelni magával Kevin Baconnel.

Vajon mi az Orákulum titka? Nos, valójában nincs semmiféle titok, hiszen a színészek világa csupán az általános társadalmi kapcsolatrendszer apró mikrokozmosza, úgyhogy az Orákulumnak szinte mindig könnyű a dolga. Bacon mintegy 1472 színésszel játszott együtt. További 110 315 színész van tőle két lépésre és 260 123 háromra. Az Orákulum, amely az óriási Internet Movie Database (Internetes moziadatbank)^[13] mintegy ötszázezer nevének átrostálásával működik, kimutatta, hogy néhány száz színésztől eltekintve mindenki legfeljebb hat lépésben összekapcsolható Baconnel. Egyetlen színész sincs tőle úgy tíz lépésnél távolabb, tehát akármilyen nevet írunk is be, az Orákulum egy szemvillantás

alatt válaszol. A Baconhoz vezető kapcsolatok átlagos száma mindössze 2,896.

Vajon miért foglal el Kevin Bacon ilyen különleges helyet a színészek univerzumában? Nos, nem foglal. Szinte bármelyik színésszel eljátszhatjuk a Bacon-játékot (vagy annak ugyanazon a weblapon található Star Link nevű változatát, hiszen az egész színésztársadalom egyetlen kicsi világ. Válassz ki tetszőleges két színészt – mondjuk Arnold Palmert és Keanu Reevest – és a számítógép néhány lépésben összeköti őket. Jelen esetben a szükséges lépések száma három: Arnold Palmer és Edie Adams (*Call Me Bwana*, 1963), Adams és Rodney Bingenheimer (*Up in Smoke*, 1978), végül Bingenheimer és Keanu Reeves (*Mayor of Sunset Strip*, 2001).

Persze a színészek is emberek, és a színészek hálózata csak részét képezi a nagyobb társas hálózatnak. Tjaden és Wassen eredményei, miután mintegy ötszázezer színész statisztikáján alapulnak, további valószínűséget kölcsönöznek Milgram felfedezésének. Akárcsak egyéb, még szórakoztatóbb vizsgálatok. Két évvel ezelőtt játszotta a New York Times a *Hat lépésre Monica Lewinskytől* című játékot. Hány lépés választja el Monica Lewinskyt mondjuk a Spice Girlstől? Hát, mint kiderült, nem sok. A Spice Girls együtt szerepelt George Wendttel a *Spice World* című filmben. Wendt a *Cheers* televíziós show-műsorban együtt lépett fel Ted Danssonal, akinek a felesége Mary Steenburgen. Danson és Steenburgen esküvőjén, valahol Martha's Vineyardban Clinton elnök is jelen volt. Clinton pedig, mint tudjuk, szoros társadalmi kapcsolatban állt Monica Lewinskyvel.

Mindez persze csak frivol szórakozás, ugyanakkor teljes mértékben egybecseng Milgram eredményeivel. Mert miközben azt hihetnénk, hatmilliárd ember összekapcsolásához hatnál sokkal több lépés szükséges, úgy tűnik, nem ez a helyzet. Miben rejlik hát a titok?

Hálózatépítés

Próbáljunk meg végre eljutni a rejtély elvi lényegéhez. Hogy szemléletes legyen, ábrázoljuk az embereket egy-egy ponttal és kössük össze vonallal bármely két ismerőst. Az egyértelműség

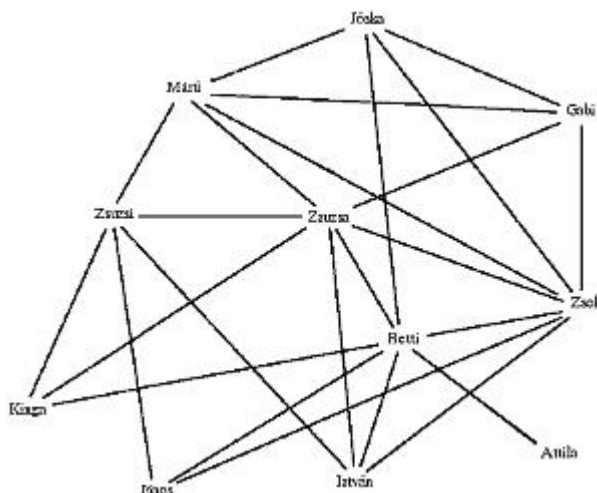
kedvéért állapotunk meg, hogy embereket akkor nevezünk ismerősnek, ha találkozáskor megállnak az utcán, köszönnek és nevükön szólítják egymást. Ha módunkban állna összegyűjteni a szükséges információt és lenne egy kellően nagy papírlapunk, elvégezhetnénk ezt az Egyesült Államokra, Európára vagy az egész világra is. Feltehetőleg meglehetősen zűrzavaros ábrát kapnánk. Megláthatnánk azonban, hogy van egy meglepő tulajdonsága: akármelyik pontból kiindulva bármelyik másikba eljutunk hatnál nem több lépéssel.

A matematikus az ilyen vonalakkal összekötött pontokat *gráfnak* nevezi. Mindannyian ismerjük a *grafikon* szót. A *gráfot* azonban a matematikusok némileg más értelemben használják. Az újságok pénzügyi rovataiban gyakran látunk a tőzsdei árakat vagy az USA GDP-je húszéves változását bemutató *grafikonokat*. Ezek a fajta grafikonok megfelelnek a szó hétköznapi használatának. A grafikon szemléletes formában jelenít meg információkat. A matematikus gráfja alig valamivel absztraktabb ennél.^[14] Nem több, és nem kevesebb, mint vonalakkal összekötött pontok hálózata. Nem kell, hogy bármiféle jelentése legyen. Pusztán logikai struktúra, amely semmilyen közvetlen kapcsolatban nem áll a való világgal.

A gráf ilyen értelmezése révén eljuthatunk a kicsi világ alapvető matematikai rejtélyéhez: hogyan lehetséges, egyáltalán lehetséges-e olyan hatmilliárd pontból álló gráfot rajzolni, amelyben bármely két pont között hat vonalból álló utat találunk. Ha kapnánk egy hatmilliárd pontot tartalmazó papírlapot, hogyan kötnénk össze őket, hogy társadalmi hálózatunkhoz hasonló jellegű legyen?

Bizonyos ötleteket meríthetünk abból, ha szemügyre vesszük valóságos baráti kapcsolatok hálózatait. Bárki megteheti, hogy csoportba gyűjti barátait és gráfot rajzol róluk, egy-egy ponttal ábrázolva mindegyiküket, és vonallal kötve össze azokat a párokat, akik kielégítik az ismerősök fenti meghatározását. Az eredmény olyasmi lesz, mint a [2. ábrán](#) látható gráf, amelyet a *Futurist* magazin egyik 1975-ös számából vettünk át, és amely egy tizenöt fős társaság tagjai közti baráti kapcsolatokat ábrázolja. A gráf eredeti változata még zűrzavarosabb volt, további információkat is feltüntetett, például, hogy melyik kapcsolat mikor keletkezett. Vajon az Olvasó felfedez-e benne valamilyen különleges mintázatot? Ha

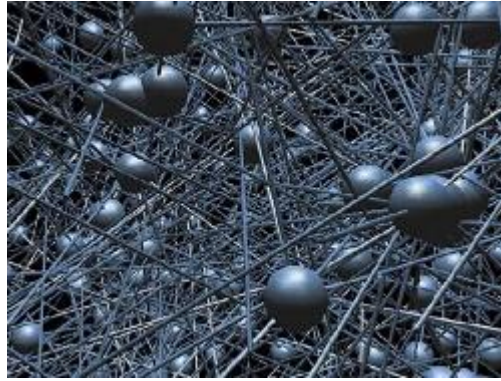
igen, máris sokkal jobb megfigyelő, mint én. Számomra, mint gondolom legtöbbünk számára ez a gráf nem különösebben tanulságos vagy informatív. Egyesek össze vannak kötve, mások nincsenek, ennél sokkal többel nehéz róla mondani.



2. ábra

Egy 15 barátból álló társas hálózat kapcsolatai

Talán nagyobb hozzáértéssel kellene szemlélnünk a dolgokat. A szociológusok hosszú évekig kísérleteztek a társas hálózatok különféle szemléletmódjaival, és a modern számítógépek felhasználásával számtalan új gondolatuk támadt. Néhány évvel ezelőtt például Alden Klovdahl ausztráliai szociológus nagy teljesítményű grafikus számítógéppel megdöbbentő háromdimenziós képet ([3. ábra](#)) készített Canberrában élő emberek egy csoportjáról. Ez a kép sokkal színvonalasabb, mint a [2. ábra](#), a nézőnek az az érzése támad, földön kívüli tájat lát a *Star Trekből*. Hátha ezzel a high-tech szemlélettel kiemelkedik a mintázat és egycsapásra láthatóvá válik, mitől különleges ez a hálózat? Sajnos most sem adódik semmilyen kézenfekvő tanulság! Rejlik-e valamiféle rend a zűrzavar mögött? Vagy csak összevissza drótozott hálózatot látunk?



3. ábra

Az ausztráliai Canberrában élő nagy embercsoport társas hálózatának háromdimenziós képe (Alden Klovdahl szíves engedélyével)

Amint ezek az ábrák is jelzik, egy gráf működése olyan finom jegyeken múlhat, amelyek első látásra nem nyilvánvalóak. Az alábbi fejezetekben megismerkedünk néhány ilyen jellegzetességgel és meglátjuk, akármennyire kifinomultak is, a trükk voltaképpen jóval egyszerűbb, mint amit az ábrák sugallnak. Azt is megértjük, hogy a kicsi világ rejtélye – ami látszólag pusztán szeszély, játékos furcsaság – valójában sokkal fontosabb, mint elsőre gondolnánk. Egy ilyen kicsi világban könnyebben és gyorsabban terjednek a hírek, legendák, pletykák és divatok, mint egyébként. Például, hogy mikor melyik részvényt érdemes vásárolni vagy eladni, melyek az új üzleti technikák és stratégiák. Vagy – és ez sokkal riasztóbb – a kicsi világ hihetetlenül erősen összekapcsolt hálózata remek kiindulópontot jelent a járványos betegségek, például az AIDS elterjedéséhez. A kicsi világ titka tehát valóban több egyszerű kuriózumnál. Rávilágít az összeköttetések alapvető dinamikájára, amely kitörölhetetlenül egész lényünk, gondolkodásunk, viselkedésünk részét képezi.

2. A GYENGE KÖTELÉKEK EREJE

A hatékony tudományos kutatás kulcsa az egyszerűség

– Stanley Milgram^[15]

A magyar Erdős Pál, korunk egyik legnagyobb matematikusa, akinek sem lakása, sem családja, sem említésre méltó tulajdona

vagy vagyona nem volt. „Valami francia szocialista szerint a magántulajdon – rablás” – jelentette ki egyszer. – „Szerintem a magántulajdon – nyűg.”^[16] Egy fél évszázadon keresztül, egészen 1996-ban, nyolcvanhárom éves korában bekövetkezett haláláig Erdős kíméletlen tempóban száguldozott körbe a világon, mint valami zseniális nomád hobó, ezerötszáznál több dolgozat társszerzője volt és a legnehezebb problémákat oldotta meg, miközben kollégáinál a padlón aludt. „Nyitott az agyam” – jelentette ki, valahányszor felbukkant egy-egy matematikusnál, aztán lenyűgöző energiával dolgozott napokig, amíg végül már a házigazdája nem bírta energiával. Akkor aztán újból felkerekedett, és felkeresett egy másik matematikust, másik problémával.

Erdős erős kávékkal és amfetaminokkal táplálta intellektusát, összes holmiját egy „ütött-kopott bőröndben és egy budapesti áruházból származó jellegtelen narancssárga nejlonszatyorban tárolta”. A matematika volt élete középpontja. Egyik kollégája, Peter Winkler, az ATCT Laboratories munkatársa így emlékszik vissza rá: „Erdős egy füzettel kezében érkezett az ikrek bar micvójára. Ajándékot hozott a gyerekeknek – nagyon szerette a gyerekeket –, és kifogástalanul viselkedett. Az anyósom mégis majdnem kidobta. Azt hitte, az utcáról tévedt be valami csavargó gyűrött öltönyben, füzettel a hóna alatt. Könnyen megeshet, hogy a szertartás közben bebizonyított két-három tételt.”^[17]

Minden különcsége mellett Erdős a matematika Kevin Baconje is volt. A matematikusok büszkén beszélnek saját Erdős-számukról. Aki volt olyan tehetséges és szerencsés, hogy közös tanulmányt írhatott Erdőssel, annak az Erdős-száma 1. Aki nem magával Erdőssel, de olyasvalakivel írt közös tanulmányt, aki viszont Erdőssel írt, annak az Erdős-száma 2, és így tovább. Figyelemre méltó, hogy még nem találtak olyan matematikust, akinek 17-nél magasabb Erdős-száma lett volna, a legtöbben pedig – százezernél is többen – 5-ös vagy 6-os Erdős-számmal rendelkeznek. A matematikusok együttműködési hálózata, mint minden társas hálózat, maga is *kicsi világ*.^[18]

Erdősnek azonban a *kicsi világ* probléma szempontjából nem elsősorban ebben áll a jelentősége. Tegyük fel, hogy rajzolunk valahány pontot és egyeseket csak úgy találomra összekötünk. Ezt

nevezik a matematikusok *véletlen gráfnak*. Az 1950-es évek végén és a 60-as évek elején Erdős és Rényi Alfréd matematikus kollégája egy sor tanulmányt írt az ilyen gráfokkal kapcsolatos kutatásokról, megoldást keresve a velük kapcsolatos kérdésekre. Mint az előbbi fejezet több példáján láthattuk, a társas hálózatok gráfjaiban nincs nyilvánvaló szerkezet vagy rend. Minden látszat szerint egészen véletlenszerűek. Természetes kérdés tehát, nem juthatunk-e közelebb a véletlen gráfokkal a kicsi világok problémájához?

Mint már említettem, könnyű belátni, hogy a *kicsi világ* probléma valamivel több egyszerű kurióznál, és hogy a matematikusok feltehetőleg könnyen ki tudnák ismerni – ha kedvük és idejük engedné. Az igazság azonban másképpen fest. A gráfelmélet a matematika egyik ága, azzal foglalkozik, hogy egy halom különböző dolog milyen módon kapcsolódhat egymáshoz, függetlenül attól, hogy e dolgok valójában micsodák. Nézzük meg tehát gyorsan, mit mond a gráfelmélet a kicsi világ problémáról. A véletlen gráfok nyilvánvalóan különösen kiváló kiindulópontot jelentenek annak felderítésére, vajon hogyan kapcsolódhat egymáshoz ilyen szorosan hatmilliárd ember.

Összekapcsolódás

Tegyük fel, az lenne a feladatunk, hogy egy elmaradott ország városai között utakat építsünk. Jelen pillanatban nincs egyetlen út sem, csupán a térképen elszórtan elhelyezkedő ötven elszigetelt város. A városok összekötése a mi dolgunk, ám a feladat nem olyan egyszerű – számolnunk kell bizonyos megszorításokkal. Először is, ha azt kérjük, hogy egy adott helyre építsenek utat, a minden hozzáértés híján volt Útügyi Hivatal egész egyszerűen figyelmen kívül hagyja a kérésünket, és oda tesz az utat, ahova akarja, találmra két város közé. Amikor csak utat akarunk, mindig építenek egyet, csak éppen azt nem tudni, hova.

Ráadásul az ország szegény, úgyhogy a lehető legkevesebb utat szeretnék megépíteni. A kérdés tehát a következő: hány út elegendő? Ha korlátlan költségvetési források állnának rendelkezésünkre, azt mondhatnánk az Útügyi Hivatalnak, építsenek utakat egészen addig, amíg az utolsó két város is össze nincs kötve.

Ahhoz, hogy az ötven város mindegyikét összekössük a többi negyvenkilencel, 1225 utat kellene megépíteni. Ennyi bizonyára elegendő volna. De vajon legkevesebb hány utat kell építeni ahhoz, hogy elég biztosak lehessünk benne, bármely városból bármelyik másikba autóval el lehet jutni, anélkül, hogy letérnénk az aszfaltról? Ez a gráfelmélet egyik leghíresebb problémája. Természetesen nem feltétlenül városokról és utakról kell szólnia. Kifejeződhet házakat összekötő telefonvonalak, emberi ismeretségek, egy csomó páronként találomra összekötött pórázú kutya és még millió más dolog alakjában is. A lényegi problémán mindez mit sem változtat, az pedig semmiképpen sem könnyű feladat. Nem szégyen, ha nem találjuk rá a megoldást. Éppenséggel Erdős tehetsége kellett a megoldáshoz, ami 1959-ben meg is történt. A konkrét esetben, mint kiderült, 98 út elegendő, hogy a városok nagy többsége össze legyen kötve. Ez ugyan soknak tűnhet, az ötven város között elvileg megépíthető 1225 útnak azonban mindössze 8 százaléka. Meglehet, az Ütügyi Hivatal rászolgált a rossz hírére, de találomra összekötő utakat építeni nem is olyan rossz hatékonyságú megoldás, mint gondolnánk.

A matematikusokat rendszerint az egyedi problémáknál jobban érdeklik az általánosságok, és ebben Erdős sem volt kivétel. Számukra a matematika a fizikai valóságnál mélyebb és tökéletesebb valóságról szól, amelyben logikai bizonyításokkal kereshetik az igazságot, bár ennek a valóságnak a mélysége végső soron kimeríthetetlen. „A matematika – mondta egy ízben Erdős – az egyetlen végtelen emberi tevékenység. Elképzelhető, hogy az emberiség idővel mindent megtud a fizikáról vagy biológiáról. A matematikáról azonban biztosan nem, mert annak a tárgya végtelen... Ezért érdekel engem kizárólag a matematika.”^[19]

Ebben a gráfelméleti problémában azonban Erdős alapos munkát végzett. Nem csupán ötven pontra, hanem minden elképzelhető esetre megoldotta a problémát. Felfedezte, hogy akárhány pont esetében is a véletlenszerűen elhelyezett összeköttetések már kis százalékban elegendőek, hogy többé-kevésbé teljes összefüggő egészet hozzanak létre. És még meglepőbb, hogy a hálózat növekedésével a százalék egyre kisebbre apad. Egy háromszáz pontos hálózatnál, ha a köztük meghúzható majdnem ötvenezer

kapcsolat nagyjából 2 százaléka megvan, az már elegendő a hálózat teljes összekapcsolásához. Ezer pontnál ez az arány 1 százalék alatt marad, tízmillió pontnál pedig mindössze 0,0000016%.^[20]

Ebből a nézőpontból már adódik egy meglehetősen felismerés a globális társadalmi hálózat természetére nézve. Legalábbis elképzelhető, hogy léteznek olyan emberek a Földön, akiket közvetítő kapcsolatok semmiféle láncolata nem köt össze. Vegyünk egy üzbegisztáni krumpliárust és egy ecuadori kávéültetvényen dolgozó napszámost! Vajon biztosak lehetünk-e benne, hogy ha kapcsolatok mégoly hosszú és szövevényes láncolatán keresztül is, de össze vannak kötve? Erdős matematikai eredménye alapján a válasz, úgy tűnik: igen. Hiszen egy hatmilliárd emberből álló hálózatnál Erdős számítása alapján a szükséges hányad mindössze 0,000000004, azaz négy milliárdod.

Ez a szám annyit jelent, hogy ha az emberek többé-kevésbé véletlenszerűen kapcsolódnak össze, egy embernek átlagosan nagyjából minden kétszázötvenmillió embertársa közül csupán egyet kell ismernie ahhoz, hogy a világ egész népessége egyetlen teljesen összekapcsolt társadalmi hálózatot alkosson. Mindent összevetve ez körülbelül huszonnégy ismerőst jelent mindannyiunknál, ami aligha túl nagy szám. Az *ismeretség* minden értelmes definíciója szerint valószínűleg mindannyiunknak jóval több ismerőse van. Matematikai értelemben tehát a legkevesbé sem lenne meglepő, ha közvetítő társas kapcsolatokon keresztül a világ bármely két embere össze lenne kapcsolva. Erdős briliáns eredménye jóformán bizonyítja ezt.

Sajnos ez a gondolatmenet nem szól arról a még inkább zavarbaejtő vonatkozásról, hogy milyen kicsinek tűnik a társas világ. Hogy egyetlen társas egészé kapcsolódunk, önmagában még nem jelenti, hogy bármely két ember között kisszámú lépés szükségképpen elegendő. Üzbegisztán és Ecuador, vagy a föld más távoli pontjai között talán 100, 1000 vagy akár 100 000 lépés is szükséges lehet. Hogy erre választ kaphassunk, újabb kérdést kell feltennünk a random gráfokról.

Térjünk vissza a hatmilliárd pontos papírlaphoz, és tegyük fel, hogy találomra vonalakat húzunk a párok között, előbb itt, aztán ott, amíg minden pontnak hihető számú, mondjuk ötven vagy száz „barátja”

nem lesz. Vajon ettől az egész világ hat lépés távolságra kerül egymástól? Vagy valami más következik belőle?

Barátaink barátai

Kiindulásképpen koncentráljunk egyetlen személyre – mondjuk Mabel nagynénikénkre Floridában! És az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a föld minden lakójának nagyjából ötven ismerőse van! Ez a szám persze csökkenhet vagy nőhet, attól függően, hogyan definiáljuk az *ismeretséget*. Mint azonban látni fogjuk, a pontos szám nem lényeges eleme annak, hogy a világ ilyen kicsi. Úgyhogy az egyszerűség kedvéért maradhatunk az ötvennél. Papírlapunkra a Föld minden lakójához egy – összesen tehát hatmilliárd – pontot rajzolunk. Na most egyikük, Mabel nagynéni közvetlen összeköttetésben áll nagyjából ötven másikkal, akik a maguk részéről újabb ötvennel. Mabel néni tehát a hatmilliárd közül 2500 emberrel kétlépéses összeköttetésben áll. Nem csekélység.

Ahogy tovább haladunk, a számok még lenyűgözőbbek lesznek. Minden egyes további összeköttetési lépés ötvenszeresére növeli ezt a számot. Három lépésnél $50 \times 2500 = 125\,000$, négy lépésnél pedig $50 \times 125\,000$, azaz 6 250 000 jön ki. Öt, illetve hat lépésnél ez az érték 312 500 000-re, illetve 15 625 000 000-ra dagad. Vagyis hatlépéses összeköttetésnél 15 milliárdnál nagyobb számhoz jutunk – ez pedig már elég ahhoz, hogy a Földön bárkit magában foglaljon. Ebben az a tanulság, hogy az ismételt szorzás révén a számok igen gyorsan nőnek. Ennek folytán pedig *úgy tűnik*, a rejtély, amelyen elidőztünk, voltaképpen egyáltalán nem is probléma. Mielőtt azonban túlságosan elbiznánk magunkat, gondoljuk végig alaposabban, mit is árul el ez a véletlen gráf, mert érvelésünkkel, és rá alapozott „nyilvánvaló” magyarázattal valami súlyos hiba van.

Mabel néni egy kisvárosi házban lakik, templomba jár, a helyi boltokban vásárol, hetente három este kártyázni jár. Messzemenően normális életet él. És mégis, mintha érvelésünk szerint nem így volna. Mintha azt állítanánk, hogy Mabel néni társadalmi élete egészen rendkívüli. A véletlen gráfok kapcsolatai nincsenek tekintettel a bennük szereplő emberek fizikai közelségére és hasonló szokásaira. Semmivel sincs nagyobb esélyünk arra, hogy

szomszédainkat vagy munkatársainkat ismerjük, mint hogy eszkimókat vagy ausztráliai bennszülötteket. Ha megrajzolnánk ezt a véletlen gráfot, összegabalyodott spagettit látnánk, amely Mabel néni demokratikus módon az egész Földről származó emberekhez kötné. Több ismerőse lenne Oroszországban, Kínában és Indiában, mint a saját városában. Ez pedig finoman szólva is nevetséges.

Társas lények vagyunk, így környék, munkahely, iskola, falu és szakma szerinti közösségekhez tartozunk. A munka révén ismernek kollégákat, akik nemcsak engem ismernek, hanem egymást is. A kártyázás révén Mabel bizonyára szert tett egy csomó baráttra, akik egymással is barátságban vannak. A lényeg, hogy az emberek határozottan nem találomra kapcsolódnak a világon bárhova. És ez az egyszerű tény, mondhatnánk a társas kapcsolatok „fürtösödése” semmivé foszlatja a véletlen gráfra vonatkozó számításainkat, ami most alig tűnik többnek pusztá ujjgyakorlatnál.

Lehet, hogy Mabel néni valóban ismer ötven embert, akik mindannyian ismernek ötven másikat. Ám a kártyatársaság és a templomi barátok sok közös embert ismernek, akárcsak a szomszédok vagy a vásárláskor megismert emberek. Mabel minden ismerőse ötven embert ismer, de valószínűleg nem ötven *különböző* embert – nagyon sok az átfedés és ismétlődés. A véletlen gráf nem ad számot a társadalmi kapcsolatok egyik alapvető tényéről. A valóságos társas hálózatokban a számok távolról sem nőnek olyan gyorsan, mint ahogy az egyszerű kalkuláció diktálná.

Talán mi bonyolítjuk túl a dolgokat. Térjünk hát vissza hatmilliárd pontos papírlapunkhoz, és próbáljuk értelmesebben összekötni az embereket! Minden egyes embert a hozzá legközelebb eső ötven másikkal kössük össze! Ez a fajta gráfszerkesztés nyilvánvalóan jobban megragadja a közösség eszméjét – az emberek többnyire a hozzájuk közel lakókat ismerik, kis területen belül sok embernek vannak közös ismerősei és barátai. Ezt a gráfot megrajzolva talán inkább egy kifinomult hálóra, mint összegubancolódott spagettire emlékeztető ábrát kapnánk. Ha ilyen módon összekötöttük az embereket, feltehetnénk a kérdést, hány lépéses távolságot kaptunk? A válasz sajnos nem túl biztató. Két-két ember számos esetben nagyjából a kör ellentétes oldalán helyezkedik el. Ha akár 50-esével vagy 100-asával lépünk is, hatmilliárd embernél durván

10 000 000 lépést igényelne, amíg a lap egyik oldaláról a másikra jutunk. Ez pedig távolról sem kicsi világ.

Így aztán két szék közt a pad alá esünk. Egyfelől Erdős véletlen gráfjai azt mutatják, hogy egy hatmilliárdos világ elvben egészen kicsi lehet. Ha társadalmi kapcsolataink valóban véletlenszerűek lennének, a hatlépéses távolság nem is volna meglepetés. A véletlenszerű összekötés azonban mindenestül kiiktatná a közösségek és társadalmi közösségek lényegét alkotó helyi kapcsolatok fűrtjeit. A véletlen gráfok egy elképzelhető világot írnak le, de nem a valóságos világot. Másfelől a helyi kapcsolatokra épülő rendezett gráfok barátok és ismerősök sokkal életszerűbb fűrtjeit teszik lehetővé – csak éppen ezeknél nem kicsi a világ. Vagyis a kicsi világ paradoxon megoldatlan marad.

Talán nincs is erre egyszerű magyarázat. Talán valami igazán különös, ködös jelenséggel állunk szemben. Carl Jung, a pszichológus valamikor egy kollektív tudattalan létezését feltételezte, olyan archaikus lelki kapcsolatok hálózatát, amelynek általában nem vagyunk tudatában. Jung nézete szerint e rejtett személyközi kapcsolatok adhatnának számot mindenfajta különös egybeesésre, mint amikor például az ember hajnali négykor felriad álmából, és csak később tudja meg, hogy sok ezer kilométerrel távolabb éppen ebben a pillanatban halt meg valaki, aki kedves volt neki. Talán minden ilyen kicsi világ jellegű véletlen ezzel a kollektív tudattalannal függ össze. Talán nem is véletlenekről van ilyenkor szó, hanem olyasmiről, ami a pszichológiai valóság valamely rejtett szintjére utal. E magyarázat erősen kacérkodik a természetfeletttel. Van azonban egyszerűbb lehetőség is. Lehetséges, hogy a társadalmi kapcsolatokat leíró hálózat se nem rendezett, se nem véletlen, hanem valahol a kettő között áll? E két szélsőség között nem lehetségesek-e olyan, speciálisan szerveződő és egyedülálló tulajdonságokkal bíró hálózatok, olyan gráfok, amelyek kicsi világokat alkotnak, ám valós képet adnak a társas kapcsolatok csoportjairól is? Társas hálózatainkat senki nem tervezte meg. Számptalan történeti esetlegesség – emberek véletlenszerű találkozása – alakította ilyenné. Akármennyire véletlennak tűnik is, mindazonáltal valami különleges és finoman kialakított szerkezet sejlik fel benne.

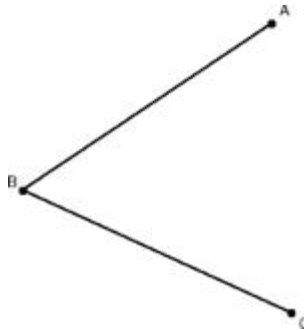
Sajnos ezt a zavaros senki földjét a gráfelmélet szakemberei, így a legendás Erdős Pál is jóformán érintetlenül hagyták. A matematikusok nemhogy nem tettek lényegi előrelépést, azt sem ismerték fel, hogy ez a köztes világ egyáltalán érdemes a vizsgálódásra. Következésképpen a háromszáz éves gráfelméletben még csak nem is utal arra semmi, hogyan kezdhetnénk hozzá a káosz és rend között fekvő, kevéssé definiált terület feltárásához. Harminc évvel ezelőtt azonban egy szociológus belefogott a közösségeket összekötő legalapvetőbb társas kapcsolatok felderítésébe. És Mark Granovetter mindeközben nem is álmodott arról, hogy a gráfelmélet egy egészen új területének küszöbéig jut. Pedig pontosan ezt történt.

Világokat összekötő hidak

1973-ban granovetter a baltimore-i John Hopkins Egyetem ifjú professzora volt. Stanley Milgram alig három évvel azelőtt publikálta utolsó dolgozatát a kicsi világ jelenségről, és korának számos szociológusához hasonlóan Granovettert is magukkal ragadták, mi több, elkápráztatták Milgram eredményei. A többséggel ellentétben azonban neki volt valami halvány sejtése, miben állhat a kicsi világok rejtélye. Az eddig felvázolt társas hálózatokban egy szóval sem említettük az emberek közti kapcsolatok erősségét. Egyes kapcsolatok nyilvánvalóan erősebbek másoknál. Nagyjából azt mondhatnánk, erős kapcsolatok állnak fenn családtagok, jó barátok és az idő nagy részében együtt dolgozó kollégák, és gyenge kapcsolatok az egyszerű ismerősök között. Pusztán abból persze, hogy különböző erősségű kapcsolatok léteznek, még nem sok minden következik. Kiváló tudósok azonban sok esetben közhelyekből, mindenki előtt ismert tényekből és gondolatokból indulnak ki, és ihletett elemzéssel a látszólag szikkadt sivatagban a megismerés kiapadhatatlan forrására bukkannak. Granovetter munkássága kiváló példát szolgáltat erre.

Granovetter arra gondolt, ha Paul és Bill mindketten jó barátaim, nagy valószínűséggel egymással is jóban vannak. Végül is a barátok sok mindenben osztozni szoktak. Lehet, hogy ugyanazon a környéken laknak, együtt dolgoznak, ugyanabba a kocsmába járnak

szórakozni. Ha két barátomnak sok köze van hozzám, rendszerint egymásban is sokminden közös. Továbbá, ha mindketten együtt szoktak lenni velem, valószínű, hogy egymással is töltenek időt – ha máskor nem, amikor mindhárman együtt vagyunk. Ha tehát valaki erős kapcsolatban áll két másik emberrel, rendszerint ők ketten is erősen kapcsolódnak. Vannak persze kivételek, de általában ez a helyzet.



4. ábra

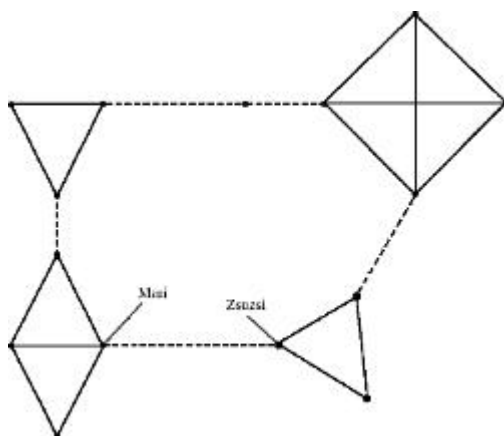
Egy valószínűtlen társas helyzet. Ha B egyén erős társas kapcsolatban áll A és C másik egyénekkel, erősen valószínű, hogy A és C között is lesz társas kapcsolat

A gráfban ez annyit jelent, hogy az erős kapcsolatok nem elszigetelten léteznek – jellemzően inkább háromszöget alkotnak ([4. ábra](#)). Az emberek közti erős kapcsolatok majdnem mindig így jelennek meg. Ez a gondolat, ha mégoly öncélú szórszálhasogatásnak tűnik is, amint Granovetter rámutatott, paradox következtetéshez vezet. Tegyük fel, hogy valamiképpen eltávolíthatnánk egy erős kapcsolatot a társas hálózatból. Milyen hatással járna ez az összeköttetéshez szükséges lépések számára nézve? Jóformán semmilyennel. Ezután is ugyanúgy elérhetnénk a hiányzó kapcsolat egyik végéből a másikat mindössze két lépésben, a háromszög megmaradó két élén haladva. Vagyis bármelyik erős kapcsolatot kitörölhetjük anélkül, hogy ezzel nagyban befolyásolnánk a hálózatban fennálló társadalmi távolságokat.

Ez attól paradox, hogy úgy gondolhatnánk, az erős kapcsolatok tartják össze a hálózatot, alkotják annak lényegét. Az összeköttetéshez szükséges lépések számát tekintve azonban nem ez a helyzet – éppenséggel alig számítanak. A lényeges

kapcsolatok, mint Granovetter a továbbiakban megmutatta, az emberek közt fennálló gyenge kapcsolatok, elsősorban az úgynevezett társadalmi hidak.

A hétköznapi nyelvben a híd két pont között tesz lehetővé könnyű közlekedést. Híd ívelhet át egy megáradt folyón vagy egy mély völgyön, és ha nem állna ott, sokkal nehezebb lenne eljutni az egyik partról a másikra. A híd társadalmi értelemben is hasonló jelentéssel bír. Tegyük fel, hogy Mary és Sue ismerősök, tehát a társas gráfban közvetlenül egy vonal köti össze őket. Ha azonban ezt a közvetlen kapcsolatot kiiktatnánk, elég sok lépésre lenne szükség, hogy másokon keresztül újra összeköthessük őket (5. ábra). A Granovetter dolgozatából átvett példán az erős kapcsolatokat folytonos, a gyenge kapcsolatokat szaggatott vonallal rajzoltam meg. Mary és Sue kapcsolati távolsága egy lépésről nyolcra ugrik, ha eltávolítjuk közülük az egyetlen összekötő vonalat. Ez a kapcsolat afféle társas híd, a társadalom szövedékének lényegi összekötője.



5. ábra

A társas „híd” fogalmát ábrázoló hálózati diagramm. Ebben a társas helyzetben a Mari és Zsuzsi közti kapcsolat híd, mert eltávolításának drámai hatása lenne kettejük társas távolságára nézve. Így ez a távolság mindössze egy. Ha nem lenne, összesen nyolc kapcsolat láncolatán át lehetne eljutni egyiküktől a másikukig.

Granovetter végül is egy igen finom, de rendkívül fontos kijelentést tesz. Miután a hidak ennyire fontosak a társas hálózatok összekapcsolásában, erős kapcsolatoknak vélhetnénk őket – mint amilyenek például jó barátok közt állnak fenn. Amint azonban láttuk,

az erős kapcsolatok ebben a tekintetben szinte soha nem lényegesek. Minden különösebb hatás nélkül kiiktathatóak. Az igazság éppen ellenkezőleg az, hogy a hidakat szinte mindig gyenge kapcsolatok alkotják. Az elemi logika kardját ügyesen forgatva Granovetter meglepő következtetésre jutott: a gyenge kapcsolatok gyakran lényegesebbek az erőseknél, mert a társas hálózatok létfontosságú összeköttetéseit alkotják. Úgy átvágják a társadalom kusza útjait, hogy ha kiiktatjuk őket, az egész hálózat szétesik. Granovetter 1973-as klasszikus tanulmánya *A gyenge kötelékek ereje*^[21] elegáns címet viseli. Központi gondolata furcsán hangzik, ám a valóság nyelvére átültetve intuitíve egyre ésszerűbbnek tűnik. Az embert erős kapcsolatok kötik a családtagok, munkatársak, barátok sokaságához. Ha az ezek valamelyikéhez vezető közvetlen összeköttetést ki is iktatnánk, közös barátokon, más családtagokon keresztül valószínűleg továbbra is rövid úton összeköttetésben maradna vele. Tehát személyes értelemben akármilyen fontos is egy ilyen viszony, akármilyen nagy szerepet játszik is társas tevékenységeinkben, egy ilyen erős kapcsolat nem valószínű, hogy olyan lényeges híd lenne, amely a társas hálózatot összetartja. Vannak azonban olyan ismerőseink, akikkel ritkán találkozunk és ritkán érintkezünk, például akikkel együtt jártunk egyetemre, de már akkor sem ismertük túl jól egymást. Ezek a gyenge kapcsolataink. Az a fickó, akivel egyszer tíz évvel ezelőtt nyáron együtt dolgoztunk, és aki most Ausztráliában, Melbourne-ben él, a halászlé iparban dolgozik és minden szempontból más társas környezetben mozog – nos, ez a kapcsolat társas híd lehet. Néhány évente egyszer, ha levelet váltunk egymással. Ha azonban ez a tünékeny kapcsolat megszakadna, talán soha nem találkoznánk vagy nem is hallanánk egymásról.

Vegyük észre, hogy az ilyesfajta hidak nem egyszerűen két embert kötnek össze. Távoli és máskülönben meglehetősen idegen világokat hidálnak át. A melbourne-i fickóhoz fűződő halvány kapcsolat híján megeshetne, hogy senkivel nem volna kapcsolatom arról a tájról. Ennek révén azonban kétlépéses kapcsolatban állok az ő összes ismerősével, háromlépéses összeköttetésben mindazokkal, akiket ők ismernek, és így tovább. Az erős kapcsolatoknak nincs ilyen „kitörő” hatása – olyanokkal kötnek

össze, akikkel amúgy is szoros kapcsolatban állnék.

A világok közt húzódó hidak tehát drasztikus következményekkel járnak. És nyilvánvalóan közülük van ahhoz, amitől „kicsi a világ”. Ha a hatlépéses távolság valóban megfelel a valóságnak, hat lépésnek elegendőnek kell lennie, hogy bárkitől bárkihez eljussunk. A társas útlevegősök minden bizonnyal döntő szerepet játszanak ebben. És hogy ezt még jobban megvilágítsa, Granovetter egy újabb ravasz ötlettel állt elő.

Hálózatépítés

A „hálózatépítés” kifejezés az 1980-as évek egyik kulcsszava volt. Eszerint, aki állást keres vagy valami egészen sajátos kérdésben van szüksége tanácsra és fogalma sincs, mihez kezdjen, legjobb, ha társadalmi hálózatának messzire nyúló karjait használja ki. Kinyújtja csápjait barátai-ismerősei felé, és reménykedik, hogy valahol majd csak kipottyan egy használható információ-gyöngyszem. Talán éppen nagybátyja szomszédjának egyik barátja a keresett személy.

Ha azután a hídképző kapcsolatoknak ekkora jelentősége van a társas hálózatokban, azt várhatnánk, hogy a hálózatképződés folyamatában is döntő szerepet játszanak. Amikor az ember állásügyben kinyújtja a csápjait, akkor valószínűbb-e a siker, ha egy jó barátjának, vagy ha egy gyengébb kapcsolatának szól? Jó szociológus módjára Granovetter nem elégedett meg azzal, hogy pusztán spekulált a kérdéssel. Okos kísérletet állított össze ennek kiderítésére. Sok olyan embert kérdezett ki, akik kapcsolataik révén nemrégiben találtak állást, és azt vizsgálta, milyen természetű viszonyban állnak azzal a kapcsolattal, akinek döntő szerepe volt abban, hogy eljutottak a munkaadóhoz. Az ember naiv módon azt hihetné, lényegesebbek az erős kapcsolatok. Az embert végül is jobban ismerik a barátai, velük gyakrabban találkozik, nekik fontosabb, hogy segítsenek rajta.

Granovetter ezzel szemben azt találta, hogy a megkérdezettek mindössze 16 százaléka kapott állást olyasvalakinek a közbenjárására, akivel gyakran találkozik, 84 százalék pedig csak alkalmanként vagy ritkán látott közvetítő révén. Az „állást keresek”

információ a hálózatba juttatva hatékonyabban és több emberhez jutott el a gyenge, mint az erős kapcsolatokon keresztül. A magyarázat elég világosnak tűnik. Bizonyára könnyű dolog barátok felé kinyújtani csápjainkat, ám a hír ilyenkor nem terjed túl gyorsan. Miután barátainknak közös barátaink vannak, kis időn belül sokan másodszor, harmadszor is meghallják a hírt. Ha azonban szándékainkat távoli ismerőseink, sohasem látott rokonaink és mások felé is kisugározzuk, a hírnek legalábbis esélye van, hogy távolabbra eljusson – áttörjön társadalmi csoportunk határain és sok ember közé kerüljön. „Az egyén számára” – vonta le a következtetést Granovetter – „rendkívüli erőforrást jelentenek a gyenge kötelékek”.^[22]

Egy néhány évvel korábbi tanulmány nagyjából ugyanerre az eredményre vezetett. 1961-ben Anatol Rapoport és W. Horváth pszichológusok felkerestek egy michigani középiskolát, és megkérték a diákokat, legjobb barátjukkal kezdve sorolják fel nyolc legkedvesebb társukat. E listák alapján tárták fel azután a diákok közti társas kapcsolatrendszerét. Egy tíz diákból álló csoportból kiindulva mindenkinek felírták a két legjobb barátja nevét, majd az ő két-két barátjukét, és így tovább. Ezekben az erős kapcsolatokon kifelé haladva Rapoport és Horváth végül is megrajzolta mindazon diákok kapcsolati térképét, akik erős kapcsolatokkal kötődtek a kezdeti tíz diákhoz. Ez az erősen kötődő csoport a teljes iskolának csupán apró töredékét tette ki.

Rapoport és Horváth ezek után a gyenge kapcsolatokkal is megismételte az eljárást. Most minden egyes diák listájáról a két legelső nevet írták fel, és addig bővítették a fűrtöt, amíg a tíz első diákhoz gyenge kapcsolatokon keresztül kötődők teljes térképét meg nem kapták. Ez a gyengén összekapcsolt fűrt az iskola lényegesen nagyobb részét alkotta.^[23]

Ha tehát az első tíz diáktól kiindult volna valamilyen pletyka, saját társas csoportjuknál sokkal nagyobb körbe nem jutott volna el. Ezzel szemben egy gyengébb kapcsolatokon át terjedő hír sokkal messzebb jutna. Akárcsak az álláskeresők esetében, a gyenge kapcsolatokon át terjedő információnak nagyobb esélye van, hogy több emberhez elérjen.

1983-ban Mark Granovetter visszatért a társas hálózatok

témaköréhez és lényegre törő képet adott arról, hogy mi minden következik az erős és gyenge kapcsolatokból. Egy Ego néven elképzelt személy társas kapcsolatrendszerét vette szemügyre:

Egónak lesz valahány hozzá szorosán kötődő barátja, akik egymással is kapcsolatban állnak – a társas szerkezet sűrű szövedékét alkotva. Emellett lesz egy sor ismerőse is, akik közül kevesen ismerik egymást. Viszont mindezen ismerősöknek valószínűleg megvannak a maguk közeli barátai, ilyesformán összefonódnak a társadalmi szerkezet sűrű szövedékével, csak éppen ki-ki másikkal, nem ugyanazzal, mint Ego. Ennél fogva az Ego és ismerősei közti gyenge kapcsolat nem csupán banális ismeretségi kötelék, hanem lényeges híd közeli barátok sűrű szövedékei között... Ami azt illeti, gyenge kötelékek híján e szövedékek között egyáltalán nem létezne kapcsolat.^[24]

A gyenge ismeretségek közti áthidaló kapcsolatok döntő jelentősége Granovetter alapvető felfedezése. Gyenge kapcsolatok nélkül a közösség elszigetelt klikkekre esne szét.

Világméretű forradalom

Thomas Kuhn, nagy hatású tudománytörténész szerint a forradalmi és a közönséges tudomány között a lényegi különbség abban áll, hogy az előbbi a változás hagyományromboló, nem pedig hagyományörző formájával jár. A megszokott tudományos munka kiterjeszti az elméleteket, pontosítja a megfigyeléseket, és egy felhalmozási folyamat során egyre több tudást halmoz fel. A tudományos forradalom ezzel szemben közkedvelt eszmék elvetésével, helyettük újak elfogadásával jár – a tudós új megvilágításban kezdi látni a világot.

Granovetter munkássága nem indított el számottevő tudományos forradalmat, legalábbis nem azonnal. Egyszerű, ám megdöbbentő felfedezései a társadalmi hálózatok jellegével és a gyenge kapcsolatok jelentőségével – különösen pedig a némelyikük által betöltött áthidaló kapcsolat funkcióval – kapcsolatban majd' harminc éven át jóformán elkerülte a tudóstársak figyelmét. Eközben Milgram bizarr felfedezése, a hatlépéses távolság, megmagyarázatlan maradt. Valójában nem sok tudós gondolta, hogy a kicsi világ

problémája komoly megfontolást érdemel. Pedig e két gondolat sokban hozzájárult, hogy előkészítse a talajt egy tudományos forradalom számára, amelynek hullámverése ma olyan távoli területeken is érzékelhető, mint az epidemiológia, a neuronkutatás vagy a közgazdaságtan.

„A felfedezés első szabálya” – tréfálkozott Pólya György matematikus, – „a tehetség és a jószerencse. A felfedezés második szabálya a »Siztfleisch« és a jó ötlet kivárása.”^[25] A tudósok csoportjának és a kicsi világ problémájának mintegy harminc évet kellett várni, amíg valakinek az agyában megszületett a nagy gondolat. Mára elérkezett az idő, hogy visszatérjünk az első fejezetben említett dolgozathoz, amely egy szép tavaszi napon a *Nature* szerkesztőinek asztalán landolt. Ebben Duncan Watts és Steve Strogatz, a Cornell University kutatói ügyesen kapcsolták össze Granovetter és Milgram gondolatait, és utat mutattak a tudósoknak, hogyan mélyedhetnek el a bonyolult hálózatok rend és káosz közti eszmei alvilágában.

3. KICSI VILÁGOK

A matematika izgalmas paradoxonja: hogy művelői akármennyire nem vesznek tudomást a világról, annak megértéséhez következetesen a lehető legjobb eszközöket adják kezünkbe.

– John Tierney^[26]

Alkonyodik a pápua új-guineai őserdőben. Amint elhal az arák és papagájok kiáltása és a fakúszó kenguruk éjszakai vackukra húzódnak, milliónyi szentjánosbogár kel szárnyra és hunyorgó csillagok módjára fel-felvillan. A szentjánosbogarak cikázó felvillanásainak finom, fénylő káosza egy ideig mozgalmassá tesz az elsötétülő eget. Mihelyt aztán leszáll az éj, a természet egyik legkülönösebb látványossága veszi át a káosz helyét. A szentjánosbogarak kezdetben párokat, később hármas, tízes, százas, ezres csoportokat alkotva úgyszólván tökéletes szinkronban kezdenek hunyorgni. Éjfélre egész fák és facsoportok villannak felle, a neonreklámok vakító fényével.

„Képzeld el egy tíz-tizenöt méter magas fát” – írta valamikor egy szemtanú –, „amelynek minden levelén szentjánosbogár ül, és az összes szentjánosbogár tökéletes összhangban villan fel, másodpercenként két-háromszor, miközben a felvillanások szünetében a fa teljes sötétségbe borul... Majd egy százötven méteres folyamszakaszt mangrove fák összefüggő sorával, amelyek minden levelén teljes egységben villannak fel a szentjánosbogarak, a sor két végén levők csakúgy, mint a közbülsők. Akinek tehát elég élénk a fantáziája, képet alkothat erről a megdöbbentő látványosságról.”^[27] De nem egyszerű látványosság ez. Tudományos rejtély. Nem titok, miért produkálnak fényfelvillanásokat a hím szentjánosbogarak – hogy párt vonzzanak magukhoz. Az sem érthetetlen, mi előnye származik egy csapat hímnek abból, hogy egyszerre villannak fel: mint szervezett egység sokkal erősebb fényjelzést tudnak adni, így a párválasztásért folyó küzdelemben tútesznek bármely nem szinkronizált csoporton. A nagy kérdés a dolog mechanizmusa. Az átlagos szentjánosbogár értelmi képességei nem túl jelentősek. Honnan tudja tehát mindegyikük, mikor villanjon fel és mikor ne?

1996 telén a Cornell University behavazott campusán ez a kérdés kötötte le Duncan Watts gondolatait, ami matematikus létére kissé különös. Watts azonban tisztában volt vele, hogy a szentjánosbogarak esete egy sokkal tágabb körű jelenséget példáz. A tücskök nem fény-, hanem hangimpulzusokat adnak ki – lábukat összedörzsölve ciripelnek – és egy forró nyáréjszakán összehangolt ciripelésükkel nem kis hatást váltanak ki. Watts éppúgy érdeklődött a szentjánosbogarak és tücskök, mint az emberi szív egyes specializálódott sejtjeinek különös működése iránt. A „szívütem-szabályozó” olyan szívizomsejt-nyaláb, amelynek alkotó sejtjei mind elektromos jeleket küldenek a szív többi részébe, ezáltal kiváltva összehúzódásukat. Akárcsak a tücskök és szentjánosbogarak, ezek a sejtek is szigorú összhangban sülnek ki, és minden együttes kisülés egyetlen szívdobbanást vált ki. Ha a szívütem-szabályozó elveszítené önuralmát, az ember nem sokáig maradhatna életben. Hogyan működik tehát? Hogyan képes szinkronizálni működését egy halom sejt, tücsök vagy akármi más bármilyen külső segítség vagy összehangolás híján? És ez nem pusztán biológiai, hanem

matematikai kérdés is, mert úgy tűnik, tücskök, szentjánosbogarak és szívizomsejtek problémáján túlmenően a természet egyik általános szervező elvére mutat rá. Mellesleg az utóbbi két évtizedben az idegélettan kutatói azt is felfedezték, hogy az érzékelés bizonyos legalapvetőbb funkcióinak lényegét az agyi neuronok millióinak egyidejű kisülése alkotja. Valami hasonló játszódik le, amikor a többszáz főnyi lelkes közönség tapsa olykor ritmikái tökélyt ér el. Watts abban bízott, hogy a kérdés matematikai megközelítésével e rejtélyek némelyikét egycsapásra meg tudja oldani.

Watts tehát kemény fába vágta a fejszékét, de szerencsére nem a nulláról indult. Majd háromszáz évvel ezelőtt Christian Huygens holland fizikus egyik reggel az ágyában fekvé észrevette, hogy a fal mellett álló két óra ingája rejtélyes módon tökéletes összhangban mozog. Megütközve ezen felkelt ágyából és megzavarta az egyik inga mozgását. Egy perc alatt azonban megint visszataláltak a közös ritmushoz. Huygens ekkor az egyiket átvitte a szoba távoli sarkába, mire az órák rövid idő alatt kiestek a szinkronból. Amikor visszahelyezte őket az eredeti helyükre, megint megtalálták az összhangot. Amint később kiderítette, az órák a padló finom rezgéseiről révén hatottak egymásra, ingáik ezáltal tudtak szinkronizálódni.

1966-ra azonban Watts és doktori dolgozatának témavezetője, Steve Strogatz már úgyszólván bizonyos volt abban, hogy a szentjánosbogarakkal, tücskökkel és szívizomsejtekkel valami hasonló történik. Ami azt illeti, hat évvel korábban Strogatz és Renato Mirello matematikus már készített egy számítógépes szimulációt a Huygens-féle órákhoz nagyban hasonló módon együttműködő „virtuális szentjánosbogár-seregre”. Abból a feltevésből indultak ki, hogy az egyik szentjánosbogár felvillanó fénye arra sarkallja a többi, akik őt látják, hogy maguk is valamivel hamarabb felvillantsák a fényüket, mint egyébként tennék. Szimulációjukban Mirello és Strogatz egy teljességgel rendezetlenül felvillanó szentjánosbogár-seregből indult ki, és azt találta, idővel ez az ingerhatás – hogy az egyik szentjánosbogár felvillanása egy kevéssel korábbi felvillanásra készíti a többieket – a csapaton belül összehangoltan villogó csoportokat hozott létre. Minden csoport

egyre több szentjánosbogarat gyűjtött magába, a nagyobb csoportok „felfalták” a kisebbeket, amíg végül az egész seregből egyetlen összehangoltan villogó csoport lett.^[28]

Ez azonban csak a számítógépben történt meg. A matematikai modellezés titka olyan modellt készíteni, amely elég egyszerű ahhoz, hogy megértsük a működését, de elég részletgazdag, hogy köze legyen a valósághoz. Mirollo és Strogatz pedig itt ütközött nehézségbe. Be tudták bizonyítani, hogy a felvillanásaikkal egymást serkentő szentjánosbogár-seregek jóformán mindig össze kell tudni hangolódni. Matematikai gondolatmenetük azonban csak azzal a feltevéssel működött, hogy egy szentjánosbogár felvillanása az *összes többire* pontosan ugyanúgy hat, függetlenül attól, milyen közel vagy távol vannak hozzá – ami pedig némileg abnormális elvárás. Egy futballmeccsen az ember jobban hallja borzalmas szomszédainak a kiáltásait, mint a stadion túlsó felén ülőket. A tücsköknél és szentjánosbogaraknál is ugyanígy kell lennie.

Matematikai szemszögből ez volt Watts igazi problémája: meghaladni ezt a korábbi munkát és kitalálni, hogyan kapcsolhatja össze „valószínűbben” a szentjánosbogarakat. Még abban sem lehetett biztos, hogy a mintázatnak egyáltalán van jelentősége. Vajon a szentjánosbogár-sereg összehangolódik attól függetlenül, hogy melyik szentjánosbogár „beszél” melyikhez? Akárhogy is, milyen a megfelelő mintázat? Watts minden fellelhető szentjánosbogár-szakértőt kifaggatott, de mindhiába. „Én biztosan nem tudtam a választ” – emlékezik vissza –, „de úgy tűnt, senki más sem.”

Egy kósza gondolat

Watts egyszer éppen ezen a problémán tűnődött, amikor véletlenül eszébe jutott egy mondat, amit apjától hallott sok-sok évvel azelőtt: „Tudod-e, hogy legfeljebb hat kézfogásnyira vagy az Egyesült Államok Elnökétől?” Akkoriban ezt Watts egészen biztosan nem tudta, soha nem hallott még Stanley Milgramról, sem a hatlépéses távolságról, és őszintén szólva nem hitte, hogy ez lehetséges. Ha azonban igaz volna, elképzelhetőnek tűnik, hogy ez valami rejtett módon összefügg a szentjánosbogarakkal. Ez a

gondolat kicsit távolinak tűnt, miután azonban a szentjánosbogarakkal amúgy is zsákutcába jutott, fogta magát, beült a könyvtárba és elolvasta Milgram eredeti dolgozatát. Akkor aztán még jobban beleásta magát a könyvtárba, és kutatni kezdett, mit talál a kicsi világ problémával kapcsolatban.

A rákövetkező néhány hétben Watts egy hatásos könyvvel és néhány kiábrándító cikkel találkozott erről a kérdésről. Mindezen publikációk mindenesetre azt tanúsították, hogy a kicsi világ hatás valós probléma, ám nemigen kínáltak magyarázatot rá. Watts azt is megtudta, hogy egyes fantáziadús kutatók a társas kapcsolatrendszerek geometriájával kapcsolatos felismerések reményben az Albert Einstein relativitáselméletét matematikailag megalapozó nem-euklideszi geometriához nyúltak. A nem-euklideszi geometriák segítségével görbült terekről és egészen elképesztő módon viselkedő világokról is tudunk beszélni. Einstein híres kijelentése szerint a tudományban „a képzelet fontosabb a tudásnál”, ebben az esetben azonban – legalábbis, amennyire Watts látta – a szociológia és a nem-euklideszi geometriák összekapcsolására töre lelemény terméketlen talajra hullott.

Ami a kicsi világjelenség magyarázatát illeti, a három évtized irodalmában jóformán semmit nem talált Mark Granovetternek a gyenge kapcsolatokról vonatkozó gondolatébresztő, ám nem teljesen kifejtett gondolatain kívül. Granovetter meggyőzően érvelt amellett, hogy a társadalom összekapcsolásában a gyenge társas kapcsolatok a legfontosabbak. Végző soron valahogy e kapcsolatoknak köszönhető, hogy „kicsi a világ”. Már csak az olyan pontos matematikai hálózatok felépítésének receptje hiányzott, amelyek jól kivehetővé tennék az ilyen világ szerkezetét. Amint már láttuk, a rendezett hálózatokban éppúgy fürtök és klikkek alakulnak ki, mint a valóságos társadalmi hálózatokban. A rendezett hálózatokban azonban nincs meg a kicsi világ tulajdonsága – olykor túlságosan sok lépéssel lehet eljutni egyik pontról a másikra. A véletlen hálózatok ezzel szemben kicsi világokat hoznak létre, viszont nincsenek bennük fürtök, semmi, ami baráti társaságokra vagy közösségekre emlékeztetne.

Eddigre Watts már több mint egy hónapot töltött a könyvtárban, és lassan kezdett eltöprengeni. Mindennek semmilyen világos

kapcsolata nem volt a szentjánosbogarakkal. Mégis annyira izgatta a dolog, hogy egy délelőtt azon kapta magát, kezében nagy halom papírral és fejében egy kiforratlan ötlettel felkeresi Strogatz irodáját. „Mi lenne, ha egy kicsit félretennénk tücsköt-bogarat és megpróbálnánk kitalálni, mitől olyan a világ, hogy mindannyian néhány kézfogásra vagyunk egymástól?” Watts úgy emlékszik vissza, magyarázkodásában „egy használató-kereskedő lelkesedése keveredett egy iskolásfiú hebegésével”, és tökéletesen megértette volna, ha témavezetője kacagva kidobja az irodából. Legnagyobb meglepetésére azonban nem ez történt. Hanem megtetszett neki az ötlet.

A következő órákban Watts mindent rázúdított Strogatzra, amit megtudott, és mindketten egyetértettek abban, hogy egy társas hálózat megfelelő receptje valahogy a rend és a véletlen sajátos keverékét sűrítene. Matematikai szempontból az volt a kérdés, hogyan lehet ezt megtenni. Watts a gráfelmélet klasszikusait is végiglapozta, de semmi használhatót nem talált. Némi további gondolkodás és firkálás után azonban a két matematikusnak egyszer csak eszébe ötlött valami. Nem volt különösebben elegáns gondolat – éppenséggel inkább tűnt mérnöki vázlatnak, mint matematikának – de legalább kiindulópontnak alkalmas volt.

A villanszerelő rendszerint huzalozási tervvel érkezik a házba, ha valami át kell kötni. Ha megbolondulna, és véletlenszerűen összevissza kezdené kötögetni a vezetékeket, az katasztrofális eredményre vezetne. Pedig, amint Watts és Strogatz felfedezte, egy kis véletlenszerű átkapcsolás néha nem is tesz olyan rosszat.

A véletlenszerű terv

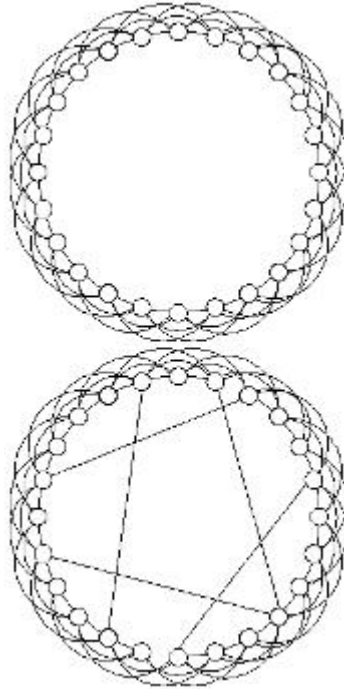
A rend és káosz közötti alvilág hálózatainak feltárására Watts és Strogatz úgy döntött, teljesen rendezett körkörös hálózatból indul ki, amelynek minden egyes pontját csupán néhány legközelebbi szomszédjával kötötték össze. Majd találomra egy kis áthuzalozást végeztek. Véletlenszerűen kiválasztottak egy pontpárt, és rajzoltak közéjük egy új összeköttetést. Aztán egy másik párral is is elvégezték ugyanezt, és így tovább ([6. ábra](#)). Tegyük fel, a kiinduló körben 1000 pont van, mindegyik a 10 legközelebbi szomszédjával

összekötve! Ez kezdetben összesen 5000 kapcsolatot jelent. Ehhez még hozzáadnak 10 véletlen összeköttetést, úgyhogy a keletkező hálózat még mindig szinte teljesen rendezett, egy csipetnyi véletlenszerűséggel fűszerezve. Vagy hozzávehetnek akár 5000 új kapcsolatot is, akkor a hálózat félig rendezett, félig véletlenszerű lesz. Vagy a kettő bármilyen keverékét.

Watts és Strogatz számítógép segítségével több száz ilyen rendezett gráfként induló, ám némi véletlen áthuzalozásnak alávetett gráffal kísérleteztek. Miközben a hálózat alakult, folyamatosan ellenőrizték az összeköttetés fokszámát és kiszámították, mennyire „fürtösült” a hálózat. Hogy a két végponton mit találnak, azt már tudták. Az volt az érdekes, ami a kettő között történik, és itt a számítógép hamarosan izgalmas meglepetéssel szolgált.

A kezdeti hálózatban minden pontnak 10 szomszédja volt és 10 szomszéd között elvben 45 összeköttetés lehetséges. A valóságban e pontok közül mindössze kétharmada van ténylegesen összekötve, a „fürtösödés foka” tehát $2/3$ vagy $0,67$. Ez valójában elég sok, ha ilyen világban élnénk, legtöbb barátunk egymással is barátkozna. Az összeköttetési távolság, e szabályos világ két pontja közt szükséges lépések száma még mindig elég magas. Ahhoz, hogy a hálózat egyik széléről a másikra jussunk, nagyjából 50 lépés szükséges.

Ebbe a hálózatba Watts és Strogatz kezdett belevinni némi szabálytalanságot. A nagyjából 5000 kapcsolatot tartalmazó eredeti hálózathoz most hozzávettek véletlenszerűen 50-et. A keletkező hálózatban még mindig teljesen a szabályosság uralkodott, de a kapcsolatok nagyjából 1 százaléka véletlenszerű volt. Nem meglepő, hogy egy kis szabálytalanság még egyáltalán nem változtatja meg a fürtképződést. A számítógép $0,65$ -ös fürtösödési fokot számított ki az eredeti $0,67$ -tel szemben. Nem valami izgalmas.



6. ábra

A hálózat fejlődése. A felső hálózat teljesen rendezett, mindegyik elem a négy legközelebbi szomszédjához kapcsolódik. Az alsó némi áthuzalozás révén jött létre, néhány új kapcsolatot vettünk fel találmásra kiválasztott elempárok között

Watts és Strogatz azonban megfigyelte, hogy miközben a véletlenszerűen elszórt összeköttetések egyáltalán nem befolyásolták a hálózat csoportképződését, gyökeres hatást gyakoroltak az összeköttetési távolságra. Véletlen kapcsolatok híján ez a szám durván 50 körül volt, most pedig, mindössze néhány véletlen összeköttetés bevezetésével, lezuhant 7-re. Ellenőrizték a programot, nincs-e benne hiba, de semmit nem találtak. A következő napokban aztán száz meg száz kisebb-nagyobb gráffal megismételték az eljárást, kör helyett más mintákba rendezve a pontokat, vagy megváltoztatva a legközelebbi szomszédok számát. Mit sem számított. Akárhogyan változtatták, ha akár a legkevesebb véletlen összeköttetést szórtak rá, kicsi világ keletkezett. Ezeknek a közepes világ hálózatoknak volt egy furcsaságuk: egyszerre voltak kicsi és erősen fürtökbe rendeződött világok. A tisztán véletlen hálózat, mint tudjuk, rendelkezik a kicsi világ tulajdonságával. 1000 véletlenszerűen összekötött ember esetében

azonban a fürtösödes foka $0,01^{[29]}$, ami meg sem közelíti a valóságos társas hálózatok értékeit. Ezek a kicsi világ gráfok, ahogy Watts és Strogatz nemsokára elnevezte őket, mindkét világból a legjobbat egyesítették. És mai tudásunkat visszavetítve nem is nehéz belátni, hogyan.

Tegyük fel, hogy egy szabályos hálózatban élünk, és A ponttól el kívánunk jutni egy távoli B ponthoz. Sajnos ez elkerülhetetlenül lélekölő lépésről lépésre haladást jelent. Végül is egy szabályos hálózat összeköttetései csak egymáshoz közeli pontokat kapcsolnak össze: nincsenek útlevegások, hidak távoli pontok között. Dobjunk be azonban csupán néhány véletlen összeköttetést, hálózatunk máris megváltozik. Az új kapcsolatok egyike-másika valószínűleg merő véletlenségből távoli pontokat fog összekötni. Na most, ha hosszú utazást kívánunk tenni, lestoppolhatunk egy autót is az országúton, nagyban csökkentve az utazás nyűgét, onnan pedig néhány kis lépéssel elérhetjük kitűzött célunkat.

Térjünk tehát vissza a világ népességét reprezentáló hatmilliárd pontos körre, ahol mindenki 50 legközelebbi szomszédjával van összekötve! A szabályos hálózatban az összekapcsolási távolság mintegy 60 millió – mert ennyi lépés kell, még ha egyszerre 50-et lépünk is, hogy félig körbejárjuk a kört. Dobjunk be azonban néhány véletlen kapcsolatot, ez a szám rögtön a töredékére csökken. Watts és Strogatz számításai szerint még ha az új, véletlen összeköttetések aránya csak 2 a 10 000-hez, az összekapcsolási távolság 60 millióról nagyjából 8-ra – 3 a 10 000-hez arány esetén pedig 5-re esik le. Mindeközben a véletlen kapcsolatok, lévén oly kisszámúak, nem gyakorolnak észrevehető hatást a társas hálózatokat jellemző helyi fürtösödésre.

E kicsi világ hálózatok csodákra képesek. Elméleti nézőpontból megvilágítják, hogyan köthető össze a társas kapcsolatok rendszere, hogy az összeköttetési távolság mindössze hat lépés legyen, miközben a közösségeknek a valóságos világban tapasztalható gazdag fürtösödése és összefonódása megmarad. A gyenge kapcsolatok – a társas világ nagy fesztávú hídjai – egészen kis hányadban is óriási hatást gyakorolnak az összekapcsolási távolságra. Mi több, itt nemcsak arra kapunk magyarázatot, miért kicsi a világ, hanem, hogy miért lepődünk meg ezen folyamatosan.

Végül is éppen a messzire elérő társas útlevegások, amelyek kicsivé teszik a világot, hétköznapi társadalmi életünkben jóformán láthatatlanok. Nem látunk messzebb azoknál, akikhez – akár erős, akár gyenge kötelékekkel – közvetlenül kapcsolódunk. Nem ismerjük barátaink minden barátját, azok barátairól és ismerőseiről nem is beszélve. Logikus, hogy a társadalmi kapcsolatok útlevegásai többnyire kiesnek látóterünkéből, csak akkor fedezzük fel őket, amikor megdöbbentő következményeikkel szembesülünk.

Ez az ügyes architektúra egyszer s mindenkorra véget vet az egész kicsi világ problémának. Watts és Strogatz számára azonban ez távolról sem jelentette a felfedezés végét – valójában csak most kezdődött el!

Összeköttetések

A kicsi világ gráfok felfedezésével Watts és Strogatz rögtön tudta, hogy jó nyomon jár. Eredményeik alapos ellenőrzésére azonban igénybe vették a társas hálózatok legnagyobb általuk fellelhető adathalmazát, az Internetes Mozi Adatbázist. Amennyiben a kicsi világ gráfok valóban jól megragadják a tényleges társadalmi hálózatok lényegét, akkor a valamelyik filmben együtt szereplés révén összekapcsolt színészek hálózatának nagyjából ugyanolyan összekapcsolási távolsággal kell rendelkeznie, mint egy hasonló méretű véletlen gráfnak. Ugyanakkor a fűrtösödésnek egy véletlen gráfnál sokkal magasabb fokát kell mutatnia, majdnem olyat, mint egy tökéletesen szabályos gráfnak. A valóságos színészi hálózatra Watts és Strogatz a számítógéppel 3,65 összeköttetési távolságot és 0,79 fűrtösödési fokot számított ki.

Az adatbázis szerint a vizsgált 225 226 színésznek átlagosan 61 összeköttetése van olyan színészekkel, akikkel valaha egy filmben játszottak. Az összehasonlítás kedvéért tehát Watts és Strogatz felállított egy ugyanilyen jellemzőkkel bíró véletlen hálózatot (enélkül ugyanis semmi értelme nem lett volna az összevetésnek). A véletlen hálózatra a számítógép 2,99-es összekapcsolási távolságot és 0,000027-es fűrtösödési fokot számolt. Amint gyanítható, a színészek világa egyszerre erősen fűrtösült és kicsi világ. Vagyis kicsi világ hálózat.

Ezek az eredmények legalábbis megnyugtatóak. Amikor azonban a számítógépes program elkészült és lefutott, Watts és Strogatz nem pihent meg a babérjain. Kicsi világ receptjük kellemesen és meglepően egyszerű. Nincs benne semmi, ami eleve emberekre vagy speciálisan társas kapcsolatokra vonatkozna – egészen egyszerű gráfelméleti rendszer. Természetes tehát, hogy feltették a kérdést, vajon más valóságos hálózatok is hasonló architektúrát mutatnak-e. Watts egész véletlenül nemrég találkozott az USA elektromos energiahálózatának struktúrájával és történetével foglalkozó könyvvel, kézenfekvő volt tehát, hogy innen induljanak ki. A teljes villamos hálózat lényegében három alhálózatból áll, amelyeket *összeköttetéseknek* neveznek. Az egyik az Egyesült Államok keleti részét látja el elektromossággal, a második a Sziklás Hegységtől nyugatra elterülő részt, a harmadik pedig kizárólag Texas államot. Tekintve e hálózatok méretét és komplexitását, talán mondani sem kell, hogy nem egyetlen mérnök vagy tervezőcsoport gondolta el őket. Éppenséggel ezernyi történeti véletlen örökségét hordozzák, hiszen az ipari és az egyre növekvő lakossági igények kielégítésére új technológiákat vezettek be, új generátorokat, vezetékeket állítottak fel. A térképen az energiahálózat tökéletesen rendezetlen vezetékek szétterpeszkedő hálózatának tűnik. Hirtelen ötlettől vezéreltetve Watts és Strogatz az amerikai Nyugatról majd ötezer generátor, transzformátor és alállomás adatait összegyűjtötte a magasfeszültségű vezetékek kusza hálózatával egyetemben, és mindezt betáplálta a számítógépbe.

Az egész Nyugaton minden elem átlagosan nagyjából három másikhoz kapcsolódik. No és vajon ezen elemek milyen arányban kapcsolódnak egymáshoz? Ez az arány itt is a csoportosultság fokát méri, és az energiahálózatnál a számítógép ezt tízszer akkora értékkel találta, mint véletlen hálózat esetében. Ugyanakkor a távvezetékeken keresztül egyik elemtől a másikig való eljutáshoz szükséges átlagosan lépésszám csupán 18,7. Ez ugyan nem hatlépéses távolság, de nincs is olyan messze tőle. Ha a hálózatot tökéletesen véletlenszerűen huzalozták volna össze, ötezer elemmel és a belőlük kiinduló átlagosan három kapcsolattal, az összeköttetési távolság 12 lett volna. A kép tehát itt is ugyanaz: a valóságos hálózat egyszerre erősen fűrtösült és kicsi világ.

Első látásra mindez meglehetősen bizarrnak tűnik. A társadalmunkat összekötő kapcsolatok az összes lehetséges társadalmi erő összjátékából, család, iskola, munkahely, klubok tevékenységéből alakult ki. Mindennek mintha nem sok köze volna a gazdaság, a technika és a népességnövekedés sokszínű tényezőihez, amelyek az életfontosságú energiahálózat architektúráját kialakították. Az energiahálózatban mégis ugyanaz az összeköttetési elv nyilvánul meg, mint társas hálózatainkban. Ha mindkét fajta hálózat tökéletesen véletlenszerű és éppen ezért hasonló lenne, mindez nem is volna meglepő. A kicsi világ struktúra azonban távolról sem véletlenszerű.

Watts és Strogatz fő törekvése bizonyára az volt, hogy e különös egybeesésnek végére járjon. Ennek azonban még nem jött el az ideje, előbb még egyszer szemügyre kellett venniük a szentjánosbogarakat.

Férgék összeköttetései

A szinkronizáció problémájának egyik legkorábbi megoldási kísérletében Mirolo és Strogatz azt feltételezte, hogy minden egyes szentjánosbogár az összes többit „látja” és reagál rá. Egy 10 000 fős szentjánosbogár-seregben ez mintegy 50 millió kommunikációs vonalat jelentene (egyet-egyét bármely lehetséges pár között). Ilyen sűrű hálózati összeköttetés mellett a sereg könnyen elérhetné és fenntarthatná a teljes szervezettséget, ami talán nem is meglepő. A „kicsi a világ” gondolatának birtokában Watts és Strogatz úgy döntött, újra elgondolkodik a kérdésen. Lehetséges, hogy a szentjánosbogár-sereg ugyanezt a célt kevesebb kommunikációs összeköttetéssel is el tudná érni?

Valószínűbbnek tünne, ha azt feltételeznénk, hogy minden szentjánosbogár csak néhány legközelebbi szomszédjának felvillanásaira reagálna, de néhányan közülük egy-két távolabbi társuk hatását is érzékelik. Elképzelhető, hogy néhányuk felvillanása különösen fényes, vagy egy-két genetikai csodabogár jobban reagál a halvány felvillanásokra, mint a fényesekre. A szentjánosbogarak mindkét esetben valami „kicsi világ”-szerű mintázat szerint kommunikálnának egymással. Ilyen architektúra mellett ugyanaz a

10 000 szentjánosbogár több ezerszer kevesebb kommunikációs kapcsolattal beérhetné. A régi minta szerint ugyanis mindegyik durván 10 000 másakra hatna. Most csupán maroknyi, talán 4-5 társára. Ez a változás a bogarak összeköttetéseknek több, mint 99,9 %-át kiiktatná. Aligha várhatnánk bármely kommunikációs hálózattól, hogy ilyen pusztítás túléljen, ez azonban túlélte.

Számítógépes szimulációk sorozatával Watts és Strogatz azt találta, hogy a szinkronizálás majdnem olyan jól működik a bogaraknál, mintha mindegyikük mindenki mással beszélgetne. Önmagában a kicsi világ architektúra több ezredrészére csökkentette a szükséges kapcsolatok számát. Ebből mély tanulság fakad – nem annyira biológiai, mint számítási szempontból.

Absztrakt nézőpontból az összehangolódásra törekvő szentjánosbogarak csoportja számítási feladatot old meg. A csoport egésze a szentjánosbogár-egyedek által váltott jelek, válaszjelek és viszontválasz-jelek miriádjainak feldolgozásával próbálja fenntartani a globális rendet. Ez a számítási feladat éppoly valós, mint azok, amelyek egy személyi számítógépen vagy az agy idegsejt-hálózatában játszódnak le. Akármilyen is a konkrét helyzet, a számítás bizonyos részek közti információáramlást feltételez. Miután pedig az összeköttetési távolság az egyik helyről a másikra való információátadás átlagos idejét tükrözi, a kicsi világ architektúra a számítási teljesítményt és sebességet szolgálja.

Azt természetesen senki nem tudja, hogy a valóságban a szentjánosbogarak hogyan vannak összekötve. Ráadásul erre az összehangolódási trükkre csupán Malajzia, Új-Guinea, Borneó és Thaiföld néhány szentjánosbogár faja képes. Watts és Strogatz nem oldott meg minden kérdést velük kapcsolatban, jó részük máig megoldatlan.^[30] Az mindenesetre kiderült számukra, hogy a számítási tervezés tekintetében a kicsi világ architektúra különösen hasznos „trükk”. Számítás tekintetében persze semmi sem vetekedhet az emberi aggyal. Természetes kérdés tehát, hogy vajon az agy is alkalmazza-e a kicsi világok trükkjét. Watts és Strogatz nem tudott annyit a neurontudományról, hogy akárcsak feltevésekbe bocsátkozzon, ám szerencsére Watts ismét bevette magát a könyvtárba – ezúttal, hogy egy kis biológiát tanuljon.

Mint kiderült, az emberi idegrendszer több százmilliárd neuronja

közti kusza kapcsolatok kibogozása ma is messze meghaladja a tudomány képességeit. Bár 1960-ban a kaliforniai Salk Institute-nál Sidney Brenner és munkatársainak sikerült egy kis lépést tenniük előre. Akkoriban Brenner meg volt győződve, hogy a biológia alapvető kérdéseinek többsége már megoldódott, így hát elhatározta, a következő szintre, vagyis bonyolult biológiai hálózatok működésének megértésére fordítja figyelmét. Ebben a szellemben vállalkozott kollégáival együtt, hogy feltérképezik a *Caenorhabditis elegans* fonalféreg idegsejt-kapcsolatait. A nagyjából 1 mm hosszú *Caenorhabditis elegans* az egész világon pusztítja a növényzetet, és teljesen kifejlett állapotban is csupán 979 sejtből áll. Az emberi idegrendszer lélegzetállító összetettségével szemben a *Caenorhabditis elegans*nak csupán 282 idegsejtje van.

Akárcsak a Human Genome Project, a fonalféreg idegsejt-összeköttetéseinek feltérképezése is egy teljes évtizedbe tellett, ám amikor Brenner és kollégái végeztek a feladattal, egy egész idegrendszer első teljes térképét adhatták a biológusok kezébe. Watts és Strogatz hozzájutott a Brenner-csoport által készített térképhez és alávetették a már ismert architektúra-elemzésnek. A fonalféreg 282 neuronja átlagosan 14 másikhoz kapcsolódik. Számítógéppel meghatározták a fűrtösödés fokát és magas számot – 0,28 – találtak. Egy 282 elemű véletlen gráfban, ahol mindegyik elemből 14 kapcsolat indul ki, a fűrtösödés foka nem lenne több 0,05-nél. És miközben a *Caenorhabditis elegans* neuronhálózatnak fűrtökbe rendezettsége a véletlen hálózaténak hatszorosa, az összekapcsolási távolság csupán 2,65, szemben a véletlen hálózat 2,25-ös értékével.

Mindez persze ismét legalább annyi kérdést vet fel, mint amennyit megold. Akárcsak a villamosenergia-hálózat, a kezdetleges fonalféreg is rájött a kicsi világ trükkjére. De hogyan? Lehet, hogy pusztán különös egybeesésről van szó? Vagy a természet egyik alapvető tervezőelvére mutat rá?

A *Nature* 1998. június 4-i számában megjelent háromoldalas dolgozatában Watts és Strogatz mindezen felfedezéseit rázúdította a mit sem sejtő tudományos közvéleményre.^[31] Dolgozatuk számos tudományterületen további kutatások áradatát indította el. Amint a következő fejezetekben látni fogjuk, a kicsi világok geometriájának

egyik-másik változata húzódik meg szervezetünk létfontosságú fehérjéi, ökoszisztémánk táplálékhálózatai, vagy akár mindennapi nyelvünk szerkezete és grammatikája mögött. Ebben rejlik az Internet architektúrájának titka is. Mert látszólagos egyszerűsége dacára minden tekintetben hatalmas jelentőségű új geometriai, architekturális gondolat ez.

4. AGYTRÖSZT

Egy elméletnél csak két lehetőség van: vagy helytálló, vagy hamis. Modell esetében van egy harmadik is: helyes, de érdektelen.

– Manfred Eigen^[32]

A tizennyolcadik század utolsó évtizedében egy Franz Joseph Gall nevű zseniális bécsi orvos az agy radikálisan új elméletével állt elő. Abban az időben az emberi agyat a halhatatlan lélek szálláshelyének gondolták, és mélyebb természetének vizsgálata a filozófusokra tartozott. Immanuel Kant azt hirdette, hogy az idő és a tér az értelem semmi másra vissza nem vezethető kategóriái, a valóság érzékelésének és megszürésének alapvető feltételei. A fizikai értelemben vett agyról azonban, hogy miből áll és hogyan működik ez a másfél kilogrammos testszövet, a tudósok jóformán semmit sem tudtak. Maga Gall sem sejtett semmit a százmilliárd agysejtről, azok több száz billió kapcsolatáról, több ezer kilométernyi huzalozásáról. Ennek ellenére megdöbbentően forradalmi felfedezést tett – legalábbis úgy vélte.

Orvosi munkája során Gall a legkülönbözőbb furcsa személyiségekkel találkozott. Voltak közöttük feltűnően önzetlenek és kedvesek, mások könyörtelenek és ambiciózusak, megint mások megdöbbentően intelligensek, matematikai vagy költői tehetséggel megáldottak. Gall több, mint egy évtizeden keresztül szorgalmasan gyűjtögette betegei jellegzetes vonásait, miközben csöndben adatokat gyűjtött fejük alakjáról és nagyságáról is. Több száz emberi és állati koponyát gyűjtött össze, számtalan agymodellt készített viaszból, körzővel méregette barátainak és tanítványainak homlokát. Megfigyelései alapján aztán arra a következtetésre jutott, hogy az agyban, akárcsak a testben, különféle szervek találhatóak.

Gall így okoskodott: „Ugyanaz az agy, amely látószervén keresztül lát és szaglószer­vén keresztül szagol, az emlékezet szervével tanul és a jóakarát szervével cselekszik jót.”^[33] Ha persze Gallnak igaza lenne, és ilyen szervek valóban léteznének, azokat körül lehetne határolni és meg is lehetne mérni. Gall valóban ragaszkodott is ehhez az elképzeléshez. E szervek feltalálására Gall azt javasolta, hogy tenyerünkkel simítsunk végig a koponya felszínén és keressünk szokatlan kidudorodásokat vagy bemélyedéseket. Úgy gondolta, hogy a túlfejlett, nagyobb szerv kidülleszti a koponyát, dudort képez, a kevésbé fejlett szerv viszont benyomódást eredményez. A dudorok és mélyedések feltérképezésével – vélekedett Gall – kideríthetjük, hogy az egyén mely képességei alul-, illetve túlfejlettek, és gyorsan leolvashatjuk a karakterét.

A gyorsabb leolvasás érdekében Gall fel is térképezte a fejen a különböző szervek helyét és a hozzájuk tartozó husz­on­hét képességet. Olyanok tartoztak közéjük, mint a szülői szeretet, baráti ragaszkodás, ambíció vagy csalafintaság. További szervek – állította – szolgálnak a zenei vagy matematikai képesség, a barkácskészség vagy a költői tehetség székhelyéül. Gall térképének segítségével a frenológusok (ahogy rövid időn belül e technika művelőit nevezték), ujjukkal és tenyerükkel percek alatt fel tudták mérni a személyiséget. Gall meghívást kapott, hogy adjon elő a főbb európai egyetemeken, és mutassa be tudását királyok, királynők, államfők előtt. (Állítólag magát Napóleont is sikerült felbosszantania, amikor koponyájának körvonalán a filozófiai tehetség feltűnő hiányát fedezte fel.)

Gall csupán azt sajnálta, nem állt rendelkezésére több tanulmányozható koponya. Egyik kollégájának írt levelében ezt mondja: „Nagyon kellemes volna számomra, ha az emberek elküldenék nekem olyan állatok koponyáit, amelyeknek tulajdonságait jól megfigyelték: például olyan kutyáét, amelyik csak azt eszi, amit ő maga lopott, vagy amelyik messziről rátalál a gazdájára...”^[34]

Ma természetesen a frenológia tudományát teljes egészében elvetjük. Soha semmilyen alapos tudományos kutatás nem fedezett fel érvényes kapcsolatot a személyiség és a fejforma között, Gall valószínűleg önmagát is becsapta, amikor úgy vélte, ilyesmire bukkant. Mindazonáltal a bécsi orvos bizonyára rátapintott valamire:

éppenséggel az ő eszméiből indult el az a gondolkodásmód, amely ma központi szerepet játszik a tudósok agyról alkotott elképzelésében.

Gall előtt soha senki nem fogta fel az agyat különböző, más-más feladatokért – beszéd, látás, érzelmek, nyelv – felelős modulok összességéként. A modern idegélettani laboratóriumokban a kutatók működés közben is látják e modulokat. A funkcionális mágneses rezonancia képalkotó technikája rádióhullámokkal szondázza az agyban áramló vért és ki tudja mutatni, az adott pillanatban melyik rész mennyi oxigént használ. Ami viszont az idegsejtek aktivitását tükrözi. Ezzel a módszerrel a kutatók láthatják, mely különböző agyterületek „gyulladnak ki” a számítógép képernyőjén, miközben a vizsgálati alany különböző feladatokkal foglalkozik, például szóbeli felszólításra reagál vagy valamilyen ízt ismer fel. Amikor az alanyak egy telefonszámot kell megjegyeznie, a hippocampus aktivizálódik, mert ez az az agyterület, amely nagy szerepet játszik az új emlékek kialakításában. Más agyterületek vezérlik a hallást, látást, vagy az olyan alapvető késztetéseket, mint az agresszió vagy az éhség. Ezek ugyan nem pontosan azok a szervek, amelyekre Gall gondolt, mindenesetre az agy jelentős és különálló feldolgozó központjai.

Gall volt ugyanakkor az első, aki az idegélettan művelőinek figyelmét felhívta egy olyan agyterületre, ahol e központok találhatóak: a *cerebral cortex* vagy agykéreg néven ismert vékony, szürke, külső rétegre. A kortextet addig évszázadokon keresztül jelentéktelen védőrétegnek tartották. A valóságban, noha mindössze néhány milliméter vastag, ez a réteg tartalmazza az agy legtöbb értékes neuronját. Az agykéreg felülete kis emlősöknél és más alacsonyabb rendű szervezeteknél sima, ám nagyjából az egéknél nagyobb állatoknál kezd erősen tagolttá, redőzötté válni, mert a megnövekedett agy csak így férhet el a koponyában. Ha az agy felszínét kiterítenénk, egy kisebb asztalt betérítené. Ebben a körülményesen összehajtogatott és gondosan elrendezett kortextben fészkel a magasabb értelem. Az agynak ez a része felelős azért, hogy tudunk beszélni, terveket szőni, megtanulni számolni, ha pedig elkétség, mentségeket kiötlölni.

Röviden szólva, az agykéreg tesz bennünket jellegzetesen emberekké. És Gall jól sejtette, valóban egy csomó szerve

tagolódik. Persze szó sincs arról, hogy az agy egymásról mit sem tudó független modulok anarchikus együttese lenne. A moduloknak kommunikálniuk kell, így tudják koordinálni az agy átfogó működését. Amikor beszélünk, nem csupán megválasztjuk a helyes szavakat és szabályosan összeszerkesztjük őket, hanem emlékeket idézünk fel, beszédünk időzítését és érzelmi tónusát is szabályozzuk. Felidézünk egy nevet, odasúgjuk a barátunknak és közben a kezünkkel valami mást jelzünk. E cselekvésekben az agy számos funkcionális területe részt vesz, minden erőfeszítés nélkül együttműködnek, az információ gyorsan és hatékonyan terjed közöttük. Mindezen tevékenységek felvetik a kérdést: az agy miféle összekapcsolási rendje teszi lehetővé ezt a hatékonyságot?

Jól kigondolt architektúra

Az emberi agy üveggolyónál nem nagyobb területén annyi neuron zsúfolódik össze, mint az Egyesült Államok egész lakossága. Durva közelítéssel a neuron egyetlen sejt, a központi testből kinyúló több rosttal. Ezek közül a rövidebbek, az úgynevezett *dendritek* a neuron befogadó csatornáit, a hosszabb *axonok* pedig átviteli vonalak. A neuronból kiinduló axonok más neuronok dendritjeihez kapcsolódva kommunikációs csatornákat alkotnak. Bármelyik neuron teljes struktúrájának részletezése oldalakat, sőt egész könyveket töltene meg, nagyjából azonban ezek a legfontosabb jellegzetességei.

Hozzávetőlegesen azt mondhatnánk, a legtöbb neuron az azonos funkcionális terület közeli neuronjaihoz kapcsolódik, legyen az akár a hippocampus, akár a beszéd megvalósításában szereplő Broca-féle terület, amelyet Paul Broca francia neurológus fedezett fel 1862-ben. Vannak aztán kissé távolabbra futó axonok, amelyek szomszédos agyterületek neuronjaihoz kapcsolódnak. Az egész agy szempontjából, ha a különböző funkcionális területeket egy hálózat csomópontjainak gondoljuk el, e „lokális” összeköttetések fűzik össze az agyat egyetlen összefüggő egésszé, a szabályos hálózathoz hasonlóan. Vannak azután kisebb számban olyan igazán messzire nyúló neuronok, amelyek távol eső, néha éppen az agy ellentétes oldalán található területeket kapcsolnak össze. Vagyis

számos lokális és néhány hosszú távú kapcsolatról beszélhetünk, ami már kezd a kicsi világ mintázatra emlékeztetni. Amint a kutatók nemrégiben kimutatták, számokkal pontosabban meg lehet világítani ezt a mintázatot.

Az angliai Newcastle Egyetem pszichológusa, Jack Scannell több mint egy évtizede foglalkozik az agykéreg különböző területei közti kapcsolatok feltárásával. Scannell vizsgálatai ugyan nem emberek, hanem macskák és majmok agyára irányultak, ám miután az összes emlős agya nagyfokú hasonlóságot mutat, eredményei szinte bizonyosan érvényesek az emberi agyra is.^[35] Macskákkal végzett korábbi kutatások az agykéreg mintegy ötvenöt különböző funkcióval társítható területét azonosították – a makákó majomnál ez a szám hatvankilencre emelkedik. Ezeknek az állatoknak az agyában durván négy-ötszáz lényeges kapcsolat köt össze távoli területeket, ahol az összeköttetést nem pusztán egyetlen, hanem több, párhuzamosan futó axon jelentősebb kötege alkotja.

E kapcsolatok elrendezését kutatva Vito Latora a párizsi egyetemről és Massimo Marchiori a Massachusetts Institute of Technology kutatója felhasználta Scannell térképeit. Watts és Strogatz fogalmai alapján elemezték ezeket a hálózatokat és egy meglepően hatékony hálózati architektúra jegyeire bukkantak.^[36] A macskák agyában például az összeköttetési távolság mindössze kettő és három közé esik. Ugyanez a szám érvényes a makákók agyára is. Ugyanakkor Latora és Marchiori mindkét neuronhálózatot nagymértékben fürtökbe rendezettnek találta. Más szóval, ami igaz a jó barátoknál, úgy tűnik, az agykéreg területeire is áll: ha egy terület összekapcsolódik két másikkal, valószínűleg azoknak is van egymással összeköttetésük.

Funkcionális szempontból e jellegzetességeknek nyilvánvalóan megvan a maguk biológiai értelme. Ha véletlenül hozzáérünk egy parázsló fadarabhoz, érzékelő neuronjaink azonnal sürgős jelzést küldenek az agyba. E jelzések láncreakciót váltanak ki, neuronok gerjesztenek újabb neuronokat, míg végül elérnek a motoros neuronokhoz, jelzéseket adnak az ujjaknak, a hangszálaknak, a nyelv és az ajak izmainak, úgyhogy elejtjük az izzó fadarabot, és felkiáltunk fájdalomunkban. Ha a neuronok közti információátvitel több százezer lépést igényelne, a reflex-válaszok sokkal lassabbak

volnának, mint így. A kicsi világ mintázat garantálja, hogy az agy különböző funkcionális részei csupán néhány lépésnyire essenek egymástól, így az egészet egyetlen szoros egységbe fogja.

A kicsi világ struktúra legegyszerűbb és legnyilvánvalóbb előnye a jelek gyors és hatékony átvitele. Van azonban más haszna is. Társas hálózatban, amint Mark Granovetter rámutatott, a jó barátok közösségében fűrtbe rendeződő kapcsolatokból az következik, hogy ha egyik-másik ki is esik a hálózatból, a többi még mindig közeli kapcsolatban marad. Más szóval egy fűrtbe rendezett hálózatban egyetlen elem kiesése nem váltja ki az egész hálózat katasztrófászerű szétesését független darabokra. Az agyban is hasznos szerepet játszik ez a szerveződés, mert egy adott terület sérülése vagy pusztulása kevéssé akadályozza, hogy a jelzések végigfussanak és más területeket koordinálni tudjanak. A Broca-terület sérülése miatt a betegek nem értik a beszédet, noha tökéletesen hallanak, matematikai műveleteket végeznek és akadálytalanul alkotnak jövőre vonatkozó terveket. Ha ennek a területnek a sérülése mondjuk a látómező és a hippokampusz közti kommunikációt is elvágná vagy legalábbis a jeleknek hosszú utat kellene megtenniük az egyik területtől a másikig, akkor a vizuális információ rövid távú memóriája is károsodhatna. Úgy tűnik a kicsi világ architektúra védelmet nyújt ez ellen. Az agy nem csupán hatékony és gyors lesz tőle, de a hibákkal is képes megbirkózni.

Az ember, de más emlősök agya is sokkal több, mint hatékony reflex-válaszokat adó és a nehézségekkel szemben kitartó eszköz. A fejünkben levő kicsi világ hálózat számos egyéb tekintetben is csodákat művel.

Tudati bonyodalmak

A tudat mibenléte továbbra is a legnagyobb talány minden tudományos rejtély közül. Az emberi agy egy darab közönséges sejtekből álló, kémiai és elektromos elven működő anyag. Az elemi biológiai és a fizikai törvények szempontjából egészen közönséges fizikai gép, noha kétségkívül bonyolult gép. Ha viszont az agy pusztán fizikai anyag, amely közönséges fizikai dolgokat végez, akkor hol székel az a nyilvánvalóan szellemi entitás, amely képes

arra, hogy Önmagára eszméljen és „Én”-nek nevezze magát? Vajon érzelmeink, felelősségünk egyszerűen a fizika mechanikai törvényeiből fakad, ha azok kellően bonyolult környezetben kölcsönhatásba lépnek? Vagy létezik az agyműködésben valamilyen titokzatos külön elem, amely nélkül nem beszélhetnénk tudatról?

Filozófusok, pszichológusok, számítógéptudósok és idegéletani kutatók mind a mai napig vitatkoznak ezekről a kérdésekről. Senki nem tudja biztosan, mi az a tudat, pontosan mely neuronokban keletkezik és hogyan lehetne mesterségesen létrehozni. Az idegélettan mégis lenyűgöző előrehaladást tett a tudattal kapcsolatos neurontevékenységnek és a tudatos agyműködés egyes mechanizmusainak feltárásában.

Az agy megdöbbentő teljesítménye részben abból a képességéből ered, hogy lehetséges tudatállapotok óriási készletével reagál a külvilágra. Tegyük fel, hogy kinézünk az ablakon és látunk valakit a házunk felé közeledni. A másodperc töredéke alatt agyunk sok ezer különböző tudatállapoton fut végig, amelyek mind némileg eltérően érzékelik az illető folyamatosan változó helyzetét. Ha az érzelmek, jövőre vonatkozó elvárások, hangérzékletek, emlékek stb. sokaságát is tekintetbe vesszük, a lehetséges tudatállapotok száma nyilvánvalóan óriásira nő. Agyunk mégis minden pillanatban gyorsan megállapodik e számtalan tudatállapot valamelyikénél, amely érzékenyen megfelel a külvilág, saját személyes történetünk és pillanatnyi állapotunk kölcsönhatásának.

Éppen ettől a rendkívüli hajlékonyságtól lesz az ember olyan bonyolult és alkalmazkodóképes a változó világban. Ugyanilyen lenyűgöző azonban az agy tudatos szerveződésének mélysége. Ha látunk valakit közeledni a házunkhoz, ez annyit jelent, hogy vizuális képet alkotunk róla, tekintetbe véve a mozgását is, elhelyezzük a képet annak az ablaknak a háttérében, amelyen keresztül látjuk, és összekapcsoljuk az e személyhez köthető más lehetséges személyek és helyzetek emlékével. Az agy e sokféle vonatkozást egyetlen oszthatatlan tudati képbe sűríti, amely azonnal elveszíti jelentését, mihelyt összetevőire bontjuk. Más szóval az agy feltűnően jól koordinált egységként működik, amely minden pillanatban egyetlen tökéletesen összehangolt tudatos reakciót ad.

Mi zajlik le a neuronokban, amittől mindez megtörténik? Egyfelől már

az agyi neuronok pusztá száma is indokolja a lehetséges állapotok széles skáláját. Kevésbé egyszerű azonban megérteni, mit kell tennie a neuronoknak ahhoz, hogy a különböző komponensekből tudatos jelenetet állítsanak össze. Az idegtudománynak valószínűleg mindössze néhány évre van szüksége, hogy mindezt részleteiben megértse, de máris feltárt egyes jelentős mozzanatokot. A kutatók rájöttek például, hogy a tudatosság mindig az agy számos területének aktivitását feltételezi – úgy tűnik, azok egyetlen átfogó mintában való koherens összjátékát igényli. Ennek az összjátéknak a mozgatórugója pedig, legalábbis részben, az idegsejtek szinkronitása.

Egy 1999-es megdöbbentő kísérletben a frankfurti Max Planck Agykutató Intézet idegéletteni kutatója, Wolf Singer és munkatársai olyan elrendezést produkáltak, amelyben egy macskának két, egymásra merőlegesen mozgó csíksorozatot mutattak. A kísérletvezetők változtatni tudták a két minta fényességét, ily módon befolyásolva a macska érzékelését. Amikor az egyik csík világosabb volt, mint a másik, a macska két különböző jelenséghalmazt látott. Ha azonban egyformán világosak voltak, a macska úgy látta mintha a csíkok egyetlen sakktáblamintában olvadtak volna össze, amely egy harmadik, (a két csíksorozat mozgásiránya közti középső) irányban mozog.

Ennek az ügyes elrendezésnek a révén Singer csoportja meg tudta vizsgálni, hogyan reagálnak a neuronok a macska agyában, amikor a macska a független, külön csíkok észleléséről átvált azok tudati egységben való érzékelésére. Lassan változtatva a fényességet, miközben a macska látómezőjén száznál több, nagy területen elszórt neuron aktivitását figyelték, azt találták, hogy amikor a macska két külön csíksorozatot látott, két ennek megfelelő neuroncsoport sült ki. Fontos, hogy ezek nem hangolódtak össze. Amikor azonban a világosságot úgy állították be, hogy a macska egyetlen mintázatot érzékeljen, a két neuroncsoport közel szinkronba került.^[37] Vagyis a szinkronizált kisülés a két különálló jelenséget egyetlen tudati elemmé kapcsolta össze.

Ez a kísérlet az agykutatás legmodernebb színvonalát képviseli, amennyiben a csoport képes volt egy időben több, mint száz neuron működését regisztrálni. A California Institute of Technology kísérleti

idegéletani kutatója, Gilles Laurent és munkatársai hasonló technikával vizsgálták sáskák agyát, ők is felfedezték a neuronszinkronizáció egy lényeges szabályát.^[38]

A sáskáknál a szaglást szolgáló antennalebeny egy körülbelül nyolcszáz neuronból álló sejtcsoport, amely a „szagló” receptorok információit továbbítja magasabb agyterületek felé. Amikor a sáska egy érdekes szagot érez, ezek a neuronok igen gyorsan reagálnak, összehangolt mintázatban másodpercenként mintegy hússzori kisüléssel. Ez azonban csak egy része a szervezet reakciójának. A sejtcsoport kollektív, rendezett kisüléséhez képest minden egyes neuron fenntartja a maga sajátos időzítését, kevéssel az átlag előtt vagy azután. Ezek az eredmények azt jelzik, hogy a neuronok nem csak csoportszintű információt tárolnak a szinkronitás révén, hanem saját pontos időzítésükkel egyedi információt is. Így aztán rengeteg információt tudnak „feljebb” küldeni továbbfeldolgozásra.

Itt is, akár csak a macskánál, a szinkronitásnak központi szerepe van abban, ahogy a neuronok betöltik funkciójukat. És értelmes kérdésnek tűnik, vajon nem a kicsi világ architektúra játszik-e döntő szerepet az összehangolás megvalósításában. Gondoljunk megint csak a szentjánosbogarak és a tücskök esetére. Amint Watts és Strogatz felfedezte, a kapcsolatok kicsi világ mintázata nagy előnyt jelent a kisülések szinkronizálására törekvő szentjánosbogarak számára. A neuronok szintjén kezd világossá válni, hogy a kicsi világ trükkje nem egyszerűen jó ötlet, hanem elemi feltétele az agy alapvető funkcióinak.

Gyors észjárás

Vajon a kicsi világok trükkje valóban elősegíti a neuronhálózatok összehangolódását? Van-e valamilyen más előnye vagy hátránya is? 1999-ben Luis Lago-Fernández és az Universidad Autónoma de Madrid munkatársai igen hasonló módszerrel vizsgáltak neuronhálózatokat, mint Watts és Strogatz a szentjánosbogarakat. Vagyis elkészítették a sáskák szagló antennalebenyének virtuális modelljét és lépésenként végignézték, hogyan reagálna egy ingerre. Soha senki nem vizsgálta elég alaposan a sáska neuronhálózatának elrendezését ahhoz, hogy ismerje annak tényleges szerkezetét. Így

aztán Lago-Fernández és munkatársai számos lehetőséget végigpróbáltak. Elsőként szabályos rendezett hálózatba kötötték össze a neuronokat. Hogy a szimuláció valóságosabb legyen, mind a nyolcszáz idegsejt működésére olyan részletes modelleket alkalmaztak, amelyeket a kísérleti idegésztan kutatói több mint fél évszázados fáradságos munkával dolgoztak ki. A számítógép segítségével a csoport ingerrel vezettetett a hálózat neuronjainak egy kis hányadára, és figyelték, hogyan terjed szét a hatás.

Amikor – a jelentéssel bíró szagot érzékelő sáska analógiájára – egy ingerkeltő impulzus érte a hálózatot, a csoport azt találta, hogy a szabályos architektúra határozottan nem adekvátan reagált. A különböző neuronok mindenesetre szinkronban kerültek és koherens választ adtak a szagérzékellet nyugtázására, az élő sáskához hasonlóan. Volt azonban egy súlyos probléma. Az inger jelentkezése után a neuronok csak hosszú idő alatt hangolódtak össze, sokkal lassabban, mint a sáska idegsejtjei. Ha a sáska agya így lenne összehuzalozva, igencsak lomha állat volna.

A kutatók ezek után véletlen összeköttetéssel próbálkoztak. Ez sem működött azonban sokkal jobban. A kis számú észlelő neuron gyorsan továbbította az első szagingert a többieknek és az aktivitás rövid idő alatt végigfutott az egész hálózaton. Ez nem is meglepő, miután az összekapcsolási távolság itt sokkal kisebb, mint a szabályos hálózatban. Most viszont más volt a baj. A véletlen hálózatban a neuronok soha nem tudták összehangolni a működésüket. A hálózat ugyan gyorsan reagált, de végső soron rendezetlenül, szagérzékelletet nem kísérte koherensen oszcilláló idegsejt-aktivitás.

Számos más tudóshoz hasonlóan addigra már Lago-Fernández és munkatársai is hallottak Watts és Strogatz kicsi világ hálózatokkal foglalkozó kutatásairól, elhatározták hát, hogy azzal is megpróbálkoznak. Visszatértek a szabályos hálózathoz, beiktattak néhány messzire nyúló neuronkapcsolatot, majd az így kapott kicsi világ hálózatot újabb szimulációkban próbálták ki. Az eredmény olyan jó volt, hogy el sem akarták hinni. A kicsi világ hálózat ugyanolyan gyorsan reagált az ingerre, mint a véletlen hálózat, a neuronok azonban most összehangolt kisülési mintázatot vettek fel, ezáltal megvalósítva azt a koherenciát, amely a sáskáknál döntő

szerepet játszik az észleletek megjelenítésében. A kicsi világ hálózat ezúttal is egyesítette mindkét világ előnyeit – ami közvetett módon arra utal, hogy a sáskák idegrendszerében is ilyen összeköttetések működnek.

Merő ráadásként Lago-Fernández és munkatársai egy további lenyűgöző jelenségre is figyelmesek lettek. A valóságos sáskák neuronválaszainak egyik legfinomabb jellegzetessége az egyes neuronoknak a csoport oszcillációjához viszonyított pontos időzítése. Ennek révén a hálózat sokkal több információt képes tárolni, mint egyébként, ami például a különböző, ám eléggé hasonló illatok megkülönböztetésére, vagy egyéb tulajdonságoknak, például a szag erősségének megjelenítésére szolgálhat. A szimulációt végző csoport azt találta, hogy egyedül a kicsi világ hálózatok képesek gyorsan összehangolódni, miközben az egész hálózat oszcillációjához képest minden egyes neuron megtartja a maga külön időzítését. Nehéz megmondani, mindez mit is jelent az idegéletten szempontjából, de úgy tűnik, a *kicsi világ* architektúra révén a hálózatok nemcsak gyors és koherens reagálásra, de tömör információátvitelre is képesek. ^[39]

Persze mindezen eredmények sem sokat árulnak el az agy működéséről és a tudatról, arról azonban adnak némi támpontot, hogy az agy hogyan valósítja meg a tudatosság alapját képező szervezett tevékenységet. A szinkronizált neuronműködés feltehetőleg központi szerepet játszik a tudatos működésben, a kicsi világ architektúra pedig elősegíti ezt a folyamatot. Az agy összeköttetések térképe meglehetősen zűrzavarosnak tűnhet, pedig minden bizonnyal egyáltalán nem az – mint kicsi világban, valójában nagyfokú értelem rejlik benne.

Isteni elemek

Az ókori athénban Platón Akadémiájának kapuja felett ez a felirat állt: „Senki ne lépjen be, aki nem ismeri a geometriát”. Platón, akárcsak mintegy kilencszáz évvel korábban Püthagorasz követői szemében a geometria nem egyszerűen praktikus célok elérésére szolgáló eszköz volt. Szellemi értéke éppen kifinomult tisztaságában és minden gyakorlati kérdéstől elvonatkoztatott voltában rejlett.

Platón szerint ha az ember a geometriai valóság abszolút igazságát szemlélné, közelebb kerülne a világ lényegéhez, mélyebb valósággal érintkezhetne annál, amit közönségesen ismerünk. Ebben az értelemben a geometria olyan szellemi vállalkozás, amely jobbá teszi az embert, lelkét a tökéletesség elérésére sarkallja.

Vagy amint Szókratész mondta Platón *Államában*: „Az az ember, aki értelmét valóban a külső valóságra rögzíti, annak nincs ideje, hogy tekintetét lefelé, az ember alantas ügyeire fordítsa, ...hanem az örök, változtathatatlan rend dolgaira függeszti, és látván, hogy azok sem nem ártanak egymásnak, sem nem szenvednek kárt egymástól, hanem mind engedelmeskednek az értelem megkövetelte harmóniának, megkísérli követni azokat, és amennyire csak lehet, hasonlóságukra idomítani magát és alkalmazkodni hozzájuk...”^[40]

Mindehhez a geometriáról való elmélkedés nyersanyagát Euklidesz i.e. 300 táján írott *Elemében* találhatták fel. Euklidesz úgy kívánta megtalálni a geometriai igazságok tökéletes formáját, hogy egyszerű és szemlátomást „nyilvánvaló” tényekből vagy axiómákból kiindulva, az értelem isteni fényét követve egyre összetettebb tételeket vont le. Platón szerint maga Isten is valószínűleg Euklidesz előírásait követte a világegyetem megteremtésében. Platón eltöprengett a világ kezdetéről és úgy képzelte, Isten olyan építőkockákat – köröket, négyzeteket és más geometriai alakzatokat – használt, amelyeket Euklidesz az ő kedvéért faragott ki. E legésszerűbb geometriai testek volnának számára a tökéletes építőanyag.

Eric Temple Bell matematikátörténész az alábbi mulatságos metaforával utalt rá, hogy Euklidesz geometriája hogyan béklyózza meg az emberi értelmet: „Cowboyok használják a »disznó-kötést«, amellyel úgy gúzsba tudják kötni a tinót vagy a nyugtalan vadlovat, hogy mozdulni, de még gondolkodni se tud. Euklidesz pontosan ezt tette – a geometriával.”^[41] Ezt a béklyót végül is Nyikolaj Lobacsevszkij^[42] orosz matematikus vetette le, amikor bebizonyította, hogy Euklidesz geometriája nem az *egyetlen* geometria. Euklidesznel a háromszög szögeinek összege, ahogy az iskolában tanultuk, 180 fok. Lobacsevszkij megmutatta, hogy többféle más geometria is létezik, és egyeseknél e szögek összege 180 foknál több, másoknál kevesebb. A fizikai világ geometriájának mibenlétéről kísérleteknek kell döntenünk. Elsőként Albert Einstein

ismerte fel, hogy az nem euklideszi.

Mint már említettem, egyes szociológusoknak az az ötlete támadt, hogy a nem euklideszi geometria segítségével értelmezhetnék a társas hálózatok láthatólag görbült struktúráját. Jelen esetben azonban ez nem bizonyult jó ötletnek. Inkább a kicsi világ geometria tűnik megfelelőnek. Ennek fogalmai azonban nem geometriai alakzatokra vagy a tér-idő szerkezetére, hanem az élő világ legalapvetőbb szövetét alkotó kusza társadalmi, gazdasági, biológiai hálózatokra vonatkoznak.

Amint kezdjük látni, a kicsi világ szemlélet lehetőséget kínál, hogy meglássuk a rendet és ésszerűséget sokféle, látszólag zűrzavaros hálózatban, többek közt az emberi agyban is. Számos hálózatról, amelyről korábban úgy véltük, hogy többé-kevésbé véletlenszerű, minden alapvető rendezőelvet nélkülöz, egyre inkább kitűnik, hogy meglehetősen szellemes rejtett terv, zseniális rendszer lappang a mélyén.

5. A KICSI VILÁG HÁLÓ

Az emberiség a szén alapú értelemről a szilikon alapúra való átmenet katalizáló enzime.

– Gérard Bricogne^[43]

Ezerkilencszázötvenhét október 5-én Amerika-szerte nyugtalanító hír fogadta a reggeli lapok olvasóit. A katonai vezetés rémületére és az amerikai tudósok minden hitetlenkedése ellenére a Szovjetunió Föld körüli pályára állított egy műholdat. A Szputnyik naponta hétszer repült el az amerikai szárazföld felett 820 km magasságban. A kosárlabdánál nem nagyobb méretű műhold 83 kg-ot nyomott, majdnem tízszer annyit, mint bármely szerkezet, ami az amerikai műholdprogramban szóba került. Akármi volt is a feladata, már pusztán léte fenyegetést jelentett az amerikaiaknak, mert azt jelezte, hogy a szovjetek előnyre tettek szert a világűr meghódításában.

Az igazi aggodalmat nem is annyira maga a Szputnyik keltette, mint inkább, amiről tanúskodott: hogy a szovjetek magas szinten ismerik a fejlett rakéták építésének és irányításának technikáját, ami akár

interkontinentális nukleáris rakéták tervezésére és elkészítésére is jól felhasználható. Amint Stuart Symington republikánus szenátor mondta néhány nappal később, ez a rakéta „újabb ékes bizonyítéka a szovjetek egyre növekvő fölényének a rakétatechnika mindennél fontosabb területén”, és a vészharangot is megkongatta: „lehetséges, hogy az Egyesült Államok jövője is veszélybe került”.^[44] Dwight Eisenhower elnöknek az egyre nagyobb félelem úgyszólván hisztériával határos légkörében kellett meghoznia döntését a válaszlépésről.

Október 10-én, öt nappal a rakéta fellövése után tartott sajtóértekezletén Eisenhower annak a határozott meggyőződésének adott hangot, hogy a mesterséges hold „jottányival” sem csökkentette az Egyesült Államok katonai biztonságát. Nem mondhatta ki nyilvánosan, ám a szovjet területek felett átrepülő U2 kémrepülőgépek felvételeiből tudta, hogy az Egyesült Államok távolról sem maradt le a rakétaversenyben. Eisenhower szavait mindazonáltal csak vigasznak szánta, a Szputnyikra adott lényegi válasza néhány hónappal később született. 1958 januárjában egy minden amerikai űrkutatást és fegyverkezést felügyelő hivatal létrehozására kért pénzt a kongresszustól. Eisenhower szerint az USA legnagyobb kincse a tudósai és az ARPA (Advanced Research Project Agency, Magas szintű Kutatási Tervek Ügynöksége) éppen az ő tudományos erőik egyesítését tűzte ki célul. A különböző fegyveres testületek gyakran egymással is versengő kutatási ágazatainak összefogásával az ARPA biztosíthatná, hogy az Egyesült Államok soha többé ne maradjon le a haditechnika terén.

Az emberiség történelmében semmi sem alakul úgy, ahogy várnánk. Az ARPA például nem sokat tehetett a szovjet űrfenyegetés ellensúlyozására, mert a létrehozásától számított nem egészen egy éven belül a NASA (National Aeronautics and Space Administration, Nemzeti Aeronautikai és Űrhivatal) megfosztotta legtöbb támogatásától és aláasta eredeti célkitűzését. Egy korabeli tudósítás így minősítette az ügynökséget: „döglött macska lóg a szekrényben”.

^[45] Ennek folytán negyvennégy évvel később a legtöbben még csak nem is hallottak az ARPA-ról, noha majdnem fél évszázados fennállása alatt szép csöndben minden idők egyik legforradalmibb találmányával ajándékozta meg a világot.

Hálózat némi intelligenciával

1964-ben, két évvel a kubai rakétaválság után, Paul Baran amerikai mérnök egy szakcikk-sorozatot írt a kaliforniai Santa Monicában működő RAND Corporation számára. Az U.S. Air Force támogatásával Baran egy olyan országos kommunikációs hálózat vázlatos tervén dolgozott, amely akár jelentős szovjet támadásnak is ellen tudna állni.^[46] Akkoriban kitapintható volt a félelem, hogy a Szovjetunió esetleg váratlan nukleáris csapást intézhet az Északi Sark felől. Egy ilyen támadás kétségtelenül hatalmas pusztítással járna, és az alapvető kommunikációs rendszerek, mint például a telefonhálózat megsemmisülése érzékenyen érinthetné az USA reagálóképességét. A telefonhálózat centralizált rendszere meglehetősen sérülékeny. Néhány fontos irányítóközpontja megtámadásával elérhető, hogy az egész hálózat összeomoljon.

E probléma megoldására Baran olyan, úgynevezett „osztott” kommunikációs hálózatot, átviteli vonalakkal összekötött számítógépeket és más kommunikációs berendezéseket javasolt, amelyek mindegyikéből legfeljebb néhány ilyen kapcsolat indul ki. Nem lennének különleges fontosságú irányítóközpontok. A teljes hálózatra vonatkoztatva Baran az egy elemre eső kapcsolatok átlagos számát a hálózat „redundanciájának” nevezte, és azt próbálta bizonyítani, hogy „rendkívül ellenállóképes hálózatok alakíthatók ki viszonylag alacsony redundanciával... Nagyjából hármás redundancia szint mellett rendkívül kemény támadásokat is ki lehet állni elhanyagolható kommunikációs veszteség mellett.”

Tegyük fel, hogy egy üzenetnek a hálón keresztül A pontból B-be kell eljutnia. Az üzenet utazhat a hálózat „behuzalozott” útvonalain vagy útvonalainak sokaságain, ám ezeket néhány kulcsfontosságú elem vagy összeköttetés hibája kiiktathatja. Ezzel szemben Baran rendszerében az üzenetek nem előre elrendezett terv szerint utaznak. Ehelyett a hálózat minden pontján folyamatosan a számítógép dönt az üzenet továbbításának legjobb módjáról. E célból mindegyikük saját „útvonaltáblázatot” tart nyilván, vagyis olyan adatokat, hogy a hálózat különböző útvonalain újabban mennyire gyorsan vagy lassan haladtak át az üzenetek. Amennyiben egy

ellenséges támadás kiiktatná a hálózat néhány elemét, számítógépei úgy reagálnának, hogy a zavar helyéről másfelé terelnék az üzenetet. A hálózat alkalmazkodóképességgel – egyfajta saját intelligenciával – rendelkezne.

Ily módon egy A ponttól B-be haladó üzenet több ezer lehetséges útvonalon haladhatna át. A hálózat ezáltal nagyfokú rugalmasságra tenne szert, hiszen még egy rendkívül súlyos támadás is minden bizonnyal érintetlenül hagyná egy-két útvonalát. Amint Baran írta: „Emberi közbeavatkozás nélküli digitális kapcsolók hálózatát képzeltek el, amely minden csomópontban önműködően tanul, így a teljes forgalom lényegében változó környezetben folyik – anélkül, hogy esetlegesen támadható központi irányítópontra lenne szükség.” És nem egyedül Baran gondolkodott így. Az 1960-as évek közepén a Massachusetts Institute of Technology számítógéptudósa, Leonard Kleinrock és a British National Physical Laboratory fizikusa, Donald Davis egymástól függetlenül hasonló sémákat találtak fel, noha más-más feladatok megoldására. Abban az időben drága, behemót számítógépek voltak és sok mérnök úgy gondolta, értelmes dolog volna, ha sikerülne elérni, hogy „beszélgethessenek egymással” és megosztozzanak az erőforrásokon.^[47] Az ARPA finanszírozásában egy mérnökcsoport már bele is fogott, és 1969 decemberére négy, az ország különböző pontjain összekapcsolt számítógép sikeresen kommunikált is egymással. Az ARPANET, ahogy akkor nevezték, a los angelesi University of California, a Stanford University, Santa Barbarában a University of California és a University of Utah számítógépeiből állt. 1972 végére az ARPANET az Egyesült Államok területét lefedő tizenkilenc különálló számítógép hálózatává bővült. És noha akkoriban senki sem tudta, küszöbön állt modern korunk egyik legmélyebb technológiai változása – mulatságos módon legalábbis részben a hidegháborús machinációk következményeként. Az ARPANET volt a mai Internet 250 országban működő, közel százmillió számítógépet magába foglaló óriási hálózatának a magja. Az Internetből kialakult World Wide Web (Világháló) civilizációnk egyik leglenyűgözőbb alkotása, mérföldkő a társadalom történetében.

Mint látni fogjuk, e hálózatok önmagukban is a tudományos vizsgálódás alkalmas tárgyai. A Xerox Internet Ecological Division

számítógéptudósai azt írták: „A hálót pusztá kiterjedése és bonyolultsága az ismeretek élő környezetévé avatja, amely saját kapcsolatokkal, információs »táplálékláncokkal«, dinamikus kölcsönhatással bír és hamarosan éppolyan gazdag lesz, ha nem gazdagabb, mint számos természetes ökoszisztéma.”^[48] Mielőtt azonban rátérnénk az Internetes ökológia architektúrájának feltárására, nem árt némi benyomást szereznünk az Internet és a Világháló egyre hatalmasabb méreteiről és befolyásáról.

Változó világ

Az internet az utóbbi tíz évben évenként megkétszereződik, ami a hozzá kapcsolódó számítógépek számában robbanásszerű, mintegy ezerszeres növekedést jelent. Jelentősége éppenséggel gyorsabban növekszik, mint a huszadik század elején a telefoné. 1984-ben, huszonöt évvel az ARPANET indulása után egy főre számítva több Internet host működött az Egyesült Államokban, mint ahány telefon huszonöt évvel azután, hogy Alexander Graham Bell bejelentette találmányát.

Peter Drucker a Kaliforniai Claremont Graduate University társadalomtudományi professzora, a business management területén az utóbbi fél évszázad egyik legnagyobb koponyája úgy látja, hogy a számítógép a gőzgéphez hasonlítható, az Információs Forradalom pedig mára érkezett arra a pontra, mint az Ipari Forradalom az 1820-as években. Drucker rámutatott, hogy az Ipari Forradalom legmesszebb ható változásai nem a gőzgép, hanem az általa lehetővé váló másik példátlan találmány, a vasút következményei. Hasonlóképpen, gyanítja, nem a számítógép vagy az Internet változtatja meg a világot, hanem azok egyik újabb keletű hozadéka: „az e(lektronikus)-kereskedelem azt jelenti az Információs Forradalom számára, mint a vasút az Ipari Forradalom idején – egészen új, egészen példátlan, egészen váratlan fejleményt. És akárcsak 170 évvel ezelőtt a vasút, most az e-kereskedelem hoz létre újabb és egyedülálló fellendülést, gyors ütemben átalakítva a gazdaságot, társadalmat és politikát.”^[49]

Az Egyesült Államokban az eBay online aukciós ház forradalmasította az áruk egyének közötti adásvételét. A

www.ebay.com honlapjára fellépve az ember bármire alkudozhat használt gitároktól kezdve autókig, játékgépekig és akár házakig is. A cég ma már évi egymilliárd dolláros forgalmat bonyolít és neve, akárcsak az *Amazon.com*, minden háztartásban ismert. A *New York Timestől* kezdve a *Cleveland Plainig* bezárólag minden nagyobb újság és folyóirat elérhető online kiadásban és a nagyobb bankok kiadásaik több mint felét az Internet alapú banki szolgáltatások fejlesztésére fordítják. Az Internetgazdaság ma több, mint hárommillió embert foglalkoztat közvetlenül, vagyis nagyobb munkáltató, mint a biztosítási vagy az ingatlanüzlet. Az üzletek és vásárlók közti tranzakciók csupán egyötödét képviselik a teljes Internetes kereskedelemnek. A maradék, az e-kereskedelem zöme közvetlenül a cégek közt zajlik.

Az IBM Elnöke, Lou Gerstner szavaival: „Nem mesebeszéd, ha azt mondjuk, a háló pillanatok alatt az áruk, szolgáltatások és eszmék valaha látott legnagyobb, legdinamikusabb, nyüzsgő, szakadatlanul mozgó piacává növi ki magát.”^[50] Les Alberthal, az Electronic Data Systems Corporation korábbi vezető tisztviselője hasonlóan lelkes: „Mostanára kiderült, hogy ez a forradalom nem fog megállni. A következő tíz évben a történelem legnagyobb technikai átalakulásának leszünk tanúi, amelyben a világ földrajzilag elkülönült piacai egyetlen dinamikus, komplex szervezetté olvadnak össze.”^[51] Ezeknek az embereknek a megjegyzéseit persze az Internettel szorosán összefonódó cégekben betöltött vezető pozícióiknak is tulajdoníthatnánk. A vállalatvezetők nyilatkozatai elég természetes módon a cégek reményeit szokták tükrözni. Ám optimizmusukat jelen esetben a számok is alátámasztják. Amennyiben a jelenlegi tendenciák folytatódnak, 2003-ra az Egyesült Államok elektronikai piaca több, mint egybillió dollárt foglal magába, és az Egyesült Államok kereskedelmének majdnem 10 százalékát teszi ki. Ez már önmagában meghaladja az Egyesült Királyság vagy Olaszország teljes gazdasági tevékenységét és 2006-ra várhatólag az Egyesült Államok üzleti életének mintegy 40 százaléka az Interneten folyik majd.^[52]

Az Internet a tudomány képét is átalakítja. A kutatók évszázadokon keresztül nyomtatott formában, tudományos folyóiratokban publikálták eredményeiket, amelyek száma ma már több ezerre rúg.

2001 nyarán azonban a *Nature* nemzetközi folyóirat vitát rendezett a tudományos publikációkról az Internet fényében. Több, mint húszezer tudós petíciót írt alá egy Tudományos Nyilvános Könyvtár létrehozása érdekében, amely az Interneten elektronikus formában szabadon hozzáférhetővé tenne minden tudományos szakirodalmat. Maga a szakfolyóirat is átalakulóban van. Ma már nem pusztán kétdimenziós passzív dokumentum, hanem videókkal, számítógép-szimulációkkal, adatbázisokkal stb. kapcsolható össze.

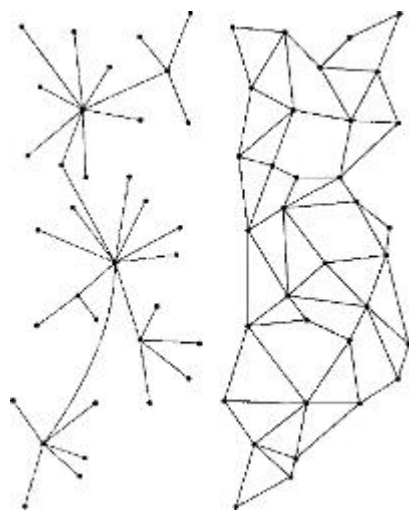
Az Internet korlátlan növekedése elég természetes módon elképesztő bonyolultságú hálózatot hozott létre. Mind az Internet, mind a World Wide Web több millió ember tevékenysége révén növekszik, akiknek mind megvannak a maguk tervei és ötletei, gazdasági, vallásos vagy bármilyen elképzelhető motivációi. Abszolúte nem létezik központilag megtervezett struktúra vagy elképzelés, csupán ún. hypertext linkek által összekapcsolt számítógépek és weboldalak hihetetlenül kusza szövevénye. Ha ebben a lélegzetállító összetettségben bármilyen egyszerű szerveződési elvet kellene felfedeznünk, kétségbeesetten fel is tehetnénk a kezünket.

Pedig számos laboratóriumban a kutatók térképeket, a cybertér absztrakt szerkezetét leíró kapcsolási rajzokat készítettek az Internetről és a webről. Hogyan néznek ki e hálózatok? És hogyan növekednek? Kiderült, hogy a tudósok meglepő kapcsolatokat találtak Watts és Strogatz kicsi világ struktúráival. E hálózatok ugyanakkor további tanulságokkal is szolgálnak.

Internetes felfedezők

A Rand számára írt egyik első dolgozatában Paul Baran kétféle osztott hálózatot vizsgált ([7. ábra](#)). Az egyik egy halászhálóra vagy a korábbi fejezetekben megismert rendezett hálózatokra emlékeztet, míg a másik egészen másképp fest. Ez az utóbbit Baran „hierarchikusan decentralizált” hálózatnak nevezte és bizonyította, hogy támadás esetén az ilyen típusú hálózatok sebezhetőbbek a halászháló jellegűeknél. Miután e hálózatok összetartásában bizonyos elemek különlegesen fontos szerepet játszanak, ha az ellenség e centrumokat veszi célba, súlyos károkat okozhat az

egész hálózatban. Baran világosan megmutatta, hogy a halászháló jellegű struktúrák „életképesebbek”.



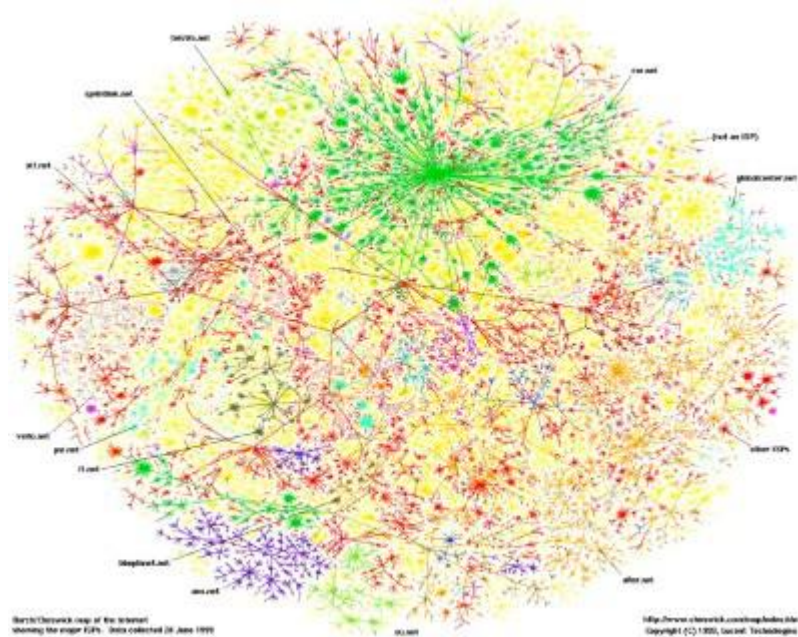
7. ábra

Két különböző fajta „osztott hálózat” diagramja, Paul Baran eredeti elképzelése szerint

Mindezen elméleti megfontolások azonban több, mint negyven évvel ezelőttről származnak. Az Internet ma negyvenmilliószor akkora, mint 1972-ben. Hogyan néz ki most? Ismervén az Internetnek a globális gazdaságban betöltött egyre növekvő szerepét, feltételezhetnénk, hogy valamely központi hatóság tartja szemmel a háló struktúráját, növekedési terveit és így tovább. A helyzet azonban az, hogy még csak jó képet sem könnyű alkotni az Internetről. Az Internet struktúráját csupán a cybertér fizikai területének aprólékos vizsgálatával lehet feltárni. Bill Cheswick a Bell Laboratoriéstól, illetve a Carnegie Mellon Universityn dolgozó Hal Birch öt éve pontosan ezzel foglalkozik. Szerencsére ezt ma már saját irodájuk kényelméből is megtehetik.

Cheswick és Birch minden nap mintegy tízezer apró információcsomagot küld szerte telefonvonalakon véletlenszerűen kiválasztott Internet címekre, és nyomon követik útjukat egészen a célig. Olyasfajta technikát alkalmaznak, mint ha egy ország úthálózatát úgy próbálnánk feltérképezni, hogy egy robotsereget indítunk, hajtsanak végig minden úton és jelentsenek minden egyes útkereszteződést, amelyen áthaladnak. Az információcsomagok

rendszerbeli mozgását követve Cheswick és Birch hozzávetőleges képet tud alkotni az Internet globális topológiájáról, amely pedig folyamatosan változik az új számítógépek és átviteli kábelek beállításával, vagy a fejlődő Interneten az információ újabb és újabb utakra terelésével.



8. ábra

Az Internet térképe (Bill Cheswick és a Lucent Technologies szíves engedélyével)

1998 decemberében Cheswick és Birch elkészítette az Internet [8. ábrán](#) látható térképét. A kép az Internetet alkotó számítógépeket és a közöttük levő kapcsolatok pillanatfelvételét mutatja. Izgalmas és talán némileg meglepő módon jobban hasonlít arra a hierarchikus hálózatra, amelyet Baran negyven évvel ezelőtt támadásokkal szemben túlságosan sebezhetőnek minősített és elvetett. Nem könnyű választ adni arra a kérdésre, hogy mi ennek az oka, hiszen az Internet kapcsolódási rendszerét senki nem felügyeli. Ez a hálózat számtalan véletlen nyomán alakult így, rengeteg egyén, vállalkozás, egyetem stb. döntéseit tükrözi, amelyekben nem volt semmilyen közös pont. Valamely titokzatos növekedési elv alapján mindazonáltal az Internetben is megnyilvánult egyfajta sajátos bölcsesség. Mert a hierarchikus rendszernek is megvan a maga

rejtett előnye, amiről Paul Baran nem tudhatott.

1999-ben három számítástudománnyal foglalkozó fivér, Michalis, Petros és Christos Faloutsos az Internet 1997. és 1998. közötti fizikai hálózatának adatai alapján vizsgálta, hogy egy információcsomagnak egyik ponttól a másikig átlagosan hány kapcsolaton kell áthaladnia. Ha San Franciscóból e-mailt küldünk Hong Kongba vagy Helsinkiből Virginiába, tipikusan hány átviteli vonalat veszünk igénybe? A Faloutsos testvérek azt találták, hogy az Internet óriási nagyságának dacára mindössze durván négyet. Ám még ha megkeressük az Internetről azokat a számítógépeket, amelyekhez a legnehezebb kapcsolódni, tíznél több lépésre akkor sincs soha szükség.^[53]

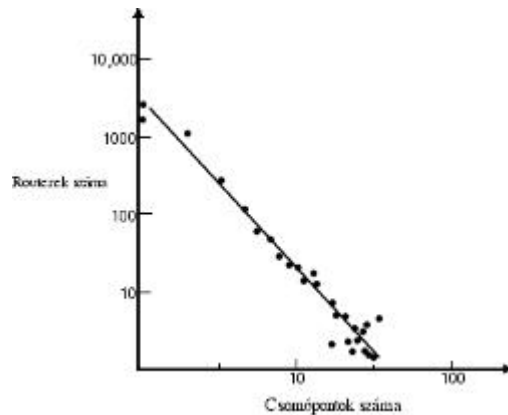
Az Internet tehát nem csupán osztott hálózat, de kicsi világ hálózat is, noha Watts és Strogatz ábráitól látszólag meglehetősen különbözik. Más kutatók hasonló eredményekkel megismételték a Faloutsos-csoport vizsgálatait, és megmérték a fűrtösödés fokát is, aminek Watts és Strogatz oly nagy figyelmet szentelt. Az Interneten a számítógépek csoportokba rendeződése a véletlen hálózatra várható érték több mint százszorosának bizonyult.^[54] Az Internet tehát igen távol áll a véletlen hálózattól. De nem is az a rendezett hálózat, amelyet Baran elképzelt. Hanem egy újabb fajta kicsi világ hálózatnak bizonyult, amelynek sikerült úgy megszerveződni, hogy bármely két pontja között az információ néhány lépésben el tud jutni. Na most az Internet nem olyan, mint egy város, ahol az embernek bármely változtatáshoz engedélyt kell kérni egy várostervező testülettől, és nincs központi hatóság, amely meghatározná az alaprajzát. Bárki új számítógépet csatlakoztathat a hálóra, a számítógépek közötti kapcsolatok száma pedig nagy gyorsasággal, nagyjából óránként eggyel emelkedik. Meglepő tehát, hogy az Internet olyan hálózattá fejlődött, amelyben megvan a kicsi világ tulajdonsága. Az is érdekes, hogy Cheswick és Burch Internetről alkotott képe nem igazán emlékeztet az előbbi fejezetben látott kicsi világ hálózatokéra, amelyek egy egyébként rendezett hálózatból néhány véletlenszerű kapcsolat hozzátételével keletkeztek. Az Internet másfajta kicsi világ. Itt egy kicsit más trükk érvényesül, ennek megértéséhez pedig egy kevés matematikára lesz szükségünk.

A cybertér

Vessünk ismét egy pillantást az Internet hierarchikus képére ([8. ábra](#)). Ha közelebbről megvizsgáljuk, azt látjuk, hogy egyes csomópontok a többiekénél sokkal több kapcsolattal rendelkeznek, mintegy a hálózat központjaiként funkcionálnak. E központokon feltehetőleg az információ aránytalanul nagy része áramlik keresztül. Paul Baran az osztott hálózatokról gondolkodva nem vette tekintetbe ezt a lehetőséget, mert csak olyan hálózatokra koncentrált, ahol minden elem ugyanannyi kapcsolattal rendelkezik. Az Internet, legalábbis ahogy ez a kép mutatja, meglehetősen más.

Ezt a képet azonban nem olyan könnyű értelmezni, a különbségre pedig pontosabban is rá lehet mutatni. Tekintsük az Internet minden egyes csomópontját, vagy legalábbis azok jó részét! Számoljuk meg, hánynak van egy kapcsolódása, hánynak kettő stb., és az eloszlásról készítsünk grafikon! Ez a grafikon elárul bizonyos információt a hálózat általános összeköttetési mintázatáról. Ha a legtöbb csomópontnak csak néhány kapcsolata lenne, a grafikon erőteljes csúcsot jelezne valahol három és négy kapcsolat között. A Faloutsos-csoport elvégezte ezt a kísérletet a hálózat 1998-as állapotára, és meglehetősen más eredményt kapott.

A csoport 4389 csomópontot vizsgált meg a hálózatban, amelyhez 8256 összeköttetés tartozott, és elkészítette az imént említett grafikon ([9. ábra](#))^[55] A kapott görbe egészen egyszerű szabályt követ, amelyet a matematikusok hatványösszefüggésnek neveznek: valahányszor a kapcsolatok száma megkettőződik, az annyi kapcsolattal rendelkező csomópontok száma nagyjából ötödére csökken. Ez az egyszerű szabály teljes általánosságban érvényes a néhány kapcsolattal rendelkező csomópontoktól egészen a több száz kapcsolattal rendelkezőkig, és amint a Faloutsos-csoport megjegyezte, ez aligha véletlen. E szabály egyszerűsége arra utal, hogy akármilyen véletlenszerűnek és esetlegesnek is tűnik az Internet képe, valójában rejtett szabályszerűséget takar.



9. ábra

Az internet „csomópontjainak” eloszlása a linkek száma szerint. A görbe egyszerű hatványfüggvény-mintát követ. (M. Faloutsos, P. Faloutsos és C. Faloutsos: On power-law relationships of the Internet Topology Comput. Commun. Rev. 29, 251 1999.)

Ugyanilyen fajta rend másutt is megjelenik. Az Információs Forradalom nem kizárólag az Internet hálózatán alapul. Az Internet teljes egészében fizikai entitás – átviteli vonalakkal összekötött számítógépek kusza hálózata. Az Internet többé-kevésbé tiszta hardver. Ezzel szemben a World Wide Web, a Világháló meglehetősen éteri dolog. Weboldalak óriási hálózata, amelyeket hypertext linkek kötnék össze – a weboldalak olyan részletei, amelyekre rákattintva valahol másutt lyukadunk ki. Ha úgy tetszik, a World Wide Web az Internet felszíne, a legtöbb felhasználó ezen keresztül érintkezik az Internettel.

A Világháló gyarapodása, akárcsak az Interneté, jórészt befolyásolhatatlan, úgyszólván véletlenszerű. Bárki készíthet weboldalt bármennyi dokumentummal, és azokat összekapcsolhatja más dokumentumokkal. Jelenleg több mint egymilliárd weboldal létezik, amelyeket a hypertext-linkek egyetlen lélegzetelállítóan hatalmas hálózattá kapcsolnak össze. Nem nyilvánvaló, miért kellene a World Wide Webnek bármiféle strukturális hasonlóságot mutatni az Internettel – mégis ez a helyzet. Maga is csak egy újabb kicsi világ hálózat, amelynek szerkezete feltűnően emlékeztet az Internetére.

Néhány évvel ezelőtt a Notre Dame Universityről Barabási Albert-László fizikus és kollégái szerették volna valamennyire megismerni a

World Wide Web szerkezetét, ezért számítógépes „robotot” készítettek, hogy barangoljon a Világhálón és figyelje meg, amit talál. Nem holmi karokkal, lábakkal, kerekekkel felszerelt robot volt ez, viszont olthatatlan szenvedéllyel böngészte a Világhálót. A robot végigment egy adott weboldalon, és az ott található összes kapcsolat nevét összegyűjtötte. Ugyanaz a módszer, mint amikor egy hálózat egyik csomópontját elemezve rögzítünk minden belőle kiinduló, más csomópontokba vezető kapcsolatot. Ezután a robot minden egyes kapcsolatot nyomon követett és sorban ugyanígy járt el mindazon weboldalakkal, amelyekre megérkezett.

Ily módon a robot bármely adott weboldalról kiindulva és kifelé haladva fel tudta térképezni az egész Világháló struktúráját. Ennek a robotnak a segítségével Barabási és kollégái megszámolták, hány weboldalon található egy link, kettő, három stb. A Notre Dame 325 729 dokumentumot és köztük 1 469 680 kapcsolatot tartalmazó site-járól kiindulva az Internettel szinte tökéletesen megegyező mintázatot találtak: egy bizonyos számú kapcsolatot tartalmazó oldalak száma ötödére csökkent, valahányszor a linkek számát megdupláztuk. Más oldalakat, például a *www.whitehouse.gov* és *www.yahoo.com* oldalakat vizsgálva ugyanezt találták.^[56]

Mit jelentenek ezek az egyszerű összefüggések? Vessünk ismét egy pillantást a Faloutsos-csoport által talált hatványgörbére (lásd [9. ábra](#)). A görbe magassága bármely pontban annak felel meg, hogy a hálózatban hány csomópontnak van ennyi kapcsolódása. A matematikusok a görbe „farkának” nevezik azt a részt, ahol a csomópontok száma nullához közelít. A görbe farka arról tanúskodik, hogy kevés csomópontnak van nagy számú kapcsolata. Ez ugyan igaz, mégis kissé csalóka. A tudósok évszázadok óta ismerik a normális eloszláshoz társítható úgynevezett „haranggörbét”. Mérjük meg például egy szobában mindenkinek a magasságát, és készítsünk grafikont a magasságok eloszlásáról. Meg fogjuk találni az átlag- vagy közép-magasságot, és látni fogjuk, hogy az átlagtól távolodva a görbe két széle lehajlik. A haranggörbe és a hatványgörbe farka ugyan nagyon hasonló, mégsem azonos.

A hatványgörbéknek úgynevezett „kövér farkuk” van. Vagyis a haranggörbéhez képest a hatványgörbe sokkal lassabban csökken nullára. Az Internet vagy a World Wide Web esetében a kövér

farokból az következik, hogy sokkal nagyobb valószínűséggel találkozhatunk igen sok kapcsolattal rendelkező csomóponttal, mintha a hálózatok normális eloszlást követnének. Azt mondhatjuk, e hálózatok szokatlan eloszlást mutatnak. Mindenesetre ebből sok minden következik. Ami azt illeti, ezekben a hálózatokban néhány csomópont olyan sok kapcsolattal rendelkezik, hogy a hálózat összes kapcsolatának 80-90 százaléka a csomópontok egészen kis töredékére esik. A hatványösszefüggés tehát matematikai megjelenési formája egy speciális architektúrának, amelyben dominálnak a különösen sokszorosan összekapcsolt centrumok.

Barabási és kollégái a Világhálóval kapcsolatban erre a következtetésre jutottak: „Az az esély, hogy nagy számú kapcsolattal rendelkező dokumentumra bukkanunk, meglehetősen szignifikáns, hiszen a hálózat kapcsolódásait jórészt sokszorosan összekapcsolt oldalak dominálják... Nem elhanyagolható annak valószínűsége, hogy igen népszerű címeket találunk, amelyekre nagyszámú további dokumentum is mutat, és ez a World Wide Web szociológiájában megmutatkozó nyájszellemet jelzi.”

Ennek és más vizsgálatoknak az eredménye az Internet és a World Wide Web közös, univerzális architektúrájára mutat rá, valamint arra, hogy ezek látszólagos véletlenszerűsége mögött jó adag rendszerszerűség rejtőzik.

Barabási csoportja megbecsülte a Világháló úgynevezett „átmérőjét” (a dokumentumok közötti átlagos távolságot) is. Másképpen, két véletlenszerűen kiválasztott dokumentumnál az átmérő azt fejezi ki, hány kattintással jutunk az egyikből a másikba. A csoport a robotot vette igénybe a teljes World Wide Web számítógépes modelljének felépítésére. Az átmérő becslésére nagyjából tizenkilenc jött ki, ami mély összefüggésre mutat rá a centrumok megléte és a kicsi világ architektúra között. A tizenkilenc kattintás nem olyan borzasztóan kevés, ám a hálózat több milliárd dokumentumát tekintve mégis minden bizonnyal az.

Ez az eredmény jó hírt jelent a Web jövőjére nézve. Vizsgálódásaik alapján Barabási és kollégái arra a következtetésre jutottak, hogy a Web D átmérőjének logaritmikus összefüggésben kell lennie a Weben található dokumentumok N számával. Ez azt fejezi ki matematikai nyelven, hogy ha N még sokkal nagyobb lesz is, a

Weben való navigációhoz szükséges kattintások száma csak kevéssel nő meg. „Úgy találtuk” – állították a kutatók, – „hogya a Web méretének következő néhány évben várható 1000 százalékos a növekedése az átmérőt 19-ről legfeljebb 21-re fogja növelni.”

A kicsi módozatai

Az e fejezetben leírt vizsgálatok kissé absztraktnak tűnhetnek. Mit jelentenek mindezen eredmények? Az előző fejezetben megtudtuk, hogyan lehet egy hálózat egyszerre kicsi világ, miközben nagymértékben fürtökbe tömörül. Mindössze egy rendezett hálózat kell hozzá, néhány véletlen kapcsolattal kiegészítve. Ám Watts és Strogatz receptje egyvalamiről megfélekedezik: a hálózat működését rendszerint uraló centrumokról. Az előző fejezet kicsi világ hálózatai a sebezhető hálózatok Paul Baran által elképzelt jellegzetességeivel bírnak, mindegyik elemből igen kevés kapcsolat indul ki és egyikből sem sokkal több, mint másokból. A valóságos hálózatok azonban nem így épülnek fel.

Az Internet és a Világháló (World Wide Web) nem egészen illeszkedik Watts és Strogatz sémájához, a kicsi világok célját más úton-módon valósítják meg – nevezetesen egyes elemeiknek hatalmas számú kapcsolatuk van. Más szóval egy hálózat többféleképpen is lehet kicsi világ, tehát nem elegendő annyit elárulni egy hálózatról, hogy kicsi világ-e. Ha Watts és Strogatz felfedezése az első lépés volt a rendetlen és bonyolult hálózatok felé, akkor a centrumok jelentőségének és a kapcsolatok hatványfüggvény szerinti eloszlásának felismerése a második lépés. Mi több, a centrumok kialakulása semmi esetre sem az ember alkotta információs hálózatok, például az Internet és a World Wide Web sajátossága.

1999-ben Barabási és kollégái, Hawoong Jeong, Tombor Bálint, Albert Réka és N. Oltavi Zoltán figyelme az Internetről és a World Wide Webről az élő sejtek működését meghatározó kémiai folyamatok bonyolult szövevénye felé fordult. A sejtanyagcsere alapjául szolgáló létfontosságú biokémiai reakcióknak – a sejt alapvető energiatermelő és átalakító funkcióinak – hálózatát kezdték tanulmányozni negyven különböző élőlénynél. Minden esetben az

egy-egy molekulák képviselték az anyagcsere-folyamatok elemeit és molekulák akkor kapcsolódtak egymáshoz, ha közös kémiai reakcióban vettek részt.

A hatalmas mennyiségű adat szükségessé tette, hogy a hálózat szerkezetét számítógéppel vizsgálják. És persze a számítógép azt mutatta ki, hogy e sejtfolyamatok hálózatai nem véletlenszerűek és nem is rendezettek, hanem szinte pontosan ugyanolyan architektúrájúak, mint az Internet vagy a World Wide Web.^[57] Minden élőlénynél a csomópontok eloszlása a kapcsolatok – vagyis az ő részvételével lezajló kémiai reakciók – száma szerinti hatványfüggvény-mintát követ. A sejttanyagcsereben is vannak centrumok. Például az *Escherichia coli* baktériumnál egy-két speciális molekula a sejt anyagcserejében több száz különböző kémiai reakcióban vesz részt, miközben sokezer másik molekula legfeljebb egy-kettőben. A sejttanyagcsere biokémiai hálózata szintén kicsi világot alkot, melynek átmérője majdnem mind a negyvenháromnál megegyezik: bármely két molekulát négy reakciónál nem több kapcsol össze.

Ha ez a fajta architektúra biokémiai szempontból rendkívül előnyös, talán nem csoda, ha a biológiai evolúció a természetes szelekció révén ráakadt. E sejtfolyamatok struktúrája minden élőlénynél több millió évnél véletlen események révén alakult ki. Akkor viszont mivel magyarázzuk, hogy Sidney Redner és Mark Newman fizikusok hasonló mintázatokat fedeztek fel tudományos folyóiratoknál? Tekintsük úgy, hogy ezeket a többi folyóirat hivatkozásai kapcsolják össze! Vagy gondoljuk a tudósokra, akiket között a társszerzőség valósít meg kapcsolatot! Redner és Newman a kapcsolatok hatványfüggvény-eloszlását fedezte fel mindkét fajta hálózatnál, ami megintcsak a kicsi világ architektúrájáról árulkodik.^[58] Például fizikusok, orvosbiológusok és számítógéptudósok ötéves periódus alatti együttműködését vizsgálva Newman azt találta, hogy dolgozatok társszerzősége alapján bármely tudós bármelyik másikkal legfeljebb négy-öt lépésben összekapcsolható.

Amint a következő fejezetekben még részletesebben meg fogjuk látni, ugyanez a minta figyelhető meg táplálékhálózatoknál, ahol a fajok kapcsolatait ragadozó-áldozat viszonyok jelentik, illetve Amerika legbefolyásosabb üzletembereinél, akiket az kapcsol össze,

ha nagyobb cégek igazgatótanácsában együtt ülnek. Különös módon a kicsi világ architektúra még az emberi nyelv struktúrájában is megjelenik. Egy évvel ezelőtt Richard Solé és Ramon Ferreri Cancho fizikusok a British National Corpus adatbázisát, a legkülönfélébb forrásokból származó 100 millió szónyi írott és beszélt nyelvi minták gyűjteményét használta fel, hogy megvizsgálja 460 902 angol szó grammatikai kapcsolatait. Két szót akkor tekintettek „kapcsolatban állónak”, ha angol nyelvű mondatokban egymás mellett szerepeltek. És most is minden magától adódott, akárcsak a többi hálózatnál.^[59] Maroknyi szó rendkívül jól kapcsolódó centrumként szolgált, nagy gyakorisággal jelent meg igen sok más szó mellett. Ilyen centrumok voltak például az *a*, *the*, *at* (egy, a, -nál) szavak. A nyelv szavai közti jellemző „távolság” három alatt maradt, pontosan ahogy egy ugyanennyi szót véletlenszerűen egymás mellé tevő nyelvben várhatnánk. Ugyanakkor a csoportképződés a véletlen hálózatának majdnem ötezerszerese volt, arra utalva, hogy a szavak fürtöket és bokrokat alkotnak, akárcsak a társadalmi hálózatban az emberek. Tehát maga az angol nyelv is ilyen kicsi világ.

Mindezek mélyén néhány mély kérdés húzódik meg. Az említett hálózatok közül egyetlen egyet sem tervezett meg senki, mégis mindegyikük nagyrészt ugyanarra a trükkre épül, mintha gondosan kiagyalták volna őket, ráadásul hasonló a célból. De hogyan lettek ilyenek ezek a hálózatok?

6. AZ ESETLEGESSÉG TUDOMÁNYA

Egyetlen dolog sem lesz véletlenségből, minden dolog az értelemből és szükségszerűségből ered.

– Leucippus^[60]

Fustel de Coulanges, a strassbourgi egyetem történelemprofesszora 1862-ben kijelentette, hogy „a történelem tudomány, vagy annak kell lennie”.^[61] De vajon úgy tudomány-e a történelem, mint a fizika vagy a kémia? És tudomány-e egyáltalán, vagy valami egészen más? Ahhoz, hogy eldönthessük, több kérdést meg kell vizsgálnunk. Először is a fizika sajátossága, hogy más-más

helyen és időben dolgozó tudósok idővel egyetértésre jutnak a fontos kérdésekben – onnan kezdve, hogy hány proton található egy oxigénatomban egészen addig, hogy a Napot fűtő nukleáris folyamatok hogyan működnek. De vajon a történettudomány módszerei képesek-e biztosítani ilyesfajta konvergenciát? És úgy működik-e egyáltalán, hogy objektív válaszok vannak a fontos kérdésekre? Maguk a történészek is kételkednek ebben.

Amint Carl Becker amerikai történész rámutatott az 1930-as években, például minden történész saját személyes poggyászát is beleviszi történészi munkájába, ami elkerülhetetlenül átszínezi a múlt értelmezését. Vagy Becker kortársa, Ralph Gabriel fogalmazott úgy, hogy „a »történelem« a múlt képe, mely úgy átszűrődik a történész agyán, akár a fény az ablakon. Az üveg néha szennyezett, és gyakran bosszantóan homályos. Az emberiség hosszú és balszerencsés történelmi tapasztalata megtanította a történészt, hogy azok az elfogultságok, előítéletek, koncepciók, feltevések, remények és törekvések, amelyek belejátszottak elődeink gondolkodásába, a múlt részét képezik, tehát foglalkoznia kell velük... Már kezdetben szomorúan döbben rá, hogy noha a legnyilvánvalóbb tökéletlenségek némelyikét fel tudja deríteni, célja reménytelen.”^[62]

A dilemmát csak súlyosbítja, hogy a történész nem folyamodhat kísérletekhez. Ha két alternatív elmélet közül kell választania, a fizikus legalábbis reménykedhet, hogy össze tud állítani valamilyen kísérletet, amely eldönti a kérdést.^[63] A múltba viszont nem lehet visszalépni, sem a részletek megváltoztatásával kideríteni, hogyan is történhetett volna. A történetírásban, a múlt értelmezésében minden történész maga kell kiválassza a leginkább említésre méltó tényeket. Választása bizonyos mértékig saját személyes ízlésén múlik, és arról tanúskodik, a gazdasági, politikai, társadalmi erők közül mely hatásokat tart a legjelentősebbeknek. Senki nem ismeri az igazságot, ezért könnyen megeshet, hogy két becsületes és szorgalmas történész ugyanannak az eseménynek eltérő magyarázatára jut, noha mindkettő legitim történészi módszereket követ.

A történésznek azután egy másik fajta nehézséggel is szembe kell néznie, amelynek nem sok köze van az ember szubjektív

esendőségéhez, hanem magának a történeti valóságnak a természetéből következik. A matematikai tudományokban, mint a fizikában vagy a kémiában, meg lehet fogalmazni olyan törvényeket, amelyek kivétel nélkül teljesülnek. Einstein híres $E=mc^2$ tétele mindig és mindenütt igaz, a Marson található vízmolekulára éppúgy, mint egy távoli csillagot alkotó forró gázokra vagy a Föld felszíne alatt több száz kilométerre rejtőző kődarabra. A kvantumelméletnek a mindenséget felépítő összes atom tulajdonságait leíró matematikai egyenletei hasonló általánossággal bírnak. A matematikai tudományok célja, hogy ilyesfajta általános elveket határozzon meg, vagy Alfred North Whitehead filozófus egykori megfogalmazásával: „hogyan meglássák az egyediben az általánost, a mulandóban az örököt”.

Ezzel szemben a történészek – akárcsak a többi történeti tudomány, például a geológia vagy az evolúciós biológia művelőinek – sokkal nehezebb dolguk van, ha kivétel nélkül érvényesülő törvényeket akarnak megállapítani. Nagyon sok véletlen, esetleges esemény tolvakodik felszínre, amely mind otthagya nyomát a kibontakozó jövőn, a magyarázatok tehát nem általános törvényekre, hanem az eseményeket összekötő, a dolgok létrejöttét leíró történetekre való hivatkozás formáját öltik. Egy magyarázat arról szólhat, hogyan vezetett A esemény B-hez és B pedig C-hez. Következésképpen világos, hogy ha nincs A, nem következett volna be sem B, sem C. Ha 1941 nyarán a német hadsereg nem támadja meg Oroszországot, a normandiai csatára nem került volna sor – 1944 nyarán még semmiképpen, mert akkor az Oroszországba küldött német egységek Franciaországban maradnak, félelmetes atlanti falat képezve.

Stephen Jay Gould evolúciós biológus teljes joggal úgy vélekedett, hogy éppen ez a fajta esetlegesség alkotja a történelem lényegét. „Nem a véletlenszerűségről beszélek” – írta Gould –, „hanem mindenfajta történelem központi elvéről – az esetlegességről. A történeti magyarázat nem alapulhat közvetlenül természeti törvényeken, hanem csak korábbi állapotok előre megjósolhatatlan sorozatán, és ha bármelyik lépés lényegesen megváltozik, az egész végkimenetel alapvetően másként alakult volna. A végkimenetel tehát esetleges, függ minden előzménytől – és ez a történelem

kitörölhetetlen, meghatározó kézjegye.”^[64]

Ha azonban az esetlegesség uralja a történelmet és ezért minden történeti „tudománynak” a narratív elbeszélés módszerére kell támaszkodnia, akkor igencsak furcsa helyzetben vagyunk. A társadalmi hálózatok kialakulását, az Internetet, az élő sejt molekuláris felépítését és az emberi nyelv szerkezetét illető kérdések minden bizonnyal a történelem területére tartoznak. Mindegyikről aprólékos történeteket lehetne mesélni, és azt várnánk, hogy ezeknek kevés közük van egymáshoz. E hálózatok mindegyikének megvan a maga egyedi története és például a sejt szerkezetére ható és azt építő erők egyáltalán nem érintkeznek az Internetet alakító gazdasági és technikai erőkkel.

Mindazonáltal, amint láttuk, mindezen hálózatok pontosan ugyanarról a törvényszerű építkezési elvről árulkodnak. Mindegyik egyszerre kicsi világ, amely közben nagymértékben fűrtökbe is rendeződik. Ezen túlmenően Watts és Strogatz eredeti receptjével ellentétben mindegyiket centrumok – rendkívül sok kapcsolattal rendelkező egyének, weboldalak stb. – uralják. Mi több, itt nem pusztán karakterük laza hasonlatosságáról beszélünk. Ennek a jellegzetességnek matematikai jegye is van: a hatványszabály, az elemek kapcsolatszám szerinti eloszlásának kövér farkú mintája. És ez a jellegzetesség mindegyik hálózatban úgyszólván azonos.

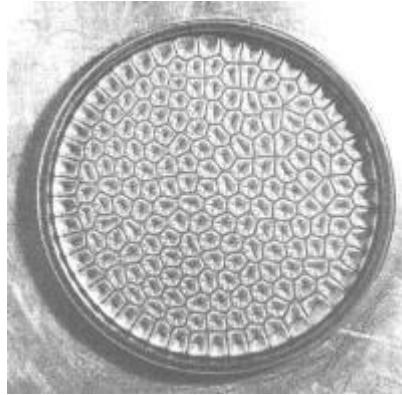
Tehát olyasfajta természetes rendet látunk itt, amely valami misztikus okból mindenféle hálózatban felbukkan, azok gazdag egyedi történetétől függetlenül. Hogyan lehetséges ez? Gouldnak bizonyára igaza van abban, hogy az esetlegesség „a történelem kitörölhetetlen, meghatározó jegye”, ez azonban nem jelenti, hogy a történelemben csakis esetlegesség lenne. A biológiában Charles Darwin gondolata, a természetes kiválasztódás révén történő evolúció rendkívül erős rendező elvet kínál, amelyen belül játszódhatnak le a történeti esetlegességek. A hálózatok tekintetében is kell működni valamilyen mélyebb elvnek.

A 7. fejezetben meg is fogjuk látni, miben áll ez a rendező elv. Előbb azonban azt derítjük fel alaposabban, hogyan alakulhat ki minta és rend a semmiből, néha akár a káoszából is, hogyan keletkezik szabályosság a pusztán véletlenek hosszú sorozatából. Mint látni

fogjuk, az esetlegességnek megvan a másik oldala is, és a történelemben több forma rejlik, mintsem naiv módon képzelnénk.

Mintázatok a serpenyőben

Ha lassú tűzön vizet forralunk egy serpenyőben, elkezd fortyogni, mert az alulról felgőzölgő hő mozgásba hozza. A legtöbben figyelemre sem méltatnánk ezt a mindennapos konyhai tüneményt. 1901-ben azonban az akkor huszonegy éves francia Henri Bénard felfigyelt arra, hogy ha a tűzhely hőmérséklete elég alacsony, a folyadék nem jön mozgásba és ebből meglepő következtetést vont le. Ha a folyadék magas hőmérséklet mellett mozog, alacsonynál pedig nem, akkor a kettő között kell lennie egy kritikus hőmérsékletnek, amelyen elkezdődik a mozgás. Bénard, aki akkoriban a párizsi College de France hallgatója volt, ki akarta deríteni, hogyan is történik ez a „kezdet”. Speciális berendezéssel biztosította a serpenyő egyenletes melegítését, ne legyenek benne hidegebb és melegebb területek, és beállított egy kamerát, hogy felülről felvételeket készítsen. Hogy könnyebben megfigyelhesse a folyadék mozgását, egy kevés port adott hozzá. Ezután munkához látott. Kezdetben, igen alacsony hőmérsékleten, a folyadék nyugalomban maradt a serpenyőben, pontosan amint várta. Lassan emelte a hőmérsékletet, de továbbra sem történt semmi. Aztán apránként még tovább, várva, hogy bekövetkezzen valami változás – és be is következett: a folyadék hirtelen, átmenet nélkül mozgásba lendült és látványos módon egy hatszögekből álló szinte tökéletes alakzatot vett fel ([10. ábra](#)). Ha visszavette a hőmérsékletet, a mintázat eltűnt, ha pedig emelte, ismét előjött.



10. ábra

Lapos tálcában hevített folyadék áramlásának hatszögletű mintázata (Manule Velarde szíves engedélyével)

A következő néhány hétben Bénard még nagyobb figyelemmel tanulmányozta a folyadékot, és hamarosan megállapította, hogy minden egyes hatszög sötét középpontjában melegebb folyadék áramlik felfelé, szélein pedig hűvösebb folyadék lefelé. A víznek valamilyen módon sikerült ilyen meglepő alakzatba rendeződni, mintha mindegyik rész tudná, mit csinál a többi, és aszerint viselkedne. Legnagyobb sajnálatára Bénard soha nem talált magyarázatot, mindez hogyan és miért történik. Tizenhat évvel később azonban Lord Rayleigh angol fizikus úgy vélte, neki sikerült. A tartály aljához közel, ahol hő éri, a melegebb folyadéknak ki kell tárgulnia, ritkább lévén a fölötte elhelyezkedő hűvösebb folyadéknál. Elvben fel is kellene emelkednie, mint egy forró levegővel töltött léggömbnek, miközben a nehezebb, hűvösebb folyadék lesüllyed. Rayleigh rámutatott, hogy valóban ez is történne, ha a folyadék (viszkozitás néven ismert, mozgását fékező) belső súrlódása nem akadályozná. A viszkozitás következtében a meleg levegő egészen addig nem emelkedik fel, a hideg pedig nem süllyed le, amíg eléggé fel nem hevítik – pontosan úgy, ahogy Bénard megfigyelte.

Rayleigh elméleti fegyvertényként a folyadék-fizika matematikai egyenleteivel alá is támasztotta gondolatmenetét, sőt, azt is bizonyította, hogy amikor megmozdul, a folyadék természetes módon hatszögletű mintázatot vesz fel. Ez az elmélet olyan kézenfekvően hangzott és olyan hatásos volt, hogy a tudósok fél évszázadon keresztül elfogadták, noha téves volt. Kiderült ugyanis, hogy Rayleigh egy teljesen feltöltött zárt tartállyal számolt. Bénard

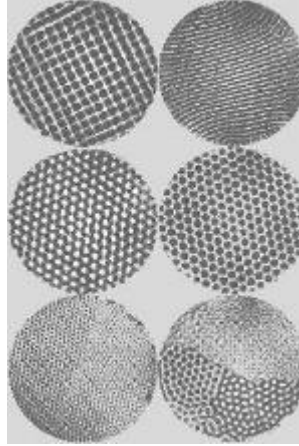
ezzel szemben nyitott serpenyővel kísérletezett, ahol a víz felszíne a levegővel érintkezett. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy Rayleigh magyarázata nem alkalmazható Bénard megfigyeléseire.^[65]

Mindazonáltal Rayleigh gondolkodása általánosságban jó nyomon haladt, hiszen felismerte, hogy a kísérlet háttérében döntő harc folyik, és ez az alapja, hogy hirtelen rend bukkan fel ott, ahol pedig korábban semmi nem volt. A hevített folyadékban heves küzdelem dúl a folyadékot mozdulatlanságban tartani igyekvő viszkozitás és a mozgásra készítő hő erői között. Amíg a viszkozitás erősebb, a folyadék tökéletesen nyugodt és tagolatlan marad. Amikor azonban felülkerekedik a hő, a tagolatlan tökéletesség szertefoszlik és kialakul valami, ami korábban nem létezett.

Bénard kísérlete talán a legegyszerűbb, mégis megdöbbentő illusztrációját adja az egymásra ható elemek jelen esetben a vízmolekulák között fellépő rend spontán kialakulásának. Természetes logikával azt várnánk, hogy ha egy egységes rendszerre egységesen hatunk, attól csak még egyenletesebbé válik. Ez azonban nem mindig van így. Mindenesetre semmit nem mond azokról az összetett és rendetlen hálózatokról, amelyeket eddig vizsgálunk. Látni fogjuk azonban, hogy a serpenyőben felbukkanó mintázat semmiképp sem elszigetelt kuriózum.

Teremtő aktusok

1831-ben, még jóval Bénard kísérletei előtt Michael Faraday angol fizikus egy víztartállyal kísérletezett, amelyet könnyedén föl-le rázogatót, és hasonló meglepetésre bukkant. Amíg csak enyhén rázogatta, nem sok minden történt, a folyadék megmaradt egyetlen sima, tagolatlan rétegben. Az erősebb rezgés azonban megtörte az egységet, a folyadék hirtelen csíkokba vagy pepita mintát alkotó hullámhegyek és hullámvölgyek sorozatába rendeződött.



11. ábra

Vékony homokréteg függőleges irányú rezgése által keltett különböző mintázatok (Harry Swinney, Paul Umbanhowar és Daniel Goldman szíves engedélyével)

Az egység hirtelen átalakulása mintázattá valamelyest idézi a teremtés mitikus aktusát, mert hiszen ott is a semmiből keletkezik valami, egy szinte még a fizikánál is elemibb folyamat révén. Szórjunk közönséges homokot egy üres dobozba és rázzuk meg: ugyanezt fogjuk tapasztalni! Mihelyt a rázogatózás elég erőteljessé válik, az eredetileg lapos homokréteg hirtelen felborzolóódik, néha csíkos mintázatot, máskor gyönyörű négyzetes vagy hatszögletű hegy-völgy hálózat formát vesz fel. És mindezen mintázatokat maga a homok alakítja ki ([11. ábra](#)).

Mindezen esetekben a Rayleigh által felismert elemi harc játszódik le: egyesek kialakítani, mások eltüntetni próbálják a mintázatot. És az ilyen harc nem korlátozódik gondosan ellenőrzött laboratóriumi helyzetekre. A [12. ábrán](#) látható kép a norvég sarkvidék köveit mutatja, amelyeket mintha kitartó emberi erőfeszítés rendezett volna körkörös halmokba. Pedig ez a látványos elrendeződés teljes egészében magától jött létre. Középen a 2-3 méter átmérőjű pusztai földet mintegy 20 cm magas kör alakú halom szegélyezi. A köveket a talaj több ezer éves fagyási-olvasási ciklusai rendezték ilyen alakzatba.



12. ábra

Hőmérsékletváltozás okozta mintázatok a tundrán (Bill Krantz szíves engedélyével)

Mindezt jó tudni, ámde mi köze e szabályos geometriai alakzatoknak az Internet vagy az élő sejt bonyolult, zűrzavaros struktúrájához? A sejtben ugyebár nincsenek hatszögek, az Interneten összekapcsolódó számítógépek nem alkotnak szép szabályos mintázatot. Ennek oka pedig a történelem – és annak kézjegye, az esetlegesség. A fizikusok laboratóriumában ezerszer is megismételhetik Bénard kísérleteit, mindig ugyanolyan hatszögletű mintázatot kapnak – de ugyanez érvényes a rezgő víz- és homoktartályokra is. Itt is magától alakul ki a mintázat, tekintet nélkül történelmi esetlegességekre, teljes összhangban a fizika időtlen egyenleteivel. Elnagyolt megfogalmazással azt mondhatnánk, megfelelő körülmények között a víz vagy a homok bizonyos alakzatokba rendeződik. Hiába nyúlunk bele kanállal Bénard tepsijébe vagy kavarkjuk meg kézzel a homokot, a mintázat kis idő elteltével helyreáll; itt a történelem csapásai nem hagynak nyomot a jövőn.

Ezzel tökéletes ellentétben számtalan spontán történelmi esemény hagyott nyomot társadalmi és ökológiai hálózatainkon, a világhálón, és így tovább. Amikor az Amazon.com elkezdett könyvekkel kereskedni a világhálón, ezzel nem csupán egy hamarosan centrummá váló weblapot teremtett meg, amelyhez sok százezer más weboldal kapcsolódik, hanem egy ötletet is újtára indítottak, amely sok más embert is arra sarkallt, hogy online könyvkereskedő szolgáltatásokkal próbálkozzon. Ha az Amazon.com soha nem létezett volna, a háló számos részletében egészen másmilyen lenne. Az *Escherichia coli* baktérium biokémiai folyamatait hasonlóképpen genetikai mutációk hosszú láncolata alakította, amelyek egytől egyig véletlenszerűek voltak, és mindannyian különböző lenyomatokat

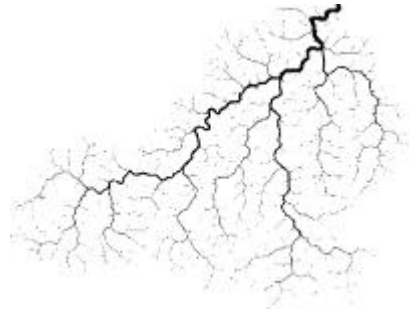
hagytak mai biokémiai működésén. A hálózatok evolúciójában a történelemnek elképesztően nagy jelentősége van.

Mindennek ellenére az előző fejezetben említett vizsgálatok e hálózatoknál valami olyan egységes szerveződésre mutatnak, amelynek rendje nem annyira szembeötlő, mint Bénard hatszögei, a szokásos értelemben talán nem is tűnnek rendnek. Mint tudjuk azonban, a rend és annak jelentése nem kizárólag a fizikai valóság természetétől, hanem a szemlélő tekintetétől és értelmétől is függ. Egy magyar nyelvű beszélgetés tökéletesen értelmesnek és rendezettnek tűnhet az egyik ember és teljes zagyvaságnak a másik számára. A Bénard serpenyőjében kialakuló hatszög-mintázat nyilván mindenkinek rendezettnek tűnik, ám az ilyesfajta, egyes görög gondolkodók, például Püthagorasz és Platón által oly tökéletesnek tartott mintázat mellett létezik egy másfajta, finomabb rend is. Ahhoz, hogy ezt is felfoghassuk és eredetét megérthessük, egy másik irányba kell tekintenünk.

Bénard kísérlete azt illusztrálja, hogy a tagolatlan ürességből, egyformaságból hogyan alakulhat ki rend és szabályosság. Mi a helyzet azonban a tiszta káoszból és véletlenszerűségből keletkező renddel? Mert ez is lehetséges, ami azt bizonyítja, hogy a történelem minden esetlegessége mellett is meglepő rend jöhet létre.

Álcázott rend

A nagy Mississippi folyó vize nyugaton Wyomingtól keleten New Yorkig harmincegy állam csapadékát gyűjti össze. A Minnesotában eredő Felső-Mississippi dél felé folyik és St. Louis közelében összefolyik a bővizű Missouri folyóval. Kelet felé továbbhaladva az Alleghany és a Mo-nongahela folyó Pittsburghnál az Ohio folyóban egyesül, amely azután nyugat felé tartva Illinois déli csücskénél a Mississippibe ömlik. A Mississippi végső soron az USA területéből hárommillió négyzetkilométer csapadékát vezeti délre New Orleans és a Mexikói-öböl felé.



13. ábra

A Fella folyó hálózatának struktúrája Észak-Olaszországban (Ignacio Rodríguez-Iturbe és Andrea Rinaldo: Fractal River Basins (Fraktális folyómedencék) c. könyvéből, szíves engedélyükkel)

Aligha van kevésbé megtervezett, rendszertelenebb valami a Mississippi vagy éppenséggel bármely kisebb-nagyobb folyó vízgyűjtő területénél, legyen az a dél-amerikai Amazonas, az afrikai Congo vagy a kevésbé híres észak-olaszországi Fella ([13. ábra](#)). Ahogy felfelé haladunk a folyón, mellékágak indulnak ki az egyik vagy a másik oldalon, mintha egyfajta természeti lutriban sorsolták volna ki őket. Ez talán nem is olyan meglepő. Bármely folyamhálózat sajátos rajzolata tükrözi a terület geofizikai történetét és jellegét, a csapadék klimatikus eloszlását, a hegyeket és síkságokat alkotó ásványok és sziklafajták minőségét, és így tovább. Minden ilyen hálózat a Föld valamely sajátos területén gazdag élettörténet egész bonyolultságát őrző lenyomata.

Mindazonáltal e véletlenszerűnek tűnő összevisszaság mélyén rend lappang. Ha minden folyamhálózat egyedi is, számos tekintetben mélységesen hasonlóak, vagy akár meg is egyeznek. Csak megfelelően kell szemlélnünk őket.

Bármely adott folyamszakaszból kiindulva dönthetünk úgy, hogy visszafelé haladunk, szemben a folyásiránnyal, és minden beömlő mellékágat nyomon követünk. Ezáltal végső soron a folyamba ömlő mellékfolyók hatalmas fájának minden egyes ágát végignézhetjük és megbecsülhetjük, mekkora terület vizét vezetik le. A folyamok kutatói ezt nevezik a folyam vízgyűjtő területének. Világos, hogy a folyó felső szakaszai viszonylag kisebb vízgyűjtő területtel rendelkeznek, mint lejjebb. Például a Mississippi esetében a Mexikói-öbölbe ömlő folyamszakasz óriási vízgyűjtő területe az Egyesült Államok

területének mintegy 41 százalékát lefedi.

Egy olyan hatalmas folyamrendszerrel, mint a Mississippi, a teljes hálózat több tízezer külön szakaszból állhat. Azért tegyük fel, légi felvételek és műholdas radarfelvételek segítségével módunkban állna elemezni a teljes hálózatot a következőképpen: minden egyes szakaszának kiszámítanánk a vízgyűjtő területét, vagyis a fölötte levő teljes területet, amelynek vizét levezeti. Aztán meghatároznánk, hány folyóhoz tartozik 10 négyzetkilométer, hányhoz húsz, és így tovább, ezer négyzetkilométeren át egészen az utolsó folyamszakaszig, amelyen az összes összegyűjtött víz keresztülfollik. Aztán grafikont készítenénk a kapott eredményről, amely a szakaszok számát mutatná vízgyűjtő területenként.

Eredményeink elvben azt is mutathatnák, hogy a hálózat egy-egy szakaszának van egy tipikus vízgyűjtő területe, vagyis a görbén lehet egy hegyes csúcs, amely megfelel egy szakasz átlagos levezetett vízmennyiségének. Például ilyet kapnánk, ha megmérnénk egy almafa összes almájának súlyát – a görbe kicsúcsosodna az átlagos súlynál. A folyamhálózatokra azonban számos tudós elvégezte az imént leírt vizsgálatot, és valami egészen mást tapasztaltak: az eloszlásnak egyáltalán nincs csúcsa, hanem az előző fejezetben megismert hatványfüggvénymintát követi. A vízgyűjtő terület megduplázódásával az ilyen folyók száma 2,7-ed részére csökken. Ha 1000 négyzetkilométer vizét 100 folyó vezeti le, akkor 2000 négyzetkilométerét nagyjából 37 és így tovább. Először is ez a felismerés meglehetősen váratlan és lenyűgöző egyszerűsítést visz egy látszólag oly kevés szabályosságot mutató hálózatba. És ez még nem minden. Ha ez a mintázat csak egyetlen folyamhálózatnál érvényesülne, a helyi geológiai adottságok különleges jellemzőjének tulajdoníthatnánk. Az utóbbi évtizedekben azonban a tudósok ugyanezt a mintát fedezték fel a Nílus, az Amazonas, a Mississippi és a Volga – voltaképpen minden megvizsgált folyamhálózat – esetében. Nem a helyi földrajzi adottságok kivételes eredménye tehát, hanem valamilyen mélyebb rendező elvre mutat rá, dacára e hálózatok minden látszólagos szabálytalanságának. Ha a folyamhálózat csupán történeti esetlegességek hosszú sorozatának eredményeként alakulna ki, ha a víz itt vagy ott mindenféle általános terv nélkül váгна utat

magának, akkor ez a hatványfüggvény-szabály nem állhatna fenn. Hogy megérthessük, miért pontosan úgy néz ki a Mississippi-medence, ahogy kinéz, és nem másképpen, mindent tekintetbe kellene vennünk az időjárási mintázatoktól a klíma több tízezer éves változásán keresztül a folyam talajának geológiai részleteiig. A folyó útját számos alkalommal földrengések változtatták meg, ezeket szintén meg kell említenünk – új tavakat és mellékágakat alakítottak ki, az 1811-12-es nagy New Madrid-i földrengés után néhány napig még visszafelé is terelték a folyó vizét. A hatványfüggvény-szabály azonban azt sejteti, hogy valami mélyebb valóság rejlik e részletek mögött és még valami, ami egyelőre felfedezésre vár. Ha ugyanaz a mintázat ismétlődik a Mississippi, a Nílus és az Amazonas esetében, a geológiai és időjárási részleteknek nyilván nem sok közük lehet hozzá. Egy univerzális folyamatnak kell működnie a részletek mögött, amitől minden folyamhálózat hasonlóan néz ki.

A történelem mögöttes folyamata

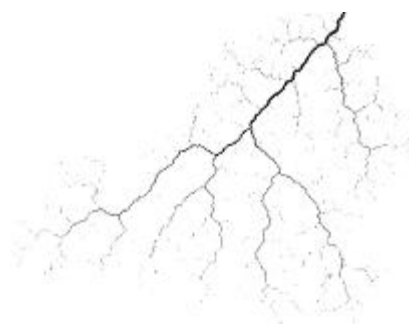
Lev Trockij orosz politikus és forradalmár szerint a történelem törvényeit azért nehéz megfigyelni, mert a történelmi esetlegességek olyan jól eltakarják: „Az egész történelmi folyamatban a történelmi törvényszerűség átszűrődik a véletlenen. A biológia nyelvén azt mondhatjuk, a történelmi törvényszerűség a véletlenek természetes szelekcióján keresztül valósul meg.”^[66]

E nézet szerint a történelmet ide-oda taszigáló ellentétes véletlenek sokasága ellenére az egész zűrzavar mögött értelmes minta és haladás áll, egy mélyebb történelmi folyamat, amely mindig ugyanúgy hat. Trockij szerint az egész történettudománynak e folyamat feltárásával és leírásával kellene foglalkoznia. Nem világos, hogy ez az elképzelés valóban gyümölcsözően alkalmazható-e az emberi történelemre. Amint azonban láttuk, folyamhálózatok, akárcsak számos másfajta hálózat esetében mindenképpen rengeteg értelme van.

A folyamhálózatok kialakulása mögött álló folyamat körvonalai úgy deríthetők fel, ha visszafelé haladunk, először a folyamhálózat kialakulására ható tényezők majd' mindegyikét elhanyagoljuk, csak a néhány legnyilvánvalóbbat tartjuk meg. Megnézzük, kellőképpen

indokolja-e mindez a mintázat kialakulását – ha nem, újabb tényezőket is tekintetbe kell vennünk. Az elmúlt évtizedben a Pádúai Egyetem fizikusa, Andrea Rinaldo és a Texas A&M University fizikusa, Ignacio Rodríguez-Iturbe nagyjából ezt a stratégiát követve fedezte fel, hogy a világ folyamhálózatainak bonyolult mintázata valójában sokkal egyszerűbb, mint bárki gondolná.^[67]

Rinaldo és Rodríguez-Iturbe a folyamhálózat kialakulásának modellezésére egyszerű képből indult ki: ha esik az eső, mindig lefelé folyik a lejtőn. A víz útját a domborzat alakítja. Az évek során persze a táj is átalakul, mert a talajon és a maga kialakította csatornáknban folyó víz eróziót okoz. Ahol a talaj meredekebben lejt, a víz gyorsabban folyik, nagyobb eróziót kelt, több víz szállítására alkalmas csatornákat váj ki. Számítógép segítségével Rinaldo és Rodríguez-Iturbe minden előzetes mintázat nélkül egy véletlenszerű táj modelljéből indult ki, amelyre egyenletesen juttatott csapadékot. Majd pedig nyomon követték az erózió tájformáló hatását. Ily módon évmilliók helyett néhány perc alatt újra tudták játszani a folyamhálózatok kialakulását. Ráadásul könnyűszerrel vissza tudták fordítani a történelem kerekét, miközben több százezer folyamhálózatot generáltak. Meglepő, sőt megdöbbentő, hogy ezek az eredmények a szélsőségesen egyszerűsített modell ellenére is mennyire pontosan visszaadják a valóságos folyamhálózatok jellegét.



14. ábra

Egyszerű eróziós folyamat által generált folyamhálózat (Ignacio Rodríguez-Iturbe és Andrea Rinaldo: Fractal River Basins (Fraktális folyammedencék) c. könyvéből, szíves engedélyükkel)

Rinaldo és Rodríguez-Iturbe számítógépes kísérleteik során a talaj és a kőzet fizikai tulajdonságainak egyetlen részletét sem vette figyelembe, ez pedig hatással lehetne az erózió sebességére. Amiatt sem aggódtak, hogy a csapadék eloszlása rendszerint nem egyenletes, a valóság legtöbb vonatkozásától szintúgy eltekintettek. És csodálatosképpen mindez mintha semmit sem számítana. A számítógépből kikerülő hálózatok ([14. ábra](#)) matematikailag igen jól megegyeztek az igazi folyamhálózatok mintázataival. Tekintsük például a folyók vízgyűjtő terület szerinti eloszlását! A modellben a vízgyűjtő terület megkétszereződésével az ilyen területek száma körülbelül 2,7-ed részére csökkent, ami pontosan megegyezik a valóságos folyamhálózatokra kapott értékkel. A modellalkotó eljárás szembeszökő elnagyoltsága ellenére pontosan megfelelt a tényeknek – tehát a folyamhálózat kialakulása mögött a vártnál jóval egyszerűbb igazság áll.

A számítógépes modell figyelemre méltó egyezése a valósággal elvezet bennünket annak a hatványfüggvény-szabálynak a lényegéhez, amelyet az Internet és más hálózatok összefüggésében megfigyeltünk. A komputer minden futtatásnál más folyamhálózatot generált. A domborzat részleteit illetően száz egymás utáni futtatás során sem jött ki soha pontosan ugyanaz a hálózat. A véletlen és a történeti esetlegességek fontos szerepet játszanak ebben. Ennek ellenére a kapott hálózatok kivétel nélkül megfelelnek a halványfüggvény-összefüggésnek, ami a folyamhálózatok kialakulásának egy univerzális jellemzőjére utal.

A hatványfüggvény-szabályból adódóan, ha egy folyamhálózat bármely kis részletét kinagyítjuk, az egészhez nagyban hasonló mintázatot kapunk. Más szóval a hálózat közel sem annyira bonyolult, mint amilyennek tűnik. Ha megszámlálhatatlanul sok esetlegesség minden egyes folyamhálózatot egyedivé tesz is, az egyik szint történései egészen szorosan kapcsolódnak a másikéhoz. Ez a vonás, amely egy rejtett egyszerűségekre utal minden folyamhálózat szerkezetében, *önhasonlóság* néven ismeretes, az ilyen struktúrákat pedig *fraktálok*nak szokták nevezni. A hatványfüggvény-szabály igazi jelentősége, hogy rámutat, hogyan alakulhatnak ki szabályszerű mintázatok még egy történeti véletlenszerűségektől befolyásolt folyamatban is. Önhasonló jellegük

tekintetében minden folyamhálózat hasonló. Tehát a történetiség és a véletlen tökéletesen összeegyeztethető a szabályszerű rend és minta meglétével.

Vagyis a történeti tudományokban az egyszerű történetmesélésnél sokkal többről van szó. Ha a folyamhálózat egy bizonyos ágának létét és pontos elhelyezkedését akarjuk megmagyarázni, nincs más választásunk, bele kell merülnünk mindazon történeti véletlenekbe, amelyek végső soron szerepet játszottak kialakulásában. Az az ág bizonyára folyhatna másutt is, és eredetét akár egy réges-régi viharnek is köszönheti, amely egészen új medret vájt ki számára. Ha a történelmet újraélhetnénk, a vihar is, meg az esővizek is juthattak volna egészen máshova, és akkor részleteiben az egész hálózat más lehetne. Miközben a hálózat egészének megmaradna ugyanez a fraktális jellege és megfelelne ugyanennek a hatványfüggvény-szabálynak, ami önhasznó architektúrájának globális szerveződését tükrözi. Ez a séma ismétlődik elkerülhetetlenül, amelyben – Whitehead kifejezésével – feltárul „az általános az egyesben, az örökkévaló az átmenetiben”.

Természetes hálózatok

Még egyszerűbben is lehet illusztrálni, hogy a történeti véletlenek láncolatából hogyan alakulhatnak ki mintázatok. A fizikusok az utóbbi években diffusion limited aggregation (DLA) (korlátozott szóródású csoportosulás) néven ismert matematikai játékok egész osztályát dolgozták ki. Ez a csúnya elnevezés egy látványos mintázatokot produkáló gyönyörű eljárást takar. E matematikai játék talán minden más eljárásnál világosabban illusztrálja, mit is jelent a hatványfüggvény-szabály, és kimutatja a szervezettséget egy összetett, rendetlen világban.



15. ábra

„Korlátozott szóródású csoportosulással” keletkezett fűrt (Paul Meakin szíves engedélyével)

Az eljárás a következő: kiindulunk egy magában álló molekulából. Aztán veszünk egy másik molekulát, amely valahonnan messziről, véletlenszerűen választott irányból, véletlen útvonalon arrafelé kóborol. Ha ez a molekula beleütközik egy már korábban ott levőbe, hozzá tapad. Ha nem találkozik vele, elbolyong a messziségbe. Ezt az eljárást aztán több milliószor megismételjük, és megnézzük, mi történik. Minden újabb molekula vagy beleütközik és hozzátapad a már ott levők fűrtjébe, vagy nem. Elképzelhetjük e játék lefolyását egy képernyőn.

Azt várhatnánk, hogy a molekulasereg jellegtelen pacává dagad. Ehelyett elképesztően bonyolult szerkezetű formát kapunk ([15. ábra](#)). Ha már kinőttek kiágazó karjai, szélfogó akadályként működnek, hajlamosak felfogni az arrafelé besétáló molekulákat. A következő molekula szinte mindig valamelyik hosszabb kar legközelebbi végébe akad bele, amitől az még hosszabb lesz. A molekulák csak ritkán jutnak el a fűrt mélyére. A növekedés olyan eljárást követ, amelynek során akinek van, még adatik, a hosszú ág még gyorsabban nő, mint a rövid. Bizonyos mértékben önhasonló fraktális struktúra keletkezik, (akárcsak egy folyó vízgyűjtő medencéje, amelynek részei nagyban hasonlítanak az egészhez). És ez az önhasonlóság mutatkozik meg a hatványfüggvény-szabályban. A fűrtben mindenféle kisebb-nagyobb ágak vannak. Ha megszámloljuk a különböző méretűeket, azt találjuk, hogy valahányszor egy ág méretét felére csökkentjük, az ágak száma

körülbelül háromszorosára nő.

A vízgyűjtő terület folyóhálózataihoz hasonlóan ezeken a DLA csoportokon sem látszik semmiféle szervezettség. Az előző fejezetekben tárgyalt hálózatokhoz hasonlóan számtalan esetlegesség révén növekednek, amelyek mind maradandó nyomot hagynak rajta. Ebben az esetben az esetlegességek definíció szerint valóban véletlenszerűek. Mégis rejlik bennük valamilyen rend. Ha a kísérletet tízmilliószor elvégezzük, tízmillió különböző struktúrát kapunk. A fűrtök nagyjából mégis ugyanúgy fognak kinézni, vagyis szemünk és agyunk felismeri mélységes hasonlóságukat, noha részleteikben eltérőek.

Ha tehát az esetlegesség „a történelem kézjegye”, a hatványfüggvény szabály hasonlóképpen egy mélyebb rend megkülönböztető jegye, amely még a történelmi zavarok véletlen eseteiben is felbukkan. Ha ezt megértettük, ideje, hogy visszatérjünk hálózatainkhoz, például az Internethez vagy az élő sejthez, hogy meglássuk, ez a szemlélet jól alkalmazható-e a szerkezeti hasonlóságok magyarázatára. Amint láttuk, ezekben a hálózatokban a tudósok hatványfüggvény-mintázatot találtak. Ez pedig arra utal, hogy e hálózatok növekedésének és fejlődésének számtalan különbsége ellenére a növekedési folyamatban van valami közös mag, amely sok szinten és sok különböző helyzetben hatással van világunkra, noha működéséről mindeddig mit sem sejtettünk.

7. „AKINEK VAN, ADATIK”

Számos kommentátor kutatása máris jókora homályt borított e kérdésre, ha így folytatják, valószínű, hogy nemsoká mit sem tudunk majd róla.

– Mark Twain^[68]

Mivel magyarázható, amikor tömegverekedés tör ki? 2001. április 15-én vasárnap este fél kilenckor az angliai Bradfordban a Coach House-hoz címzett kocsmából óriási verekedést jelentettek. A West Yorkshire-i rendőrség azon nyomban százharminc főt küldött a helyszínre, akik téglákkal és benzines palackokkal felfegyverzett fiatalokkal találták szemben magukat. A kocsmá lángokban állt,

ablakait bezúrták, a közelben parkoló autókat felgyújtották, a zavargók pedig már a környék boltjait fosztogatták. A zavargás úgy kezdődött, hogy ketten összeverekedtek a kocsmában, ez pedig másnap este újabb incidensekhez vezetett, amelyek éjszakánként egész héten át folytatódtak. Bandákba verődött suhancok randalíroztak városszerte, autósokat rángattak ki járművükből, vendéglőkben és kocsmákban verekedtek, gyújtogattak és fosztogattak, amerre csak jártak. A zavargások három hónapon át folytatódtak, egész Angliából özönlöttek Bradfordba a jobboldali bajkeverők. Egy véres júniusi éjszakán a helyi rendőrség nyolc szomszédos rendőrőrs segítségét vette igénybe, amikor az ötszáz rendőr kis híján alulmaradt az ezerfőnyi zavargó tömeggel szemben. Vajon előreláthatóak voltak-e ezek az erőszakos cselekmények? Mark Whymann, a West Yorkshire-i rendőrség főfelügyelője jegyezte meg a zavargások első estéje után: „Bradfordban vannak feszültségek. Vegyes kultúrájú közösség. Munkánk során azonban semmi olyan jellel nem talákoztunk, amely utalt volna az elmúlt éjjel tapasztalt problémákra.”^[69] A faji ellentétek minden bizonnyal szerepet játszottak a zavargások kibontakozásában, akárcsak a nehéz gazdasági feltételek. Ezek az általános hatások nagymértékben magyarázzák, hogy lehetséges, talán még valószínű is volt valamilyen zavargás 2001 tavaszán. No de miért éppen a bizonyos április 1-i verekedéssel telt be a pohár?

A tömegek viselkedésének rejtélyeivel kapcsolatban gyakran emlegetnek a tömeghisztériát, irracionálisitást, hivatkoznak a nyájszellemeire és a tömeglélektanra – és való igaz, hogy egy sokaság viselkedését meglehetősen nehéz megjósolni. A tömeg szeszélyes viselkedése azonban nem is olyan misztikus, legalábbis részben megmagyarázható. Erre az 1970-es évek vége felé Mark Granovetternek egy kis matematikai segítséggel sikerült meglehetősen jól rávilágítania.

Granovetter abból indult ki, hogy a zavargásba való bevonódást illetően mindannyiunknak van egy ingerküszöbe. A legtöbben nem kezdeményeznének verekedést ok nélkül, ám megfelelő körülmények esetén mégis beszállnánk – ha valamilyen értelemben elég nyomós okunk lenne rá. A kocsmában lődörgő száz ember közül egy akkor szállna be, ha már tízen törnek-zúznak, a másoknak hatvan-hetven is

kellene, hogy maga is csatlakozzon a tömeghez. Az egyén ingerküszöbe függ a személyiségétől, de attól is, hogy például mennyire veszi komolyan a büntetéssel való fenyegetést. Egyesek semmilyen szín alatt nem verekednének, mások viszont saját szakállukra is örömet kezdeményeznének verekedést.

Nyilvánvaló, hogy a gyakorlatban meglehetősen nehéz lenne meghatározni egy ember ingerküszöbét, erre azonban nincs is szükség. Elméleti szempontból elég, hogy mindannyiunknak van valamilyen ingerküszöbe, amikor, mint Granovetter fogalmaz, „az egyén úgy érzékeli, hogy a kérdéses dolog (jelen esetben a verekedésben való részvétel) haszna meghaladja költségeit”. Izgalmas kérdés, hogy ez a küszöb – vagy ennek váltakozása egyénről egyénre – hogyan hat ki a csoportviselkedés bonyolultságára és megjósolhatatlanságára.

Illusztrációképpen képzeljük el, hogy a kocsmában tartózkodó száz ember ingerküszöbe 0-tól 99-ig változik, mindenkinél más és más az érték. Az egyiké 0, a másiké 1, a harmadiké 2, és így tovább. Ebben az esetben elkerülhetetlen egy óriási verekedés. A 0 ingerküszöbű radikális lesz a kezdeményező, aztán belép az 1-es ingerküszöbű, és a verekedés futótűzként terjed, míg végül az egészen magas küszöbértékű egyedek is beszállnak. Vegyük azonban észre, hogy a dolog kimenetele milyen érzékenyen függ e láncolat minden tagjának jellemétől. Ha az 1-es ingerküszöbű egyén ehelyett 2-es ingerküszöbűvel rendelkezne, hiába kezd az első törni-zúzni, a többi csak áll és nézi, tán a rendőrséget is kihívja. Ha nincs, aki másodikként belépjen a verekedésbe, a láncreakció be sem indul.

Vagyis kismértékű változás egyetlen ember jellemében drámai kihatással van az egész csoportra. Amint azonban Granovetter megjegyezte, ha egy újságcikk számolna be a két különböző esetről, ez a finomság alighanem elkerülné az újságíró figyelmét. Az első esetben valószínűleg úgy fogalmazna, hogy „egy radikális csoport garázdálkodott”, míg a második esetben „egy gátlástalan bajkeverő bevert egy ablakot, ám a tisztességes polgárok csoportja rendre utasította”. [70]

Granovetter játékmmodellje nem szolgál magyarázattal a zavargás kitörésére, és nem segít a rendőröknek a zavargásokat valószínűsítő feszültségek csökkentésében. Fényt vet azonban arra, miért olyan

nehéz előre jelezni egy csoport viselkedését. Mert a csoport viselkedése nem pusztán átlagos összetételén múlik, hanem azon is, hogy különböző tagjainak ingerküszöbe hogyan viszonyul egymáshoz. Valószínűleg valamennyien találkoztunk már ezzel a jelenséggel más összefüggésben. Képzeljünk el egy csoport diákot, akik azon tanakodnak, elkészítsék-e házi feladataikat vagy inkább sörözni menjenek. Egy egészen törekvő diákot is magával sodorhat, ha öt barátja a sörözésre szavaz. Vagy gondoljunk arra, amikor egy bulin néhány ismerős próbálja eldönteni, ideje-e már hazamenni. Mindannyian láttunk már olyat, hogy egy összejövetel egykettőre felbomlik, amint valaki végül is a távozás mellett dönt.

A lényeg az, hogy nagyon tanulságos lehet, ha akár egészen egyszerű modellből kiindulva az embereknek kezdetleges viselkedési mintákat tulajdonítunk. Albert Einstein mondta egyszer, hogy a tudományos gondolkodás lényege, hogy a dolgokat „annyira egyszerűnek tekintsük, amennyire csak lehetséges, de nem egyszerűbbnek”. Ennek igazsága akkor is bebizonyosodik, amikor megpróbáljuk kideríteni, hogyan alakult ki a Világháló, az Internet és egyéb bonyolult hálózatok sajátos architektúrája és főként, hogy végső soron mitől olyan hasonlóak.

A böngészés törvényei

Tegyük fel, valakinek van egy kis bútorkészítő cége egy apró faluban valahol Anglia kellős közepén, ahol újra felhasznált fenyőből kézi munkával kiváló minőségű bútort állít elő. Korlátozott pénzügyi lehetőségeihez mértén reklámozni szeretné termékeit. Az Internet kiváló és gazdaságos eszköznek tűnik erre. Saját honlapot tervez és fel kívánja tenni a hálóra. Egyetlen részletkérdés marad: mely weboldalakhoz kapcsolódjon? A linkek határozzák meg egy honlap karakterét és mélységét, adnak saját útvonaltérképet a webhez, amelyeket követve a látogató hasznos és érdekes információkhoz juthat. Hogyan lásson hát e térkép elkészítéséhez?

Egyes vásárlók a szomszéd falu neves gyártójától szeretnének matracot rendelni új ágyukhoz. Az ő kedvükért felvehet egy linket, amely a matracgyártó honlapjára mutat. Azt is tudjuk, van, aki azért tőle vásárol bútort, mert újonnan kivágott fák helyett régi épületekből

és máshonnan származó fenyőt használ fel újra. Így aztán megadhat olyan népszerű ökológiai szemléletű oldalakra mutató linkeket is, ahol több mindent meg lehet tudni az újrahasznosított fenyőről és a környezetvédelem ügyének előmozdításáról. Vagy pusztán kedvtelésből, hogy személyes jelleget kölcsönözzön honlapjának, felvehet bizonyos linkeket egyszerűen azért, mert tetszenek neki. A linkek az illető személyes munkáját, lakóhelyét és sok más személyes adatát tükrözik. Egész biztosan nem vesz fel azonban olyan oldalra mutató linkeket, amelyről sohasem hallott. Weboldalokról hallhat az ember a barátaitól, rádióból, olvashat róluk folyóiratokban, újságokban, vagy csak úgy rájuk bukkanhat, miközben böngészik a weben. Mindenesetre inkább hall népszerű oldalakról, mint kevésbé népszerűekről. Ez önmagában még nem valami falrengető felismerés. Valamit azonban jelez arról, hogyan növekedhet a világháló: a népszerűbb oldalak, amelyekre több link mutat, könnyebben gyarapodhatnak. Minél több link mutat egy oldalra most, annál többet kell kapnia a jövőben. „Akinek van, adatik és megszaporítatik.”^[71]

Azért álljunk csak meg egy pillanatra! Az emberek nagyjából 85 százaléka a legfőbb keresőprogramok, a Yahoo, Infoseek, Altavista, vagy Google segítségével találja meg, amit keres. Ha pedig így keres, vajon nem talál-e rá oldalakra, függetlenül azok népszerűségétől? Nem mond-e ez ellent az általános sémának? Valójában nem. 2001. június 16-án délután a Google segítségével kerestem olyan oldalakat, amelyeken az Internet architektúrájával kapcsolatos információ lehet, és a keresőprogram egy szempillantás alatt elképesztő számú, mintegy 1 660 000 oldalt talált. Ez a szám meglehetősen alaposnak és meggyőzőnek tűnik. Az oldalak túlnyomó többsége azonban jóformán érdektelen. A keresés mélysége pedig egy további okból is illuzórikus.

1999-ben a princeton-i NEC Research Institute kutatói, Steve Lawrence és Lee Giles a keresőprogramokat elemezték, és úgy találták, hogy abban az időben egyik sem fedte le a Világháló 16 százaléknál nagyobb részét.^[72] A Világháló szédületes iramban növekedik – a következő néhány évben várhatóan még tízszer ekkora lesz, – a kereső programok pedig egyszerűen nem tudnak lépést tartani vele. Olyan ez, mintha középkori térképkészítők

próbálnának feltérképezni egy léggömbszerűen táguló világot, amelynek területe oly gyors ütemben nő, hogy semmilyen felfedezés nem tarthat lépést vele. A Világhálón keresve valamennyivel jobban járunk a Metacrawlerrel, amely minden nagyobb keresőprogram találatait egyesíti. Ám abban az időben még a Metacrawler is csak nagyjából a Web 50 százalékát fedte le.

Lawrence és Giles azt a némiképp zavaró körülményt is felfedezte, hogy a Hálóra feltett oldalak gyakran még hónapokig nem jelennek meg a keresőprogramokban. Hogy ennek mi az oka? Ismét csak a népszerűség hatása. A legtöbb keresőprogram a népszerűség alapján „indexeli” a weboldalakot. Ha például a Google segítségével keresünk a hálón, valójában nem a Hálón, hanem a Google webmutatójában keresünk. Ezt a mutatót ugyan gyakran frissítik, hogy lépést tudjon tartani a Web növekedésével, azonban ebben is van „részhajlás”: minél népszerűbb egy oldal, annál hamarabb bekerül bele a mutatóba. Emiatt aztán az új oldalaknak, akármilyen kitűnő tartalommal rendelkeznek is, meg kell küzdeniük az ismertségért. Így aztán akár használ keresőprogramot az ember, akár nem, ha új honlapot indít és linkeket ad meg más oldalakra, azok valószínűleg a népszerű oldalak lesznek.

Akinek tehát van, annak adatik, és a népszerű lesz még népszerűbb. Na és akkor? Van-e ennek egyáltalán bármiféle említésre méltó jelentősége a Világháló növekedésére nézve? Mint kiderült, van. Valójában mindenfajta hálózati struktúra talán legalapvetőbb és leglényegesebb elveire mutat rá.

A kapcsolódás fortélya

A Watts és Strogatz által felfedezett recepttel készült kicsi világnak nincs története. Ha egy tízezer elemű rendezett hálózathoz hozzáveszünk néhány messzire nyúló kapcsolatot, még mindig nagyjából tízezer elemű hálózatunk marad. Watts és Strogatz kicsi világ hálózatai nem egy-két elemből indulnak ki, menet közben gyarapodnak és idővel érik el a kicsi világ struktúra fejlettségét. Matematikai szempontból a növekedés hiánya nem jelent problémát. Az Internet és a Világháló viszont valóságos hálózat. Kicsiben indultak, de mára óriási hálózattá nőttek ki magukat. Mai állapotuk

pedig minden bizonnyal tükrözi a növekedésüket.

Watts és Strogatz alapötlete, noha a bonyolult hálózatok jelenségének tudományos meghódítását célozta, azok kialakulását nem igazán magyarázza meg. Vajon összefügghet-e ez az „akinek van, adatik” – vagy más kifejezéssel: a „kedvenchez kapcsolódás” – mechanizmusával? Kezdetben ez csábító gondolatnak tűnik. Végül is a színészvilágban az ismeretlen új színészek többnyire híres színészek mellett, kisegítő szerepekben tűnnek fel. Következésképpen a színészek hálózatában egy új színész nagyobb valószínűséggel kapcsolódik jó nevű színészekhez, mint a többi kezdőhöz. Hasonlóképpen, amikor a tudós egy dolgozatot készít, valószínűbb, hogy területének jól ismert, korábban is sokat idézett tanulmányaira hivatkozik, mint olyan obskúrus dolgozatokra, amelyekről nem sokan hallottak. Vagyis megint csak annak adatik, akinek van.

1999-ben Barabási Albert-László és Albert Réka fizikusok megpróbálták utána járni, hova vezet az „akinek van, adatik” mechanizmus. Tehát mi sül ki abból, ha egy hálózat kicsinek indul és a lehető legegyszerűbb módon a „kedvenchez kapcsolódás” elve szerint nő. Barabási és Albert a Notre Dame University-n egy egyszerű modellt konstruált ennek kiderítésére.

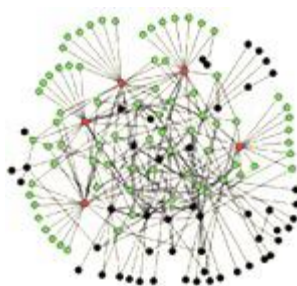
Képzeljünk el egy hálózatot a kezdeti fázisban, amikor még csak néhány elem – weboldalak, színészek, hivatkozások által összekapcsolt tudományos dolgozatok vagy bármi más – szerepel benne. Legyen valóban egyszerű, elégedjünk meg tehát kezdetben mindössze négy elemmel. Tegyük fel most, hogy a hálózat sorban egymás után új elemek hozzávételével gyarapodik, amelyek véletlenszerűen kapcsolódnak néhány meglevő elemhez! A folyamat szemléltetésére képzeljünk el például négy nagy követ egy füves réten! Minden nap kiviszünk a rétre egy új követ, és kötelekkel két másik, véletlenszerűen kiválasztott kőhöz kötjük őket. Eddig a modell egyszerűen csak új elemeket vesz hozzá a hálózathoz és találomra összeköti őket.

Keverjünk azonban most egy kevés részrehajlást az összeköttetésre vonatkozó utasításba! Tegyük fel, sok napon keresztül viszünk köveket a mezőre és kötögetjük össze őket. Az egyik nap egy új kővel érkezünk, és körülnézünk. Megfigyeljük, hogy egyes kövekhez

két-három kötelet, másokhoz hetet-nyolcat, néhányhoz akár tizen-tizenötöt is erősítettünk. Amikor két követ kiválasztunk, hogy hozzákössük az újhoz, nem teljesen véletlenszerűen járunk el, hanem némi előnyt adunk azoknak, amelyekhez már nagyszámú kötél kapcsolódik. Például kétszer olyan valószínű, hogy újat kap, amelyikhez hat kötél kapcsolódik, mint amelyikhez csak három, és így tovább.

És ha ezeket az elemeket most nem köveknek, hanem weboldalaknak képzeljük el, megérthetjük, hogy a népszerű oldalakat többen ismerik, mint a kevésbé népszerűeket, ezért nagyobb eséllyel szereznek további linkeket. Vagy ha tudományos tanulmányokról beszélünk, ez azt jelenti, hogy egy új dolgozat inkább hivatkozik jólismert, mintsem a háttérben megbújó dolgozatokra, és így tovább. Ez a séma persze olyan halálosan egyszerű, hogy valószínűleg nem vált ki túl nagy érdeklődést. És rövid távon ez minden bizonnyal így is van. Ám mihelyt a történet is szerepet kap, megdöbbentő dolog alakul ki.

Ha egymilliószor megismételjük az eljárást, az eredeti négy elemhez még egymillió újat veszünk hozzá, így összesen egymillió-négy elemünk lesz. Minden egyes lépésnél két új összeköttetést is felvettünk, így az egész hálózatban összesen több, mint kétmillió összeköttetésünk lesz. Az eredmény vizuálisan mindenképpen zűrzavaros ([16. ábra](#)). Ha a kísérletet még egyszer elvégezzük, miután a kapcsolatokat véletlenszerűen választottuk meg, az egész hálózat egy újabb kuszaság lesz, amely minden részletében különbözik az előbbtől. És ha ezerszer elvégezzük, mindannyiszor másfajta kuszaságot kapunk.



16. ábra

„Skálamentes” vagy „arisztokratikus” hálózat (Barabási Albert-László szíves engedélyével)

Barabási és Albert a növekedési folyamatot sokszor lefuttatva számítógépén óriási számú hálózatot generált. Időnként a kiinduló elemek számát változtatták négyről harminchétre vagy huszonhatra, máskor a kapcsolatokét kettőről hétre vagy tizenkettőre. Figyelemre méltó azonban, hogy hosszú távon egyik változtatásnak sincs számottevő hatása. A keletkező hálózatok alapstruktúrájukban mindig ugyanolyanok maradtak: kicsi világok, ahol az egyik elemtől mindössze néhány lépésben el lehet jutni a másikig. Ezek a hálózatok nagymértékben fürtökbe rendeződtek és a valóságos hálózatokra jellemző „centrumokkal” is rendelkeztek. Csak hab a tortán, hogy amikor Barabási és Albert megnézte az elemek kapcsolatok száma szerinti eloszlását, az árulkodó hatványfüggvény-mintázatot találta, ahol a kapcsolatok számának megduplázásával, az adott számú kapcsolattal rendelkező elemek száma nagyjából nyolcadrésztére esett.^[73]

Vagyis az „akinek van, adatik” mechanizmusa többet jelent, mint gondolnánk. Mint kiderült, természetes módon kicsi világ architektúrát hoz létre és szerepet játszhat az előző fejezetekben tárgyalt egyéb hálózatok struktúrájában is. Akárcsak a folyamhálózatoknál, a látszólagos bonyolultság mögött úgy tűnik, alapvetően nagyfokú egyszerűség húzódik meg. A titok alig több, mint a tiszta, könnyörtelen matematika, és talán némi pszichológia, nevezetesen, hogy az ember a már népszerű, jó kapcsolatokkal rendelkező dolgokhoz vonzódik.

Csoportgondolkodás

Az „akinek van, adatik” elve ismeretes az üzleti életben is, ahol sokmindent a címke és a márka ad el. Ha az ember több terméket kíván eladni, annak egyik leghatékonyabb módja, ha előbb népszerűvé válik, utána már minden könnyen megy. Nem sokan kérnek csak úgy kólát – a legtöbb ember Coca Colát akar. Ha holnap száz konkurens tűnne is fel a piacon, a többség akkor is Coca Colát venne, anélkül, hogy kipróbálná a többit. Akinek van, annak részben azért is adatik, mert választásaiban az ember könnyen a nevek felismerésére támaszkodik, például azt a filmet választja,

amelyikben Michael Douglas játszik és nem azt, amelyikben Jason Pollack. És ha az ember új hollywoodi kasszasikert akar előállítani, dollármilliókat ruház be még mielőtt egyetlen filmkockát felvennének, vajon kivel szeretné eljátszatni a főszerepeket? Nem kell hozzá túl sok képzelőtehetség, hogy felismerjük, a döntés nem kizárólag a színészi képességeken és a szerepre való alkalmasságon múlik. A nevek felismerésén alapuló reklámérték döntő jelentőséggel bír. Ha az ember filmjében Julia Roberts, Leonardo DiCaprio, Sean Connery és Kevin Costner játszik, rögtön több embert vonz a moziba, még ha maga a film csapnivaló is. Egy rossz film nagy nevekkel sokkal több nézőt vonz, mint ismeretlen nevekkel. Úgy látszik, hasonló folyamat rejlik a társas hálózatok növekedése mögött is. Fredrik Liljeros és Christofer Edling, a Stockholmi Egyetem szociológusai a Bostoni Egyetem fizikusainak egy csoportjával együtt 2810 véletlenszerűen kiválasztott, Svédországban élő ember szexuális kapcsolatait vizsgálta 1996-ban.^[74] Ha az ismeretség meglehetősen lazán definiált fogalom is, a szexuális kapcsolat nem az (mondjon bármit is Bill Clinton). Ebben a társas kontextusban Liljeros és kollégái ugyanazt a struktúrát fedezték fel, mint a Világháló vagy az Internet esetében. Kicsi világ, amelyben a közösségen belüli szexuális kapcsolatokat néhányan uralják, a szexuális partnerek száma szerint eloszlás pedig a jellegzetes hatványfüggvény-mintázatot mutatja.

A szexualitás tekintetében ezek azok az emberek, akiket Malcolm Gladwell *The Tipping Point (A határpont)* című könyvében összekötőknek nevez, akik társas értelemben annyira hatékonyak, hogy az egész társas hálózatot összetartják. Stanley Milgram első leveles kísérletében például azok a levelek, amelyek Nebraskából eljutottak kansasi tőzsdeügynök barátjához, nem a semmiből jutottak el végső rendeltetési helyükre. A tőzsdeügynök házába megérkező levelek teljes kétharmadát egyetlen ember, a Milgram által Mr. Jacobsnak nevezett ruhakereskedő adta postára. A tőzsdeügynök irodájába érkező többi levél pedig zömmel mindössze két embertől származott, akikre Milgram Mr. Brown és Mr. Jones néven utal. Gladwell joggal hangsúlyozza, mennyire különös, hogy mindezen levelek néhány ember kezében futnak össze. „Gondoljuk csak el! Egy középnyugati nagyváros tucatnyi véletlenszerűen kiválasztott

lakója egymástól függetlenül leveleket ad fel. Egyesek egyetemi ismerőseiknek, mások rokonaiknak, megint mások régi munkatársaiknak. Mindegyikük más-más stratégiát követ. És mégis, a végén, mindezeknek a független, abszolút egyedi láncolatoknak a végén a levelek fele Jacobs, Jones és Brown kezében futott össze.”^[75] A társas életben ezek az emberek az összekötők vagy centrumok, akiknek ezernyi barátja és ismerőse van, sokszorta több, mint a legtöbb embernek. Valahányszor új állásokról szóló hírek, pletykák vagy akár egy különös kísérlettel kapcsolatos levelek terjednek el a társas hálózatban, nagy valószínűséggel az összekötőkön futnak át – ahogy a repülőjáratok is jó eséllyel érintenek bizonyos centrális városokat, mint Atlanta vagy Chicago. Gladwell azonban nem vizsgálta, honnan jönnek az ilyen összekötők. A szexuális hálózat esetében például a szexuális aktivitás miért nem a szexuális kapcsolatok átlagos száma körül szóródik? Válasszunk ki véletlenszerűen háromezer embert – senki nem lesz tízszer olyan magas, mint a másik: a magasságok egy jól meghatározott átlag köré csoportosulnak. Mérjük meg, milyen gyorsan futnak, mekkora súlyt képesek felemelni – hasonló eloszlást tapasztalunk. A szexuális aktivitás azonban nem ilyen. Az összekötők bőséges teljesítményét tulajdoníthatjuk velük született vagy kora gyermekkorban szerzett képességeknek, Liljeros és kollégái mégis másfajta magyarázatot javasolnak: „A szexuális kapcsolathálózat itt leírt kézenfekvő magyarázata azzal számol, hogy új partnerek szerzésének képessége a korábbi partnerek számával növekszik... valamint hogy az énkép fenntartásában motivációt jelent, ha az embernek sok új partnere van, ...nyilvánvalóan a szexuális kapcsolathálózatban, akárcsak más »skálamentes« hálózatokban, »akinek van, annak adatik«.”^[76] A „skálamentes” szakkifejezés a hálózat-elemeke kapcsolat-számának oly sokszor látott hatványfüggvény-szabályára vagy „kövér farkú” eloszlására utal.^[77]

Bizonyos alapvető szociálpszichológiai szempontok szintén a kedvenchez kapcsolódás folyamatát segítik elő. Solomon Asch szociálpszichológus híres, 1952-ben végzett vizsgálatában például hatfős csoportok tagjait kérte fel, figyeljenek meg egy papírlapra rajzolt vonalat. Ezután meg kellett mondaniuk, hogy a következő

oldalon látható három vonal közül melyiknek a hossza egyezik meg pontosan vele. Minden csoportban öten együttműködtek Asch-sel, akik szándékosan ugyanazt a téves megoldást hangoztatták. Asch azt találta, hogy a többiek hallva a hatodik személy – a tényleges vizsgálati alany – sokszor megingott, és ugyanazt a rossz megoldást választotta, inkább alkalmazkodott a csoporthoz és nem a saját józan eszének hitt. E hatodik személyek némelyike utólag beismerte, hogy másképp érzékelte a vonalakat.^[78]

Ezek az eredmények arra mutatnak rá, milyen könnyű befolyásolni döntéseinket, sőt, érzékelésünket is. Ha feltételezett bútorasztalosunkat helyezzük Asch hatodik alanyának helyébe, megérthetjük, hogy egy bizonyos lélektani erő a népszerű weboldalakat választására készíti őt. Egy honlap népszerűsége végül is arról tanúskodik, hogy választásukkal sokan kinyilvánították: ezt az oldalt érdemes felkeresni.

Ez a hatás kapcsolódik egy másik nevezetes szociálpszichológiai fogalomhoz is, amelyet *csoportgondolkodásnak* nevezünk. Az 1970-es években Irving Janus szociálpszichológus azt vizsgálta, hogy emberek csoportjai hogyan hoznak döntéseket, és arra a következtetésre jutott: a csoportdinamika sok esetben megakadályozza, hogy a csoport legitim módon alternatív választásokat is tekintetbe vegyen. A véleménykülönbség lelki kellemetlenségét elkerülendő a csoport tagjai konszenzusra törekednek, és amint a konszenzus hozzávetőlegesen körvonalazódott, az eltérő véleményen levők már nehezen tudják hangoztatni a véleményüket. Inkább csendben maradnak, nem akarnak feltűnést kelteni. „Egy összetartó csoportban az egyetértésre való törekvés olyannyira dominánssá válhat, hogy képes megakadályozni alternatív cselekvési lehetőségek valós felmérését.”^[79]

A Világháló esetében egy honlap tervezője abszolút szabadsággal választja meg linkjeit (kapcsolatait). Amikor azonban választ és felteszi az oldalt a Webre, az nagyjából analóg a személyes vélemény hangoztatásával a Janus-féle csoportokban. Feltehetőleg hasonló szociálpszichológiai dinamika működik itt, és abban az irányban befolyásolja az embereket, hogy újra meg újra ugyanazokat az oldalakat válasszák.

Az öregfiúk hálózata

Azt gondolhatnánk, hogy a tudósok mentesek az efféle csordaszerű viselkedéstől, hiszen őket az igazság rendíthetetlen vágya vezérli. Ám amikor kutatók azt vizsgálták, hogy a tudósok kikkel kívánnak együtt dolgozni, ismét azt találták: akinek van, adatik. Tekintsük a tudósok olyan hálózatát, amelyben a kapcsolatokat közösen írt dolgozatok jelentik. Erről a hálózatról kiváló adatokkal rendelkezünk, amelyek azt is feljegyzik, melyik kapcsolat mikor jött létre – lévén ez a közös dolgozat megjelenési dátuma –, és hogy azt megelőzően melyik tudós hány másikkal működött együtt. Ezáltal explicit módon tesztelhetjük az „akinek van, adatik” elvét, ha belemegyünk az előtörténet fájdalmas részleteibe és megvizsgáljuk a tudósok aktuális választásait. Vajon egy új együttműködés megalapozásakor a tudósok ahhoz a többi tudóshoz vonzódnak-e, aki nagy számban dolgozott együtt másokkal?

Számos kutató vizsgálta ily módon a fizika, az idegtudomány és az orvostudomány irodalmát, és a számok mindegyik esetben arról árulkodnak, hogy valóban, a gazdag lesz még gazdagabb. Mark Newman, a Santa Fe intézet munkatársa például az alábbi következtetést vonta le egy vizsgálat statisztikáiból, amely a Medline, a National Institutes of Health (Országos Egészségügyi Intézetek) által biológiai és orvostudományi dolgozatok számára fenntartott hatalmas adatbázis adatain alapult: „Annak valószínűsége, hogy egy adott tudós új együttműködő kollégákat szerez, a korábbi együttműködők számával növekszik.”^[80]

Kutatók hasonlóképpen alaposan szemügyre vették az Internet és a Világháló növekedését és minden esetben megerősítették a korábban leírt intuitív képet. Bármilyen szociálpszichológiai megfontolástól eltekintve, ezek az eredmények egy univerzális hatás matematikai megerősítését jelentik.^[81]

Nem meglepő, hogy a nevek ismertsége jelentős mértékben befolyásolja az üzleti világ döntéseit is, például meghatározza, kik ülnek egyes irányító testületekben. Majdnem egy évszázada folyik a vita arról, hogy Amerika legnagyobb vállalatainak igazgatótanácsaiban erős átfedések figyelhetők meg – vagyis ezeket

összekapcsolják olyan személyek, akik több testületnek is tagjai. Nagy újság ez azoknak, akik mindenben hajlamosak összeesküvést látni, mert arra utal, hogy a különböző testületek elnöksége összebeszél, megállapodik az árakban, konspirációs szervezkedéssel óriási hatalmat kovácsol a gazdaság és politika egész színterén.

Matematikai szempontból bizonyosan jó okuk van egyeseknek, hogy felvonják a szemöldöküket. Két évvel ezelőtt Gerald Davis és kollégái a University of Michigan vállalkozói iskolájában utánajárt az igazgatótestületek közti összekapcsolódásoknak, és megint csak egy kicsi világot fedezett fel. Két igazgatótanácsot akkor tekintünk összekapcsoltnak, ha van közös tagjuk, két üzletembert pedig, ha együtt ülnek valamelyik testületben. Ez két különbözőképpen meghatározott, de szorosan összefüggő hálózat. Davis és kollégái mindkettőt tanulmányozták és mindkettőre hasonló eredményeket kaptak. Azt a következtetést vonták le, hogy „Amerika cégvilágát olyan emberek felügyelik, akik nagymértékben ismerik egymást és rendelkeznek közös ismerősökkel. Átlagban az »Ezer leggazdagabb« 6724 általunk vizsgált igazgatója közül bármelyik kettő 4,6 lépésben összeköthető, a 813 vizsgált testületben bármelyik kettő távolsága 3,7.” Ez arra utal, hogy a legnagyobb amerikai vállalatok igazgatótanácsai társadalmi kapcsolataik révén egyetlen hatalmas vállalatvezetői hálózatba szerveződnek. Valóban, amint Davis és kollégái tréfásan megjegyezték, „egy erősen fertőző, levegőben terjedő vírus igen gyorsan elterjedne a vállalati elit soraiban.”

Davis és társai azt is kimutatták, hogy e hálózaton belüli kapcsolatok jelentős befolyást gyakorolnak az üzleti közösségre. Azok a cégek, amelyeknek irányító testületeiben nagy számban ülnek banktisztviselők, jellemzően gyakrabban vesznek fel hiteleket, ami arra utal, hogy bankár összeköttetések átszínezik döntéseiket. Általánosságban a többi céghez fűződő kapcsolatok elősegítik az információk és attitűdök átterjedését egyik testületről a másokra és lehetővé teszik, hogy a vállalatok éberén követhessék az aktuális ötletek áramlását a gazdaság számtalan különböző ágában. Egy autógyártó például jelentős hasznot húzhat nagyobb kőolajtermelő és acélgyártó vállalatokhoz fűződő kapcsolataiból.

Az üzleti világ elit maffiája azonban talán mégsem az a konspiratív hálózat, aminek tűnik. A huszadik század elején a kapitalizmus egyes kritikusai, például az orosz Vladimir Iljics Lenin azt hangoztatták, hogy az üzleti elit hálózatának sötét szervező erői nagy bankok. Davis és munkatársai éppenséggel arra a következtetésre jutottak, hogy a kicsi világ struktúra kialakulása aligha meglepő, hiszen majdnem minden vizsgált természetes hálózatban is megjelenik. Mint megjegyezték, „nehéz volna elgondolni olyan szabályozást, amely kizárná a vállalkozói elit kicsi világ jellegét, hacsak meg nem tiltunk egyáltalán bármilyen összefonódást.”^[82]

Honnan ered tehát ez a kicsi világ struktúra? Korábbi kutatásaiban Davis árulkodó nyomra bukkant: erős összefonódással rendelkező igazgatókat nagyobb valószínűséggel választanak meg további igazgatótanácsi helyekre. Vagyis azáltal válnak vonzóbbakká, hogy máris népszerűek és számos más testületben ott ülnek. Egy sok testülethez kapcsolódó igazgatónak például mindjárt jobb esélye van, hogy különböző iparágakból szélesebb körben jut hasznos információkhoz, ötletekhez. Másrészt az igazgatótanácsi tagokat nem pusztán tanácsaikért választják meg, hanem azért is, hogy a potenciális befektetők szemében növeljék a...

[szöveghiány]

A kicsi válfajai

[szöveghiány]

... „akinek van, adatik” történeti mechanizmusa kivétel nélkül összekötők megjelenéséhez vezet, akik, éppen sok kapcsolatuk révén Granovetter hídjaihoz hasonló szerepet töltenek be. Formájukat tekintve bonyolultabbak, mint az egyszerű messzire nyúló kapcsolatok, mindazonáltal összekötik a hálózat olyan területeit, amelyek egyébként meglehetősen távol esnének egymástól. Az egalitárius típusú kicsi világ hálózatokkal szöges ellentétben ezeket a centrumokkal rendelkező hálózatokat „arisztokratikusnak” mondhatjuk, mert a kapcsolatok többségét maroknyi elem birtokolja.

Ily módon úgy tűnik, a kicsinek két válfaja létezik: az egalitárius

hálózat, ahol minden elem nagyjából azonos számú kapcsolattal rendelkezik és az arisztokratikus, amelyre látványos egyenlőtlenség jellemző. Az eddigi fejezetekben az Internetet és a Világhálót, az emberek szexuális kapcsolatait, a hivatkozásokkal összekapcsolt tudományos dolgozatokat, a társszerzőség révén kapcsolódó tudósokat illetve az angol mondatokban egymás melletti megjelenés alapján összekötött szavakat vettük szemügyre. Mindezen arisztokratikus hálózatokban centrumok vagy összekötők figyelhetők meg, feltehetőleg az „akinek van, adatik” elv következtében.

Más kicsi világ hálózatokra azonban ez nem érvényes. A *Canorhabditis elegans* fonalféreg ideghálózata például nem tartalmaz összekötőket, minden neuron nagyjából tizennégy másikhoz kapcsolódik. Úgy tűnik, hasonlóan egalitárius jellegű az emberi agy neuronhálózata, akárcsak számos közlekedési hálózat, például a kontinenseket behálózó utak és vasútvonalak hálózatai. Az Egyesült Államok elektromos hálózata – a továbbított elektromos energia közlekedési hálózata – esetében minden generátor, transzformátor, állomás nagyjából három másikhoz kapcsolódik, itt is látványosan hiányoznak az összekötők.

Mihez kezdünk mindezzel? Miért van az, hogy egyes hálózatok ilyen jelleget öltenek, mások olyat? Van-e itt valamilyen célszerűség? Vagy pusztán véletlenről volna szó?

8. KÖLTSÉGEK ÉS KÖVETKEZMÉNYEK

Minden azért olyan, amilyen, mert úgy alakult.

– D'Arcy Wentworth Thomson^[83]

Az elmúlt két évszázad során az átlagember napi útja mintegy ezerszeresére nőtt. Egy becslés szerint 1800-ban az átlagember egy nap nem tett meg többet 50 méternél. Sokan a házban vagy körülötte maradtak, a földön dolgoztak, a városokban dolgozók többsége pedig ott is lakott. Akkoriban nemigen ingáztak az emberek a munkahelyükre. Manapság átlagosan 50 kilométert utazunk naponta.^[84]

Korábban a ló, a csatornák, a nagy óceánjáró hajók révén növelhettük mozgékonyágunkat. Később a vasút és az autó

segítségével. Manapság napi rendszerességgel milliók özönlenek ki-be a városokba-városokból, évente húszmilliónál több légi járat repül keresztül-kasul a Földön a virágzó légiközlekedési hálózat útvonalain. 2000-ben hetvenkétfélmilliónál több ember haladt át a chicagói O'Hare nemzetközi repülőtér kapuin, a Hartfield Atlanta nemzetközi repülőtér pedig – akármilyen hihetetlen – még annál is több, mintegy nyolcvanmillió embert fogadott, az Egyesült Királyság lakosságának több mint kétszeresét!

Nem meglepő, hogy a légi hálózat néhány évvel ezelőtt roskadozni kezdett a terhelés alatt. Az Egyesült Államokban a késések szempontjából 2000 nyara volt a légiközlekedés történetének legrosszabb időszaka. Az O'Hara repülőtéren mintegy 4600 járatot állítottak le, és 57 000-et indítottak késve, de ezek a számok országszerte jellemzőek voltak a főbb repülőtereken. Az elmúlt öt évben a negyvenöt percet meghaladó késések száma megduplázódott, ilyen súlyos késések a járatok mintegy 10 százalékánál fordultak elő.^[85] Washington, D.C. és New York City között óránként 1000 km-es sebességre képes repülőgépeknek be kellett érniük 400 km-es átlagsebességgel.^[86] Itt is, mint másutt, a túlságosan erős forgalom jelentette az akadályt: ha a gépek a normális sebességen repülnek, a repülőterek felett keringő repülőgépek egész rajokba gyűltek volna össze.

2001 tavaszán az Egyesült Államok Kongresszusa meghallgatás-sorozatot tartott, hogy a probléma gyökeréig tudjanak hatolni. Meghallgatták többek között George L. Donohue professzort, a virginiai George Mason University rendszertervezési és operációkutatási szakértőjét is, aki kiábrándító képet vázolt fel: „Az USA centrum-küllő légiközlekedési rendszere komoly kapacitásválság felé közeledik” – jelentette ki. – „Mindent összevéve” – folytatta –, a hálózat maximális kapacitásának 58 százalékán működik, és mindössze tíz éven belül el fogja érni a 70 százalékot.^[87] A légiközlekedési zsargonban a „maximális kapacitás” az abszolút, teljes korlátot jelenti, a Szövetségi Légiközlekedési Hivatal (Federal Aviation Administration) statisztikái szerint, ha egy repülőtér 50 százaléknál magasabb kihasználtsággal üzemel, bármikor súlyos késések állhatnak elő. A repülőtér olyan, mint egy bevásárlóközpont, ahol a szombat délelőtti tömeg jóformán meg

tudja bénítani a mozgást, annak ellenére, hogy üres tereibe még sokkal több embert be lehetne zsúfolni.

2000-ben a három legnagyobb amerikai repülőtér, Atlanta, Chicago és Los Angeles már a maximális kihasználtság 80 százalékán üzemelt. De csak jó időben! Rossz idő esetén a légiirányítóknak nem volt más választásuk, mint hogy biztonsági okokból megnöveljék az egyes gépek közötti távolságot, ilyenkor az USA nagyobb repülőtereinek majdnem fele a teljes kihasználtság felett teljesített. A következmények éppoly előreláthatóak voltak, mint amennyire idegesítőek: valahányszor az Anyatermészet rossz időt adott, az egész országon végigsöpört a késések és járatkimaradások hulláma.

Másutt sem volt jobb a helyzet. A British Airways főigazgatója, Rod Eddington akkortájt tette az alábbi kijelentést: „Angliában a torlódás problémája földön és levegőben kezd kritikussá válni. A légiközlekedési személyzet remekül és biztonságosan dolgozik. Bármely időben azonban az egy szektorba beengedhető gépek számának véges korlátja van... A Heathrow-n is recsegnek-ropognak az eresztékek.”^[88] Két évvel ezelőtt a világ légiközlekedési hálózata rövid időn határaihoz érkezett, az igények robbanásszerű növekedésének kielégítésére a repülőterek kapacitása világszerte elégtelennek bizonyult. Mit lehetett tenni? Újabb kifutópályákat építeni? Sajnálatos módon a vizsgálatok azt derítették ki, hogy egy három vagy négy kifutópályás repülőtéren továbbiakat építeni már egyre kevesebb haszonnal jár.^[89] Talán több hely jut a le- és felszállásra, ám a repülőgépeknek továbbra is el kell jutniuk a kifutópályáig és vissza, könnyen megeshet tehát, hogy már a földön közlekedési dugóba kerülnek.

A helyzet persze, legalábbis időlegesen, teljességgel megváltozott az Amerika elleni szeptember 11-i terrortámadások után. A repülőtéri biztonság fokozása és az utasok repüléstől való félelme oda vezetett, hogy a járatok száma drasztikusan csökkent és a légitársaságok ezrével bocsátottak el alkalmazottakat. A repülőtéri forgalmi torlódások jelentik a légitársaságok legkisebb problémáját. Mindazonáltal érdemes visszatekinteni erre a kérdésre is, és nem pusztán azért, mert ha a légi forgalom a korábbi szintre nő, a probléma megint központi jelentőségűvé válik. A 7. fejezet végén azt

a kérdést vetettük fel, vajon minek tulajdonítható a kétfajta – ahogy ott neveztük, az egalitárius és arisztokratikus – kicsi világ hálózat különbözősége. Talán úgy tűnhet, a légi közlekedés zsúfoltságának nem sok köze lehet ilyesfajta finom elméleti kérdésekhez, pedig a kicsi világ hálózatok, különösen pedig azok kialakulása tekintetében a repülőterek esete különösen megvilágító erejű.

Tündöklés... és bukás

Ha az embernek van egy honlapja, és fel kíván tenni egy linket a Yahoo vagy az Amazon.com oldalaira, bátran megetheti. Az, hogy ezek a Világháló fő centrumai és már így is megszámlálhatatlanul sok link mutat rájuk, nem jelent semmiféle akadályt. Nincs olyan törvény vagy webes írás, amely korlátozná a linkek számát, úgyhogy a saját linkünk nem gabalyodhat bele a többibe. A világhálón nincs semmi, ami akadályozná az „akinek van, adatik” elv érvényesülését, és mint láttuk, ez a folyamat feltartóztathatatlanul vezet az arisztokratikus típusú kicsi világ hálózatok kialakulásához, amelyekben kisszámú elem rendkívül erősen összekötött centrumok szerepét tölti be.

A múltban éppen így növekedett a repülőtereket összekapcsoló légi járatok hálózata, miután a légi járatok a főbb centrumokba irányuló, úgynevezett centralizált járatokra törekedtek, ami nagy számú célállomás könnyű elérését biztosította. Az O'Hare úgy hirdeti magát, hogy „több városba, sűrűbben, több összeköttetést kínál, mint a világ bármely másik repülőtere” – ami igaz is lehet. Ráadásul jól megtervezett és vezetett repülőtér, a *Business Traveler* magazin olvasói egymás után két évben is „Amerika legjobb repülőterének” választották. Elvben tehát az a légitársaság, amely az O'Hare-re irányítja járatait, rengeteg előnyre számíthat, így az O'Hare előnybe kerül az újabb légitársaságok és átszállás nélküli járatok megszerzéséért folytatott versenyben. Az utóbbi évtizedben, vagy talán még régebb óta azonban az O'Hare és más nagyobb repülőterek többet szenvedtek a torlódás, késés és járatörlés miatt. Vagyis a Yahoo és az Amazon.com vagy a Világháló más centrumainak példájával ellentétben az O'Hare összeköttetései valóban akadályozzák egymást.

A helyzet arra utal, hogy egy ideje akinek van, annak nehezebben adatik, a legforgalmasabb repülőterek nem élvezték valóságos előnyüket az újabb járatok és újabb légitársaságok megszerzéséért folytatott versenyben. A torlódás, úgy tűnik, a további növekedés akadályává válhat. Van-e ennek egyáltalán valami köze a kétféle kicsi világ hálózathoz? 1999 végén Luís Amaral, a Boston University fizikusa munkatársaival véletlenségből éppen a légi összeköttetések rendszerének hálózatát vizsgálta, és valami különös dolgot vett észre. Annak ellenére, hogy a legnagyobb repülőtereket centrumokként szokták emlegetni, a matematika nem ezt igazolta. Az alapos vizsgálat ezt a hálózatot valójában egalitárius típusú kicsi világnak mutatja, amelyből szembetűnően hiányoznak a centrumok. Bármely két repülőteret nem több, mint öt leszállás nélküli járat köt össze, a repülőterek összeköttetés-szám szerinti eloszlása azonban nem a „kövér farkú” sémát mutatja. A rendkívül erősen összekapcsolt centrumok valójában sokkalta ritkábbak, mint a Világháló vagy az Internet esetében.

Keresve ennek magyarázatát, Amaral és munkatársai néhány lépést visszaléptek és elképzelték egy olyan hálózatot, amely az „akinek van, adatik” elve alapján gyarapodik. Amint már tudomásuk volt róla, Barabási Albert-László és Albert Réka hat hónappal korábban bebizonyította, hogy egy hálózatban még a legerősebben összekapcsolt elemek is könnyen felvesznek újabbakat, és az eredmény mindig arisztokratikus hálózat lesz, amelyet néhány centrum ural. Mi van azonban, ha az, akinek a legtöbb van, egyszer csak roskadozni kezd a terhei alatt? Egy újabb tényező bevonásával, éppen csak egy picit megpiszkálva a gyarapodó hálózat alapképletét, Amaral és munkatársai számítások sorozatával és számítógépes kísérletekkel meghatározták a következményeket. Eredményeik gyönyörűen egybevágtak a repülőterekre vonatkozó statisztikákkal és visszatekintve intuitíve tökéletesen értelmesek voltak. A hálózat növekedésével egy darabig akinek van, adatik, és centrumok alakulnak ki. Idővel azonban a legmagasabb szinten összekapcsolt elemek kezdik elveszíteni előnyüket az újabb kapcsolatok összeszedésében. Ezért aztán a kevésbé összekapcsoltak előbb-utóbb kezdenek felzárkózni a jobban összekapcsoltakhoz, és a hálózat kezd egalitáriusabbá válni, ahol

minden elemnek nagyjából ugyanannyi kapcsolata van.^[90]

Mindez talán csak a szakember érdeklődésére számot tartó technikai részletkérdésnek tűnhet, van azonban egy fontos, „hétköznapi” mondanivalója is: a kicsi világ hálózatok egalitárius változata a *la Watts* és *Strogatz* sokkal többet jelentenek pusztán matematikai kuriózumnál. Az Internet és a World Wide Web arisztokratikus hálózataihoz hasonlóan az egalitárius típusú kicsi világ is egyszerű történeti és növekedési folyamatok révén jöhet létre. Amint a korlátok és költségek figyelembevétele akadályozza az „akinek van, adatik” elv működését, a kicsi világ hálózat egalitáriusabbá válik. Szemlátomást ez a helyzet a repülőterek s egy sor más valóságos hálózat esetében.

Amint láttuk, például az Egyesült Államok elektromos hálózatának minden eleméből nagyjából három összeköttetés indul ki, a *Caenorhabditis elegans* egyszerű fonalféreg neuronhálózatában pedig minden idegsejtből durván tizennégy sarjad. Ezek a kicsi világok egalitárius típusúak, és el is tudjuk képzelni, miért. Bizonyos ponton technikai nehézséget jelent és egyszerűen túl sokba kerül, hogy egy elektromos alállomást még több kapcsolattal lássunk el. Nem olyan elemek ezek, mint a weboldalak, amelyekhez a többi honlap egyszerűen hipertext hivatkozásokkal kapcsolódhat. Az elektromos elosztóállomások a valóságos fizikai világban léteznek, az új kapcsolatok kiépítéséhez szükséges nagyméretű berendezéseknek éppen megadott hely áll a rendelkezésükre. Mihelyt egy alállomás túlságosan zsúfolttá válik, könnyebb és hatékonyabb egyszerűen máshova kapcsolódni.

A légi közlekedésben megeshet, hogy valaha, mielőtt a nagy repülőterek túlterheltté váltak volna, tényleg voltak igazi centrumok, mostanában azonban az egalitárius modell felé való elmozdulás erősödik. Egy sor kisebb, másodrendű légikikötő kezd a nagyobb centrumok vetélytársává fejlődni. Végül is több szabad kapacitásukkal pontosabban tudják működtetni a járatokat. A rövidebb járatokat üzemeltető regionális társaságok is egyre népszerűbbek és jövedelmezőbbek lesznek. Egy becslés szerint a regionális repülőterek között használható kisebb repülőgépek száma a következő két évtizedben meg fog duplázódni.^[91] Jelenleg e légitársaságok jó része még a centrális légikikötőket szolgálja ki,

kevésbé sűrűn lakott vidékek lakosságát kötik össze a nagyvárosi központokkal. A zsúfoltság azonban kezdi távol tartani a kisebb repülőgépeket a centrumoktól.

Végül is akármilyen hatással lesz ez a jegyárakra és a járatok foglaltságára, a légitársasági hálózat kezd sokkal jobban emlékeztetni az agy neuronhálózatára, mint a számítógépek internetes hálózatára. Egyaránt kicsi világok, ám némileg eltérő típusúak, és ha valamicskét konyítunk a kicsi világok elméletéhez, már sejthetjük is, miért.

A kicsi értelmei

Meglepő felismerés, hogy a korlátok mennyire befolyásolják egy hálózat növekedését, elvezet bennünket a kicsi világ hálózatok egyfajta egyesített elméletéhez. Úgy vegyíti Albert és Barabási ötleteit Watts és Strogatz gondolkodásával, ahogy a mozaik darabjai a kép egészébe illeszkednek. Egyfelől az „akinek van, adatik” elve szükségképpen kicsi világ hálózatokra vezet, mintha csak a természet valamely konstrukciós elve diktálná. Időnként azonban különféle korlátozások és megszorítások lépnek fel, amelyek árulkodó módon otthagynak nyomukat a kialakult formán. A kétféle hálózat hasonlósága mindazonáltal lényegesebb különbözőségeiknél. A kicsi világ jelleg mindkét esetben megmarad, az eltérések inkább emlékeztetnek egy katedrális finom domborműveinek egyedi részleteire, mintsem azokra a lényeges strukturális jegyekre, amelyektől az egyik gótikus, a másik román stílusúnak minősülne.

Nem volna tisztességes letagadnunk, hogy egy sor nyugtalanító kérdés továbbra is nyitott maradt, ami persze aligha meglepő egy mindössze négyéves múltra visszatekintő kutatási terület esetében. Hogyan változik meg a hálózat struktúrája, ha bizonyos elemeket elveszünk belőle? Mi történik, ha új elemek születnek, mások elpusztulnak? Vagy ha a hálózat belső kapcsolatai átrendeződnek? Aztán pedig, ha váltakozik a növekedési ütem, egyszer gyorsabb, máskor lassabb lesz? Ilyen jellegű gyakorlati kérdések foglalkoztatják a kutatók egyre nagyobb csoportját. Vannak aztán mélyebb kérdések is, amelyeknek messzebb ható következményei

lehetnek.

Mindezen kutatások végső értéke nem pusztán egy újfajta architektúra meghatározásában, leírási lehetőségeinek kidolgozásában, finom eltéréseinek kimutatásában vagy a korábbi hálózatfelfogástól való eltérés elemzésében rejlik. Sokkal lényegesebb, amit e felfedezés révén a világról megtudunk, elsősorban gyakorlati értelemben. Más dolog megérteni, hogy sok, látszólag független hálózat valójában nagyon hasonló, és megint más gyorsabb, ritkábban összeomló számítógép-hálózatokat, vagy jobb döntéseket hozó szervezeteket, kevesebb torlódással üzemelő légikikötőket építeni. Néhány területen a kicsi világok kutatása máris lényeges gyakorlati hozadékkal járt.

Az egyik példa, hogy a számítógéptudósok egészen mostanáig teljesen tanácstalanok voltak, hogyan modellezzék az Internet növekedésének struktúráját. Ez a kérdés lényegesen komolyabb, mint gondolnánk. Mielőtt a kutatók kifejlesztenék az internetes „protokollok”, a számítógépek hálózaton belüli kommunikációját és hatékony információcseréjét lehetővé tevő közös működési szabályok újabb generációját, tudniuk kell, hogy e protokollok megfelelően működnek-e a jelenlegi illetve a jövőbeli Interneten. Mert az a helyzet, hogy az egyik hálózati architektúrára tervezett protokollok néha nem jól működnek egy másikon, és esetleg az információ olyan mértékű összekuszálódását idézik elő, amittől összeomlanak a számítógépek. Döntő fontosságú tehát, hogy tisztán lássunk az architektúra kérdésében. A javasolt protokollokat az Internet élethű modelljein kell tesztelni. Szerencsére ma már lehetséges ilyen tesztelés, mivel a kutatók felfedezték az Internet valóságos struktúráját, és képesek előállítani azzal pontosan megegyező típusú hálózatokat.^[92]

És ez csak egy kisebb példa. A kicsi világok felfedezése és a mostanában ebből eredő további gondolatok a bonyolultságelmélet első nagy sikereit jelentik. Mert a kicsi világ architektúra nem csupán egy úgyszólván feltartóztathatatlan fizikai törvény működéséből fakad, de egy sor figyelemreméltó tulajdonsággal is rendelkezik. Amint ma már több tucatnyi kutató rájött, ez az architektúra határozott előnyt jelent bármely hálózatnak. Ezeket az előnyöket

nem értjük teljesen vagy akár csak részlegesen, ám feltárásukban a kutatók kezdenek jelentős előrelépéseket tenni.

Cyber-fenyegetések

Az egyesült államoknak van a világon a legnagyobb gazdasága és legerősebb hadserege. Egyedüli szuperhatalom maradt a világon, ennek ellenére nyilvánvalóan számtalan komoly veszéllyel kell szembenéznie. A szeptember 11-i terrortámadások és az utána következő lépfenefenyegetések teljesen eloszlattak minden illúziót az ország biztonságával kapcsolatban. A Nyugat többi nemzetével egyetemben az USA-t határain kívül és belül komoly erők fenyegetik. És mégis, szeptember 11-e minden döbbenetes megrázkódtatása ellenére sokan előre látták a fenyegető katasztrófát. Bill Clinton elnök például már 1996-ban felhívta a figyelmet azokra a veszélyekre, amelyek, legalábbis részben, a forradalmian új számítógépes technológiákban rejlenek: „A terrorizmus, a nemzetközi bűnözés és a drogkereskedelem részéről nyílt, szabad társadalmunkat fenyegető veszélyek fokozódnak azáltal, hogy a technológiai forradalom, amely annyi ígéretet tartogat számunkra, egyúttal új eszközöket ad e romboló erők kezébe. A biztonságunk ellen irányuló fenyegetések nem tisztelik a határokat sem, világos tehát, hogy Amerika sikerét a 21. században az határozza majd meg, mennyire tudunk szembeszállni e területünkön belül és kívül működő erőkkel.”^[93]

A postai szolgálattól az energiahálózaton keresztül a bankrendszerig és légi forgalomirányításig manapság minden döntő mértékben függ összehangolt számítógépes hálózatoktól, természetes kérdés tehát, hogy ezek a hálózatok biztonságot nyújtanak-e a terroristák és ellenséges országok támadásaival szemben, természeti katasztrófákról nem is beszélve. Két év elmúltával a Fehér Ház ismét reagált arra, hogy egyre többen és egyre nagyobb aggodalommal ismerik fel az Egyesült Államok úgynevezett „kritikus infrastruktúrájának” sebezhetőségét. Egy 1998. májusi elnöki rendelet elismeri, hogy „gazdaságunk egyre fokozódó mértékben támaszkodik egymással kölcsönösen összefüggő, informatikai infrastruktúrákra. Az ezek vagy információs rendszereink ellen

irányuló nem hagyományos támadások jelentős csapást mérhetnek mind gazdaságunkra, mind katonai erőinkre.”^[94]

Clinton aggodalmait nem csupán a szeptember 11-én kibontakozó globális katasztrófa, de számos egyéb riasztó eset és tény is alátámasztja. 1999-ben számítógépes vírusok hétmilliárd dollár veszteséget okoztak az Egyesült Államok gazdaságának. 2000 májusában az „I LOVE YOU” vírus mindössze négy nap alatt világszerte hetvenkét millió komputert fertőzött meg, összesen tízmilliárd dollárnyi kárt okozva. Az újságok szinte naponta közlik a cyber-bűnözés eseteit, például, hogy bankokból jelentős pénzeszegek tűnnek el tizenéves számítógépkalózok tréfái nyomán. Az egyik látványos és jól ismert esetben 2000 februárjában összehangolt „szolgáltatásblokkoló” akciók órákon keresztül megbénították az Amazon.com, a CNN, az eBay és a Yahoo weboldalait. E „garázda-akcióknak” nevezett támadások előkészítői az interneten keresztül nagy számban küldtek internetcsomagokat harmadik számítógépekre, amelyek mindegyike hamis küldőcímet (valamelyik megtámadott weboldal címét) tartalmazta. Amikor e csomagok megérkeztek a címzetthez, a fogadó gépek automatikus válaszcomagokat küldtek valamelyik célpontnak. Ezekből aztán egy időben több száz millió érkezett meg, ezáltal az illető oldalakat lényegében lesöpörte a webről.

Azt gondolhatnánk, hogy az USA Department of Defense (Honvédelmi Minisztérium) szerteágazó számítógép-hálózata akármelyik üzleti vállalkozásénál jóval biztonságosabb. Végül is ez a hálózat lenne az USA bármely katonai vállalkozásának információs központja. 1997-ben azonban a védelmi hálózat biztonsági tesztelésekor a National Security Agency (Nemzeti Biztonsági Hivatal) által megbízott számítógépkalózoknak sikerült betörniük mintegy harminchat különböző honvédelmi számítógép-hálózatba, és szimulálniuk az Egyesült Államok energiahálózatának lekapcsolását. Hozzáérttek a Haditengerészet egyik szolgálatban levő cirkálójának elektronikus rendszeréhez is.^[95]

Szerencsére eddig a legtöbb támadás magányos hackerek személyes műve volt, akik nem túl szakszerűen tesztelték a hálózatot saját személyes hasznuk vagy a pusztá csíny kedvéért. Az egyik meglehetősen tipikus esetben Steve Gibson, a Gibson

Research Corporation számítógép-szakértője hónapokon keresztül szervezett harcot vívott, hogy weboldalát működésben tudja tartani egy Wicked (Gonosz) néven jelentkező tizenhárom éves srác támadásaival szemben. „Nem állíthat meg bennünket” – jelentette ki Wicked az egyik névtelen üzenetében, – „jobbak vagyunk, egyszerűek és lényegre törők.”^[96] Nincs azonban garancia arra nézve, hogy a cyber-bűnözés a jövőben is megmarad jórészt a bosszantás keretei között. Amint John Deutsch, a CIA igazgatója 1996-ban a Kongresszus előtt tett vallomásában rámutatott, az elhárítási szolgálatoknak jó bizonyítékaik vannak arra nézve, hogy „világszerte több ország azon dolgozik, hogy kifejlessze információs támadások végrehajtásának stratégiáit és eszközeit... Meggyőződésem szerint világszerte egyre jobban tudják, hogy a fejlett társadalmak – különösen az Egyesült Államok – egyre jobban függenek egy nyitott és potenciálisan sebezhető információs rendszertől.”^[97]

1999-ben a RAND Corporation jelentése az USA információs infrastruktúráját fenyegető veszélyekről arra figyelmeztet, hogy a magányos számítógépkalózkodók összehangolatlan támadásainak újabb története a jövőre nézve veszélyeket hordoz magában: „Meg kell fontolnunk, hogyan és mi mindent érhet el egy jól felszerelt, eltökélt és képzett ellenség – és legalábbis fel kell készülnünk erre az eshetőségére mint legrosszabb esetre.”^[98]

Mások is ugyanerre a következtetésre jutottak. Az U.S. Army War College (USA Hadsereg Hadi Kollégiuma) egyik jelentése szerint az alkalmi hacker az USA nemzetbiztonságának valószínűleg nem okozhat igazán jelentős kárt. Több félnivalója van egy külföldi hatalom jó háttérrel rendelkező elhárítási szolgálatától, amely összehangolt támadások megtervezésére és végrehajtására is képes lehet. A jelentés arra a következtetésre jut, hogy egy „jól szervezett, államilag finanszírozott támadás a Federal Aviation Administration (Szövetségi Légügyi Hivatal) ellen képes lenne megbénítani az ország légiközlekedését, és előidézni repülőgépek lezuhanását. Hasonlóképpen, a pénzügyi szervezetek elleni támadás megzavarhatná a bankrendszert és megbéníthatná a tőzsdét, ezáltal destabilizálhatná a gazdaságot. Államilag támogatott támadásokkal teljes közösségeket, államokat, az egész országot

tönkre lehetne tenni... Az infrastruktúra, miközben nagyon ellenálló lehet ember okozta cyber-katasztrófákkal szemben, egy jól koordinált támadás hatásaival szemben nem immúnis.”^[99]

Mindezen következtetések nem matematikai alapokon nyugszanak, azt próbálják gondosan áttekinteni, hogy a kritikus infrastruktúra hálózata a mai védelmi apparátus mellett hogyan támadható. Hogy mekkora szerepe lehet a koordinációnak egy sikeres támadásban valamely hálózat ellen, a kicsi világ hálózatok nézőpontjából még világosabban kitűnik.

Kecses halál

Vajon hogy viselkedne az Internet vagy más efféle hálózat, ha például információs terroristák megpróbálnák tönkretenni nélkülözhetetlen számítógépeit? Vajon kicsi világ architektúrája ellenállóbbá vagy védtelenebbé teszi az Internetet? 1999-2000 telén Albert Réka, Hawoong Jeong és Barabási Albert-László arra gondolt, hátha van annyi esélyük a kérdés megválaszolására, mint bárki másnak. Végző soron, miután már az Internet tényleges architektúrájának számos részletét kiderítették, szimulált támadásokat indíthatnának ellene és több másfajta hálózat ellen, és megnézhetnék, mi történik. Melyik áll ellen és melyik esik szét? A hálózatok biztonságáról és ellenállóképességéről szólva általában a redundancia szerepét szokás hangsúlyozni, melynek révén több elem képes ugyanazokat az alapfeladatokat ellátni, úgyhogy ha valamelyik kiesik, egy másik léphet a helyébe. A redundanciának tökéletesen megvan az értelme – egyetlen alakulat sem indulna harcba, amíg csak egyvalaki ismeri a rádió vagy a fegyverzet egyes kulcsfontosságú elemének a kezelését. Albert és két kollégája azonban mindezek ellenére kimutatta, hogy a redundancia önmagában nem elégséges.

Képzeljünk el kétféle Internetet, az egyik legyen arisztokratikus jellegű kicsi világ hálózat, amely nagyban emlékeztet az igazi Internetre, a másik pedig tisztán véletlenszerű hálózat, amely ugyanannyi számítógépből és a köztük levő kapcsolatból áll. Mindkét hálózat redundáns: ha valamelyik komputer kiiktatása kitöröl bizonyos utakat a hálózatból, maradnak mások, hogy átvállalják a

terhet. Komolyabb károsodás esetén azonban apró különbség mutatkozik a kétféle hálózat viselkedésében.

Kiindulásképpen Albert, Jeong és Barabási a véletlenszerű hibák hatásait vizsgálta. Ilyesfajta hibával kell szembenéznie egy hálózatnak, ha egyik-másik számítógépe időnként elromlik, vagy ha nem-összehangolt és nem túl szakszerű támadás éri. A véletlenszerű Internetnél egymás után taláломra kezdték kiiktatni a számítógépeket, és közben figyelték a hálózat átmérőjét – az összekötöttség fokát –, ami nagyjából azt jelzi, mennyire van összekapcsolva a hálózat. Senkit nem lepett meg, hogy az eredmények azt mutatták: az egyes elemek kiiktatásával folyamatosan növekszik a hálózat átmérője. Például ameddigre a hálózat minden huszadik eleméből egyet kivettek, az átmérő 12 százalékkal nőtt.

A pusztítás folytatódásával a helyzet drasztikusan rosszabbodott. Amikor a pusztulás az elemek 28 százalékát elérte, a véletlenszerűen felépülő hálózat teljes egészében kisebb, elszigetelt részhálózatokra esett szét. Annak ellenére, hogy a számítógépek 72 százaléka még jól működött, a hálózat olyan töredezetté vált, hogy már mindegyik számítógép csak néhány másikkal tudott kommunikálni. Ha egy hadseregnek ilyen hálózatra kellene rábíznia magát, bizony siralmas helyzetbe kerülne. A véletlenszerű hálózatok tehát minden redundanciájuk ellenére már egy nem-összehangolt támadás hatására is elég gyorsan szétesnek.

A három fizikus ezután egy arisztokratikus típusú kicsi világ hálózattal ismételte meg ugyanezt a támadást, és jó hírekre bukkant: az Internetével megegyező struktúrájú hálózatok sokkal jobban teljesítenek. Még ha a hálózat elemeinek 5 százalékát ki is iktatják, a hálózat átmérője nem változik. Ezen túlmenően a támadás hatására a hálózat meglehetősen elegánsan esik szét, soha nem katasztrófaszerűen. Az elemeknek már majdnem a felét eltávolították, amikor a megmaradók még mindig egyetlen összefüggő egészet alkottak. A hirtelen összeomlás helyett a hálózat darabjai, mint egy szikla darabjai, lassanként váltak le, miközben a többi egyben marad.

A kétféle hálózat közötti különbséget a nagymértékben összekötött centrumok magyarázzák, amelyek egyfajta ragasztóként hatnak a hálózaton belül. Miután az össze nem hangolt támadás taláломra

céloz, szinte mindig lényegtelen, kevés kapcsolattal rendelkező elemeket üt ki, a centrumokat nem találja el. Ily módon a kicsi világ architektúra véletlenszerű hibával vagy nem elég szakszerű támadással szemben ellenállóvá teszi a hálózatot.^[100] Feltehetőleg ez az eredmény magyarázza, hogy a routerek és más hardver elemek állandó meghibásodása ellenére az Internet mint egész soha nem omlik össze. Van azonban ennek a felfedezésnek egy meglehetősen aggasztó következménye, amely egybecseng a katonai szakértőknek a koordinált támadással kapcsolatos félelmeivel. Mert mint kiderült, a kicsi világ hálózatnak éppen az a vonása, amelyik a véletlenszerű meghibásodásokkal szemben biztonságot nyújt, intelligens támadás esetén Achilles-sarkának bizonyulhat.

A további szimulációk során Albert, Jeong és Barabási azt vizsgálta, hogyan viselkedne a két kísérleti Internet, ha elsőként a legerősebben összekötött centrum számítógépeit iktatják ki – ami a támadó szempontjából jobb stratégia. A valóságos Internethez hasonló hálózat esetében a szimulációk azt derítették ki, hogy ha az elemek mindössze 1 százalékát iktatják ki, 12 százalékkal, ha pedig 5 százalékot, duplájára nő az átmérő. Ami a hálózat mint összefüggő egészt illeti, 18 százalék elpusztításával a hálózat szinte teljes egészében apró darabokra forgácsolódik szét. Összehangolt támadással szemben a kicsi világ hálózat félkarú óriás – a véletlen hálózat viszont előnyben van.^[101]

Milyen tanulságot vonhatunk le mindebből? A katonai szakértők már most is hangsúlyozzák azt a nyilvánvaló összefüggést, hogy bármely hálózatban a fontosabb elemek különleges védelmet igényelnek. A RAND-jelentés ajánlása szerint „bizonyos információs infrastruktúrák annyira lényegesek, hogy különös figyelmet kell szentelnünk nekik, esetleg különleges ellenállóképesség, megtöbbszörözés, gyors helyreállítás vagy más védő és helyreállító mechanizmusok formájában.”^[102] Az USA kormánya bizonyos mértékben máris ezt a tanácsot követi, amikor a főbb telefonközpontok, az energiahálózat lényegesebb elemei, a csővezetékek irányító rendszerei, a kulcsfontosságú légitársasági irányítópontok stb. védelmére adattitkosítást, tűzfalakat és erőteljes fizikai korlátokat alkalmaz. A kicsi világok szemlélete alapján azonban könnyebb megérteni,

mennyire létfontosságú az ilyen különleges védelem. Enélkül néhány jól irányzott csapás az információs infrastruktúrát több száz apró, elszigetelt, működésképtelen darabra zúzhatná szét. Ha redundanciával építjük meg a hálózatot, az még távolról sem elegendő – az architektúra finomabb vonásai is lényeges szerepet játszhatnak.

Ha szemügyre vesszük a hálózat alapvető architektúráját, az természetesen csak egy részét jelentheti a meghibásodás és a külső támadások elleni védekezésnek. Az USA információs infrastruktúrájának esetében egyes elemzők azt javasolják, Amerikának a megelőző csapások agresszív politikáját kellene alkalmaznia az ellenséges országok cyber-harcosaival szemben. Mások viszont úgy gondolják, a komplex hálózatok védelme magasabb szinten kivitelezhető, ha megtanuljuk és lemásoljuk az élőlények védekezési mechanizmusait. Nagyban hasonlóan ahhoz, ahogy az immunrendszer felismeri az idegen behatolókat, az ilyen védelem gyorsan felderíthetné a támadást, és a hálózaton belül elszigetelné a károsodott részeket. Arra is képes lehetne, hogy röptében alkalmazkodjon, a hálózaton belül új útvonalakra irányítsa az információt, újra felossza a feladatokat, és akár azonnali válaszcsoportokat intézzen.

Mindezek a nem túl távoli jövő gondolatai, a biológiai szemlélet mindenesetre különösen használhatónak tűnik és további izgalmas gondolatokat vet fel a kicsi világ elmélet újabb lehetséges alkalmazásaival kapcsolatban. Végül is, amint tudjuk, az Internet struktúrája mély hasonlóságot mutat az élő sejt biokémiájával. Egyáltalán nyerhet-e, és mit nyerhet az élő sejt a kicsi világok trükkjéből? Hogyan jelentkezik a kicsi világok ellenállóképessége és sebezhetősége a biológia világában? És vajon mit tanulhatunk mindebből, hogy intelligensebb módon vehessük fel a harcot a mikrobákkal szemben? Barabási Albert-László és rendkívül szorgalmas munkatársai maguk is ezeken a kérdéseken tündöttek.

Biológiai hadviselés

Még egy olyan egyszerű élőlénynek is, mint az *Escherichia coli* egysejtű baktérium, majdnem ötezer génje van, amelyek

elképesztően bonyolult biokémiai hálózatban működnek együtt egymással. Nagyjából minden gén egy rövid DNS-szakasznak tekinthető, amely bekapcsolt vagy kikapcsolt állapotban van. Bekapcsolt állapotban bármelyik gén más sejtberendezésekkel együttműködve különféle fehérjemolekulákat állít elő, amelyek a sejtmembrán részeit építik fel, a baktérium felszínén érzékelőként működnek közre a táplálékkeresésben vagy a veszedelmek elkerülésében, vagy jeleket továbbítanak az élőlény belsejében egyik helyről a másikra. A gének olyan fehérjéket is termelnek, amelyek más gének be- és kikapcsolásában játszanak szerepet, és az irányító jelzéseknek ez a láncreakciója – gének hatnak fehérjékre, fehérjék génekre, gének fehérjékre, és így tovább – hangolja össze a finom összjátékban a sejtosztódást és a baktérium szaporodását, segíti a sejten belüli kémiai egyensúly fenntartását és vezérli a baktériumot, amikor a táplálékforrások felé „úszik”. E kémiai szimfónia elképzelhetetlen összetettsége lenyűgözi a képzeletünket, ugyanakkor olyan finoman hangolt funkciókat lát el, amelyekkel az emberi technika egyetlen alkotása sem versenyezhet.

Az alapvető hálózati architektúra tekintetében azonban, mint röviden már említettük egy korábbi fejezetben, különös kapcsolat áll fenn a hálózat, az Internet és a Világháló között. A sejtet olyan hálózatnak képzelhetjük el, amelynek minden fontos molekulája egy-egy eleme, és azokat a molekulákat köti össze kapcsolat, amelyek a sejt életét biztosító kémiai reakciókban együtt tudnak működni. Az Internet sebezhetőségére vonatkozó kutatásaik után Barabási és kollégái a sejtbeli hálózatokra fordították figyelmüket. A Northwestern University biológusaival együttműködve negyvenhárom különböző élőlényt, az élet különböző formáinak egész skáláját vizsgálták, kezdve az *E. coli* baktériummal. A kutatók minden egyes szervezetnél ugyanazt a sémát, arisztokratikus típusú kicsi világ hálózatot találtak. Egyes molekulák a nagymértékben összekapcsolt centrum szerepét játsszák, jóval több reakcióban vesznek részt, mint a többi. Például a sejt alapvető energiaszükségletének fedezésében döntő szerepet ellátó ATP, adenzin trifoszfát molekula egy ilyen centrum, amely a sejtbeli hálózat funkcionális magjához tartozik.

Az arisztokratikus típusú kicsi világ hálózatban a centrumok szerepe olyan lényeges, hogy ha azok elpusztulnak, az egész hálózat

szétesik. Ha az országos hálózatra gondolunk, a centrumoktól való függés az Internet és más információs hálózatok Achillesz-sarka, a centrumok elleni támadás végzetes lehet számukra. A sejtbiológia vonatkozásában azonban az arisztokratikus struktúra reményre adhat okot – alapvető új gyógyszerek kutatását segítheti.

Amennyire igyekszik a fejlett világ, hogy hálózati infrastruktúráit megvédje a támadásoktól, ugyanannyira próbál új módszerekkel fellépni a gombák és egyéb biológiai kórokozók ellen, amelyek közül sokan az utóbbi években immúnisakká váltak a hagyományos kezelésekkal szemben. A ma használt antibiotikumok többsége majdnem fél évszázada kifejlesztett hatóanyagokból származik. Ezalatt a baktériumok egyre ravaszabbak lettek, és megtalálták a módját, hogy hatásukat kivédjék. Az USA Institute of Medicine (Gyógyászati Intézete) szerint: „Az antimikrobális szerekkel valaha könnyen féken tartott mikrobák ma már olyan fertőzéseket okoznak, amelyek nem reagálnak az ezekkel a szerekkel való kezelésre.”^[103]

Például az élelmiszer-mérgezést okozó *Staphylococcus aureus* baktérium tipikus kezelése a methicillin nevű antibakteriális hatóanyaggal történik. A kórházakban azonban az élelmiszer-mérgezési esetek immár negyven százaléka olyan fajokat tartalmaz, amelyek rezisztensek a methicillinnel szemben. E betegeket tehát egy vancomycin nevű másik szerrel kell kezelni. A baj csak az, hogy a vancomycin gyakori alkalmazása bőséges esélyt nyújt az *S. aureusnak*, hogy ezzel az új szerrel szemben is rezisztenciát fejlesszen ki. Az Egyesült Államokban és Japánban már legalább öt különböző változatot azonosítottak, amely máris részleges ellenállást mutat.^[104]

Egy baktérium vagy gomba mélyebb architektúrájának azonosítása még nem feltétlenül járul hozzá közvetlenül a probléma megoldásához. Mindenesetre jelentős lépéssel vihet előbbre bennünket, hogy jobban megérthessük, hogyan működik a sejt és mely pontokon a legsebezhetőbb. Például jó oka van annak, hogy a hálózat átmérője, vagyis a sejtbeli hálózat összekötöttségi fokának kicsinek kell lennie. Végül is ez az átmérő közvetlen összefüggésben van azzal, hogy egy láncolatban hány kémiai reakciónak kell lezajlania, amíg egy jelentékeny esemény a hálózat egyik pontján értelmes hatást vált ki a másikon. Egy baktérium például beúszhat

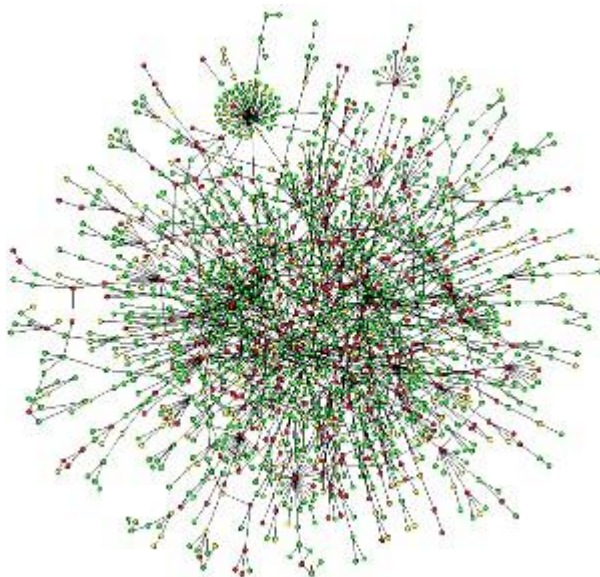
egy cukorban, kedvenc molekuláris táplálékában gazdag területre. A baktériumon egy fehérjeérzékelő jelezheti a jó hírt, és úgy reagálhat, hogy elősegíti más molekulák koncentrációjának növekedését a sejten belül, ezáltal több fokozatú reakcióláncolatot indítva be, abból a célból, hogy a cukor emésztéséhez szükséges molekulák kellő mennyiségben rendelkezésre álljanak.

Ez a baktériumi szintű eseménysor a Pavlov kutyájának reakcióira emlékeztet, és ahhoz, hogy hatékony legyen, gyorsan kell lejátsszódnia, amit a hálózat kicsi világ jellege tesz lehetővé. Néhány láncban egymást kiváltó reakció, néhány lépés csupán a kémiai hálózatban, és megtörténik a szükséges változás. Másfelől bármi, ami jelentős mértékben megzavarná a hálózat architektúráját és nagyban megnövelné az átmérőjét, szörnyű következményekkel járhatna. Ez a lehetőség felveti azt a nyilvánvaló kérdést, mi történne a hálózat átmérőjével, ha ezt vagy azt a molekulát valamiképpen kivonnánk? A sejten belüli hálózat és az Internet szoros rokonsága alapján a válasz meglehetősen nyilvánvaló. Ha egy kevéssé intelligens támadás találmányra ütne ki molekulákat, akárcsak az Internetnél, itt is bizonyára kevéssel nőne az átmérő. Ha viszont nagyobb szakértelemmel támadnánk a molekulákra, a biokémiai hálózat drasztikus és hirtelen szétesésére számíthatunk.

Ez a helyzetkép tisztán elméleti, de egybecseng a valóságos kísérletekkel. A biológusok szelektív módon ki tudnak váltani olyan genetikai mutációkat, amelyek kitörlik a hálózat egy speciális molekuláját, például egy olyan enzimet, amely más reakciókat katalizál. Ilyen kísérletekkel sikerült feltárni, hogy az *E. coli* baktériumnál számos katalitikus enzimet ki lehet törölni anélkül, hogy az nagyban befolyásolná a szervezet életképességét – másfelől néhány döntően fontos enzim eltávolítása pusztító hatással jár.^[105]

Ugyanez a séma figyelhető meg bonyolultabb élőlényeknél is, mint amilyen például a *Saccharomyces cerevisiae*, ismertebb nevén sütőélesztő. A biológusok 1966-ban leképezték ennek az élőlénynek a teljes genomját, tizenhat kromoszómát és nagyjából 6200 gént találtak. Az élőlény kémiai folyamatainak fizikai működése azonban könnyebben megjelenik a fehérjék, vagyis a gének által előállított molekulák szintjén. A bonyolult hálózatokról tett felismerései pedig újabb vizsgálatra sarkallták Barabásit és munkacsoportját, így 2001.

tavaszán a chicagói Northwestern University patológusa, Sean Mason közreműködésével megpróbálták kideríteni, milyen hatással jár, ha ennek a gombának a biokémiai hálózatából (lásd [17. ábra](#)), kiiktatnak bizonyos fehérjéket. A csoport a kísérletek során módszeresen, egyenként tüntette el ezeket a fehérjéket, és azt vizsgálták, az adott fehérje „összekötöttsége” – a hálózaton belüli kapcsolatainak száma – hogyan függ össze eltávolításának következményeivel.



17. ábra

A diagramm a Saccharomyces cerevisiae, közismertebb nevén sütőélesztő különböző fehérjéi közti kölcsönhatások hálózatát mutatja (Hawoong Jeong szíves engedélyével)

Megdöbbentő eredményekre jutottak. A fehérjék több, mint 90 százalékának öt vagy kevesebb kapcsolata volt, és ezeknek csak mintegy egyötöde volt lényeges a gomba folyamatos fennmaradásához. Ha ezeket eltávolították, a megmaradó hálózat alkalmazkodásával továbbra is életképes maradt. Ezzel szemben a fehérjék nem egészen 0,7 százaléka tizenötnél több kapcsolattal rendelkező centrum volt. Ezek közül bármelyiknek a törlése három esetből kettőben végzetesnek bizonyult. A kutatók következtetése szerint „a hálózat architektúrájában centrális szerepet betöltő, erősen összekötött fehérjék háromszor nagyobb valószínűséggel

létfontosságúak, mint a kisszámú kapcsolattal rendelkezők”.^[106]

Ezen eredmények nyilvánvalóan hozzájárultak ahhoz, hogy mélyebben megértsük az alapvető sejten belüli architektúrát és a hálózat különböző részeinek viszonylagos fontosságát. Ugyanakkor gyakorlati szempontból is hasznosnak bizonyulhatnak. A hálózati szemlélet azt sugallja, hogy a baktériumokra és más mikrobákra biokémiai hálózatuk legnagyobb mértékben összekötött fehérjéin keresztül mérhetünk legsúlyosabb csapást. Akárcsak egy hadsereg vezérlő központjai, a centrumok tartják működésben az egész hálózatot.

Kicsi világ gondolkodás

Ez a kutatás csak a kicsi világ szemléletből adódó legnyilvánvalóbb és legfontosabb összefüggések egyikére-másikára mutatott rá. Nem kínál végleges megoldásokat, csak ígéretes új ötleteket és megközelítési módot egy sor komoly problémára, amellyel a bonyolult hálózatok működésével viaskodó szakembereknek szembe kell nézniük. Vajon a kicsi világ struktúra nagyobb mértékben hozzájárul-e ökológiai rendszerünk stabilitásához? Vagy inkább olyan hálózatok jellegzetessége, amelyek aggasztóan kiszolgáltatottak egy hirtelen, katasztrófaszerű összeomlással szemben? Vajon társadalmi hálózatunk struktúrája hogyan befolyásolja az AIDS és más betegségek elterjedését? És e betegségek leküzdésében segít-e bennünket a társadalom architektúrájának megértése?

A fennmaradó fejezetekben azt vizsgáljuk meg, hogy – az ökológiai rendszerek kezelésétől az emberi agy működéséig – milyen tanulságok és következtetések adódnak a hálózatok kialakuló kicsi világ elméletéből. Amint már tudjuk, hamarosan azonban részletesebben látni is fogjuk, az ilyen jellegű hálózatok – akár egalitárius, akár arisztokratikus formájukban – a többinél sokkal nagyobb alkalmazkodóképességgel bírnak. Éppenséggel egyfajta velükszületett intelligencia nyilvánul meg a kicsi világ struktúrákban, mintha csak valamely isteni tervező keze nyomát viselnék.

A kicsi világ elméleten túllépve általánosabb összefüggésben azt is megnézzük, hogyan formálja át a tudomány arculatát, ha megértjük,

miképpen alakul ki szervezettség a kicsi vagy nem is olyan kicsi világok összetett hálózataiban.

9. AZ ÖSSZEKUSZÁLÓDOTT HÁLÓ

Tudomány olyan szakterület, ahol a mi generációnkból a bolond is messzebb jut, mint az előző generáció géniusza.

– Max Gluckman^[107]

A japán kormány 2001 júliusában egyik bálnavadászatot propagáló intézete a következő féloldalas hirdetést tette közzé több japán és nemzetközi újságban: „A bálnák szaporodnak, a halállomány csökken” – hangzott a segélykiáltás –, „a bálnák már-már a halászatunkat fenyegetik!” A hirdetést a Nemzetközi Bálnavadászati Bizottság júliusi találkozására időzítették, ahol több, mint negyven ország küldöttei gyűltek össze, hogy megvitassák a világszerte immár tizenöt éve fennálló bálnavadászati moratóriummal kapcsolatos kérdéseket. Japán abban reménykedik, hogy a moratóriumot felfüggesztik, és visszatérnek a kereskedelmi célú bálnavadászathoz.

A moratórium szabályai alapján az egyes országok „tudományos kutatás” céljaira ma is annyi bálnát pusztítanak el, amennyit csak jólesik. Japánban teljes egészében kihasználják ezt a joghézagot, évente mintegy négyszáz csukabálnát mészárolnak le, akik aztán bálnaszalonna vagy kockára vágott bálnahólyag képében japán vendéglőkben bukkannak fel. E „kutatómunka” során a halászok felmetszették a kihalászott bálnák gyomrát, és kevéssé meglepő módon felfedezték, hogy a bálna halakkal táplálkozik. Innen az állítás, hogy a bálna felelős a halállomány csökkenéséért. Egy nehézségekkel küszködő bálnahús-feldolgozó üzem japán tulajdonosa így fogalmazta át az előbbi érvet: „A bálnák annyi kis halat fogyasztanak, amennyit halászaink kifognak... A bálnavadászati tilalom előtt jól megfértünk egymással... Manapság a tilalom miatt a csukabálnáknak mindent szabad, a halfogás pedig akadozik.”^[108] A japán halászati ipar számára ez az érv kellemes végkicsengéssel szolgál, persze csak azáltal, hogy a valóságot a

feje tetejére állítja. Amint a Greenpeace szóvivője meglehetősen helyesen fogalmazott: „Olyan ez, mintha a harkályokat okolnánk az erdők visszahúzódásáért”, hiszen megdönthetetlen tudományos bizonyítékok szólnak amellett, hogy nem a bálnák, hanem éppen a kereskedelmi halászat okozza világszerte a tengeri ökológiai rendszerek pusztulását.

Tavaly például egy tizenkilenc ökológusból álló nemzetközi team teljes körű történeti vizsgálatot végzett a tengerparti ökorendszerek tengeri élővilágáról, a korallzátonyoktól kezdve a trópusi tengerifűágyakon át a folyamtorkolatokig és kontinentális lemezekig. Hogyan viszonyulnak a mai halpopulációk a múltbeliekhez? Az ipari halászat modern módszereinek beköszöntével a feljegyzések minden esetben a halállomány meredek zuhanását mutatják.^[109] A kutatók végkövetkeztetése szerint „a nagy testű gerinces és kagylós halak túlzott lehalászása által zavarta meg az ember először a tengerparti ökorendszereket... Mindenütt óriási veszteségek keletkeztek mind a biomasszában, mind a ma jószerivel eltűnt nagy testű állatokban...”^[110]

A helyzet az utóbbi néhány évtizedben vált kritikussá. A világ tengeri halászata mintegy 85 millió tonnával tetőzött 1989-ben, azóta folyamatosan apad. Az atlanti-óceáni tőkehal történelmi mélypontot ért el, a foltos tőkehal és más fajok pedig kereskedelmi szempontból kihaltak tekinthetők. Több millió éven át stabil, gazdag táplálékláncok radikális átalakuláson mentek keresztül az elmúlt húsz évben, és az ENSZ Élelmiszer- és Mezőgazdasági Szervezete (FAO) szerint a világ kereskedelmi szempontból jelentős tengerihalállományának majdnem háromnegyed részét teljesen lehalászták, kizsákmányolták, kizsigerelték.^[111]

Nehéz felfogni tehát, hogyan lehet ép ésszel a vérszomjas bálnákat hibáztatni, különösen, miután az óceánok vizében a bálnák évmilliók óta együtt úszkálnak a halakkal, a nagy volumenű ipari halászat viszont új tényező az egyenletben.

A japánok érve azonban még annál is gyengébb, mint amilyennek első látásra tűnik. Tegyük fel, igaza van a Nemzetközi Bálnavadászati Bizottság japán delegátusának, amely a csukabálnákban „tengeri csótányokat” lát. Tegyük fel, még arra is hajlandóak lennénk, hogy néhány további ízletes hal kifogása

érdekében kipusztítsuk a bálnákat. De vajon a bálnák végkiárusítása valóban fellendítené a halászatok fogását? Vajon annyira egyszerű-e a tenger ökológiai rendszere, hogy ha egy helyen meghúzzunk egy kart, a másikon azonnal megjósolhatjuk a hatást? Amint látni fogjuk, ezzel a gondolkodásmóddal az a baj, hogy nem hajlandó tudomást venni ökológiai rendszerünk valódi összetettségéről. Az ökológiai valóság – amint a halászatnak réges-rég illett volna rájönnie – határozottan bonyolultabb ennél.

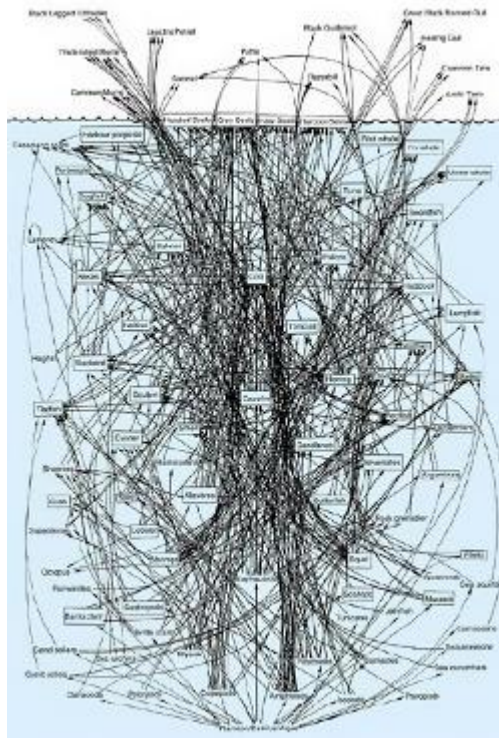
A tőkehal balsorsa

Az 1980-as évek közepén az Atlanti-óceán északnyugati részén a tőkehalak száma zuhanni kezdett. A populáció hirtelen leapadása megdöbbsentette a kanadai halászati vállalatokat, és a kormány tekintélyes tudósokból eseti bizottságot állított fel, hogy járjanak utána a problémának. A newfoundlandi St. Johnbeli Memorial University elnöke, Leslie Harris által vezetett csoport olyan megállapítást tett, amely népszerűtlennek bizonyult a politikusok között. „Ha nem hozunk megfelelő intézkedéseket a halászati veszteség jelenlegi szintjének csökkentésére, akkor nagy valószínűséggel tovább folytatódik a halivadék-populáció jelentős megfogyatkozása.”^[112] Az akkori kanadai kereskedelmi miniszter úgy nyilatkozott, hogy „majd bolond lesz” követni Harris tanácsadó testületének tanácsát, gondolkodás nélkül elutasította azt, mondván, „nem Harris, hanem ő maga kénytelen a csökkentett kvóták gazdasági, társadalmi és kulturális következményeivel foglalkozni”. A kereskedelmi miniszter legnagyobb bánatára azonban a természet nem hajlott meg a jól megválasztott szavak előtt. 1992-ben a kanadai halászhajók fogása minden igyekezetük ellenére messze elmaradt a kvótáktól, éspedig egy igen egyszerű oknál fogva: az Atlanti-óceán tőkehalállománya összeomlott, alig maradt kifogható hal. A kanadai halászoknak végül is szembe kellett nézniük a „gazdasági, társadalmi és kulturális következményekkel”, ráadásul igen radikálisan: a teljes tőkehalhalászatot beszüntették.^[113]

A kormány azonban még ekkor sem ismert el semmiféle felelősséget a katasztrófáért, ehelyett mindenféle egyéb tényezőkre hárította a felelősséget. Az igazi ok nem a túlzott lehalászás, hajtogatták,

hanem az európai halászhajók jogosulatlan behatolása, no és persze az észak-atlanti, grönlandi borjúfókák feneketlen étvágya, akik az összes tőkehalat felfalták. Egy újabb tudományos vizsgálat ismét egészen más következtetésre jutott. 1994-ben a Canadian Department of Fisheries and Oceans (Kanadai Halászati és Óceánügyi Hivatal) azt a megállapítást tette, hogy sem az európai halászoknak, sem a fókáknak semmi közük a dologhoz, az ok a túlzott halászatban keresendő.^[114] Egy évvel később a két tudós egyikét, Ransom Myerst idézte egy vezető kanadai napilap: „ami a keleti parti halállományokkal történt, annak semmi köze a környezethez, semmi köze a fókákhoz, csakis a túlzott halászatához”.^[115] Ezt az információt a kormány rossz néven vehette, mert Myers mint a kormány alkalmazottja feddésben részesült az elszólásért. Mindeközben a kanadai kormány saját tudósainak állításai, valamint a tengerbiológusok tudományos tiltakozása^[116] ellenére kitarított amellett, hogy a tőkehállal táplálkozó fókák állnak a probléma mögött. Az 1990-es évek második felében a kormány által szervezett vadászexpedíciókban évente majdnem félmillió grönlandi borjúfókát lemészároltak, hogy elősegítsék a tőkehal-populáció pótlását, ám ez mégsem következett be.

A kormány ugyanis nem vette észre – vagy politikailag hasznosabbnak tűnt, ha figyelmen kívül hagyja –, hogy az észak-atlanti fókák táplálékát a tőkehal mellett többféle más hal, például kapelán, heck, hering és óriás laposhal is alkotja, közülük némelyik a tőkehal közvetlen vetélytársa.^[117] Az óriás laposhal is tőkehállal táplálkozik, akárcsak egyes tengeri madarak, a tintahal és ördöghal (további, a fókák táplálékát képező halfajták). Ha az óceáni táplálékháló egyéb részeit is tekintetbe vesszük, valamelyest képet alkothatunk a helyzet megdöbbentő bonyolultságáról (lásd [18. ábra](#)). A fókák számának csökkenése e háló legalább 150 fajtát közvetlenül érintené. Ezek létszámának változása viszont számtalan másikat befolyásolna, több milliónyi egymással versengő láncreakció-hullámot indítva a táplálékhálón.



18. ábra

Az északi Atlanti-óceán táplálékhálózatának egy részlete (David Lavigne szíves engedélyével)

Valójában, ha csupán nyolc vagy még kevesebb fajból álló táplálékláncot vizsgálunk, az ökológusok szerint a fókát és a tőkehalat akkor is tízmilliónál több, különböző oksági láncolat kapcsolja össze.^[118] Ilyen elképesztő bonyolultság mellett egyszerűen lehetetlen előrelátni, hogy a fókák irtása végső soron milyen hatással van egyes halászott halfajokra. Ha kevesebb a fóka a kanadai partok közelében, felszaporodhat az óriás laposhalak és ördögshalak állománya, és mivel ezek mind tőkehallal táplálkoznak, elképzelhető, hogy végül még kevesebb tőkehal marad, mint korábban.

Ugyanez a gondolatmenet érvényes a bálnákra is, amelyek nem csupán kereskedelmi halfajokkal táplálkoznak, hanem ugyanezen fajok ellenségeivel is. Vagyis tiszta lelkiismerettel senki nem állíthatja, hogy tudja, a bálnavadászat újbóli engedélyezése milyen hatásokkal járna – a már amúgy is veszélyeztetett fajok aggasztó irtásától eltekintve. Vajon több hal lesz-e ettől? Vagy kevesebb? Ha a politikát és a PR-propagandát félretesszük, csak találgatni lehet.

Vajon az óceáni táplálékhálózatokban van valami különleges, ami ilyen bonyolulttá teszi őket? Aligha. Egy táplálékhálózat struktúrájának tesztelésére az ökológusok sokszor egy kisebb, elzárt területről eltávolítanak egy bizonyos ragadozót, és megnézik, milyen hatással jár ez fő táplálékforrására. Azt gondolhatnánk, az eredmény meglehetősen jól megjósolható: ha eltávolítjuk a ragadozót, tápláléka elszaporodik. A kanadai és japán halászati vállalatok bizonyára egyetértenének ezzel. 1988-ban a kanadai University of Guelph ökológusa világszerte tizenhárom különböző ökológiai társulásra vonatkozó ilyen típusú kísérlet eredményeit gyűjtötte össze. Úgy találta, hogy egy ragadozó eltávolítása általában legegységertelműbb táplálékára is kiszámíthatatlan hatással jár. A problémát a fajokat összekapcsoló közvetett utak bonyolultsága és nagy száma jelenti.^[119]

E példák éppen csak rávilágítanak az ökológiai rendszerek elképesztő bonyolultságára, ám mindjárt súlyos aggodalmakra is okot adnak. Egyes biológusok becslése szerint a fajok kihalásának sebessége ma ezerszer gyorsabb, mint az ember megjelenése előtt, és ha a mai ütemben folytatódik, az élet formáinak egynegyede ötven év alatt el fog tűnni. Vajon milyen hatással lesz ez a pusztítás globális ökológiai rendszerünkre, a mi folyamatos létünket is fenntartó eleven hálózatra? A kormányok és nagy korporációk vezetői világszerte kényelmesnek találják a kanadai kereskedelmi miniszter gondolkodását, amely azt sejteti, hogy az ökológiai rendszerrel kapcsolatos aggodalmak eltűzöttak, és majd „bolondok” leszünk bármilyen politikailag vagy gazdaságilag népszerűtlen reformot végrehajtani. No de mit mond erről az ökológiai rendszer stabilitásával foglalkozó tudomány?

Egy táplálékhálózat a társas közösségekhez és az Internethez nagyban hasonló hálózat, ahol a fajok bonyolult mintázatokban kapcsolódnak össze, és az avatatlan szem számára úgy tűnik, mintha ebben semmiféle szervezettség vagy szabály nem volna. Amint azonban tudjuk, a rend gyakran rejtőzködik, és a különböző jellegű szervezettség gyakran a hálózat egészének különböző sajátságaihoz vezet. Vajon ellen tud-e állni a globális ökorendszer a ma ránehezedő emberi nyomásnak? Vagy valószínűbb, hogy szét fog esni? Némi matematikai segítséggel a kutatók ma mind közelebb

jutnak a válaszokhoz, miközben azonban riasztó következtetésekre is jutnak az élet hálózatának törékenységét illetően.

A bonyolultság stabilitása?

Az 1970-es évek előtt közkeletű ökológiai felfogás volt, hogy egymással kölcsönhatásban álló fajok hálózata annál stabilabb, minél gazdagabb és összetettebb. E nézet szerint egy óriási számú különböző fajt tartalmazó ökológiai rendszer stabilabb lenne, kevésbé volna kitéve hirtelen katasztrofális változásoknak, mint a csupán néhány fajból álló ökoszisztemek. Az Oxfordi Egyetem ökológusa, Charles Elton elsőként képviselte az elképzelést, azt hangoztatva, hogy az egyszerű közösségek „könnyebben megzavarhatóak a gazdagabbaknál, tehát jobban ki vannak szolgáltatva a populációk pusztító ingadozásának és külső behatolásoknak.”^[120] Elton több példára is rámutatott. Például kis szigeteken rendszerint viszonylag kevesebb faj él, és az ilyen jellegű élőhelyek sokkal kevésbé ellenállóak a behatolókkal szemben, mint a kontinensek sok fajnak otthont adó élőhelyei. Hasonlóképpen kártevők behatolása és fertőzések kitörése rendszerint kevésbé sújtja a természetes földterületeket, mint a megművelt, betelepített földeket, ahol az emberi beavatkozás az ökológiai közösséget nagy mértékben egyszerűsítette.

Ez a séma jól beleillik abba a felfogásba, hogy az élővilág egymással kölcsönhatásban álló élőlények, növények és állatok sokszínű mintázata, és hogy e gazdagság csökkenése a rendszer kárára válik. De vajon igaz-e ez?

Az 1970-es évek elején Robert May ausztrál ökológus némi matematikai apparátussal közelítette meg ezt a problémát, és meglepetéssel állt elő. May egymással kölcsönhatásban álló fajok sematikus hálózatának stabilitását vizsgálta. Modelljeiben minden faj vagy ragadozóként, vagy áldozatént szerepelt az ökoszisztémában, a hálózat bonyolultságát pedig azáltal szabályozta, hogy fajokat adott hozzá, vagy vett el belőle, illetve csökkentette-növelte a köztük levő kapcsolatok számát. Arra gondolt, úgy vizsgálja ezen „ökológiai modellrendszerek” stabilitását, hogy megnézi, mennyire képesek megbirkózni a zavarokkal és visszaállni a normális kerékvágásba.

Elméleti szempontból mindez sokkal fejlettebb volt, mint bármi, amivel eddig ökológusok próbálkoztak, végkövetkeztetése pedig egyenesen ellentmondott az ökológusok tapasztalatainak. May azt találta, hogy a kölcsönhatásban álló fajok számának növekedésével általában egyre kevésbé valószínű, hogy a hálózat képes visszaállni, miután megzavarták. A növekvő bonyolultsággal együtt nőtt az esély, hogy a hálózat darabokra esik szét, óriási, befolyásolhatatlan fluktuációkat idézve elő a fajok számában, olyannyira, hogy közülük sokan ki is pusztulnak. Ezzel szemben a kisebb és egyszerűbb hálózatok stabilabbak. Az ilyen jellegű hálózatok a környezeti beavatkozást vagy új fajok behatolását különösebb megrázkódtatás nélkül át tudták vészelnéi.^[121]

May látszólag megingathatatlan matematikai gondolatmenete előtt az ökológusok kénytelenek voltak fejet hajtani. Lehet, hogy végső soron a bonyolultság nem is annyira fontos? Ma Ransom Myers ökológus mindezt az ökológiai rendszerek stabilitásáról folytatott vita jelentős fázisának tartja, amelyben, mint mondja, „a magas matematikától megszéppent ökológusok húsz évre kómába estek”. Az utóbbi években azonban sikerült továbblépniük, Myers szerint „az ökológusok talpra állnak, és újra gondolkodni kezdenek”. Legalábbis egyikük, ráadásul a többenél valamivel korábban.

Peter Yodzis tudományos karrierje az 1970-es évek elején Svájcban, a Berni Egyetemen indult. Mint az általános relativitáselmélettel foglalkozó fizikus, matematikával telezsúfolt dolgozatokat írt *Zárt univerzumok kitágulása* és hasonló címeken. Tíz év múltán azonban az elméleti ökológia felé fordult, *A feketemedve-populáció dinamikájáról* és hasonlókról kezdett írni. Matematikai ismeretei birtokában Yodzis a legtöbb ökológusnál sokkal jobb helyzetben volt, hogy May munkásságának értelmét és következményeit elemezhesse.

Egyéb észrevételei mellett Yodzisnak feltűnt, hogy May random gráfokból építette fel a hálózatait. Akárcsak a tiszta matematikában Erdős Pál vagy a korai társadalomtudósok, véletlenszerűen kötötte össze az elemeket. Vajon a valóságos ökológiai rendszerek tényleg random hálózatok? Yodzis kíváncsi volt a válaszra, ezért elkezdte tanulmányozni az irodalmat, és adatokat gyűjtött egy sor valóságos ökoszisztémáról, hogy jobb képet alakíthasson ki a tényleges

táplálékhálózatok szerkezetéről. Arra vonatkozóan is információt gyűjtött, hogy az egyes fajok milyen erősen hatnak egymásra. Egy társas hálózatban a jó barátok és a felületes ismerősök között nem egyformán erős kapcsolatok állnak fenn. Ugyanez a helyzet a fajok esetében is. Megeshet, hogy egy ragadozó kizárólag egyetlen fajjal táplálékozik, így igen erős és gyakori kölcsönhatásban áll vele. Vagy táplálkozhat akár száz különböző faj egyedeivel, mindegyikükkel viszonylag gyenge és ritka kapcsolatban.

Yodzis minden rendelkezésére álló információt beépített a modelljeibe, majd Mayhez hasonlóan megvizsgálta, hogyan viselkednek a zavarokkal szemben. Izgalmas eredményeket kapott. A random hálózatokkal ellentétben ezek a valószerűbb táplálékhálózatok egyszerre voltak rendkívül bonyolultak és rendkívül stabilak. Jelentős megrázkódtatásokat, akár egy egész faj kihalását is elviselték anélkül, hogy szétestek volna. Ezek az eredmények, ha csak jelzésszerűen is, arra utaltak, hogy May véletlen hálózataiból lényeges összetevők hiányoznak. Bizonyos fajta komplex hálózatok – éppenséggel azok, amelyek jobban hasonlítanak a valóságos ökorendszerekre – végső soron stabilak.

[122]

A bonyolultság tehát néha jó tulajdonság, és az újabb ökológiai kutatások még meggyőzőbben alátámasztják Yodzis álláspontját. Az 1980-as években és a 90-es évek elején egy David Tilman által vezetett csoport a chicagói egyetemen aprólékos kísérletsorozatot végzett. A minnesotai Cedar Creek Természettudományi Területen négy füves mezőt felosztottak 270 telekre és elemezték összetettségüket. Pontosabban a diverzitást – a különböző fajok számát – mérték meg, ugyanakkor azt is figyelték, hogy az egyes telkeken milyen gyorsan ingadozik a biomassa. A biomasszát úgy határozhatnánk meg, ha a telken élő összes élőlényt összegyűjtenénk, kiszárítanánk és megmérnénk a súlyát. Ez arról ad képet, milyen jól működik az ökológiai rendszer abban az értelemben, hogy mennyi élő anyag előállítására képes.

Tilman és kollégái azt a célt tűzték maguk elé, hogy kiderítik, milyen kapcsolatban áll egy terület összetettsége, illetve biomasszájának fluktuációja, gondolván, hogy a nagyobb fluktuáció a kisebb stabilitáshoz köthető és megfordítva. A kutatók megdöbbenő

tendenciát fedeztek fel a telkek között: minél nagyobb az összetettség és a fajok száma, annál kisebb a biomassa fluktuációja.^[123] A következtetés: a bonyolultabb hálózatok stabilabbak, fluktuációjuk rendszerint kisebb, mint az egyszerűbb hálózatoké, szöges ellentétben Robert May matematikai eredményeivel.

Ezek az eredmények azt sugallják, hogy a világ ökológiai rendszereiben strukturális elvek működhetnek. Távolról sem csupán véletlenszerűen összekapcsolt fajok hálózatai, a közöttük működő kapcsolatok részletes mintázataiban nagyfokú értelem lelhető fel. A táplálékhálózatokat joggal nevezik „úttérképnek a szövevényes darwini tájakon”.^[124] Az utóbbi években a kutatók ezeket az úttérképeket böngészve kezdik feltárni az ökológiai rendszerek szerkezetének mélyebb elveit. Kiderült, hogy a stabilitás végső soron szorosan kapcsolódik az összetettséghez, különösen pedig bizonyos fajta „gyenge kapcsolatokhoz”, amelyek a fajokat gazdagon összekötött táplálékhálózatokká kapcsolják össze.

A gyenge kapcsolatok biztonsága

Ami Robert May ökológiai rendszerek stabilitását vizsgáló kísérletét illeti, újdonság és magyarázó erő tekintetében minden mellette szólt. A matematikával felvértezve az ökológusok készen álltak, hogy egyszer s mindenkorra megválaszolják az ökoszisztémák általános kérdéseit. May módszerében azonban rejtett hibák bújtak meg – mindenekelőtt a stabilitás fogalmának helytelen felfogása.

May az ökoszisztémát úgy képzelte el, mintha az örök egyensúlyi állapotban lenne. Gondoljunk csak egy székre! A széket akkor mondjuk stabilnak, ha lábunkkal szelíden meglökjük és még mindig állva marad. May így képzelte el az ökológiai rendszer stabilitását is. Egy hirtelen, heves klímaváltozás kizökkentheti az ökoszisztémát ebből a természetes egyensúlyi állapotból azáltal, hogy egyes fajok egyedszámának növekedését idézi elő mások rovására. Mi történik azonban ezután? Vajon a populációk gyorsan visszanyerik korábbi állapotukat? Ilyenkor nevezzük stabilnak a valóságos vagy matematikai ökoszisztémát. Ha azonban a populációk nem

állapodnak meg, ha különböző fajok létszáma a korábbiakhoz képest megváltozik, egyesek erőteljesen felduzzadnak, mások kihalnak, instabil ökosziszterről beszélünk.

May stabilitásfelfogása tökéletesen elfogadható, mindazonáltal semmiképpen sem az egyetlen, és talán nem is a legmegfelelőbb elképzelés. 1998-ban Kevin McCann, Alan Hastings és Gary Huxel, akkoriban mindannyian a davis-i Kaliforniai Egyetem munkatársai, fontos előrelépést tettek azáltal, hogy az ökológiai rendszerek stabilitását némileg más, kevésbé leszűkítő értelemben fogták fel.

Bármely valóságos ökoszisztémában évről évre fluktuál az egyes fajok létszáma. Ez tökéletesen normális. A rókák és nyulak létszáma idén nem egyezik meg pontosan a tavalyi vagy tavalyelőtti értékkel. A fluktuációból nem az következik, hogy az ökoszisztéma instabil, csak hogy változékony. Akkor pedig ez a fajta természetes fluktuáció azt jelenti, hogy May elképzelése nehezen alkalmazható. Az ő stabilitás-definíciója azt kívánja meg, hogy egy zavaró hatás után minden faj létszáma álljon vissza a korábbi értékre. A szék esetében ez azt jelenti, hogy a meglökést követően mindegyik székláb *pontosan* ugyanabba a helyzetbe kerül vissza. Máskülönben nem mondhatnánk stabilnak.

Ám valóban tényleg olyan fontos, hogy minden változatlan maradjon? Nem lehet valami úgy is stabil, ha egy zavar némileg megváltoztatja? Például a szék esetleg állva marad, ha eredeti helyétől tizenöt centivel távolabbra kerül is. Ez éppolyan legitim válfaja a stabilitásnak. Vagy az ökoszisztémában lehet, hogy a korábbihoz képest minden faj létszáma megváltozik, közösségük mégis egészséges, ha új állapotban létezik tovább. McCann és kollégái azt javasolták, jobb lenne ily módon gondolkodni az ökológiai rendszerek stabilitásáról. Az igazi kérdés végül is az, hogy az ökológiai rendszer felborul-e vagy sem. Hogy képes-e elnyelni a megrázkódtatást és egyben maradni, kitartani megváltozott állapotban is.

Ez a szemléletváltás talán a játékszabály lényegtelen megváltoztatásnak tűnhet, pedig valójában sokkal több annál. Ha a táplálékláncokról úgy gondolkodunk, hogy mennyiben képesek fennmaradni, ez segít rávilágítani bármely ökológiai rendszer instabilitásának fő mozgatóerőire, amelyek erőteljes fluktuációt

okoznak a különböző élőlények létszámában. Amint McCann és kollégái rámutattak, nem minden fajok közötti kölcsönhatás egyforma. Egyesek sokkal erősebbek, mint mások. És éppen az erőteljes kölcsönhatások okoznak bajt.

A fajok úgy hatnak egymásra, hogy vagy az egyik felfalja a másikat, vagy ugyanazért az áldozatért, élőhelyért versengenek. Ha egy ragadozó egyetlen másik fajon él, gyakorta fel kell fálnia egyedeit, más választása nem lévén. E két faj kölcsönhatása erős lesz. Ha viszont tizenöt fajon, megeshet, hogy mindegyikből csak alkalmanként fogyaszt. Ilyenkor e fajokkal viszonylag gyenge lesz a kölcsönhatása. Tegyük fel mármint, hogy egy klímaváltozás hatására egy ragadozó egyetlen áldozatának létszáma erőteljesen megfogyatkozik. Ez a ragadozó most már nehezen fog táplálékot találni, mégsem tehet mást – tovább kell keresnie áldozatát, ha kevés van is belőle, ezáltal ezt a fajt még közelebb juttatva a kipusztuláshoz. Ha ez megtörténik, a ragadozó létszáma is hirtelen meredeken zuhanni kezd. E két faj közötti erős kapcsolat a populációk veszélyes ingadozásának lehetőségét hordozza.

Ezzel szemben, állítják McCann és munkatársai, a gyengébb kapcsolatok meg tudják menteni a helyzetet.^[125] Vegyünk például egy tizenötféle fajjal táplálkozó ragadozót! Ha ezek közül valamelyik fajnak a létszáma bármely okból nagyon alacsonnyá válik, a ragadozó természetes reakciója nem az, hogy még jobban csökkenti ezt a létszámot, hanem, hogy figyelme más fajok felé fordul. Végző soron a tizennégy másik áldozat bármelyike, lévén számosabb, könnyebben elérhető számára. E figyelemeltolódás következtében pedig a ragadozó továbbra is talál élelmet, a kihalással fenyegetett áldozat pedig erőre kaphat. Ily módon a fajok közti gyenge kapcsolatok úgy hatnak, hogy hatástalanítják a veszélyes fluktuációkat. Ezek az ökológiai közösségek természetes szelepei.

Ebből a nézőpontból a fajok közti gyenge kapcsolatok különleges szerepet játszanak az ökológiai közösségek összetartásában, és ez furcsa módon emlékeztet arra, amit Mark Granovetter a társas hálózatoknál a gyenge kapcsolatok erejének nevezett. Önmagában ez a megfigyelés még nem olyan rettenetesen mély. És mégis fontos kérdéseket vet fel: melyek egy ökoszisztéma gyenge és melyek az erős kapcsolatait? Vajon a társas hálózatokkal való párhuzam több-e

puszta véletlennél? Ha alaposan elgondolkodunk a *kicsi világ* hálózatokról, az izgalmas lehetőségeket sugall.

Tegyük fel például, hogy a táplálékhálózat nagyban hasonlít egy társadalmi hálózatra. Tegyük fel továbbá, hogy arisztokratikus jellegű *kicsi világ* hálózat, ahol a legtöbb faj csak néhány másikkal, néhány összekötő faj viszont nagyszámú élőlényhez kapcsolódik. Hol lennének egy ilyen hálózatban a gyenge és az erős kapcsolatok? Társas közegre vonatkozóan már ismerjük a választ. Ha valakinek ötezer barátja van, azok végül is nem lehetnek mind közeli barátok. Senkinek sincs annyi ideje és energiája barátkozni, hogy ilyen sok emberrel tartson fenn erős kapcsolatokat. Következésképpen a kivételesen erősen összekötött keveseknek többnyire gyenge kapcsolatokkal, a kevés kapcsolattal rendelkező többségnek pedig erős kapcsolatokkal kell kötődniük. Analógiás alapon ugyanez állna az ökológiai rendszerekre. Ha egy faj nagy számú kapcsolattal kötődik más fajokhoz, ezek többsége minden bizonnyal gyenge kapcsolat. Egy élőlény például nem ehet sokkal többet, mint amennyit eszik, és ha 150 különböző fajjal táplálkozik, valószínű, hogy mindegyikkel csak ritkán.

Ha tehát az ökológiai rendszerek arisztokratikus jellegű *kicsi világok* volnának, természetesen uralnák a kivételesen összekötött kevesek gyenge kapcsolatai. Belőlük fakadna a gyenge kapcsolatok dominanciájával járó természetes stabilitás. Ez persze csak sejtés. Ha ez igaz, a kivételesen összekötött kevesek volnának a közösség sarokkövei, az egész társulást egyben tartó felmérhetetlenül értékes fajok. De vajon léteznek-e ilyen fajok a valóságban? Vajon az ökológiai rendszerek tényleg olyanok-e, mint a társadalmi hálózatok?

Kétlépéses összeköttetés

Ha az ökológus táplálékhálózatokra gondol, nem mindig a sötét óceán mélyén egymást felfaló lényekre vagy az afrikai szavannákon riadt antilopokat cserkésző oroszlánokra gondol. Az ökológiai szakirodalomban a legtanulságosabb táplálékhálózatok éppenséggel olyan nevet viselnek, mint „Fatönk korhadt odva, Alabama” „Kutyatetem, Costa Rica”, ha nem is elegáns, de virágzó miniatűr

ökoszisztémák, ahol a látványos drámát az általuk fenntartott rovarok és mikrobák gazdag közössége pótolja. Tudományos érdeklődésre számot tartó táplálékháló léteztek közönséges telkeken is, amilyen például a londoni Imperial College biológusai által Dél-Angliában fenntartott 87 hektáros terület. Az Silwood Park kutatási területének egy részén ez az ökológiai rendszer a borsófélék családjába tartozó, füves pusztákon termő, gyakran két méter magasra is megnövő seprőzanót és a hozzá társuló 154 faj összetett táplálékhálóját jelenti.

Nehéz egy 97 hektáron termő borsóféle növénynél unalmasabb dolgot elképzelni. Az ökológusokat azonban az izgatja ebből a földdarabból, hogy ezt a táplálékhálót részletekre menően ismerik. Több évtized során a kutatók feltérképezték mind a 154 faj között fennálló kapcsolatokat és ma már meg tudják rajzolni a táplálékháló pontos diagramját. Ennek ismeretében pedig lényegbevágó kérdésekbe látnak bele. Hány fajok közötti kapcsolat szükséges valójában, hogy valamely oksági láncolatban bármely két élőlényt összeköthessenek? A táplálékháló egyik részén fellépő zavar vajon hány kapcsolaton keresztül indít el hatásokat valahol másutt? Ricard Solé fizikus és José Montoya ökológus tavaly arra vállalkozott, hogy ezekre a kérdésekre keresnek választ a Silwood Park esetében, és eredményeik cseppet sem megnyugtatóak.

A 97 hektáros területen élő fajok közt legyeket, poloskákat, pókokat és bogarakat találtak. Vannak ott nyulak és madarak, ezen kívül gombák és baktériumok is,^[126] az uralkodó seprőzanóton kívül. Solé és Montoya számítógép segítségével bármely két fajra kiszámította az őket összekötő legrövidebb út fajainak számát. 150 faj esetében az összekötéshez szükséges kapcsolatok száma igen nagy, akár ötven vagy hatvan is lehet. Solé és Montoya azonban szélsőségesen *kicsi világot* talált: bármely madár, bogár, pók és baktérium között az összeköttetési távolság tipikusan mindössze kettő vagy három volt. A Silwood Park élőhelyének szötteése igen sűrű összeköttetések szövedékéből áll.^[127]

Talán van valami rendkívüli a Silwood Parkban? Ennek kiderítésére Solé és Montoya kiterjesztette vizsgálatát az észak-wisconsini Little Rock Lake 162 faj társulását tartalmazó édesvízi ökoszisztémájára is. Tanulmányozták továbbá az Ythan folyó torkolatvidéke 134 fajból

álló táplálékláncát, az Egyesült Királyságbeli Aberdeentől mintegy húsz kilométerre északra. Eközben a San Francisco State University Richard Williams vezette kutatócsoportja világszerte hét másik ökoszisztéma táplálékhálózatát tanulmányozta. Mindegyik vizsgálat pontosan ugyanarra az eredményre jutott: az ökorendszerek *kicsi világok*, két vagy három összekötési távolsággal.

Egy mezőgazdasági telek persze nem azonos a föld ökológiai rendszerével. És persze bizonyosan két lépésnél több választ el egy illinoisi harkályfajt és egy dél-kínai tengeri rákot. A bálnák és számos halfaj viszont az óceánok egészét benépesítik, és számos madárfaj kontinensről kontinensre költözik, ezáltal biztosítva a biológiai világot összetartó létfontosságú messzire elérő kapcsolatokat. A globális ökoszisztéma összekötési távolsága talán nem kettő, de tíznél valószínűleg nem sokkal több. Annak fényében, amit korábban a társas hálózatoknál és az Internetnél láttunk, ez a felfedezés aligha meglepő. Mégis éles ellentétben áll a hagyományos ökológiai elmélettel, ahol két faj távolságának durván a táplálékháló nagyságával arányosan kellene nőnie.

A *kicsi világ* struktúra megakadályozza, hogy a távolság ilyen arányban nőjön, és így szorosan összeköti a biológiai világot. Egy faj megirtása nem csupán mindazon fajokat érinti, amelyekkel ő táplálkozik vagy amelyekkel vetélkedik, de hatása néhány lépésen keresztül kiterjed, és a földi ökoszisztéma minden egyes fajtát érinteni fogja. Amint Williams és kollégái megállapították, „egy táplálékhálózat legtöbb fajtát egymáshoz viszonyítva »lokálisnak« tekinthetjük, meglepően kicsi világokban élnek, ahol a fajok egymással potenciálisan legalább egy rövid táplálékláncon át kapcsolódnak... Ez arra utal, hogy fajok beiktatása, elvétele vagy megváltoztatása gyorsan és széles körben terjed hatalmas, összetett közösségekben.”^[128]

Az ökológiai közösségek tehát *kicsi világok*. Az összekötők megléte is jellemző rájuk. Hálózatelemzésüket folytatva Solé és Montoya megvizsgálta, hogy a Silwood Park, Little Rock Lake és az Ythan folyó torkolatvidéke táplálékhálózatában melyik fajt hány kapcsolat köt egyéb fajokhoz. Mindegyik hálózatban külön-külön megszámozták, hány fajnak van kapcsolata két másikkal, hánynak hárommal, és így tovább, és megrajzolták a grafikont. A görbe

minden esetben a már oly sokszor látott hatványfüggvény vagy kövér farkú eloszlást követi: ha 100 fajnak van két kapcsolata, akkor ötvennek van négy, 25-nek nyolc, és így tovább. Egy bizonyos számú kapcsolattal rendelkező fajok száma konstans részére csökken, valahányszor megduplázzuk a kapcsolatok számát. A pontos számok itt nem is annyira lényegesek, ez a séma mindenképpen arisztokratikus hálózatról árulkodik, amelyet néhány kivételesen összekötött centrum, vagyis az egész hálózat összes kapcsolatából aránytalanul nagy mértékben részesedő faj dominál.

Vagyis az ökológiai rendszerek valóban olyanok, mint a társas hálózatok, és a *kicsi világ* szemlélet hozzájárul, hogy mélyebben megértsük a gyenge kapcsolatok ökológiai jelentőségét. Bármelyik centrumnak vagy összekötő fajnak óriási számú kapcsolata van más fajokkal. Következésképpen e kapcsolatok legtöbbször gyenge kapcsolat, amelyben a két faj ritkán találkozik. Miután pedig a hálózat összekötői ilyen nagy részt képviselnek a teljes hálózat összes kapcsolataiból, a hálózat legtöbb kapcsolatának gyenge kapcsolatnak kell lennie. Más szóval az ökörendszerekben a gyenge kapcsolatok dominanciája közvetlenül a *kicsi világ* architektúrából fakad. Már önmagában ez a struktúra biológiai szelepeket biztosít, amelyeken eloszlik a túlnyomás és nem történhet meg, hogy egy faj korlátlan zsákmányszerzése vagy versengése megsemmisítsen valamely másikat.

Ebben az értelemben az arisztokratikus *kicsi világ* struktúra a világ ökológiai rendszereiben a biztonság és stabilitás természetes forrása. Ez a felismerés azonban nem egészen megnyugtató. Amint az Internet vonatkozásában már láttuk, ennek az architektúrának is megvan az Akhillesz-sarka.

Leomló zárkövek

Napjainkban az összes faj mintegy kétharmadának élőhelyet biztosító trópusi erdők felét fenyegeti kivágás vagy felégetés. Öt-tízévente mintegy egymillió négyzetkilométer tűnik el, hogy helyet biztosítson az emberi terjeszkedésnek.^[129] Mennyire veszélyes a fajok diverzitásának csökkenése a világ egészére nézve? Ha az egészséges ökoszisztémák összekötőkkel rendelkező *kicsi világok*,

amelyeknek stabilitását a gyenge kapcsolatok adják, a fajok számának globális csökkenése valóban aggasztó kilátást jelent. Mert ha a fajok eltűnése folytatódik, az ökológiai rendszerünkben megmaradó fajok kölcsönhatása egyre erősebb lesz, már pusztán aritmetikailag is.

Ha egy ragadozó csak hatféle fajjal táplálkozik, amíg korábban tízzel, azzal a hattal erősebb kölcsönhatása lesz, ezt pedig az ökológiai rendszer stabilitása megsínyli. A leegyszerűsödött ökológia társulások pedig kiszolgáltatottabbak lehetnek külső fajok behatolásával szemben. Ha tehát továbbra is fajok tűnnek el, egyre borúsabbnak láthatjuk a jövőt. Kevin McCann úgy látja a dolgot, hogy „ökológiai rendszerünk egyszerűsödésével azt várhatjuk, hogy a sikeres behatolások gyakorisága és hatása egyre növekszik. A fennmaradás szempontjából nyilvánvaló tanulságok: (1) ha fenn kívánunk tartani egy ökoszisztémát és annak alkotó fajait, akkor járunk el legjobban, ha minden egyes fajt szentségnek tekintünk; és (2) fajok eltűnése (kihalása) vagy megjelenése (behatolása) jelentős eltolódásokat válthat ki (idővel ki is vált) a társulás szerkezetében és dinamikájában.”^[130]

Miközben tehát a *kicsi világ* jótékony, amennyiben társas értelemben egy világgá kapcsol össze bennünket, ökológiai szempontból meglehetősen aggályos. Miután egyetlen faj sincs távol a többitől, valószínűtlen, hogy bárhol is éljen a Földön, hosszú ideig az emberi tevékenység által érintetlen maradhasson. Talán már ma sincs ilyen faj. Ez legalábbis kettős figyelmeztetést jelent a fajok „erőforrás-tervezési célból” történő gondatlan eltávolításával szemben, ahogyan azt például a kanadai és japán halászat képviselte.

Mi több, akár egyetlen összekötő faj eltávolításának következményei is különösen drámaiak lehetnek, hiszen vele együtt nagy számú stabilizáló hatású gyenge kapcsolat is veszendőbe menne. Az ökológusok régóta beszélnek „zárkő” fajokról, vagyis olyan döntő jelentőségű élőlényekről, amelyek eltávolításával kártyavárként omlana össze az élet hálózata. A *kicsi világok* szemlélete alapján az összekötők játsszák a zárkő szerepét. Solé és Montoya pedig bebizonyította, mennyire létfontosságú ezek megőrzése. Képzeljük el, hogy egy ökológiai rendszerből elkezdünk eltávolítani fajokat. A táplálékhálózat lassan, de biztosan össze fog omlani. Ámde hogyan

omlik össze? És mely fajok játszanak döntő szerepet az összetartásában?

Ennek kiderítésére Solé és Montoya ismét a Silwood Park, a Little Rock Lake és az Ythan folyó torkolatvidékének táplálékhálózatát vette szemügyre. Az ökoszisztémát fenyegető kétféle lehetséges támadással foglalkoztak. Egyrészt – emberi tevékenységből, klímaváltozásból vagy bármi másból – eredő fenyegetés hatására néhány faj többé-kevésbé véletlenszerűen kipusztulhat. A táplálékhálózatból egyes fajok véletlenszerű kiiktatásának számítógépes szimulációjával a kutatók azt találták, hogy a valóságos közösségek – bízató módon – viszonylag jól megállták a helyüket. A fajok eltűnésével a táplálékhálózat átmérője csak igen lassan csökken, az élet egyetlen központi, teljesen összekötött hálózatában megmaradó fajok teljes száma fokozatosan apad. A jó hír tehát: az ökológiai rendszerek meglehetősen jól tűrik találmányra néhány faj eltűnését. A fajok nem kis részét el lehet így távolítani anélkül, hogy a teljes hálózat szétesne.

Vannak azonban lehangelő hírek is. Tegyük fel, a fajok nem véletlenszerű sorrendben tűnnek el, hanem elsőként a leginkább összekötött fajok. Ebben az esetben, amint Solé és Montoya feltárta, gyorsan bekövetkezik az ökológiai katasztrófa. A legjobban összekötött fajok akár csak 20 százalékának eltávolítása szinte teljesen szétforgácsolja, apró darabokra bomlasztja a hálózatot. A hálózat szétesése közben pedig a pusztulás számos másodlagos kihalást von magával, egyes fajok ugyanis minden kapcsolatukat elvesztik más fajokkal, teljesen elszigetelődnek. Ezek a szimulációk azt a nyilvánvaló következtetést támasztják alá, hogy egy ökológiai rendszer igazi zárkövei a legerősebben összekötött fajok, a hálózat centrumai.

E zárkövek úgyszólván afféle ökológiai irányító központok, nyilvánvalóan az a legfontosabb, hogy a megőrzési törekvések ezekre irányuljanak. A múltban az ökológusok azt feltételezték, hogy rendszerint a nagyragadozók játsszák az ökológiai zárkő szerepét, ez azonban, úgy tűnik, nem állja meg a helyét. Solé és Montoya a három vizsgált ökoszisztémában azt találta, hogy a nagymértékben összekapcsolt zárkövek gyakran a legkevésbé látványos élőlények a tápláléklánc közepén, de sokszor a hálózat legalján található

egyszerű növények. Más esetekben viszont a nagyragadozók. Úgy tűnik, nincs szilárd ökölszabály annak megállapítására, milyen jellegű fajok esélyesek a zárkő szerepére. Ez talán megnehezíti az ökológus számára a legfontosabb fajok azonosítását, ám egyben azt is jelzi, mely úton a legtanácsosabb tovább haladnunk. A zárkővek meghatározása azt jelenti, hogy a hálózat architektúrájának elemzésével megnézzük, mely fajok az összekötők, kulcspontok az élet szövedékében.

Solé és Montoya a számítógépen valósította meg, amit világszerte az ember tevékenysége a valóságban végez: módszeresen lebontották a világ ökológiai rendszereit. Elméleti ismeretek híján csupán reménykedhetünk, hogy az ökoszisztéma képes ellenállni ennek a támadásnak anélkül, hogy összeomlana. Úgyszólván semmit nem tudunk, és amit tudunk, az is aggasztó. Az ökorendszerek *kicsi világ* szemlélete kezdet csupán, de legalább némi felismeréssel szolgál, amelynek alapján csökkenthetjük a pusztítást azáltal, hogy azonosítjuk a zárkőveket, és valósághívebb képet alkotunk a fajok kapcsolatainak sűrű szövedékéről. Ahhoz, hogy megismerjük az ökológiai rendszer stabilitását, és megtanuljuk intelligensebben kezelni a Föld többi élőlényéhez fűződő kapcsolatainkat, úgy tűnik, éppen annyit kell tudnunk a hálózatokról, mint az egyes élőlényekről.

A hálózati gondolkodás tehát éppen attól olyan hatékony, hogy az ilyen-olyan környezet, számítógépek, repülőterek és élő szervezetek részletein túl feltárja a színpalak mögött ható mély, nagy hatású rendező elveket. A természetben sokszor nem a hálózat alkotóelemeinek a jellege számít a leginkább, hanem a mögötte meghúzódó általános rend – vagy éppen annak hiánya. Ez a felismerés aligha új. A fizikusok több mint egy évszázada tudják, hogy a jégben és a vízben azonos molekulák vannak. Ha télen befagy a tó és korcsolyapályává változik, ez nem magukban a molekulákban történő változást, hanem a molekulák szerveződési mintájának finom átalakulását tükrözi, ez pedig olyan hálózati tulajdonság, amit egyetlen vízmolekula vizsgálata soha nem tudna előre jelezni.

A hálózatok ilyen szemlélete azonban igazából csak az elmúlt évtizedben nyert polgárjogot. Különösen a fizikusok tudománya

lépett új fázisba, kezdik felismerni, hogy a fizika nem csupán fizikáról, folyadékok, gázok, elektromágneses terek és bármilyen jellegű fizikai anyag sajátosságairól szól. Valójában, mélyebb szinten a szerveződéssel – a tiszta forma törvényeinek feltárásával – foglalkozik.

10. HATÁRPONTOK

De mégis szentül hiszem, hogy nemcsak a nagyon fejlett tudat, hanem bármilyen tudat is betegség.

– Fjodor Mihajlovics Dosztojevszkij^[131]

Az NKVD, a szovjet állambiztonsági hatóság különleges ügynökei 1938. április 28-án este letartóztatták a nevezetes moszkvai Fizikai Problémák Intézetének három fizikusát. Jurij Rumer, Moisiej Korec és Lev Landau már két évvel korábban az NKVD látóterébe került, mert, mint a KGB 80-as évek vége felé hozzáférhetővé vált aktáiból kiderült, a rendőrség arra gyanakodott, hogy az előbbi kettő egy „Landau által vezetett ellenforradalmi szabotázs-szervezet” tagja. A letartóztatás az összes elképzelhető politikai ellenfél és potenciális zavarkeltő ellen folytatott sztálini tisztogatások tetőpontján történt. Az előző két évben a kommunista pártnak becslések szerint 850 ezer tagját (teljes tagságának majd' egyharmadát), összesen pedig mintegy tízmillió embert lőttek agyon vagy szállítottak koncentrációs táborokba, ahonnan nem tértek vissza élve.

Ebben az esetben az NKVD-nek bőséges bizonyíték állt rendelkezésére az összeesküvőkkel szemben. Az ügynökök kezében volt annak a röpcédulának egyik példánya, amelyet Rumer, Korec és Landau május elsején^[132] szándékozott terjeszteni. Már a megfogalmazás úgyszólván biztos halált jelentett számukra:

Elvtársak!

*Az októberi forradalom nagy ügyét alávaló módon elárulták...
Ártatlan emberek millióit vetették börtönbe, senki nem tudhatja,
mikor kerül rá a sor...*

Hát nem látjátok, elvtársak, hogy Sztálin és klikkje fasiszta puccsot

hajtott végre? A szocializmus csak az újságok oldalain maradt meg, amelyeket végképp elárasztott a hazugság. Sztálin veszettül gyűlöli az igazi szocializmust, ugyanúgy, mint Hitler vagy Mussolini. Saját hatalmát úgy akarja megmenteni, hogy tönkreteszi az országot és a vadállati német fasizmus könnyű prédájává teszi...

Hazánk proletariátusának, amely megdöntötte a cár és a kapitalisták hatalmát, lesz ereje legyőzni a fasiszta diktátort és klikkjét.

Éljen május elseje, a szocializmusért vívott küzdelem napja!

Antifasiszta Munkáspárt

Rendesen bárkit, aki kapcsolatba hozható egy ilyen röpcédulával, agyonlőtték volna. Rejtélyes okoknál fogva azonban a három fizikusnak megkegyelmeztek. Korecot a Gulágra – a szovjet rendszer Szibériában és a távoli északon létrehozott kényszermunkatáborába – küldték, ahol húsz évet élt, de megérte, hogy 1958-ban visszatérhessen Moszkvába. Rumer egy különleges, tudományos és mérnöki munkára fenntartott Gulág börtönbe került, ahol tíz évet töltött le. Mindeközben Landaut, a kör feltételezett vezérét a Ljubljankába, Moszkva központi börtönébe vetették. Hat hónappal később töredelmes vallomást írt alá, mely szerint „1937 elején arra a következtetésre jutottunk, hogy a Párt eltorzult, a szovjet kormány már nem a munkások, hanem egy szűk uralkodó csoport érdekében tevékenykedik, az ország érdeke azt követeli, hogy megdöntsük a fennálló kormányt”. Figyelemre méltó, hogy Landaut nem végezték ki, hanem börtönben maradt, hat hónap múlva pedig másodszor is rámosolygott a szerencse. 1939-ben Pjotr Kapica, a nemzetközi hírű fizikus levelet írt Vjacseszlav Molotov szovjet miniszterelnöknek, mondván, érdekes felfedezést tett laboratóriumában, amelyet Landaun kívül feltehetőleg egyetlen fizikus sem tudna megmagyarázni. Landaut hamarosan szabadon engedték.

Ha a szovjet állambiztonsági apparátus akkor másként dönt, ma az egész fizika meglehetősen másképp nézne ki. Landau néhány hónapon belül magyarázatot talált Kapica felfedezésére^[133], a rákövetkező harminc évben pedig az asztrofizikától és kozmológiától kezdve a mágneses anyagok vizsgálatáig a fizika jóformán minden területén rajta hagyta a kézjegyét. Landau ezen kívül felfedezte a

fázisátmenetek forradalmian új elméletét, amely azzal foglalkozik, hogy a legkülönbébb anyagok hogyan változtatják a halmazállapotukat. Legyen az a gin-tonikban megolvadó szilárd jég vagy a színpadon füstköddé változó szárazjég. Landau elmélete lényegében a hálózatok elmélete.

Magyarázatot keresve az efféle fázisátmenetekre, elvonatkoztatott maguktól az anyagoktól, és az atomi vagy molekuláris szerveződés absztrakt elemeit hozta előtérbe. Landau látnoki gondolatainak következtében a modern fizika jórészt már egyáltalán nem anyagról, hanem egymással kölcsönhatásban álló dolgok – nem csupán atomok, molekulák, hanem akár baktériumok és emberek – hálózatának formatörvényeiről szól. A *kicsi világ* gondolata csupán része ennek a tágabb hálózatelméletnek, amely egy elsőként Landau által felvetett mély igazságon alapul: egymással kölcsönhatásban álló dolgok sokaságának gyakran olyan tulajdonságaik vannak, amelyek egyáltalán nem függenek meghatározó módon maguknak a dolgoknak a természetétől.

Landau gondolatához részletesen visszatérünk a fejezet későbbi szakaszában. Előbb azonban hasznos volna felidézni néhány fontosabb dolgot, amelyet Landau gondolata segíthet megértenünk. Az elmúlt években megjelent egy könyv, amely, úgy tűnik, megragadta a közönség képzelőerejét: Malcolm Gladwell *The Tipping Point (A határpont)* című könyve azt a gondolatot fejti ki, hogy az eszmék, hírek, bűnözési hullám, és még számos egyéb hatás elterjedése a társadalomban nagyon hasonló mondjuk egy víruséhoz. Végső soron a könyv arról szól, hogy kölcsönhatásban álló dolgok – jelen esetben emberek – hálózatában hogyan terjednek különböző hatások. Nehéz elképzelni, hogy egy elméleti fizikán alapuló gondolkodásmód forradalmat indít el a reklám és marketing területén. Amint azonban látni fogjuk, a *Határpont* jól illeszkedik Landau elméletének modern kiterjesztéseihez.

Hogyan hódítanak az eszmék

A *Határpont* központi gondolata, hogy apró és látszólag jelentéktelen változások sokszor saját arányaikkal összemérhetetlen következményekkel járnak. Ez a magyarázata annak, hogy időnként

szinte a semmiből törnek elő olyan elsőprő erejű változások, amelyek egész iparágakat, közösségeket, nemzeteket átformálnak. A gondolat magva, ahogy Gladwell fogalmazott, hogy „olyan drasztikus változások, mint amikor egy ismeretlen könyv bestsellerré válik, a dohányzás elharapózik a tizenévesek körében, egy mendemonda elterjed vagy mindennapi életünk számos egyéb misztikus jelensége a legjobban úgy fogható fel, mint valami járvány. Eszmék, áruk, üzenetek és viselkedési minták egyaránt úgy terjednek, mint a vírus”.^[134] Ha ez a felismerés helytálló, számos hirtelen, de messze ható társadalmi változást segíthet megérteni. Tekintsünk néhány példát!

1994 elején a Hush Puppies hagyományos amerikai velúrcipő márkából évente 30 000 párat adtak el. Körülbelül annyira volt divatos, mint a hajsütővas, az amerikai közízlésből mindenestre a szó szoros értelmében kikopott. Legalábbis 1995-ig mindenki ezt gondolta, amikor azonban az értékesítési mutatók egyszer csak az égbe szöktek. Ebben az évben a cég 430 000 pár cipőt adott el, a következő évben pedig még többet. A cég vezetői ugyanúgy meg voltak lepve, mint bárki más, hiszen semmit nem tettek, ami indokolta volna a hirtelen fellendülést.

Nagyjából ugyanez idő tájt hasonlóan megmagyarázhatatlan változás játszódott le New York Cityben. 1992-ben a várost még 2154 gyilkosság és 626 182 súlyos bűncselekmény sújtotta, sötétedés után a lakosság jóformán nem mert kilépni az utcára. Egyes különösen elvadult területekre még a rendőrségnek sem volt ajánlatos belépnie. Azonban a helyzet ezúttal is felfoghatatlan okokból hirtelen megváltozott. 1994-re a gyilkosságok száma 64 százalékkal esett vissza, a súlyos bűncselekményeké pedig megfeleződött. A rendőrség persze azt állította, hogy mindez a több rendőrnek és a megváltozott stratégiának köszönhető. Ám a városok vezetése minden évben új kezdeményezéseket hirdet meg, fogadkozik, hogy lesújt a bűnözésre, ám még soha nem sikerült ilyen megdöbbentő változást elérniük. Mi lehetett más ebben az esetben? Gladwell éppen az ilyesfajta átalakulásokra keresett magyarázatot. Gondoljunk csak a Seattle-ből kiinduló és az 1980-as évek végén egész Amerikát meghódító grunge zenére, az 1990-es évek elején az egész Balkánon halálos járványként végigsöprő etnikai

tisztogatásokra, vagy arra a felbuzdulásra, amelynek hullámain Ross Perot legalábbis egy ideig komolyan szóba jöhetett mint az 1992-es amerikai elnökválasztás harmadik jelöltje.

Nem titok, hogy eszmék és viselkedésminták fertőzőek lehetnek. Ez a gondolat éppenséggel hosszú időre nyúlik vissza. Amint Bernard Baruch bankár valamikor megjegyezte, „minden gazdasági mozgalom természeténél fogva végső soron a tömeglélektanban leli magyarázatát. A tömegek gondolkodásának kellő ismerete nélkül... gazdasági elméleteink nem sokra mennek... Mindig arra gondoltam, hogy az emberiséget időről-időre sújtó örület az emberi természet valamely mélyen gyökerező vonását tükrözi... Ez egy teljességgel kifürkészhetetlen erő..., amelyet azonban mégis ismernünk kell, ha helyesen kívánjuk megítélni a bekövetkező eseményeket.”^[135] Az emberi természet eme „mélyen gyökerező vonása” nem sokkal több, mint befolyásolhatóság és utánzási hajlam. Az 1630-as években tulipánmánia söpört végig Hollandián, a kereslet növekedésével, a legközönségesebb fajták ára is több mint hússzorosára szökött fel, majd pedig hirtelen lezuhant. Egy bizonyos időpontban egyetlen tulipánhagyma ára elérte 12 hektárnyi szántóföld értékét.^[136] A pénz és a befektetések vonatkozásában a történelem nem más, mint a ragadós emberi viselkedéstől hajtott spekulációbuborékok hosszú sorozata. Vegyük például a „dotcom” internetes részvények mindössze néhány évvel ezelőtti drasztikus emelkedését és zuhanását! Mindezen divathisztéria-hatásokat a hiedelmek hullámszerű terjedése okozza.

Huszonöt évvel ezelőtt Richard Dawkins fejlődésbiológus azt a feltevést fejtette ki, hogy az eszmék terjedésének logikájában lehet egy genetikusan mozzanat. Az eszmék – vagy ahogy ő nevezte: „mémek” – ugyanúgy viselkednek, mint ahogy gének adódnak át egyik generációról a másikra: „A mém lehet egy dallam, egy gondolat, egy jelszó, ruhadivat, edények készítésének vagy boltívek építésének módja. Éppúgy, ahogy a gének azáltal terjednek el a génkészletben, hogy spermiumok vagy peték révén testből testbe öltöznek, a mémek úgy terjednek a memkészletben, hogy agyból agyba költöznek egy olyan folyamat révén, melyet tág értelemben utánzásnak nevezhetünk. Ha egy tudós egy jó gondolatot hall vagy olvas, akkor továbbadja kollégáinak és tanítványainak. Megemlíti

cikkeiben és előadásaiban. Ha egy gondolatnak sikere van, azt mondjuk, hogy agyról agyra terjedve elszaporodik.”^[137] Természetesen nem szükségképpen a jó gondolatok terjednek el – hanem a *fertőzőek*. Gondoljunk csak a Cabbage path és beanie babák (káposztafolt és babbabák) példájára! Vajon előfordulhatna ez a jelenség cselekvéseikről egymástól függetlenül döntő racionális egyének társadalmában? Vajon a Gucci farmernadrágot olyan alapon kapták fel hívei, hogy önálló, alapos meggondolás után vonzóknak találták? Szó sincs róla! Annak, hogy a reklám ilyen hatalmas üzletág, egyedüli valóságalapja, hogy gondolkodásunk és akaratunk befolyásolható.

A vágyak és gondolatok emberről emberre való járványszerű terjedése szolgál az „engedélymarketing” néven ismert új reklámelmélet alapjául is. Félre a televízió- és rádió-reklámokkal, poszterekkel és hasonlókcal, amelyeknek a fogyasztót néhány pillanatra mindig rabul kell ejteniük, hogy átadhassák közlendőjüket! Az új irányzat szerint fertőző vágyakat és gondolatokat kell teremteni, amelyek maguktól terjednek emberről emberre. Az egyik e témával foglalkozó új könyv címlapján arra szólítja fel az üzleti vállalkozásokat, hogy a marketing „Ne célozza meg az embereket! Gerjessen elképzeléseiből járványokat, a marketing már legyen az emberek dolga!” A hirdetőik egyre inkább kiaknázzák a gondolatoknak és vágyaknak az egyik ember fejéből a másikéra való terjedését, mert ez a divat lényege – hogy felbukkan valami, ami vágyat ébreszt, vagy mert eleve szuper, vagy csak a járvány lendülete miatt.

Másfelől akkor járunk el tisztességesen, ha meggondoljuk, vajon ez az összevetés több-e egyszerű analógiánál. Vajon a divat és a gondolat valóban úgy terjed, mint a vírus és valóban képes járványként kitörni? Ahhoz, hogy ezt megítélhessük, először is a járványok működését kell megértenünk.

A terjedés titkai

Az 1990-es évek közepe táján súlyos szifiliszjárvány pusztított Baltimore város belső területein. 1993 előtt az egészségügyi hatóságok évente nagyjából száz esettel találkoztak. A rákövetkező

két évben ez a szám majdnem négyszázra duzzadt, a betegséggel világra jövő újszülötteké pedig ötszörösére nőtt.^[138] Ha megnézzük a baltimore-i szifilisz esetek grafikonját, azt látjuk, hogy az 1995-ig vízszintesen haladó vonal egyszer csak meredeken felível. Vajon mi történhetett?

Az egyik tényező a kokain volt. Az 1990-es évek elején szerte az Egyesült Államokban a városok a kokainfogyasztás meredek emelkedésével küzdöttek, és ez alól Baltimore sem volt kivétel. A kokain ugyan nem okoz szifilisz, használata azonban kötődik egy olyan kockázatos szexuális viselkedéshez, amely esetleg képes elterjeszteni a betegséget a lakosságban.^[139] Persze más okok is közrejátszottak. 1993-94-ben a város harmadával csökkentette Baltimore klinikáin a nemi betegségekkel foglalkozó orvosok számát. Ez pedig azt jelentette, hogy kevesebb beteget kezeltek antibiotikummal. A betegek tovább maradtak fertőzőek, így nagyobb számban adták tovább a betegséget másoknak.

A városkép javítását célzó rosszul időzített lépés szintén szerepet játszott. Az 1990-es évek elején a hatóságok lebontottak néhány lakótelepet, és több száz sorházat bedeszáltak a belváros területén. Ez a környék a kábítószer-fogyasztás és a prostitúció központja volt, és amint John Potterat járványügyi szakember jelezte, felszámolása rettenetes következményekkel járt: „A szifilisz éveken át Baltimore meghatározott területére, erősen behatárolt társadalmi-szexuális hálózatokra korlátozódott. A lakótelep felszámolása következtében ezek az emberek Baltimore egyéb területeire költöztek, és magukkal hurcolták a szifilisz, akárcsak egyéb problémáikat.”^[140]

Az orvosok ilyen okokat látták a járvány mögött. Egyik sem tűnik annyira súlyosnak, hogy magyarázatot adhatna robbanásszerű elterjedésére. Fokozati növekedés rendszerint nem jár nagy következményekkel. Pedig pontosan ez a lényege a *határpont* egész gondolatmenetének. Az atlantai Centers for Disease Control (Kórellenőrzési Központ) orvosai és járványügyi szakértői, akik ezeket a gondolatokat felvetették, apróra ismerik a fertőzések természetét. Jól tudják, hogy a járványok kialakulásában egészen kis hatások is félelmetes következményekkel járhatnak.

Mi dönti el, hogy egy betegségből szörnyű járvány kerekedik-e, vagy

pedig csendben elhal? Egyes betegségek könnyebben terjednek át emberről emberre. Egyetlen köhintés, tüsszentés képes influenzavírussal elárasztani az orvosi várót, veszélyeztetve mindenkit, aki ott van. Másfelől a szifiliszért felelős *Treponema pallidum* baktérium olyan kényes, hogy csak szexuális kapcsolat révén tud emberről emberre terjedni. A járvány sorsa a népességen is múlik: az influenza könnyebben végigsöpör a zsúfolt nagyvárosban, mint a ritkán lakott vidéken, egyszerűen azért, mert ott több alkalom van továbbadására.

Valójában az emberek közelsége az egyik oka, hogy télen megfázunk. A nagymama mindig azt mondta, attól fázik meg az ember, hogy hideg van. Azért fázunk meg (általában) télen, mert ilyenkor mindenki otthon ül, szűk szobákban tüsszög, tehát könnyű prédája a vírusnak.

Mindenféle komplikált részletkérdés is belejátszik egy járvány terjedésébe. Milyen gyakran futunk össze? Milyen könnyen tud a kórokozó alkalomadtán emberről emberre ugrani? A beteg mennyi ideig marad fertőző? Miután felépült, immúnis lesz-e vagy újra megfertőződhet? Ha meg akarjuk becsülni az influenza, a szifilisz vagy az AIDS elterjedését, szükségképpen a biológia, az immunreakció bonyolult részleteit is tekintetbe kell vennünk, nem beszélve olyan közegészségügyi intézkedésekről, mint például a védettség tudatos kialakítása. A helyzet azonban nem feltétlenül annyira bonyolult, mint amilyennek tűnik.

A zavaros részletek ellenére az epidemiológusok jól tudják, hogy éles választóvonal húzódik járvány és nem járvány között, amelyet minden betegségnek át kell lépnie, hogy újsághírré válhasson. A kulcskérdés az, hogy ha valaki megfertőződik, átlagosan hány másik embernek adja át közvetlenül a fertőzést.

Nem nagy dolog – de micsoda különbség!

A dolog matematikája igen egyszerű. Ha a másodlagosan megfertőzöttek száma nagyobb egynél, a megfertőzöttek száma egyre nő és a járvány beindul. Ha pedig kisebb egynél, a járvány elenyészik. Van egy harmadik lehetőség, legalábbis elvben, ám ez igen kevésbé valószínű. Ha a megfertőzött ember átlagosan

pontosan egy másikat fertőz tovább, a betegség fennmarad, de csak éppen hogy. A folytatólagos létezés határán billeg. Ezt túllépve a betegség kirobban, nagyon sok embert megfertőz – ezen belül pedig csökken és idővel elenyészik. Az egyensúlyi helyzet a határpont.

Ebből a szempontból a betegségek a nukleáris láncreakcióra emlékeztetnek. Egy kis halom urániumban nincs meg a kritikus tömeg. Egy atom hasadásával neutronok szabadulnak ki, amelyek képesek további atomhasadásokat előidézni. Ha azonban kicsi a halom, a neutronok túlságosan gyorsan kiszabadulnak, és így átlagban egynél kevesebb atommag hasadását váltják ki. Következésképpen egy sietős láncreakció sohasem indul be. Amikor azonban megvan a kritikus tömeg, jobb lesz vigyáznunk. A felhasadt atomból kiszabaduló neutronok egynél több atomot hasítanak, a reakció önmagát táplálja.

Túl egyszerű, hogy elhiggyük – ám a legalaposabb epidemiológiai modellek is pontosan ezt a sémát mutatják: éles átmenetet két végletesen különböző viselkedésmód között. A járványügyi szakértők finomabb modelljeikbe mindenféle egyéb bonyodalmat is belevisznek. Nem minden ember egyformán aktív társadalmi és szexuális értelemben, így egyesek másoknál nagyobb eséllyel adják tovább a betegséget. Mindezen részleteket beépíthetjük a modellbe. Vagy sok esetben a megfertőzött ember maga nem fertőz, néha viszont másoknál erősebben fertőző lehet. Például aki HIV-vírussal fertőződött, az első hat hónapban sokkal nagyobb eséllyel adja tovább a fertőzést. Az epidemiológusok az utóbbi néhány évtizedben alaposan tanulmányozták ilyen és számos más részlettel kibővített modelleket, ám arra jutottak, hogy mindezen bonyodalmak egyike sem szünteti meg a határpontokat. *Mindig* van határpont.

Ez az oka annak, hogy a Centers for Disease Control tudósai a szifiliszjárvány magyarázatára Baltimore társadalmi és egészségügyi életének finom változásaira mutattak rá. Elegendő néhány változtatás, hogy a betegséget átbillentse a határpontra. Lehet, hogy a szifilisz már az 1990-es évek elején közel volt a határhoz. Lehet, hogy egy megbetegedés átlagban egynél éppen csak kevesebb további megfertőződést váltott ki, így azonban a betegség féken tartotta magát. Ekkor azonban a kokain, néhány orvos távozása és egy meghatározott közösségnek a város tágabb

területeire való költözése átbillentette a betegséget a határon – ezek a csekély tényezők jelentős változást idéztek elő.

Ez a gondolatmenet az alapja az atomreaktorok biztonságának és jórészt a közegészségügyi stratégiáknak is, amelyek arra irányulnak, hogy megakadályozzák a nukleáris reakciók és a betegségek átbillenését a határpontra, mivel így ellenőrizhetetlenné válnak. Persze, hogy neuronok és a népelesen végigsöprő értelmetlen járványok esetében jól működik ez a szemlélet. Ámde mi köze lehet igazából a Hush Puppies eladási adatainak mesés fellendüléséhez vagy a New York-i bűnügyi helyzet csodálatos javulásához? És tényleg alkalmazható-e ugyanez a kép sokkal ködösebb dolgok, például eszmék, divatok, vélemények mozgására? Hol van ebben a tudomány? Végző soron az eszmék, árucikkek és üzenetek nem vírusok. Talán egészen másképpen terjednek.

Amint azonban meg fogjuk látni, Gladwellnek nagy valószínűséggel igaza van. Az „eszmé-vírusok” fogalmával kapcsolatban az igazi kérdés az, hogy mennyit számítanak a részletek, és a hálózatok kialakulásban levő elmélete elárulja, hogyan tehetjük ezt meg. Az eszmék terjedési szabályait nehéz megragadni. Matematikai bizonyosságokat meghatározni erről a folyamatról majdhogynem lehetetlennek tűnik, pedig nem az. Valójában a hálózatok elmélete és különösen Lev Landau orosz fizikus említett drámai felismerései szilárdan megalapozzák a *határpontok* provokatív, bár kissé homályos gondolatait.

Univerzális elmélet

Lev Landaut éppen az a fajta fizika izgatta, amelyet a fizikusokon kívül legtöbbször szörnyen érdektelennek tartanánk. Mindannyian tudjuk, hogy amikor a víz jéggé fagy, magukkal a vízmolekulákkal valójában nem történik semmi – a változás inkább a molekulák viselkedésében érhető tetten. Jég formában egy helyben ülnek, mint a forgalmi dugóba rekedt autók, míg folyadékként szabadon mozognak. Hasonlóképpen, amikor a gázolaj elpárolog, vagy a forró rézhuzal megolvad, vagy több ezer másfajta anyag halmazállapotot vált, az atomok és molekulák változatlanok maradnak. Minden esetben az atomok, molekulák általános együttes

elrendeződése változik meg.

Miért van az, hogy a 770 °C hőmérsékletre hevített mágneses vasdarab hirtelen elveszíti mágnesességét? A fizikusok már több, mint száz éve tudják, hogy ilyesfajta problémák megválaszolásához olyan kérdésekkel kell foglalkozni, mint hogy hogyan vált fel egyfajta anyagi elrendeződés egy másikat és mi indítja el ezt a változást.

A hétköznapi életben általában a részletek is számítanak. Ha csekket töltünk ki, jobb, ha van fedezet a számlán, és senki nem futja át könnyelműen a biztosítási feltételek apró betűs részleteit. Általában a tudományban is fontosak a részletek. Például egyetlen emberi gén megváltozása cystikus fibrosist okozhat. Ha egy hirtelen fázisátmenet titkait keressük, mindenféle unalmas részlettel meg kell birkóznunk: a benne szereplő molekulák nagyságával és alakjával éppúgy, mint az elektronok kvantummechanikájával, és így tovább. Ennek ellenére Landau vakmerően azt állította, hogy mindezen részletek nagy része egyszerűen nem számít. Az volt a célja, hogy nagyvonalúan figyelmen kívül hagyja a legtöbb részletet, és egyetlen egyszerű elméletet ír le, amely minden ilyen elképzelhető problémát egy csapásra megold.

Nem meglepő, hogy Landau elmélete némileg absztrakt képet öltött. Felismerte bizonyos rendkívül általános erők hatását. A fizikus számára például a hő egyszerűen az atomok heves, rendezetlen mozgását jelenti. Vagyis a hőmérséklet emelkedése a renddel szemben hat – széttöri, lerombolja azt. Ellenben az alacsonyabb hőmérséklet következtében az atomok könnyebben együttműködnek, ez tehát a rendet erősíti. Az ilyesfajta általános rendező és bomlasztó tendenciákat vizsgálva Landau egy sor egyenletet írt fel a rend és a rendetlenség küzdelmének leírására, amelyektől azt remélte, hogy bármely anyagban bármely fázisátmenet titkának lényegét képes megragadni.^[141]

Ez a szemlélet a lehető legjobb fajta elméleti fizikát képviseli – átfogó, ambiciózus kísérlet arra, hogy nagy adag zűrzavart oszlasson el néhány lépésben. Amit kis híján el is ért. Mint kiderült, Landau éppen csak egy parányival merészkedett a kelleténél messzebbre a részletek elhanyagolásában. A huszadik század néhány legjelentősebb fizikusának három évtizedbe került tisztázni, pontosan miben tévedett Landau, mely részleteket nem lehet

mégsem elhanyagolni. Hogy mi a tanulság? Nemcsak egyetlen, egységes fázisátmenet létezik, hanem jó néhány különböző. Tehát Landaunak alapjában véve igaza volt. Annak ellenére, hogy a periódusos rendszer száznál is több elemet tartalmaz, és minden elem atomjai csakis rá jellemző tulajdonságokkal rendelkeznek (éppen ettől lesz a világ olyan változatos), ha azt a kérdést tesszük fel, hányféleképpen válhat alakot atomok vagy molekulák egy csoportja, csak néhány lehetséges recept marad. Vagyis létezik univerzális elmélet az elrendeződések átalakulására.^[142]

Mi köze van mindennek a határpontokhoz? Landau elméletének modern változatát a kritikus jelenségek elméletének nevezik. A *kritikus* szó itt az anyag különleges állapotát jelöli, amelybe olyankor kerül, amikor pontosan kétfajta elrendeződés között egyensúlyoz. Ha például a vizet pontosan ilyen körülmények között tartjuk, se nem gőz, se nem folyadék lesz. Ezt nevezzük *kritikus állapotnak*, mivel borotvaélen táncol két végletesen eltérő állapot között. Durva közelítésben hasonlít ez a határpontokhoz, ám az analógia valójában sokkal mélyebb.

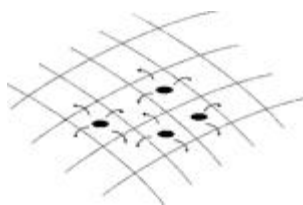
Az utóbbi húsz év elméleti tudósai Landau elméletére építettek, és olyan új alakba csúrték-csavarták, amely már nemcsak az elrendeződés – egyik időtlen mintából a másikba való – átalakulásaira alkalmazható, hanem a változások lefolyására is. Vagyis az új elmélet olyan helyzetekre is alkalmazható, ahol a statikus, változatlan semmi lüktető, változó dinamizmussá alakul, és a határpont éppen erről szól. Ezek a gondolatok a fizika egyik nehéz ágának legmagasabb fejezetéhez tartoznak, matematikai fejtegetések nélkül nem könnyű leírni őket. Mégér azonban egy kis kitartást, mert e gondolatokból valódi következtetések adódnak a kultúrán keresztül terjedő hatások szociológiájára nézve.

Ez esetben, mint Landau a fázisátmenetekkel kapcsolatban, a fizikusok arra jöttek rá, hogy a részletek sokszor nem számítanak.

Kapcsolatfelvétel

A fizika ezen új ágának középpontjában egy *kapcsolódási folyamat* elnevezésű játék áll, amely a következőképpen működik: Képzeljünk el egy emberekből álló négyzethálót, ahol egyesek

fertőzöttek mások nem ([19. ábra](#)). Tekintsük ezt képzeletbeli világnak egy adott időpontban, ahol a dolgok az alábbiak szerint alakulnak: Válasszunk ki véletlenszerűen egy embert! Ha fertőzött, akkor meggyógyul és megszabadul a fertőzéstől. Ha viszont még nem kapta el a fertőzést, esélye van, hogy most elkapja, attól függően, hogy hány szomszédja fertőzött. Például a meg-fertőződés esélyét választhatjuk úgy, hogy a betegek szomszédok számának tíz százaléka legyen. Ha tehát valakinek három beteg szomszédja van, az ő megfertőződésének esélye 30 százalék, és így tovább. Akinek nincs beteg szomszédja, maga sem fertőződik meg.



19. ábra

Kapcsolódási folyamat: a betegség terjedésének egyszerű modellje

A játék lejátszása során véletlenszerűen választunk ki embereket, akiknek a helyzettől függően megváltoztatjuk az állapotát. Az alapgondolat az, hogy van egy tendencia a betegség elterjedésére, ugyanakkor eltűnésére is. Ezek keverékéből érdekes átmenet jön ki. Ha számítógépen futtatjuk le a játékot, az derül ki, hogy ha a megfertőződés esélye alacsony – például a fertőzött szomszédok számának 10 százaléka –, akkor a kezdeti betegség fokozatosan eltűnik, az egész háló tökéletesen egészséges lesz. Ez a betegség végleges befejeződését jelenti. Másfelől, ha a megfertőződés esélye kellően magas, a betegség kitart, elterjed, és soha nem tűnik el. És fennmaradásának van egy pontos küszöbértéke.

Ez a helyzet bizonyos mértékig nyilvánvalóan emlékeztet a határpont esetére. Bizonyos esetekben a hatás elenyészik, máskor nem, van tehát egy passzív és egy folyamatosan aktív régió. Az imént definiált játéknak speciális játékszabályai vannak. Hogy jobban emlékeztessen a betegségekre, könnyen megváltoztathatjuk a szabályokat, akár ezernyi némileg eltérő, pontosabb játékkal

előállhatunk. Az eszmék, technikai felfedezések vagy a bűnözői magatartás modellezéséhez számtalan más módon is megváltoztathatjuk a szabályokat, megpróbálhatjuk megragadni a helyzetek lényegét. A fizikusok számos efféle játékkal kísérleteztek, és itt érünk el a poénhoz.

Ismerve bonyolult világunk gazdagságát azt várhatnánk, e szabályok megváltoztatása mind hatással van a játék lefolyására, a passzivitás ezerféleképpen mehet át aktivitásba. Valójában azonban úgy látszik, ennek egyetlen egy módja létezik. Minden arra utal, bármit is találnak ki a fizikusok, akárhogy is csúrik-csavarják a szabályokat, mindig van egy éles határpont. Mi több, más tényezők is azonosak maradnak: hogy milyen messzire távolodik el a fertőzés a határponttól, és milyen gyorsan enyészik el közvetlenül a határpont alatt. Mintha a hatások terjedésében a részletek végül is nem befolyásolnák az egész lefolyását.^[143] Következésképpen, noha nagyon keveset, talán a semminél alig valamivel többet tudunk az eszmék szociológiájáról és pszichológiájáról, a matematikai fizika mégis garantálja egy határpont létezését. A kérdés szempontjából minden ismeretlen részlet irreleváns.

Nem gyakori dolog, hogy a matematika ilyen erővel és bizonyossággal legyen alkalmazható társadalmi jelenségekre. A határpont alapgondolata kétségbevonhatatlan. Senki nem tudja, milyen szabályok szerint terjednek az eszmék egyik emberről a másokra. Senki nem tudja, mitől fogan meg az egyik és mitől nem a másik, mi az igazság abban a tekintetben, hogy kinek van a legnagyobb szerepe az eszmék terjesztésében, és mitől van az, hogy más eszmék, viselkedések, termékek eleve hamvukba holtak. E kérdésekről végeérhetetlenül lehet vitatkozni. Mindezen kérdéseknek azonban semmiféle hatásuk nincs a határpont *létezésére* vonatkozóan. Bárhogy is keletkeztek ezek az attitűdök és hiedelmek, bárhogy is jutnak el egyik embertől a másikig, az a tény, hogy *képesek* eljutni, kiegészítve a fizika mindezen megdöbbentő eredményeivel, már önmagában elegendő.

Mindeddig azonban egyetlen szót sem szóltunk arról, mi köze mindennek a *kicsi világok* gondolatához. Gladwell utalt rá, hogy egy társadalomban az összekötők, a kivételesen erősen kapcsolódó kevesek aránytalanul nagy szerepet játszanak a hatások

elterjesztésében. Ez kétségkívül így is van. Az összekötők valóságos szerepe a hatások terjedésében, valamint a határpontok természete azonban távolról sem világos. Az elmúlt évben a kutatóknak sikerült összeházasítaniuk a *kicsi világ* elméletet Landau univerzális elméletének modern leszármazottaival. És ami ebből kisült, gyönyörű új fordulatot ad a történetnek, noha vannak riasztó aspektusai is.

11. JÁRVÁNY KITÖRÉSE EGY KICSI VILÁGBAN

Az AIDS figyelmeztetni próbál valamire. Éspedig arra, hogy a világ bármelyik részén fellépő egészségügyi probléma rövid idő alatt sokakat, ha nem éppen mindenkit fenyegethet. Szükséges egy egész világot átfogó „korai jelzőrendszer”, amely gyorsan jelezheti, ha új betegségek törnek ki vagy régiiek szokatlan módon elterjednek. Ilyen valóban globális jelzőrendszer híján lényegében kiszolgáltatottak vagyunk, nem bízhatunk másban, csak a jó szerencsében.

– Jonathan Mann

Harvard School of Public Health^[144]

Az I. Világháborút megelőző két évszázad alatt Angliában a várható élettartam – főként a jobb táplálkozás és a higiénia, a tisztább levegő és ivóvíz következtében – tizenhét évről ötvenkettőre emelkedett. Kevesebb gyermek halt meg kanyaróban vagy tuberkulózisban. A huszadik században az antibiotikumok és a védőoltások felfedezése a fertőző betegségek okozta halálozást az Egyesült Államokban ezredére csökkentette: például a paralízises esetek száma az 1952-es 58 ezerről 1965-ig 72-re csökkent. A határtalan orvosi optimizmus kora volt ez. 1970-re úgy tűnt, az összes fertőző betegség legyőzése küszöbön áll.

Az Egyesült Államok tisztí főorvosa, William H. Stewart bizakodó hangnemben jelentette: „ideje becsuknunk a fertőző betegségek kezükönyveit”.^[145] Mindenesetre nem egészen egy évtizeden belül az egészségügyiek az egész világon kiirtották a halálos himlővírust, amelynek utolsó néhány példányát az atlantai U.S. Centers for Disease Control laboratóriumaiba zárták el.

Ma a fejlett országokban a fertőző betegségek nem számítanak a jelentős halálokok közé, mint valaha, a közegészségügyi szakma joggal elégedett. Mégis indokolt az óvatosság és körültekintés, mert a huszonegyedik század küszöbén a természet kezd ellentámadásba lendülni.

A fejlődő világban még ma is minden negyedik ember halálát fertőző betegségek, így tuberkulózis, tüdőgyulladás, malária és kanyaró okozzák, amelyek évente több, mint tízmillió áldozatot szednek.^[146] Ám az élő természet az Egyesült Államokban és Európában is folyamatosan új fegyverekkel áll elő olyan új, halálos vírusok és baktériumok képében, amelyek védettek a legerősebb gyógyszerekkel szemben is. Az *Escherichia coli* O157:H7, a régebbi és kevésbé ártalmas *E. coli* O155 genetikailag feljavított változata például a biológiai világ egészen friss találmánya. Az utóbbi néhány évtizedben az *E. coli* ellenállóvá vált az antibiotikumokkal szemben. Közben mutáns leszármazottja, a félig sült hamburgerben gyakorta megtelepedő *E. Coli* O157:H7 egy sokkal veszélyesebb toxin génjét fejlesztette ki, amely évről évre több száz áldozatát kényszeríti kórházi kezelésre.

Ám ennél is sokkal komolyabb fenyegetést jelent az AIDS, a szerzett immunhiányos szindróma. Amióta húsz évvel ezelőtt feltűnt a közegészségügyi szervezetek radarképernyőin, súlyos járványból kifejezett katasztrófává vált. 1991-ben a World Health Organization úgy becsülte, 2000-re világszerte közel tizennyolc millióan fogják elkapni a betegséget. A tényleges szám harminchat millió lett, akiknek több, mint fele mára már meg is halt. Afrika egyes Szaharától délre eső országaiban a lakosság 20 százalékánál nagyobb hányada fertőzött. Egy 2000. decemberi ENSZ és WHO jelentés szerint „fájdalommal kell nyugtáznunk, hogy az egyik kontinens érintettsége sokkal jelentősebb a többiénél. Afrikában él a HIV-fertőzött felnőttek 70, gyermekek 80 százaléka, az AIDS-járvány felbukkanása óta elhunyt 20 millió ember háromnegyedét itt temették el... a Szaharától délre eső területeken a vírus egész közösségeket fenyeget kipusztulással.”^[147] Nyolc afrikai országban a felnőttek legalább 15 százaléka fertőzött. Ugandában, Ruandában, Tanzániában és Kenyában a mai tizenöt évesek nagyjából egyharmada előbb-utóbb az AIDS áldozatává válik.

Az AIDS kialakulásáért felelős HIV, humán immunhiányos vírus ellen ma sincs védőoltás. Miután igen gyorsan képes újabb mutánsokat kialakítani, tehát mozgó célpontot jelent a kutatók számára, féltő, hogy soha nem is lesz. Mire „kifutja magát”, minden bizonnyal több emberéletet követel majd, mint a II. világháború. Az orvosi és biológia tudományok sok évszázados látványos fejlődése dacára ma az emberiség történetének nem éppen lelkesítő pillanatait éljük.

Korunk immár nem az optimizmus, hanem a globális betegségek kora. Jonathan Mann, a Harvard Egyetem járványtan és védekezőképesség professzora így írt: „A világ rövid idő alatt jóval kiszolgáltatottabb lett régi és új fertőző betegségek kitörésével, mi több, széles körben vagy akár az egész világon való elterjedésével szemben... Mindennek háttérében az emberek, áruk, eszmék egész világot behálózó áramlásának drasztikus felerősödése áll... Ha valaki szervezetében életveszélyes mikrobát hordoz, minden további nélkül felszállhat egy repülőgépre, és mire a betegség tünetei fellépnek, már rég egy másik kontinensen jár. Már maga a repülőgép és rakománya is képes rovarokat és egyéb fertőző szervezeteket eljuttatni egy új ökológiai környezetbe.”^[148]

Ez a kiszolgáltatottság nyilvánvalóan annak következménye, hogy „kicsi a világ” és globális légitársasági hálózat fogja össze. Amint azonban kiderült, világunk társadalmi szerkezete is közvetett módon sokféleképpen befolyásolja a betegségek terjedését. Csak akkor érthetjük meg, valóban mennyire nehéz megállítani az AIDS terjedését, ha megismerjük a társadalmi élet valóságos struktúráját. Ugyanakkor azonban, ha ezt mélyebben megértjük jól használható ötleteket kaphatunk, hogy merrefelé legjobb próbálkozni a megoldással.

Az ellenség eredete

Honnan ered a HIV vírus? És hogyan terjedt el az egész világon, mint valami szörnyűséges film? Bár egyelőre számos részlet vitatott, a tudósok rendelkeznek egy alapvető helyzetképpel. Ahogy az igazságügyi szakértők DNS-minta alapján képesek kapcsolatba hozni a gyanúsítottat a helyszínen talált véres inggel, a biológusok a DNS nyomán vissza tudják következtetni egy-egy vírus eredetét.

Valójában az AIDS nem is egy, hanem két vírus, a HIV-1 és a HIV-2. E vírusok nem csupán genetikai szerkezetükben, hanem az általuk okozott betegségben is eltérnek egymástól. A HIV-1 felelős a világszerte pusztító járvány eseteinek túlnyomó többségéért. A többnyire Nyugat-Afrikában elterjedt HIV-2 kevésbé fertőz, aki elkapja, tovább marad életben és enyhébb tüneteket mutat. 1990-ben a tudósok megfejtették mindkét vírus DNS-láncát, és kezdtek körülszaglászni az élővilágban lehetséges gyanúsítottak – hasonló DNS „ujjlenyomattal” rendelkező vírusok – után. Meglepő módon két kiváló jelöltre is bukkantak az afrikai dzsungelben élő majmok vérében.

A HIV-1 szinte tökéletesen egyezik egy SIVcpz nevű vírussal. Az SIV betűk a majmokat fertőző Simian immunodeficiency virus (immunhiányos betegség majmoknál) vírus rövidítése. Ezt a vírust jellegzetesen csimpánzok kapják meg, innen nevében a kisbetűs cpz. Közép-Afrikában a legtöbb csimpánz egész SIVcpz vírustenyészetet hordoz a szervezetében, az emberekben élő HIV-1-gyel ellentétben azonban a SIVcpz tökéletesen ártalmatlan a csimpánzokra nézve. Voltaképpen, ha nem volna AIDS betegség, alig érdemelne többet apró lábjegyzetnél a majomfiziológia kézikönyveiben. Ez a vírus tízezer évek óta fertőzi a csimpánzokat a legcsekélyebb megbetegítő hatás nélkül.

A HIV-2-nek is megvan a maga rokona, a SIVsm elnevezésű vírus, amely egy másik majomfajt, a kormos mangabét fertőzi. Ez a közepes nagyságú, sötétszürke majom veszélyeztetett faj, gyümölcsökön és magvakon él Nyugat-Afrika sűrű dzsungeleiben, és egészen harmincéves korig él. A vírus benne sem tesz kárt. A mangabé nyilvánvalóan évmilliók óta békésen együtt él a SIVsm vírussal, és természetes immunitást fejlesztett ki vele szemben. Láthatólag ugyanez a helyzet a csimpánz és a SIVcpz vonatkozásában is. Ez utóbbi esetben azonban a vírus katasztrofális veszélyt hordoz az emberiség számára.

Ha e két vírus bármelyike véletlenül átkerül egy másik majomfaj – például mandrill vagy disznófarkú makákó – szervezetébe, a fertőzés az AIDS-hez hasonló rettenetes tünetekkel vált ki. E fajknál nem alakult ki immunitás, teljességgel védtelenek az ismeretlen ellenséggel szemben. Ilyesfajta fajok közti fertőzések számtalanszor

előfordultak állatkertekben és laboratóriumokban, valószínűleg ilyesmi állhat az AIDS-járvány kialakulásának hátterében is. A tudósok szerint valamikor a múltban, egy távoli dzsungelben vagy faluban egy kormos mangabétől származó vírus valahogy megfertőzött egy embert. Talán egy zsákmányt ejtő vadász megvágta az ujját, vagy valaki nem egészen megfőtt majomhúst evett. Más alkalommal pedig a SIVcpz vírus ugorhatott át hasonlóképpen az emberre. Miután új gazdáik nem szoktak hozzá a vírushoz, természetesen gyors fejlődésbe kezdett. Elég ésszerű feltételezés, hogy az SIVcpz és SIVsm rövid néhány generáció alatt a HIV-1 és HIV-2 vírushoz igen hasonló, ha nem is teljesen megegyező vírussá alakult.

Ebben az eredettörténetben egy nagy rejtély minden kelleke megtalálható. Mert a DNS-nyomozás fényt derített ugyan a végzetes vírusátadásra, onnantól kezdve azonban a történet zavarossá válik, a vitákról nem is beszélve. Afrikai törzsek tízezer évek óta vadásznak kormos mangabera és csimpánzra, és fogyasztják őket, nincs sok remény tehát annak kiderítésére, hol, mikor, kiben talált először menedéket a SIV vírus. A „természetes átvétel” elmélete valóban természetes és kézenfekvő, noha részleteit örökre homály fedi. Ennek az elméletnek azonban van egy vetélytársa is.

Edward Hooper angol újságíró az AIDS-járvány történetéről írt *The River (A folyó)* című nagyszerű könyvében azt a hipotézist fejt ki, hogy a HIV-1 és HIV-2 vírus elődeit akaratlanul maga a modern orvostudomány hozta létre.^[149] Bizonyítékait, ha körülményesek és nem túl meggyőzőek is, egyszerűen félretolni sem könnyű. 1958-ban és 1959-ben Kongó, Ruanda és Burundi korábbi belga gyarmatokon több százezer embernek adtak paralízis elleni vakcinát. Az oltóanyaghoz a vírusokat véletlenségből éppen majomveseszövetekben tenyésztették ki. Vagyis, ha e célra valaha is alkalmaztak csimpánzot vagy kormos mangabét, legalábbis van rá esély, hogy a vakcinák SIVsm vagy SIVcpz vírusokkal fertőződtek. Hogy valóban ez volt-e a helyzet vagy sem, senki nem tudja megmondani. A vakcinák elkészítésében közreműködő tudósok váltig állítják, hogy minden esetben más majomfajok veséjét használták, így tehát kizárható bármiféle kapcsolat az AIDS-szel. Ám, hogy valójában mi történt, ötven év távlatából nemigen lehet

eldönteni.

Akárhogyan került is az első SIV vírus emberekbe, legkésőbb 1960-ban már mindenesetre nyilvánvalóan ott volt. 1959-ben Arno Matulsky amerikai orvos Belga Kongó Leopoldville nevű városába utazott, hogy a helyi lakosság genetikai vizsgálatához rutin vérmintákat vegyen. 700-nál több 5 milliliteres mintát vitt magával a Washingtoni Egyetem laboratóriumába, ahol évekig őrizték őket. 1980-ban amikor már javában tombolt az AIDS-járvány, André Namhias, az Emory University munkatársa megvizsgálta e vérmintákat, és az egyik pozitívnak bizonyult – ez volt tehát a legelső ismert AIDS eset.

Vagyis az AIDS húsz teljes éven át terjedt Afrikában, mielőtt a hatóságok felismerték volna, hogy egy újfajta halálos betegség okozója. Ez pedig csak 1981-ben történt meg, amikor öt homoszexuális férfi jelentkezett Los Angeles kórházaiban egy súlyos betegség megmagyarázhatatlan tüneteivel. Miért húzódott ilyen sokáig a járvány kitörése? Lehetséges, hogy a HIV vírus már jóval 1959 előtt létezett. Amióta bekerült az emberi népesség szervezetébe, mind a HIV-1, mind a HIV-2 vírusnak számtalan további alfaja jött létre. A vírusmutánsok keletkezésének becsült sebessége alapján a tudósok hozzávetőlegesen meg tudják határozni, hogy ezek az alfajok mikor kezdtek szétválni, így azt az időpontot is, amikor az emberi szervezetben megjelentek. E becslések persze nem olyan rettenetű pontosak, egyes kutatók az AIDS vírus felbukkanását az emberben az 1600-as évekre, mások az 1800-as évekre vagy éppen a huszadik század elejére teszik.

Arra a zavarbaejtő kérdésre kell tehát választ találnunk, miért csak 1980-ban tört ki az AIDS-járvány. Korábban miért nem bukkott át a határpontra? Mi volt abban a bonyolult társadalmi hálózatban, amelyben a vírus terjedt, ami ilyen sokáig visszafogta a járvány kitörését, egyszer aztán mégis utat engedett neki?

Világokat összekötő hidak

Bármi a határpont felé lökheti a betegséget, ami elősegíti a terjedését. Képes-e egy vírus a levegőben is megélni, és akár 8 km-re elszállni? Képes-e bekerülni egy kórházi vérkészletbe, egy

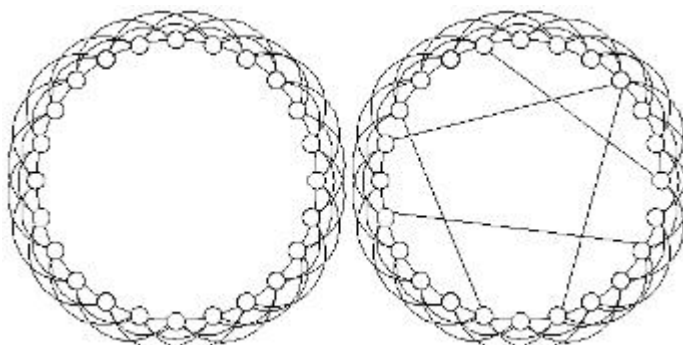
nagyváros víztartalékába? És ami talán a legfontosabb, előnyt tud-e kovácsolni a „hatlépéses összeköttetésből”? Számos esetben láttuk, hogy a *kicsi világ* architektúra előnyt jelent az agy, az internet, a világ ökológiai közösségei szempontjából. A járványok vonatkozásában azonban súlyos aggodalomra ad okot.

1968-ban egy Hong Kongból származó influenzavírus hat hónap alatt, kihasználva a nemzetközi légitölekedési utakat, világszerte ötvennél több országban elterjedt, és majdnem negyvenezer ember életét kioltotta. 2001 februárjában egy valószínűleg valahonnan Ázsiából jövő hajón Angliába érkező vírus egész Britanniában (kisebb mértékben Európában is) száj- és körömfájásjárványt indított el a szarvasmarha-, sertés- és birkaállományban. Még nem is észlelték a járvány kitörését, a vírus már áterjedt a kiinduló gazdaságból hét másik közeli farmra, ahonnan autóstoppal utazott tovább, amikor az egyik gazdaságból teherautón vittek a piacra egy birkát. Erről a piacról azután több száz kilométerrel távolabbi piacokra is szállítottak birkákat. Jóval a járvány felismerése előtt már országsszerte fertőzött állatokkal teli teherautók száguldoztak.^[150]

Nem meglepő, hogy a messzire nyúló kapcsolatok segítik a betegségek gyors terjedését. Los Angelesből New Yorkba vezető útján a vírus nyilvánvalóan jobban jár, ha nem emberről emberre, közösségről közösségre kell körülményes módon átugrálnia, hanem repülővel vagy autóval utazhat. Ám a *kicsi világok* magvát alkotó messzire nyúló kapcsolatok sokkal kevésbé rejtélyes hatásokat is előidézhetnek, Afrikában feltehetőleg ezeknek is részük van abban, hogy az AIDS-járvány átbillent a határpontra.

Ha képet szeretnénk kapni arról, hogy a társadalmi hálózat architektúrája hogyan befolyásolhatja a járvány terjedését, mint mindig, segít az egyszerűsítés. A társadalmi hálózat rendkívül elnagyolt – ezúttal rendezett hálózaton alapuló – modelljén nézzük meg, hogyan ugrik a betegség egyik emberről a másikra. Képzeljünk el egy kör alakban elrendezett embercsoportot ([20. ábra](#)), ahol mindenki csak néhány szomszédjához kapcsolódik! Kezdetben mindenki egészséges, amíg találmra valaki el nem kap egy fertőző betegséget. Ha a fertőzés a kapcsolatok mentén terjed emberről emberre, végül milyen messzire jut el? Egy ilyen egyszerű modell

bizonyára nem elég élethű, ám amint Damian Zanette argentin fizikus felfedezte, mégis fontos felismeréseket tesz lehetővé.



20. ábra

A hálózat fejlődése. A bal oldali hálózat teljesen rendezett, mindegyik elem a négy legközelebbi szomszédjához kapcsolódik. A jobb oldali hálózatot egy kis áthuzalozással kapjuk belőle, néhány új kapcsolatot vettünk fel találmra kiválasztott elempárok között

Ahhoz azonban, hogy eljuthassunk a legérdekesebbhez, a modellt valamivel bonyolultabbá kell tenni. Jelenlegi formájában a betegség nyilvánvalóan addig terjed, amíg az egész népességen végig nem söpör. Hiszen nincs, ami megállítaná. A valóságban azért a fertőző betegségeknek nem ennyire könnyű a dolguk. A legtöbb betegségnél a lakosság egy része természetől fogva védett. Az is igaz, hogy a megfertőzött ember nem feltétlenül lesz maga is fertőző. Például, ha valaki szifilisszel fertőződött, a betegség egy idő után olyan fázisba lép, hogy azt már nem lehet továbbadni. Az influenza esetében a legtöbb ember idővel teljesen meggyógyul, és arra az évre immúnissá válik az éppen terjedő influenzavírussal szemben. Még az AIDS-esek is lényegében fertőzésmentessé válnak, mert legtöbbször aktív módon megpróbálják elkerülni, hogy átadja másnak a fertőzést, ez egyfajta tanult nem fertőző viselkedés. Végül soron maga a halál is az immunizálás egyik útja.

Ahhoz, hogy hálózati modellünkbe bele tudjuk foglalni ezeket az új vonásokat, egy harmadik feltételt is meg kell engednünk. Túl azon, hogy az ember elkapja a betegséget vagy nem, előfordulhat, hogy immúnissá válik, nem tudja elkapni vagy továbbadni. E csekély bonyolítással a játék tehát a következőképpen működik. A

hálózatban mindenki úgy indul, hogy nincs ugyan megfertőzve, de hajlamos a fertőzésre. Aztán egyszer csak valaki megfertőződik és a betegség terjedni kezd. Ennek során azonban egyesek immúnissá is válnak. Vagy meghalnak, vagy meggyógyulnak, mindenesetre nem adják tovább a fertőzést. Ettől a helyzet rettenetesen bonyolulttá válik, mert miközben a betegség próbál áttérjedni a fertőzöttekről a még nem fertőzöttekre, útját állják azok, akik nem fertőzőek. A hálózat „kiesett köveivé” válnak, amelyekre a betegség terjedése során nem tud rálépni.

Ezzel a komplikációval már egyáltalán nem egyértelmű, hogy milyen messzire jut el a fertőzés. Zanette a betegség terjedésének számítógépes modelljét használta ennek kiderítésére. Ezen az úton könnyebb megvizsgálni, milyen hatást gyakorol a társas hálózat szerkezete. A játékot végigfuttathatjuk a [20. ábrához](#) hasonló teljesen rendezett modellen, de beiktathatunk néhány messzire nyúló kapcsolatot is a *kicsi világok* mintájára. Ki fog derülni, hogy minden e néhány utóbbi kapcsolaton áll vagy bukik.

A menekülés lehetőségei

Amikor az ember elkapja az influenzát, vagy továbbadja egyik-másik barátjának, vagy nem, ám hogy melyiknek, nagyjából szerencse kérdése. Kivel találkozik a patikában? Ki viszi el egy darabon a kocsiján munkából hazafelé? Egy betegség terjedésében eleve van egy véletlenszerű mozzanat, ez pedig azt jelenti, hogy egyazon fertőzés sem jár mindig ugyanolyan következményekkel. Szükségképpen tehát a véletlennek a mi hálózatmodellünkben is szerepet kell játszania. Mindenesetre a játék számítógéppel akár ezerszer is könnyen lefuttatható, eközben pedig kiderül, mi valószínű és mi nem, és milyen mintázatok figyelhetők meg.

A szabályos hálózatokban Zanette egyöntetűen arra az eredményre jutott, hogy a fertőzés sohasem terjed túl messzire. Ha egyetlen megfertőzött emberből indulunk ki, a betegség néhány további egyén megfertőzése után kifulladás. Amennyiben a hálózatban szereplő emberek száma nagyon magas (hogy a valóságos populációt utánozza), a megfertőzöttek aránya az ilyen jellegű hálózatban gyorsan zérushoz közelít. Az egyik futtatásnál talán 1

százalék lehet, a másikonál 1,5, a harmadikonál 0,5, de mindig közel van a nullához. Úgy tűnik tehát, hogy egy szabályos hálózatban a kiesett kövek – elhunyt vagy más módon fertőzésképtelenné vált betegek – hamar legyőzik a betegség terjedési hajlamát. Amint a betegség szabadulni igyekszik az első megfertőzöttől, a maga teremtette nem fertőző akadályokba ütközik. Szabályos hálózatban a betegség mindig elveszíti a csatát.

Másfelől néhány messzire nyúló kapcsolat képes felborítani az egyensúlyt. Ha néhány útlevegást beiktatunk a hálózatba, a betegség kimenetele egyre bizonytalanabbá válik. Egy-két levágás mellett még mindig hamar elhal, noha valamicskével már messzebbre jut – a lakosság 2 vagy 3 százalékát is megfertőzi. Mindenesetre közelebb kerül ahhoz, hogy kitörjön. Ez a fokozatos változás addig folytatódik, amíg a messzire nyúló kapcsolatok aránya el nem éri a kritikus küszöböt – nagyjából az összes kapcsolat egyötödét –, amikor is hirtelen drámai változás áll be. A betegség most vagy viszonylag hamar elhal, vagy pedig nagy méretű, sokszor akár a lakosság egyharmadát sújtó járvány tör ki. A járványt nem az egyik emberről másikra való áttérjedés valószínűsége, hanem magának a társas hálózatnak a szerkezetében beállt változás billenti át a határpontra.^[151]

Úgy tűnhet, ez a modell még mindig távol esik az AIDS-járvány keletkezéséről szóló fejtegetésektől. És mégis, a járványok kitörésének Zanette által felvázolt *kicsi világ* helyzetképe elméleti alapot szolgáltat a huszadik század második felében Afrikában bekövetkezett szociológiai változások magyarázataihoz. Az 1960-as években Nyugat- és Közép-Afrika társadalmi szerkezete jelentős mértékben megváltozott. A gépkocsik és utak számának emelkedésével az emberek nagyobb távolságokat utaztak, a mezőgazdasági területekről milliók özönlöttek a városokba. Ez a mozgás egymástól távol eső falvakból származó embereket hozott össze, akik máskülönben nemigen találkoztak volna, így módon lényegében messzire nyúló kapcsolatokat teremtett közöttük. E változást jórészt a gyarmati uralom felszámolása indította el a korábbi angol, francia és belga gyarmatokon. A párizsi Pasteur Intézetben dolgozó brit vírus- és AIDS-kutató Simon Wain-Hobson az Afrikában lezajló posztkolonizációs törésben látja az AIDS

elterjedésének kulcstényezőjét: „Az angolok és franciák könyörtelenül felügyelet alatt tartották az embereket. Nem engedték, hogy mozogjanak, utazzanak. Amikor pedig az angolok kivonultak, szabad lett a vásár. Pogromok voltak, korrupció, zsarolás, az emberek mozogni kezdtek, megjelentek az autók. Megkezdődött Afrika urbanizációja, és ez a háború utánra tehető.”^[152]

Az egészségügyi dolgozók az 1950-es években kezdtek fecskendőket használni vérminták begyűjtésére és a vakcinák széles körű tesztelésére. A szűk készletek következtében azonban a fecskendőket sajnos sok emberen ismételtelen felhasználták, ezáltal újabb lehetőséget biztosítottak, hogy a vírusok egyik emberről sok másra átugorhassanak.

1978-ban háború tört ki Tanzánia és Uganda között, a hadseregek mozgása pedig ismét csak felzavarta a rendszeren egymástól távol élő emberek kapcsolatait. 1978 őszén az ugandai katonák betörték Tanzániába, és elfoglalták a Kagiera-kiszögellést, a Kagiera folyó 1300 négyzetkilométeres árterét. 1979 őszén a Tanzániai Népi Honvédelmi Erők (TPDF) visszafoglalták a Kagiera-kiszögellést, és egész Ugandát lerohanták. Uganda diktátora, Idi Amin arra kényszerült, hogy Líbiába meneküljön. Közben az egész Tanzániából verbuvált hadsereg negyvenezerenél is több katonája végigvonult Ugandán, ahol számos faluban heteken-hónapokon át táborozott.

A tudósok általánosan elfogadott véleménye szerint az AIDS-megbetegedések száma az Uganda és Tanzánia közti határvidéken, a Viktória-tó területén szökött fel, közvetlenül a háború 1980-as befejezése után. Az is valószínűnek tűnik, hogy a tanzániai csapatok mozgása döntő szerepet játszott a járvány kitörésében. A katonák az AIDS elsődleges célpontjai. A fegyveres erőknél fellépő AIDS problémájával foglalkozó egyik jelentés megállapítja, hogy „a katonai személyzet az HIV által leginkább veszélyeztetett populációk közé tartozik. Általában fiatalok, szexuálisan aktívak, távol vannak otthonuktól és a megszokott társadalmi tabuk helyett sokszor a kortárs csoport nyomása vezérli őket. Eltölti őket a legyőzhetetlenség érzése, a kockázatvállalási kedv, és mindig rengeteg alkalom kínálkozik számukra az alkalmi szexre”.^[153]

Mindezen változások együttes hatása billentette át az AIDS-járványt a választóvonalon, sok szempontból nagyjából a Zanette-

féle hálózati modellt követve. Onnan is kiderült, hogy egy betegség lényegében kis helyen elszigetelten megmaradhat, és bár megfertőz néhány embert, esetleg évekig vagy talán soha nem tör ki. Az is előfordulhat, hogy bizonyos változások, amelyek úgy halnak, hogy összekötnek egyébként távol fekvő területeket, veszedelmes, akár drámai következményeket váltanak ki... Nagyon is lehetséges, hogy az AIDS több mint egy évszázadig apró falvakban lappangott, amíg látszólag jelentéktelen társadalmi változások, amelyek Közép-Afrikát egyre inkább *kicsi világgá* változtatták, katapultként a Föld minden zugába elrepítették a betegséget.

Amikor Duncan Watts és Steve Strogatz azáltal, hogy egy szabályos hálózathoz hozzávettek néhány messzire nyúló kapcsolatot, megalkották első *kicsi világ* hálózatát, mindössze egy új geometriai világot próbáltak létrehozni. Ugyanez érvényes a kicsi világok határpontjainak Zanette által leírt képére. Amint az előző fejezetben láttuk, bármely hatás elterjedésénél mindig megfigyelhető egy határpont. Legalább is az epidemiológia ortodox felfogása szerint ez nem is lehet kérdéses, ez pedig megnyugtató, mert azt jelenti, mindig van esélyünk küzdeni. Valójában a közegészségügyi dolgozók szinte kizárólag azon fáradoznak, hogy a betegségeket visszalökjék a határpontra, és megpróbálják ott is tartani.

A társadalmi hálózatok bonyolult valóságának tüzetesebb vizsgálata azonban azt sugallja, hogy nem mindig ez az adekvát stratégia. Egyes betegségek visszaszorításához néha speciális *kicsi világ* módszereket kell alkalmaznunk.

Amikor nincs átbillenés

Amint már az előző fejezetekben láttuk, két különböző fajta *kicsi világ* létezik: amelyekben vannak összekötők és amelyekben nincsenek. Az összekötő, ismételjük el újra, az a néhány rendkívül sokszorosan összekötött elem, amelyek a hálózat összes kapcsolatából aránytalanul jelentős részt képviselnek. A nemi úton terjedő betegségek nem akármilyen pályán terjednek egyik emberről a másikra, a köztük fennálló szexuális kapcsolatok hálózatában navigálnak. És mint a korábbi fejezetekből megtudtuk, ezt a hálózatot szemlátomást összekötők uralják – tehát ez egy

arisztokratikus típusú *kicsi világ*. Pontosan ezt a mintát mutatta egy Svédországban háromezer véletlenszerűen kiválasztott egyénnel végzett vizsgálat: *kicsi világ*, amelyben a ritka kevesek uralják a közösség jóformán minden szexuális kapcsolatát.

No és hogyan hatnak az összekötők a betegségek terjedésére? Azt várhatnánk, hogy hatásuk a messzire nyúló kapcsolatokéval rokon, némileg megkönnyíti a fertőzés vándorlását és valamivel lejjebb szorítja a határpont küszöbértékét. A messzire nyúló kapcsolatok és az összekötők egyaránt lejjebb nyomják a korlátot, és megkönnyítik, hogy a betegség átlépje a határpontot. De milyen hatást gyakorolnak az összekötők valójában? Nemrég elvégzett vizsgálatukban Alessandro Vespignani olasz és Romualdo Pastor-Satorras spanyol fizikus azt fedezték fel, hogy az összekötők voltaképpen még sokkal drámaibb hatással járnak: nem egyszerűen lejjebb szállítják, egészen a padlóig süllyeszti a határponthoz tartozó küszöbértéket. Úgy tűnik, az arisztokratikus hálózatban terjedő betegségeknel egyszerűen nincs határpont. A betegségek *úgyszólván minden esetben* átbillennek és elterjednek.

Különös következtetésnek tűnhet, a matematika azonban ezt támasztja alá. Ha a betegség nem képes elég könnyen, gyorsan fertőzni, ha túl sok embert beoltottak ellene vagy ha túlságosan gyorsan elpusztítja az áldozatát, egyetlen eset egynél kevesebb további megbetegedést idéz elő. Ily módon a betegség nem éri el a határpontot, tehát visszaszorul és végül szükségképpen eltűnik. Vespignani és Pastor-Satorras azt találta, hogy ez arisztokratikus hálózat esetében sohasem fordul elő.^[154] Még ha a betegségnek majdhogynem nulla is az esélye, hogy – egy adott kapcsolat mentén – egyik emberről a másikra átterjedjen, pusztán az összekötők kapcsolatainak nagy száma biztosítja, hogy a megfertőzöttek teljes létszáma növekedni fog. Az összekötőkből álló különlegesen aktív mag önmagában garantálja, hogy egy fertőzés átlagosan egynél több további megfertőződést okoz. Az ilyen típusú hálózatban tehát a betegség mindig átbillen a határponton.

Aggasztó felismerés, mert miután világunkban a szexuális kapcsolatok hálózata arisztokratikus típusú, azzal a nyomasztó eséllyel kell számolnunk, hogy akármilyen alacsonyra szorítjuk le a továbbadás valószínűségét, a szexuális úton terjedő vírusok és

baktériumok mégis elterjednek és fennmaradnak. Ebben az értelemben, legalábbis a szexuális úton terjedő betegségekre vonatkozóan, a közegészségügy nagy reményei hiú ábrándnak bizonyultak. Vespignani és Pastor-Satorras következtetései szerint egy arisztokratikus *kicsi világ* hálózatban terjedő betegségnek „mintha nem lenne olyan küszöbértéke, amely alatt ne okozhatna kiterjedt járványt vagy kiterjedt megbetegedést. Az ilyen hálózatok tehát rendkívül hajlamosak arra, hogy a fertőzés elterjedjen és fennmaradjon bennük, függetlenül attól, hogy a kórokozó mennyire virulens.”^[155]

A HIV esetében ez a megállapítás arra a lehangoló következtetésre vezet, hogy ameddig nincs mindenki számára elérhető gyógymód és vakcina, az AIDS-járványt soha nem állíthatjuk meg. Akármilyen sok pénzt fordítunk arra, hogy megnehezítsük a betegség egyik emberről a másikra való terjedését, a hamu alatt tovább fog parázslani. Az emberiségnek meghatározatlan ideig együtt kell élnie vele.

Ahhoz, hogy hatékonyabban szembezállhassunk a nemi úton terjedő betegségekkel, és hogy bármiféle esélyünk legyen megállítani az AIDS-t, új ötletre van szükség. Szerencsére a tudás – hatalom. A hálózati szemlélet is szolgálhat néhány reményekre feljogosító ötlettel.

A közegészségügyi programok rendszeren arra irányulnak, hogy a lakosság bizonyos többé-kevésbé találmokra vett hányadát védőoltásban részesítse, ettől remélve, hogy a betegség a határpont alá süllyed. Ha azonban nincs ilyen pont, ez nem fog működni. Előfordulhat, hogy lassítja a járvány terjedését, ahogy az erdő fainak kiritkítása is fékezheti az erdőtüzet, a méretét is csökkenheti, megállítani azonban nem képes – mert az összekötők folyatatólagos aktivitása továbbra is fenntartja. A betegségre nyilvánvalóan csak úgy adhatunk adekvát választ, ha erőfeszítéseinket magukra az összekötőkre irányítjuk. Ennek az ötletnek tényleg lehet esélye a sikerre, mivel több kutatócsoport rámutatott, hogy az összekötőket megcélzó kezelési program helyreállíthatja a határpontot, módosítva magának a társadalmi hálózatnak a struktúráját.^[156]

Tegyük fel például, hogy azonosítani tudnánk azokat, akiknek mondjuk az elmúlt két évben huszonötnél több szexuális partnere volt! Ez a szexuális kapcsolatok hálózatában az összekötők

kézenfekvő definíciója lehetne. Ha ezen keveseket gyógyszerek vagy felvilágosítás révén hatásosan immunizálni lehetne, akkor az összekötők gyakorlati szempontból kiiktatódnának a hálózatból. Következésképpen a megmaradó hálózat már nem volna arisztokratikus *kicsi világ*, vagyis lenne határpontja. Elvben a járványt tökéletesen meg lehetne szüntetni. Persze a szexuális élet magánügy, az interjúkészítésbe bevonható szociális dolgozók és orvosok számát pénzügyi keretek szabják meg, az összekötőknek mindig csak egy kis töredékét lehet sikeresen felderíteni. Mindazonáltal a matematika tanúsága szerint az összekötők mégoly töredékének kezelése is esély lehet a sikerre. Igen kevés, bár speciális ember kezelése – ez lehet a betegség kiirtásának kulcsa.

Központban gondolkodni

Aligha újdonság, hogy a nemi úton terjedő betegségek elleni közegészségügyi stratégiáknak a szexuálisan legaktívabb embereket kellene megcélozniuk. Az epidemiológusok hosszú évek óta az úgynevezett központi csoportokra, a különlegesen aktív egyének centrális csoportjára koncentrálják erőfeszítéseiket, mert ők terjesztik a betegségeket és adják tovább a tágabb közönségnek. Az 1970-es évek vége felé William Darrow, John Potterat és más kiemelkedő epidemiológusok Colorado Springsben egy vizsgálsorozatot végeztek, amelynek megállapításai szerint a nemi megbetegedések túlnyomó többsége a lakosság szűk körének – prostituáltak, a közeli katonai bázison szolgáló katonák, illetve egyéb, kivételesen nagy szexuális aktivitást tanúsító férfiak és nők kis csoportjának – tulajdonítható. A nemi betegségek terjedésének megértésében a járványügyi szakemberek abszolút centrális szerepet tulajdonítanak a központi csoportnak. Ez a csoport pedig nagyjából egybeesik az összekötőkkel.^[157]

Tényleg nyilvánvalóan értelmes dolog tehát, ha az egészségügyi dolgozók tevékenysége e különleges kevesekre koncentrálódik. Távrolról sem nyilvánvaló azonban, hogy mennyire szükségesek és valóban döntő jelentőségűek az ilyen fókuszált programok. Másfelől egy arisztokratikus jellegű *kicsi világ* hálózat összekötői olyan erősen kapcsolódnak másokhoz, aktivitásuk olyan mértékben dominálja a

többieket, hogy semmiféle nem rájuk fókuszált kezelésnek halvány esélye sincs a sikerre. Az emberek jóval több, mint 90 százalékát immúnissá tehetjük, miközben a betegség továbbra is jól megvan. Másfelől azonban a legnagyobb mértékben összekötött kevesek már egy töredékének kezelése is jó esélyt kínál a betegség megfékezésére, idővel pedig megszüntetésére.

Különös módon tehát például az AIDS esetében a járvány megállításának receptje nem a tömeges felvilágosításon és kezelésen, hanem a speciális kevesekre célzott erősen szelektív intelligens lépéseken áll vagy bukik. Bizonyára nem könnyű ezt a felismerést az összetett hálózatok elméletéből átvinni a gyakorlatra. Ennek alapján azonban a járványügyi és egészségügyi dolgozók olyan alapvető terveket, stratégiákat dolgozhatnak ki, amelyek nem csupán az AIDS, hanem sok más, akár a jövőben fellépő járvány esetében is sikeresek lehetnek.

12. AZ ÉLET TÖRVÉNYEI

A görög redukcionizmus diadala pürrhoszi győzelem: ha sikerült is az összes közönséges fizikai működést visszavezetni a Minden egyszerű és helytálló Elméletére, rá kellett ébrednünk, hogy ez számos nagy jelentőségű dologról az égvilágon semmit sem árul el.

– Robert Laughlin és David Pines^[158]

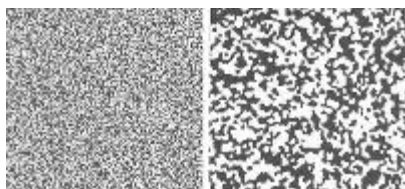
A redukcionizmus, a Concise Oxford Dictionary meghatározása szerint „összetett dolgok egyszerű összetevőkre való elemzése. E felfogás szerint egy rendszer tökéletesen megérthető különálló részei, egy gondolat pedig egyszerű fogalmak alapján”.^[159] Ha nem megy az autó, a szerelő megkeresi a hibás alkatrészt – hogy az akkumulátor monda-e fel a szolgálatot, az ékszíj szakadt-e el vagy a bezinpumpa ment tönkre. Hasonlóképpen, lábfájás esetén az orvos megvizsgálja a beteget, nincs-e csonttörése vagy izomhúzódása, a hibás számítógépet javító mérnök pedig kiégett csipet vagy szoftverhibát keres. A redukcionizmus elve szerint bonyolult dolgok megértésének legjobb módszere, ha minden egyes rész természetét és működését külön-külön vizsgáljuk. Ilyen szemlélet alapján oldunk meg problémákat, ez alkotja a tudomány legmélyebb alapját.

Mindazonáltal nem mindig igaz, hogy egy rendszer a fenti definíció szerint „tökéletesen megérthető különálló részei alapján”. Amint láttuk, önmagában a vírusok vagy az ember biológiája semmiféle kulcsot nem ad azokhoz a hálózati hatásokhoz, amelyek az AIDS-járványt alapvetően befolyásolják. Hasonlóképpen, a globális ökológiai rendszer stabilitását képtelenség volna biztosítani pusztán az egyes élőlények biológiájának tanulmányozásával. Ha értjük is a különálló részek természetét, ebből még nem sokat tudhatunk meg azok együttműködéséről. Ez persze nem jelenti azt, hogy a redukcionizmus gondolata téves. Csupán, hogy a fenti definíció nem megfelelő.

Jobb meghatározás lenne, hogy „a rendszer tökéletesen megérthető különálló részei és *azok kölcsönhatásai* alapján”. Ám az is lényeges, hogy elismerjük: egy összetett hálózat részei közti kölcsönhatások néha olyan globális szerveződési mintázatokra vezetnek, amelyeket nem lehet visszavezetni különálló részekre. A hálózati architektúra nem a részek, hanem az egész tulajdonsága, akár csak a határpont léte vagy nemléte. Társadalmi hálózatokban az effajta globális hatásoknak meglepő és lényegbevágó következményeik lehetnek, amint erre Thomas Schelling, a Harvard Egyetem pszichológusa már több mint harminc évvel ezelőtt rámutatott. Például mi a faji elkülönítés eredete? Az Egyesült Államokban a faji szegregáció továbbélését többnyire a kormány vagy az ingatlanüzlet rasszizmusának és előítéletes gyakorlatának tulajdonítják. Pedig egy kevésbé nyilvánvaló tényező éppoly lényeges szerepet játszhat benne.

Schelling kiindulásképpen olyan társadalmat képzelt el, amelyben a legtöbb ember igazán kiegyensúlyozott és faji szempontból jól beilleszkedő közösségekben szeret élni, egyetlen apró kikötéssel: a legtöbben nem szeretnek olyan környéken lakni, ahol *szélsőségesen* szűk kisebbséghez tartoznának. Egy fehér embernek lehetnek fekete barátai és kollégái, boldogan élhet túlnyomórészt fekete környezetben. Ugyanakkor valószínűleg nem szeretne *egyetlen* fehér emberként élni ott. Ez az attitűd aligha rasszista – valójában feltehetőleg igen sokan, fehérek, feketék, latinamerikaiak, kínaiak osztoznak benne. Az ember természete szerint szeret hasonló ízléssel, háttérrel, értékekkel rendelkező emberek közt élni.

Mindenesetre az ilyen ártatlan emberi kívánságok néha ijesztő eredményekre vezetnek. Schelling úgy jött rá erre, hogy négyzethálót rajzolt egy papírra és egy tanulságos játékba kezdett. Ezen a hálón először találomra egyforma sok fekete és fehér bábút helyezett el, egy olyan összeszokott közönséget próbált ábrázolni, ahol a két faj egyenletesen keveredik egymással. Ezután azzal a feltételezéssel élt, hogy egyik bábu sem szívesen lakna mondjuk 30 százaléknál szűkebb kisebbségben. Így aztán egyenként vette a figurákat, és megnézte, nem véletlenül 30 százaléknál kevesebb szomszédja hasonló színű-e. Ha pedig ez volt a helyzet, a figura átvándorolhatott a legközelebbi nyílt mezőre. Aztán annyiszor ismételte újra meg újra ezt az eljárást, amíg végül már senki sem lakott 30 százalékosnál szűkebb kisebbségben. Meglepetésére Schelling azt fedezte fel, hogy eddigre a figurák nem hogy nem keveredtek egyenletesen, hanem kifejezetten külön enklávékba rendeződtek.^[160] Más szóval az, hogy az ember valamivel kevésbé szeret szűk kisebbségben élni, olyan paradoxnak tűnő, ám kikerülhetetlen következménnyel jár, hogy a vegyes közösségek teljességgel megszűnnek ([21. ábra](#)).



21. ábra

Schelling szegregációs modelljének elkerülhetetlen következménye. A baloldalon a populáció kezdetben jól keveredik, a közösség magas szinten beilleszkedik. Ám ahogy az emberek elköltöznek, hogy sehol se legyenek szélsőséges kisebbségben, a lakosság természetes módon majdnem egyenletesen fekete és fehér csoportokba tömörül. (Nigel Gilbert és Klaus Troitzsch szíves engedélyével)

Ez a felismerés nem azt kívánja bizonyítani, hogy a rasszizmusnak és az igazságtalan intézményeknek semmi közük az etnikai szegregáció fennmaradásához. Arról viszont árulkodik, hogy komplex hálózatokban milyen meglepő szerveződések bukkannak

fel egészen természetesen, és hogy az ilyen hatások megértéséhez mennyire elengedhetetlen, hogy a „különálló részek” mögé nézzünk. Még ha holnap a rasszizmus írmagját ki is lehetne irtani, akkor is fennmaradna a fajok meglehetősen természetes törekvése, hogy úgy szétváljanak, mint olaj és víz. A társadalmi valóságot nem pusztán emberi vágyak alakítják, hanem vak és többé-kevésbé mechanikus erők is – jelen esetben olyan erők, amelyek ártatlannak tűnő személyes óhajokból kellemetlen, olykor drámai következményre vezetnek.

Amint korábban láttuk, a *kicsi világ* elmélet megoldást kínál a hatlépéses összeköttetés társadalmi rejtélyére. Ez azonban a hálózatok elméletének csupán az a része, amely nagy általánosságban a mindenfajta hálózatban természetes módon felbukkanó durva szerveződési sémákkal foglalkozik. Ma egyre több kutató Schelling nyomdokán járva ilyesfajta hálózati hatásokat fedez fel egy sor társadalmi környezetben. Nem az a lényeges kérdés, hogy vajon ez a megközelítés túllép-e a redukcionizmuson, vagy sem. Hanem, hogy fejlettebb szemlélete új reményekkel kecsegtet a társadalomtudományok, elsősorban a közgazdaságtan számára.

A homo economicus halála

A Közgazdaságtan szabadpiaci elméletei legalább a tizenharmadik század második felében élő skót Adam Smithig nyúlnak vissza. Nevezetes könyve, a *Nemzetek gazdagsága* lapjain kifejti, hogy a társadalom tagjai közti szabad kereskedelem, akik mind a saját önző nyereségükre törekednek, olyan kimenetelre vezet, ami a társadalom egészének jó. Végül is, mint Smith megjegyzi, „nem a mészáros, a serfőző vagy a pék jóindulatától várjuk a vacsoránkat, hanem attól, hogy saját érdeküket szem előtt tartják. Nem az emberségükre, hanem az önszeretetükre apellálunk, soha nem saját szükségünkről, hanem az ő nyereségükről beszélünk előttük.”^[161] Smith szerint a közjó megvalósításának legjobb eszköze az olyan egyének társadalma, akik mind racionális módon a saját érdeküket követik. Ha valaki hasznot húzhat abból, hogy valamilyen terméket előállít vagy szolgáltatást nyújt, meg is teszi. És pusztán az, hogy ezt megteheti, bizonyítja, hogy a

társadalom többi tagja bizonyára kívánja azokat a termékeket és szolgáltatásokat. Ennek természetes folyománya, hogy a társadalom szükségleteinek teljes spektruma kielégülést nyer, még ha a siker motorja az egyéni nyereség is. Az ilyesfajta szabadpiaci gazdaságnak globális irányítás nélkül is simán és hatékonyan kell működnie, mert Smith sokat idézett metaforája szerint egy „láthatatlan kéz” irányítja és szervezi.

Napjainkban Smith metaforája áll az egész nyugati közgazdasági gondolkodás középpontjában. És több mint egy évszázada elméleti közgazdászok egész hada szorgoskodik annak bizonyításán, hogy ez valóban így igaz – az egyéni mohóság szükségképpen a közösség javára fordul. Ennek érdekében pedig általánosságban azt is feltételezik, hogy a gazdaság résztvevői nem csupán mohók, de tökéletesen és csalhatatlanul racionálisak is. Senki nem olyan botor – mondja az elmélet –, hogy érzelmeinek teret engedjen a racionális döntéseiben, vagy egyszerűen másokat kövessen anélkül, hogy alapos oka lenne rá. Az egyik közgazdász leírása szerint az elmélet „feltételezi, hogy az emberek a lehető legtöbbet kívánják megszerezni, és elég okosak ahhoz, hogy rájöjjenek, hogyan érhetik ezt el a legjobban. És az a közgazdász, aki egy éven át törli a fejét egy bosszantó probléma megoldásán – nevezetesen, hogy munkanélküliként hogyan lehet a legjobban álláshoz jutni –, megelégszik azzal a feltevessel, hogy a munkanélküliek már meg is oldották a problémát, és aszerint is járnak el.”^[162] Ez ugyan rettenetes butaság, mégis van benne ráció. Az emberi viselkedést illető tudatlanság tisztára törölt palatáblájával az elmélet úgy járhat el, mintha atomokkal vagy molekulákkal kellene dolgoznia, be tudja tehát „bizonyítani”, hogy a láthatatlan kéz valóban működik.^[163]

A kortárs közgazdasági elmélet majd minden részletében továbbra is megrögzötten erre a racionalitás kultuszra épít, akár a vállalkozások szerkezetének magyarázatára, akár a javak elosztására próbál magyarázatot adni. Ez a rugalmatlan elméleti hagyomány szerencsére lassanként átadja helyét egy érettebb szemléletnek, amely hajlandó szembenézni a gazdasági valóság komplexitásaival, nem próbálja azokat háttérbe szorítani a matematikai apparátus egyszerűsítése végett. Egyre több kutató fogadja el a „viselkedési gazdaságtan” új területét, amely azáltal igyekszik meghaladni a

hagyományos elmélet hiányosságait, hogy elfogadja az emberi irracionalitást, és a közgazdasági elméleteket az emberi viselkedés életszerűbb szemléletére kívánja alapozni.^[164] Ily módon például a kutatók a pénzügyi piacok megdöbbentően élethű modelljeit tudták megalkotni, ahol a részvényárak nagy szabálytalansággal fluktuálnak, miután a befektetők egymás utánzására való hajlama a csordaviselkedés révén összeomlásokhoz és buborékokhoz vezet.^[165]

A tudósok azonban egy másik irányban is haladnak – felismerve, hogy kölcsönhatásban álló dolgok hálózatában (még ha éppenséggel emberekről van is szó) a részletek néha nem számítanak. Akár racionális, akár irracionális az emberek viselkedése, akár sem ilyen, sem olyan, viselkedésük részletei nem sok hatást gyakorolnak a gazdasági valóság némely alapvető vonatkozására. És a gazdasági életben számos figyelemreméltó séma van, amelyek közül némelyeket már több mint száz éve ismerünk. Például minden országban nagyon kevés gazdag és sok szegény él. Azt várhatnánk, hogy a kettő viszonya minden országban más, lévén, hogy mindegyiknek megvannak a maga jellegzetes termékei és szaktudása, egyesek mezőgazdaságból vagy nehéziparból élnek, mások a fejlett technológiából, és így tovább. Miután a világban számos különböző kultúra van, amelyeknek a története is eltérő, nem sok okunk volna azt várni, hogy a gazdagság felhalmozásában bármiféle általános minta nyilvánuljon meg. 1897-ben azonban a mérnökből lett olasz közgazdász, Vilfredo Pareto mást tapasztalt. A javak elosztásában olyan mintát fedezett fel, amely úgy tűnik, minden ízében olyan univerzális, mint a termodinamika vagy a kémia törvényei.

Egy közgazdasági univerzálé

Tegyük fel, hogy Németországban, Japánban vagy az Egyesült Államokban megszámloljuk, hány embernek van mondjuk 10 000 dollárja. Majd végezzük el ezt a számlálást a vagyon sok más, mind kicsi, mind nagy értékére, és a kapott eredményekből rajzoljunk diagrammot! Paretóhoz hasonlóan azt fogjuk tapasztalni, hogy a grafikon csekély vagyonnak megfelelő szélén sokan vannak, és

ahogy haladunk a nagyobb vagyonok felé, úgy csökken az emberek száma. Pareto azonban figyelmesebben megvizsgálta a számokat, és azt találta, hogy azok igen speciális módon csökkennek: a nagyobb vagyonok felé haladva valahányszor megduplázódik az érték, az olyan vagyonnal rendelkezők száma konstans részére csökken.^[166] A mai számok is pontosan ugyanezt a mintát követik szerte a világon. Japánban például ez a konstans négyhez közel esik.^[167]

Ez a minta a már többször említett kövér farkú eloszlás újabb példája. Amint korábban láttuk, ha megmérjük ezer ember testmagasságát, azok egy jól meghatározott átlag körüli szűk mintába esnek. A kapott haranggörbéből az következik, hogy nagy eltérés az átlagtól igen ritka. A gazdagság eloszlása határozottan nem így működik. A Pareto-törvény görbéje a haranggörbénél lassabban csökken, ami azt jelzi, hogy jelentős számú rendkívül gazdag ember van. Ezt az eloszlást néha *80/20 elv* néven említik, ami arra utal, hogy a vagyon java kevesek zsebébe jut. Az Egyesült Államokban például nagyjából az emberek 20 százalékáé a vagyon 80 százaléka. Mexikó, Argentína, Nagy-Britannia és Oroszország, akárcsak Nyugat-Európa országai, hasonló számokat mutat. Azonban nem ez a 80/20-as eloszlás a lényeg: a pontos szám egyes esetekben 90/20, 95/20, vagy más is lehet. Az a fontos, hogy az eloszlás – legalábbis a legvagyonosabbak esetében – mindig megdöbbentően egyszerű matematikai görbét követ, aminek következtében az emberek kis töredéke rendelkezik a gazdagság nagy részével.

Vajon az emberi kultúra és viselkedés miféle szabályossága vezet ehhez a mintához? Talán a gazdagok valamiféle ördögi összeesküvése? Miután a gazdagság problémája és eredendő egyenlőtlensége mindig heves érzelmeket kavart, nem meglepő, hogy a kutatók rávetették magukat erre a kérdésre. A közgazdaságtan központi kérdései között, írta John Kenneth Galbraith, első, hogy „a jövedelemeloszlás mennyire egyenlő vagy egyenlőtlen. A kialakuló egyenlőtlenség magyarázata és ésszerűsítése a közgazdaságtudomány néhány legnagyobb, de legalább is legzseniálisabb tehetségének figyelmét keltette fel”.^[168] Matematikai szempontból azonban Pareto törvénye makacsul

ellenáll mindenféle magyarázatnak. Természetesen meglehet, hogy néhány ember kivételes mértékben tehetségesebb, kreatívabb a legtöbbnél, így a vagyoneeloszlás magyarázatához előbb az emberi tehetség és képességek örökletes elosztásának magyarázatára lenne szükség – mit mondjunk, nem kis feladat. Másfelől fennáll egy másik lehetőség is.

Egyáltalán hogyan is kezdhethetnénk a Pareto-törvény magyarázatába? Ha meg kell magyaráznunk, miért gazdag az egyik ember és miért szegény a másik, a történeti módszernek nincs alternatívája. Bele kell merülnünk az örökletes tulajdonságok, a képzettség, a pénzkeresés velünk született képessége és vágya, de még a régi jó szerencse részleteibe is. Orvosok és bankárok gyermekeiből gyakran orvosok és bankárok lesznek, miközben a városi szegénynegyedekben született gyerekek sokszor maguk is a szegénység mocsarába rekednek, képtelenek kiemelkedni környezetükből. Hogy vajon Bill Gates, a Microsoft egyik alapítója és vezetője miért annyira gazdag, olyan, mintha azt kérdeznénk, hogy a nagy Mississippi folyó miért New Orleans közelében, és nem valahol másutt ömlik a Mexikói-öbölbe. Gates sajátos háttere, képzettsége, temperamentuma, a számítógépes forradalom lehetőségeivel és kínálkozó alkalmával együtt, egyedülálló történelmi kombinációt alkotva hatottak úgy, hogy óriási vagyont halmozhasson fel.

Pareto törvénye azonban nem az egyénekről szól. Sokkal inkább az egyének sokaságának szintjén megjelenő mintázatot ragad meg, miközben eltekint az egyéni történettől. A Pareto által felfedezett séma a folyamhálózatok 6. fejezetben említett globális szerveződési mintáira hasonlít, amelyek nem egyik-másik folyó alakjára, hanem a folyómedence átfogó hálózati struktúrájára vonatkoznak. Ennél a példánál a tudósok felfedezték, hogy az együttes hálózatban akkor is megjelenik egy bizonyos fajta rend, ha az egyes folyók szintjén a véletlen dominál. Elvben ugyanez állhat a gazdagságra is. Pareto törvénye talán nem sokat árul el az ember kulturális, intellektuális vonásairól, viselkedéséről, inkább valamely mélyebb szerveződési elv következménye.

Vagyonghálók

A tőke vizsgálatához feledkezzünk el egy pillanatra a kreativitásról és a kockázatvállalásról, az intelligencia eloszlásáról vagy bármely egyéb szóba jöhető tényezőről, és koncentráljuk a pusztá lényegre! Egy gazdaság, ebben mindannyian egyetértünk, egymással kölcsönhatásban álló emberek hálózata. Közülük egyesek egyénileg, mások kisebb-nagyobb szervezetekben tevékenykednek, ám pillanatnyilag mindezen bonyodalmaktól eltekinthetünk. A szemléletesség kedvéért képzeljünk el nagy számú embert egy hálózatban, amely lehet véletlenszerű, rendezett, *kicsi világ* vagy bármilyen másfajta hálózat! Akármilyen hálózatról is legyen szó, minden egyénnek van valamilyen tőkéje, amely napok vagy hetek alatt megváltozhat – rendszerint két alapvető irányban. Először is az emberek mindenféle termékeket és szolgáltatásokat adnak-vesznek. Amikor megérkezik a havi fizetési csekk, vagy ha eladja a kocsiját, pénztőkéje megemelkedik. Ha Olaszországba megy nyaralni vagy új teraszt épít a házához, lejjebb apad. Az ilyesfajta tranzakciók az egyik embertől a másikhoz juttatják a tőkét. Tőkét azonban lehet teremteni és megsemmisíteni is. Ha az ember házat vagy telket vásárol, annak értéke emelkedhet vagy csökkenhet. Hasonlóképpen, aki befektet a tőzsdén, annak mozgására számítva házardjátékot folytat. Az 1990-es években szárnyalt a piac, hatalmas mennyiségű vadonatúj pénztőkét teremtve.

A lényeg az, hogy az ember tőkéje vagy másokkal folytatott tranzakciói révén, vagy a befektetéseinek (pozitív vagy negatív) hozadékával emelkedhet-süllyedhet. Mindez aligha újdonság, ám ebből az is következik, hogy a gazdagság hálózatában két tényezőnek kell föl-le mozgatnia a számokat. Amikor az ember fizetést kap, lakbért fizet, élelmiszert vásárol, és így tovább, a tőke többé-kevésbé szabályosan áramlik a hálózaton, mint a csővezetékben a víz. Másfelől a befektetések következtében minden ember tőkéje lassú emelkedést mutat, véletlenszerű le-föl ingadozásokkal, attól függően, hogy a befektetések mennyire jól dolgoznak.

Természetesen ez a kép a legalapvetőbb kivételével a valóság úgyszólván valamennyi részletét elhanyagolja. És mégis, izgalmas kérdés, hogy még ezen alapvető tényezőkből is következik valami a

tőke elosztására nézve. Néhány évvel ezelőtt a párizsi egyetem két fizikusa, Jean Phillippe Bouchaud és Mark Mézard nagy lépést tett a kérdés megválaszolása felé azáltal, hogy még egy „nyilvánvaló” dolgot belevett ebbe a képbe: hogy a tőke értéke relatív. Egy multimilliomost például általában nem önt el a hideg veríték, ha néhány ezer dollárt veszít a tőzsdén. Ugyanez a veszteség viszont katasztrofális lehet egy egyedülálló anyának, aki az egyetem elvégzése közben neveli a gyerekeit. A pénz értéke attól függ, mennyi pénze van már az embernek, következésképpen a vagyonos emberek általában többet fektetnek be, mint a kevésbé vagyonosak. Ennek az egyszerű észrevételnek az alapján Bouchaud és Mézard rájött, hogy a hálózatot olyan alapvető explicit egyenletek halmazává lehet alakítani, amelyek képesek követni a tőke alakulását miközben egyik embertől a másikig vándorol, vagy amikor bárki véletlenszerűen nyereséget-veszteséget könyvel el a befektetéseit után. A két fizikus egy ezerfős hálózat egyenleteit felhasználva számítógépen megnézte, mi következik belőlük. Miután nem tudták pontosan, hogyan kapcsolják össze az embereket tranzakciók hálózatába, számos mintával megpróbálkoztak. És mert bizonytalanok voltak, hogyan állítsák be a személyes tranzakciók és a befektetések hozadékai egymáshoz viszonyított arányát, megpróbálták azt egyik, majd másik irányba elmozdítani. Ám azt találták, hogy mindezen részletek mit sem változtatnak a tőke eloszlásának alapvető formáján.

Bouchaud és Mézard kezdetben véletlenszerűen juttatott tőkét az embereknek, és ha kellően sokáig működtették a gazdaságot, azt találták, hogy mindig az emberek egy kis részének a kezébe jutott a teljes tőke nagyobb hányada. Mi több, a matematikai eloszlás *pontosan* követte Pareto törvényét – kiváló egyezést mutatva a valóságból vett adatokkal.^[169] És ez az eredmény annak ellenére következett be, hogy a modell minden szereplője azonos „pénzteremtő”-képeséggel volt megáldva, ami arra utal, hogy a tehetségbeli különbségeknek nincs túl sok közük a tőke elosztásának a legtöbb társadalomban megfigyelhető alapvető egyenlőtlenségéhez. Inkább a gazdasági élet valamiféle alaptörvényének tűnik, ami a hálózat szerveződési elveként természetszerűen alakul ki.

Úgy látszik, mintha a semmiből nyertünk volna valamit, és ez bizonyos értelemben így is van. Ám ez a felfedezés azt jelzi, hogy aki kísértést érez, hogy a tőkeeloszlásra komplikált magyarázatokat találjon, meglehetősen tévúton jár. Ez a modell azonban további tanulságokkal is szolgál.

Az egyenlőtlenség fokozatai

Mi az oka tehát hogy a pénz a kevesek zsebébe hullik? A titok nyitja...

[szöveghiány]

...esetben a tőke a hálózat más tagjaihoz folyik. Hasonlóképpen, aki borzasztóan elszegényedik, rendszerint kevesebb árut vásárol, és így tőle kevesebb tőke áramlik el. Mindent összevetve a hálózat kapcsolatai mentén áramló pénzeknek azzal a hatással kellene járniuk, hogy elmosssák a vagyoni különbségeket.

Amint azonban Bouchard és Mézard megfigyelte, ez az összemosó hatás soha nem válik dominánssá, mert a befektetések véletlenszerűen ingadozó hozadéka afféle „akinek van, adatik” jelenséget kelt, amit nem könnyű átfordítani. Ezer ember közül nem lesz két olyan, aki egyforma szerencsével fektetett be. A legtöbben nagyjából ugyanannyiszor veszítenek, mint nyernek, de egy maroknyi embernek örült szerencséje lesz, néhányan pedig katasztrófába sodródnak. Ám ne feledjük, akinek több a tőkéje, rendszerint többet is fektet be, és így jó esélye van, hogy még többet nyerjen. Vagyis az egymás utáni többszöri nyereséges befektetés nem egyszerűen hozzáadással, hanem sokszorozással növeli az ember vagyonát, az egymásra következő nyereségek ugyanis egyre nagyobbak lesznek. És mint kiderült, ez elegendő, akár teljes egyenlőség mellett is, amikor mindenki véletlenszerűen kap hozadékot a befektetéseire, hogy az óriási tőketulajdonbeli egyenlőtlenségek halmozódjanak fel a lakosságban.

Mindenesetre Bouchard és Mézard modellje arra is rámutat, hogy az egyenlőtlenségnek vannak fokozatai, valamint, hogy Pareto törvénye nem befolyásolhatatlan. Idézzük fel, hogy a kövér farkú eloszlásban a tőke minden megkettőződése konstans töredékére csökkenti azok számát, akik ennyivel rendelkeznek. A konstans

osztó lehet 1,8, 2, 3,4, vagy bármilyen más érték. A tőke minden esetben aránytalanul a leggazdagabbak szűk csoportjának kezébe jut, ám, ha ez a szám csökken, a tőke koncentrációja egyre kifejezettebbé válik. Az egyik érték mellett a leggazdagabbak 10 százaléka birtokolja a tőke 90 százalékát, a másiknál 5 százaléka 98 százalékot. Más szóval a kövér farkú eloszláson belül a pontos számok változhatnak.

E tekintetben a modell egy általános mondanivalót is hordoz: ha minden mást változatlanul tartva előmozdítjuk az emberek közti cserét, a tőke egyenlőbben fog megosztani. Bouchaud és Mézard nagyobb fokú egyenlőséget tapasztalt, valahányszor fokozták a kapcsolatok mentén történő tőkeáramlást vagy növelték a kapcsolatok számát. Másfelől viszont, ha növelték a befektetési hozadékok szeszélyességét és szélsőségességét, ez ellenkező irányú hatással járt, ami nem is meglepő, hiszen az „akinek van, adatik” jelenség hatását erősíti. Ez a modell persze annyira absztrakt, hogy részletes, pontos politikai ajánlásokat nem alapozhatunk rájuk. Mindazonáltal bizonyos alapvető, többé-kevésbé nyilvánvaló ajánlásokkal mégiscsak szolgál a tőkeeloszlás befolyásolására nézve.

A modell feltárja például – és ez sem meglepő –, hogy az adóztatás a vagyonkülönbségek elmosása irányában hat, feltéve, hogy a pénzt a társadalomban többé-kevésbé egyenlően osztják újra. Végző soron az adózás annak felel meg, hogy a hálózatba további mesterséges kapcsolatokat veszünk fel, amelyeken át a tőke a gazdagtól a szegény felé áramolhat. Az adózás ugyan nem változtatja meg Pareto törvényét, ám a vagyon megoszlása valamivel egyenlőbb lesz, a gazdagok kisebb szeletet fognak kapni az egész tortából. Valamivel meglepőbb, hogy a modell tanúsága szerint bármely olyan gazdasági intézkedésből, amely közvetlenül a gazdaságba folyó kiadások fokozására irányul, a tőke hasonló újraelosztásának kell következnie. Például az eladásokra kivetett széles körű adók rendszerint a vagyonegyenlőtlenségek növekedése irányában hatnak.

Ez a modell ugyanakkor egyes politikusok álláspontjainak igazolására szolgáló érvekhez is kiváló próbaterepet nyújt. Az Egyesült Államokban például az 1980-as és 90-es éveket a

szabadpiaci ideológia és a központi szabályozás enyhítése jellemezte, amit jórészt azzal az ideológiával támasztottak alá, hogy a tőke majd leszivárog a szegényekhez. Mindent megtettek a legkülönbébb beruházási tevékenységek serkentésére, tekintet nélkül a magas kockázatra, a lehetséges környezetkárosító hatásokra stb. Nem véletlen, hogy ez volt a pilótarészvények és a megtakarítási csődök korszaka. De vajon tényleg leszivárgott-e a tőke? A hálózati modell alapján nem sok okunk van ezt várni. Sőt, éppen az ellenkezőjét gondolnánk. A beruházási aktivitás drasztikus fokozása, amelyet nem ellentételeznek a pénz emberek közti áramlását serkentő intézkedések, minden bizonnyal az egekig emeli a vagyoni egyenlőtlenségeket – és valóban ez is történt. Ma az Egyesült Államokban jóval kevésbé egyenlő az elosztás, mint három évtizeddel ezelőtt. A tőke jobban koncentrálódik, mint az európai országokban, inkább a latin-amerikai országoknál tapasztalható szinthez közelít.

Ismét hangsúlyozni kell azonban, e modellnek nem az az értelme, hogy olyan pontos elveket kínáljon a gazdaság irányítására, amilyenek révén a NASA rakétákat juttat el a Holdra. Csupán kiindulópontnak alkalmas. Noha meglehetősen absztrakt következtetésekre ad lehetőséget, legalább nem támaszkodik az emberi lélekre vagy a tökéletes racionalitásra vonatkozó kétséges feltevésekre, vagy arra vonatkozó bizonytalan és ellenőrizhetetlen spekulációkra, hogy mi hova szivárog. Azáltal, hogy a lehető legkevesebb feltevéssel dolgozik, és így korlátozott, ám elfogadható eredményeket ad, a hálózati szemlélet biztató kezdetet jelent ebben az irányban.

Ahhoz, hogy értelmes és tájékozott társadalmi döntéseket hozhassunk, mélyebb szemlélettel kell rendelkezniünk bizonyos lényeges gazdasági minták, például a tőke elosztása és az ezeket alapvetően befolyásoló erők tekintetében. Máskülönben kellemetlen meglepetéseknek nézhetünk elébe. Ebben a tekintetben ez a tőkehálózat egy másik, mélyen rejtett, ám valóban aggasztó tanulságot hordoz.

A tőkeösszpontosulás problémája

Amint láttuk, a befektetési nyereségek szabálytalan viselkedése vagyonskülönbségeket gerjeszt, miközben az emberek közti legkülönfélébb tranzakciók azok eltörlése irányában hatnak. E két erő versengése vezet Pareto törvényéhez, amely szerint a javak kisebb-nagyobb koncentrációja az emberek töredékének kezébe kerül. A modellt elemezve azonban Bouchaud és Mézard azt fedezte fel, hogy ha a befektetések szabálytalansága kellően nagy lesz, képes teljesen felülírni a tőke tranzakciókból adódó természetes szóródását. Ebben az esetben a gazdaság olyan hirtelen drámai átalakuláson megy keresztül, ahol a gerjesztett vagyonskülönbségek túlságosan kifejezettek ahhoz, hogy az emberek közti áramlás mérsékelhesse azokat. A gazdaság átbillen a határpontra, és a tőke – ahelyett, hogy pusztán egy szűk kisebbség kezében lenne – maroknyi szuper gazdag „rabló báró” zsebében összpontosul. Ez talán nem hangzik túl drámaian, pedig egy több milliós társadalomban az lenne. Az Egyesült Államok lakosságának leggazdagabb tíz százaléka háromezerezer embert jelent, és ha az ő vagyoniuk öt-hat ember kezébe jutna, az a társadalom drasztikus átalakulását jelentené. A hatalom eltolódásával járna, jelentős potenciális következményekkel. Bármennyire aggasztó fejlemény volna is ez, cseppet sem tudományos-fantasztikus fikció. Noha a modell absztrakt, ez éppen előnyére válik, mert miután szilárd matematikai alapokon áll, kevés vitatható feltevésre támaszkodva bizonyítja, hogy ilyesfajta határpontra minden társadalom-gazdaságban kell léteznie. Az Egyesült Államok gazdasága jelen pillanatban talán távol van ettől a ponttól, talán közel. Senki sem tudja. A döntéshozóknak mindenesetre legalább tudatában kellene lenniük ennek a szakadéknak, amelybe az egész gazdaság belezuhanhat.

Izgalmas kérdés, hogy vannak-e olyan, elsősorban fejlődő országok, amelyek máris az „tőkeösszpontosulás” ilyen fázisában tartanak. Becslések szerint például Mexikóban a leggazdagabb negyven emberé az összes vagyoni majdnem 30 százaléka. Az is meglehet, hogy a történelem során a társadalmak és gazdaságok sokszor voltak ebben a fázisban. Századunk hosszú távú gazdasági tendenciái némileg alátámasztják ezt az elképzelést, például Angliában a leggazdagabbak részesedése erősen visszaesett az

utóbbi száz évben, különösen 1950 és 80 között.

Másfelől a politikai instabilitás szintén alkalmat teremt arra, hogy a gazdaság ebbe a fázisba süllyedjen. Például Oroszországban a Szovjetunió összeomlását követően a tőke látványos koncentrációja játszódott le, az egyenlőtlenség drasztikusan meghaladta a nyugati mértéket. Senki nem tudhatja biztosan az okát, ám a modell azt sugallja, hogy mind a fokozott instabilitás, mind a tőke-újraelosztási lehetőségek hiánya közrejátszhatott ebben. A szovjet korszak után kialakuló társadalmi vákuumban kevés szabály védte a környezetet és garantálta a dolgozók biztonságát, a gazdasági tevékenység tehát kevésbé volt korlátozott, mint nyugaton. A korlátozások hiánya nem csupán környezetszennyezéshez és az emberek elmondhatatlan kizsákmányolásához vezetett, de óriási profitot is hozott egyes vállalkozásoknak, miközben mások összeomlottak. A közgazdászok arra is rámutattak, hogy Oroszországban lassú volt a tőke újraelosztását segítő adóintézkedések bevezetése.^[170] Az adózás a kikényszerített kereskedelem egy formája, aminek hiányában gyorsan növekednek a vagyonkülönbségek.

Ez az egyszerű modell persze nem az utolsó szó, amit a tőkeelosztás magyarázatára vagy annak kezelésére vonatkozó iránymutatásként elmondhatunk. Mindenesetre Bouchaud és Mézard azáltal, hogy rendkívül egyszerű feltevésekből kiindulva az egymásra ható cselekvők hálózatában elkerülhetetlenül fellépő mintázatokat vizsgálták, sikeresen megmagyarázták a gazdasági életben valaha is megfigyelt egyik legalapvetőbb mintázatot. Az ő munkájuk azonban csak egy példa a világ kutató központjaiban napjainkban kialakuló újfajta közgazdaságtanra. Ám megengedi-e egyáltalán az emberi viselkedés korlátozott ismerete, hogy helytálló közgazdasági elméleteket alkossunk? A válasz nyilvánvalóan zengzetes igen kell, hogy legyen. Mindenesetre a gazdasági élet részletei között kevés az előre megjósolható. Talán egész egyszerűen lehetetlen előre megmondani, ki fog meggazdagodni, melyik cég lesz sikeres, aminthogy azt is, hogyan fog mozogni a tőzsde. A gazdasági törvény mintázatai azonban emberek és vállalatok sokaságának szintjén vagy hosszú távú áringadozások statisztikáiban jelennek meg. Mint kiderült, mind a piaci áringadozások, mind az üzleti vállalkozások nagysága a Pareto-

törvényhez hasonló kövér farkú eloszlást követ, és hasonlóan egyszerű magyarázat adható rájuk. Ha valamit az emberi viselkedés szintjén nem tudunk, ez még nem jelenti azt, hogy a gazdaság kollektív működésében sem ismerhetjük.

13. TÚL MINDEN VÉLETLENEEN

Évről évre jobban készen állunk, hogy elérjük mindazt, amiért küzdünk. No de miért is küzdünk?

– Bertand de Jouvenel^[171]

A dolgok sokszor egyszerűbbek, mint amilyenek tűnnek. És nem mindig véletlen, ami annak látszik. Amikor az ember a Bermudák kék vizeiben búvárkodik, és egyszer csak a fogorvosa lányának barátjába ütközik, az nem véletlen. Azon a napon tényleg sok minden másképp alakulhatott volna. Történetesen a konkrét találkozás valóban esetleges volt – véletlen, amelyből semmiféle tanulságot nem lehet levonni. Az ilyen véletlenek mögött azonban meghatározható hajtóerő működik, mert nem csupán néhány ember áll pár kapcsolatnyira egymástól – hanem úgyszólván mindenki. Azokat a *kicsi világ* találkozásokat, amelyek már-már lejátszódnak, ám végül ilyen vagy olyan okból elmaradnak, már észre sem vesszük. Akármelyik nagyváros zsúfolt utcáin legfeljebb néhány kapcsolat választhat el bármely két embert – mind ilyen közel vagyunk egymáshoz. Inkább az a meglepő, milyen ritkán észleljük, hogy kicsi a világ, milyen sokszor gondoljuk, hogy a többiek valójában messze vannak tőlünk.

Másfelől az sem véletlen, hogy az emberi agy huzalozása véletlenül ugyanazt a *kicsi világ* struktúrát mutatja, mint társadalmi hálózatunk, vagy hogy ugyanilyen mintázatok bukkannak fel az Interneten és a világhálón, a nyelv szavainak összekapcsolódásában vagy a világ ökológiai rendszere mögött meghúzódó táplálékhálózatban. Ha ez véletlen lenne, akkor valóban látványos volna. A dolgok azonban *valóban* egyszerűbbek, mint amilyenek tűnnek. Ha a társadalmi hálózatok kulturális és gazdasági események által befolyásolt véletlenek révén növekednek is, ha az agy neuronkapcsolatai a hatékonyság evolúció által rájuk erőltetett követelménynek felelnek

is meg, ha az Internetet a szerencsés véletlenek fonták is össze – miközben persze alkalmazkodott a kereskedelem és technika követelményeihez is –, a világon közös szálak húzódnak végig és kötik össze e különféle hálózatokat.

Duncan Watts és Steve Strogatz felfedezte, hogy elég az egyébként szabályos hálózatba bedobni néhány messzire nyúló kapcsolatot, hogy *kicsi világ* keletkezzen. Barabási Albert és Albert Réka azt ismerte fel, hogy a lehető legegyszerűbb növekedési mintázat – amelyben a leggazdagabbnak, legnépszerűbbnek még több gazdagság és népszerűség adatik – egy némileg más típusú *kicsi világ* hálózathoz vezet. Két egészen egyszerű szabályból számtalan fajta *kicsi világ* fakad – és ez nem véletlen.

Ha a történelemnek az a dolga, hogy a különbségek magyarázatára mondjon el történeteket, a tudomány nagyjából a hasonlóságok felfedezéséről és feltárásáról szól. Vagy Herbert Simon remek megfogalmazásával szólva: „a rendetlen bonyolultságban fellelni értelmes egyszerűséget”. Akár egy új ismerőssel való beszélgetés során, akár a laboratóriumban fedezünk fel hasonlóságokat, az mindig meglepetés – egyszeriben egymástól távol eső tapasztalatokat kapcsolunk össze és mélyebb elvekre bukkanunk. A világot éppenséggel véletlenszerűnek, minden felfedezhető rend nélkül valónak is képzelhetnénk – azonban a tudósok arra jöttek rá, hogy ezzel szemben még a mindent elárasztó rendetlenség közepette is bőséggel található rend.

A bonyolultság tudományának célja pontosan az, hogy mindenféle komplex hálózatban mintázatokat tárjon fel, és megtanítsa bennünket ezt a tudást felhasználni önmagunk és világunk jobbá tételére. E feladat szempontjából központi jelentőségű a *kialakulás* fogalma, az a gondolat, hogy kölcsönhatásban álló elemek bonyolult rendszereiben teljesen magától értelmes rend alakulhat ki. A gazdaságban az Adam Smith-féle láthatatlan kéz és a tőkeeloszlásra vonatkozó Pareto-törvény két jelentős, kialakuló tulajdonságot képvisel. Természetesen e mintázatok felismerése és eredetük megértése csak az első lépés – sokszor azt is tudni szeretnénk, hogyan befolyásolhatjuk őket, a hálózati tulajdonságokat hogyan fordíthatjuk saját javunkra.

Mielőtt lezárnám a könyvet, szeretném röviden összegezni a tárgyalt

hálózati felfedezések néhány tanulságát is. Például milyen tanácsot ad a *kicsi világ* elmélet hatékony szervezetek vagy jól működő közösségek felépítésére? Bizonyára igaz, hogy sokkal közelebb állunk a hálózatelmélet kezdeteihez, mint végéhez, ha egyáltalán lesz ilyen. Néhány gyakorlati tanulság azonban már így is evidens módon levonható.

A kicsi világ haszna

Hálózati szerkezet tekintetében a *kicsi világ* hálózat – éppen a szoros összefonódás révén – nyilvánvaló előnyöket kínál. A számítógéphálózatnál, az idegrendszerben vagy egy vállalat esetében, ahol az embereknek össze kell hangolni tevékenységüket, ez az összekötöttség egymástól távol eső elemek – komputerek, idegsejtek, alkalmazottak – között is gyors kommunikációt tesz lehetővé. Ne felejtsük azonban, hogy a véletlen hálózatok elemeit is csupán néhány lépés köti össze. A *kicsi világ* hálózatokat a kevés lépésből álló összeköttetés mellett erőteljes fürtökbe rendeződésük is megkülönbözteti. Azt mondhatnánk, a hálózat sűrű szövete minden elemet kényelmesen és szorosan a kapcsolatok lokális hálózatába zár. Következésképpen az egész hálózatot olyan szorosan összekapcsolt elemekből álló fürtök sokaságának tekinthetjük, mint amilyen például egy baráti társaság. A csoportok közti néhány gyenge kapcsolat szolgál arra, hogy az egészet *kicsi világban* tartsa össze.

Ha a messzire nyúló kapcsolatok erősen összekapcsolják a hálózatot, a fürtökbe rendeződés számtalan erős köteléket jelent, olyan kontextust, amelybe minden elem szilárdan beágyazódik. A gazdasági élet tekintetében könnyű elképzelni, milyen előnyt jelentenek a messzire nyúló kapcsolatok például a tranzakciók gyorsabbá tételében. A fürtökbe rendeződésnek van egy másik döntő, ha valamivel kevésbé nyilvánvaló hatása is. Az elmúlt néhány évtizedben egyre több közgazdász ismerte fel, hogy az egyének viselkedése nem magyarázható a tiszta és tökéletes racionalitás alapján. Racionális erőinknek szemlátomást megvannak a maguk korlátai. Mégis sok közgazdász kitart amellett, hogy az emberek majdnem mindig mindent megtesznek saját hasznuk érdekében, és

ha nem is egészen racionálisak, mohók és általában nyereségeik maximalizálására törekednek. Mark Granovetter azonban azt hangsúlyozta, hogy még a korlátozott racionalitás szemlélete is figyelmen kívül hagyja a valóságos gazdasági élet egyes központi kérdéseit.^[172]

Granovetter rámutatott, hogy bármely szervezetben, családban vagy baráti csoportban az idők folyamán kialakult kapcsolatok gazdasági következményekkel járó viselkedés forrásaivá válhatnak. Az emberek ritkán viselkednek elszigetelt egyénekként, akik képesek céltudatosan követni elképzeléseiket, többnyire mindenféle egyéb, társas életünkből származó cél és korlát közepette cselekszünk. És a legtöbb ilyen célnak, korlátnak nem sok köze van a gazdasági ésszerűséghez, sokkal inkább számos közös normának, morális értéknek való megfeleléshez. Granovetter később így fogalmazott: „Az emberi együttműködés bármely olyan értelmezése, amely magyarázatait az egyéni érdekekre korlátozza, elvonatkoztat a kapcsolatok olyan alapvető vonásaitól, amelyek nemcsak gazdasági, hanem egyéb cselekedetekre is jellemzőek. Nevezetesen a horizontális kapcsolatok bizalomra és együttműködésre, a vertikálisak hatalomra és engedelmességre épülnek, jóval túl azon, amit az egyéni készlet megmagyarázhat. Bizalom és hatalom ékelődik az érdekek és a cselekvés közé.”^[173] Például amikor előljárónk utasításainak engedelmeskedünk, amikor kihagyunk valamilyen lehetőséget, mert nem volna tisztességes a barátunkkal szemben, és így tovább. Az emberi viselkedés nem pusztán gazdasági jellegű, azok a kapcsolatok és morális értékek, amelyeken nyugszanak, legalább olyan fontosak, mint az egyéni érdekérvényesítés.

Milyen hatással járnak e társas kötelékek? Természetesen számtalan félével. Több, mint harminc évvel ezelőtt például Stanley Milgram mutatott rá az ilyen társas kötelékek következményeire, amikor „tekintéllyel szembeni engedelmeség” kísérleteinek lehangoló eredményeit próbálta magyarázni. Egyénekként legtöbbször semmiképpen nem volnánk hajlandóak egy ártatlan embert kínozni. Születésünktől fogva arra szocializálódtunk, hogy ez elfogadhatatlan. Ám Milgram önkéntes kísérleti résztvevői nem voltak elszigetelt egyének. Azáltal, hogy vállalkoztak a

kísérletvezetővel való együttműködésre, mindannyian beléptek egy társas hálózatba, e sorsdöntő lépés következményei pedig nagyobbak voltak, mintsem el tudták képzelni.

A társas élet nagyrészt a tekintélykapcsolatok megkérdőjelezhetetlen elfogadásából meríti a hatékonyságát. Egyetlen katonai egység sem működhetne, ha mindenki kizárólag a saját szakállára cselekedne – a katonai kiképzés valójában nagyrészt abból áll, hogy elfogadtassa, az ember csupán fogaskerék egy közönséges hierarchikus struktúrákból fölülről irányítható nagy egészben. Tekintélykapcsolatok hasonlóan központi szerepet játszanak a családokban, üzleti vállalkozásokban, kormányokban, iskolákban és másutt is, ahol a tekintély pontosan meghatározott és elfogadott határai előmozdítják a hatékonyságot és minimális szinten tartják a személyek közti súrlódást. Az egyén szempontjából azonban ennek ára van, mert ha elfogadja a helyét egy ilyen hálózatban, bizonyos mértékben szükségképpen átengedi egyéni befolyását, és lemond személyes autonómiájáról, hogy a csoport működni tudjon.

Következésképpen, jegyzi meg Milgram, kísérleti alanyainak ijesztő mértékű parancskövető magatartása egyszerűen csak azt tükrözi, hogy az ember a csoportéltre szocializálódott. Amint Milgram a kísérletre utalva megjegyezte: „Aki belép egy tekintélyrendszerbe, már nem úgy tekint önmagára, mint saját céljainak megvalósítójára, hanem mint aki egy másik személy kívánságait hajtja végre. Mihelyt az ember így tekint saját cselekedeteire, viselkedése és belső működése mélyen megváltozik. Mindez olyan kifejezetté válik, hogy azt mondhatjuk, megváltozott attitűdje révén az egyén teljesen más állapotba kerül, mint amilyenben a hierarchiához való csatlakozás előtt volt.”^[174] Természetesen az ilyen társas beágyazottság következményei – ami hálózati hatás, ha egyáltalán lehet ilyenről szó – semmiképpen sem mindig – vagy akár többségében sem – negatívak. Másik hálózati hatás, amelyet nemrégiben az amerikai politológus, Francis Fukuyama vizsgált, az úgynevezett társadalmi tőke felhalmozódása. Ezt a kifejezést legelőször James Coleman szociológus használta a gazdasági siker egy olyan meghatározó tényezőjére utalva, amelyet a hagyományos közgazdaságtan teljességgel kihagyott a képből. Fukuyama azt állította, hogy egy

nemzet, egy közösség vagy egy vállalat gazdasági versenyképességét döntően befolyásolja a tagjai közt eredendően meglévő bizalom. A bizalom a társadalmi tőke kibogozhatatlanul bonyolult formája, mely utóbbit Fukuyama így definiál: „olyan képesség, amely a társadalomban vagy annak valamilyen részében uralkodó bizalomból ered. Megtestesülhet a legkisebb, legalapvetőbb társadalmi csoportban, a családban éppúgy, mint a létező legnagyobb csoportban, a nemzetben, és a kettő között minden más csoportban. A társadalmi tőke különbözik az emberi tőke más formáitól, amennyiben rendszerint kulturális mechanizmusok, vallás, hagyomány vagy történeti szokás teremti meg és közvetíti.”^[175] Elnagyolt megfogalmazással a társadalmi tőke az embereknek az a képessége, hogy a bizalom, egymás ismerete és megértése alapján könnyen és hatékonyan tudnak együtt dolgozni. Jelentősége abban rejlik, hogy tranzakciók hatékony hálózatát képes létrehozni. Például olyan vállalatok hálózatában, amelyeknek munkatársai társadalmi tőkével bíró hálózatokba kapcsolódnak, a jogi érvénnyel bíró szerződések megkötésének költségei csökkennek. A közös normák, célok stb. folytán könnyebben és gyorsabban jutnak döntésekre. Különös módon úgy tűnik, a társadalmi tőke szoros kapcsolatban áll a fűrtképződés matematikai tulajdonságával, amivel a hálózati architektúrák feltárásánál találkoztunk.

A társadalom teljessége

Egy fűrtökbe rendeződött hálózatban az emberek közti kapcsolatok többsége erős kapcsolat, amelynek története van, és amelyeket gyakori interakciók tartanak össze. Mi több, a hálózaton belül az emberek nagy hányada részt vesz ilyen kapcsolatokban. Ez érvényes akár barátok, akár munkahelyi kollégák, egy egységben szolgáló katonák hálózatáról van szó – a közös élmények és időbeli közelség közös normákat és morális együttérzést alakítanak ki. Például egy szervezetben az új alkalmazott az által tanul bele a dolgába, hogy a vele együtt dolgozó alkalmazottak viselkedési mintáit utánozza. A legtöbbet talán is nem explicit utasítások, hanem nem verbális kommunikáció útján sajátítja el, ahogy kezdi

megismerni a kollégák viselkedését és a szervezet működését.

Általában a normák és elvárások ebből adódó megosztása elősegíti a szervezet céljainak elérését. Végül is a csoport tagjai nagy számú viselkedési elvben osztoznak, ami számtalan tranzakciót hatékonyabbá tesz. Vagyis egy társas hálózat fűrtökbe rendeződésének pusztá ténye rendszerint másképpen nem pótolható társas tőke felhalmozódását szolgálja. Milyen következményekkel jár ez? Ha hihetünk Fukuyamának, értékes hatásokkal, sok esetben ezek döntik el, hogy egy gazdasági vállalkozás sikeres lesz-e. Néhány példával megvilágíthatjuk ezt az állítást.

Fukuyama német és francia gyárak szervezetét és dolgozóinak viselkedését hasonlította össze. Németországban egy művezető a keze alatt dolgozók többségének vagy akár mindegyikének a munkáját ismeri és el is tudja végezni. Szükség esetén nincsenek skrupulusai, odaáll, és maga veszi kézbe a munkát. A művezető nem csupán felügyeli a munkát, hanem a csoport szerves része és bizalommal bíró tagja. Saját tapasztalata és munkájuk megfigyelése alapján értékeli a dolgozókat, és képes más feladatra átállítani őket, hogy ezáltal javítsa a hatékonyságot.

Ezzel szemben egy francia gyárban a művezető kapcsolata a dolgozókkal általában formálisabb és kevésbé hatékony, mert kevésbé alapul a bizalom megalapozott formáján. Történeti és kulturális okokból a franciák nemigen bíznak abban, hogy feljebbvalójuk becsületesen értékeli a munkájukat. Párizsban valamelyik minisztérium számos szabályban írja elő, mit mindent tehet meg egy művezető, és mit nem. Nem állíthat át például egy dolgozót más munkára, ezt pedig a hatékonyság szükségképpen megsínyli. A bizalomkapcsolatok hiánya lehetetlenné teszi, de legalábbis gátolja a csapatmunka érzésének kialakulását, ami ellenállást vált ki az új, hatékonyabb termelési eljárásokkal szemben. A társadalmi tőke sok szempontból képessé teszi a csoportot arra, hogy önálló csapatként együtt tudjon dolgozni, készségesen, anélkül, hogy a részvételt jogilag kikényszeríthető normák és szabályozások írják elő, amely igény már önmagában a hatékonyság hiányát jelzi. Egy munkahelyen a társadalmi tőke hiányát többnyire megszenvedti a hatékonyság, a szervezet tanulási

és a piachoz való alkalmazkodási képessége. Ugyanez a hiány megnehezítheti egy közösség jólétének előmozdítását, ha viszont a társadalmi tőkét intelligens módon ápolják – néha pusztán azáltal, hogy embereket mesterségesen fürtökbe kapcsolnak össze – megdöbbenő fejlődésnek lehetünk tanúi.

Vegyük például az úgynevezett Grameen-hitel briliáns, egészen újszerű ötletét, amelyet egy bangladesi közgazdász, Muhammad Yunas talált ki abból a célból, hogy segítsen a szegényeknek kölcsönökhöz jutni.^[176] A szegények általában minden hitelintézet számára nagy kockázatot jelenlenek. Nehezen kapnak kölcsönt, hogy vállalkozásba kezdhessenek, egyetemre járjanak vagy bármilyen lépést tehessenek szegénységük enyhítésére. Yunas ötlete abban állt, hogy az embereket fürtökbe kapcsolta – aki kölcsönt kíván felvenni, belép egy öttagú hitelfelvevő csoportba. A csoport együttesen vállal felelősséget, hogy bármely tagjának kölcsönét visszafizeti, és senki nem kaphat újból hitelt, ha a csoport kudarcot vall.

A tagok kiépülő kapcsolatai, akik közül egyesek már jóval azelőtt ismerhették egymást, hogy egyáltalán kölcsönre gondoltak volna, sokkal erősebbek, és jórészt bizalomra, tapasztalatokra, kölcsönös értékekre alapulnak. Ezek a kapcsolatok sokkal erőteljesebbek és tartósabbak, mint amilyen valószínűleg bárkit egy hitelintézethez fűz. Mi több, a tagok közti szabad és bensőséges információcsere azt jelenti, hogy ha bárkinek van egy jó ötlete a csőd elkerülésére és a hitel sikeres visszafizetésére, azt a többi is fel tudja használni. A fürtökbe rendeződő csoport sűrű szövésű szerkezete révén több részeinek összegénél, és ez Bangladesben oda vezetett, hogy a hitel-visszafizetési arány 97 százalékra emelkedett.

A társadalmi tőke jelentőségére már számtalanszor rámutattak, és főként verbális érvekkel támasztották alá. Ennek következtében számos közgazdász, köztük Yunas kezdte komolyan venni azt, hogy a gazdasági tevékenységet nem pusztán a mohó egyéni érdek vezérli. A társadalmi élet lényeges vonásai adják meg a hatékony gazdasági tevékenység főbb szervezeti alapjait. Mindenesetre különös, hogy a fürtökbe rendeződés tulajdonsága, amely számos valóságos hálózatban oly természetesen megjelenik, megteremti a társadalmi tőke keletkezésének feltételeit. A *kicsi világ* elmélet

technikáival lehetőségessé vált a szociológusok és az üzletemberek számára, hogy elkezdjék mérni, sőt, bizonyos intézkedésekkel talán elő is segíteni azt.

Másfelől a túlságosan erős fürtökbe rendeződésnek hátrányai is vannak, amint Granovetter álláskereső-vizsgálata rámutatott. Aki benne él egy fürtben, az védett a másfajta normáktól, ám az igazán újszerű gondolkodásmódoktól, viselkedési mintáktól, információktól is. Barátok hálózatában nem túl hatékony dolog újtjára indítani egy olyan üzenetet, hogy állást keresek, mert azt a barátok kis idő múlva már másodszor, harmadszor fogják hallani. Ahhoz, hogy nagy számú, elsősorban különböző iparágak, vállalatok, vidékek információihoz hozzájutó embert elérjünk vele, a különböző fürtöket összekapcsoló messzire nyúló kapcsolatokat kell igénybe venni. Az összekötők, vagyis a sok gyenge kapcsolattal rendelkező emberek ugyanilyen szerepet játszanak, sokszor különálló, erősen összekapcsolt fürtöket segítenek összekötni. Amint látni fogjuk, az ilyen gyenge kapcsolatok hiánya drámai következményekhez vezethet.

Nem is olyan csekély következmények

A szociológusok régóta értetlenül állnak azelőtt, hogy egyes közösségek vagy szervezetek képesek erőforrásaik hatékony mozgósításával reagálni a krízishelyzetekre, mások viszont nem. Kétségtelen, hogy minden egyes helyzet rendkívül bonyolult, amelyben egyedi személyiségek és különleges, csak arra jellemző körülmények is szerepet játszanak. Ám a *kicsi világ* társadalmi architektúra – vagy annak hiánya – szintén jelentős tényező lehet.

Az 1960-as évek elején a bostoni West Endet a városi újjáépítés jegyében nagyszabású lebontásra jelölték ki. A nagyrészt olasz munkásosztálybeli közösség reakcióját vizsgálva Herbert Gans szociológus azt figyelte meg, hogy miközben a közösség társadalmilag összetartónak látszott és a bontási tervektől egységesen és nagymértékben elborzadt, paradox módon mégis képtelen volt összehangoltan felsorakozni a helyi vezetők mögött.

[177] Gans ezt szembeállította több más, látszólag hasonló munkásosztálybeli közösséggel, amelyek hasonló próbatételnek

kitéve sikeresen megszervezték magukat, és eredményesen léptek fel. Az egyik ilyen eset szintén Bostonban történt, a Charlestown nevű környéken. Vajon mi indokolhatja a különböző reakciókat Boston e két környékén?

Gans eredeti magyarázata az volt, hogy a munkásosztálybeli kultúra gyanakvóvá tette a közösség tagjait az önjelölt vezetőkkel szemben, és vonakodva vettek részt abban a politikai szervezetben, amely esetleg segíthetett volna. A gyenge kapcsolatok erejével foglalkozó eredeti tanulmányában Granovetter egy másik, talán egyszerűbb magyarázatra mutatott rá amely a hálózati szemléletre és a közösség összetartásában a gyenge kapcsolatok döntő szerepére épült. Granovetter úgy vélte, a bostoni West Enden valószínűleg az történhetett, hogy „a környék összetartó, egymástól azonban nagymértékben elkülönült hálózati fürtökből állt, és éppen ez a széttöredezettség nehezítette meg a szerveződést, függetlenül az egyéni szándékoktól”.

Valójában, visszatérve az esemény Gans általi eredeti leírásához, Granovetter azt találta, hogy a lokális fürtök sikerrel mozgósították az embereket, csak éppen az együttműködés nem terjedt ki az egész közösségre. Úgy tűnik, a különböző részközösségekben nem voltak összekötők vagy gyenge kapcsolatokkal rendelkező egyének, akik a közösség különálló részeit összekapcsolva az egész csoportot összekötötték volna. A kötelékek hiánya magyarázhatja, miért nem fejlődött ki bizalom a vezetők, különösen a más részközösségekben kiemelkedett vezetők iránt. Ha az ember tudja, hogy egy barátjának a barátja találkozott és beszélt ezzel a vezetővel, létesült egy rövid lánc, amely kettejüket összeköti. Az ilyen láncok úgy hatnak, hogy kevésbé gyanússá teszik e vezetők szándékait és motivációit, mert „az embernek van lehetősége, hogy a láncon keresztül befolyást gyakoroljon, és ez csökkenti az önjelöltséget”.^[178]

Amint Granovetter is elismeri, nehéz elképzelni, hogy a közösségben ne lettek volna gyenge kapcsolatok. Ám Zanette járványok kitörésére vonatkozó modellje ugyanolyan érvennyel vonatkozhat a közösségi cselekvést mozgósító szóbeszédre és információk terjedésére is. Amennyiben a gyenge kapcsolatok sűrűsége egy küszöb alatt marad, megtörténhet, hogy az információ

sohasem jut túl a népesség egy kis hányadán. Ha ez a magyarázat helytálló, a közösséget összetartó gyenge kapcsolatok hiánya vezetett annak a bizalomnak és társadalmi tőkének a hiányához, amely potenciálisan megmenthette volna a közösséget. Még ha nem is pontosan ez történt Bostonban, a példa jó illusztrációval szolgál az állítás szemléltetésére: valami ilyesmi könnyen megtörténhetett volna. A *kicsi világ* hatások valóságos következményekkel járnak.

Tulajdonképpen valami hasonló helyzet játszhatott közre Silicon Valley sikerességében, szemben Boston város 128. országúti fejlett technológiai területével. Az 1970-es években ez a két terület többé-kevésbé egyenlő eséllyel vetélkedett azért, hogy az Egyesült Államok technológiai központjává váljon. Később a Silicon Valley cégei, a Sun Microcomputer, a Hewlett-Packard és a Silicon Graphics nyertesként kerültek ki a küzdelemből, amíg bostoni vetélytársaik, a Digital Equipment, a Prime Computer és az Apollo Computer vagy feloszlott, vagy mások felvásárolták. Miért így és nem amúgy alakult a csúcstechnológiai verseny? És vajon az eredmény követte a régióhatárokat? Analee Saxenian szociológus véleménye szerint a legdöntőbb tényezők közé számított, hogy a gondolatok, a tőke, az emberek nem csupán vállalatokon belül, de az egyes vállalatok között is könnyűszerrel áramolhattak.^[179]

Konkurens szervezetek tagjai között rendszerint kevés a bizalom. Silicon Valleyben viszont a különböző cégek kivételesen szívesen együttműködtek. A dolgozók gyakran változtattak állást, így különböző cégek alkalmazottai sokszor dolgoztak együtt korábban, a számítógépes szakemberek kultúrájában többet számított a technikai együttműködés és előrehaladás, mint a cégűség vagy a magasabb fizetés. Ez talán Bostonban is így volt, ám Silicon Valleyben a vállalatok szívesen támaszkodtak a céghatárokon átnyúló fontos személyes kapcsolatokra. A nyitott, bohém kaliforniai kultúra is sokat számított, szemben New England zártabb tulajdonosi szemléletével. Bostonban a gondolatok és emberek cserélődéséből fakadó hiány végül is a termelékenység és a gyors reakcióképesség kárára ment, ami életveszélyes hiba a csúcstechnológia gyorsan változó világában.

Másik példaként a Fiat és az Alfa Romeo olasz autógyárakat említhetjük, amelyeknek az 1970-es, 80-as években hasonló

átszervezést kellett végrehajtaniuk a költségcsökkentés és a termelékenység növelése érdekében. A Fiat ezt úgy tette meg, hogy közben küzdött a szakszervezetek befolyása ellen, amíg az Alfa Romeo kiegyensúlyozottabb tárgyalásokat folytatott, amelyek mind a munkaerő, mind a vezetés szempontjából hasznosnak bizonyultak. Az Alfa Romeo módszere kívánatosabb, de hogyan sikerült ezt kiviteleznie a vállalatnak? Richard Locke szociológus szerint a végeredmény a két cég székhelyét adó Torino és Milánó társadalmának hatalmi szerkezetében mutatkozó különbségekre vezethető vissza.^[180]

A *kicsi világ* hálózat a társadalom szempontjából tehát a fürtökbe rendeződés, valamint a különálló fürtöket összekapcsoló gyenge kapcsolatok jótékony elegye. A fürtök sűrű szövésűvé teszik a társadalom szövetét, és elősegítik a társadalmi tőke képződését, ami viszont növeli a döntéshozatal hatékonyságát. Ugyanakkor a gyenge kapcsolatok társadalmi értelemben mindenkit közel visznek egy igen nagy közösség többi tagjához, aminek révén hozzájuthat a nagyobb szervezet különböző információihoz és javaihoz. A szervezeteknek és közösségeknek talán tudatosan a *kicsi világok* elvei szerint kellene építkezniük.

És valóban, a *kicsi világ* gondolata mintha valami még mélyebb felismerést igyekezne kifejezni arról, hogyan kell élni egy összetett világban. Lényegét az a gondolat adja, hogy ha túlságosan nagy a rend és túl jól ismerjük környezetünket, az éppoly káros, mint a túlzott rendetlenség és újdonság. Inkább finom egyensúlyt kell találnunk a kettő között.

Egyszerű bölcsesség

Sajátságos módon az e könyvben tárgyalt munkák nagy része fizikusok nevéhez fűződik, ám olyan területeken, amelyeket általában nem tekintünk fizikának, mint a társas és számítógépes hálózatok, sejtek biokémiája vagy a közgazdaságtan. Ebben a tekintetben azonban fejlődik a fizika. Miközben valamikor csak az anyagot és az alapvető fizikai törvényeket tanulmányozta, mára továbblépett, és mindenféle szerveződés vizsgálatát tárgyának tekinti. A kialakulási folyamat minden formájának vizsgálata korunk

egyik legfontosabb tudományos vállalkozása, és a következő évszázadban is az marad. Két kiváló fizikus jegyezte meg nemrégiben, hogy „Az elméleti fizika központi feladata korunkban már nem az, hogy felírja a legáltalánosabb egyenleteket, hanem, hogy katalogizálja és megismerje a kialakulás folyamatát annak számos formájában, mint amilyen többek közt potenciálisan maga az élet is. Az elkövetkező évszázad ilyen fizikáját a komplex alkalmazkodó anyag kutatásának nevezzük... Ma a redukcionizmussal szorosan összefonódó múltbeli fizikától a komplex alkalmazkodó anyag kutatásáig vezető átmenetnek vagyunk tanúi..., amely remélhetőleg ugródeszkaként szolgál majd új felfedezések, új fogalmak, újfajta bölcsesség megszerzéséhez.”^[181]

Ezen újfajta tudomány művelésének középpontjában az a felismerés áll, hogy a világ számtalan tekintetben egyszerűbb, mint amilyennek látszik. A javak oly heves politikai vitát kiváltó eloszlása nem ezernyi tényező kusza versengésén, hanem a véletlenszerű növekedés egyszerű folyamatán alapul. Kiderült, hogy ez a folyamat matematikai szempontból majdnem megegyezik az Internet növekedésével, ahol a legnagyobb számú kapcsolattal rendelkező oldal a többinél gyorsabban gyűjt be újabb kapcsolatokat. És ez is majdhogynem megegyezik az üzleti cégek vagy városok növekedési folyamataival, ezért is találhatták úgy a kutatók, hogy mind a vállalatok, mind a városok nagyság szerinti eloszlása Pareto egyszerű törvényének felel meg. Megfelelő nézőpontból tekintve a világ számos vonatkozásban egyszerűbb, mint amilyennek tűnik.

Maga a *kicsi világ* gondolata is rendkívül egyszerű. Nem kell más hozzá, csak néhány messze nyúló kapcsolat vagy rendkívül erősen összekapcsolt centrum, és már meg is van a *kicsi világ*. Kétségtelenül ez az egyszerűség az oka, hogy ez a fajta hálózat az emberi agytól az embereket társadalommá összekapcsoló kapcsolatokig vagy a nyelvig, amelyen beszélünk és gondolkodunk, minden architektúrában megjelenik. Hogy a *kicsi világ* gondolata hová vezet el bennünket öt-tíz év múlva, csak találgatni lehet, ám nagyon sokat tanulhatunk belőle arról is, hogy maguk a gondolataink hogyan kapcsolódnak egymáshoz, hogyan függhetnek olyan szorosan össze a biológiai, számítógép-tudományi, szociológiai és fizikai felfedezések, és hogyan juthatunk néhány lépésben a

malajziai szentjánosbogarak kutatásától tudományszerte új felfedezésekhez. És talán ez sem pusztán véletlen.

JEGYZETEK

¹ Henri Poincaré: *La science et l'hypothèse*. (Tudomány és hipotézis.) Flammarion, Paris, 1902, Bevezetés.

² Karl Popper: *The Poverty of Historicism*. (A Historicismus nyomorúsága.) ARK Kiadó, London, 1957.

³ Herbert Simon: *Models of My Life*. (Példaképeim.) Basic Books, New York, 1991.

⁴ John Guare, *Six Degrees of Separation: A Play*. (Hatlépéses távolság. Dráma.) Vintage, New York, 1990.

⁵ A tudósok korábban úgy gondolták, minden egyes gén pontosan egy fehérje felépítéséhez szükséges utasításokat tartalmaz, az utóbbi években azonban a biológusok másképp vélekednek. A géneket leolvasó és a fehérjét felépítő sejtmechanizmus képes a *váltott összesodrás* trükkjére, amelynek során szelektív módon hagyja figyelmen kívül, vagy változtatja meg az olvasott információt. A németországi Max-Delbrück Molekuláris Gyógyászati Központban dolgozó Peter Bork (személyes közlés) szerint ez a trükk legalább a gének felében lejátszódik, így egyikük-másikuk száznál is több (noha legtöbbször csak két vagy három) különböző fehérje előállítására képes.

⁶ Peter Yodzis: Diffuse Effects in Food Webs. (Diffúz hatások a táplálékhálózatokban.) *Ecology*, 81, 261-266 (2000).

⁷ Ivor Grattan-Guinness: *History of Mathematics*. (A matematika története.) Harper Collins, London, 1977.

⁸ Duncan J. Watts és Steven H. Strogatz: Collective Dynamics of „Small-World” Networks. (A „kicsi világ” hálózatok kollektív dinamikája.) *Nature* 393, 440-442 (1988).

⁹ Thomas Blass: Stanley Milgram: A Life of Inventiveness and Controversy. (Egy felfedezésekkel és vitákkal teli élet.) In G.A. Kimble, C.A. Boneau és M. Wertheimer (szerk.): *Portraits of*

Pioneers in Psychology. (A lélektan úttörőinek arcképcsarnoka.) 11. kötet, American Psychological Association. Washington D.C., 1996.

¹⁰ Stanley Milgram: The Small-World Problem. (A 'kicsi világ' probléma.) *Psychology Today*, 1, 60-67, (1967).

¹¹ Stanley Milgram: *Obedience to Authority*. (A tekintéllyel szembeni engedelmesség.) Tavistock Publications, London, 1974, 22. o.

¹² U.o. 23. o.

¹³ Elérési címe: <http://www.imdb.com>

¹⁴ Gráf és grafikon angolul egyaránt: graph (*a ford.*)

¹⁵ Stanley Milgram: *Obedience to Authority*. (A tekintéllyel szembeni engedelmesség.) Tavistock Publications, London, 1974, 30. o.

¹⁶ Paul Hoffman: *The Man Who Loved Only Numbers*. (Az ember, aki csak a számokat szerette.) Fourth Estate, London, 1998, 7. o. Humoros, élvezetes ismertetés Erdős Pál életéről és matematikai munkásságáról.

¹⁷ U.o., 6. o.

¹⁸ Jerrold Grossman matematikus külön weboldalát tart fenn az Erdős Pál kicsi világának társszerző-gráfjára, amelynek címe: <http://www.oakland.edu/~grossman>.

¹⁹ Hoffman: *The Man Who Loved Only Nürnberg*. 45. o.

²⁰ A általános matematikai eredmény a következő: N csúcs esetén az egész hálózatot egyetlen „óriási komponenssé” összekapcsoló csúcsok aránya $\ln(N)/N$, ahol $\ln(N)$ az N természetes alapú logaritmus. A hányados N növekvésével egyre csökken.

²¹ Mark Granovetter: The Strength of Weak Ties. (A gyenge kötelékek ereje.) *American Journal of Sociology*, 1973. 78. sz. 1360-1380. o.

²² U.o., 1373. o.

²³ Anatol Rapoport és W. Horvath: A Study of a Large Sociogram. (Egy nagyméretű szociogram vizsgálata.) *Behavioral Science*, 1961. 6. sz. 279-291. o.

²⁴ Mark Granovetter: The Strength of Weak Ties: A Network Theory Revisited. (A gyenge kötelékek ereje: visszatérés a

hálózatok elméletéhez.) *Sociological Theory I*, 1983. 203-233. o.

²⁵ Pólya György: *How to Solve It*. Princeton University Press, Princeton, 1957. Magyarul: *A gondolkodás iskolája*. Bibliotheca, Budapest, 1957. Akkord Kiadó, 2000. ford. Lakatos Imre.

²⁶ John Tierney: Paul Erdős Is in Town. His Brain Is Open. (Erdős Pál a városban jár, és nyitva az agya.) *Science*. 84. o.

²⁷ H.M. Smith: Synchronous Flashing of Fireflies. (A szentjánosbogarak szinkronizált felvillanásai.) *Science*, 1935. 82. sz. 151. o.

²⁸ Renato E. Mirollo-Steve Strogatz: Synchronization of Pulse-Coupled Biological Oscillators. (Pulzuscsatolt biológia oszcillátorok.) *SIAM Journal of Applied Mathematics*, 1990. 50. sz. 1645-1662. o.

²⁹ Watts és Strogatz valamivel pontosabban meghatározta a csoportosodás, illetve az összeköttetési távolság fokszámát. Képzeljünk el valamely pontot egy hálózatban – nevezzük X-nek –, és gondoljunk mindazokra a pontokra, amelyekkel X közvetlenül össze van kötve. Elvben lehetséges, hogy mindezen pontok egymással is össze legyenek kötve. Ha minden egyes pár össze lenne kapcsolva, akkor X szomszédsága erősen csoportosodott lenne, ami nagyon is elképzelhető. Olyan ez, mintha az ember minden barátja kivétel nélkül egymással is barátkozna. A valóságban a legtöbb hálózatban X közvetlen szomszédainak csak egy hányada kapcsolódik egymáshoz. Ez a 0 és 1 közé eső számmal jelölt arány jól méri, mennyire csoportosodott X szomszédsága. Az egész hálózat csoportokba rendezettségének méréséhez minden egyes pontra elvégezzük ezt a számítást, majd ezek átlagát vesszük.

Az összeköttetési távolságra Watts és Strogatz hasonló definíciót használt. Válasszunk ki két pontot bárhol a hálózatból, és számoljuk ki, hogy legrövidebb úton hány lépésben lehet eljutni egyiktől a másikig! Ez lesz a két pont távolsága. A számítást itt is minden egyes pontra elvégezzük, és ezek átlagát vesszük. Ez a hálózat összekapcsolási távolsága, két pont összekötéséhez szükséges átlagos lépésszám.

³⁰ Az egyik máig megoldatlan fő kérdés a szentjánosbogárpopuláción belüli felvillanási gyakoriság változékonysága. Úgy tűnik, egy szentjánosbogár-közösség könnyebben össze tud hangolódni,

ha magukban is nagyjából egy frekvencián villannak fel. Ha a természetes felvillanási gyakoriságaik túl nagy a szóródást mutatnak, az kiolthatja a szinkronizációra vezető erőket. Érdekes módon a különböző fajoknál különbözik a szórás mértéke, talán ez magyarázza, hogy egyes fajok képesek összehangolódni, mások nem. Lásd: Ivars Peterson: Step in Time. (Időlépések.) *Science News* 1991. 140. sz. 136-137. o.

A tapsolás kérdése még érdekesebb. A taps összehangolódása rendszerint néhány másodperccel azután bekövetkezik, hogy a felcsendülő taps az előadás végét jelzi. Vizsgálatok kimutatták, hogy a szinkronizáció bekövetkeztével a frekvencia is spontán módon a felére esik – az emberek fele olyan szaporán tapsolnak, mint addig. Ennek oka szintén a szóródásban keresendő. Kísérletek jelzik, hogy a lassú tapsolók frekvenciájának változékonysága kisebb a gyorsakénál. Hangfelvételek tanúsítják azt is, hogy az összehangolódott taps egy idő után hajlamos felgyorsulni, hogy nagyobb zajt csapjon. Ezáltal pedig nő az egyes tapsolók frekvenciájának szóródása és idővel kiesnek a szinkronból. A tömeg természetes módon váltogatja a ritmikus és aritmikus tapsot. Lásd: Néda Zoltán-Ravasz Erzsébet-Yves Brechet-Vicsek Tamás-Barabási Albert-László: Self-Organizing Processes: The Sound of Many Hands Clapping. (Önszerveződő folyamatok: Hogyan szól több tenyér, ha csattan?) *Nature*, 2000. 403. sz. 849-850. o.

³¹ Duncan J. Watts – Steven Strogatz: Collective Dynamics of 'Small-World' Networks. (A kicsi világ hálózatok kollektív dinamikája.) *Nature*, 1998. 393. sz. 440-442. sz.

³² Manfred Eigen: *The Physicist's Conception of Nature*. (Az orvos természetfelfogása.) szerk, Jagdish Mehra, Reidel, Dordrecht, 1973.

³³ Franz Joseph Gallnak 1788-ban barátjához, Joseph von Retzerhez írott leveléből. Lásd The History of Phrenology on the Web, John van Wyhe által fenntartott remek weboldalt a <http://www.jmvanwyhe.freemove.co.uk> címen.

³⁴ U. o.

³⁵ W. Scannell, *Nature*, 1997. 386. sz. 452. o.

³⁶ Vito Latora – Massimo Marchiori: *Efficient Behavior of Small-World Networks*. (Kicsi világ hálózatok hatékony működése.) 2001. január 25. (ez, és több más dolgozat online elérhető a fizikus-közösség „nyomtatás előtti” archívumából, amelyet jelenleg a Los Alamos National Laboratory tart fenn a <http://xxx.lanl.gov/> weboldalon. Ez a dolgozato a <http://xxx.lanl.gov/cond-mat/0101396> címen érhető el. A továbbiakban az ilyen jellegű dolgozatokat az „arXiv” rövidített hivatkozással jelölöm, ami erre a forrásra utal.)

³⁷ Miguel Castelo-Branco – Rainer Goebel – Sergio Neuenschwander – Wolf Singer: Neural Synchrony Correlates with Surface Segregation Rules (A neuronok szinkronitása korrelál a felszíni szétválasztási szabályokkal). *Nature*, 2000, 405. sz. 685-689. o. Lásd még Marina Chicurel: Windows on the Brain (Ablakok az agyra). *Nature*, 2001. 412. sz. 266-268. o.

³⁸ Kate MacLeod – Alex Bäcker – Gilles Laurent, *Nature*, 1988. 395. sz. 693. o.

³⁹ Luis F. Lago-Fernández – Ramón Huerta – Fernando Corbacho – Juan Sigüenza: Fast Response and Temporal Coding on Coherent Oscillations in Small-World Networks (Gyors válasz és a koherens oszcilláció feletti időbeli kódolás a kicsi világ hálózatoknál). arXiv:cond-mat/9909379, 1999. szeptember 27.

⁴⁰ Szókratész, idézi Anthony Gottlieb: *The Dream of Reason*. (Az értelem álma.) Allen Lane, London. 2000, 28. o.

⁴¹ Eric Temple Bell, idézi Allan Mackay: *A Dictionary of Scientific Quotations*, (Tudományos idézetek tára.) IOP Publishing, London, 1991.

⁴² A magyar Bolyai János sajnos nincs a szerző látókörében (a szerk.)

⁴³ Gérard Bricogne, idézi: Allan Mackay: *A Dictionary of Scientific Quotations*. (Tudományos idézetek tára.) IOP Publishing, London, 1991, 39. o.

⁴⁴ William J. Jordan: Soviets Claiming Lead in Science. (A szovjetek elsőbbségre törnek a tudományban.) *New York Times*, 1957, október 5.

⁴⁵ Katie Hatfield – Matthew Lyon: *Where Wizards Stay Up Late: The Origins of the Internet*. (Ahol a varázslók későn fekszenek: Az

Internet kialakulása.) Touchstone, New York, 1996, 22. o.

⁴⁶ Paul Baran: *Introduction to Distributed Communication Networks*. (Bevezetés az osztott kommunikációs hálózatokba.) RM-3420-PR jelentés, RAND Corporation, Santa Monica, Calif., 1964. augusztus.

⁴⁷ Hatfield-Lyon: *Where Wizards Stay Up Late*.

⁴⁸ Bernardo Huberman – Peter Pirolli – James Pilkow – Rajan Lukose: Strong Regularities in World Wide Web Sorting. (Erős szabályosságok a Világhálós rendezésben.) *Science*. 1998, 280. sz. 95. o. A Palo Alto Research Centerben működő Xerox Internet Ecological Division honlapja (<http://www.park.xerox.com/isll/groups/iea/dynnmics.shtml>).szintén megér egy látogatást.

⁴⁹ Peter Drucker: Beyond the Information Revolution. (Túl az Információs Forradalmon.) *Atlantic Monthly*, 1999. október, 284. sz. 47-57. o.

⁵⁰ IBM's Gerstner Speaks on e-commerce. (Az IBM-es Gerstner beszél az e-kereskedelemről.) *Newsbytes News Network*, 1998. március 19.

⁵¹ Les Alberthal: The Once and Future Craftsman Culture. (Az egykori és a jövőbeli mesterember kultúrája.) In Derek Leebaert (szerk): *The Future of the Electronic Marketplace*, (Az elektronikus piac jövője.) MIT Press, Cambridge, 1998.

⁵² Peter Fingar – Harsha Kumar – Tarun Sharma: 21st Century Markets: From Places to Spaces. (21. századi piacok, a vásárcsarnoktól a világúrig.) *First Monday*, 1999. december, 4. sz. Online elérhető a http://firstmonday.org/issues/issue4_12/fingar/index.html címen.

⁵³ Michael Faloutsos – Pwetros Faloutsos – Christos Faloutsos: On Power-Law relationships of Internet Topology. (Az Internet topológia hatványfüggvény-összefüggései.) *Computer Communication Review*, 1999, 29. sz. 251. o.

⁵⁴ Lásd Albert Réka – Barabási Albert-László: Statistical Mechanics of Complex Networks. (Komplex hálózatok statisztikus mechanikája.) *Review of Modern Physics*, megjelenés alatt.

⁵⁵ Gyakorlati szempontból a Faloutsos-vizsgálat az Internetet túlnyomórészt a domainek szintjén elemezte. Akár privát felhasználók, akár egy szervezet tagjai vagyunk, számítógépünk eredetileg egy router (útvonal-kijelölő) számítógéphez csatlakozik. Ebből a routerből és a hozzá csatlakozó számítógépekből áll a local area network (helyi hálózat). Maga a router azután más routerekből álló hálózathoz kapcsolódik, ez a domain (terület). Vagyis a domain lényegében routerek hálózata. Azonban egy domainen belül legalább néhány router más domainek routerjeihez is kapcsolódik. Következésképpen az Internet struktúrájának két szintjét is tanulmányozhatjuk: a routerek kapcsolódását egy domainen belül (router szint), vagy a domainekét egymás között (domain szint). Ez a különbség azonban céljaink szempontjából nem olyan borzasztóan lényeges. A Faloutsos-testvérek éppenséggel mindkét esetben hasonló mintázatokat tártak le.

⁵⁶ Albert Réka – Hawoong Jeong – Barabási Albert-László: Diameter of the World Wide Web. (A World Wide Web átmérője.) *Nature*, 1999, 401. sz., 130-131. o.

⁵⁷ Hawoong Jeong – Tombor Bálint – Albert Réka – N. Oltavi Zoltán – Barabási Albert-László: The Large-Scale Organization of Metabolic Networks. (Anyagcsere-hálózatok nagyléptékű szerveződése.) *Nature*, 2000, 407. sz. 651-654. o.

⁵⁸ Sidney Redner: How Popular is Your Paper? (Mennyire népszerű a dolgozatod?) *European Physics Journal B*, 1998, 4. sz. 131. o., Mark E. J. Newman: The Structure of Scientific Collaboration Networks. (Tudományos együttműködési hálózatok szerkezete.) *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 2001, 98. sz. 404-409. o.

⁵⁹ Ramon Ferrer i Cancho – Richard V. Solé: *The Small World of Human Language*. (A természetes nyelv kicsi világa.) 01-03-016 tanulmány, Santa Fe Institute, Santa Fe, N.M., 2001.

⁶⁰ Leucippus, idézi: Alan MacKay: *A Dictionary of Scientific Quotations*. (Tudományos idézetek tára.) OP Publishing, London, 152. o.

⁶¹ Fustel de Coulanges, idézi Fritz Stern (szerk.): *The Varieties of History: From Voltaire to the Present*. (A történelem változatai

Voltaire-től napjainkig.) World Publishing, Cleveland, 1956, 57. o.

⁶² Ralph H. Gabriel, *American Historical Review* 36, 786 (1931).

⁶³ A dolog azonban nem olyan egyszerű, mert egy elmélet hirdetői mindig elvethetik a bizonyítékokat és tovább vitatkozhatnak, vagy némiképpen módosíthatják az elméletet, nehogy el kelljen vetniük. A kísérletek azonban tényleg lehetőséget kínálnak, hogy az elméletet újabb nyomásnak tegyük ki és jól definiált ellenőrzéseknek vessük alá. Arról, hogy a valóságban milyen nehéz kísérleti bizonyítékok alapján megítélni egy elméletet, kiváló beszámoló Harry Collins és Trevor Pinch: *The Golem* (A Gólem) c. könyve (Cambridge University Press, Cambridge, 1993).

⁶⁴ Stephen J. Gould: *Wonderful Life*. (A csodálatos élet.) Hutchinson Radius, London, 1989.

⁶⁵ Lord Raleigh gondolamenete a következőképpen dől meg: Bármely folyadékban a molekulák gyenge kötésben állnak szomszédaikkal. A folyadék belsejében található molekula jó helyzetben van: minden irányból kötést alkothat más molekulákkal. A felszínen levőknek azonban nincs ilyen szerencsésük. Miután a felszínlakók egyik irányból nem tudnak kötésbe lépni, kielégítetlenek maradnak, ezért nagyobb az energiájuk, mint rejtőzködő rokonaiknak. Egy nyílt felület többletenergia-költsége természetes feszültséget kölcsönöz neki (lehetőség szerint igyekszik összehúzódní). E „felületi feszültség” miatt formál a víz gömb alakú cseppeket, mert azoknak a legkisebb a felülete. Bénard kísérleti elrendezésében a folyadékfelszínnek nincs sok lehetősége az összehúzódnásra, viszont képes meleg folyadékot felszívni a mélyből, és azzal helyettesíteni a hidegebb felszíni folyadékot. Az emelkedő hőmérséklet csökkenti a felületi feszültséget, amely így a meleg folyadék felszívásával mérséklődik. Következésképpen csökken a felszín energia-többlete. A tudósok ma már jól tudják, hogy Bénard kísérletében a folyadékáramlást a felületi feszültség hajtja, nem pedig a felszálló meleg víz, mint Rayleigh feltételezte.

⁶⁶ Lev Trockij, idézi Edward Hallett Carr: *What is history*. (Mi a történelem?) Penguin, London, 1990, 102. o.

⁶⁷ Ignacio Rodríguez-Iturbe és Andrea Rinaldo: *Fractal River Basins*. (Fraktális folyam-medencék.) Cambridge University Press,

1997.

⁶⁸ Mark Twain. Lásd Alan Mackay: *A Dictionary of Scientific Quotations*. (Tudományos idézetek tára), IOP Publishing, London, 1991, 244. o.

⁶⁹ Eight Injured in Bradford Riots. (Nyolc sérült a bradfordi zavargásban.) *The Guardian*, London, 2000. április 16.

⁷⁰ Mark Granovetter: Threshold Models of Collective Behaviour. (A kollektív viselkedés küszöb-modelljei.) *American Journal of Sociology* 83, 1420-1443 (1978). Ez az egyszerű küszöbértékekre vonatkozó példa talán némileg mesterkéltnek tűnik. Granovetter azt az esetet is megvizsgálta, amikor egy csoport tagjai valamilyen átlagérték, mondjuk 25 köré tömörülnek, és megnézte, hogy az értékek skálája hogyan befolyásolja a csoport viselkedését. Szűk skála esetén hatnál többen nem csatlakoztak a csoporthoz. Amint azonban nőtt a skála szélessége, a csoportdinamika drasztikusan eltolódott és a száz érintett többsége beavatkozott. Ez az életszerűbb keret azt illusztrálja, hogy látszólag jelentéktelen tulajdonságok megváltozása milyen megdöbbentő következményekkel járhat.

⁷¹ Máté evangéliuma, 25. 29. Károlyi Gáspár fordítása

⁷² Steve Lawrence and C. Lee Giles: Accessibility of Information on the Web. (Az információ hozzáférhetősége a Hálón.) *Nature* 400. 107. (1999).

⁷³ Barabási Albert-László és Albert Réka: Emergence of Scaling in Random Networks. (A skála kialakulása véletlen hálózatokban.) *Science* 286, 509-512 (2001).

⁷⁴ Fredrik Liljeros, Christofer Edling, Luis Nunes Amaral, H. Eugene Stanley és Yvonne Åberg: The Web of Human Sexual Contacts. (Az, emberi szexuális kapcsolatok hálózata.) *Nature* 411. 907-908.

⁷⁵ Malcolm Gladwell: *The Tipping Point*. (A határpont.) Little Brown, New York, 2000, 36. o.

⁷⁶ Liljeros és mások: *The Web of Human Sexual Contacts*. (Az emberi szexuális kapcsolatok hálózata.)

⁷⁷ Ez a hatványfüggvény szerinti eloszlás abban speciális, hogy a kapcsolatoknak nincs „tipikus” száma. Más szóval a hálózat nem

hajlamos eleve olyan elemeket létrehozni, amelyek valamilyen várt számú kapcsolattal rendelkeznének, ez a szám széles határok között változik. Vagyis a kapcsolatok számára nincs eleve adott skála, a hálózat skálamentes.

⁷⁸ Solomon Asch: *Effects of Group Pressure upon the Modification and Distortion of Judgement*. (A csoportnyomás hatása a vélemények változására és torzulására.) In H. Guetzkow (szerk.): *Groups, Leadership and Men* (Csoport, vezetés, emberek) Carnegie Press, Pittsburgh, 1951.

⁷⁹ Irving Janus: *Groupthink*. (Csoportgondolkodás.) Houghton Mifflin, Boston. 1982.

⁸⁰ Mark Newman: *Clustering and Preferential Attachment in Networks*. (Csoportokba rendeződés és kedvenchez kapcsolódás hálózatokban.) *Physical Review*, E64, 25102 (2001).

⁸¹ Hawoong Jeong, Néda Zoltán és Barabási Albert-László: *Measuring Preferential Attachment for Evolving Networks*. (A kedvenchez kapcsolódás mérése fejlődő hálózatoknál.) arXiv:cond-mat/0104131, 2001. április 14.

⁸² Gerald F. Davis, Mina Yoo és Wayne E. Baker: *The Small World of the Corporate Elite*. (A vállalat elit kicsi világa.) lenyomat, University of Michigan Business School, Ann Arbor, 2001.

⁸³ D'Arcy Wentworth Thomson: *On Growth and Form*. (Növekedés és forma.) Cambridge University Press, London, 1917.

⁸⁴ Nebojsa Nakicenovic: *Overland Transportation Networks: History and Development and Future Prospects*. (Szárazföldi közlekedési hálózatok története, fejlődése és kilátásai.) In David Batten, John Casti és Roland Thorn (szerk.): *Networks in Action*. (Működő hálózatok.) Springer-Verlag, Berlin, 1995.

⁸⁵ Cynthia Barnhart és Stephane Bratu: *National Trends in Airline Flight Delays and Cancellations*. (Légijáratok késésének és kimaradásának országos lendenciái.) Előadás a Légijáratokkal és a repülő- és légtéri torlódások kezelésére vonatkozó nemzeti stratégiáival foglalkozó workshopon, University of Maryland, 2001. március 15-16. Az Interneten elérhető a <http://www.isr.umd.edu/airworkshop-Barnhart-Bratu.pdf> címen.

⁸⁶ Jon Hilkevitch: FAA Says Some of the Flak It Takes Is Right On Target. (A Szövetségi Légügyi Hivatal elismeri, hogy egyes kritikák telibe találtak.) *Chicago Tribune*. 2001. július 18.

⁸⁷ George L. Donohue vallomása az USA Képviselőháza előtt, Kisajátítási bizottság a Közlekedésügyről, 2001. március 15. Online is olvasható: <http://www.isr.umd.edu/airworkshop/Donohue2.pdf>.

⁸⁸ Keith Harper: Britain's Crowded Skies Most Dangerous in Europe. (A zsúfolt brit légtér a legveszélyesebb Európában.) *Guardian*, 2001. július 23.

⁸⁹ M. Harison, H.S.J. Tsao. S.C.A. Huang és W. Wei: *A megemelt légikapacitás hatásának empirikus elemzése: esettanulmány a DFW repülőtérrel*. Előadás az Országos Kutatási Tanács Közlekedéskutató Testülete 78. éves ülésén. 1999. január 10-14.

⁹⁰ Luis A. Nunes Amaral, Antonio Scala, Marc Barthelemy és H. Eugene Stanley: Classes of Behaviour of Small-World Networks. (Kicsi világ hálózatok viselkedési osztályai.) arXiv:cond-mat/0001458. 2000.január 31.

⁹¹ Peter Fritypalrick. Aircraft Industry Flying High after Bombardier Deal. (A repülőgépgyártó ipar repes az örömtől a bombázó-üzlet után.) *Financial Post* (Canada) 2001. július 10.

⁹² Soon-Hyung Yook, Hawoong Jeong és Barabási Albert-László: Modeling the Internet's Large-Scale Topology. (Az internet nagyléptékű topológiájának modellezése.) arXiv:cond-mat/0107417, 2001. július 19.

⁹³ Az USA Elnöki Hivatala: A National Security Strategy of Engagement and Enlargement. (Az Elköteleződés és Bővítés Nemzetbiztonsági Stratégiája.) White House, Washington D.C., 1996. Online elérhetősége: <http://www.fas.org/spp/military/docops/national/1996stra.htm>

⁹⁴ Elnöki Döntés, 63. Utasítás. A Clinton-adminisztráció intézkedései a kritikus infrastruktúra védelméről (White House, Washington D.C., 1998. május 22). Online elérhetősége: http://www.usdoj.gov/criminal/cybercrime/white_pr.htm

⁹⁵ Bill Gertz: Computer Hackers Could Disable Military. (Számítógépkalózkodók megbéníthatják a hadsereget.) *Washington*

Times, 1998. április 16.

⁹⁶ Steve Gibson hátborzongató beszámolója erről az epizódról olvasható saját weboldalán. <http://www.GRC.com>

⁹⁷ John M. Deutsch, a Központi Elhárítás Igazgatói Hivatala: Foreign Information Warfare Programs and Capabilities. (Az információs hadviselés programja és lehetőségei.) (beszéd a Szenátus Elhárítási Albizottsága előtt, 1996. június 25.) online elérhetősége:

http://www.odci.gov/ia/public_affairs/speeches/archives/1996/dci_testimony_062596.html.

⁹⁸ Robert H. Anderson és mások: Securing the Dense Information Infrastructure: A Proposed Approach. (Sűrű információs infrastruktúra biztosítása: javasolt megközelítés.) u.o. a RAND National Defense Research Institute jelentése, RAND Corp., Santa Monica, 1999. Online elérhető a <http://graylit.osti.gov/>.

⁹⁹ Daniel J. Busby: Peacetime Use of Computer Network Attack, U.S. Army War College Strategy Research Project. (Számítógéphálózati támadás békeidőben: Az USA Hadseregének stratégiai kutatási projektje.), (U.S. Army War College, Carlyle, 1999). online elérhetősége: <http://graylit.osti.gov/>

¹⁰⁰ Valószínűnek tűnik, hogy egy egalitárius típusú hálózat hasonlóan ellenálló lenne, de némileg más okból. Egy ilyen hálózat néhány messzire nyúló kapcsolat révén lesz kicsi, ilyen kapcsolata pedig nagyon kevés elemnek van. Ezért a véletlenszerű támadás nem éri el az ilyen hidakat, így a hálózat jórészt érintetlen marad.

¹⁰¹ Albert Réka, Hawoong Jeong és Barabási Albert-László: Error and Attack Tolerance of Complex Networks. (Összetett hálózatok hibái és támadás-állósága.) *Nature* 406, 378-381 (2000).

¹⁰² Anderson és mások: *Securing the Defense Information Infrastructure*. (A honvédelmi információs infrastruktúra biztosítása.)

¹⁰³ Institute of Medicine: *Emerging Infections: Microbial Threats to Health in the United States*, (Kialakuló fertőzések: Mikrobális egészségkockázatok az Egyesült Államokban.) National Academy Press, Washington D.C., 1992.

¹⁰⁴ Mitchell L. Cohen: Changing Patterns of Infectious Disease. (A fertőző betegségek változó mintázatai.) *Nature* 406, 762-767,

(2000).

[105](#) J.S. Edwards és Bernhard Palsson: The Escherichia coli MG 1655 in silico Metabolic Genotype: Its Definition, Characteristics and Capabilities. (Az Escherichia coli MG 1655 in silico anyagcseregenotípus definíciója, jellemzői és képességei.) *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97, 5528-5533 (2000).

[106](#) Hawoong Jeong, Sean Mason, Barabási Albert-László és Oltvai Zoltán: Lethality and Centrality in Protein Networks. (Halálos hatás és központiség fehérjehálózatoknál.) *Nature* 411, 41-42 (2001).

[107](#) Max Gluckman: *Potilics. Law and Ritual*. (Politika, törvény és rituálé.) Mentor Books, 1965.

[108](#) Doug Struck: Japán a bálnákat okolja a csökkent halfogásért. *International Herald Tribune*, 2001. július 28-29.

[109](#) Jeremy B.C. Jackson és mások: A túlzott lehalászás története és a tengerparti ökoszisztemek mai összeomlása. *Science*, 2001. 293. Sz, 629-638. p.

[110](#) U.o. 635. p.

[111](#) *Állapotjelentés a világ halállományainak állapotáról*. FAO, az ENSZ Élelmiszeri és Mezőgazdasági Szervezete 335. szaktanulmánya, New York, 1994, UN FAO.

[112](#) Leslie Harrisnek Thomas Siddon képviselő, halászati miniszter számára készített Független jelenlése az északi tőkehalállomány állapotáról. *Northern Cod Review Panel*. 1990.

[113](#) A vitáról kiváló áttekintését kaphattunk David M. Lavigne *Seals and Fisheries, Science and Politics*. (Halásztársaságok és fókák, tudomány és politika.) című, a floridai Orlando-ban 1995. december 14-18. között megrendezett Tengeri emlősök biológiája Tizenegyedik Kétévenkénti Konferencia keretében tartott előadásából, amely az interneten is megtalálható a <http://www.imma.org/orlando.pdf> címen.

[114](#) Jeffrey A. Hutchings és Ransom A. Myers: What Can Be Learned from the Collapse of a Renewable Resource? Atlantic Cod, *Gadus morhua*, of New Foundland and Labrador. (Milyen tanulság vonható le egy megújítható erőforrás összeomlásából? Újfoundlandi

és labradori atlanti-óceáni tőkehal, *Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1994, 51. sz., 2126-2146. p.

[115](#) S. Strauss; Decimated Stocks Will Recover if Fishing Stopped, Study Finds. East Coast Decline in Cod Resulted from Overfishing, Not Seals. (A megtizedelt halállományok újratermelődnének, ha megszűnne a halászat. A tőkehal keleti-partvidéki hanyatlását a túlzott lehalászás okozta, nem a fókák.) *Globe and Mail*, 1995. augusztus 25.

[116](#) 1995-ben a kanadai kormány intézkedései ellen tiltakozó petíciót világszerte kilencvenhét tengerbiológus írta alá: „A tengeri emlősök biológiájának szakértőiként nem értünk egyet a kanadai kormány azon kijelentésével, mely szerint az. észak-atlanti fókák »fennmaradási problémát« okoznának. Minden tudományos erőfeszítés, amely a ragadozó fókák hatását kívánta kimutatni a kanadai halállományra, eredménytelen maradt. A halállomány összeomlásával kapcsolatban tudományosan egyedül a túlzott lehalászás fennmaradási problémája igazolható.” *Megjegyzések a kanadai fókapolitikáról*, a floridai Orlandóban 1995. december 14-18. között megrendezeti Tengeri emlősök biológiája Tizenegyedik Kétévenkénti Konferencia biológusai által aláírt petíció, az interneten megtalálható a <http://www.imma.org/petition.html> címen.

[117](#) D.S. Wallace – J.W. Lawson: *Az északnyugat-atlanti grönlandi borjúfóka (Phoca Groenlandica) gyomortartalmának vizsgálata: Újabb áttekintés*. 97-101. szaktanulmány, International Marine Mammal Association (Nemzetközi Tengeri Emlős Társaság), Guelph, Ontario, Canada, 1997.

[118](#) A tízmillió csak durva becslés. Peter Yodzis a dél-afrikai partok közelében található Benguela ökológiai rendszer táplálékhálózatára pontosabb becslési adott. Itt a halászati vállalatok a Cape prémes fókák irtását követelték, mondván, hogy azok túlságosan sok szürke tőkehalat pusztítanak. Yodzis azonban kiszámította, hogy a Cape prémes fóka és a szürke tőkehal közti, nyolc fajnál nem többet tartalmazó kapcsolatok száma 28 722 675. Peter Yodzis: Diffuse Effects in Food Webs. (Diffúz hatások táplálékhálózatokban.) *Ecology*. 2000, 81. sz., 261-266. o.

[119](#) Peter Yodzis: The Indeterminacy of Ecological Interactions, as Perceived through Perturbation Experiments. (Ökológiai kölcsönhatások meghatározatlansága zavaró beavatkozással kísérletek tükrében.) *Ecology*, 1988, 69. sz., 508-515. o.

[120](#) Charles Elton, idézi Kevin McCann: The Diversity-Stability Debate. (A sokféleség és stabilitás vitája.) *Nature*, 405, 228-233. o. (2000).

[121](#) Robert M. May: *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. (Stabilitás és bonyolultság ökológiai rendszerek modelljeiben.) Princeton Press. Princeton University. 1973.

[122](#) Peter Yodzis: The Stability of Real Ecosystems. (A valóságos ökológiai rendszerek stabilitása.) *Nature*, 1981, 289. sz., 674-676. o.

[123](#) David Tilman – John A. Downing: Biodiversity and Stability in Grasslands. (Füves területek biodiverzitása és stabilitása.) *Nature*, 1994. 367. sz., 363-365. o.

[124](#) Stuart L. Pimm – John H. Lawton – Joel E. Cohen: Food Web Patterns and Their Consequences. (Táplálékhálózatok mintázatai és azok következményei.) *Nature*, 1991, 350. sz., 669-674. o.

[125](#) Kevin McCann – Alan Hastings – Gary Huxel: Weak Trophic Interactions and the Balance of Nature. (Gyenge tropikus kölcsönhatás és a természet egyensúlya.) *Nature*. 1998, 395. sz., 794-798. o.

[126](#) A 97 hektáros seprőzanót terület csupán egyike a Silwood Parkban vizsgált számos kísérleti ökológiai rendszernek.

[127](#) Richard Solé – José Montoya: *Complexity and Fragility in Ecological Networks*. (Ökológiai hálózatok komplexitása és sebezhetősége.) 00-11-060 munkatanulmány, Santa Fe Institute, Santa Fe, New Mexico, az interneten is elérhető a <http://www.santafe.edu/sfi/publications/00wplist.html> címen.

[128](#) Richard J. Williams – Neo D. Martinez – Eric Berlow – Jennifer A. Dunne – Barabási Albert-László: *Two Degrees of Separation in Complex Food Webs*, (Kétlépéses összeköttetés összetett táplálékhálózatoknál.) 01-07-036 munkatanulmány, Santa

Fe Institute, Santa Fe, New Mexico, 2001. Online elérhető a <http://www.santafe.edu/sfi/publications/01wplist.html> címen.

[129](#) Stuart Pimm – Peter Raven: Extinction by Numbers. (Kihalás a számok alapján.) *Nature*, 2001. 403. sz., 843-844. o.

[130](#) McCann: *The Diversity-Stability Debate*. (A sokféleség és stabilitás vitája.)

[131](#) F.M. Dosztojevszkij: *Feljegyzések az egérlyukból*. Ford: Makai Imre, Európa, Budapest, 1982, 18. o.

[132](#) Jurij Rumer, Moisiej Korec és Lev Landau viszontagságos történetéről Gennady Gorelik cikkében olvashatunk. The Top Secret Life of Lev Landau (Lev Landau szupertitkos élete). *Scientific American*, 1997. augusztus, 277. sz., no 2. 72-77. o.

[133](#) Landau magyarázataért később Nobel-díjai kapott. Ő mutatta meg, hogy a kvantumfizika törvényei alapján a folyékony héliumot alacsony hőmérsékleten „szuperfolyadékká” változik, vagyis az anyag olyan különös, újszerű folyékony formájává, amelyben nyoma sincs belső súrlódásnak. Ha egy ilyen szuperfolyadékot egy csészében felkavarunk, örökké örvényleni fog, soha meg nem állapodik.

[134](#) Malcolm Gladwell: *The Tipping Point*. (A határpont.) Little Brown, New York, 2000, 7. o.

[135](#) Bernard Baruch bankárt idézi Robert Prechter Jr.: *The Wave Principle of Human Social Behaviour*. (Az emberi társas viselkedés hullámtermészete.) New Classics Library, Gainesville, 1999.

[136](#) Robert J. Shiller: *Irrational Exuberance*. (Irracionális lelkesedés.) Princeton University Press. Princeton, 2000, 177-178. o.

[137](#) Richard Dawkins: *Az önző gén*. Gondolat, Budapest. 1986. 241. o.

[138](#) Peter Beilenson és mások: Epidemic of Congenital Syphilis – Baltimore, 1996-1997. (A veleszületett szifilisz gyors elterjedése. Baltimore, 1996-1997.) *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 1998, 47. sz., 904-907. o.

[139](#) Peter Beilenson és mások: Outbreak of Primary and Secondary Syphilis – Baltimore City, Maryland. 1995. (Az elsődleges és másodlagos szifilisz kitörése – Baltimore City, Maryland, 1995.) *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 1996, 45. sz., 166-169. o.

[140](#) John Potterat, idézi Gladwell: *Tipping Point*. i.m. 17. o.

[141](#) Van ezzel kapcsolatban egy finom részletkérdés. A fizikusok tudják, hogy valójában kétfajta fázisátmenet van: folytonos és nem folytonos. Landau elmélete csak az egyik csoport leírását célozza, azonban így is a jelenségek óriási körére terjed ki.

[142](#) A szerveződések átalakulásának elméletében vannak nem éppen könnyű technikai részletek is, ám van egy kiváló forrás, amely a dolgokat a lehető legjobban megvilágítja: James J. Binney – Nigel Dwrick – Andrew Fisher-Mark Newman: *The Theory of Critical Phenomena*. (A kritikus jelenségek elmélete.) Oxford University Press, Oxford, 1992.

[143](#) Hays Hinrichsen: *Critical Phenomena in Nonequilibrium Systems*. (Kritikus jelenségek egyensúlytalan rendszerekben.) *Advances in Physics*, 2000, 49. sz., 815-958. o.

[144](#) Jonathan Mann, idézet Laurie Garell: *Coming Plague*. (Jön a járvány.) című könyve Előszavából, Penguin Books, New York, 1994, xv. o.

[145](#) William H. Stewart, idézi Mitchell Cohen: *Changing Patterns of Infectious Disease*. (A járványos betegség változó mintázatai.) *Nature*, 2000, 406. sz., 767-767. o.

[146](#) World Health Organization: *Removing Obstacles to Healthiy Development*. (Az egészséges fejlődés akadályainak eltávolítása.) World Health Organization, Genf, 1999.

[147](#) UNAIDS, az ENSZ egyesített HIV/AIDS-ellenes programja, AIDS-járványügyi időszakos jelentés, 2000. Az interneten a http://www.unaids.org/wac/2000/wad00/files/WAD_epidemic_report.htm címen olvasható.

[148](#) Mann, idézet Garrett: *Coming Plague* Előszavából, xv. o.

[149](#) Edward Hooper: *The River*. (A folyó.) Penguin Books, London, 2000.

[150](#) Az állatok kezdeti, a betegségei elterjesztő mozgásáról a <http://www.maff.gov.uk/> webcímen található egy diagrammot.

[151](#) Damian Zanette: *Critical Behaviour of Propagation on Small-World Networks*. (A terjedés kritikus viselkedése kicsi világ hálózatoknál.) arXiv:cond-mat/0105596, 2001. május 30.

[152](#) Simon Wain-Hobson, idézi Josie Glausiusz: The Year in Science: The Chasm in Care. (Egy év a tudományban: az ellátás szakadéka.) *Discover*, 1999. január. 20. sz., 40-41. o.

[153](#) Norman Miller – Roger Yeager: By Virtue of Their Occupation, Soldiers and Sailors Are at a Greater Risk. (Hódításaik folytán megnő a katonák és tengerészek kockázata.) *AIDS Annlysis Asin*. 1995. I. sz., 8-9. o.

[154](#) Romualdo Pastor Satorras-Alessandro Vespignani: Epidemic Spreading in Scale-Free Networks. (Járványok terjedése skálamentes hálózatokban.) *Physical Revie Letters*, 2001, 86. sz., 3200-3203. o.

[155](#) Romualdo Paslor Satorras-Alessandro Vespignani: Optimal Immunisation of Complex Networks. (Összetett hálózatok optimális immunizálása.) arXiv:cond-mat/0107066, 2001. július 3.

[156](#) Pastor Satorras-Vespignani: Optimal Immunisation of Complex Networks. (Bonyolult hálózatok optimális immunizálása.) Lásd még Dezső Zoltán-Barabási Albert-László: Can We Stop the AIDS Epidemic? (Megállíthatjuk-e az AIDS-járványt?) arXiv:cond-mat/0107420, 2001. július 19.

[157](#) Rövid áttekintést találunk William W. Darrow-John Potterat-Richard Rothenberg-Donald Woodhouse-Stephen Muth-Alden Klovdahl: Using Knowledge of Social Networks to Prevent Human Immunodeficiency Virus Infections: The Colorado Springs Study. (A társas hálózatokról szóló ismeretek felhasználása a HIV-fertőzések megakadályozásában: a Colorado Springs-i vizsgálat.) *Sociological Focus*, 1999, 32. sz., 143 -158. o.

[158](#) Robert Laughlin-David Pines: The Theory of Everything. (A Minden Elmélete.) *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2000, 97. sz., 28-31. 0.

[159](#) *The Concise Oxford Dictionary*. 6. kiadás. Oxford University Press. Oxford, 1976.

[160](#) Thomas Schelling: Dynamic Models of Segregation. (Dinamikus szegregáció modellek.) *Journal of Mathematical Sociology*, 1971. I. sz., 143-186. o.

[161](#) Adam Smith: *An Enquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. (Vizsgálat a nemzetek gazdagságának okairól és

természetéről.) 1. könyv, 2. fejezet. A. Strahan, London, 1776.

[162](#) Richard Thaler: *The Winner's Course (A nyertes pálya)*. Princeton University Press, Princeton, 1994.

[163](#) Persze vitatkozhatunk azon, mit is jelent, hogy „működik”. Jelenleg a legtöbb közgazdász a gazdaság egészségét a hazai össztermék (GDP) alapján kimutatható gazdasági növekedéssel méri. Ez a megközelítés azonban számos tényezőt figyelmen kívül hagy, ami hozzátartozik a társadalmi jóléthez, mint például a tiszta környezet, az alacsony munkanélküliség, a megfizethető lakásárak stb. A közgazdaságtan jelenlegi gyakorlata határozottan a szigorú pénzügyi mutatókkal kifejezhető kérdések felé hajlik.

[164](#) Lásd például Robert Schiller: *Irrational Exuberance*. (Irracionális lelkesedés.) Princeton University Press, Princeton. 2000, és Andrei Shleifer: *Inefficient Markets*. (Rossz hatékonyságú piacok.) Oxford University Press, Oxford. 2000.

[165](#) Néhány példa e lenyűgöző modellekre: Jean-Philippe Bouchaud-Rama Cont: Herd Behaviour and Aggregate Fluctuations in Financial Markets. (Csordaviselkedés és a pénzügyi piacok összesítő mutatóinak ingadozása.) arXiv:cond-mat/9712318, 1997. december 30, Thomas Lux-Michele Marchesi: Scaling and Criticality in a Stochastic Multi-Agent Model of a Financial Market. (Emelkedő és kritikus helyzetek egy pénzügyi piac sztochasztikus, többszereplős modelljében.) *Nature*, 1999, 397. sz., 498-500. o.; Damian Challet-Alessandro Chessa-Matteo Marsili-Yi-Chen-Zhang: From Minority Games to Real Markets. (Kisebbségi játékoktól az igazi piacokig.) *Journal of Quantitative Finance*. 2001, 1. sz., 168.0.

[166](#) Vilfredo Pareto: *Cours d'economique politique*. (Bevezetés a politikai gazdaságtanba.) Macmillan, London, 1897. A gazdaság Pareto által felfedezett eloszlása szigorúan véve nem teljesül mindenütt, de egyre nagyobb pontossággal igaz az eloszlás gazdagabb széléhez közeledve. Mindez azonban nem érinti a következő gondolatmenetet.

[167](#) Wataru Souma: Universal Structure of the Personal Income Distribution. (A személyi jövedelem eloszlásának univerzális struktúrája.) arXiv:cond-mat/0011373, 2000. november 22.

[168](#) John Kenneth Galbraith: *A History of Economics*. (Gazdaságtörténet.) Penguin, New York, 1987, 6-7. o.

[169](#) #A lap aljáról hiányzott kb. 4-5 sornyi szöveg valamint az idevágó jegyzet is.#

[170](#) John Flemming-John Micklewright: *Income Distribution, Economic Systems and Transition*. (Jövedelemeloszlás, gazdasági rendszerek és átmenet.) *Innocenti Occasional Papers, Economic and Social Policy Series no. 70*, UNICEF International Child Development Centre. Firenze. 1999.

[171](#) Idézet: Alan Mackay: *A Dictionary of Scientific Quotations*. (Tudományos idézetek tára.) IOP Publishing, London, 1991, 133. o.

[172](#) Mark Granovetter: *Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness*. (Gazdasági cselekvés és társadalmi struktúra: a beágyazottság problémája.) *American Journal of Sociology*. 1985, 91. sz., 481-510. o.

[173](#) Mark Granovetter: *A Theoretical Agenda for Economic Sociology*. (A gazdaságszociológia elméleti teendői.) In Mauro F. Guillen-Rardall Collins-Paula England-Marshall Meyer (szerk.): *Economic Sociology at the Millennium*. (Gazdaságszociológia az ezredfordulón.) Russell Sage Foundation, New York. 2001.

[174](#) Stanley Milgram: *Obedience to Authority*. (A tekintéllyel szembeni engedelmesség.) Tavistock, London, 1974. 15. o.

[175](#) Francis Fukuyama: *Trust*. (Bizalom.) Free Press Paperbacks, New York, 1995, 26. o.

[176](#) Muhammad Yunas: *The Grameen Bank*. (A Grameen bank.) *Scientific American*. 1999. november. 281. sz., 114-119. o.

[177](#) Herbert Gans: *The Urban Villagers*, (Városi falulakók.) Free Press, New York, 1962.

[178](#) Mark Granovetter: *A Theoretical Agenda for Economic Sociology*. (A gazdaságszociológia elméleti teendői.)

[179](#) Analee Saxenian: *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*. (Kultúra és verseny Silicon Valley és a 128. országút között.) Harvard University Press, Cambridge. 1994.

[180](#) Richard Locke: *Remaking the Italian Economy*. (Az olasz gazdaság újjáalakítása) Cornell University Press. Ithaca, N.Y., 1995.

[181](#) Robert Laughlin-David Pine: The Theory of Everything. (A Minden Elmélete.) *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2000. 97. sz., 28-31.

Tartalom

- [KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS](#)
- [ELŐHANG](#)
 - [Kicsi a világ](#)
 - [Vonalak és összeköttetések](#)
 - [A forma törvényei](#)
- [1. KÜLÖNÖS KAPCSOLATOK](#)
 - [Levél az ismeretlenhez](#)
 - [Mit mond az orákulum?](#)
 - [Hálózatépítés](#)
- [2. A GYENGE KÖTELEK EREJE](#)
 - [Összekapcsolódás](#)
 - [Barátaink barátai](#)
 - [Világokat összekötő hidak](#)
 - [Hálózatépítés](#)
 - [Világméretű forradalom](#)
- [3. KICSI VILÁGOK](#)
 - [Egy kósza gondolat](#)
 - [A véletlenszerű terv](#)
 - [Összeköttetések](#)
 - [Férges összeköttetései](#)
- [4. AGYTRÖSZT](#)
 - [Jól kigondolt architektúra](#)
 - [Tudati bonyodalmak](#)
 - [Gyors észjárás](#)
 - [Isteni elemek](#)
- [5. A KICSI VILÁG HÁLÓ](#)
 - [Hálózat némi intelligenciával](#)
 - [Változó világ](#)
 - [Internetes felfedezők](#)
 - [A cybertér](#)
 - [A kicsi módzatai](#)
- [6. AZ ESETLEGESSÉG TUDOMÁNYA](#)
 - [Mintázatok a serpenyőben](#)

- [Teremtő aktusok](#)
- [Álcázott rend](#)
- [A történelem mögöttes folyamata](#)
- [Természetes hálózatok](#)
- [7. „AKINEK VAN, ADATIK”](#)
 - [A böngészés törvényei](#)
 - [A kapcsolódás fortélya](#)
 - [Csoportgondolkodás](#)
 - [Az öregfiúk hálózata](#)
 - [A kicsi válfajai](#)
- [8. KÖLTSÉGEK ÉS KÖVETKEZMÉNYEK](#)
 - [Tündöklés... és bukás](#)
 - [A kicsi értelmei](#)
 - [Cyber-fenyegetések](#)
 - [Kecses halál](#)
 - [Biológiai hadviselés](#)
 - [Kicsi világ gondolkodás](#)
- [9. AZ ÖSSZEKUSZÁLÓDOTT HÁLÓ](#)
 - [A tőkehal balsorsa](#)
 - [A bonyolultság stabilitása?](#)
 - [A gyenge kapcsolatok biztonsága](#)
 - [Kétlépéses összeköttetés](#)
 - [Leomló zárkövek](#)
- [10. HATÁRPONTOK](#)
 - [Hogyan hódítanak az eszmék](#)
 - [A terjedés titkai](#)
 - [Nem nagy dolog – de micsoda különbség!](#)
 - [Univerzális elmélet](#)
 - [Kapcsolatfelvétel](#)
- [11. JÁRVÁNY KITÖRÉSE EGY KICSI VILÁGBAN](#)
 - [Az ellenség eredete](#)
 - [Világokat összekötő hidak](#)
 - [A menekülés lehetőségei](#)
 - [Amikor nincs átbillenés](#)
 - [Központban gondolkodni](#)
- [12. AZ ÉLET TÖRVÉNYEI](#)
 - [A homo economicus halála](#)

- Egy közgazdasági univerzálé
- Vagyonhálók
- Az egyenlőtlenség fokozatai
- A tőkeösszpontosulás problémája
- 13. TÚL MINDEN VÉLETLENEN
 - A kicsi világ haszna
 - A társadalom teljessége
 - Nem is olyan csekély következmények
 - Egyszerű bölcsesség
- JEGYZETEK

Table of Contents

[KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS](#)

[ELŐHANG](#)

[Kicsi a világ](#)

[Vonalak és összeköttetések](#)

[A forma törvényei](#)

[1. KÜLÖNÖS KAPCSOLATOK](#)

[Levél az ismeretlenhez](#)

[Mit mond az orákulum?](#)

[Hálózatépítés](#)

[2. A GYENGE KÖTELEKEK EREJE](#)

[Összekapcsolódás](#)

[Barátaink barátai](#)

[Világokat összekötő hidak](#)

[Hálózatépítés](#)

[Világméretű forradalom](#)

[3. KICSI VILÁGOK](#)

[Egy kósza gondolat](#)

[A véletlenszerű terv](#)

[Összeköttetések](#)

[Férgek összeköttetései](#)

[4. AGYTRÖSZT](#)

[Jól kigondolt architektúra](#)

[Tudati bonyodalmak](#)

[Gyors észjárás](#)

[Isteni elemek](#)

[5. A KICSI VILÁG HÁLÓ](#)

[Hálózat némi intelligenciával](#)

[Változó világ](#)

[Internetes felfedezők](#)

[A cybertér](#)

[A kicsi módozatai](#)

[6. AZ ESETLEGESSÉG TUDOMÁNYA](#)

[Mintázatok a serpenyőben](#)

Teremtő aktusok

Álcázott rend

A történelem mögöttes folyamata

Természetes hálózatok

7. „AKINEK VAN, ADATIK”

A böngészés törvényei

A kapcsolódás fortélyai

Csoportgondolkodás

Az öregfiúk hálózata

A kicsi válfajai

8. KÖLTSÉGEK ÉS KÖVETKEZMÉNYEK

Tündöklés... és bukás

A kicsi értelmei

Cyber-fenyegetések

Kecses halál

Biológiai hadviselés

Kicsi világ gondolkodás

9. AZ ÖSSZEKUSZÁLÓDOTT HÁLÓ

A tőkehal balsorsa

A bonyolultság stabilitása?

A gyenge kapcsolatok biztonsága

Kétlépéses összeköttetés

Leomló zárkövek

10. HATÁRPONTOK

Hogyan hódítanak az eszmék

A terjedés titkai

Nem nagy dolog – de micsoda különbség!

Univerzális elmélet

Kapcsolatfelvétel

11. JÁRVÁNY KITÖRÉSE EGY KICSI VILÁGBAN

Az ellenség eredete

Világokat összekötő hidak

A menekülés lehetőségei

Amikor nincs átbillenés

Központban gondolkodni

12. AZ ÉLET TÖRVÉNYEI

A homo economicus halála

Egy közgazdasági univerzálé

Vagyonhálók

Az egyenlőtlenség fokozatai

A tőkeösszpontosulás problémája

13. TÚL MINDEN VÉLETLENEN

A kicsi világ haszna

A társadalom teljessége

Nem is olyan csekély következmények

Egyszerű bölcsesség

JEGYZETEK