

.....

Bozsonyi Károly

Megérthetjük-e, hogy miért jött?*

Magyarázat, holizmus, önszervezés, előrejelzés

Jelen tanulmány nemcsak címében, de szemléletmódjában, problémafelvetésében is ikertestvére Fokasz Nikosz-ugyanezen számban megjelent cikkének. Ebből fakadóan néha föl fognak bukkani az ő írásában is előforduló fogalmak, melyeket fölösleges volna újra definiálni, ezért ilyen esetekben egyszerűen F. N. cikkére fogok utalni, ahol a kérdéses dologokról megfelelő információ található.

Nem szeretnék a magyarázat, megértés és okság filozófiai problémáinak, évszázados és kötetekre rúgó vitájába belebonyolódni, de álláspontom létjogosultságának igazolása érdekében elkerülhetetlen, hogy a fentiekről néhány gondolatot elmondjak. A jelenségek magyarázatának két rivális filozófiai keretelmélete — holizmus és redukcionizmus — közül, a modern természettudomány megszületése óta az utóbbi kétségkívül egyeduralomra tett szert, legalábbis az empirikus tudományokban. A fizikusok mindent részekre szedtek, és az apróbb alkotórészek viszonylag egyszerű törvényeinek föltárásával sikerrel magyarázták meg az összetett rendszerek bonyolult viselkedését. Hosszú ideig úgy tűnhetett, a holisztikus világszemlélet végleg kiszorult a tudományokból, és bevonult a filozófiatörténet panoptikumába. Ám századunk hatvanas éveiben kiderült, hogy az erősen "nem

* Jelen tanulmány a TÁRKI-ban Kolosi Tamás vezetésével folyó, "Mérés a társadalomtudományokban" című OTKA-kutatás keretében készült.

.....

lineáris rendszerek" (lásd. F. N.) viselkedésének megértésében semmit sem segít, ha részekre szedjük őket. Az egész mint "egész" viselkedik úgy ahogy, és így kellene megérteni. Ekkor kezdődött és a digitális számítógépek elterjedésével kapott igazi lendületet a "determinisztikus káosz" (lásd. F. N.) kutatása.

Egy jelenség magyarázatát alapvetően két oldalról közelíthetjük meg. Redukcionista szemszögből a jelenséget kiváltó okok láncolatából kiválasztjuk azt az okot, melynél mélyebbet nem tudunk, vagy nem akarunk találni, és ezt tekintjük magyarázatnak. Holisztikus szemszögből a kérdéses jelenséget az őt tartalmazó rendszer (ha van ilyen) globális tulajdonságaiból próbáljuk levezetni. Mindezt érzékletesebbé tehetjük egy kis példával. Tegyük föl, hogy Polgár Judit leáll velem sakkozni, és természetesen könnyedén megver.

Ez a vereség lesz a magyarázni kívánt jelenség. Miért vesztettem, teszem föl a kérdést, amire sakkozni kiválóan tudó redukcionista barátom így felel: Természetesen azért, mert a tizedik lépésben huszár a5-öt léptél. Aki tud sakkozni, könnyen beláthatja, hogy igaza van. Nem így, sakkozni egyáltalán nem tudó holista barátom. Ő mindenek előtt statisztikailag elemzi mind P. J., mind az én általam eddig lejátszott összes játszmát (például úgy, hogy minden partit 0—10-ig lepontoztat két nagymesterrel, és kiszámítja ezek átlagát), majd kijelenti, hogy Judit kb. ezerszer akkora játékerőt képvisel, mint én, és ez vereségem oka. Természetesen mindkét magyarázat igaz, első hallásra azonban úgy tűnik, mintha a második "lényegibb" volna. Mintha az első a második következménye lenne. Ez igaz is meg nem is. Abból, hogy gyengébb játékos vagyok, valóban következik, hogy rosszakat fogok lépni, tehát előbb-utóbb elkövetek egy végzetes hibát. Az azonban egyáltalán nem következik, hogy a tizedik lépésben huszár a5-öt lépek. Komplex rendszerek elemzésére vezessük be a következő terminológiát: a statisztikai jellemzőkben megnyilvánuló és a rendszer egészére jellemző paraméter(ek)e)t nevezzük a magyarázni kívánt jelenség okának (konkrét példánkban a "játékerő" lenne ez a paraméter), az eseményt konkrétan előidéző, azt kauzálisan megelőző másik eseményt nevezzük a magyarázni kívánt jelenség "triggerének" (példánkban a huszár a5 lépés lenne a triggere vereségemnek). Ugyanazon komplex rendszerben egy adott jelenség (példánkban a vereségem) számtalan különböző trigger következtében következhet be (veszítettem volna úgy is, hogy a tizenötödik lépésben vezér f7-et lépek). A magyarázni kívánt jelenség bekövetkezésének valódi oka a rendszer globális tulajdonságaiban keresendő. Vizsgáljunk meg egy "komolyabb" példát! A rendszer legyen egy tányér forró húsleves, a magyarázni kívánt jelenség pedig egy kiválasztott zsírcsepp mozgása, mely tulajdonképpen a jól ismert "Brown-mozgás" (lásd F. N.). Egy bizonyos idő elteltével a zsírcsepp megtesz egy bizonyos utat, mely út hossza kizárólag a rendszer globális paramétereitől függ. Természetesen a mozgás minden pillanatában megadhatóak a zsírcseppre ható konkrét erők, a triggerek, ezek azonban tulajdonképpen lényegtelenek. Hiszen, ha kiválasztunk egy másik hasonló méretű cseppet, akkor azt tapasztaljuk, hogy azonos idő alatt körülbelül ugyanakkora utat tesz meg, mint az előző, noha teljesen más erők hatottak rá. A triggereket a valódi okoktól élesen elkülöníti az a tény is, hogy karakterisztikus idejük (az az idő, amennyi tipikusan szükséges megváltozásukhoz) több nagyságrenddel kisebb a rendszer karakterisztikus idejénél (a tányér leves globális paramétereinek karakterisztikus ideje körülbelül pár perc, míg a zsírcseppcskék Brown-mozgását előidéző molekuláris folyamatoké pár ezredmásodperc, ami három nagyságrend különbség; vagy első példánk esetében a játékerő számottevő megváltozásához

.....

szükséges idő mondjuk egy év (ez szerintem alsó becslés), egy lépés megtételére pedig általában tíz—tizenöt perc kell, ami körülbelül négy nagyságrend különbség). Mivel a triggererek változása ennyivel gyorsabb a globális viselkedés szempontjából meghatározó paraméterekénél, a természettudományokban nem szokás a triggererek konkrét föltárására túl sok energiát áldozni (a Brown-mozgás vizsgálatokor nem érdekes, hogy melyik zsírcseppet mikor melyik vízmolekula taszította meg). Vannak azonban fontos kivételek is: a későbbiekben látni fogjuk, hogy a földrengések kialakulásának okát a földkéreg globális struktúrájában kell keresni. Ennek ellenére a földrengések által leginkább veszélyeztetett országok komoly erőfeszítéseket tesznek a földrengések lokális okainak (tehát a triggererek) föltárásáért. Természetesen a triggererek karakterisztikus ideje most is nagyságrendekkel kisebb a globális viselkedésénél, ám ez a nagyságrendekkel kisebb idő maga is geológiai skálán mozog (millió évek), így az emberlethez képest stabilnak tekinthető a triggererek hatása, ezért érdekes a kutatásuk. Ebből levonhatjuk azt a fontos következtetést, hogy amennyiben a triggererek karakterisztikus ideje megegyezik az emberi léptékkel vagy meghaladja azt (a gazdasági-társadalmi rendszerekben ez szokott előfordulni), érdekes és hasznos a kutatásuk, ám a mélyebb megértés megkívánja a rendszerszerű viselkedés föltárását is (persze ha van ilyen). Ezen a ponton elértünk oda, ahol egyértelművé lehet és kell tenni a különbséget a "rendszerelmélet" és a komplex rendszerek elmélete között. Amíg a rendszerelméletben döntően konszenzuális, hogy mi tekinthető egy rendszernek, addig a komplex rendszerek elméletében támaszkodhatunk a fizikában kialakult kritériumokra. Hogy hol húzódnak egy fizikai rendszer határai, az általában könnyen megválaszolható, hiszen a számításba vehető objektumok közti kölcsönhatások erőssége könnyen megbecsülhető, így a rendszer határainak keresése redukálható a lehetséges kölcsönhatások vizsgálatára (tudnillik azok az objektumok tekinthetők egy rendszernek, melyek egymás között lényegesen erősebben hatnak kölcsön-, mint a rendszeren kívülinek tekintett objektumokkal). Persze a kölcsönhatások erősségének akár csak kvalitatív megbecslése is a társadalmi-gazdasági rendszerek esetén nehezen keresztülvihető. Szerencsére a komplex rendszerek azon típusai, amelyek számunkra érdekesek lehetnek (kaotikus, kvázi-kaotikus, "Brown-mozgás"-t végző rendszerek), jellemezhetőek néhány olyan karakterisztikus sajátossággal, melyek empirikusan tesztelhetőek. Ezért ez az elmélet a rendszerelmélettel ellentétben falszifikálható. A továbbiakban pontosan azokat a tényezőket fogjuk sorra venni, melyek nem teljesülése esetén el kell vetnünk például azt a hipotézist, hogy egy stadion közönsége a mérkőzés alatt kritikus önszervező rendszert alkot.

*

A Kritikus Önszervező Rendszer (a továbbiakban KÖR) fogalma először 1987-ben bukkant fel Bak, Tang és Wiesenfeld¹ cikkében, azóta a téma önálló kutatási irányvá vált sok szép eredménnyel és néhány máig is megoldatlan problémával.

Mielőtt a KÖR-rel részletesen foglalkoznánk, célszerű megismerkedni a kritikus állapot fogalmával. Sok szabadsági fokú, erősen kölcsönható rendszerek (például neuronháló, spínüvegek, kristályos anyagok) rendelkeznek a tulajdonsággal, hogy bizonyos körülmények között fázisátmenetet produkálnak. Ez azt jelenti, hogy ilyenkor a rendszer makroszkopikus tulajdonságai drámaian megváltoznak (például egy rendezetlen anyagban

.....

valamiféle rend jelenik meg, vagy a már rendezett struktúra átrendeződik). A fázisátmenet során a rendszerben divergenciák (bizonyos paraméterek több nagyságrenden át gyorsan nőnek, mintha a végtelenbe akarnának tartani) jelentkeznek. Ezt az "átmeneti" állapotot nevezzük kritikus állapotnak. A kritikus állapot általában csak bizonyos paraméterek meghatározott értékeinél következik be, ezeket kritikus értékeknek nevezik. Vannak azonban olyan rendszerek is, melyek a kritikus paraméterek kívülről történő beállítása nélkül "önszervező módon" is képesek kritikus állapotba jutni, és a nagyszámú metastabil kritikus állapot között vándorolni. Ezek a KÖR-ek. Arra a kérdésre, hogy társadalmi-gazdasági rendszerekben előfordulhatnak-e ilyesfajta állapotok, mérési eredmények híján természetesen nem mondhatunk semmit. Talán azért érdemes lesz néhány olyan jelenséget felsorolni, melyek legalábbis heurisztikusan kritikus viselkedést mutathatnak. Gondoljunk például arra, mi történik, ha a bankbetét-tulajdonosok egymástól független rendezetlen viselkedése hirtelen rendezetté válik, és mindenki ki akarja venni a pénzét a bankból (volt már ilyen), vagy mi történik egy futballmeccsen, mikor a bíró nem ad meg egy jogosnak tűnő tizenegyest a hazai csapatnak; az eddigi nagyjából független és részben rendezetlen viselkedés (indulatkitörések, pár szavas beszélgetések a szomszédokkal stb.) hirtelen teljesen rendezetté válik, a hazai szektor talpon van, és ütemesen skandál egy birtokos szerkezetet, melynek idézésétől eltekintek. Sajnos vannak kevésbé kedélyes példák is, például fasisztoid pártocskák tömeggyűlései, vagy a különböző szekták tömeges extázisai. Még egyszer szeretném hangsúlyozni, hogy egy percig sem hiszem, hogy a föntiek bármit is bizonyítanak, arra azonban talán elégségesek, hogy a kérdést kvantitatív vizsgálat tárgyává tegyük (már amikor lehet).

Ezek után kezdjük el ismerkedni a KÖR lényegi tulajdonságaival. Az alapfogalmakat egy klasszikus kísérlet tanulmányozása kapcsán fogjuk bevezetni.

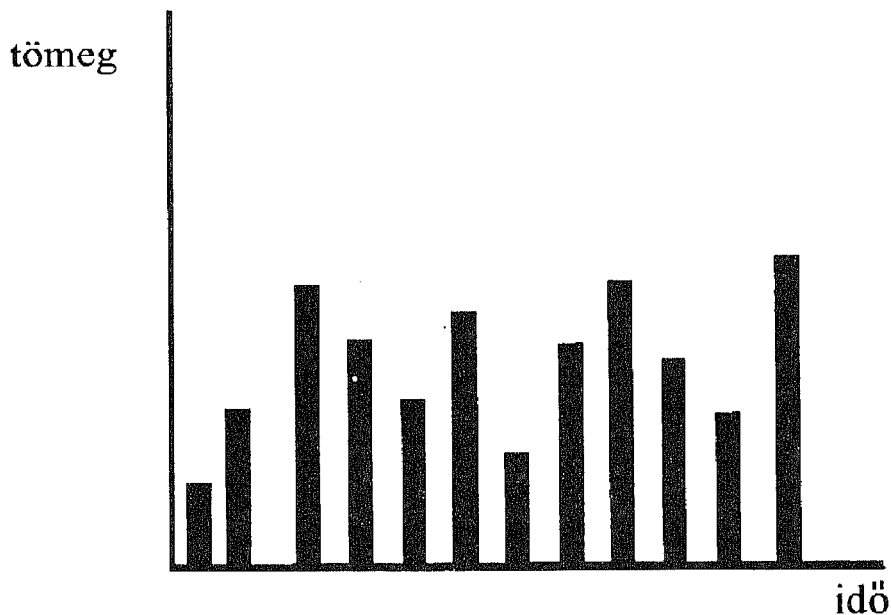
Adva van a következő kísérleti elrendezés: egy rendkívül érzékeny mérleg (egy átlagos homokszem tömegének tizedét is képes mérni) tányérrjára egy mechanizmus percenként egyesével homokszemeket ejt. Egy idő után kezd kialakulni egy kis homokdomb, melynek meredeksége fokozatosan nő, ám ha egy kritikus értéknél meredekebb lesz, lavinák kezdenek el indulni a dombról, és ezzel ismét csökken a meredekség. Elegendően hosszú idő eltelte után a meredekség a kritikus érték körül fog ingadozni. Ekkor a homokdomb elérte kritikus állapotát.

A kritikus állapot számszerű jellemzésére azonban nem a meredekség a legszerencsésebb paraméter. Fontosabb a lavinák nagyság szerinti eloszlása (a lavina nagyságát jellemezzük a tömegével). Ha a lavinák gyakoriságát ábrázoljuk a nagyságuk függvényében, akkor kétszer logaritmikus skálán egyenest kapunk. Azaz a lavinák méret szerinti eloszlása hatványfüggvény jellegű, ezt a tulajdonságot szokás "hatványtörvény"-nek nevezni. Ezzel megfogalmazhatjuk a KÖR egyik legfontosabb mérhető sajátosságát: a KÖR kritikus állapot körüli fluktuációit okozó *objektumok nagyság szerinti eloszlása hatványtörvényt követ*. Fokasz Nikosz cikkében jó néhány jelenséget fölvonultat a társadalomtudományok köréből, melyek így viselkednek, azaz potenciális KÖR-jelöltek lehetnek. Ezt nem szeretném megismételni, egy érdekes dologra azonban föl hívnám a figyelmet. Egy amerikai geofizikus megvizsgálta a Texas állam területén található szénhidrogén-lelőhelyek méret szerinti eloszlását² és azt tapasztalta, hogy az eddig lognormálisnak tartott eloszlás valójában hatványtörvény-szerű. Eddig azért tűnhetett lognormálisnak, mert az olajválságig a

.....

kis hozamú telepeknek nem tulajdonítottak jelentőséget, ezért be sem kerültek a statisztikákba. Így a kis méretek valódi számuknál lényegesen kisebb súllyal szerepeltek. Ebből azt a tanulságot vonhatjuk le, hogy ha valahol lognormális eloszlást tapasztalunk és nincs elméleti okunk föltételezni, hogy annak is kell lennie, célszerű megvizsgálni, hogy milyen mérési korlátok és/vagy érdekek okozhatták a kis méretek alacsony számát.

Térjünk vissza a homokdombhoz, és figyeljük meg tömegének változását az idő függvényében, miután kritikus állapotba került. Az alábbi ábrához hasonló diagramot kapunk.



Ez természetesen nem árul el túl sokat, leginkább valamifajta zajra hasonlít. Tulajdonképpen tényleg zaj, de egyfajta karakterisztikus zaj, mely a KÖR sajátja. Konkrétan arról van szó, hogy ha vesszük a tömeg időbeli változásának Fourier-transzformáltját³, majd ennek az abszolútérték-négyzetét (tehát a teljesítményspektrumot), akkor $1/f$ szerű függvényt kapunk. Meg kell jegyezni, hogy vannak olyan kísérleti és elméleti eredmények is melyek $1/f^2$ -es spektrumot mutatnak. Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a KÖR másik karakterisztikus tulajdonsága az időbeli viselkedésére jellemző $1/f$ -es vagy $1/f^2$ -es zajspektrum.⁴

A természetben számtalan példa van KÖR-ekre, egyik legérdekesebb talán a földrengések esete.⁵ Ha megvizsgáljuk a földrengések nagyság szerinti eloszlását (a nagyságot a Richter-skálán kifejezett értékkel mérve), azt tapasztaljuk, hogy hatványtörvényt követnek. Ebből arra következtethetünk, hogy a földkéreg KÖR-t alkot, így megérthetjük, hogy miért vannak földrengések egyáltalán, és miért pont olyan gyakorisággal és energiával fordulnak elő, mint amilyennel tapasztaljuk őket. A helyi viszonyok (törésvonalak stb.) tulajdonképpen triggererek, de mint már említettem, nagyon stabilak, így föltárásukkal választ kaphatunk arra a kérdésre, hogy a föld bizonyos pontjain miért gyakoribbak a rengések, mint máshol.

*
.....

Fokasz Nikosz cikkében fölbukkant az a tény, hogy a kaotikus rendszerekben az idő múlásával nagyon gyorsan (exponenciálisan) nő a hiba. Érdekes lehet megvizsgálni, vajon mi a helyzet KÖR-ek esetén. Mivel a determinisztikus káosszal ellentétben egyszerű matematikai modellek nem állnak rendelkezésre, a kérdésre számítógépes szimulációval lehet megadni a választ. Készítsünk egy programot, mely a KÖR kritériumainak megfelelően viselkedik, indítsuk el egymásután többször egymáshoz közeli kezdőállapotokból, és figyeljük meg, hogy az idő függvényében hogyan távolodnak egymástól a rendszerek. (A különböző kezdőállapotok különböző rendszereknek felelnek meg.) Azt tapasztaljuk, hogy a rendszerek távolodásának, tehát a hiba növekedésének üteme hatványfüggvény jellegű, ami lényegesen lassúbb, mint a kaotikus esetben tapasztalt, és gyorsabb, mint a prediktív rendszerekben érvényesülő. Emiatt a viselkedés miatt szokás a KÖR-eket "kvázi-kaotikus" vagy gyengén kaotikus rendszereknek is nevezni. Hibaterjedés szempontjából a komplex rendszerek ebbe a két csoportba oszthatók, fontos azonban megjegyezni, hogy az osztályozás mindegyik csoporton belül folytatható, a megfelelő kitevők, illetve exponensek segítségével. Így az az állítás, hogy két kaotikus (vagy kvázi-kaotikus) rendszer közül az egyik kaotikusabb, mint a másik, teljesen értelmes és empirikusan ellenőrizhető. Ez lényegében azt jelenti, hogy a rendelkezésünkre álló mérési pontosság a különböző mértékben kaotikus rendszerekben különböző távolságú előrejelezhetőséget tesz lehetővé. Ez a távolság a kaotikus rendszerekben mindig csekély, kvázi-kaotikus esetben azonban előfordulhat, hogy lehetőségünk van hosszútávú előrejelzésekre is.

*

Tulajdonképpen a végére értünk a KÖR elmélete ismertetésének, és neki kellene foglalkozni a címben fölvetett kérdést. Megérthetjük-e, hogy miért jött? A kérdéssel foglalkozó politológusok, szociológusok természetesen számtalan tényezőt fölvonultattak és fognak fölvonultatni a bukás okaként. Ezek valószínűleg mind relevánsak, én azonban úgy érzem, hogy csak triggererek, és ezt két dologra alapozom:

1. Egyetlen elképzelhető okot sem tudok arra, hogy az események lefolyása miért volt ilyen katasztrofálisan gyors és váratlan.

2. A bukás okaként felsorolható momentumok nagy része fönnállt évekkal előbb is, és fönnáll Kubában most is, akkor és ott mégsem történt semmi.

A választ szerintem tehát a globális politikai rendszerben kellene keresni, de a KÖR-re alapuló analízist valószínűleg lehetetlenné teszik a mérés és kvantifikáció nehézségei. Emiatt nem is érthetjük meg igazán, hogy "miért jött". Akkor meg mire jó ez az egész hókuszpókusz, kérdezhetné valaki teljes joggal. Válaszom az, hogy vannak a társadalmi életnek könnyebben mérhető jelenségei is. Ugyan egy politikai naggyűlés történéseinek megértése kevésbé grandiózus vállalkozás, mint a címben fölvetett kérdés megválaszolása, de ne feledjük, hogy állítólag Galilei is kavicsok dobálásával kezdte.

Irodalom

1. P. Bak, C. Tang, K. Wiesenfeld: Self-organized criticality: an explanation of $1/f$ noise, *Physics Review, L.s.* 59, 381 (1987)
2. C. C. Barton: *A fractal method assessing the volume and size frequency distribution of undiscovered conventional recoverable hydrocarbon accumulations*, *Fractals in natural sciences*, "International conference on the complex geometry in nature, Abstracts", Budapest, 1993.
3. A meglehetősen bonyolult matematikai részletek mellőzésével annyit mondhatunk a Fourier-transzformációról, hogy az egy időben változó jelet, valamilyen értelemben összetevőire bont. Tulajdonképpen a fülünk is ezt teszi, mikor különbséget tesz a különböző hangmagasságok között.
4. Ez a fizikában meglehetősen szokatlan konfúzió annak tudható be, hogy az elmélet még túl fiatal ahhoz, hogy minden kérdést alapjaiban tisztázzon. Az mindenesetre megnyugtató, hogy az $1/f$ -es és $1/f^2$ -es spektrumok sokkal közelebb vannak egymáshoz, mint az egyébként előforduló leggyakoribb spektrumhoz, a "fehér" zajhoz.
5. Bak, K.Chen: *Amerikai Tudomány* 16-24, 1991 március