

Él, csomópont, reflexió

Egy most induló tudományterületről

Bevezetés

A hálózatelemzés divat. A medicina területén például a legnagyobb biomedikális cikket indexáló adatbázis, a PubMed adatai szerint 1989 óta exponenciálisan növekedik a „network analysis” kifejezést tartalmazó közlemények száma. Kritikusai szerint ez csak hype, amely szükségszerűen idővel alábbhagy, míg a másik oldal szerint a tudományos forradalom és paradigmaváltás egyértelmű jele.

A hálózatelemzés egyik ismert alakja, Barabási Albert László a forradalmi vélekedést képviseli, 2011-ben már „network takeover”-ról beszélt a tekintélyes *Nature Physics* folyóiratban.¹ Barabási szerint a redukcionizmus hasznos, de immáron nem elégséges a komplexitás kezelésére, ám a tudományos életbe „viharként érkező” hálózattudomány túllép a redukcionista szemléleten és „éles eszközeivel” valódi forradalmat visz véghez, „legyőzi a komplexitást”. Az ismert fizikus optimista írása a nagyhatású – hálózat kutatásban elért – eredményei miatt mindenképpen továbbgondolást igényel. Barabási a széles közönségnek szóló, rendkívül izgalmasan megírt könyvei hatására az értelmiségi közbeszéd egyik bevett hivatkozásává vált a hálózatelemzés. Sok esetben sajnos pontatlanul használva, a kutatásokat tévesen idézve, és egyfajta „theory of everything”-ként, vagy mindent megoldó bölcsek köveként emlegetve. A rendszerelméletben az entitások folyamatos és sokrétű kölcsönhatása régóta tárgyalt jelenség, a hálózatelemzés valóban segíthet ezek jobb megértésében, ám a hálózatelemzés nem fog megoldani minden problémát. A hype pedig nem szerencsés a módszer egészséges fejlődése szempontjából.

1 Barabási, A. L.: The network takeover, *Nature Physics* 8(1), 2011, 14.

Minden út Euleron keresztül vezet

A gráfelmélet kezdete, mint oly sok tudományágé, Leonhard Euler (1707–1783) nevéhez fűzhető. Ő konkrétan azt mutatta meg vele, nem lehet körsétát tenni az akkori Königsbergben úgy, hogy minden hídon pontosan egyszer haladunk át.² A következő jelentősebb problémát Francis Guthrie (1831–1899) vetette fel. Ő azt sejtette meg, minden térkép kiszínezhető négy színnel úgy, hogy két ország különböző színt kap, ha pozitív hosszúságú közös határuk van. Ez nagyon nehéznek bizonyult, csak 1976-ban adott megoldást (számítógép segítségével) Kenneth Appel és Wolfgang Haken.³ A gép használata miatt sokáig vitatott volt, vajon tekinthető-e ez az eredmény matematikai tételnek.

Az első gráfokról szóló könyvet Kőnig Dénes (1884–1944) publikálta 1936-ban.⁴ Megjegyezzük, hogy néhány nagyon szép és alapvető tétel is fűződik a nevéhez. Mondhatjuk, iskolát teremtett; hazai követői pusztán felsorolása is nehéz volna. Itt most csak Erdős Pál, Turán Pál, Rényi Alfréd, Szemerédi Endre, Bollobás Béla és Lovász László nevét említjük, akik rengeteg érdekes és mély gondolattal gazdagították a területet.

Világszerte továbbra is az egyik legnépszerűbb kutatási területe a matematikának a gráfelmélet. Ennek oka, hogy a gráf fogalma nagyon szemléletes, megragadja az emberek fantáziáját, tele van megoldásra váró problémákkal – mindez elég is egy matematikusnak. Másrészt viszont rengeteg alkalmazása van, kitűnő modellezési eszköz, amely a gyakorlatban vagy más tudományterületeken is kiválóan alkalmazható.

A legegyszerűbb esetben gondolhatunk úgy egy gráfra, mint néhány pontra a síkon, amelyet éllel kötünk össze. Gondolhatunk itt városokra és köztük lévő utakra, az idegrendszer hálózataira, egy számítógépprogram folyamatábrájára, egy fa elágazásaira stb. Néha az élék metszhetik is egymást, továbbá természetes kérdés, hogyan rajzoljunk le egy gráfot, illetve mikor tudjuk ezt megtenni az élék metszése nélkül.⁵ Hány diszjunkt út létezik két város között, ha a gráfunk térképet ábrázol?⁶ Ha az élék felépíthető utakat jelölnek, milyen minimális költséggel tudjuk összekötni az összes várost?⁷

2 Euler L.: Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis *Commentarii academiae scientiarum, Petropolitanae* 8 (1741) 128–140.

3 Appel K. – Haken W.: Every Planar Map is Four Colorable. I. Discharging, *Illinois Journal of Mathematics* 21 (3), 1977, 429–490, MR 0543792

4 Kőnig, D: *Theorie der endlichen und unendlichen Graphen*, Leipzig, 1936.

5 Kuratowski, C.: Sur le probleme des courbes gauches en topologie, *Fundamenta mathematicae* 15(1), 1930, 271–283.

6 Menger, K.: Zur allgemeinen kurventheorie, *Fundamenta Mathematicae* 10(1), 1927, 96–115.

7 Borůvka, O.: *O jistém problému minimálním*, *Práce Moravské přírodovědecké společnosti*, 3 (3): 57–58, 1926.

Mark Newman, a hálózat kutatás egyik kiemelkedő kutatója, a valós (életben létező) hálózatokat négy csoportba osztja:⁸ társas hálózatok (házasságok, üzleti kapcsolatok, különböző humán kommunikációs formák, szexuális stb.), információs hálózatok (citációs, szabadalmi, szóasszociációs, internet stb.), technológiai hálózatok (utak, energiaszállító, folyadékszállító, távközlési stb.) és biológiai (fehérje–fehérje-interakciós, metabolikus, táplálék, idegrendszer, ér stb.). Rendkívül meglepő felfedezés volt, hogy számos valós jelenség adataiból egyértelműen, logikusan származtatott hálózat kisvilág-gráf (Small World Graphs). Bár a pontos definícióban még nem állapodott meg a gráfelmélet, a legfontosabb tulajdonságai az alábbi négy pontban foglalhatók össze:⁹

A gráfnak viszonylag kevés éle van az összes lehetséges élhez képest (ritka gráf).

A gráfban jelentős sűrűsödések találhatóak.

A gráfban található csomópontok között viszonylag alacsony az átlagos távolságok (könnyen bejárható).

A fokszámok eloszlása hatványtörvénnyel írható le.

Valamelyest külön világot képez a mérnöki tudományokban a technológiai hálózatok (energia, távközlési, folyadék, út stb.) tervezésekor és ezen technológiai hálózatokban folyó áramlás szabályozásában használt áram vagy flow-network modellek és problémák.

Mit számíthatunk ki a hálózatokból?

A hálózatok csúcspontjaihoz, éleihez számokat, értékeket (leíró tulajdonságokat) rendelhetünk; ilyen lehet például egy közösségi oldalon az életkor, lakhely, hobbik, különböző meggyőzések, aktivitás stb. Tudnunk kell, ha valaki nem ad is meg adatot, pusztán a ismerősei (gráfelméleti értelemben a szomszédsága) adataiból az ő megosztani nem kívánt egyes adatai szintén következtethetők (szomszédsága adataitól függően bizonyos megbízhatósággal¹⁰). De például gráfokkal jellemezhetők az ételekben előforduló aromák, így értelmezve a létező recepteket és ötleteket nyerve újakhoz.¹¹ Az országok gazdaságának szerkezetének leírását, a fejlődési lehetőségeik feltárását célozza a ti-

8 Newman, M. E.: The structure and function of complex networks, *SIAM Review*, 45(2), 2003, 167–256.

9 Brys, Z. – Buda, B. – Pluhár, A.: Hálózat kutatás a medicinában és határterületein. *Lege Artis Med* 22(6-7), 2012, 445–449.

10 Backstrom, L. – Kleinberg, J.: Romantic partnerships and the dispersion of social ties: a network analysis of relationship status on facebook, in *Proceedings of the 17th ACM conference on Computer supported cooperative work & social computing*, ACM, 2014, 831–841. és <https://videotorium.hu/hu/contributors/2695/dr-pluhar-andras> (Utolsó letöltés: 2019. 05. 14.)

11 Ahn, Y. Y. – Ahnert, S. E. – Bagrow, J. P. – Barabási, A. L.: Flavor network and the principles of food pairing, *Scientific reports* 1, 2011, 196.

pikusan együtt exportált javak közti gráf vizsgálata.¹² A banki tranzakciók megfelelő modellje pedig a hitelképesség becsléséhez járul hozzá.¹³ Ezekon felül még rengeteg kutatás említhető egészen változatos területekről: fizika, biológia, kémia, szociológia, optimalizálás, de még a számelmélet is. Barabási Albert Lászlóval abban mindenképpen egyet lehet érteni, hogy több kutatási terület számára lendületet adott a gráfelmélet alkalmazása. A hálózatkutatás multidiszciplináris jellege miatt lehetetlen volna még a vázlatos ismertetése is, de egy lényeges motívumot megfigyelhetünk: az épp aktuális kutatások irányát erősen befolyásolta, hogy milyen gráfok (adathalmazok) álltak rendelkezésre. A múlt században a kilencvenes évektől kezdve következett be jelentős változás: a digitalizáció. Az adattárolás olcsóbbá és tömegessé vált, elterjedt az internet, megjelentek a szociális hálózatok, s a technológiai eszközökkel rohamosan növekedett a tudásunk a biológiai hálózatokról, és az informatikával támogatott adminisztráció által a gazdasági és politikai világban is nagy mennyiségben keletkeztek adatok. Ezek megértéséhez, hasznosításához újfajta gondolatok és módszerek váltak szükségessé, s ebben hasznosnak bizonyult a gráfelmélet. A feltárt lehetőségek egyszerre biztatók és félelmetesek; meg kell tanulnunk etikusan használni őket.

Mit számíthatnak ki a hálózatok?

Mivel a hálózatok egy része önszerveződéssel jön létre, így a létrejöttüket tekinthetjük egyfajta számításnak. A weblapok és a köztük lévő kapcsolatok, a www-gráf, többé-kevésbé spontán alakul, mégis sok hasznos információt rejt. A fehérjék interakciós hálózata, az immunrendszer hálózatai vagy a mozgást koordináló gerincvelő/kisagy, az érzelmeket vezérlő „hüllóagy” nem pusztán információt hordoz, hanem tevékenyen reagál a rendszert érő hatásokra. Ezek a természetes intelligencia egy-egy formájának tekinthetők, hiba lenne azt pusztán a logikus gondolkodásra és az ezért felelősnek tartott homloklebényre korlátozni. (Itt megemlíthető az előrejelző agy koncepciója is, mely szerint az agy nem passzív, reagáló aktor, hanem folyamatosan komplex előrejelzéseket készít.) Ugyanakkor nehéz lenne definiálni, mi a mesterséges intelligencia, hiszen a természetes intelligenciát, sőt a tudatosságot sem tudjuk pontosan meghatározni. Kézenfekvő viszont, hogy a mesterséges intelligenciát is hálózatokon keresztül próbáljuk megközelíteni. Ennek egy régi, félig

12 Hidalgo, C. A. – Klinger, B. – Barabási, A. L. – Hausmann, R.: The product space conditions the development of nations. *Science* 317(5837), 2007, 482–487.

13 Bóta, A. – Csernenszky, A. – Gyórfy, L. – Kovács, G. – Krész, M. – Pluhár, A.: Applications of the inverse infection problem on bank transaction networks, *Central European Journal of Operations Research* 23(2), 2015, 345–356.

autonóm, modellje a mesterséges neurális hálózat.¹⁴ Itt az élek irányítottak, súlyozottak, és egyes „neuronjai” akkor bocsátanak ki jelet, ha elegendő súlyú inger fut be. A mélytanulás (deep learning) során eldöntendő példák sorát értékelik ki a hálón, és módosítják a súlyokat a döntés helyességétől függően. Ha van elég tanuló példa, akkor a folyamat olyan hálózatot ad, amely nagy biztonsággal dönt helyesen. Az utóbbi időkben elképesztő sikerei voltak ennek a módszernek – az egyik ok a számítógépek fejlődése. A másik ok viszont a tanításra felhasználható adatok nagy mennyisége (big data) és rendszerezettsége. Ez jórészt a világhálónak, a digitalizációnak, a keresőmotoroknak és az ezekkel létrehozott óriás adattárházaknak köszönhető.

És hát a fertőzések

A fertőzés terjedésének kezelése (pl. karantén) jóval megelőzi a fertőző ágensek felfedezését. A fertőzés kifejezést persze nem pusztán a kórokozók átadására használjuk, érthetjük ezalatt információk, technológiák, szokások stb. terjedését is. Érdeemes közös nyelvet, modelleket használni tehát rájuk. Természetesen vannak jelentős különbségek is, amelyeket a konkrét esetben figyelembe kell venni. John Snow az 1854-es londoni kolerajárványt egyetlen közkútra vezette vissza, amely a Temzéből nyert szennyezett vizet. A mobiltelefonok elterjedését az segítette, hogy egy potenciális vásárló sok ismerősénél láthatta a használatukat, a használók száma pedig növelte a hasznosságot és csökkentette a költségeket (hálózatos hatás). A másik különbség, hogy van-e felgyógyulás, esetleg immunitás egy „betegség” után (SIS illetve SIR modell), avagy az végzetes (SI modell).

A gráfok, főleg a kisvilág gráfok vizsgálata sok új és meglepő felismerést hozott a korábbi tanulmányokhoz képest. A szociálpszichológiában már világossá vált, hogy az emberek ultratársas lények, és jóval közelebb állnak egymáshoz, könnyebben befolyásolhatók, mint eddig gondoltuk. A kisvilág gráfok jellege miatt pár lépésnyi távolságra lehetnek a „betegek” bárkitől. Ez, valamint a későbbi eredmények felülírták az orvostudomány hipotéziseinek egy részét. Granovetter súlyozott fertőzésmodellt definiált: ebben az egyén akkor betegszik meg, ha a közvetlen ismerősei közül is elég sokan (figyelembe véve a kapcsolat szorosságát és a véletlent is). Már ő felhívta a figyelmet arra, hogy paradox módon a kisebb súlyú, „gyenge kapcsolatok” felelősek a járványok vagy éppen az információ terjedéséért is.¹⁵

14 Zurada, J. M.: *Introduction to artificial neural systems* (Vol. 8), West Publishing Company, St. Paul, 1992.

15 Granovetter, M.: *The strength of weak ties: A network theory revisited*, Sociological Theory, 1983.

Nagy jelentőségű volt Albert Réka és munkatársainak tanulmánya a hálózatok összefüggőségéről.¹⁶ Eszerint a kisvilág gráfok roppant masszívak, nem érzékenyek a csomópontjaik véletlen elvesztésére, gyakorlatilag a teljes pusztulásukig összefüggők maradnak. Viszont ha célzottan töröljük a pontjaikat, nagyon hamar szétesnek. Tehát az internet eredeti célja nem valósult meg, a célzott támadásra nagyon is sérülékeny. Ha orvosi interpretációját vesszük az eredménynek, azt a biztató képet látjuk, hogy viszonylag kevés ember immunizálásával vagy elszigetelésével megfékezhetünk bizonyos járványokat. (A véletlen, a fertőzésnek nem kitett emberek oltása viszont nem tűnik túl eredményes stratégiának.)

A fertőzéshez hasonló a statisztikus fizikában kedvelt ún. *perkoláció*. Itt főleg a különböző rácsokból törölnek véletlen éleket, és a maradékból következtethetünk egy adott test átnedvesedésére, szilárdságára stb. Az itt fellépő gráfokban ún. *küszöb tulajdonságot* tapasztalhatunk, azaz bizonyos valószínűségű törlés mellett majdnem biztosan összefüggő a gráf, míg egy picit növelve majdnem biztosan szétesik. Ez magyarázhatja a fizika fázisátmeneteit (fagyás, olvadás, elpárolgás), úgy általában pedig a hirtelen bekövetkező nagy változásokat. A kisvilág gráfoknál viszont nem jelenik meg a küszöb tulajdonság.¹⁷ Ezzel feloldottunk egy a fertőző betegségekre vonatkozó paradoxont. A szokásos differenciálegyenleteket használó modellek szerint egy betegség vagy eltűnik, vagy megfertőzi a teljes populációt, attól függően, mekkora a fertőző képessége (virulenciája), azaz ennek függvényében fázisátmenetnek kellene lennie. A valóságban ez nem következik be, egy-egy betegség csak a populáció egy részét fertőzi, visszaszorul, ugyanakkor nagyon nehéz megszabadulni tőle. A kisvilág gráfok szerkezete ezt lehetővé teszi, nem fertőződik meg a teljes populáció, ugyanakkor folyton visszatér a betegség, mert mindig talál egy nagyfokú pontot, amin keresztül ismét képes sok pontot fertőzni.

A fertőzés felfogható matematikai műveletként is, amellyel egy részben ismert függvényt terjesztünk ki ismeretlen tartományra. Erre egy lehetőség Domingos és Richardson független kaszkád modellje,¹⁸ amelyről kiderült, hogy ekvivalens lehet Granovetter modelljével, és általa a fertőzés, valamint a fertőzés maximalizálása is jó közelítéssel kiszámolható.¹⁹ Van arra is lehe-

16 Albert, R. – Jeong, H. – Barabási, A. L.: Error and attack tolerance of complex networks, *Nature* 406(6794), 2000, 378.

17 Boguná, M. – Pastor-Satorras, R. – Vespignani, A.: Absence of epidemic threshold in scale-free networks with degree correlations, *Physical review letters* 90(2), 2003, 028701.

18 Domingos, P. – Richardson, M.: Mining the Network Value of Costumers, in *Proceedings of the 7th International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, ACM, 2001, 57–66.

19 Kempe, D. – Kleinberg, J. – Tardos, É.: Maximizing the spread of influence through a social network, in *Proceedings of the 9th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, ACM, 2003, 137–146.

tőség, hogy tényleges fertőzési adatokból az egyes élek aktivitását vagy éppen ennek az egyéb paramétereiktől való függőségét becsüljük meg. Így összességében komplex modelleket tudunk felállítani például vállalatok csődbe jutási valószínűségére, illetve meghatározhatjuk, melyek a döntő faktorok ebben a modellben.²⁰ A fenti példákából látható, hogy a fertőzésszimuláció a gráfelmélet egy jelentős potenciállal bíró részterülete.

Társadalomtudomány?

Sajátos helyzetük miatt külön említést igényelnek a társadalomtudományok területén alkalmazott gráfelméleti módszerek. A társadalomtudományban, így például Radcliffe-Brown Alfred (1881–1955), Georg Simmel (1858–1918), Gabriel Tarde (1843–1904) és mások munkásságban régi idea, hogy egyes társadalmi hatások hálózatosan érvényesülnek. A társadalmi rétegződés és struktúra kutatása területén ma már önálló aldiszciplína a társadalmi kapcsolathálózatok elemzése.

A széles körben ismert szociometria (Méreij Ferenc, Jacob Moreno) kezdetileg kisközösségeket vizsgált. Érdekes módon ma már kettéválasztják a negatív (szimpátia) és pozitív (antipátia) hálózatokat a kis közösségek elemzésekor, mivel kiderült, másfajta törvényszerűségek érvényesek ezekben. A pozitív, baráti hálózatok lassan alakulnak ki, a kölcsönösség, hasonlóság, vonzódás és közelség játszik bennük szerepet, idővel újraértékelődnek. Míg a negatív kapcsolatok kialakulása és fenntartása nem igényel feltétlen hosszú időt, költséget és közelséget sem, érdekes módon a negatív kapcsolatok stabilabbak, ritkán kerülnek újraértékelésre.²¹

A digitalizációval, a technológia fejlődésével, az adatok bővülésével és a szociális média megjelenésével itt is adódott a lehetőség jelentősen nagyobb társas, gazdasági és politikai adathalmazokból származtatott gráfok vizsgálatára. Sajátos – a mérnöki tudományokban ismert – jelenség kezd sajnos kibontakozni: az IT-óriások és titkosszolgálatok alkalmazzák a társadalomtudományi hálózatkutatást, de nem érdekük az eredményeket publikálni, ezért a kutatás élvonala itt is az iparhoz és a titkosszolgálatokhoz kerülhet át. Bár a matematikai, gráfelméleti modellek kutatása biztosan igényli a nemzetközi matematikus közösség hozzájárulását, de egyes „mérnökibb” részmegoldások és az eredmények valószínűleg titkosak maradnak.

20 Bóta, A. – Csemenszky, A. – Gyórfy, L. – Kovács, G. – Krész, M. – Pluhár, A.: Applications of the inverse infection problem on bank transaction networks, *Central European Journal of Operations Research* 23(2), 2015, 345–356.

21 Csaba, Z. – Pál, J.: How negative networks are forming and changing in time? Theoretical overview and empirical analysis in two high-school classes, *Review of Sociology* 20(2), 2010, 69–95.

Emblematikus egy amerikai kutatópáros, Christakis és Fowler három publikációjának története. A kutatók az epidemiológia egyik legismertebb és legrégebb óta tartó kohorszvizsgálatának, a Framingham Heart Studynak az adatait elemezték újra a gráfelmélet segítségével. A dohányzás, az elhízás és a boldogság terjedését vizsgálták.²² Újraelemzésükben a csomópontok egyének voltak, az élek pedig a társas (családi, munkatársi, szomszédsági és baráti) kapcsolatok. Mindhárom területen megállapították, hogy egy adott szociális kapcsolat mennyiben változtatja meg az egyén esélyét a vizsgált jellemzőre. (Pl. ha a házastárs felhagy a dohányzással, az kb. 67%-kal csökkenti az egyén dohányzásának esélyét.) A közleménycsoportot erős módszertani kritika érte statisztikusok és epidemiológusok részéről. Egy rendkívül szellemes kritikus például megegyező módszertannal kimutatta, hogy a pattanások, a fejfájás és a testmagasság is hálózatos úton terjednek.²³ Mivel ez nyilvánvalóan hamis eredmény, felvetette, hogy a módszertan, illetve az értelmezés lehet hibás. Mások erős statisztikai kételyeket fogalmaztak meg.²⁴ Az elméleti szakemberek pedig hamar felhívták a figyelmet arra, hogy a kutatók nem vették figyelembe, hogy a jelenség mögött feltehetően nem fertőzés áll, hanem a homofília jelensége. Ezen kritikák rámutattak, hogy még nincsenek széles körben elfogadott gráfelméleti és statisztikai eljárások és „könnyű” értelmezések a társadalomtudomány területén.

A társadalomtudományi kapcsolathálózat elemzésben kezdetileg a kutatók megelégedtek azzal, ha ábrázolták az adott hálózatokat, s azokat vizuálisan értelmezték. Később különféle, a gráfelméletben kidolgozott mutatószámokat kezdték használni a csomópontokra és az élekre (pl. fokszám, közelség-központiság, közöttség-központiság stb.), és ezeket heurisztikusan értelmezték. Napjainkban már megjelent a klaszterelemzés és a fertőzésszimuláció eszköze is.

Jelenleg nincsenek széles körben elfogadott eljárások például arra sem, hogyan vehetnék mintát egy ritka hálózathálóból, illetve arra sincs, hogy egy részgráfban kimutatott eredmény mennyire általánosítható. Felvethető, hogy egy növekvő (csomópontok és élek száma) hálózatban kimutatott törvényszerűség már nem igaz egy stagnáló vagy csökkenő hálózatban. Jelenleg például legalább 10 megalapozott módon lehet véleményvezéreket de-

22 Christakis, N. A. – Fowler, J. H.: The spread of obesity in a large social network over 32 years, *New England Journal of Medicine* 357(4), 2007, 370–379.; Fowler, J. H. – Christakis, N. A.: Dynamic spread of happiness in a large social network: longitudinal analysis over 20 years in the Framingham Heart Study, *Bmj* 337, 2008, a2338.; Christakis, N. A. – Fowler, J. H.: The collective dynamics of smoking in a large social network, *New England Journal of Medicine* 358(21), 2008, 2249–2258.

23 Cohen-Cole, E. – Fletcher, J. M.: Detecting implausible social network effects in acne, height, and headaches: longitudinal analysis, *BMJ* 337, 2008, a2533.

24 Lyons, R.: The spread of evidence-poor medicine via flawed social-network analysis. *Statistics, Politics, and Policy*, 2011, 2(1).

tektálni szociális hálózatokban.²⁵ Egy adott adathalmazból sokféleképpen lehet gráfot származtatni. Ugyanazon emberi közösség esetében teljesen más topológiájú gráfot kapunk, ha mást definiálunk élnek (pl. kézfogást, név-ismerést, nagyobb összegű pénz kölcsönadását, szexuális együttlétet, egy éven belül 100 kölcsönös emailváltást stb.). A természettudományban viszonylag jobban pontosítható egy interakció, ám a társadalomtudományban ez már több megfontolást és kritikai érzéket kíván. Mivel ez jelenleg kutatói döntés, és a kutatók publikációs kényszer alatt állnak, könnyen kialakulhat itt is egyfajta „p-hacking”: úgy választják meg az éldefiníciót, hogy egy adott klaszterezési eljárással kijöjjön a várt eredmény. Megjegyezzük, hogy ezen feladatok (az élék definíciója) egy részét mesterséges intelligencia programok végzik. A kapott eredmény jól használható és helyes is lehet, de az ok-okozati összefüggések esetleg nem derülnek ki belőle. A folyóiratoknak pedig nehéz lektorokat találni, mert bár rohamosan fejlődik a terület, viszonylag kevés a szakember, s a módszerek validálási „metaelmélete” is kidolgozásra vár. A frekventista statisztikában lassan kialakult, de mára széles körben elfogadott módszerek megszületésére valószínűleg évtizedekre és sok nyitott vitára és beszélgetésre van szükség. Barabási Albert László e tekintetben is említendő, hiszen *Network Science* címmel online is elérhetővé tett tankönyvet adott ki.²⁶ A statisztikához hasonló, széles körben alkalmazható, hálózat kutatás ilyen szempontból még csak most születik.

Szilícium-völgy könnyed világa

A szociális médiában keletkező kapcsolathálózatokat kutatva nem kerülhető ki az annak társadalmi vetületére adott reflexió sem. A szociális média és az elektronikus eszközök térnyerése számos társadalomtudós szerint aggodalomra ad okot: úgy tűnik, az okostelefonok, a szociális média a kapcsolati élményformákat káros irányba befolyásolhatják, addikciót okozhatnak. Maslow normatív elképzeléseit az ember szükségleteiről sokszor és joggal bírálták már. A piramis legalja (a légzés, hőmérsékleti homeosztázis, tápanyag, folyadék stb.) többnyire nem tudatos, a felsőbb szintek pedig nem esnek egybe a tapasztalattal. Nehéz volna mondjuk megmagyarázni, miért éheznek valaki, hogy egy új mobiltelefont vehessen. Az ember még a primátákhöz hasonlítva is ultratársas lény,²⁷ részben ez magyarázhatja a szociális médiák döbbenetes gyors térnyerését. Heidegger gondolatai, a *világba*

25 Valente TW. – Pumpuang P: Identifying Opinion Leaders To Promote Behavior Change. *Health Educ Behav* 34(6), 2007, 881–896.

26 Barabási A. L.: *Network Science*, 2018, <http://networksciencebook.com/> (Utolsó letöltés: 2019. 05. 14.)

27 Tomasello, M.: The ultra-social animal, *European Journal of Social Psychology* 44(3), 2014, 187–194.

vetettség és az ember kiszolgáltatottsága talán közelebb visz bizonyos jelenségek megértéséhez. (1) Megérteni, esetleg uralni szeretnénk a világ jelenségeit, (2) egy közösségbe akarunk tartozni, amely megvéd. Ha egy eszme, eszköz, alkalmazás segít ezekben, akkor könnyen elterjedhet. Korunk két hálózatokon alapuló siker története talán pontosan ezeket ragadja meg. A Google azt ígéri, általa megtudhatunk mindent, ami ma tudható, és nyitott a jövőben keletkező tudásra. A Facebook mintegy a „globális falu” megvalósításaként a közösség álményét nyújtja, akár valós közösségek nélkül, kontrollálható határokkal. Sokak számára úgy tűnik, ezen technológiai óriások nem vállalnak felelősséget az általuk okozott társadalmi hatásokért, amelyek sok esetben tovább erősíthetik az elszigetelődést.

Konklúzió

Összefoglalva tehát a hálózatelmélet azt ígéri, hogy a páronkénti kölcsönhatások megértése után átsegít a következő szerveződési szintre, és jobb jósolatokat ad egy komplex rendszer egészére. Ebben jelentős potenciál van. Régi tapasztalat persze, hogy egy új tudomány csak a várakozások egy részét teljesíti. A hálózatok képződése során megfigyelt, illetve a modellek alapján létrejövő hatványtörvényes eloszlások nagyon biztatók, legalábbis a leírás szempontjából. Ezek mindenképpen arra utalnak, hogy a véletlen folyamatok várható értékétől való eltérések sokkal nagyobb valószínűséggel következnek be, mint azt a normál eloszlásra „szocializálódt” kutatók gondolják. Ha ezek a váratlan események egyben nagy hatásúak is, akkor hívjuk őket Taleb nyomán „fekete hattyúnak”.²⁸ Ő már klasszikus írásaiban felvetette, hogy bizonyos „fekete hattyúk” okát a hálózati jelenségekben kell keresnünk. Itt viszont mindig gondolni kell arra, hogy a modellezni kívánt jelenségnek lehetnek olyan tulajdonságai, amelyet nem ismerünk. Utalhatunk a gének hálózatára, ahol sokáig az „egy tulajdonság, egy gén” paradigmát követték a kutatók. Am nagyon valószínű, hogy egész géncsoportok együttes léte és hatása az oka az öröklött tulajdonságok jelentős részének. Ezeket a kölcsönhatásokat nem ismerjük, a hálózatok páros kölcsönhatásokat feltételező módszere pedig nem is volna elégséges a leírásukhoz. Továbbá hálózatokon alapuló döntések visszahatnak magukra a jelenségekre is. Egy kifinomult családetektáló eszköz „szupercsalókhhoz” vezethet,²⁹ amely tanulásra kényszeríti a családetektálót. Az evolúció már csak ilyen...

28 Taleb, N. N.: *The black swan: The impact of the highly improbable* (Vol. 2), Random House, 2007.

29 Bereczkei T.: *A megtévesztés pszichológiája. Machiavellizmus*, Typotex, Budapest, 2016.