

Csermely Péter

Hálózatok – Mire alkalmasak, mire nem és hogyan tudnak tanulni?

Kivonat: A hálózat kutatás az elmúlt évtizedekben számos olyan tudományterületen is alkalmazást nyert, amelyeken korábban kevésbé volt ismeretes. A hálózatok növekvő népszerűségének több oka van. Ennek egyikeként a hálózatok szerkezete számos ponton nagyon hasonló; így pl. csomópontokkal, csoportokkal, a csoportok középpontjával (magjával), és a csoportok közötti hidakkal jellemezhető. E szerkezeti elemeket Szent II. János Pál pápa bibliai együtt-idézési hálózatain is bemutatom. A hálózatos leírás alkalmazhatóságát a hálózat nódusainak és kapcsolatainak definíciójában tükröződő háttértudás mennyisége szabja meg. A hálózatok dinamikájának egyik kulcskérdése az, hogy hogyan alkalmazkodnak a megváltozott körülményekhez, azaz hogyan hoznak döntéseket, hogyan tanulnak? A komplex rendszerek széles skálája mind kétféle, egymástól markánsan különböző választ ad akkor, ha 1.) a komplex rendszer egy visszatérő, ismétlődő, ismert helyzetbe kerül; vagy akkor, ha 2.) a komplex rendszer egy új helyzetre kell, hogy választ találjon. A begyakorolt válaszokat a komplex rendszert leíró hálózat magja kódolja. Az új válaszok kialakításához azonban a hálózat periferiáján elhelyezkedő nódusok új keresztkapcsolataira is szükség van. A bemutatott példák arra hívják fel a figyelmet, hogy közösség egészének a tudását mobilizáló deliberatív demokrácia nem egy morális alapállás kérdése, hanem az evolúció hosszú évmilliárdjai által kikísérletezett, és a biológiai rendszerekbe kódolt sikeres válaszforma.

Kulcsszavak: csomópontok, hálózatos mag és periféria, komplex rendszerek, szóasszociációk, tanulás

1. Bevezetés

Ez a fejezet három kérdést kíván megválaszolni. Az első ezek közül: Miért és hogyan vált a hálózat kutatás olyan széles körben alkalmazott, ismert és kedvelt tudományterületté az elmúlt néhány évtizedben, mint amennyire ennek tanúi vagyunk? A második ennek az ellenkezője: mire nem alkalmasak a hálózatok? A harmadik kérdés pedig az, hogy hogyan tanulnak a hálózatok. A bevezető végén hadd tegyem ezekhez a kérdésekhez hozzá azt a szép tényt, hogy Magyarország nagyhatalom a hálózat kutatásban. Ezt nemcsak e kötet szerzői mutatják, hanem Vicsek Tamás akadémikus, aki Barabási Albert László akadémikus mentora volt (aki mentora volt Albert Réka akadémikus asszonynak); Lovász László, akadémiánk elnöke, aki a hálózat kutatás matematikai részének, a gráfelméletnek a nemzetközileg legjobban elismert kutatói közé tartozik, illetve Kertész János akadémikus, aki szintén nagy dolgokat tett le a hálózatelméletben. És nagyon-nagyon sokan mások, akiknek a nevét most nem tudom említeni, mert akkor másról sem szólna ez a fejezet.

2. Az ember hálózatképző állat

Hadd kezdjem a hálózatok népszerűségének az indoklását azzal, hogy az ember egy hálózatképző állat. Ennek indoklására egy szociálpszichológiai vizsgálatot szeretnék röviden ismertetni (Wilson és mtsai 2014). A kísérlet arról szólt, hogy önkénteseket 6-tól 15 percig terjedő időtartamra bezártak egy szobába, amelynek nem volt ablaka. Semmi nem volt a

szobában, a mobilt pedig elkobozták. Egyetlenegy gombot adtak az kísérleti alanyok kezébe, és figyelmeztették őket arra, hogyha megnyomják ezt a gombot, akkor egy nem életveszélyes, de elég fájdalmas áramütést mérnek saját magukra ezzel. Utána figyelték videón, hogy mi történik. A kísérletnek egészen szomorú eredménye lett. Kiderült, hogy átlagosan az urak 67%-a fájdalmas áramütések sorozatát mérte magára azért, mert képtelen volt csendben maradni, meditálni, elmélyedni kb. tíz kemény percen keresztül. A hölgyek sokkal racionálisabb lények, mint az urak. A hölgyeknek csak 25%-a mért magára fájdalmas áramütéseket, ahelyett, hogy kihasználta volna azt a lehetőséget, hogy kb. tíz percen keresztül elgondolkodjon végre valamin. Ebből a kísérletből is látszik, hogy mennyire félünk egyedül maradni. Látszik, hogy mennyire fontos a számunkra, hogy kapcsolatrendszerben éljünk. Ezt a kapcsolatrendszert írja le a hálózat kutatás.

3. A hálózatok haszna

A másik nagyon fontos ok, ami miatt járványszerűen elterjedt a hálózat kutatás a tudományokban, az adatoknak az a mennyisége, amely már nemcsak elér bennünket, amelyet most már nemcsak rögzíteni tudunk, hanem az internet segítségével nagyon könnyen meg is tudunk osztani egymással. Azonban az embernek a munkamemóriája, tehát az az agykapacitás, ami az egymással párhuzamosan feldolgozható információk mennyiségét megszabja, igencsak kicsi. Átlagosan 5-7 darab információt vagyunk képesek egymással párhuzamosan feldolgozni (Miller 1956; Cowan, 2001). Amikor milliárd számra jönnek az információk, akkor ezzel nem sokra megyünk... Ki kellett tehát fejleszteni olyan technikákat, amelyek képesek ebből a milliárdnyi információból kiemelni számunkra azt az 5-7 fontos információt, amivel elboldogulunk. A tudomány korábbi paradigmája, amely azt mondta, hogy van egy ok és van egy okozat, mára a legtöbb esetben csődöt mondott. A mai módszerekkel ezer okot és ezer okozatot vagyunk képesek feltárni, azaz oda jutottunk, hogy sikeresen felfedeztünk annyi mindent, amit már megérteni nem tudunk... Azaz eléggé nagy zavarodottság lett úrrá a biológiai, a fizikusi tudományterületeken és a tudományok különböző sok más területén is. Ennek a megoldására születtek különböző technikák. E technikák egyike a hálózat kutatás. Tehát véletlenül sem úgy szeretném a hálózat kutatást bemutatni, mint valamiféle csodaszert, mint valamit, amivel mindent meg lehetne oldani, hanem csak mint egyetlenegy technikát a sok olyan technika közül, amelyekkel sok adatot valamilyen módon rendezni lehet.

Hadd hozzak még néhány példát arra, hogy miért olyan erőteljes az emberi gondolkodásban a hálózat kutatásnak az alkalmazása. A memóriánk kontextusfüggő. Amikor nehéz búvárokat megtanítottak versekre nehéz búvár-ruhában ötven méterrel a vízszint alatt, akkor kiderült, hogy ezekre a versekre nehéz búvár-ruhában ötven méterrel a vízszint alatt sokkal jobban emlékeznek, mint bármi más, sokkal kényelmesebb körülmények között (Godden – Baddeley 1975). Amikor orvostanhallgatókat egy beteg vizsgálata közben megtanítottak versekre, akkor egy másik beteg vizsgálata közben sokkal inkább vissza tudták mondani ezeket a verseket, sem mint egy sokkal kényelmesebb szituációban (Koens – Ten Cate – Custers 2003). Tehát kontextusfüggő a memóriánk és ez inherensen, egyfajta hálózatot involvál a megértésünkben, ami annál is fontosabbá válik, mert kiderült, hogy a hitelesség is kontextusfüggő (Johnson 2004). Sokkal inkább hitelesnek, helyesnek vagyunk hajlandók elfogadni egy olyan állítást, amely általunk korábban már helyesnek elfogadott állításokkal valamiféle összefüggésben van, és ilyen módon be tudjuk illeszteni abba a világgépünkbe, amely bennünk korábban kialakult. Az hitelesnek vélt információ nem alakít ki feszültségeket abban a világgépben, amit korábban már magunkénak vallottunk. Viszont ennek az ellentéte is megfigyelhető: ha egy olyan helyzetbe kerülünk, amelyről nem tudjuk letagadni, hogy ez igaz, tehát egy valós, megfellebbezhetetlen, megcáfolhatatlan új élmény ér bennünket, amely

azonban ellentétben van olyan korábbi állításokkal, amelyeket igaznak fogadtunk el, akkor – különösen, hogyha ez a helyzet ismétlődik, vagy olyan brutálisan érintett bennünket, hogy kitörölhetetlen - akkor nagy esélye van annak, hogy ezeket a korábbi állításokat el fogjuk felejteni (Kim – Lewis-Peacock – Norman – Turk-Browne 2014). Tehát megint egyfajta egységet próbálunk meg képezni a gondolkodásunkban, de most máshogy. Most nem úgy, hogy az újat építjük be a régibe, hanem úgy, hogy a régit alakítjuk át az újnak megfelelően. Azaz lényegében egyfajta hálózatos viselkedés figyelhető meg az agyunk működésében, amikor információkat befogad, rendszerez és továbbad.

Az utolsó érvem arra, hogy miért olyan közkedveltek és miért olyan elterjedtek a hálózatok, a hálózatok definíciójához vezet el minket. A hálózatok definíciójának első eleme az, hogy nódusokat kell definiálni a hálózatban (Barabási 2017; Csermely 2005). Nódusokat azaz elemeket, pontokat, részeket, amelyből a hálózat felépül. Nagyon fontos, hogy amikor egy nódust definiálunk egy hálózatban, akkor a nódus identitásáról elfelejtkezünk. Had mondjak egy példát: hogyha az ismerőseinkből egy szociális hálót próbálunk képezni, akkor mindegyikükről, mint emberről kell hogy beszéljünk. Tökéletesen el kell tehát feledkeznünk arról, hogy fiatal vagy idős, hogy férfi vagy nő és bármi másról, ami az ismerősünket jellemzi. Na most bármelyik ismerősünk teljes joggal tiltakozhatna ez ellen az eljárás ellen, hogy őt egyetlen szóval jellemezzük és az egész egyéniségét elhanyagoljuk úgy egyébként. Figyeljük meg, hogy az információ 99,9999 százalékát a hálózat definiálásának ezzel a legelső lépésével rögtön kidobtuk. Ezzel a borzasztó információszegényítéssel együtt miért olyan otthonos mégis számunkra ez a fajta definíció? Hát pontosan azért, amit az előzőekben tárgyaltam, mert az ember munkamemóriája nagyon kicsi (Miller 1956; Cowan, 2001). Ezért az emberi gondolkodás kategóriaképző. Mert nem tudunk Józsiáról, Béláról és hét milliárd magunkról hét milliárdonként beszélni, mert nem fér bele az agyunkba. Azaz kategóriát kell, hogy képezzünk belőlük. A kategóriaképzés, a labeling, amikor a kategóriák egyfajta ráragasztott címkévé válnak, nagyon-nagyon veszélyes utakra vezetett már az emberi történelem során... De mégis nagyon szeretünk kategóriákban gondolkodni, mert különben nem vagyunk képesek megérteni a világot. A kategória képzés rögtön egyfajta autópályát, egy nagyon jól megközelíthető logikát ad nekünk ahhoz, hogy definiáljunk egy hálózatot. Mert azokról a dolgokról, amelyek a szobánkban körülvesznek minket, noha az egyik ilyen alakú, a másik meg olyan alakú, a harmadik meg nem is abból az anyagból van, szeretünk bútorokként beszélni. És akkor milyen egyszerű rögtön rámondani mindegyikre, hogy bútor, pedig nagyon másképp néznek ki. Mindenki nagyon jól tudja, hogy miről beszélek, akkor amikor arról beszélek, hogy bútor. Ezért kézenfekvő a hálózatos gondolkodás, mert egy elképesztően alapvető emberi gondolkodási mintára, a kategória képzésre alapozza a megértést.

4. A hálózatok hasznának korlátai

A hálózatok definíciójának a második eleme az, hogy melyek a hálózatoknak az élei, azaz a nódusok közötti kapcsolatai (Csermely 2005; Barabási 2017). Ez már (a nódusok definíciójánál elszenvedett hatalmas információvesztéssel együtt) elvezet bennünket a fejezet következő nagyobb részéhez: a hálózatok használatának a korlátaikhoz. Akkor van megadva egy hálózat, hogyha ismerjük a nódusait és ismerjük a kapcsolatait. Ez nagyon egyszerűnek látszik. De ennek a kötetnek a szerzői már nagyon jól tudják, hogy ez mégis mennyire bonyolult. Hadd mondjak csak két példát a sokból. Ugye nem szoktunk ott megállni, hogy a hálózatokat pusztán kapcsolatként értelmezzük – bár nagyon-nagyon hasznos információk kerülnek már ebből is ki – hanem célszerű súlyozott kapcsolatokként értelmezni ezeket a kapcsolatokat. Hadd térjek vissza a szociális hálózatokra, mert az egy viszonylag egyszerű példa. Mennyivel jobb barátom Marcsi, mint Béla? Ezt egyetlen számmal hogyan tudom én jellemezni? Mik az adatok? Hányszor hívom fel őket telefonon? Hogyha felhívom, akkor

milyen hosszan beszélünk? Hát ugye ez sem olyan jó, mert hogy miről beszélünk, tulajdonképpen ezt kellene tudnunk. De vannak más adatok is: hogy hányszor vettünk születésnap ajándékot egymásnak az elmúlt években? Milyen értékben vettünk? Szerette-e a másik ezt a születésnap ajándékot? Na, most jön a neheze! Hányszorosa egy születésnap ajándék egy telefonhívásnak? Tíz telefonhívás egy születésnap ajándék? Vagy csak öt? Ha ott aludt az egyik a másiknak a lakásában, az mennyiszor annyi, mint egy születésnap ajándék?

Azt hiszem itt kezdünk el a tudatában lenni annak, hogy reménytelen olyan rendszerek hálózatos elemzésével foglalkozni, amiről nem áll rendelkezésre elképesztő mértékű háttértudás. Hogyha ez nincs, akkor a hálózatos elemzés semmivel nem viszi előre a tudásunkat, mert rögtön a definíciót elszúrtuk. Mert fogalmunk sincs, hogy mit nevezünk igazán nódusnak, fogalmunk sincs, hogy mit nevezünk igazán kapcsolatnak, hogy a kapcsolatok erősségén mit értettünk – és akkor még az irányítottságukról még nem is beszéltem. Megint egy példa a szociális hálózatok területéről: egy házaspárnak a kapcsolatát milyen irányítással tudom definiálni? Hát ugye mondjuk, reggel nyolctól kilencig a feleség irányítja a férjet. Aztán mondjuk kilenctől tízig a férj irányítja a feleséget, mert hogyha ez nem így van, akkor valószínűleg a házasság elég hamar szét is esik. Na de akkor matematikailag mit mondunk? Hogy akkor ez most merrefele irányított kapcsolat?

Ezek voltak a legegyszerűbb hálózatos alapfogalmak... Azaz már a legegyszerűbb hálózatos alapfogalmakat is már nagyon nehéz alkalmazni. Mi van ezzel szemben a világban? Én 15-18 éve foglalkozom hálózat kutatással. Ne tudják meg, hogy engem milyen problémákkal kerestek meg már ez ügyben. „Tönkre ment a házasságom, professzor úr, a hálózat kutatás majd biztos segíteni fog”. No persze, a lelkigondozói hálózatok ebben talán tudnak segíteni. Csakhogy bennük a hálózat a szerveződés formája, és nem a vizsgálati módszer... Az emberek lassan már tényleg azt hiszik, hogy a hálózat kutatás tényleg mindenre jó...

Ezen a ponton kell nagyon alaposan kiábrándítanom az Olvasót. Sok év tapasztalatával hadd támasszam alá, hogy a hálózat kutatás semmire nem jó az ég adta egy világon... Kivéve azt az esetet, ha *rengeteg* háttér információval rendelkezünk arról a területről, amelyet hálózatosan vizsgálni szeretnénk. Abban az esetben, ha tízszer annyit gondolkodtunk a hálózat helyes definícióján, mint a mennyit majd később az egész projekttel foglalkozni fogunk, akkor, lehet, hogy egy olyan elemzéshez jutunk el, ami fog nekünk valami újat mondani. A következő részfejezetben fogom azt felsorolni, hogy mi minden újat fog tudni mondani a hálózatos szemlélet. De hadd hangsúlyozzam ez előtt azt újra, hogy ennek az egésznek nincsen semmi, de semmi értelme, hogyha a kiindulási adatokat nem értettük meg kellőképpen, vagy nem állnak rendelkezésre kellőképpen, vagy bizonytalanok, vagy bármi baj van a hálózat definíciójával. Tehát ha bárki Önnek, kedves Olvasó valami hálózatos blablát be szeretne adni, akkor először kérdezzen rá a definícióra, és amíg azt a másik el nem tudja magyarázni nagyon precízen, addig ne álljon szóba vele.

5. A hálózatok szerkezetének és dinamikájának néhány izgalmas alapfogalma

Ebben az alfejezetben a hálózatok szerkezetének és dinamikájának néhány alapfogalmát fogom összefoglalni. Az érdeklődő Olvasót arra biztatom, hogy olvasson ezekről többet ezekben a forrásokban (Barabási 2017; Csermely 2005; Csermely és mtsai 2013a; Newman 2010). A szerkezet és a dinamika nagyon sok olyan fogalmat tárt fel, amelyek eléggé ismertté váltak. Így például ismert és a fenti összefoglaló munkákban jól leírt jelenségek a csomópontok, kisvilágság, centralitás, csoportok, asszortativitás (mennyire hasonló fokszerű nódusok kapcsolódnak egymással) és motívumok. Hadd hívjam fel a figyelmet arra, hogy van jónéhány olyan, mostanában előkerülő szerkezeti eleme a hálózatoknak, amelyek nem annyira

közismertek és érdeemesek a vizsgálatra. Ilyenek például a hidak, azaz a csoportokat összekötő nódusok, a hálózatos mag és a hálózatos periféria (lásd bővebben: Csermely és mtsai 2013b), a hálózatok héjai, a hálózatos hierarchia, a szimmetria és a loop-ok, vagyis hálózatos körök, a visszacsatolások.

Hadd emeljem ki a hálózatos hidak jelentőségét két példán is, amelyekkel bele kontárokodnék – csak nagyon kicsit és nagyon-nagy tisztelettel – a kötet szerzőinek a szakterületére. Angol szóasszociációs hálózatokat vizsgáltunk az egyik munkánkban (Kovács 2010), amelyek úgy keletkeztek, hogy egyetemi hallgatók sokaságát megkérdezték, hogy miről mi jut az eszükbe. A gyakoriságokból lehetett élsúlyokat szerkeszteni. Az egyik példában a *terrific* szó a *bad* és a *good* jellegű szócsoportokat kötötte össze, amely egy teljesen érthető híd, ha valaki ismeri a *terrific* szó két ellentétes jelentését az angolszász használatban. A *content* szó pedig a *happy* és a *book* szócsoportokat kötötte össze, ami megint csak érthető a szó kettős, ebben az esetben inkább hasonló jelentéséből.

Átfogóbb elemzések is ismereteseek a leírt tartalom szempontjából. Ezek közül Szent II. János Pál írásainak az elemzését (Murakami 2005) szeretném röviden bemutatni. A hálózatos elemzés szempontja ebben a munkában az volt, hogy az írott mű egy fejezetében (vagy kisebb részében) milyen bibliai szakaszokat idézett a szerző, Szent II. János Pál pápa. A munkában az idézett bibliai szakaszoknak a hálózatát alkották meg az együtt-idézési gyakoriság szempontjából. Az idézési gyakoriság volt az élekek a súlya, és maguk a bibliai szakaszok voltak a hálózatok nódusai. Nagyon érdekes megvizsgálunk, hogy mi azoknak a bibliai szakaszoknak a közös értelme, amelyek egy-egy nagyobb együttesen idézett csoportot alkotnak Szent II. János Pál pápa műveiben. Az egyik kisebb, viszonylag elkülönülő csoportnak az irgalmasság a központi tartalma. Mennyire szép már ez is, hiszen Ferenc pápánál is az irgalmasság mennyire központi fogalom, és ha belegondolunk, Jézus tanításaiban és egész küldetésében is mennyire A központi fogalom volt mindez. Az egyik legnagyobb csoport, amely megfigyelhető, az evangéliumról szól. Ez a magja a hitnek, tehát messze nem véletlen, hogy ez "bukkant elő" a hálózatos elemzés fő csoportjaként is. E fő csoport mellett van azonban egy majdnem ilyen hangsúlyos másik csoport is. Ez az evangélium terjesztéséről szól. Szent II. János Pál pápa különösen aktív pápája volt az egyháznak az evangélium terjesztését illetően, így hát – a papság általános küldetése mellett – az ő esetében különösen érthető, hogy ez lett a másik nagyobb hálózatos csoport. Vajon mi lehet az a híd, ami az evangéliumot és az evangélium terjesztését, mint két legnagyobb csoportot összeköti? Hát nagy meglepetést nem fogok okozni vele... A híd: Jézus, a Megváltó. Az egész hálózat leges-legközepén, a legfontosabb helyén, a kulcs-pozíciójában maga Jézus áll. Ugye milyen szép? Ugye milyen erős a hálózat kutatás mégis, ha van elég rendszerezett adat? Nagyon érdekes és nagyon tanulságos az, hogyha az ember tudományos eszközökkel, korrektül, semmit elhallgatva és semmit hozzá nem téve kezd neki egy szöveg elemzésének, akkor mennyire ilyen nyilvánvalóan várt tények jönnek ki az elemzés végeredményeként. Szent II. János Pál pápa hálózatosan elemezte volna, amit leírt? Dehogy! De Szent II. János Pál pápa ahogyan a Lélekkel eltelve megírta írásait, nyilvánvalóan nem tudott egy olyan életművet maga után hagyni, amelynek a középpontjában ne Jézus állt volna.

A hálózat kutatással tehát sok olyan ismeret válik immár tudományosan ellenőrizhető módon is elérhetővé, amelyeket az ember korábban is sejtett. EZÉRT hangsúlyoztam, hogy a hálózat kutatást CSAK ott érdemes elkezdeni, ahol hatalmas háttértudás áll a rendelkezésre már. Mert ezzel a háttértudással tudjuk verifikálni a legfontosabb hálózatos eredményeket, mint a fenti példák esetén is. Pontosan ez a háttértudás segít minket annak az eldöntésében is, hogy amikor nagyon meglepő hálózatos eredményeket kapunk, az vajon értelmezési hiba, avagy gyökeresen új, megdöbbentő felfedezés.

A hálózatok dinamikai jellemzői közül is van néhány, amelyik eléggé ismert (Barabási 2017; Csermely 2005; Csermely és mtsai 2013a; Newman 2010). Mi történik akkor,

hogya elveszek néhány nódust a hálózatból, azaz "megtámadom" a nódusokat? A hálózat maradéka szétesik-e? Hogyha valami fertőzést, avagy információt terjesztek a hálózatban, az mennyire gyorsan terjed? Ha valamit keresek a hálózatban, milyen gyorsan tudom megtalálni? Mikor alakulnak ki "dugók" a hálózatban, azaz mikor blokkolódik az információterjedés? Amikor fejlődik egy hálózat, akkor hogyan fejlődik, melyek a fejlődésnek az ismérvei, hogyan lehet ezt leírni? Nagyon sok hálózatdinamikai fogalom az elmúlt években került be a köztudatba, nem utolsósorban Barabási Albert László és Albert Réka munkássága révén, akik mindketten akadémiánk külső tagjai. Nagyon sok olyan hálózatdinamikai jellemző tárul fel jelenleg, amelyek még nem kellőképpen ismertek, mint például az adaptáció, a tanulás, avagy az, hogy hogyan tudnak kooperálni egymással a hálózatos elemek, hogyan tudnak csálni, hogyan lehet átprogramozni egy hálózatot. Ezek mind olyan kérdések, amelyek az elmúlt években kerültek elő.

6. Hogyan tanulnak, hogyan hoznak jó döntéseket a hálózatok?

A fejezet záró részének a legfontosabb kérdése, hogy hogyan hoznak jó döntéseket a hálózatok. Az első megjegyzésem az, hogy az ember egy sikeres valószínűségjósító automata. Kisbabáknak egy lécen egy kisautót kellett csúsztatniuk. Az autó az esetek többségében elért a léc végéig, és akkor leesett. No de, a ravasz pszichológusok odatettek két mágneset a léc végéhez, és bekapcsolták. És akkor a kisbaba, óriási megdöbbenésére, azt tapasztalta, hogy hiába esett le korábban tizenháromszor az autó, de tizenegyedszer fent maradt a levegőben, és ment tovább. Volt ott izgalom! Azonnal lett érdeklődés és kísérletező kedv (Stahl – Feigenson 2015). Elképesztően máshogyan reagálunk már gyermekkorban is a szokványos helyzetekre, meg a megdöbbenően új helyzetekre. Ez nagyon fontos.

Az emberi agynak az az egyik legközpontibb funkciója, hogy megkülönböztesse a szokványos helyzeteket – amivel nem igazán kell törődni, mert tudom, hogy mit csinálok, vagy épp, hogy nem csinálok semmit, mert nem kell – a rendkívüli, új helyzetektől, amit kreatív, új cselekvéssel meg kell oldanom (vagy ami elől el kell menekülnöm). Ezt már a baba is tudja, sőt már a 15 centis törpe tacsó kutyám is tudja. Ember jön szemben: semmi gond. Ember jön szemben berúgva, furcsán, szokatlanul: ugatás. Ember jön szemben nem szokványos tárggyal a kezében: ugatás. Már egy kutya is a szokványos szituációk millióit tárolja az agyában. Olyankor nem ugat. Ha azonban olyant tapasztal, amit még nem, akkor ugat: ezzel kéri a gazdát, hogy bírálja el a szituációt: barátságos, vagy veszélyes. Nézzük meg, vagy fussunk?

Mit tesznek a hálózatok ilyen, gyökeresen új helyzetben? Az első példa, amelyen ezt szeretném bemutatni, az élesztő sejt fehérje hálózatainak a példája lesz (Mihalik – Csermely 2011). Mit tesznek a fehérjék akkor, amikor bajba kerül az élesztősejt? Összekapaszkodnak. A hálózatok csoportjai sokkal szorosabbá válnak olyankor, ha bajba kerül a komplex rendszer. Hát ez egy nagyon ismert viselkedés, mi is ezt szoktuk csinálni emberekként. Hogyha valami bajba kerülünk, akkor egymásnak feszítjük vállainkat, és védjük egymást. De a fehérjék csinálnak valami olyat is, amit itt Magyarországon mi nem nagyon szoktunk csinálni, ha bajba kerülünk. Az élesztő fehérjék a bajban egymástól messze lévő csoportokat véletlenszerűen össze-össze kötögetnek. Hülye ez az élesztő, hogy ilyen játékokra pazarolja az energiáit akkor, amikor a legnagyobb bajban van? Nem! Azért teszik ezt, mert ezekből a véletlenszerű összekötögetésekből jönnek ki a legkreatívabb új megoldások. Merthogy az egyik csoport tudott valamit. Ettől markánsan különböző dolgot tudott a másik csoport. Igazán jó választ akkor lehet kicsiholni ebből az egészből, hogyha ezeket a markánsan különböző dolgokat valahogy, valamilyen módon kombinálni kezdjük. Ehhez viszont össze kell kötni őket. Ehhez ki kell lépni a komfortzónából, és át kell lépni abba a csoportba, amelyet nem ismertem. Energiát kell energiát fektetni tehát abba, hogy ezt a távoli hálózatos

kapcsolatot felépítsük. De ez nagyon megéri. Henry Poincaré híres matematikus 1908-ban megjelent *The Foundation of Science* című művében a kreativitásról írja azt, hogy csak az egymástól addig távol lévő fogalmak összekapcsolása az, ami igazán új, kreatív megoldáshoz vezet (Poincaré 1908).

Elemezzük egy kicsit tovább a szokványos és az új helyzetre adható válaszokat (Csermely 2018a; 2018b). Hogyha szokványos információ ér minket – amit ugye unalommal fogadunk, mert már ismerünk – akkor a rendszer véleményformálói (amelyek olyan nódusok a hálózatban, amelyek a hálózat közepén vannak azaz a magját képezik a hálózatnak; Csermely és mtsai 2013b) egyet szoktak érteni abban, hogy mit kell csinálni egy ilyen helyzetben. Viszonylag sokszor ismétlődött már ez a helyzet, azaz mindenki tudja, hogy mit kell csinálni, tehát nem kell ezen sokat vitatkozni. Emiatt a rendszer egésze egy nagyon gyors, nagyon határozott, nagyon erős és nagyon jól definiált választ ad erre az ismert helyzetre. Teljesen más viselkedés figyelhető akkor meg, ha gyökeresen új helyzet állt elő. Ilyenkor nagy-nagy tanácstalanság van. Ez úgy jelentkezik, hogy a véleményformálók egyáltalán nem értenek egyet abban, hogy mit kellene itt csinálni. Elképesztően sok válasz érkezik. (Ezeket ma már meg lehet figyelni. Például egér avagy patkány agyban idegsejtek ezrei, ha nem tízezrei aktiválódnak ilyenkor, és bombázzák az agyat mindenféle hülyeségekkel, hogy mi lehet ez, mi történik ilyenkor, mit kellene tenni, stb. stb.) Emlékezzünk a kisbaba izgatottságára, amikor nem esett le a kocsis (Stahl –Feigenson 2015). Semmiképpen nincs ilyenkor egyetértés abban, hogy itt mi lenne a legjobb megoldás. Ilyenkor a következő történik: az információ nem ragad meg a központi nódusoknál, a véleményformálóknál, hanem szétszóródik a hálózat egészében. Többek között azért is, mert van idő erre. Mert nem tudnak rövid idő alatt a véleményformálók egyességre jutni, hogy mit is kellene tenni, és ezt az egyességet nem tudják gyorsan szétterjeszteni a hálózatban. Ennek a lassúságnak egy nagyon-nagy előnye van: nevezetesen az, hogy a hálózat, a közösség majdnem minden nódusa valamilyen módon hozzá tud járulni a végső megoldáshoz. Ezért ezt a választ demokratikus válasznak is lehet tekinteni, de a szónak nem a szavazásos demokrácia, hanem a deliberatív demokrácia, tehát a jól átgondolt, tisztelettel és türelemmel teljes vitában kimerített megoldásokat termő demokrácia értelmében.

Van itt egy nagyon fontos tény. A természetben eddig megvizsgált összes rendszer deliberatív demokráciával dolgozik (Csermely 2018a; 2018b). A sejtjeinkben a fehérjék, noha nincsen tudatuk "összeteszik a fejüket és megbeszélik", hogy mi minden új megoldást lehetne kipróbálni ebben az új helyzetben. Erre valóak a fehérjék rendezetlen régiói. Ugyanez történik az idegsejteknél, csak sokkal hatékonyabban. Daniel Kahneman Nobel-díjas közgazdász "A gyors és lassú gondolkodás" címen megjelent könyvében írta le a kétfajta emberi gondolkodást, ahol a gyors gondolkodás a begyakorolt helyzetekre egyfajta reflexszerű válasz, a lassú gondolkodás az pedig pontosan az a deliberatív, kontemplatív jellegű gondolkodás, amelyik egy csomó lehetőséget mérlegel, ütköztet, próbál, átgondol és hogyha valamelyik jónak tűnik, akkor megpróbál alkalmazni (Kahneman 2013).

A szokványos és az új helyzetekre adott válaszokhoz való hálózatos alkalmazkodás kétfajta hálózatos szerkezetet alakít ki (Csermely 2015). Az egyik egy plasztikus rendszer, ami olyan mint például egy kabát. A plasztikus rendszerek tanulóképesek: tudnak változni. A kabátot, ha levesszük és ledobjuk a földre, akkor a föld alakját veszi fel, lapos lesz. A felveszük, akkor az alakunkat veszi fel. Mindez nagyon szép. De egy nagyon nagy baja van ennek a plasztikus rendszernek: hogy felejt. Nem emlékszik semmire. "Megcsal" minket a kabátunk pillanatokon belül, mert ugye nem emlékszik a mi formánkra, hanem ha ledobjuk a földre, akkor azonnal a földhöz idomul, ha rátesszük a székre, akkor meg a székhez idomul, és így tovább.

A plasztikus rendszereknél "sokkal jobb" a merev rendszer, mint például egy asztal vagy egy szék. Ők csak egy dolgot tudnak, vagy asztalok, vagy székek. Ha asztalból kabátot

szeretnék csinálni, az egy elég nehéz terv lenne... A merev rendszer csak azt tudja, hogy egy dolgot hogyan kell nagyon hatékonyan, nagyon megbízhatóan megcsinálni. Ebből kilépni azonban nem tud, vagy hogyha ki kell ebből lépnie, akkor ahhoz az egész rendszert szét kell törni és át kell alakítani, tehát az már soha többet nem lesz ugyanaz a merev rendszer, mint ami addig volt, mert közben lezajlott egy forradalom. A merev rendszer viszont tényleg emlékszik arra, amit megtanult. Az elefánthoz hasonlóan nem felejt.

Azaz a pasztikus és a merev rendszereknek ki kell egymást egészíteniük (Csermely 2015). Amikor egy merev rendszer tanulni szeretne, mert egy olyan helyzetbe kerül, hogy megváltozik a környezete, akkor pasztikusabbá kell válnia. Amikor egy pasztikus rendszer többször ismétlődő helyzetbe kerül és rájön, hogy most már meg kellene tanulnia ezt a választ, most már emlékeznie kellene rá, akkor merevebbé kell, hogy váljon. Azaz a mi egész életünk két véglet között ingázik jobbra-balra. Úgy is lehetne mondani, hogy a pasztikus rendszer a "fiatal" viselkedés, tehát amikor minden megújul. A merev rendszer meg a "bölc idős" viselkedés, amikor már mindent ismerünk, és nagy rutinnal meg is tudjuk oldani. Mire bátorít ez a tapasztalat? Arra, hogy legyünk minden páros percben fiatalok, minden páratlanban meg bölc idősök!

Nagyon másfajta hálózat jellemzi a pasztikus és a merev rendszereket. A pasztikus rendszerek hierarchiamentes, "szétfolyó", "elmosott" hálózatok jellemzik (Csermely 2015). A merev rendszereket pedig nagyon erős hierarchiával rendelkező hálózatok képzik. Hát nem véletlen, hogyha egy rendszer bemerevedik, mert fontos és egyértelmű feladatot kell elvégeznie, akkor hierarchiát épít ki. Ilyen volt az ókori Róma, amikor ellenség ellen kellett védekeznie. Rögtön megválasztották a diktátort, mert egyértelmű volt a feladat, amelyet gyorsan és nagy hatékonysággal kellett megoldani. Ezt tudja a merev, hierarchikus rendszer. Ugyanez a rendszer azonban alkalmatlan arra, hogy ellenség-mentes időkben éljen. Ezért váltották le a diktátort rögvest, mihelyt az ellenség elvonult. Kivéve Julius Caesart, mert akkor már nem a környezet határozta meg Rómát, hanem az volt az a pillanat, amikortól már Róma határozta meg a környezetét. Ezt Julius Caesar valószínűleg nagyon jól megérezte.

Mi kell még a jó döntéshez? Önálló egyéniség és autonómia. Tehát a sikeres döntéshozó mindig egy kisebbség, mert hierarchiát épít ki a káoszban és horizontális kapcsolatokat épít ki a hierarchiában. A sikeres döntéshozó soha nem úgy viselkedik, mint ahogyan a többség, mert ő készíti fel a rendszert arra, hogy majd a jövőben választ tudjon a rendszer adni valami másra, mint amiben éppen most benne van. Tehát a jó főnök is mindig azt is csinálja, amit a rendszer többsége nem csinál. Mert különben a rendszer eltunyul (elhájasodik, ahogyan Mózes könyve írja nagyon szépen) és csődöt mond a jövő változásai esetén. Ezt a viselkedést hívjuk államférfiúi bölcsességnek, de hívhatjuk a szélsőségektől való tartózkodást megvalósító arany középútnak is.

Az utolsó példám a sikeres döntés jó példájára: a nyúl. A nyúl két dolgot végez: figyel vagy fut. Ez azért fontos, mert szét van választva ez a két dolog a nyúl életében. Olyan nyulat ritkán látunk, amelyik egyszerre figyel, meg egyszerre fut. Ha megfigyeljük a környezetünk életét, akkor viszont mit látunk? Hát azt látjuk, hogy van egy csomó ember, aki sosem indult el egész életében. Tipródik. Leül, hegyezi a fülét. Mit is kéne csinálni? Hova kéne menni? Kéne, nem kéne, miért kéne? De futni még soha az életében nem jutott az eszébe. Látunk olyan embereket is, akik viszont egész életükben futnak. Futottak már a gyerekkoruk óta. Első család, második család, harmadik család, első kocsi, második, harmadik, első lakás második, harmadik, már a sír is közeledik, de ők soha nem állnak meg. Soha nem kérdezték meg maguktól, hogy hova futok, miért futok, minek futok és így tovább. Vegyük észre hogy a fut az a merev rendszer, a figyel az meg a pasztikus. Tehát a „sok mindent lehetne csinálni”, meg „az elhatároztam, hogy most éppen mit fogok csinálni” kettősségének a váltogatása az, ami igazán hasznos.

7. Záró gondolatok

Hadd hozzam záró példának a karthauzi szerzeteseknek azt a mondását, hogy "Teljes lényünkkel ahhoz kell igazodnunk, amit teszünk. Minden pillanatban. Ha megyünk, menjünk. Ha imádkozunk, imádkozzunk. Ha nézünk valamit, nézzük. Ha eszünk, együnk. Ez a titka a teljes, intenzív és gazdag életnek" (Görföl 2017). Amikor a hálózatokat vizsgáljuk, mindig gondoljunk bele abba is, hogy itt nemcsak magáról a hálózatról van szó, hanem arról a ragyogásról és arról a szeretetről is, amelyet mindannyian kapunk és reményeink szerint át is adunk másoknak. Hogyha sikeresen vetjük ki a hálónkat, akkor nem rabul ejt valakit, hanem egy új világot nyit meg a számára. Ebben kívánok a hálózatkutató kollégáknak, és minden Olvasónak nagyon sok benső békét, boldogságot, és örömet!

Irodalom

- Barabási Albert-László 2017. *A hálózatok tudománya*. Budapest: Libri Kiadó.
- Cowan, Nelson 2001. The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences* 24: 87–185.
- Csermely Péter 2005. *A rejtett hálózatok ereje. Hogyan stabilizálják a világot a gyenge kapcsolatok?* Budapest: Vince Kiadó. Tudomány-Egyetem sorozat.
- Csermely Péter 2015. Plasticity-rigidity cycles: A general adaptation mechanism. <http://arxiv.org/abs/1511.01239>.
- Csermely Péter 2018a. The wisdom of networks: A general adaptation and learning mechanism of complex systems. The network core triggers fast responses to known stimuli; innovations require the slow network periphery and are encoded by core-remodeling. *BioEssays* 40: 1700150.
- Csermely Péter 2018b. A demokrácia mint a túlélés többmilliárd éves eszköze. *Magyar Tudomány* 179: 615–623.
- Csermely Péter – Korcsmáros Tamás – Kiss J. Huba – London Gábor – Nussinov, Ruth 2013a. Structure and dynamics of molecular networks: a novel paradigm of drug discovery. *Pharmacology and Therapeutics* 138: 333–408.
- Csermely Péter – London András – Wu, Lin-Yun – Uzzi, Brian 2013b. Structure and dynamics of core-periphery networks. *Journal of Complex Networks* 1: 93–123.
- Godden, David R. – Baddeley, Alan David 1975. Context - dependent memory in two natural environments: On land and underwater. *British Journal of Psychology* 66:325–331.
- Görföl Tibor (szerk) 2017. *A csend útján. Karthauzi szerzetesek a belső életről*. Budapest: Ursus Libris.
- Johnson, Raymond L. 2004. Networks of predictions. *Futures* 36: 1095–1102.
- Kahneman, Daniel 2013. *Gyors és lassú gondolkodás*. Budapest: HVG Könyvek kiadó.
- Kim, Ghoote – Lewis-Peacock, Jarrod A. – Norman, Kenneth A. – Turk-Browne, Nicholas B. 2014. Pruning of memories by context-based prediction error. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 111: 8997–9002.
- Koens, Franciska – Ten Cate, Olle Th.J. – Custers Eugène J.F.M. 2003. Context-dependent memory in a meaningful environment for medical education: In the classroom and at the bedside. *Advances in Health Sciences Education* 8: 155–165.
- Kovács A. István – Palotai Robin – Szalay S. Máté – Csermely Péter 2010. Community landscapes: a novel, integrative approach for the determination of overlapping network modules. *PLoS ONE* 7: e12528.
- Mihalik Ágoston – Csermely Péter 2011. Heat shock partially dissociates the overlapping modules of the yeast protein-protein interaction network. *PLoS Computational Biology* 7: e1002187.

- Miller, George A. 1956. The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review* 63: 81–97.
- Murakami, Hiroyuki 2005. A network analysis of hermeneutic documents based on Bible citations. In Bara, Bruno G. – Barsalou, Lawrence – Bucciarelli, Monica (szerk.): *Proceedings of the 27th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. Stresa, Italy. 1565–1570.
- Newman, Mark E.J. 2010. *Networks: An Introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- Stahl, Aimee E. – Feigenson, Lisa 2015. Cognitive development. Observing the unexpected enhances infants' learning and exploration. *Science* 348: 91–94.
- Wilson, Timothy D. –Reinhard, David A. –Westgate, Erin C. –Gilbert, Daniel T. –Ellerbeck, Nicole –Hahn, Cheryl –Brown, Casey L. – Shaked, Adi 2014. Just think: The challenges of the disengaged mind. *Science* 345: 75–77.