

Bíró Zsolt

## A Hesse-féle hálómodell vizsgálata a skálafüggetlen hálózatok néhány tulajdonságának figyelembevételével

### BEVEZETÉS

Dolgozatomban arra a kérdésre próbálok választ adni, milyen következmények adódnak abból, ha tudományos tudásunk egészét egy hálózatnak tekintjük, amelyben a csomópontokat a fogalmak, a köztük levő kapcsolatokat pedig a törvények, elméletek alkotják.

Vizsgálódásom kiindulópontja a *Hesse-féle hálómodell*, amely azonban nézetem szerint nem írja le pontosan a tudományos fogalomháló topológiáját. A Hesse-modell nem képes kielégítő magyarázattal szolgálni a tudományos védőstratégiák eredetére sem, vagyis arra, hogy a tudósok miért részesítik különösen aktív védelemben a tudásháló bizonyos elemeit.

Írásomban nem kívánom kimerítő részletességgel bemutatni Hesse elképzelését a tudomány szerkezetéről. Céljaim szempontjából az is elegendő, ha felvázolom a tudományhálózat szerkezetét, és megvizsgálom, hogy milyen következtetések adódnak abból, ha tudásunk egészét hálózatnak tekintjük.<sup>1</sup>

Először a Hesse-féle hálómodell főbb sajátosságainak bemutatására kerül sor, Bloor kritikai észrevételeivel kiegészítve.

Ezt követően megkísérlem bebizonyítani, hogy a védőstratégiák magyarázatához nem szükséges a hálózaton kívüli koherenciafeltételeket segítségül hívni, mivel e védőstratégiák magából a hálózat belső szerkezetéből is levezethetők.

A következő lépésben azt vizsgálom meg, miként adódnak új csomópontok a hálózathoz, illetve milyen feltételeknek kell teljesülniük ahhoz, hogy ezen új csomópontok rövid idő alatt a hálózat centrális elemeivé váljanak.

Végezetül amellet fogok érvelni, hogy a tudományos tudásunkat alkotó fogalomháló és a tudóstársadalomban kimutatható kapcsolatháló (mely hálózatok közös jellemvonása az, hogy skálafüggetlen eloszlást mutatnak) korántsem függetlenek egymástól, hanem kölcsönösen befolyásolják egymást. Tehát ha az egyik hálózatban a kapcsolatok új eloszlást nyernek – vagyis ha a hálózat átszerveződik –, akkor a másik hálózatban is hasonló folyamatok mennek végbe.

### HOLIZMUS ÉS HÁLÓZAT

A Hesse-féle hálómodell egy tudományos következtetésekre kidolgozott modell, amely a Quine-féle holizmushoz hasonlóan azt mondja ki, hogy tudásunk nem önálló tényekből épül

---

<sup>1</sup> A hálómodell részletes kifejtését lásd Hesse 1974. Elemzésem során azonban főként a Bloor által adott rekonstrukcióra fogok hivatkozni, mivel céloom nemcsak a Hesse-féle hálómodell bemutatása, hanem a hálózat összefüggőségét biztosító *koherenciafeltételek* Bloor általi értelmezésének vizsgálata is (BLOOR 2005).

fel, hanem a világról szóló tudásunk organikus egészet alkot. Egy egyedi hipotézis tesztelése ebből következően nem függetleníthető a többi hozzá kapcsolódó hipotézistől.

Quine hasonlatával élve:

„A mi ún. tudásunk vagy vélekedéseink totalitása [...] egy ember-csinálta szövevény, amely a tapasztalattal csak a peremek mentén érintkezik. Vagy – megváltoztatva a képet – a tudomány egésze hasonló egy erőterhez, amelynek határfeltételeit a tapasztalat adja. A tapasztalattal a széleken történő összeütközés az erőter belsejében új rendet hoz létre; kijelentéseink igazságértéke új eloszlást nyer [...] a 'tér' egészét a kényszerfeltételek, a tapasztalat oly kevésbé határozzák meg azonban, hogy nagymértékben fennáll a választás lehetősége abban a tekintetben, hogy valamely egyes, ellentmondó tapasztalat fényében mely állításokat értékeljük újra.” (QUINE 1999, 148.)

Másképpen kifejezve: a tudományos mondatoknak nem önmagukban van empirikus következményük, ehhez a mondatok egy nagyobb csoportjára van szükség. A negatív kísérleti eredmény tehát nem egy adott mondatot cáfol, hanem nagymértékű szabadságot élvezünk atekintetben, hogy a mondathalmaz melyik elemét vonjuk vissza. Az esetleges negatív kísérleti eredmény következképpen nem határozza meg azt, hogy a tudományos fogalom-/törvényháló mely elemein kell változtatnunk, mely kapcsolatokat, csomópontokat kell megszüntetnünk.

Tudományos tudásunk tehát egy jól összekapcsolt hálózatot alkot, ahol az egyes elemek nincsenek elszigetelve egymástól, hanem szoros kapcsolatban, kölcsönhatásban állnak egymással. Ha a háló egy elemét megváltoztatjuk, akkor ez a változtatás a vele kapcsolatban álló csomópontokra is kihat. Emiatt a „tudás valójában organikus egész és az egész organizációja megelőzi a részekét, és irányítja ezek összeállítását és korrekcióját” (BLOOR 2005, 188).

## **CSEMÓPONTOK ÉS KAPCSOLATOK**

A következő lépésben azt kell megvizsgálnunk, hogy ha a tudományt hálózatnak tekintjük, akkor hogyan definiálhatjuk a háló csomópontjait, illetve az őket összekötő kapcsolatokat, vagyis azt, hogy miből állnak a háló alapvető elemei.

Az egyik lehetséges megközelítés szerint a hálózat csomópontjait a tudományos fogalmak (például elektron, gravitáció), a hálózat két csomópontja – vagyis két fogalom – közötti kapcsolatokat pedig azok az összefüggések, törvények alkotják, amelyekben az adott fogalom valamely más fogalommal együtt szerepel (például a gravitációs erőtvény kapcsolatot létesít a gravitáció, az erő és a tömeg fogalma között). Két csomópont között tehát akkor van kapcsolat, ha a csomópontokat alkotó fogalmak egy közös törvényben fordulnak elő.

Jogos az az észrevétel, hogy a tudományhálózatban máshogy is definiálhatnánk kapcsolatokat, tekinthetnénk csomópontnak a törvényeket, vagy akár az elméleteket is. Célszerűbbnek látszik azonban az előbbi megközelítés alkalmazása, hiszen egy adott törvény vagy elmélet is rendelkezik belső struktúrával, mivel különböző fogalmakat rendez, illetve kapcsol össze.

A hessei hálómodell további sajátossága az, hogy a hálózat csak a szélein kapcsolódik a tapasztalati világhoz. Quine terminológiájában:

„Bizonyos állítások, noha fizikai objektumokról és nem érzéki tapasztalatról szólnak, az érzéki tapasztalatokhoz sajátos módon szelektív módon látszanak hozzátapadni: bizonyos állítások bizonyos tapasztalatokhoz, mások másokhoz. Az ilyen, a partikuláris tapasztalatokhoz különösképpen tapadó állításokat mint a perifériához közel állókat ábrázolom. A 'közelállás' eme relációja azonban elképzelésem szerint nem más, mint annak relatív valószínűségére reflektáló laza asszociáció, hogy a gyakorlatban a makacsul ellenkező tapasztalat esetén mely állítást fogjuk módosítani.” (QUINE 1999, 148.)

A tudományos kutatás egyik alapvető céljának a tapasztalattal, a megfigyelésekkel való kapcsolat szorosabbra fűzését szokás tekinteni, e törekvésnek azonban határt szab, hogy a hálózat minden adott időpillanatban véges kiterjedésű, és a tapasztalatnak csak egy korlátozott körét szervezi (lásd BLOOR 2005, 198), ezért igen gyakran ki van téve a véletlen eshetőségek hatásának. Amikor az elméleti várapozásainknak ellentmondó tapasztalattal szembesülünk, akkor ahhoz, hogy az adott tapasztalatot a hálózatba tudjuk integrálni, át kell szerveznünk a hálózat belső struktúráját. Ilyenkor átrendeződik a hálóban a kapcsolatrendszer, új kapcsolatok (törvények) jelennek meg, s régiek tűnnek el vagy nyerhetnek új jelentést azáltal, hogy más csomópontokhoz kapcsolódnak, mint korábban. A hálózat csak a peremén érintkezik a tapasztalattal, így az új, váratlanul felbukkant elem integrálása során nagymértékű szabadságot élvezünk ateinketben, hogy milyen módon rendezzük át a hálózat elemeit. Nincs tehát egyértelműen előírva, hogy mely elméleteket értékeljük át vagy vesszük el az ellentmondó tapasztalatok hatására. Ennek ellenére a háló nem egy szabadon lebegő gondolati rendszer. „A klasszifikációs döntéseket a világra vonatkozóan és a tapasztalat fényében hozzuk meg.” (l. m. 199.) Ez jól látható abból is, hogy ilyen esetben az elfogadott tudományos eljárás célja a hálózat minél jobb hozzákapcsolása a tapasztalathoz.

Ha hálózatunkat (miképpen Hesse is teszi) kiterjesztjük a nyelv egészére – vagyis a nyelv egészét, melynek segítségével tapasztalatainkat, megfigyeléseinket kifejezzük, szintén hálózatnak tekintjük, amelynek csomópontjait a kompetens nyelvhasználók által bevezetett fogalmak alkotják –, akkor úgy fogalmazhatunk: a cél az, hogy a tudomány hálózatát – mely a teljes nyelv viszonylatában csupán részhálózatként szerepel – minél jobban integráljuk, minél szorosabbra fűzzük kapcsolatát e nagyobb struktúrával.

Figyelembe kell vennünk azt a tényt, hogy a tudomány hálózata nem egy statikus képződmény, hanem folyamatos, dinamikus átalakuláson megy keresztül, új elméleti megfontolások születnek, új kísérleti eredmények látnak napvilágot. Folyamatosan új elemek adódnak tehát a hálózatához, új csomópontok jelennek meg, melyeknek a hálózatba való integrálása korántsem minden esetben problémamentes.

A felmerülő nehézségek abban a tényben gyökereznek, hogy az új elem integrálásakor nem teljesen önkényes az a választásunk, hogy a hálózat mely elemeit változtatjuk meg. Befolyásolja, korlátozza lehetőségeinket egyrészt az integrálni kívánt új elem természete, vagyis az a körülmény, hogy a hálózat mely részén bukkan fel, vala-

mint az, hogy mely csomópontokkal képezhető könnyebben kapcsolat. Kitűnő példát szolgáltat az így felmerülő nehézségekre a Nap-neutrínó rejtély.<sup>2</sup>

A Nap-neutrínó rejtély esetében abból, hogy az elméletileg várt neutrínómennyiségnek csupán a harmadát sikerült detektálni, nyilvánvaló volt, hogy a tudáshálózatban valahol változtatni kell. Nem volt azonban egyértelműen meghatározható, hogy e változtatásokat hol – a Napról vagy a neutrínóról szóló tudásunk (részhálózat) területén – kell végrehajtani. Az viszont nyilvánvaló volt, hogy a következő állítások valamelyike igaz:

1. A kísérlet rossz.
2. A Nap-modell rossz.
3. A magfizika elmélete rossz.
4. A részecskefizika elmélete rossz. (PIETSCHMANN 2006, 3.)

Mindebből láthatjuk, hogy a szóba jöhető eshetőségek köre nagyjából meghatározható volt.

Figyelembe kell vennünk másrészt azt a tényt, hogy a tudósok igen aktívan védekeznek a hálózat bizonyos elemeit, ami tovább korlátozza a változtatás során szóba jöhető lehetőségeket. A tudósok ugyanis igyekeznek úgy módosítani a rendszert, hogy a „centrális törvények és klasszifikációk érintetlenül maradjanak, és hogy minden módosítást, változtatást máshol hajtsanak végre” (BLOOR 2005, 201). Fenti példánknál maradva: a Nap-neutrínó rejtély esetén védettnek minősült a magfizika elmélete, illetve a Nap belső energiatermelését leíró fogalom–törvény hálózat.<sup>3</sup> Mindebből láthatjuk, hogy az ilyen, tapasztalattal történő összeütközések során rendszerint nem egy új fogalom bukkan fel, hanem a már meglévő fogalmaink jelentése változhat meg azáltal, hogy új elrendeződés megy végbe a hálózat struktúrájában. A fenti példánál maradva: a neutrínó és a tömeg fogalma között eddig nem volt közvetlen kapcsolat (link), azonban a megváltozott hálózatban a neutrínó és a tömeg fogalma között egy új, eddig nem létező kapcsolat jött létre (lásd FIORINI 2008).

A hálózat jól védett részeit Hesse két csoportba sorolja. Az első csoportot az „előnyben részesített elméleti modellek, metaforák” (BLOOR 2005, 201) alkotják (fenti példánknál, mint láttuk, ilyen védett modellt jelentett a Nap energiatermelésére vonatkozó elméletháló). A második csoportba azok a kiemelt helyzetű határok, megkülönböztetések tartoznak, amelyek elkülönítik a különböző modelleket, megszabva alkalmaz-

<sup>2</sup> A Nap-neutrínó probléma számos filozófiai, szociológiai elemzés alapjául szolgált. A témával foglalkozó szerzők közül mindenképpen érdemes megemlíteni Harry M. Collins és Trevor J. Pinch nevét, akik kimerítő részletességgel elemzik a Nap-neutrínó rejtély megoldására tett kezdeti próbálkozásokat, részletesen bemutatva, hogy milyen „egyezések”, „tárgyalások” kísérték azt a folyamatot, melynek során a kísérlet egyáltalán létrejöhett, illetve a nem várt negatív eredmény értelmezhetővé vált. Az említett szerzők az elméleti elvárások és a kísérleti eredmények közötti ellentmondás felszámolására tett kísérletekben a tudomány megsemmisítését (unmade), majd az ezt követő újjáépítését (remade) látják. Ez a megközelítés azonban nem tűnik elfogadhatónak, mivel nem veszi figyelembe, hogy a tudomány lényegében egy dinamikusan fejlődő hálózat, amely bizonyos belső törvényszerűségeknek engedelmeskedik (COLLINS–PINCH 2005, 121–139).

<sup>3</sup> Talán nem véletlen, hogy éppen a magfizika-elmélet és a standard Nap-modell bizonyult a hálózat két jól védett elemének. A standard Nap-modell ugyanis a magfizika-elmélet egyik legsikeresebb alkalmazásának tűnt, mivel ez az elmélet írja le azokat a termonukleáris reakciókat, amelyekkel a Nap energiatermelése magyarázhatóvá vált. A Nap-neutrínók kimutatására történő kísérletet ellenben éppen azért javasolták, hogy ezzel támasszák alá azt az elképzelést, mely szerint a Nap valóban termonukleáris folyamatok révén termel energiát. Nem lehetett eleve kizárni természetesen azt sem, hogy a kísérlet körül nincs minden rendben, azonban ennek a valószínűsége drasztikusan csökkent, miután több különböző berendezés (Homestake, Kamiokande, Superkamiokande, GALLEX, SAGE, SNO, Borexino) is az elméletileg várt neutrínófluxusnál alacsonyabb értéket mért (vö. [http://astro.elte.hu/icsip/nap/nap\\_energiatermeles/napneutrino.html](http://astro.elte.hu/icsip/nap/nap_energiatermeles/napneutrino.html)).

hatóságuk határait. Ilyen kiemelt határt jelent például az élő és élettelen közötti megkülönböztetés.

A védőstratégiák azonban szintén magyarázatra szorulnak, s erre vezet be Hesse a *koherenciafeltételek* fogalmát. A koherenciafeltételek a törvények hálója fölé emelkednek anélkül, hogy ők maguk is törvények lennének (i. m. 204), tehát mintegy kívülről stabilizálják, védelmezik a hálózat összefüggőségét.

A koherenciafeltételek két típusba sorolhatók. Az első csoportba tartoznak azok a „fizikai kényszerek [...] melyek a tanuló organizmus evolúciója során szelektálódhatnak ki” (uo.), a második típusba pedig a „talán kulturálisan kondicionált metafizikai elvek” (uo.). A koherenciafeltételek eredete éppúgy magyarázatra szorul, mint a védőstratégiáké. Az első típusba sorolt koherenciafeltételek eredetére biológiai, evolúciós válasz adható. Sokkal érdekesebb azonban számunkra a második feltétel, amely azt sugallja, hogy e metafizikai elvek eredetére szociológiai válasz adható. Bloor nézete szerint a második típusba sorolt koherenciafeltételek „a természet társadalmi, illetve gyakorlati használatba vételével jönnek létre. Bizonyos törvényeket azért védelmezzünk és stabilizálunk, mert feltételezzük, hogy hasznosak a legitimáció, justifikáció és a társadalmi meggyőzés céljából.” (i. m. 205.)

Bloor a korpuszkuális filozófia esetében meggyőzően érvel amellett, hogy valóban adható a koherenciafeltételek eredetére egy ilyen jellegű magyarázat. Érdekes azonban elgondolkodnunk azon, hogy a tudományhálózat és annak bizonyos belső strukturális sajátosságai nem képesek-e megmagyarázni a koherenciafeltételek eredetét? Nem vezethető-e le e belső sajátosságokból esetleg egy harmadik koherenciafeltétel is? Ha találunk ilyen magyarázatot, akkor nem szükséges azt feltételeznünk, hogy a hálót stabilizáló koherenciafeltételek valahonnan a hálón kívülről, a háló felett lebegve befolyásolják, stabilizálják a háló szerkezetét. Úgy vélem, érdemes egy ilyen megoldás után kutatni, mivel nézetem szerint erősen vitatható az a nézet, hogy a háló fölött lebegő elvek képesek ellenőrzésük alatt tartani a hálót. Nem világos tehát, hogyan hathatnak ezek az elvek a hálózatra, ha látszólag nincsenek is kapcsolatban vele.

## HÁLÓSTRUKTÚRA

Elsőként azt kell megvizsgálunk, hogy a jól védett csomópontok milyen sajátosságokkal rendelkeznek. Mi különbözteti meg őket a többi, kevésbé jól védett, így potenciálisan feláldozható csomóponttól? Bloor is elismeri, hogy e jól védett csomópontok a háló bizonyos centrális elemeit alkotják.

Egy hálózat struktúráját a csomópontok száma és az őket összekötő kapcsolatok határozzák meg. Észre kell vennünk, hogy a hálózatként felfogott tudomány esetében a háló csomópontjai nem egyenlő számú kapcsolattal rendelkeznek. Hálózatunkban tehát a kapcsolatok száma nem véletlenszerűen oszlik el, mivel ha így lenne, akkor azt tapasztalnánk, hogy minden csomópontnak – a statisztikai ingadozásoktól eltekintve – nagyjából ugyanannyi kapcsolata van. A tudományhálózatban néhány jól összekapcsolt, sok linkkel rendelkező, ezért jól védett, illetve számos kevés kapcsolattal rendelkező, ezért potenciálisan feláldozható, kisebb csomópont található. Ilyen jól összekapcsolt csomópontot jelent például a kozmológiában az „ősrobbanás” fogalma. Ha a tudósok hirtelen úgy döntenének, hogy a fogalmi hálózatból eltávolítják az „ősrobbanást” anélkül, hogy mással helyettesítenék (például az „állandó állapotú világegyetem” fogalmával), akkor az egész kozmológia darabokra hullana. Több-

bé nem tudnánk megmagyarázni az univerzum tágulását, a kozmikus háttérsugárzás vagy az elemek eredetét.

Bizonyos törvényeket (kapcsolatokat), fogalmakat (csomópontokat) tehát azért védelmezzünk, stabilizálunk, mert eltávolításuk következtében a háló darabokra hullana szét.

Az olyan hálózatokat – ilyennek bizonyult a tudomány is –, amelyekben a legtöbb pontnak csak kevés kapcsolata van, s ezeket néhány nagy, sok összeköttetéssel rendelkező középpont tartja össze, *skálafüggetlen hálózat*nak nevezzük. Az ilyen hálózatokban – ellentétben a véletlen hálózatokkal – nincs tipikus pont. A skálafüggetlen hálózatokban a „pontok folytonos hierarchiáját figyelhetjük meg, mely a kevés középponttól a sok pici pontig terjed. A legnagyobb középpontot két vagy három, valamivel kisebb középpont követi szorosan, majd egy tucat még kisebb következik és így tovább, végül elérkezünk a sok kis pontig.” (BARABÁSI 2003, 100.) A tudomány esetében e jól összekötött pontoknak a háló központi, jól védett elemei, a kisebb, kevésbé összekapcsolt pontoknak pedig a háló periferiáján, a tapasztalattal közvetlenebb kapcsolatban álló elemek felelnek meg.

## ROBOSZTUSSÁG ÉS HIBATŰRÉS

A következőkben meg kell vizsgálnunk, hogy milyen sajátosságokkal rendelkeznek a skálafüggetlen hálók, s hogy e sajátosságok hogyan befolyásolják a tudományos védőstratégiákat. Fentebb már láthattuk, hogy amikor a hálózat egy elemét különös körülményekkel védelmezzük, akkor tulajdonképpen hálózatunk egészét próbáljuk megvédeni a széteséstől.

Bizonyos inhomogén módon összekapcsolt, komplex rendszerek igen ellenállóak a véletlen meghibásodásokkal szemben. Barabási *A komplex hálózatok hiba- és támadástűrése* című tanulmányában kimutatja, hogy a skálafüggetlen hálózatok (amelyek az inhomogén módon összekapcsolt hálózatok egy csoportját alkotják) jóval védettebbek a véletlen meghibásodásokkal szemben, mint a véletlen hálózatok. A skálafüggetlen hálózatok igen nagyfokú *robosztussággal* rendelkeznek, vagyis a csomópontok kommunikációra való képességét még valószínűtlenül magas meghibásodási arányok sem zavarják. „Ez a robosztusság az inhomogén összekapcsoltsági eloszlásból ered. Mivel a hatványfüggvény szerinti eloszlás következtében a csomópontok többségének kevés kapcsolata van, sokkal nagyobb valószínűséggel választódik ki kevés kapcsolátű pont, és ezen »kicsi« csomópontok eltávolítása nem változtatja meg a maradék csomópontok útstruktúráját, így nincs hatása az általános hálózati topológiára.”<sup>4</sup> (ALBERT–HAWOONG–BARABÁSI 2000.) Mindezt a tudomány fogalomhálózatára alkalmazva kitűnik, hogy ha védőstratégiánk értelmében a hálózat periferiális pontjain, vagyis a kevés linkkel rendelkező pontokon végzünk változtatást, szinte a fogalomháló egésze változatlan marad, még akkor is, ha e pontok igen nagy részét el is távolítjuk. Nem kell tehát attól tartanunk, hogy elvben „egy kis változtatás vagy újítás a háló bármely más részében átrendeződést válthat ki” (BLOOR 2005, 197). Hiszen ha csak a kis csomópontokra korlátozzuk a változtatást, akkor a háló egészének kapcsolatstruktúrája érintetlen marad.

<sup>4</sup> Az idézet a cikk magyar nyelvű kivonatából származik, amely Bálint Balázs fordításában – hálózatokról szóló egyéb tanulmányok és cikkek mellett – a <http://hps.elte.hu/~gulya/Teaching/Halovilag/Halovilag.0808-27.html> weboldalon olvasható.

## TUDÓSOK ÉS TERRORISTÁK

Egy jól informált támadó a minél nagyobb károkozás érdekében mindig a nagy csomópontokat támadja meg. Egy ilyen támadás hatására a hálózat hamar szétföredezhet, elég, ha néhány nagy csomópontot kiiktatunk, és a hálózat máris darabjaira esik szét. E jelenség gyökere az inhomogén összefüggőségi eloszlásban keresendő. A skálafüggetlen hálózatokban az összefüggőséget néhány jól összekapcsolt csomópont biztosítja, ezért ha ezeket eltávolítjuk, a hálózat topológiája drasztikusan megváltozik. A tudósok – ellentétben a terroristákkal – igyekeznek minél jobban megóvni a hálózat koherenciáját, összefüggőségét. Így ők, ha az elméleti elvárásaiknak ellentmondó tapasztalattal szembesülnek, akkor annak érdekében, hogy megőrizzék a hálózat összefüggőségét, a változtatásokat a kis csomópontokra korlátozzák.

A Quine által bevezetett *minimális csonkítás maximája* is azt követeli meg, hogy érintetlenül hagyjuk a hálózat nagy csomópontjait. A maxima többek között előírja, hogy amikor az elmélet és a kísérlet közötti ellentmondást próbáljuk feloldani, akkor a matematikai állításokat érintetlenül kell hagynunk, „a matematika ugyanis át meg átszövi a világról alkotott egész rendszerünket, és szétzilálása elviselhetetlen zavarokat keltene” (QUINE 2002, 107). A matematikai „igazságok” tehát csupán azért minősülnek védettnek, mert tudáshálózatunk centrális elemeit, nagy csomópontjait alkotják.

A Barabási által használt terminológiával azt mondhatjuk, hogy az ilyen védelmi mechanizmus során kialakuló változások esetében csupán egyszerű meghibásodásról van szó, amely nem befolyásolja jelentősen a hálózat egészének összefüggőségét, kapcsolati struktúráját.

A fentebbiekből kiderül: ahhoz, hogy megmagyarázzuk védelmi stratégiánkat, nem kell túlmennünk a hálózat határain. Nincs szükség a hálózat fölött lebegő és azt kívülről meghatározó koherenciafeltételekre, hiszen jól látható, hogy eme védelmi stratégiákat maga a hálózat struktúrája kényszeríti ránk.

## TÁMADÁS ÉS FORRADALOM

A hálózat sajátosságaiból eredő védelmi stratégiák ellenére sem szükségszerű, hogy egy jól összekapcsolt csomópontot a végtelenségig védelmezzünk. Dönthetünk úgy is, hogy a hosszú távú haszon reményében éppen ezeken a csomópontokon változtassunk. (Barabási terminológiájával: tudatos támadást intézünk a rendszer összefüggőségét biztosító nagy csomópontok ellen.)

A kérdés mármint a következő: hogyan áldozhatók fel e nagy csomópontok anélkül, hogy a hálózat darabokra esne szét? A válasz igen egyszerű. Az eltávolított nagy csomópontokat más, új csomópontokkal kell helyettesíteni. Ez történhet úgy, hogy új csomópontokat adunk a rendszerhez, vagy pedig úgy, hogy a már meglévő csomópontok ragadják el a linkeket a régebbi nagy csomópontoktól. Ezt a helyettesítési folyamatot azonban nagy körültekintéssel kell végrehajtani. Az új csomópontnak nem feltétlenül kell átvennie a régi által birtokolt összes kapcsolatot. Jogos elvárás azonban: ahhoz, hogy az új pont a cserére alkalmasnak tűnjön, magához kell ragadnia a régi csomópont linkjeinek egy részét, és új, eddig nem létező kapcsolatokkal kell rendelkeznie. Hogy a csere nyereségesnek tűnjön, meg kell maradnia a hálózat összefüggőségének, illetve úgy kell átalakulnia, hogy az olyan elemek, amelyeknek a rendszerbe illesztése eddig problematikus volt, beilleszthetők legyenek az így átrendezett struktúrába.

Egy új elmélet (esetünkben egy jól összekapcsolt pontokból álló részhálózat) bevezetésénél meg kell követelni, hogy magyarázatot adjon az elődje által magyarázott jelenségek nagy részére, illetve bizonyos esetekben új előrejelzéseket adjon, vagy értelmezhetőkké váljanak vele olyan új jelenségek, amelyek a régiben fel sem merülhettek.

Ez a folyamat azonban áldozatokkal jár, hiszen gyakran előfordul, hogy elszigetelődnek olyan pontok, amelyek eddig a hálózat szerves részét képezték. Megtörténhet, hogy olyan kérdések, melyek a régi tudásrendszerben fontos szerepet tölthettek be és megválaszolásuk is lehetségesnek tűnt, az új, már átalakult rendszerben jelentőségüket veszítik. Jó példa erre az „éter” fogalma, amely a newtoni fizika szerves részét képezte, viszont az einsteini fizikából teljesen eltűnt.

Az eddigiekből jól látszik, hogy bár a hálózat összefüggősége megmarad, szerkezete teljesen átalakul, a kapcsolatok új eloszlást nyernek.

Talán nem túlzás kijelenteni, hogy a fenti leírás sematikus ábrázolása annak, amit Kuhn „tudományos forradalomnak” nevez. Így, ebben az értelemben a *paradigmaváltást* úgy lehet felfogni, mint e nagy csomópontok kicserélődését, s a hálózat ennek következtében történő topológiai, szerkezeti átalakulását. A forradalmakat a tudásháló drasztikus átrendeződésének tekintve sokkal érthetőbb a tudományos fogalmak összemérhetetlenségének tétele (lásd KUHN 2000). A szemantikai (fogalmi) *összemérhetetlenség* kimondja, hogy különböző paradigmák szavai más dolgokra vonatkoznak, annak ellenére, hogy a szavak hangalakja változatlan marad. A newtoni fizikában érvényesül a tömegmegmaradás elve, míg az einsteini fizikában a tömeg és az energia kölcsönösen átalakíthatók egymássá. Nem arról van szó, hogy Newton és Einstein ugyanannak a dolognak más tulajdonságokat tulajdonítanak, hanem arról, hogy a tömeg fogalma a két elméletben különböző dolgokra vonatkozik. Ez a fogalmi összemérhetetlenség abból ered, hogy a hálózatként felfogott tudományban a fogalmak nem önmagukban bírnak jelentéssel, hanem jelentésük a hálózatban elfoglalt helyüktől függ. Egy fogalmat tehát az határoz meg, hogy miként kapcsolódik a háló többi részéhez, vagyis milyen törvényekben szerepel, illetve milyen más fogalmakkal áll kapcsolatban. Mindebből következik, hogy e kapcsolatok határozzák meg, definiálják magát a fogalmat. A szemantikai összemérhetetlenség így onnan adódik, hogy a hálózat strukturális átalakulása során az adott csomópont/fogalom kapcsolatstruktúrája is átalakul, azaz más-hogy kapcsolódnak egymáshoz a fogalmak, és – bizonyos esetekben – a megmaradt kapcsolatokat is más törvények fejezik ki.

## ALKALMASSÁG ÉS NÉPSZERŰSÉGI KAPCSOLÓDÁS

Az eddigiekből világosan kitűnik, hogy a tudományhálózat nem egy statikus képződmény, hanem folyamatos, dinamikus változásokon megy keresztül. Még mindig nyitott azonban a kérdés: mi tesz alkalmassá egy adott csomópontot arra, hogy rövid idő alatt a hálózat centrális elemévé váljon?

Először vizsgáljuk meg azt, miképpen integrálódik a hálózatba egy adott új kapcsolat. A kérdés megválaszolásakor a Barabási által felvetett növekvő hálózatok skálafüggetlen modelljéből indulunk ki, hiszen a tudomány hálózata is egy növekvő skálafüggetlen rendszer, ahol bizonyos időközönként új pontok adódnak a hálózatához. Barabási és munkatársai a fejlődő hálózatok modellezése során a következő megállapításra jutottak: „Annak a valószínűsége, hogy az új csomópont a már meglévők közül egy adott csomópontot válasszon, arányos azzal, ahány kapcsolat tartozik az adott csomóponthoz.



Azaz ha választani kell két csomópont között, amelyek közül az egyiknek kétszer annyi kapcsolata van, mint a másiknak, akkor kétszer valószínűbb, hogy az új csomópont a több linkkel rendelkezőhöz fog kötődni.” (BARABÁSI 2003, 123.) Az ilyen kapcsolódási mintázatot nevezzük *népszerűségi kapcsolódás*nak. A gyakorlatban a tudósok számára ez abban a követelményben fogalmazódik meg, hogy az újonnan felbukkant csomópontokat valamilyen módon a már meglévő, sok linkkel rendelkező csomópontokhoz kapcsolják. E törekvés végeredményben a hálózat összefüggésének növelését eredményezi, vagyis azt, hogy a háló két tetszőleges eleme közötti távolság a nagy csomópontoknak köszönhetően egyre kisebbé válik, így a hálózat egyre szorosabban kapcsolódik össze. Észre kell vennünk azonban: ha a népszerűségi kapcsolódás minden esetben érvényesülne, akkor érthetetlen lenne, hogyan válhatnak az új, kevés linkkel rendelkező csomópontok viszonylag rövid idő alatt a hálózat centrális elemeivé. A folyamat magyarázatához Barabási bevezeti az *alkalmasság* fogalmát. A kapcsolatokért folytatott „versenyben” minden pontnak van egy csak rá jellemző tulajdonsága, vagyis a „hálózat minden pontjához rendelhetünk egy alkalmasságot, amely a kapcsolatokért való versenyzési képességét jelenti” (i. m. 134). Az alkalmasság fogalmának bevezetése nem szünteti meg a skálafüggetlen hálózatok kialakulását irányító két mechanizmust, a növekedést és a népszerűségi kapcsolódást, „viszont változik az, hogy a választás során mit tekintünk vonzósnak” (i. m. 135). Esetünkben tulajdonképpen arról van szó, hogy amikor egy adott új csomópontot helyezünk el a hálózatban, döntésünk meghozatalakor mind az alkalmasság, mind pedig a népszerűségi kapcsolódás szerepet játszik.

A tudomány esetében egy adott csomópont/fogalom alkalmasságának meghatározásánál figyelembe kell vennünk bizonyos objektív kritériumokat, például: képes-e az új elem arra, hogy a hálózat eddig egymástól távol eső elemeit szorosabban összekapcsolja?

Ha a csomópontokat nem önmagukban, hanem az általuk kifejezett elmélet összefüggésében tekintjük – hiszen egy adott új csomópont/fogalom rendszerint nem önmagában, hanem egy új elmélet keretében kerül bevezetésre –, akkor alkalmazhatjuk a Kuhn által felvázolt objektív döntési kritériumokat is, melyek szerint:

1. Az elméletnek pontosnak kell lennie, tehát a saját területén a belőle származtatható következményeknek bizonyítottan meg kell egyezniük a jelenlegi megfigyelések és kísérletek eredményeivel.

2. Konzisztensnek kell lennie, de nem csupán belsőleg vagy önmagában, hanem más, a természet hasonló aspektusaira alkalmazható, jelenleg elfogadott elméletekkel is.

3. Széles hatáskörrel kell rendelkeznie, pontosabban konzekvenciáinak messze túl kell terjedniük azokon a konkrét megfigyeléseken, törvényeken vagy alárendelt elméleteken, amelyek magyarázatára eredetileg kialakították.

4. Egyszerűnek kell lennie, rendet kell vinnie azokba a jelenségekbe, amelyek ennek híján egyenként elszigeteltek, együttesen pedig zavarosak lennének.

5. Termékenynek kell lennie az új tudományos felfedezések tekintetében, tehát új jelenségeket, vagy a már ismertek között korábban fel nem ismert összefüggéseket kell feltárnia. (KUHN 1999, 172.)

E kritériumok azonban – mint Kuhn is kimutatja – nem határozzák meg egyértelműen döntésünket, hanem csak mint elvek, maximák segítik a döntési folyamatot.

Ezen a ponton kell szólni azon tudósokról, akik bevezetik és összekapcsolják a hálózat fogalmait, vagyis azokról, akik a tudomány hálóját szövik.

## HÁLÓSZÖVŐK

A tudósok nem csak a tudomány hálóját szövik a háló által rájuk kényszerített játékszabályok között, a tudóstársadalomban is található egy, a fent leírthoz hasonló kapcsolatháló.

A tudományos mezőben ilyen jellegű kapcsolatot jelentenek például a hivatkozások. Tulajdonképpen annak az egyszerű ténynek a felismeréséről van szó, hogy a tudósok gyakran hivatkoznak cikkeikben más tudósok által elért eredményekre. Ha megfigyeljük, hogy mely tudósokra milyen gyakran hivatkoznak, akkor azt tapasztaljuk, hogy az ismert, nagy tekintélynek örvendő, vagyis jelentős mennyiségű szimbolikus tőkét birtoklókra gyakrabban hivatkoznak, mint kevésbé ismert, kevesebb tőkével rendelkező kollégáikra. A tudományos mezőben tehát a kapcsolatok, linkek eloszlása nem véletlenszerű, hanem visszatükrözi a szimbolikus tőke eloszlását, ez pedig skálafüggetlen eloszlást mutat. A skálafüggetlen eloszlás végeredményben abból ered, hogy a tudományos mező nem homogén, hiszen a szimbolikus tőke nagy része egy igen kicsi csoport kezében összpontosul. Tehát az, hogy egy tudósra milyen gyakran hivatkoznak a kollégái, visszatükrözi azt, hogy mennyi tudományos tőke birtokosa. Egy adott tárgykörben gyakran idézett tudós jelentős mértékű tőke birtokosa lehet, mivel a kollégái hozzá képest, az ő eredményeihez viszonyítva határozzák meg saját kutatási eredményeiket és a tudományos mezőben elfoglalt helyüket.<sup>5</sup>

Összegezve: ha egy tudós nagy mennyiségű tőke birtokosa, akkor sok linkkel rendelkezik, vagyis gyakran hivatkoznak rá, és fordítva, minél gyakrabban hivatkoznak valakire, annál nagyobb tudományos tőkére tesz szert.

Az a tudós, aki egy olyan csomópontot vezet be a tudomány fogalomhálózatába, amely képes rövid idő alatt nagy csomóponttá válni, hatalmas szimbolikus tőkére tesz szert, s ezzel egyrészt biztosítja azt, hogy hivatkozzanak a munkáira, mérvadóan tekintsék, másrészt ennek eredményeként új linkeket szerez az általa bevezetett új csomópontnak is.

A folyamat azonban fordított irányban is működik. Ha egy olyan tudós vezet be egy új fogalmat, csomópontot a tudományhálózatba, aki már eleve nagy mennyiségű szimbolikus tőke birtokosa, akkor az általa bevezetett új elem nagyobb valószínűséggel válhat nagy csomóponttá. (Itt meg kell jegyeznünk, hogy ez az összefüggés nem szükségszerű. Jó példa erre Einstein viszonyulása a kvantummechanika koppenhágai értelmezéséhez. Einstein élete végéig nem értett egyet a kvantummechanika statisztikus értelmezésével, ám nem tudott általánosan elfogadtatni egy alternatív értelmezést sem.)

Hogy a tudomány fogalomhálózatába bevezetett új csomópontot hány és összességében mekkora mennyiségű társadalmi tőkével rendelkező tudós támogat, szintén befolyásolhatja azt, hogy milyen gyorsan válik az adott elem centrális csomóponttá.

Mindebből levonhatjuk azt a következtetést, hogy a tudomány fogalmi hálója és a tudósok kapcsolathálója – ami az általuk birtokolt szimbolikus tőke kifejeződése – egymásra tevődik, és kölcsönösen befolyásolja a kapcsolatok eloszlását mindkét hálózatban. Ezen a ponton válik a tudomány hálózatának skálafüggetlen voltából adódó koherenciafeltétel a társadalmi érdekérvényesítés hasznos eszközévé.

Ha egy tudós egy olyan elméletet támogat, amely nem általánosan elfogadott, azaz nem képezi a tudásháló szerves részét, akkor azzal azt kockáztatja, hogy szimbolikus tőkét (linkeket) veszít, vagyis a tudóstársadalom perifériájára szorul, nem tartják mérvadóknak a munkáját az adott témakörben. Ez akkor nyilvánul meg a legszélsőségesebb

<sup>5</sup> A tudományos mező és a szimbolikus tőke fogalmáról bővebben lásd BOURDIEU 2005.

formában, amikor egy kutató a tudóstársadalom által áltudományosnak minősített nézetek, elméletek felé fordul. A legismertebb példa erre Erich von Däniken, aki azt az „áltudományos” nézetet képviseli, miszerint földönkívüliek látogatták meg bolygónkat, és hatást gyakoroltak az ember fejlődésére, történelmére. Érdeemes azonban megjegyezni itt, hogy azt a nézetet, mely szerint elképzelhető, hogy földön kívüli értelmes lények látogatták meg a Naprendszeret, komoly szaktekintélynek számító csillagászok sem tartják áltudományosnak. A SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence), valamint – azt mintegy kiegészítve – a SETA (*Search for Extra-Terrestrial Artifacts*) program keretében többször is megkísérelték a Naprendszeren belül esetleg fellelhető, földön kívüli eredetű objektumok felkutatását, azonban a keresés mindeztidáig nem hozott pozitív eredményt.<sup>6</sup>

Válószerű, hogy Däniken munkásságát nem elsősorban az általa támogatott hipotézis, hanem kutatási módszere miatt tartják áltudományosnak. Ugyanis ha egy építménynek, tárgynak nem ismerjük az eredetét, nem tudjuk megmagyarázni a keletkezését, az még nem bizonyíték arra, hogy földön kívüli értelem műve. (A tudományosság mércéjéül szolgáló „módszertani követelmények” azonban nem a hálózaton kívülről befolyásolják a tudományos kutatást, hanem mint a tudományos fogalomháló további elemei vannak jelen.)

Olykor egy tudós mégis kifizetődőnek tarthatja egy vitatott elmélet támogatását, például ha úgy látja, hogy az adott elmélet „alkalmasabb” a riválisáénál, s így el tudja ragadni tőle a linkeket. Egy újonnan bevezetett csomópont azonban csak úgy válhat a hálózat centrális elemévé, ha tudósok egy csoportja elkötelezi magát mellette, és szüntelenül azon dolgozik, hogy az új csomópontot minél szorosabban integrálja a hálózatba. A tét ebben az esetben nem csak az, hogy az új csomópont képes lesz-e centrális elemmé válni, az elkötelezett tudósok szakmai tekintélye is kockán forog, hiszen ha nem koronázza siker a vállalkozást, akkor szimbolikus tőkét (linkeket) veszítenek. Jól példázza a fent leírt szimbolikustőke-vesztést *Ehrenhaft* esete, aki elkötelezte magát a „szubelektronok” fogalma mellett, ám képtelen volt az általa felvetett új csomópontot a hálózatba integrálni, annak ellenére, hogy ő és követői úgy vélték, kísérletileg igazolták a szubelektronok létét. *Ehrenhaft* kudarcra igen súlyos következményekkel járt, fokozatosan a tudóstársadalom/hálózat periferiájára szorult, kollégái kétségbe vonták szakmai kompetenciáját. Dirac szavaival élve *Ehrenhaft* „természetesen nem volt jó fizikus”.<sup>7</sup>

Amennyiben azonban az újonnan bevezetett csomópont beváltja a hozzá fűzött reményeket, akkor az adott tudós egy csapásra igen nagy mennyiségű szimbolikus tőkére (linkre) tehet szert, szaktekintéllyé válhat a témakörben, munkáit mérvadónak tekinthetik, ezáltal linkeket gyűjthet, szimbolikus tőkét halmozhat fel. Az így szerzett szimbolikus tőke a társadalmi érdekérvényesítés hasznos eszközévé válhat, hozzásegítheti a tudóst szakmai, gazdasági, politikai céljainak eléréséhez.<sup>8</sup>

<sup>6</sup> Az ötlet, hogy a Naprendszeren belül is érdemes földön kívüli eredetű tárgyak (űrhajók, űrszondák, roncsok) után kutatni, a *Fermi-paradoxonon* alapul, amely a következő feltevésekből indul ki: „1. sok technikai civilizáció fejlődött ki a Tejútrendszerben; 2. jelentős részük már régen elérte a fejlődésnek azt a fokát, amely a csillagközi vándorlás megvalósításához szükséges; 3. nincs olyan természeti vagy társadalmi jelenség, amely minden esetben meg tudná állítani a beindult gyarmatosítási hullámot” (ALMÁR 1999). Ha ezen előfeltevéseket elfogadjuk, akkor a kérdés a következő: „Hol vannak a többiek?”. E kérdés empirikus megválaszolására tett kísérletet a SETA program. (Lásd még PAPAĞIANNIS 1983.)

<sup>7</sup> Az, hogy *Ehrenhaft* a szubelektronok fogalmát nem tudta nagy csomóponttá tenni, valószínűleg az adott pont alacsony alkalmassági szintjével van összefüggésben. Az eset részletes elemzését lásd BARNES–BLOOR–HENRY 2002, 37–72.

<sup>8</sup> Jó példa a politikai érdekérvényesítésre a Szilárd Leó által írt, de Einstein által aláírt és F. D. Roosevelt elnöknek elküldött levél, amelyben az atombomba megépítését sürgetik. A levél csak azért válhatta ki a kívánt hatást, mert olyasvalaki írta alá, aki igen jelentős mennyiségű szimbolikus tőkével rendelkezett. (Vö. PETŐ 2000.)

## ZÁRSZÓ

A tudományos fogalomhálózat skálafüggetlen voltának kimutatásából, mint láttuk, ket-  
tős haszon származik:

1. A tudósok védőstratégiájának eredete a skálafüggetlen eloszlásban keresen-  
dő. Vagyis: bizonyos jól összekapcsolt csomópontok csak azért részesülnek kitüntet-  
ett védelemben, mert ezek biztosítják a hálózat összefüggőségét, nélkülük a hálózat  
darabokra töredezne. Mindebből következik, hogy a védőstratégiák magyarázatakor  
szükségtelen a hálózaton kívüli metafizikai elvekre hivatkozni.

2. A tudományos tevékenységben két nagy hálózat játszik szerepet. Egyrészt a foga-  
lomháló, másrészt a tudósok kapcsolathálója. E két hálózat struktúrája hasonló, mind-  
kettő skálafüggetlen eloszlást mutat, és kölcsönösen befolyásolják egymást. A tuda-  
mányban végbemenő változások ezért csak úgy érthetők meg, ha mindkét hálózatot  
vizsgálat tárgyává tesszük, mégpedig oly módon, hogy szüntelenül szem előtt tartjuk  
a hálózat sajátosságait, a kapcsolateloszlás struktúráját, mivel az egyik hálózatban  
végbemenő szerkezeti átalakulások, kapcsolatátrendeződések hasonló változást idéz-  
nek elő a másik hálóban is.

Jelen dolgozatomban nem volt szó az *erős* és *gyenge* kapcsolatok közötti különbség-  
ről. Érdeemes lenne azonban a tudás- és tudományhálózat mélyebb megértése érdeké-  
ben az e kapcsolatok közötti különbségeket is feltárni, illetve megvizsgálni, hogy milyen  
szerepet játszanak a tudás- és tudományhálózat stabilizálásában és átalakulásában.

## IRODALOM

- ALBERT Réka – HAWOONG, Jeong – BARABÁSI Albert-László 2000. Error and Attack Tolerance of Complex Networks. *Nature* 27, 378–382. (Magyar nyelvű kivonata: <http://hps.elte.hu/~gulya/Teaching/Halovilag/Halovilag.080827.html>)
- ALMÁR Iván 1999. *A SETI szépsége*. Budapest: Vince.
- A Nap és a csillagok energiatermelése. A napneutrínók rejtélye.* [http://astro.elte.hu/icsip/nap/nap\\_energiatermeles/napneutrino.html](http://astro.elte.hu/icsip/nap/nap_energiatermeles/napneutrino.html).
- BARABÁSI Albert-László 2003. *Behálózva*. Budapest: Magyar Könyvklub.
- BARNES, Barry – BLOOR, David – HENRY, John 2002. *A tudományos tudás szociológiai elemzése*. Buda-  
pest: Osiris.
- BLOOR, David 2005. Durkheim és Mauss újraolvasása: az osztályozás és a tudásszociológia. In Fehér  
Márta – Békés Vera (szerk.): *Tudásszociológia szöveggyűjtemény*. Budapest: Typotext, 185–225.
- BOURDIEU, Pierre 2005. *A tudomány tudománya és a reflexivitás*. Budapest: Gondolat.
- COLLINS, Harry M. – PINCH, Trevor J. 2005. *The Golem. What You Should Know about Science*. Camb-  
ridge: CUP.
- FIORINI, Ettore 2008. A neutrínó tömege. *Fizikai Szemle* 10, 331–334.
- HESSE, Mary B. 1974. *The Structure of Scientific Inference*. London: Macmillan.
- KUHN, Thomas S. 1999. Objektivitás, értékítélet és elméletválasztás. In Forrai Gábor – Szegedi Péter  
(szerk.): *Tudományfilozófia: Szöveggyűjtemény*. Budapest: Áron, 171–187.
- KUHN, Thomas S. 2000. *A tudományos forradalmak szerkezete*. Budapest: Osiris.
- PAPAGIANNIS, Michael 1983. Lehetséges, hogy galaxisunkban csak a Földön van fejlett technikai civi-  
lizáció? In Toró Tibor (szerk.): *Kozmikus társkeresés*. Bukarest: Kriterion, 106–129.
- PETŐ Gábor 2000. Az évszázad (félreértett) embere. *Magyar Tudomány* 11, 1409–1411.
- PIETSCHMANN, Herbert 2006. Neutrínó – Múlt, jelen, jövő. *Fizikai Szemle* 1, 2–6.
- QUINE, Willard van Orman 1999. Az empirizmus két dogmája. In Forrai Gábor – Szegedi Péter (szerk.):  
*Tudományfilozófia: Szöveggyűjtemény*. Budapest: Áron, 131–153.
- QUINE, Willard van Orman 2002. A bizonyítékok. In Forrai Gábor (szerk.): *A tapasztalattól a tudomá-  
nyig*. Budapest: Osiris, 95–115.