

Nexus

Mark Buchanan

NEXUS,
AVAGY KICSI A VILÁG

A HÁLÓZATOK ÚTTÖRŐ TUDOMÁNYA

Fordította Kepes János

TYPOTEX

Budapest, 2003

Az eredeti mű címe: Nexus. Small Worlds and
the Groundbreaking. Science of Networks
Copyright © 2002 by Mark Buchanan
Copyright © Hungarian translation Kepes János, Typotex, 2003

ISBN 963 9326 77 1

Kedves Olvasó!

Önre gondoltunk, amikor a könyv előkészítésén munkálkodtunk.

Kapcsolatunkat szorosabbra fűzhetjük, ha belép a Typoklubba,
ahonnan értesülhet új kiadványainkról, akcióinkról, programjainkról,
és amelyet a www.typotex.hu címen érhet el.

Honlapunkon megtalálhatja az egyes könyvekhez tartozó
hibajegyzéket is, mert sajnos hibák olykor előfordulnak.

Kiadja a Typotex kiadó, az 1795-ben alapított Magyar Könyvkiadók
és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja.

Felelős kiadó Votisky Zsuzsa

Felelős szerkesztő Jávorka Gabriella

Műszaki szerkesztő Orcskay Erzsébet

Terjedelem 16,5 (A/5) ív

Készült a Pécsi Bornus Nyomdában

Felelős vezető Borbély Tamás

Kate-nek

Tartalom

<i>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS</i>	9
ELŐHANG	11
Kicsi a világ – 13 ♦ Vonalak és összeköttetések – 16 ♦ A forma törvényei – 19	
1. KÜLÖNÖS KAPCSOLATOK	25
Levél az ismeretlenhez – 27 ♦ Mit mond az orákulum? – 30 ♦ Hálózatépítés – 32	
2. A GYENGE KÖTELÉKEK EREJE	37
Összekapcsolódás – 39 ♦ Barátaink barátai – 41 ♦ Világokat összekötő hidak – 44 ♦ Hálózatépítés – 48 ♦ Világméretű forradalom – 50	
3. KICSI VILÁGOK	53
Egy kósza gondolat – 56 ♦ A véletlenszerű terv – 58 ♦ Összeköttetések – 61 ♦ Férges összeköttetései – 63	
4. AGYTRÖSZT	67
Jól kigondolt architektúra – 70 ♦ Tudati bonyodalmak – 72 ♦ Gyors észjárás – 75 ♦ Isteni elemek – 77	
5. KICSI VILÁG HÁLÓ	79
Hálózat némi intelligenciával – 80 ♦ Változó világ – 83 ♦ Internetes felfedezők – 85 ♦ A cybertér – 89 ♦ A kicsi módozatai – 93	
6. AZ ESETLEGESSÉG TUDOMÁNYA	97
Mintázatok a serpenyőben – 100 ♦ Teremtő aktusok – 103 ♦ Álcázott rend – 106 ♦ A történelem mögöttes folyamata – 109 ♦ Természetes hálózatok – 112	

7. „AKINEK VAN, ADATIK”	115
A böngészés törvényei – 118 ♦ A kapcsolódás fortélyai – 120	
♦ Csoport-gondolkodás – 123 ♦ Az öregfiúk hálózata – 126	
♦ A kicsi válfajai – 129	
8. KÖLTSÉGEK ÉS KÖVETKEZMÉNYEK	131
Tündöklés... és bukás – 134 ♦ A kicsi értelmei – 137	
♦ Cyber-fenyegetések – 138 ♦ Kecses halál – 142	
♦ Biológiai hadviselés – 145 ♦ Kicsi világ gondolkodás – 150	
9. AZ ÖSSZEKUSZÁLÓDOTT HÁLÓ	151
A tőkehal balsorsa – 153 ♦ A bonyolultság stabilitása? – 158	
♦ A gyenge kapcsolatok biztonsága – 161	
♦ Kétlépéses összeköttetés – 164 ♦ Leomló zárkövek – 167	
10. HATÁRPONTOK	171
Hogyan hódítanak az eszmék – 174 ♦ A terjedés titkai – 177	
♦ Nem nagy dolog — De micsoda különbség – 178	
♦ Univerzális elmélet – 180 ♦ Kapcsolatfelvétel – 182	
11. JÁRVÁNY KITÖRÉSE EGY KICSI VILÁGBAN	187
Az ellenség eredete – 190 ♦ Világokat összekötő hidak – 192	
♦ A menekülés lehetőségei – 195	
♦ Amikor nincs átbillenés – 198	
♦ Központban gondolkodni – 201	
12. AZ ÉLET TÖRVÉNYEI	203
A homo economicus halála – 206	
♦ Egy közgazdasági univerzálé – 208 ♦ Vagyonhálók – 210	
♦ Az egyenlőtlenség fokozatai – 212	
♦ A tőkeösszpontosulás problémája – 215	
13. TÚL MINDEN VÉLETLESEN	219
A kicsi világ haszna – 221 ♦ A társadalom teljessége – 224	
♦ Nem is olyan csekély következmények – 227	
♦ Egyszerű bölcsesség – 230	
NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ	233

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, Luís 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 akár csak 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 jobbat válhasson. Mindenekelőtt azonban végtelen hála illeti feleségemet, Kate-et lankadatlan támogatásáért és bátorításáért e jó néhány hónapon át húzódó 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 Poincaré¹

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.

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

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 akara-

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.

tunk, 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 valahogyan 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 Nebras-

ka, mind Kansas elég távol esik Bostontól. Milgram felfedezése közkeletűvé vált és *hatlépéses távolság* néven be is vonult a folklórba. 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 Ghahn 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 vonalaknak, a társadalmi kapcsolatok gráfot alkotnak. Watts és Strogatz tehát hónapokon keresztül rajzolgatta a legkülönfélébb 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 összekötősdít játszanának. Ám sem a rendezett, sem a random gráfok nem tudták megragadni a társadalmi hálózatok valóságos finomságait. A *kicsi világ* rejtélye ellenállt a vizsgálódásnak.

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

És akkor, azon az 1998-as téli napon, a két kutató rábukkant arra a különös gráfra. A pontok összekötésének 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 számítógép-tudósok 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 hipertext-hivatkozásokkal világhálóvá 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 szerveződéséhez kapcsolódnak.

VONALAK ÉS ÖSSZEKÖTTETÉSEK

2001 FEBRUÁRJÁBAN egy nemzetközi biológustársaság bejelentette, hogy elkészültek a humán genom, azaz az emberi DNS-ben kódolt többekévébé 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 megértjük, 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

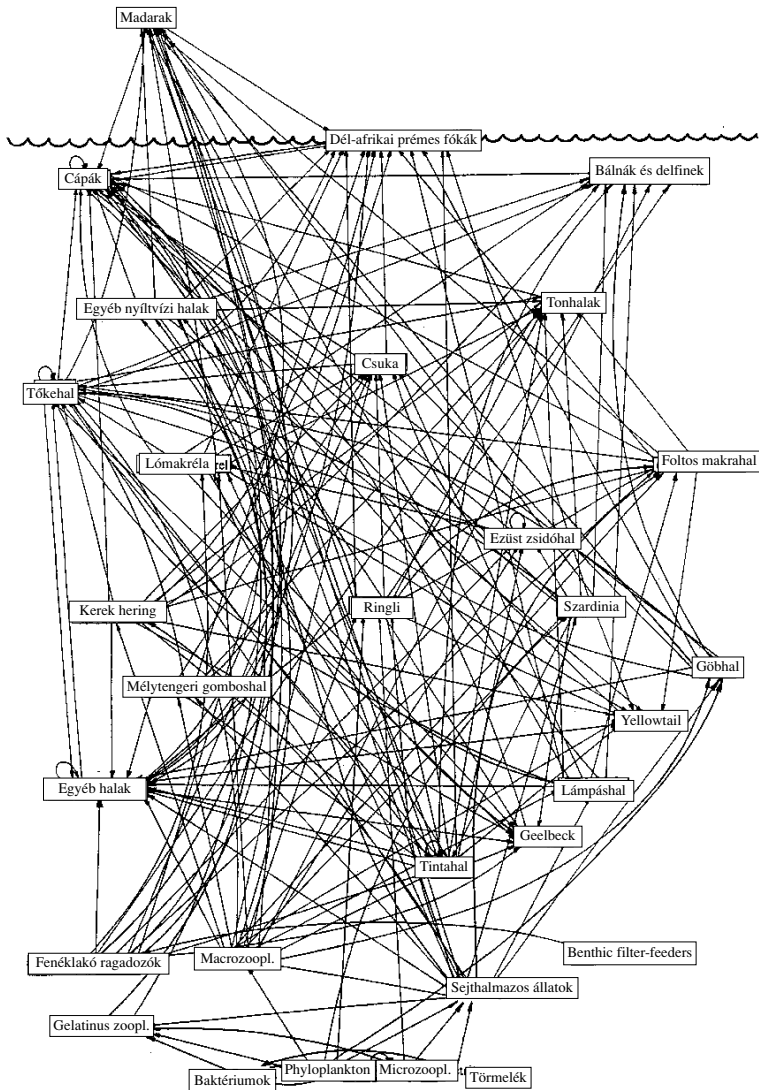
kölcsönhatásban álló fehérje hálózatában fognak működni.⁵ Hogy megérthessük, mitől élünk, elsősorban pedig, hogy miért különböziünk a növényektől, bele kell látnunk ennek a hatalmas hálózatnak a működésébe, fejlettségünk ugyanis nem egyik-másik fehérjének, hanem az egész hálózat finom szerkezetének köszönhető.

Az ökológia területén a kutatóknak ugyanilyen elképesztően bonyolult hálózatokkal kell dolgozniuk. Például Dél-Afrika halászati vállalatai régóta hangoztatják, hogy a nyugati partvidék mentén a fókaállomány 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 táplálékhalózat (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 dominószzerű ok-okozati láncolaton keresztül hatna a tőkehal-populációra.⁶ Szaporodna-e a tőkehal, ha a halászatok csökkentenék a főkanépszerűséget? Jelenleg még csak értelmes találgatásra sem vállalkozna senki. Az is előfordulhat, hogy a fókairtás után még kevesebb lesz a tőkehal.

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 kelles 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.

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 fehérjéket 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 százánál is több (noha legtöbbször csak két vagy három) különböző fehérje előállítására képes.

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



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

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, jó-

formán 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 kérdésről. 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 tőzsde-parkett 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 meg-

ismerésére 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 át- szövik 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 kerülhetnének 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 feltartóztathatatlanul 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 ang-

liai 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” mindenesetre 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 koncentrál: Mely fajok a legfontosabbak

a világ ökológiai rendszerének egészségéhez? Mi a legjobb stratégia az AIDS és más betegségek elleni küzdelemben? A vállalkozások hogyan aknázhadják 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”.