

Steve Talbott

A komplexitás varázsa

A *Science* (Tudomány című), tekintélyes tudományos magazin 1999 áprilisi komplex rendszerekről szóló különszámában arról tudósítja olvasóit, hogy „a redukcionizmus' hiányosságai egyre nyilvánvalóbbá válnak.... Lehet, hogy van némi igazság a gyakran elhangzó axiómában: a tudósok 'egyre kevesebbről tudnak egyre többet'.... A dolgok túlzott leegyszerűsítése szintén problémát jelent. Ezt támasztja alá, például, a „mindenre egy gén” (ún. gene-for) szindróma, amely úgy tekinti a géneket, mint amelyek nemcsak hozzájárulnak egy emberi jelleg kialakulásához, hanem egyértelműen meghatározzák azt. (Ennek alapján beszélünk az intelligenciáért, vagy a szexuális beállítottságért felelős génről, stb.)” (Gallagher, Appenzeller 1999:79).

Ugyanebben a számban egy másik cikk tovább boncolgatja a gének körüli problémát:

„Az egyes gének kifejeződését nem egy, kettő vagy akár öt fehérje szabályozza, hanem fehérjék tucatjai” mondja Shirley Tilghman, a Princeton Egyetem molekuláris biológusa. Ezek közül néhány speciális géneket szabályoz, míg mások sokkal szélesebb hatáskörrel rendelkeznek. Néhányuk folyamatosan a DNS-hez kapcsolt, míg mások csak ideiglenesen kötődnek a lánchoz. Tilgham szerint „ezt az összetettséget egyre nehezebb követni.”

„Ha arra kerül a sor, hogy egy rendszert a maga összetettségében akarunk átlátni, egyszerűen képtelenek vagyunk megfejteni, hogy hogyan működik.” – teszi hozzá Adam Arkin a Lawrence Berkeley Nemzeti Laboratórium fizikai-kémikusa (Service, 1999:81).

Az elmúlt években a komplex rendszerek, illetve a komplexitás vizsgálatát egyre szélesebb körben tekintették forradalmi jelentőségűnek. Ezzel a forradalommal új teret nyert a holisztikus szemlélet, és olyan kifejezések váltak egyre népszerűbbekké, mint például az „önszerveződés”, a „komplexitás” és a „káosz”. Sokan, akik abban reménykednek, hogy a tudományt új életre lehet kelteni, (ahogy azt mi is gyakran közzétesszük a Nature Intézet által megjelentetett publikációinkban) talán reményeik beteljesülését látják a komplexitás-elméleti szakemberek törekvéseiben. Ugyanakkor időszerű megvizsgálni azt a kérdést is, hogy egy ilyen irányú fejlődés tényleg a tudomány „megújhodását” eredményezi-e, vagy inkább leépülést, illetve a tudomány legnagyobb, hagyományos korlátainak továbbberősödését jelenti. Bárhoggy is van, úgy gondoljuk, hogy az olvasók többet szeretnének tudni erről a folyamatban lévő „forradalomról”. Meglehetősen nehéz azonban átfogó képet adni, hiszen még a komplexitás – mint tudomány – pontos meghatározásáról sincs egyetértés. Úgy tűnik, a kutatók sokkal inkább egyfajta elmélkedési stílust értenek alatta, mint konkrét vizsgálati tárgyat. Mindezen felül, e tudomány tárgya sokszor a „mindennel” egyenlő, s talán éppen ezzel magyarázható, hogy az érintett tudományágak mindmáig inkább homályos találgatásokkal dicsekedhetnek, mint konkrét eredményekkel.

Ez a bizonytalanság azonban nem eredményezett semmilyen szégyenlősséget. Egy új tudomány szószólói talán még sohasem hirdették ennél eredményesebben saját munkájuk alapvető paradigmaváltó fontosságát úgy, hogy ezt eredményekkel nem nagyon tudták alátámasztani. Egy új, holisztikus szemlélet mellett a hírverés a redukcionizmus visszaszorítását, a fizikai rendszerek – kissé misztikusan hangzó – ún. „emergens”³ és „önszerveződő” tulajdonságainak feltárását, és a szűk szakterületekre való tagolódás megszűnését ígéri.

Az alábbiakban ezekről az új tudományos munkálatokról adok rövid áttekintést. Fel kell hívnom azonban a kedves olvasó figyelmét arra, hogy a következőkben a természet iránti vágyódás és az attól való legdurvább elszakadni vágyás egyik legfurcsább keverékével fog találkozni. Igyekszem kedvező képet festeni, de ez korántsem azt jelenti, hogy az itt összefoglalt nézetek a Nature Intézet kutatói körében általánosan elfogadottak. Ezek a nézetek azonban elég erőteljesen jelen vannak napjaink tudományos gondolkodásában, és mindannyiunk hasznára válik, ha megismerjük ezt a fajta gondolkodásmódot.

Először a komplexitással foglalkozó tanulmányokban gyakran idézett három „klasszikus” példát mutatom be:

Első példa: Ha marokkal homokot szórunk egy asztal közepére, egy idő után a kupac eléri az asztal széleit. Ahogy tovább szórjuk a homokszemeket, az újabb és újabb homokszemek lavinát idéznek elő, és a homok kisebb zuhatagok formájában elkezd lefolyni az asztalról. Egy bizonyos pontig a kupac tovább növekszik, az oldalai egyre meredekebbé, a lavinák pedig egyre nagyobbá válnak. A legutolsó szakaszban a kupac egyre közelebb kerül a katasztrófális összeomláshoz. Képzeljék csak el: a következő homokszemnek lehet (sőt valószínű), hogy csak egy parányi, a közvetlen környezetére kiterjedő / lokális hatása lesz, ugyanakkor az is lehet, hogy egy akkora lavinát indít el, amelynek következtében a kupac nagy része lezúdul a padlóra. A következő homokszem becsapódásának közvetlen környezetéről szerzett bármilyen információ mégsem lesz elegendő ahhoz, hogy megjósoljuk, hogy a katasztrófa bekövetkezik-e vagy sem. Az ehhez szükséges információanyag ugyanis a kupac egészében oszlik szét.

Második példa: Ön és egy ismerőse börtönben vannak. Külön-külön vallatják önöket egy olyan bűntényről, amelyet lehet, hogy Önök követtek el, de az is lehet, hogy nem. Az ügyész a következő választás elé állítja Önt: ha tagad, a társa pedig maga ellen vall, akkor Ön életfogytiglani börtönbüntetést kap, míg a másik szabadon távozhat.

Amennyiben mindketten tagadnak, enyhe ítéletet kapnak. Ha mindketten vallanak, középerős ítéletet kapnak. Az ismerősének is ugyanezt a választási lehetőséget kínálják fel. Ha tehát ő tagad, Ön pedig ellene vall, akkor őt ítélik életfogytiglanra, míg Ön szabadon távozhat.

Ezt nevezik „fogoly dilemmának”. A forgatókönyv ördögien leleményes, hiszen még akkor is, ha a társával előzetesen megegyeztek, hogy az enyhe ítélet reményében mindketten tagadni fognak, mindkettőjükben ott bujkál a kétség, hogy a másik, a szabadulás érdekében, kísértésbe esik és vall. Vagyis, ha az egyezséghez tartaná magát, akkor nagy valószínűséggel életfogytiglant kapna. Megkockáztathatja ezt? Nem len-

ne jobb inkább vallani, hisz ezzel akár a szabadságát is elnyerheti, vagy a legrosszabb esetben is csak egy középerős ítéletet kap? Még egy ide kapcsolódó kérdés: lehet, hogy az evolúció sem más, mint ennek a játéknak a folytonos ismétlődése, amelyben az egyik organizmus mindig a másik fölé akar kerülni?

Harmadik példa: Képzelden el egy edényt, amelyben rengeteg, „szimbólumokból álló lánc” úszik. A legegyszerűbb esetben egy ilyen szimbólumsor egyesek és nullák rendezett csoportjaiból áll, mint például itt:

011
101011
11100

Abban az esetben, ha ezek a számsorok véletlenszerűen „ütköznek” egymással. Egy-egy ilyen véletlenszerű ütközés – meghatározott alapszabályok alapján – az egyik számsor átalakulását eredményezi. Ekkor kimondható az a szabály:

Amennyiben az ütköző számsorok egyikében van 011 sorozat, a másikban pedig 100 sorozat, akkor az utóbbi számsorban a számjegyek sorrendje 11010-ra változik.

Ha úgy tetszik, a fent említett szabályban az első számsort akár egyfajta enzimnek („katalizátornak”) is tekinthetünk, amely serkenti vagy katalizálja a második láncor transzformációját. Tételezzük fel, hogy az edényben megfelelő mennyiségű egyes és nulla van újabb és újabb katalitikus reakció előidézéséhez. Számítógép segítségével könnyű egy ilyen példát szimulálni. Kiinduláskor meghatározott számsorokat tartalmazó „edény” és ugyancsak meghatározott szabálykészlet áll rendelkezésünkre. A program véletlenszerűen választ ki számsorpárokat és a szabályokat alkalmazva „ütközteti” őket. Ilyen módon a számsorkészletünk fejlődésnek indul. Megfelelő kiindulási feltételek mellett például, elképzelhető, hogy egy „autokatalitikus készletet” kapunk, – vagyis egy olyan stabil lánckészletet, amely egyre több, a saját eredeti számsorkészletével megegyező láncot állít elő. Az ilyen készlet öngeneráló tulajdonságokkal bír, és egyesek szerint kulcsfontosságú információkkal szolgálhat annak megértéséhez, hogy az „atomláncokat” tartalmazó „őslevesből”, hogyan fejlődött ki az élet.

Komplex kérdések

Az utóbbi évtizedekben a fenti példák mindegyike megjelent a komplexitás-elméleti szakemberek munkájában. Segítségükkel talán sikerül megragadni az új tudomány néhány alapvető sajátosságát úgy, ahogy azt a tudomány művelői látják:

Általános érvényűség. „A kémia, fizika, biológia és a mérnöki tudományok egyre inkább közelednek egymáshoz, és egyesülésük már nagyon közel van”, mondja Lucy Shapiro, a Stanford Egyetem biológusa (Service, 1999:80). A komplexitás-elméleti szakemberek az összetett jelenségeket mozgató általános alaptörvényeket keresik. Ezek a törvények egészében nyújtanak magyarázatot olyan komplex jelenségekre, mint például a homokdűnéken keletkező taréjok finom felépítése, az agy neuronhálózatának összetett működése, az élőlények ökológiája, vagy a pénzpiacok működése.

se. Gyakran hangoztatják, hogy ők „mélyen rejlő” alapigazságokat keresnek. S ezek az igazságok valóban mélyen rejlenek, hiszen a lehető legáltalánosabb érvényűek.

A Santa Fe Intézetben dolgozó Stuart Kauffmant például az *E.coli* baktérium és az IBM vállalat közötti hasonlóságok foglalkoztatják. „Az élőlények, mesterségesen előállított tárgyak és a különböző szervezetek mind fejlődés útján kialakult struktúrák. ...Milyen törvények mozgatják ezeket a struktúráknak a megjelenését és koevolúcióját?” (Kauffman, 1995:246). A szimbólumsorokra és az „ütköztetési” szabályokra utalva, Kauffman így gondolkozik:

„Ez a számsoros hasonlat valahogy nem hagy engem nyugodni. Az ideológiák kavargó átalakulása – ahogy a szokások újabb szokásokat szülnek, a konyhaművészetek újabb konyhaművészeteket, a jogszabály-gyűjtemények és precedensek pedig újabb és újabb törvényeket – mindezidáig tisztázatlan módon ugyan, de hasonlít a szabályalkotási világ modellezésére...” (Kauffman, 1995:298).

Hasonlóan, egymástól teljesen eltérő területeket fog át a tekintélyes filozófus, Daniel Dennett kérdése: Miért fordítanak a fák olyan sok energiát az erdőben arra, hogy magasra nőjenek? Így válaszol: „Ugyanazért, amiért az utcai fényreklámokban a rikító jelek egész hada verseng a figyelmünkért.... Minden fa a saját érdekét nézi és próbál annyi napfényhez jutni, amennyihez csak tud.” A fogoly dilemmát felidézve, így folytatja:

„Bárcsak abba hagynák a vörösfenyők az egymással való versengést, és értelmesen felosztanák egymás között a területet, akkor elkerülhetnék, hogy ilyen képtelenül nagy és energiaigényes törzset kelljen felépíteniük. Alacsony és energiatakarékos cserjék maradhatnának, és mégis pontosan ugyanannyi napfényhez jutnának, mint azelőtt!”

(Ez az úgynevezett Red Queen hipotézis: a fajok vagy egyedek állandó versengése (valójában inkább a géneké) hajtja előre az evolúciót. Igazából azonban a kerék körbe-körbe forog. Mivel minden egyed igyekszik behozni a másikat, relatív előnyre senki sem tesz szert. Tehát, ha a fák egyformán alacsonyak, ugyanannyi fényt kapnak, mintha egyformán magasak. Ez azonban azért nem működik, mert a „csalás kiemelkedően nagy hasznot hoz, ezért az egyedek mindig meg is próbálkoznak vele”. A ford.)

A fák a rabokhoz hasonlóan nem tudnak egymással érintkezni, s így az együttműködési „egyezmény” megszegése, ha és amikor megtörténik, mindenképpen kifizetődővé válik”. Az ilyen egyezségek tehát evolúciós szempontból „nem életképesek” (Dennett, 1995:253-55). Az általános érvényűség felé vezető úton – vagyis olyan alapelvek felé haladva, amelyek egyaránt vonatkoznak a konyhaművészetek, a törvények, az idegrendszer, a vörösfenyők és az utcai reklámok kialakulására és fejlődésére – amint azt a későbbiekben látni is fogjuk – a legtöbb kulcsfontosságú komplexitás-elméleti probléma megtalálható.

Maximális absztrakció. Per Bak dán tudós szerint „a komplex rendszereket összefoglaló, általános elmélet feltétlenül *absztrakt* kell hogy legyen”. Bak, aki elsőként tanulmányozta a homokdűne modelleket, meg van győződve arról, hogy egy, az életről alkotott átfogó elmélet, „semmilyen specifikus információt nem nyújthat az egyes fajokra vonatkozóan. Elképzelhető, hogy a modell még a legelemibb kémiai folyamatokhoz, sőt az általunk eddig ismert életformákhoz oly nélkülözhetetlen DNS molekulához sem köthető, mert annyira általános.” Mindezek után Bak azon tűnődik, hogy vajon milyen életformák léteznek a Marson?

„Meg kell tanulnunk elvonatkoztatni, s nem csak úgy látni a dolgokat, ahogy vannak! Merőben radikális tudományos hozzáállásra van csak szükség! Ha – követve a tudomány hagyományos módszereit – a részletek minél pontosabb leírására koncentrálnak, akkor számtalan lehetőségtől fosztjuk meg magunkat. Az életet meghatározó egyetemes elméletnek sokkal inkább az élet folyamatszerűségét kell megragadnia, semmint aprólékos leírást adnia ennek a folyamatnak olyan, teljesen véletlenszerű részleteiről, mint például az ember megjelenése” (Bak, 1996:10).

Az elvonatkoztatás igénye megköveteli, hogy világos, és precíz meghatározásaink legyenek, amelyek, amennyire csak lehet, mentesek mindenféle minőségi vagy érzékelhető jellegtől. Talán a számok és a logika fogalmai lehetnének a kiindulási absztrakciók. Bak további észrevétele, hogy az elméleteknek – ugyanúgy, mint a homokkupacról lezúduló lavinákat mozgató törvényeknek – nemcsak absztraktnak kell lenniük, hanem „statisztikusnak” is. *(Ez azt jelenti, hogy valószínűségi elveken nyugszanak, s a szabályok nem merevek. A ford.)* John Holland, a Michigani Egyetem elméleti szakembere, és a „genetikai algoritmusok” atyja hangsúlyozza: a tudósoknak „el kell távolodniuk a részletektől”, tekintettel arra, hogy „a számok is csak addig jutnak el, ameddig mi jutunk az irreleváns részletek eltávolításában.” „Amikor számról beszélünk, akkor létezésének tényén kívül nem marad semmi: se formája, se színe, tömege vagy bármi más tulajdonsága, ami egy tárgyat jellemezhet” (Holland, 1998:23-24).

Az általános érvényű keresésétől egyenes út vezet az absztrakcióhoz. Ha meg akarjuk találni a jelenségeket mozgató egyetemes alapelveket, akkor minden részletet, amelyben a jelenségek eltérnek egymástól, figyelmen kívül kell hagynunk, s csak azokkal foglalkoznunk, ami közös bennük. Ennek a „lecsupaszításnak az eredményeképpen lehetővé válik, hogy különböző dolgokat mégis ugyanabba az osztályba soroljunk, mint ahogy ezt az utcai reklámok és a vörösfenyők esetében tettük. Csak ezután tudjuk az általunk létrehozott osztályok tagjait egyértelműen számbavenni és jellemezni, valamint matematikai oldalról megvizsgálni, s következtetéseket levonni belőlük (pl. a magasságukra vonatkozó törvényszerűségeket).”

Holisztikus szemlélet. Mint már említettem, a homokkupac egyes pontjairól származó információkból külön-külön nem lehet megállapítani, hogy a kupacra zuhanó következő homokszem előidézi-e a katasztrófális összeomlást vagy sem. Az ehhez szükséges információanyag a halom egészében oszlik szét, s a végkimenetel az összes homokszemre ható erők egyensúlyától, a homokszemek formájától, stb. függ. Ezért a komplexitás-elméleti szakemberek azt mondják, hogy a megértéshez holisztikus oldalról (vagyis az egész oldaláról) kell megközelíteni a jelenségeket.

„Az egész több, mint pusztán a részek összessége,” idézi Kauffman a gyakran elhangzó sort (Kauffman, 1995:24). Hasonlóképpen a *Science* egyik cikkében olvashatjuk: „annak megértése, hogy egy biológiai rendszer egyes részei – legyenek azok gének vagy molekulák – milyen kapcsolatban vannak egymással legalább olyan fontos, mint az, hogy maguk a részek, hogyan működnek. Ez a felismerés egyre jobban terjed” (Service, 1999:80). A *Science* komplexitásról szóló különszámában így írnak a szerkesztők: „a komplex rendszereket úgy határozzuk meg, mint olyan rendszereket, amelyek tulajdonságai nem magyarázhatóak teljes egészében alkotóelemeik megértése után”. (Gallagher, Appenzeller, 1999). Hasonlóképpen panaszkodik Kauffman is:

„a sejtekről és organizmusokról már rég nem úgy gondolkozunk, mint önszerve-

zódó egészeokről. Azt hisszük, hogy a DNS-ben kódolt „genetikai utasítások” mindent megmagyaráznak. A DNS-t viszont a természetes szelekció alakítja. Innen pedig már csak egy lépés, hogy úgy gondoljuk, hogy az organizmusok önkényesen működő, összetákolt szerkezetek.”

Hozzáteszi: „Az élettől elidegeníthetetlen annak teljes volta” (Kauffman, 1995:274-75).

Emergencia.³ Ez a nehezen meghatározható fogalom szorosan kapcsolódik a holisztikus szemlélethez. Ha az egész valóban több mint a részek összessége, akkor (a komplexitás-elméleti szakemberek szerint) a résztől az egészig tartó úton valahol valaminek még biztosan hozzá kellett adódnia a részekhez. Holland szerint „ez csak akkor történik meg, ha a részek működésének összegzésével nem adható meg az egész működése. Majd így folytatja: „az emergencia fémjelzése így az az érzés, hogy az egészen kicsiből valami nagy keletkezik.” Holland példái talán segítenek az emergens jelenségek megértésében. A hangyakolóniákban „az egyes egyedek például elég kötött feladatkörrel rendelkeznek. A kolónia mint egész mégis rendkívüli rugalmasan működik, ha azt nézzük, hogy hogyan derítik fel és aknázzák ki környezetüket. Az egyedeket mozgató egyszerű törvények valahogy olyan emergens viselkedést idéznek elő, amely messze felülmúlja az egyedek egyéni képességeit. Ráadásul, ez a viselkedés mindenféle központi irányítás nélkül bukkan fel.”

Hasonló megvilágításban beszél Holland az idegsejtek együtteseiről, az immunrendszeréről, az Internetről és a globális gazdaságról is. Szerinte ezek szintén olyan rendszerek, ahol „az egész viselkedése sokkal összetettebb, mint ahogy arra, az egész alkotó részek viselkedéséből következtetni lehetne”. Így például, ha „csak a Newton-i mozgástörvények álltak volna rendelkezésünkre, aligha láttuk volna előre, hogy a naprendszer és a galaxis dinamikája milyen komplex, és épp ezért emergens tulajdonságokkal bír” (Holland 1998:1-12) Hasonlóképpen, Bak is megjegyzi, hogy a „homokkupac esetében sem lehetett volna az egyes homokszemek egyedi jellemzőiből következtetni a lavinákat működtető, komplex dinamikai erők megjelenésére.” (Bak, 1996:51). Mindebből pedig világossá válik, hogy a fentiekben felvázolt holisztikus szemléletben az „egész” se nem független az őt alkotó „részekről”, se nem előfeltétele azoknak. Az emergencia fogalma az „egész” alulról-felfelé történő megközelítésére utal: nem az egész hozza létre a részeket és ölt testet rajtuk keresztül, hanem épphogy a részek közötti kölcsönhatások eredményezik az egészre jellemző komplex viselkedés megjelenését (amely egyben a részekből közvetlenül le nem vezethető, emergens elemeket is tartalmaz). A rendelkezésre álló szakirodalomból mégsem derül ki egyértelműen, hogy valójában miben is különbözik a létrejövő egész az alkotó részek összességétől.

Túl a redukcionizmuson. A *Science* komplex rendszerekkel fogalakozó különszáma ezzel az alcímmel jelent meg. A komplexitást tanulmányozó kutatók körében elég elterjedt (bár nem általános) az a felfogás, hogy a redukcionizmus korszaka véget ért. Az alapelképzelésük az, hogy ha a komplex rendszereknek valóban vannak a részeknél magasabbrendű, ún. emergens tulajdonságai, amelyek hatására az egész nem egyezik meg az őt alkotó részek összességével, akkor a rendszer meghatározáskor ezekre a magasabbrendű összetevőkre is utalni kell. Nem lehet mindent az alacsony-

nyabbrendű „összetevők” jellemzésére „redukálni”. Ezt Bak is megállapítja: amikor a homokkupac már közel jár a végső összeomláshoz, akkor nem az egyes homokszemek viselkednek „funkcionális egységként”, hanem maga a kupac. Redukcionista megközelítésnek ebben az esetben semmi értelme.” Ha a hagyományos, redukciós elveket követve, akarnánk megjósolni, hogy melyik lesz a katasztrófát előidéző lavina, „akkor a kupacban teljes pontossággal kellene mindent mindenütt megmérni, ami teljességgel lehetetlen. Majd ezután, a rendelkezésre álló adatokkal a valóságnak megfelelő, aprólékos számításokat kell végezni, ami szintén lehetetlen. (Bak, 1996:60-61).

Ezek a tudósok tehát elfogadják, hogy a közgazdaságtudománynak létezhet egy olyan legitim formája, amelyben a magyarázatokat nem kell – legalább is gyakorlati értelemben – az „atomok” mozgásáig visszavezetni. Az emberek és társadalmuk, illetve a kereskedelmi tevékenységük mind egy evolúciós folyamat eredményei. Hogy megértsük őket, az emergens tulajdonságaikról is beszélnünk kell, – mint például a racionális ügynökök, piacok, árak, kamatlábak, stb. – nemcsak az alacsonyabb rendű elemekről, amelyekből kialakultak. Egy gyakran felbukkanó kifejezéssel élve, attól függően, hogy mit próbálunk megmagyarázni, kell megválasztanunk a magyarázat vagy a leírás szintjét.

Önszerveződés.² Erre a jelenségre rengeteg utalást találunk a szakirodalomban. Ahogy Bak is írja: maga a homokkupac „juttatja” magát abba a „kritikus állapotba”, amikor már bármikor, bármekkora nagyságú lavina lezúdulhat róla. Vagy vegyük Kauffman példáját a szabálykövető szimbólumsorokkal, melyben a kiindulási készlet magától alakul át egy öngeneráló „autokatalitikus készletté”. Ebből pedig arra következtet, hogy az „ősmolekulákat” tartalmazó óceánméretű „őslevesben” ugyanezek a folyamatok játszódhattak le. Kauffman szerint az önszerveződés elve épp ezért alátámasztja az egész evolúcióelméleti forogatókönyvet:

„Szerintem az organizmusokon belül fellelhető rend nem a természetes szelekció eredménye, hanem az önszerveződő rendszerek spontán felépülésének általános szabályszerűségeiből következik. Ez a rend, mely kiterjedt és öngeneráló, nem az entropia árával szemben haladva, hanem szabadon érhető el, és velejárója minden bekövetkező evolúciós folyamatnak. (Kauffman, 1995:25)”.

Kauffman gyakorlatilag szentírást csinált a „a szabadságot szolgáló rend” kifejezésből. Mások visszafogottabban fogalmaznak, s nem azt mondják, hogy „szabadság”, csupán azt, hogy „valahogy”. A „spontán önszerveződéssel” kapcsolatban –, mely révén az emberek gazdasági rendszereket, a sejtek organizmusokat, a madarak csapatokat, és az atomok molekulákat hoznak létre – Mitchell Waldrop így gondolkozik:

„Az elemi egységeknek azok a csoportjai, amelyek az egymáshoz való alkalmazkodásra és következetességre törekszenek, valahogy eléri, hogy felülemelkedjenek magukon, és olyan együttes tulajdonságokra teyenek szert – mint például az élet, a gondolkodás vagy az elhatározás –, amelyeket mint egyének soha sem birtokolhattak volna (Waldrop, 1992:11)”.

Az önszerveződés fogalma is szervesen kapcsolódik a fentebb említettekhez. Ha az egymással kölcsönhatásban lévő részekből, alulról-felfelé építkezve létrejön egy addig nem létező, koherens egész, akkor úgy tűnik, hogy a részek *valahogy* saját adottságaikon felül teljesítenek, és az önszerveződés folyamata során alkotják meg az egészet.

Modellek és algoritmusok világa. Az egyszerűségekre való törekvés nemcsak az ál-

talános érvényű keresésében és az elvonatkoztatni tudásban tükröződik, de a modellek túlságosan gyakori használatában is. A komplexitás-elméletben nagyon nagy szerepet játszanak ezek a modellek. Holland szerint a „modellépítés lényege az, hogy az irreleváns részletektől megszabaduljunk (Holland, 1998:24). Az egyéb követelmények mellett, a modell mindig egyszerűbb kell, hogy legyen, mint a modellezés tárgya. „Messze járunk már Goethe állításától, miszerint, ha egy jelenséget jól és teljes mértékben megismertünk, akkor nincs szükségünk egy közbenső modellre, hogy a jelenség magyarázatát megtaláljuk, mert maga a jelenség lesz a magyarázat. Hasonlóképpen ír Bak is:

„A modell szépsége abban rejlik, hogy saját egyszerűségében komplex jelenségek leírására képes, azaz, annak a mértéke, hogy mennyire képes a modell a valódi világról alkotott elképzeléseink legtömörebb kifejezésére (Bak, 1996:44)”.

Ilyen „sűrített jellemzést” csak egy mechanisztikus modell adhat. Az ilyen jellemzés – a számítógép programokhoz hasonlóan – ma már egyre inkább algoritmikus (vagy egy receptszerű leírás). Tulajdonképpen, egy ilyen modell *csak* számítógépes szimuláció. Daniel Dennet szerint az algoritmikus modellek három fő tulajdonsága:

- **Közeg-független.** Mindegy, hogy milyen apparátus hajtja végre az algoritmust, feltéve, hogy annak logikai váza érintetlen marad.
- **Alapvető értelmetlenség.** Még egy „buta” mechanizmus is el tudja végezni a munkát.
- **Garantált eredmények.** Kövesd a leírást és az eredmény biztos.

Ezt a három alapevet úgy is fel lehet fogni, mint, a fenti sorrendben, az absztrakcióhoz, a mechanizmushoz és a pusztá logikához vezető út lépéseit, amelyek történetesen egyetlen mozzanatnak tekinthetők. (Talbott, 2000)

Mi a jövő?

Ez tehát a komplex rendszerekkel kapcsolatos főbb kérdések és törekvések áttekintése, ahogy azt az elméleti alapokat lefektető szakemberek látják. A komplex rendszerekkel kapcsolatos munkálatok és ígéretek további értékeléséhez elengedhetetlen az alábbi kérdések megválaszolása: vajon az „emergencia”, az „önszerveződés” és a „holisztikus szemlélet” felé fordulás nem csupán annak az eredménye, hogy a jelenségeket eredeti gazdagságukban akarjuk bemutatni? Nem azt a bőséget akarjuk megtalálni, amelyet „elhagytunk” az „általános érvényű” és az absztrakt felé vezető úton? Végül is, ha ezek az elméletek valóban magyarázatot nyújtanak a jelenségekre, akkor a magyarázatkeresés végén *valahogyan* mégiscsak eredeti minőségükben kell, hogy visszanyerjük azt, ami az absztrakció és a mechanisztikus modellezés során elveszett. De megelégedhetünk-e azzal a magyarázattal, hogy ezek a jelenségek csakúgy „felbukkantak”? Vagy tudományos szempontból fontosabb a minőségvesztés elkerülése, s ezért az absztrakciót mint lehetséges megközelítési módot egyértelműen ki kell zárni?

Magyar Dóra és Szentirmai István fordítása

JEGYZETEK (A FORD.)

- ¹ A **redukció** a jelenségek olyan megközelítése, amely a részekről halad az egész felé (bottom-up), és a részek tulajdonságainak összegzésével próbálja a rendszer működését magyarázni.
- ² Az **önszerveződés** fogalma azt fejezi ki, hogy az alacsonyabb rendű egységek nem valamely felsőbb utasításnak eleget téve rendeződnek bonyolultabb struktúrává, hanem valamiféle általános összeszerelődési szabályokat vagy egyszerű fizikai szabályszerűségeket követnek (mint például, hogy a negatív molekulákat mindig pozitívok veszik körül).
- ³ Az **emergencia** fogalma azt takarja, hogy egy komplex rendszerben olyan tulajdonságok is megjelennek, melyek a rendszer létrejötte előtt nem léteztek, és a rendszer alkotóelemeinek egyes tulajdonságaiból közvetlenül nem vezethetők le.

IRODALOM

- Bak, Per, (1996):** Hogy működik a természet: Az önszerveződő kritika tudománya (How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality). New York: Springer-Verlag.
- Dennett, Daniel C., (1995):** Darwin veszélyes gondolata: Evolúció és az élet értelme (Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life). New York: Simon and Schuster.
- Gallagher, Richard & Tim Appenzeller, (1999):** „Túl a redukcionizmuson” (“Beyond Reductionism”). Science, 284. szám, április 2. 79. p.
- Holland, John H., (1998):** Emergencia: A káosztól a rendig (Emergence: From Chaos to Order). Reading MA: Addison-Wesley.
- Kauffman, Stuart, (1995):** Otthon az univerzumban: Az önszerveződés és a komplexitás törvényeinek nyomában (At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity). Oxford: Oxford University Press.
- Service, Robert F., (1999):** „Az élet-rendszerek felfedezése” (“Exploring the Systems of Life”). Science, 284. szám, április 2. 80-83. p.
- Talbott, Steve, (2000):** „A kísérteties gép” (“The Ghostly Machine”). In Context, a Nature Intézet hírlevele 4. szám, ősz 2-3. és 20. p. Megtalálható a <http://www.netfuture.org/ni/ic/ic4/ghost.html> webcímen.
- Waldrop, M. Mitchell, (1992):** Komplexitás: A felemelkedő tudomány a rend és káosz határán (Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos). New York: Simon and Schuster.

Jelen cikk megtalálható a: <http://www.netfuture.org/ni/ic/ic6/complexity.html> címen.

Az eredeti cikk a Nature Intézet által publikált In Context című hírlevél 2001. őszi számában jelent meg.

Steve Talbott

A Ghenti Természettudományi Intézet kutatásvezetője. A NetFuture (www.netfuture.org) című hírlevél kiadója, valamint A jövő nem a számítógép: hogyan múltuk felül a gépeket? (The Future Does Not Compute: Transcending the Machines in Our Midst. Sebastopol, California: O'Reilly & Associates, 1995.) című könyv szerzője.