



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
VILÁGGAZDASÁGI KUTATÓINTÉZET

M ű h e l y t a n u l m á n y o k

74. szám

2006. december

Fleischer Tamás

HÁLÓZATOK, HÁLÓZATI SZINTEK
ÉS A HÁLÓZAT ÁLTAL KISZOLGÁLT SZINTEK



1014 Budapest, Országház u. 30.
Tel.: 224-6760 • Fax: 224-6761 • E-mail: vki@vki.hu

ÖSSZEFOGLALÓ*

Ez a dolgozat „hálózatológiaiával” azaz a hálózatok fejlődésének sajátos kérdéseivel foglalkozik. Mielőtt azonban magukat a hálózatokat elemezni kezdenénk, meg kell különböztetni a megközelítés legalább három, minőségében eltérő szintjét.

Az első szint a *csomópontok* világa, azok az elemi pontok, amelyeket a hálózat majd összeköt. Ezeknek a pontoknak csak egyik, speciális tulajdonsága, hogy részét alkotja a hálózatnak, a pontok ezen kívül is funkcióval, sajátos tulajdonságokkal rendelkeznek, a valóságban kiterjedésük is van (vállalati egység, hivatal, település stb.). A hálózat egészéhez képest azonban elemi egységekről van szó, amelyeknek fontos jellemzői általában skalár mutatószámokkal jól kifejezhetők.

A második szint maga a *hálózat*, aminek a csomópontok mellett az élek képezik a részét. Az élek ebben a besorolásban azért nem feltétlenül alkotnak külön szintet, mert tulajdonságaik elsősorban vagy kizárólag hálózati funkciójukhoz kötődnek. Ez alatt azt értjük, hogy például a vasúti pálya elsősorban technikai létesítmény, funkciója a hálózaton betöltött szerepéhez kapcsolódik (míg a csomópont funkcionális értelemben nem kizárólag egy pályaudvar, hanem az azt körülvevő városrész is, azaz fontosságát a kiszolgált zóna tulajdonságai is megtestesítik). A hálózat meghatározó jellemzői a struktúra és az irányultság; fontos mértékei általában csak vektorként fejezhetők ki.

Az elemzés harmadik szintje a hálózatot magába foglaló *térség, aggregátum*. Ezt az aggregátumot tulajdonképpen a csomópont-

ok funkciógazdag világa építi föl, nem pedig a hálózat; utóbbi viszont strukturálja a csomópontok közötti viszonylatokat. Az aggregátumok minősítésére általában bonyolult aggregált mutatókat képzünk, amelyeket a gyakorlati egyszerűsítésekben úgy kezelünk, mintha skalár mutatók lennének.

A közlekedési hálózatok megközelítési szintjeinek a megkülönböztetését azért tartjuk fontosnak, mert e különbségtétel hiányának, illetve a szintek összekeverésének nagy szerepe van abban, hogy a hálózatok hatékonyságára és versenyképességére vonatkozó elemzések nem készülnek el a megfelelő szinten, hanem elkésve, projekt-szintű előterjesztésekhez kapcsolódva, projektszintű választások mellett érvelve próbálják ezeket az elemzéseket pótolni. Ilyenkor a projekt hozamának kimutatásába óhatatlanul olyan tételek kerülnek bele, amelyek valójában nem a projekt szintjén hozott döntésnek, hanem a megelőzően meghozott (vagy meg sem hozott) hálózati szintű *policy*-döntésnek az eredményei. Az ilyen jellegű hálózati szintű hozamoknak egy olyan számítási eljárásba kellett volna korábban belekerülniük, amelyek az adott hálózati alternatívát más közlekedéshálózati alternatívákkal hasonlították volna össze; vagy még korábban, ágazatpolitikai szinten a közlekedési és közlekedésen kívüli megoldásokat vetették volna össze.

A hálózatok itt összefoglalt osztályozása közvetlen tanulságokkal szolgál a versenyképesség és a hatékonyság értelmezéséhez is. Nevezetesen, érdemes megkülönböztetnünk egymástól a csomópontok versenyképességét, ami a csomópontoknak az egymáshoz képest kialakított pozícióját is érinti, és a csomópontok összessége által alkotott térség versenyképességét.

Megközelítésünkben a hálózat funkciója a versenyképességgel kapcsolatban az, hogy a csomópontok világát, és elsősorban az ebből felépülő térség egészét, segítse versenyképessé válni. Az ebben való sikeresség tekinthető a hálózati működés *output*-jának, aminek az eléréséhez természetesen különböző hálózati konfigurációk és minőségek, ezekhez pedig különböző költségszintek tar-

* A tanulmány „A hazai közlekedési hálózatok hatékonysága, versenyképessége növelésének lehetőségei a nemzetközi tapasztalatok alapján” (röviden HAVÉR) című, 2003-ban a szerző által irányított kutatási projekt keretében készült. A kutatást a Gazdasági és Közlekedési Minisztérium rendelte meg.

tozhatnak. A hálózati hatékonyságot az „*output*” és az ehhez tartozó „*költségek*” viszonyával jellemezhetjük, ahol mind a „*költség*”, mind pedig az „*output*” sokdimenziós mérőszám, azaz nem csak pénzben kifejezhető tételek összessége.

BEVEZETÉS

A „Hazai közlekedési hálózatok hatékonysága és versenyképessége növelésének lehetőségei a nemzetközi tapasztalatok alapján” témacímet lehetne úgy is értelmezni, hogy a hálózatok kifejezésen nincs különösebb hangsúly, tulajdonképpen a közlekedés versenyképességéről van szó (illetve értelmezésünk szerint a közlekedés által kiszolgált célpontok versenyképességéről), azon belül elsősorban az infrastruktúra, a létesítmények jelenlegi és adottnak vett állapotából indulva ki.

Amennyiben azonban nem szűkítjük le a megfontolásainkat az infrastruktúrának egy-két évre kiterjedő hatásaira, hanem az infrastruktúra teljes élettartamával kalkulálunk, nem lehet nem figyelembe venni, hogy ebben a több évtizedes időszakban az infrastruktúra hálózatai is változni, fejlődni fognak, ebben a léptékben tehát az infrastruktúra nem statikus szerkezetként, hanem dinamikus, időben változó hálózatként értelmezendő. Ebben a tanulmányban néhány olyan fejleményre kívánjuk felhívni a figyelmet, ami a hálózatok kutatásában az elmúlt időszakban alakult ki, és legalább is a lehetősége megvan annak, hogy az új eredményekből rövidesen a fizikai hálózatok tervezésében is hasznosítható tanulságok vonhatók le. Nem ígérjük, hogy ezek a tanulságok ennek a dolgozatnak a végén összefoglalhatók és ajánlasi pontokba szedhetők lesznek.

Kiindulópontként kell tekintenünk azt a közlekedéssel kapcsolatban álló alapozó hálózat-irodalmat, amit néhány közlekedési földrajzzal foglalkozó tankönyv tárgyal. Itt

természetesen nem feladatunk teljes tankönyvek és tananyagok ismertetése, csak utalunk az ezzel kapcsolatos hálózati nézőpontok létre. A hálózatokkal kapcsolatos nemzetközi irodalomnak ezen túlmenően két fő vonulatára támaszkodtunk: a közlekedésföldrajzi megközelítéssel rokon, egzakt mérőszámokra támaszkodó hálózati mutatórendszerek más területeken (informatika, szociológia, közintézmények) elért eredményeire és egy egészen új, jelentőségében még fel sem mérhető megközelítésre, az ún. kisvilág-hálózatokra.

A dolgozat a továbbiakban az alábbi módon épül fel: A hagyományos hálózati megközelítések között tárgyaljuk a hálózatok közlekedés-földrajzi megközelítését, a stratégiai döntések értékelésére kialakított közlekedéspolitikai megfontolásokat és a közintézmény jellegű hálózatokra, valamint a fizikai hálózatokra vonatkozó további hatékonysági megítéléseket vagy osztályozásokat. Külön pontban tárgyaljuk a hálózatok említett új megközelítését, a kisvilág-hálózatokat és a velük kapcsolatos kommentárjainkat.

1) HAGYOMÁNYOS MEGKÖZELÍTÉSEK A HÁLÓZATOK OSZTÁLYOZÁSÁRA ÉS MINŐSÍTÉSÉRE

1.1. Közlekedésföldrajzi megközelítések

A hálózati megközelítés kiemelésének az adja meg a létjogosultságát, hogy a közlekedésgazdasági elemzések nagyon gyakran elhanyagolják azt a tényezőt, hogy a közlekedési infrastruktúra nem egyszerűen egy

tőketömeg, ami bekerül a gazdasági körforgásba (a termelési függvények általában a kérdésnek ezt az oldalát tudják kezelni), hanem egyrészt fontos térbeli összefüggése van annak, hogy a közlekedési pályák mit mivel kötnek össze, másrészt egyáltalán nem hanyagolható el, hogy az összekapcsolódások milyen struktúrában, milyen mintázatot képezve valósulnak meg.

Ezt a kérdést fejlődés-gazdaságtani szempontból elemzi a fejlődő országok problémáira különösen érzékenyen reflektáló tankönyv, a *Modern Transport Geography*. A szerzők aláhúzzák, hogy a fő cél a társadalmi fejlődés és a regionális fejlődés előmozdítása. A legtöbb fejlett országban ezt úgy érték el, hogy egyensúlyozták az erős külső kapcsolatok és a belső hálózatok folyamatos erősítése között. Külön probléma a legkevésbé fejlett országok helyzete. Itt a legtöbb korszerűnek tekinthető hálózat a gyarmati időkre nyúlik vissza, és a külső kapcsolatokat preferálja inkább, mintsem, hogy megfeleljen a belső fejlődésnek. (Hoyle–Smith 1998 p. 37.)

A 20. században a közlekedés fejlődése következtében a föld kisebb lett, felszínét behálózzák a nemzetközi és globális kapcsolatok. Ugyanakkor az egyenlőtlenségek soha nem voltak ilyen nagyok. Bár önmagában a közlekedés keveset tehet az egyenlőtlenségek csökkentéséért, a komplex fejlesztési programok, amelyeknek részét kell alkossa a megfelelő alapozású közlekedési stratégia is, hozzájárulhatnak a regionális és lokális polarizáció csökkentéséhez. (Hoyle–Smith 1998 p. 37.)

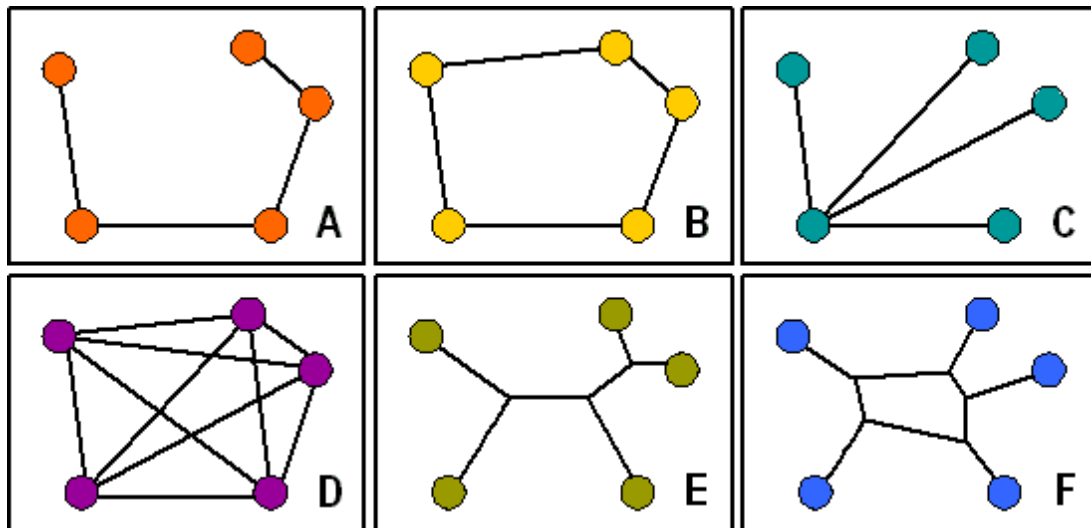
Az összetett képből itt azt emeljük ki, hogy a külső érdekből megépített kapcsolatok gyakran nem képesek szolgálni az ország belső fejlődését. A helyzet még tovább is általánosítható: bármilyen, korábbi struktúra logikája szerint kiépült hálózattal kapcsolatban felmerül, hogy a megváltozott körülményeket már nem képes optimálisan kiszolgálni. Az igen költséges közlekedési létesítményeket természetesen nem lehet gyökeresen megváltoztatni, felszedni és újjáépíteni. Két kérdéssel kell emiatt kiemelten foglalkozni: (1) mit lehet tenni annak érde-

kében, hogy a korábban kiépült struktúra viszonylag elviselhető költségű kiegészítéssel alkalmas legyen a megváltozott igények kiszolgálására, és (2) hogyan legyünk előrelátóbbak ma, amikor új pályákat építünk, hogy a most kiépülő struktúra később minél kevésbé váljon a fejlődés akadályává.

Ezeknek a kérdéseknek a kezelése ma Magyarországon vagy teljesen hiányzik, vagy verbális szinten mondunk valamit a sugaras hálózatok oldásának a szükségességéről; ugyanakkor semmiféle mérőszámot, indikátort nem alkalmazunk annak a megállapítására, hogy vajon a tervezett létesítmények valóban csökkentik-e a korábbi szerkezeti problémákat, vagy ellenkezőleg, éppen elmélyítik azokat.

A sugaras hálózatok oldásával kapcsolatban évtizedek óta közhelyszerűen ismétlődik az előterjesztésekben a sugaras-gyűrűs hálózatok irányába történő továbbfejlesztés gondolata. Fontos rámutatni, hogy a sugaras-gyűrűs rendszer is egyközpontú rendszer, és a célkitűzés egy zárt ország igyekezetét tükrözte arra vonatkozóan, hogy a problémát a saját határai között megoldja. Az utóbbi időben éppen ezért a nyitott gazdaságnak megfelelő nyitott rács modelljének megcélzása sokkal fontosabbnak tűnik, erre több alkalommal felhívtuk a figyelmet (pl. Fleischer *et al.* 2001). Eszmefuttatásunk azonban semmivel sem helyezi stabilabb alapokra a javasolt modellt, mint amilyen az elvetett modell nyugodott, hiszen bizonyos részleges geometriai modellhátter ellenére is lényegében verbális indokolással operál. Az alábbiakban két dologra kívánunk rávilágítani: (1) létezik a hierarchikus/sugaras és a rácsmodellt is átfogó, de más struktúrákat is felvonultató választék a térbeli alakzatokra vonatkozóan, (2) léteznek olyan kidolgozott mérőszámok, számítási módszerek, amelyek segítségével hálózatok és tervezett hálózatok strukturális jellemzőit összehasonlíthatóvá lehet tenni.

A választék tárgyalását illetően Rodrigue, J-P. *et al.* (1998) közlekedési földrajz könyvére utalunk, innen származik az *1. ábra*.

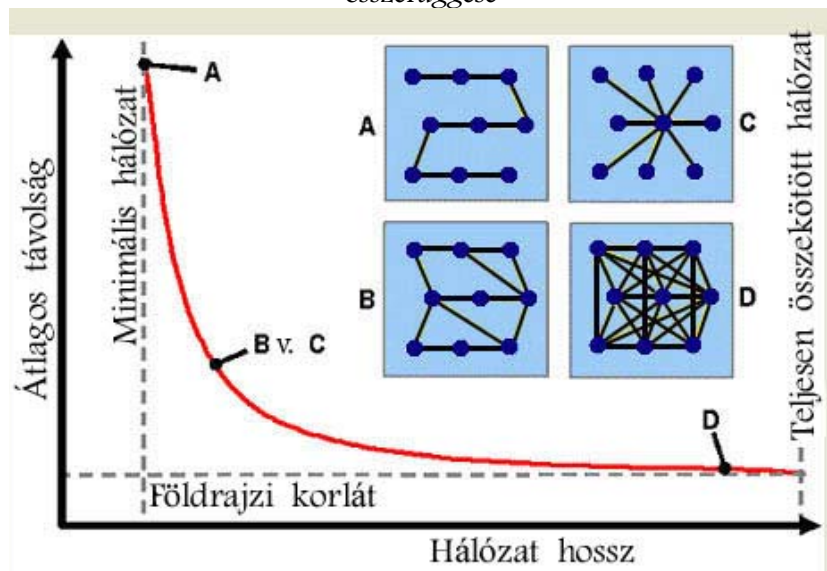


Forrás: Rodrigue, J-P. et al. (1998)

Az 1. ábra véletlenül akár emlékeztethet minket öt magyarországi nagyváros (Miskolc, Debrecen, Szeged, Pécs és Győr) lehetséges összekapcsolási módjaira is, de természetesen itt nem erről, hanem egy egyszerű elvi példáról van szó. Az A és B esetek tárgyalásától, azaz a lineáris felfűzéstől és ennek zárt keretté alakításától eltekinthetünk, hiszen nagyobb csomópontszám esetén ezek nem igazán jönnek számításba. Ennek kapcsán azért elmondható, hogy n számú csomópont minimálisan $(n-1)$ éllel fűzhető közös rendszerbe, ilyen minimális számú élet tartalmaz A mellett C konfiguráció is, amely utóbbi viszont az egyik pontot kiemelt központi helyzetbe hozza a többiekhez képest. D eset azt a szélső helyzetet mutatja, amikor bármelyik csomópontból bármelyik másikba közvetlen kapcsolat vezet. $(n(n-1)/2)$ él) Az E konfiguráció ugyanezt a célt, vagyis bármely csomópontból bármelyik másik elérését takarékosabb módon, minimális hosszúságú összes kiépített hálózat segítségével kívánja biztosítani. Ebben a hálózatban a minimumfeltételek miatt megjelennek az ún. Steiner-pontok, azok a pontok, ahol

a hálózatelemek 120 fokos szögben találkoznak, vagyis itt nem az összekötendő pontok válnak csomópontokká, hanem a közöttük lévő térben alakulnak ki előnyös logisztikai helyzetű pontok.¹ Az F eset már nem csak páronként kívánja az eljutást biztosítani, hanem tetszőleges kombinációban

2. ábra
A hálózat hossza és a csomópontok közötti eljutási távolság összefüggése



Forrás: Rodrigue, J-P et al. (1998)

¹ Ugyanezen az elven alakítottuk ki korábban Magyarországra vonatkozóan a tranzitútvonalak minimális hosszúságú áthaladását célzó „boríték”-modellt, ahol a két Steiner-pont Székesfehérvár és Szolnok térségébe került. Fleischer (1994).

felfűzve, például három vagy akár négy csomópontot is (az utazó ügynök vagy a postai kézbesítő problémája). Itt már öt Steiner-pont jelenik meg és belül kirajzolódik a külső keret egy kicsinyített mása.

A 2. ábra egy egyszerű sémát mutat be egyes konfigurációk „hatékonyságának” az összehasonlítására. Kifejezi azt a kettősséget, hogy a nagyobb kényelmet nyújtó közvetlen kapcsolatok kialakításának természetesen költségei vannak: megnő az összes kiépítendő hálózati hossz (és ezzel megnőnek mindazok a költségek is, amelyek a hálózat hosszával hozhatók kapcsolatba: építési költségek, területfoglalás, karbantartás stb.).

Természetesen a konfigurációk összehasonlítására számos további mutatószám alakítható ki. Fentebb már utaltunk a minimálisan szükséges és a maximálisan lehetséges élek számára. Ez az arány maga is mutatószámmá alakítható: az ún. gamma-index az aktuális élek számát a lehetséges maximumhoz viszonyítja, a béta-index pedig az élek számát a csomópontok számához. Más mutatók csak bonyolultabb hálózaton értelmezhetők: például az egyes csomópontokból az összes többihez vagy a tőle legtávolabbi ponthoz szükséges kapcsolatok számát összegzik. A hálózat egészének az értékelése szempontjából azoknak a mérőszámoknak, amelyek egy-egy csomópontra vonatkozóan adnak minősítést, főleg az eloszlása fontos: ezen mérhető és értékelhető, hogy a hálózat tovább javítja-e a jó helyzetben lévő csomópontok pozícióját, vagy ellenkezőleg, valamelyest kiegyenlíti-e a kiinduló helyzetből adódó különbségeket. Ha az esetenként kapott értékek önmagukban nem értelmezhetők is közvetlenül, a meglévő állapot és a tervezett állapot összehasonlításával vagy esetleg különböző tervalternatívák összehasonlításával a mutatók alapján olyankor is fontos következtetések vonhatók le a tervek strukturális minőségére vagy a deklarált szakmapolitikai célok közelítésére vonatkozóan. A mutató beépíthető továbbá olyan hatékonysági értékelésekbe is, ahol ezáltal mennyiségi súlyt kaphat *output*ként a kitűzött politikai célok elérésének minősítése.

1.2. Közlekedéspolitikai megközelítések a hálózati szintek megkülönböztetésével

Jóllehet a közlekedési létesítmények tervezeteinek összehasonlító értékelésére elsősorban projektek szintjén kerül sor, egyre inkább világossá válik, hogy ilyenkor bizonyos stratégiai döntések jóságát már nem lehet értékelni, vagy ha mégis figyelembe próbáljuk venni az ebből adódó eltéréseket, akkor kilépünk az adott projekt kiindulását képező peremfeltételek köréből. Kialakulóban van viszont az az eljárás is, amellyel egy korábbi fázisban, a stratégiai döntések meghozatala (tehát a közlekedés esetében a közlekedéspolitika megalapozása, a hálózati változatok kialakítása stb.) idején lehet a felmerülő stratégiai változatok közötti mérlegelést elvégezni. Ez az eljárás a stratégiai környezeti vizsgálat intézménye, ezzel kapcsolatban itt csak utalunk máshol megtörtént bővebb bemutatására. (Fleischer *et al.* 2001) Az alábbiakban is kifejtjük viszont a kérdéskörnek azt a részét, amelyik szoros kapcsolatban van a közlekedési hálózatok és döntési szintek rétegződésével.

A stratégiai környezeti vizsgálatok módszertanára vonatkozó uniós munkákban fontos szerep jut a közlekedési tervezés hálózati szintjeinek. Az erről készített átfogó tanulmány előzménye, hogy öt uniós tagállam (S, GB, A, I, F) kiválasztott egy-egy transzeurópai hálózati (TEN) folyosó szakaszt saját országa területén, amikre – egyébként nem teljesen azonos módon értelmezett – stratégiai vizsgálatot végeztek. Bina (2001) nem az egyes vizsgálatok összesítésére vállalkozott, hanem a tapasztalatok birtokában az általánosítható tanulságokat összegezte. Négy tervezési szintet különböztet meg. A legmagasabb ezek közül a stratégiai ágazatpolitikai szint, ahol a politikai célokat rögzítik. A következő szint a politikai célok teljesítésére irányuló stratégiai döntések, választások szintje. Például az

adott esetben azt állapíthatta meg, hogy a stratégiai vizsgálat végzésekor valójában csak a brit és az osztrák munkában kiválasztott korridorok esetében volt még nyitva a döntéseknek ez a szintje. Ennél kötöttebb tervezési szint (de még stratégiai vizsgálat tárgya) a fejlesztési programok szintje, ahova a svéd és a francia, részben az osztrák eset volt besorolható, és már projektszintű fejlesztés volt az olasz eset. A megkülönböztetett négy fázis összességét az jellemzi, hogy magasabb szinten a (szak)politikai szempontok dominálnak, és háttérbe szorulnak a műszaki kritériumok, lefelé haladva fokozatosan csökken az első és növekszik az utóbbi szerepe (a projekt végrehajtásánál szinte kizárólagos a műszaki dominancia). Ezzel párhuzamba állíthatóan, eleinte az értékelés is elsősorban minőségi szempontokkal dolgozik, és fokozatosan halad a mennyiségi összevetések irányába.

A fentiekkel összhangban, az unióban négy évvel ezelőtt készített kézikönyv a közlekedési beruházások stratégiai környezeti hatásvizsgálatának végrehajtásáról (Manual 1999) a közlekedési tervezés és a döntéshozatal három elkülönülő szintjét sorolja fel. Ezek a hálózati szint, a korridor szint és a projekt szint. Az előbbi kettő a stratégiai környezeti vizsgálat tárgyát alkotja, és multimodális megközelítést kíván.

A hálózati szint stratégiai vizsgálata nagyobb mértékben *policyorientált*; a kézikönyv szerint az értékelésnek ki kell térnie a meglévő hálózat értékelésére, a tervezett változtatásokra és a környezeti célok alapján várható jövő elemzésére, továbbá a kialakított változatok környezeti rangsorolására. Ugyanakkor a végső döntést esetenként csak akkor lehet meghozni, ha a felmerült új változatok kidolgozása a korridor mélységig megtörténik.

Korridorszinten is ügyelni kell arra, hogy csak az ezen a szinten releváns mértékig terjedjen az értékelés, vagyis a korridor egészére vonatkozó mélységig. Projekt szintű, részletes elemzést nem indokolt a korridorszintű vizsgálatától elvárni, ennek megfelelően bizonyos döntéseket tovább kell

halasztani (azaz több alternatívát tovább kell vinni).

*

A közlekedési hálózatok kialakításának döntéshozatali szintjeit határozottan megkülönböztető eljárások felidézését azért tartjuk fontosnak és ide tartozónak, mert a megkülönböztetés hiányának, a szintek összekeverésének fontos szerepe van abban, hogy a hálózatok hatékonyságára és versenyképességére vonatkozó elemzések nem a megfelelő szinten, hanem elkésve, projektszintű előterjesztéshez kapcsolódva, projektszintű választások mellett érvelve készülnek el. Ilyenkor a projekt hozamának kimutatásába óhatatlanul olyan tételek kerülnek bele, amelyek valójában nem a projekt szintjén hozott döntésnek, hanem előzőlegesen meghozott (vagy meg sem hozott) hálózati szintű *policy*döntésnek az eredményei. Az ilyen jellegű, hálózati szintű hozamoknak egy olyan számítási eljárásba kellett volna korábban belekerülniük, amelyek az adott hálózati alternatívát más közlekedéshálózati alternatívákkal hasonlították volna össze; vagy még korábban, ágazatpolitikai szinten közlekedési és közlekedésen kívüli megoldásokat vetettek volna össze.

*

A különböző szintű döntéshozatal és a hálózati hatékonyság összefüggését egy másik szempontból is körüljárják az intézményrendszerrel foglalkozó tanulmányok. Az alábbiakban egy ilyen tanulmányt mutatunk be. Arra érdemes külön felhívni a figyelmet, hogy az elemzés tanulságai a közlekedésben két szinten hasznosíthatók: egyrészt közvetlenül akkor, amikor a közlekedés intézményi hálózatairól van szó (városi közlekedésszervezés, közlekedési szövetségek, logisztikai bázisok, útigazgatás stb.), másrészt a következtetések egy része, elvontabb szinten, mint hálózati tulajdonságok érvényesek mindenféle hálózatra, így a közlekedési hálózatokra is.

1.3. A hálózati hatékonyság intézményi megközelítése

A hálózatok hatékony működése természetesen fontos azoknak, akik a hálózati szolgáltatásokat nyújtják, fontos azoknak, akik a szolgáltatásokat igénybeveszik, és fontos szempontja azoknak is, akik a közpolitikát alakítják helyi, regionális vagy nemzeti szinten. Provan és Milward (2001) cikkének elsődleges célja annak a keretnek a tisztázása, amiben egy hálózat értékelhető. Cikkük közszolgáltatási ellátást nyújtó szervezetek hálózatával, tehát alapvetően intézményhálózatokkal foglalkozik. Megállapításaik közvetlenül értelmezhetők közlekedési vállalatok együttműködési hálózataira (szövetségeire) és közvetett módon, számos kérdésben, átvihetők a gondolatok közlekedési hálózatok hatékonyságértékelési problémáira is.

szintjének megfelelő nézőpontok megkülönböztetésével. A szinteknek nem teljesen megfelelően, de az érdekelt felek (*stakeholders*) is három kategóriába sorolhatók: az előljárók (*principals*), akik a közösség céljai és szerepe szempontjából felügyelik, esetleg részben finanszírozzák a hálózat működését; az ügynökök (*agents*), akik a hálózatban dolgoznak igazgatási posztokon, vagy mint szolgáltatást nyújtó szervezetek személyzete; és az ügyfelek (*clients*), akik igénybe veszik a hálózat által nyújtott szolgáltatásokat. A különböző szinteket és az érdekelt feleket, továbbá az adott szinten megjelenő hatékonysági kritériumokat foglalja össze az 1. táblázat.

Az értékelés első szintje a közösségi szint, ami a hálózat kiterjedésétől függően lehet egy település, egy kistérség stb., egész a nemzeti szintig bezárólag. Közösségi szinten jelentkeznek a hálózattal kapcsolatos általános célok, és ezeknek a céloknak az

1. táblázat
Közintézményi hálózatok értékelési tényezőinek összefoglalása

A hálózati elemzés szintje	Érdekeltek (stakeholders)	Hatékonysági kritériumok
Közösség	Előljárók és ügyfelek fogyasztói érdekvédő csoportok, alapítók, politikusok, szabályozók, nagyközönség	a közösség költségei, társadalmi tőke keletkezése, a problémák megoldásának érzékelése, elmozdulás a problémák tárgyában, az ügyfelek jóléti mutatói
Hálózat	Előljárók és ügynökök alapítók és szabályozók, a hálózat működtetői, tagszervezetek	hálózati tagság növekedése, nyújtott szolgáltatások bővülése, párhuzamos szolgáltatások megszűnése, erős kapcsolódások (multiplexity), hálózatigazgató szervezet létrehozása, szolgáltatások integrációja, koordinálása, a hálózat fenntartási költsége, a tagság kötődése a hálózathoz
Szervezeti és egyéni résztvevő	Ügynökök és ügyfelek menedzsment és tagsági felügyelőbizottság, a szervezet személyzete, egyedi ügyfelek	a szervezet fennmaradása, a legitimitás növekedése, több forrás elérése, szolgáltatások költségei, hozzáférés a szolgáltatásokhoz, az ügyfelek kiszolgálása, résztvevő szervezetek minimális konfliktusa

Forrás: Provan–Milward (2001)

A hálózati hatékonyság értékeléséhez a szerzők egy háromszintű elemzést ajánlanak, nevezetesen a közösségi szintű, a hálózati szintű és a hálózatot alkotó elemek

elérését kell értékelni. Tulajdonképpen a hálózattal érintett térség vonatkozó politikai és szakmapolitikai célkitűzéseinek az érvényesítéséről van szó. A legtöbb közösségi háló-

zatnak (az oktatástól az egészségügyig) egymáshoz hasonlóan megfogalmazható általános *polycycéljai* vannak: a szolgáltatásokhoz jobb hozzáférést biztosítani, felelősegteljesebb és integrált kiszolgálást nyújtani az ügyfeleknek, miközben nem növekednek a költségek. A célok hatékony elérését főként a szolgáltatásokkal való elégedettségen és a szolgáltatások összes közösségi költségeinek alakulásán keresztül tudja a közösség mérni. Azok a mutatók, amelyek segítségével a közösség szintjén értékelhető a szolgáltatási hálózat hatékonysága, nem tükrözik feltétlenül az egyes hálózati résztvevők szempontjait. (Gondoljunk egy közlekedési szövetség kialakítására: térségi szinten a lakosság körülményeinek a javítása és az összes közösségi ráfordítás kell a fő mérlegelési szempont legyen. Ez nem szükségképpen jelenti azt, hogy minden résztvevő, például egy vállalat számára is ugyanez jelenti a saját szempontjából leghatékonyabb megoldást.) Kompromisszumokra szükség van, a további szintek hatékonyságértékelését éppen ezért is figyelemmel kell kísérni, hiszen ellenérdekelt résztvevőktől természetesen nem lehet elvárni, hogy részt vegyenek a hálózat létrehozatalában és működtetésében.

A hatékonyságértékelés második szintjére, magára a hálózatra megállapítható, hogy a hálózatnak, amellet, hogy szolgálja a közösség érdekeit, olyan szervezatközi szereplővé kell válnia, amely maga is képes fennmaradni. (Ez nem önfinanszírozást jelent, hanem a céloknak, eszközöknek és az intézménynek a világos érdekrendszerét.) Provan és Milward szerint a hálózati szintű hatékonyság mutatóit érdemes a hálózat életciklusának a szakaszai szerint is megkülönböztetni. A korai szakaszban a hálózat hatékonyságának fontos és egyszerű indikátora, hogy miként nő a tagszervezetek száma. Az érett hálózat esetében ez már nem követelmény. A második hatékonysági indikátor a hálózat által nyújtott szolgáltatások kiterjedése, száma. Extrém esetben, mondják a szerzők, a hálózat csak minimális szolgáltatást nyújt, ami arra készteti az igényesebb ügyfeleket, hogy a hálózaton

kívül oldják meg a kérdéseket.² A másik véglet viszont, ha túl sok szolgáltatást ölel fel a hálózat, annyit, amennyit már nem tud koordinálni, és ilyenkor párhuzamosságok, zavaros működés lesz az eredmény. A hálózati szintű hatékonyságot így azzal mérhetjük, hogy nyújtott szolgáltatásait milyen arányban igényli a közönség. A harmadik hálózati hatékonyságértékelési mutató a tagok közötti kapcsolatok erősségének feltérképezése. Új hálózatok esetében (megint gondolhatunk a közlekedési szövetségre) a tagok, amelyek korábban függetlenül dolgoztak, vagy csak formális együttműködésekben vettek részt, igyekeznek csak kiszámítottan és kevés kérdésben közösködni egymással. (Profitorientált vállalatok hálózata esetében kifejezetten a versengésből kell együttműködésre váltani; de közszolgálati vállalatok esetében is lassú átállással járó folyamatokról van szó.) A tartósan fennmaradó együttműködés azután kialakítja a résztvevők között az ún. multiplex, azaz több témában való kapcsolódásokat. Ekkor tehát már nem elég a résztvevők közötti kapcsolatok létét számolni, hanem arra is figyelni kell, hogy hány szállal kapcsolódnak össze az egyes tagpárok. Még egy további hálózati hatékonysági mutató a hálózatban kialakult igazgatási struktúra minősítése. Bár a külön hálózatigazgatási szervezet nem szükségszerű feltétele a hatékony működésnek, mégis jelzi a résztvevők elkötelezettségét, mert saját alapjaikból hoznak létre közös forrásokat a hálózat fejlesztése érdekében. Ezen túlmenően külön értékelhető, hogy a rendelkezésre álló összes források milyen arányának elosztását bízzák a résztvevők a közös igazgatásra.

A hatékonyság elemzésének a harmadik lépcsője a résztvevők szintjén történő vizsgálat. Itt négy mutató vizsgálatát javasolják a szerzők: a legitimitás, a forráshoz jutás, a költségszintek és a teljesítmények áttekinté-

² Bár a szerzők példaanyaga az egészségügyi és szociális ellátásra vonatkozik, ha meggondoljuk, ahogy a túl alacsony szintű fogorvosi közellátás a magánrendelés felé löki a betegeket, ugyanúgy készítenet az alacsony színvonalú tömegközlekedés is arra, hogy egyéni úton oldjuk meg a közlekedési igényeinket.

sét. Különösen kisebb cégek számára jelent a hálózathoz tartozás legitimáló erőt, az elfogadottság javulását. A teljesítményeket illetően az ügyfél számára különösen az integrált szolgáltatások jelentik a vonzerőt, és ha ez kialakul, akkor az egyes szervezetek számára is egyértelművé válik, hogy az klienseik jobb kiszolgálása érdekében is fontos, mert akkor kapcsolódnak a hálózathoz.

Az egyes szinteken vizsgált hatékonysági mutatókat természetesen végül is integrálni kell. Provan és Milward nem ad erre mechanikus módszert, hiszen nem is lehet: az érdekek egyeztetése maga is része a hálózatban történő együttműködésnek. A keret, amit felvázolnak civilizált lehetőséget ad az eltérő hatékonysági szempontok megjelenítésére. Ez lehet az alapja a kompromisszumok kialakításának.

1.4. A hálózat szerepe: klasszikus megközelítések

A hálózatok, konkrétan a közlekedési hálózatok, egyfelől illeszkednek a hozzájuk képest is tartósan tekinthető adottságokhoz, mint amilyenek a természeti és társadalmi feltételek; másfelől a hálózatokon lebonyolódni kívánó mozgások olyan, viszonylag gyorsabban változó struktúrákhoz kötődnek, mint a gazdasági és műszaki igények. Westlund (1999) a térségek és hálózatok kialakulásáról írott nagyívű elemzésében rámutat, hogy az emberiség történelmét végigkíséri a távolság legyőzésére irányuló törekvés. Két különálló, de kölcsönösen összefüggő fejezetként lehet leírni a területi integrációk és a hálózattal történő integrációk történetét. A területi integrációk esetében mindig szükség volt a hálózatok integrációjára is, de fordítva ez nem igaz: a térbeli hálózatok integrációja nem feltétlenül igényli, hogy egyben közös igazgatású térség jöjjön létre.

Az utóbbi időben a hálózati megközelítést alkalmazza a közlekedés és a távközlés mellett a gazdaság, a politika, a szociológia

is, ennek ellenére (vagy éppen ezért) egy koherens és elfogadott hálózatelmélet még most van csak kialakulóban. Amint erre a szerzők utalnak, a politológiában és szociológiában korábban a hálózat kifejezést a hierarchia ellentétéjeként kezdték használni (Vámos 1983). Valójában a hierarchikus és függőségi rendszerek is hálózatok, annak egyik fajtáját alkotják, és a lehetséges hálózatok skálája sokkal kiterjedtebb annál, semhogy egy kétpólusú ellentétpárba lehessen őket rendezni. Ma egyébként a szociológia is árnyalt és matematikai alapokon nyugvó hálózatelemzéseket alkalmaz, a társadalmihálózat-elemzés (*social network analysis*, SNA) talán még részletesebb mutatókat használ, mint a közlekedésföldrajz apparátusa.

Westlund felhívja a figyelmet a tartós hálózatok és az ideiglenes vagy alkalmi hálózatok közötti megkülönböztetés fontosságára. Az előbbi a létesítmény, az infrastruktúra, egy viszonylag statikus szövet, ami pályaként szolgál a rendszerműködés viszonylag dinamikusabb forgalmának lefolyásához. A közgazdasági hálózatok úgy definiálhatók mint beruházások a kapcsolatépítésbe, ide értve a tartós, íratlan vagy leírt szerződéseket is, ahol is a kapcsolat tartóságának fontos szerepe van, mert ezáltal jellemezhető a kapcsolat tőkeként, elsüllyedt költségként (*sunk cost*).³ Vannak más tartós társadalmi hálózatok is, (családi kapcsolatok, dinasztiai) amelyek nem beruházással jöttek létre, de minden esetben kapcsolati költségek társíthatók a kapcsolat fenntartásához.

A jobb hálózati kapcsolat (*reduced friction*) gyengíti a területi akadályokat, azaz lehetőséget teremt a térségi expanzióra és az integrációra. Az államok belső hálózatokat építenek térségük összetartására és védelmére. Ha ezek a hálózatok meggyengülnek, a területi integráció is gyengül. Az új és ellenőrizhetetlen hálózatok új szakaszt jelentenek a térségi hálózatok és a területek történetében.

³ Karlsson és Westin (1994) *Pattern of Network Economy*. Springer. Idézi Westlund (1999).

A hálózatok és csomópontok tulajdonságairól elmondható, hogy a tartósság szerinti megkülönböztetés mellett a hálózatokat típusok és funkciók szerint is érdemes megkülönböztetni. Lehetnek horizontálisak, vertikálisak vagy a kettő kombinációja; az élek és csomópontok pedig különböző tulajdonságokkal és ellenállásértékekkel (*restrictions*) rendelkezhetnek.

Egyfunkciónak nevezi Westlund az olyan hálózatokat, amelynek a csomópontjai kizárólag az adott hálózaton belüli kapcsolatokat szolgálják. A közlekedési rendszerek ennél bonyolultabbak, különböző típusú hálózati rétegekből állnak, és a csomópontok az egyes elemi hálózatok közötti kapcsolatokat is szolgálják. Az ilyen csomópontoknak tehát duális feladatuk van: egyfelől a hálózaton belüli kapcsolat, másfelől a különböző hálózatok közötti kapcsolatok koordinálása. Itt nem csak az intermodális közlekedési csomópontokra kell gondolni, mert a városhálózatok vagy termelési hálózatok még komplexebbek lehetnek, és szektorközi összekapcsolásokat is szolgálnak, nemcsak különböző közlekedési, döntéshozatali és információs hálózatok között, de tőkeáramlási, politikai stb. hálózatok között is. Ahogy egyfunkciós hálózatoktól haladunk a multifunkcionális felé, a komplexitásból és a koordinációból adódó problémák nőnek. Egy rosszul működő közúti csomópontot sem olcsó újjáépíteni, de ha egy város működése és a közlekedése rosszul van koordinálva a döntéshozatali és a tudáshálózataival, azt már különösen nehéz újjávarázsolni.

Horizontális, egyfunkciós és egyszintű hálózatokban nincs hierarchia, míg a többfunkciós hálózatok eleve hierarchikus struktúrákként épülnek fel. A hierarchikus sémákat az jellemzi, hogy az azonos szinten elhelyezkedő csomópontok között nincs kapcsolat, csak a felsőbb és az alsóbb szintek felé. Komplex rendszerekben egy csomópontnak hiányozhatnak a horizontális kapcsolatai egy bizonyos hálózaton, és rendelkezhet ilyenekkel ugyanakkor egy másik hálózaton.

Hierarchikus termelési és szervezeti hálózatokban a hálózatképzés kiváltó oka a

munkamegosztás kialakítása a csomópontok között. De mi a kiváltó oka a horizontális együttműködésnek? Gyakori az a hibás képzet, hogy a horizontális csomópontok homogének, sőt teljesen azonosak. A teljesen azonos csomópontok közötti forgalom valóban csak költséggel járna, és nem hozna semmi előnyt. A horizontális csomópontoknak vannak közös tulajdonságaik, de eltérőek is, és ez utóbbi hozza létre a kapcsolatigényt közöttük. Nem behelyettesíthetőek! Minden csomópontnak a homogén és heterogén tulajdonságok sajátos kombinációjával kell rendelkeznie, mert ez biztosítja felemelkedésüket és túlélésüket. Az optimális kombináció meglétét a csomópont vonzása-ként (*affinity*) lehet definiálni.

A tartós hálózatok javítják a stabilitást, csökkentik a bizonytalanságot, ugyanakkor veszélyük, hogy merevséget, függőséget idézhetnek elő, nehezítik a változásokhoz való alkalmazkodást. A hálózati tartósság kiépítése a fix költségek növekedésével jár, ezt kell mérlegelni a várható előnyök tükrében. A drágább, tartósabb hálózat ellenállóbb lehet az adott körülmények közötti versenyben; ugyanakkor a beleépült elvezett költségek miatt akkor is tovább működik, ha az eredeti funkciója esetleg változást kívánna. Ezzel a szükséges váltás késleltetőjévé válhat a kiépült hálózat!

A klaszter (*cluster*) fogalma két értelemben is használatos. Egyfelől bizonyos tulajdonságok térbeli koncentrációját jelenti, másfelől a tulajdonságok sajátos jellemzők szerinti csoportosítását (*cluster analysis*). Az előbbi egy adott hálózathoz tartozó csomópontok térbeli csomósodását jelenti, térbeli csomópontot az egyfunkciós szint felett; másfelől különböző hálózatok térbelileg egybeeső csomópontját. A térbeli egybeesés még semmit nem mond a csomópont komplexitásáról; erről az aggregált kölcsönhatási költségek mértéke ad felvilágosítást. A különböző hálózatok közötti kölcsönhatási költségek minimalizálása fontos feladata a térbeli klaszterek kialakításának. Minél komplexebb a hálózat, annál nagyobb költséggel jár a hálózat helyettesítése vagy az átállítás egy másik hálózatra. A komplex rendszerek nagyon tartósak; ezen belül egyes hálózatok

kat a rendszer egészének a cseréje nélkül is le lehet cserélni. Az Egyesült Államokban a vasúthoz idomuló településhálózat-fejlődést a közúthálózatához idomuló városfejlődés váltotta fel, s az új kapcsolati hálózathoz képest előnyösen fekvő városok gyarapodtak gyorsabban. A klaszter másik értelme szerint nem térben, hanem tulajdonságmezők szerint, egymáshoz közeli profilú csomópontok választhatók ki. Ezek a hálózat hasonló tulajdonságú elemei, amik néha nem is létező, hanem potenciálisan ígéretes kapcsolatok irányába mutatnak.

A kölcsönhatási költségeket technikai-logisztikai, politikai-közigazgatási, gazdasági-strukturális, kulturális-történeti és földrajzi-biológiai tényezők befolyásolják. Az utóbbiak nagyon tartós, lassan változó adottságok. A skála elején viszont gyorsan változó tényezők vannak (technikai megoldások, rendszerek, fejlettség és tartós adottságok).

externália) irodalma a felhasználónak abból adódó előnyét írja le, hogy ő egyike a hálózatot igénybe vevő számos felhasználónak. Meg kell különböztetni, hogy az aggregált értékről beszélünk (valamennyi felhasználó összes előnyéről) vagy pedig egy egyéni felhasználó előnyéről. Másfelől különböző jellegű hálózatokról beszélhetünk. Három típus különböztethető meg. Az első a műsorszóró hálózat, ahol egy állomáshoz sok hallgató tartozik. (Vannak, akik vitatják is, hogy ez egyáltalán hálózat-e.) Az ilyen hálózat aggregált értékét a Sarnoff-törvény írja le. E szerint ez az érték arányos a hallgatóság méretével, míg az egyes felhasználók számára a hálózat közvetlen értéke konstans, nem függ a többiek számától. (A további finomítások ezt árnyalják: a hallgatótábor mérete, összetétele visszahat az adás minőségére, s ezért valójában nem mindegy az egyénnek, hogy hányadmagával hallgat egy műsort.)

2. táblázat

A hálózatokon belüli és a hálózatok közötti kölcsönhatási költségeket előidéző tényezők, változási képességük szerint csoportosítva

Gyors változás		Lassú változás		
Technikai-logisztikai	Politikai-közigazgatási	Gazdasági-strukturális	Kulturális-történeti	Földrajzi-biológiai
a termelés és az áruszállítás költségei személyszállítási költségek, tőke és tőke-transzfer költségei információ és info-transzfer költségei	árúk és szolgáltatások helyi-nemzeti szabályozása vámok, adók tarifazónák	gazdasági fejlettség szintje, igény szintje, gazdaságszerkezet iskolázottság szintje az infrastruktúra szabványosítottasága és kompatibilitása	nyelv vallás mentalitás etnikumok népsűrűség hatalmi struktúra és tulajdonjogok	fizikai távolság földrajzi akadályok időzónák humánbiológia

Forrás: Westlund (1999)

1.5. A hálózat értéke: aggregált és felhasználói előnyök

Swann (2002) tanulmánya a hálózat mérete és a hasznossága közötti összefüggést tárgyalja. A hálózati hatás (másnéven hálózati

A második típust a kétirányú kommunikációt megvalósító hálózatok képezik. A Metcalfe-törvény szerint ilyenkor a hálózat aggregált értéke a felhasználók számának négyzetével arányosan nő. (Az n felhasználó mindegyike $(n-1)$ másikkal képes kapcsolatba kerülni, ami $n(n-1)/2$ kapcsolatot hoz létre.) Ugyanakkor az egyes felhasználó számára a hasznosság a hálózat méretével lineárisan nő. (A Swann-tanulmány végkö-

vetkeztetése szerint ez csak erős megszorításokkal igaz. Ennél gyakrabban érvényesül az, hogy az átlagos előfizető S-alakú görbe szerint élvezzi a növekvő hálózat hasznosságát.)

A hálózatok harmadik típusát a csoportformáló hálózatok jelentik, ahol a hálózat hasznaként különböző közösségek alakíthatók ki. Az ilyen hálózat értékét a Reed-törvény írja le. E szerint a hálózat aggregált értéke arányos a felhasználókból kialakítható csoportok számával, vagyis 2^n -nel (kettő n -ik hatványával), miközben az egyes felhasználó ebből 2^{n-1} különböző csoporthoz tud tartozni. Számára ekkora tehát a hálózat hasznossága.

A három törvény nagyságrendi becslést ad annak a felső határára, hogy a különböző hálózatok értéke hogyan viszonyulhat a hálózat méretéhez. A realitást jobban figyelembe vevő következtetések arra mutatnak, hogy a valóságban ennél kevesebb az egyes felhasználó számára a hálózat effektív értéke, hiszen csak azoknak a kapcsolatoknak van számára értéke, amelyeket legalább potenciálisan valaha igénybevehet. A felhasználót legalább annyira érdekli a hálózat kompozíciója (kiből áll a hálózat), mint a mérete.

Swann kétirányú kapcsolatot nyújtó hálózatokat modellezve számításba veszi a hálózatba kapcsolódás fázisait: a pionír (korai) használók, a középmezőny, illetve a késői csatlakozó számára a hálózat különböző előnyöket kínál. A pionír számára hamar felfut a hálózat értéke („hasonszórúek” a többi pionírok is), a középmezőny számára érvényesül a jellegzetes S-alakú görbe (a belépő előbb nem találja a helyét, majd felfut kapcsolatainak száma), míg a későn jövő sokáig nem talál ismerősöket, és csak további késleltetéssel válik számára a hálózat értékessé. Ezek a függvényformák Swann szerint meghatározók abban, hogy mennyire homogenizálódik a hálózat. A teljes homogenizálódást jelenti például a szabványok versenyében, ha a „győztes mindent visz” típusú eredmény alakul ki. Más esetben több párhuzamos szabvány alakul ki. Szigorú műszaki-gazdasági szempontból ez

hátrányosnak tűnhet, de gondoljunk arra, hogy az európai kultúra, a nyelvek is ilyen párhuzamos standardokat jelentenek, és tulajdonképpen a párhuzamos standardok léte a diverzitás pozitív lehetőségét biztosítja.

Ugyancsak a hasznossági függvény lefutásának tanulmányozása segíthet a hálózati torlódási költségek meghatározásában. A terhelés növekedésével minden egyes felhasználót érintő késések kezdenek jelentkezni. Ahogy a terhelés közelítene a telítettség szintet, a késések egyre nagyobb mértékben nőnek. E késési költségeket levonva kapjuk meg a nettó egyéni hasznosságot. Ezt figyelembe véve a hálózatméret-egyéni nettó hasznosság összefüggésében optimummal rendelkező görbét kapunk, azaz a hálózatba kapcsolódók száma egy idő után csökkenti az egyén számára a hálózat hasznosságát. Ez az optimum máshol, kisebb felhasználószámnál jelenik meg a pionír számára, és nagyobb értéket enged meg a később bekapcsolódóknak.

2) EGY ÚJ HÁLÓZATI MEGKÖZELÍTÉS: A KISVILÁG- HÁLÓZATOK

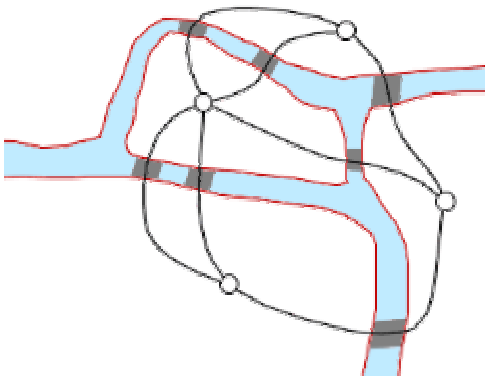
Az eddigiekben olyan hálózatértékelési módszerekről volt szó, amelyek leírják, osztályozzák a különböző hálózati mintázatokat, majd a mintázatok összehasonlítására és értékelésére lényegében tapasztalati alapon alkalmaznak kreált mutatószámokat: azaz az élek és a csomópontok számából és esetleg a lehetséges maximum megállapításából alkotnak mutatókat. Egy egészen új fejleménye a hálózatok kutatásának az a vonulat, ami a hálózatok keletkezésének és expanziójának a kérdését új alapokra helyezi. Az ezzel kapcsolatos fontosabb megállapításokat elsősorban Barabási (2003) és Buchanan (2003) nyomán foglaljuk röviden össze.

2.1. A hálózatok alapja: a gráfok

A hálózatok leírásának alapja, a matematikai gráfelmélet egyáltalán nem tekinthető újnak, mert a XVIII. században Euler, svájci matematikus megalapozta a geometriának ezt az ágát. A königsbergi hidakkal kapcsolatos eredeti feladat (hogy ne távolodjunk túl messze a közlekedéstől), arra irányult, vajon végig lehet-e járni egy kör-sétával a város hidjait úgy, hogy mindegyiket keresztezzük, de mindegyiken csak egyszer menjünk át. A népszerű feladatot senkinek sem sikerült megoldania, természetesen Eulernek sem, ő viszont képes volt bebizonyítani, hogy nem is lehetséges, és 1736-ban megalapozta a csak csomópontokból és élekből álló hálózatok, a gráfok elméletét.

3. ábra

Leonhard Euler (1707–1783) svájci matematikus és a königsbergi hidak feladványa



A csomópontok és élek (esetenként irányított vagy értékkel felruházott élek) segítségével modellezett hálózatok számtalan alkalmazása közül is kiemelhetők a műszaki hálózatokon lejátszódó mozgások alapjait leíró Kirchoff-törvények. Egy újabb matema-

tikai irányt jelölt ki Erdős és Rényi 1959-ben, amikor megalkották a véletlen gráf fogalmát, leírva azt a jelenséget, amelyben adott számú résztvevő között (például egy társaságban) esetleges módon alakulnak ki az ismeretségek. Ebben az esetben a csomópontok száma adott, és az egy csomóponthoz rendelhető kapcsolatok számát Erdős és Rényi véletlen eloszlással jellemezte.

2.2. Kicsi a világ

Míg egyfelől sokáig konszenzus mutatkozott arra nézve, hogy ez a leírási mód jó modellje a tényleges hálózati kapcsolatoknak, másfelől több olyan tapasztalat is felbukkant, ami nem volt megmagyarázható a modell segítségével. Stanley Milgram ismeretségi hálókat próbált feltérképezni olyan módon, hogy véletlenül kiválasztott amerikaiaknak leveleket kellett eljuttatniuk számukra ismeretlen emberekhez, azzal, hogy olyan ismerősének küldje tovább, akiről feltételezi, hogy továbbítani tudja. A célbaért levelek útjának elemzése nyomán terjedt el az a (kísérlettel nem teljesen megalapozott) eredmény, miszerint az Egyesült Államokban mindenki legfeljebb hat lépésre van egymástól, „hat kézfogásra az elnöktől”. Ilyen kicsi a világ.

Elvileg a véletlen gráfok modellje is lehetővé tenné ezt az eredményt. Ha egy-egy embernek átlagosan 100 ismerőse van, a következő lépésben már 10 ezer, aztán egymillió; a negyedik lépésben már százmillió emberhez juthatunk el, s így már az ötödik lépés is meghaladja az USA lakosainak számát. Csakhogy az ismeretségi láncok nem így épülnek fel. Az én száz ismerősömre igaz lehet, hogy átlagosan 100-100 ismerősük van, de ez összesen nem tízezer ember, hanem sokkal kevesebb. A száz ismerősöm között vannak a volt osztálytársaim, a munkatársaim stb., olyan csoportok, amelyeknek a tagjai egymást is ismerik. Az ötven osztálytársam listáján ugyanaz az ötven ember fog megjelenni, nem pedig 50-

szer 50, azaz 2500 különböző. Az összeg nagyságrendekkel lesz kisebb, mint arra az exponenciális növekedést feltételezve számítottunk.

Hogyan lehetséges akkor mégis, hogy a kísérlet szerint lehetséges volt a leveleket célbajuttatni? Milyen módon épülnek fel a kapcsolati hálózatok? A kérdés nyomozása kapcsán felbukkant Mark Granovetter szociológusnak egy 1973-ból származó, lényegében észrevétlenül maradt közleménye, *A gyenge kapcsolatok ereje* címmel. A társadalom sűrű szövésű csoportokból épül fel, a csoporton belül kölcsönös és gyakori találkozásokkal. Mindenkinek van azonban a rendszeres ismeretségi kapcsolatán kívül számos esetleges ismerőse is, mondjuk olyan, akivel véletlenszerűen találkozott egyszer egy társaságban, és a beszélgetés után névjegyet cseréltek. Granovetter azt tapasztalta, hogy arra a kérdésre, hogy kinek a révén szerzett valaki állást, meglepően sokan utaltak ilyen távoli, „gyenge” kapcsolatra. Ezen alapszik a kapcsolatokat leíró modell: mindennapjaink zömét olyan emberek társaságában töltjük, akikkel rendszeresen találkozunk. A külső tájékozódásunkban és a csoportok közötti kommunikációban azonban óriási szerepe van az esetleges és véletlenszerű, külső kapcsolatainknak. Ezek a gyenge kapcsolatok tartják össze a világot, szinkronizálják a társadalom viselkedésmódját.

Tulajdonképpen ezt a modellt veszi át a „kisvilág” megmagyarázására az új elmélet. Barabási (2003) azonban fel is építi az ilyen modell elemeit és megkeresi azokat a törvényszerűségeket, amik elvisznek egy ilyen modell kiépüléséhez.

Az Erdős–Rényi-modell arra épült, hogy mindenkinek átlagosan ugyanannyi, egy középérték körül véletlenszerűen elmozduló kapcsolata van. Barabási arra jött rá, hogy a természetben és a társadalomban előforduló hálózatok jelentős részében ez nem így van. A hálózatok kapcsolatszámát elemző statisztika azt mutatta, hogy az egy csomópontból kiinduló kapcsolatok száma nem egy középérték körüli véletlen eloszlással jellemezhető, hanem hatványfüggvénynek

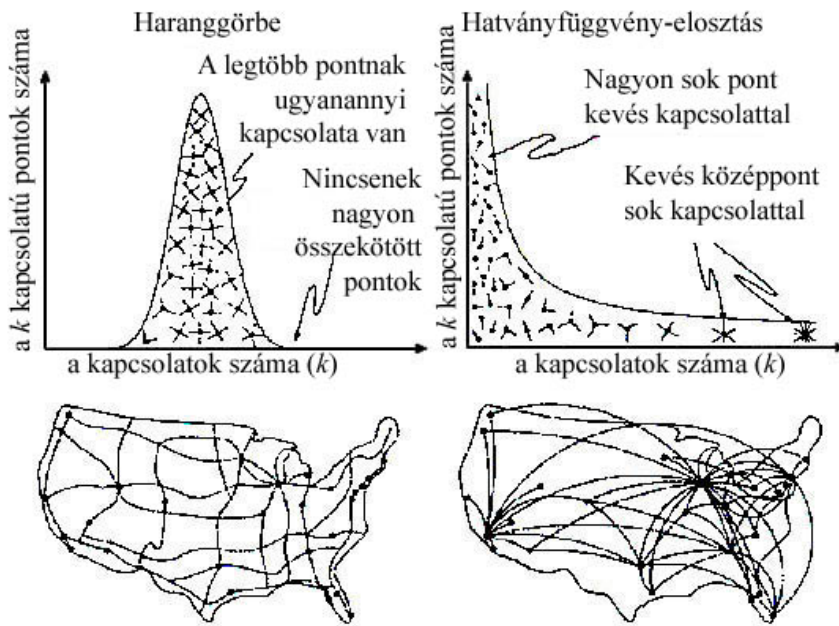
felel meg. Kiderült, hogy erre már számos közleményben rámutattak, csak senki nem általánosította, mint a hálózatok általános tulajdonságát. Zipf 1949-ben kimutatta, hogy a települések népességnagyság szerint eloszlása hatványfüggvény formájú: egy országban kétszerannyi településnek van 2000 és 4000 közötti lakosa, mint 4000 és 8000 közötti, viszont még kétszer több település fog az 1000 és 2000 közötti kategóriába esni stb. Lotka 1926-ban, majd de Solla-Price 1963-ban kimutatta, hogy a tudományos közlemények eloszlása hatványfüggvényt követ: feleannyi biológusnak van 100 és 200 közötti közleménye, mint amennyinek 50 és 100 közötti.

2.3. Skálafüggetlen hálózatok

Barabási skálafüggetlen hálózatoknak nevezte el azokat a hálózatokat, amelyekre igaz, hogy az egy-egy csomópontból kiinduló kapcsolatok száma hatványeloszlást követ. Kiderült, hogy a hatványfüggvény írja jól le a sütőlesztő fehérjéi közötti kölcsönhatások eloszlását is, az internet kapcsolatait is (néhány kulcsfontosságú szerverhez nagyon sokan kapcsolódnak, nagyobb számban olyan szervezetek következnek, amihez kevesebben és így tovább); de hasonló képet ad a weblapokra történő hivatkozások fel térképezése is.

Továbbá, ilyen eloszlást mutat az Egyesült Államok légiforgalmi rendszere is (4. ábra), vagyis néhány nagyobb csomópont nagyon sok járatot fogad naponta, ennél több, még mindig nagy csomópont kevesebbet, és többségben vannak azok a repülőterek, ahonnan kevés járat indul. A 4. ábra arra is felhívja a figyelmet, hogy az úthálózat viszont nem tekinthető skálafüggetlen hálózatnak, ami nem is meglepő, mert egy csomópontban többnyire négy él találkozik (egyszerű kereszteződés), néha csak három (T elágazás), néha négyenél is több, de ötnél ritkán több (hiszen a csomópont kezelhetlenné válna). A szövetségi úthálózat konfi-

4. ábra
Véletlen és skálafüggetlen hálózatok



Véletlen és skálafüggetlen hálózatok. A véletlen hálózatok fokszámeloszlása egy haranggörbét követ, amelyből az látható, hogy a legtöbb pontnak ugyanannyi kapcsolata van, és nem léteznek nagyon nagy számú kapcsolattal bíró pontok (balra fenn). Így a véletlen hálózat hasonlít egy országos úthálózatra, amelyben a pontok a városok, és a kapcsolatok a köztük lévő fő országutak. A legtöbb várost valóban nagyjából azonos számú autópálya szolgálja ki (alul balra). Ezzel ellentétben egy skálafüggetlen hálózat hatványfüggvény szerinti fokszámeloszlása azt jelzi előre, hogy a legtöbb pontnak csak kevés kapcsolata van, amelyet néhány, sok összeköttetéssel rendelkező középpont tart össze (jobbra fenn). Vizuálisan ez nagyon hasonló a légiforgalmi rendszerhez, amelyben sok kicsi repülőteret néhány fő középponton át lehet összekötni (alul jobbra).

Forrás: Barabási (2002)

gurációját tehát az Erdős–Rényi-féle véletlen gráf írja le jól.

Az úthálózat esetében könnyen megmagyarázható volt, miért jellemezhető a csomópontok kapcsolati értékei véletlen eloszlással. A kiindulás egy négyzetrács, ahol minden csomópontban négy él találkozik, ám az élet úgy hozta, hogy ettől a szabályos rendtől a helyi körülmények nyomására néha felfelé, néha lefelé el kellett térni. De vajon milyen törvényszerűség állhat a skálafüggetlen hálózatok mögött, ami a fehérjék kötődését ugyanúgy képes szabályozni, mint az internet hálózatát kiépítő embereket? Barabási megmutatta, hogy két szabályban összefoglalható az az algoritmus, ami alapján skálafüggetlen hálózatok generálhatók. A két szabály: (1) nem eleve adott a gráf csomópontjainak a száma, hanem növekszik, (2) nem véletlenszerűen

növekszik, (2) nem véletlenszerűen jönnek létre a kapcsolódások, hanem preferenciálisan; egy csomópontnak a további kapcsolat kialakítására vonatkozó esélye olyan arányban nő amennyi kapcsolattal a csomópont már rendelkezik.

Az első szabályt illetően, az Erdős–Rényi-modell eleve egy adott társaságból indult ki, és a létrejövő kapcsolatok eloszlását ezen belül kereste. Adott volt tehát a csomópontok száma, és a feladat kizárólag az élek elosztása. A skálafüggetlen hálózatok ezzel szemben mindig dinamikus hálózatok, ahol új és új csomópontok jelennek meg, és bekapcsolódási lehetőséget keresnek maguknak. (Nem zárva ki, hogy már a rendszerben lévő pontok között is kialakuljanak új kapcsolatok).

A második feltételt, a preferenciális kapcsolódást illetően Barabási arra utal,

hogy ez a szabály összefoglalható abban a leírásban, hogy „akinek van, annak adatik”. Vajon milyen mechanizmusok képesek elősegíteni egy ilyen szabálynak a megtartását? Az egyik segítő elem (bár nem magyarázza az arányokat, de az egyenletes eloszlás ellen dolgozik) a korán jövő előnye. Az, aki korán részévé vált a hálózatnak nagyobb esélyt kap arra, hogy valamelyik érkező hozzá csatlakozzon, mint a később érkezők. Ennél fontosabb, és arányokat is magyarázni képes törvény, a Metcalf-törvény érvényesülése. Itt pontosan olyan kétirányú hálózatokról van szó, amelyekre a Metcalf-törvény kimondja, hogy egy csomópont értéke arányos a potenciális kapcsolatainak számával. Az újonnan érkező olyan csomópontok közül választhat, amelyek eddig képesek voltak tényleges kapcsolattá tenni a potenciális kapcsolataikat, és ame-

lyek kevésbé. Érdekében áll, hogy olyan ponthoz kapcsolódjon, amelyik realizálni tudta a csomóponti értékét. (Repülőjáratokra lefordítva: egy új repülőteret az első járat indításával érdemesebb egy nagy forgalmú repülőterhez kötni, ahonnan száz irányba folytathatják az utasok az útjukat, mint egy olyanhoz, ahonnan csak két irány közül választhatnak.)

A magyarázat olyan jól sikerült, hogy tulajdonképpen most már azt kell megmagyarázni, hogy miért nem mindenki ugyanazt választja? Amikor a harmadik pont A és B közül A-t választja, akkor a következő számára is A-t előnyösebbé teszi, kialakulhat „a győztes mindent visz” algoritmus. Barabási rámutat, hogy olyankor, amikor a csomópontokhoz kapcsolódás nem jár költségekkel, akkor ez gyakran elő is fordul; a csomópontokhoz kapcsolódás költsége azonban fékező erő, és fokozatosan felértékeli a kevésbé terhelt csomópontokat. Megint lefordítva a légiforgalomra: egy idő után a chicagói repülőtér olyan leterheltté válik, hogy rendszeresen egy órát kell körözni felette, hogy leszállási engedélyt kapjon az érkező járat. Ez üzemanyag-költséggel jár, az elkéső utasoknak ki kell fizetni a kártérítést, akik legközelebb nem is erre fognak jönni, vagyis a járat üzemeltetője számára kiderülhet, hogy mégsem érdemes neki a legforgalmasabb repülőtérhez csatlakozni, s felértékelődhetnek a kevésbé forgalmas repülőterek.

A forgalmas csomópontok más veszélyt is hordoznak. Barabási vizsgálta a különböző típusú hálózatok hibátűrő képességét, vagyis különböző élek és/vagy csomópontok kiesésével kapcsolatban mutatott érzékenységeket. Úgy találta, hogy míg a véletlen hálózatok esetében viszonylag kevés meghibásodás után eljutnak a kritikus ponthoz, ami után a hálózat szétesik, addig a skálafüggetlen hálózatoknak nincs kritikus pontjuk, a véletlenszerűen generált hibát igen sokáig elviselik, miközben a kieső elemek miatt a hálózat természetesen kisebb lesz, de működőképes marad. Ez előnyös tulajdonság lenne, de a helyzet ennél rosszabb. A skálafüggetlen hálózatok ugyanis nagyon érzékenyek nagy csomópontjaik el-

vesztésére, s elég néhány kulcshelyzetű csomópontot kiejteni, és a hálózat szétesik. A véletlen hiba ritkán találja el a legnagyobb csomópontokat, amelyekből viszonylag kevés van. Viszont ha a hibát nem a véletlen generálja, hanem valaki tudatosan a nagy csomópontokat akarja megbénítani, akkor erre, vagyis a szándékos támadásra nézve, a skálafüggetlen hálózat nagyon is sebezhetőnek bizonyul.

*

A kisvilág-hálózatok áttekintése mindenképpen szélesebb keretbe helyezi a hálózattal kapcsolatos korábbi megfontolásokat. Azt tapasztaltuk, hogy a természetes módon fejlődő hálózatok nem rács jellegűek, hanem sajátos architektúrát alkotnak, sűrűn behálózott lokális göcökből állnak, továbbá az ezeket összekapcsoló esetleges távolsági kapcsolatokra épülnek. Ez a szerveződés lehetővé teszi, hogy viszonylag kevés áttétellel („hat kézfogással”) igen távoli pontok között is kapcsolat létesülhessen, ami a közlekedésre lefordítva úgy lenne interpretálható, hogy az algoritmus alkalmas a viszonylag kevés átszállást igénylő globális közlekedési hálózati hátterének kialakítására. Kevésbé biztató az, amit ezeknek a hálózatoknak a kiszolgáltatottságával kapcsolatban tapasztalhattunk: a skálafüggetlen hálózatokban ugyanis nagyon könnyen azonosíthatók a legsebezhetőbb göcönpontok.

Hozzá kell tenni ehhez két gondolatot. A forgalom maga a támadó! A nagy csomópontok kiszolgáltatottságát nem csak a szabotázs, szándékos rongálás, terrortámadás idézi elő. Az a folyamat, amelyik felépíti a skálafüggetlen hálózatokat az „akinek van annak adatik” algoritmus szerint, magában hordja a veszélyeztető tényezőt a forgalom formájában. Tehát, amint azt a repülőtéri példán is látható, a skálafüggetlen hálózat kritikus csomópontjait maga a működés kezdi el bénítani azzal, hogy fokozatosan egyre több forgalmat összpontosít ezekre a pontokra, s ezzel pontosan azok a problémák állnak elő, mint a hagyományos hierarchikus hálózatok esetében: a központi részek túlterhelése, sebezhetősége, merevsége

a változással szemben, a nehéz adaptálódás az újhoz.

Álcázd magad egyszerű pontnak! A másik megjegyzés már a szándékos támadás esetére vonatkozik. A skálafüggetlen hálózat a preferenciális kapcsolat kialakítás mechanizmusával, vagyis azzal az algoritmussal, amelyik előnyben részesíti a legterheltebb csomópontok további terhelését, tulajdonképpen maga segíti elő, hogy támadója könnyen eljusson a kritikus csomópontokba. Annak ugyanis nem kell mást tennie, csak úgy viselkednie, mint egy új elemnek, amelyik kapcsolódni kíván a hálózathoz. A hálózatépítő mechanizmus ezt a támadót is preferenciális módon kezeli, és jó eséllyel kritikus pontba juttatja.

3) ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KAPCSOLÓDÁS A VERSENYKÉPESSÉGI MEGKÖZELÍTÉSHEZ

A hálózatokkal kapcsolatos áttekintés fontos tanulsága, hogy mielőtt még magát a hálózatot elemezni kezdenénk, meg kell különböztetni legalább három, minőségében eltérő szintet. Az első szint a *csomópontok* világa, azok az elemi pontok, amelyeket a hálózat majd összeköt. Ezeknek a pontoknak csak egyik, speciális tulajdonságuk, hogy részét alkotják a hálózatnak. A pontok ezen kívül is funkcióval, sajátos tulajdonságokkal rendelkeznek, s a valóságban kiterjedésük is van (vállalati egység, hivatal, település stb.). A hálózathoz képest azonban elemi egységekről van szó, aminek fontos jellemzői általában skalár jellegű mutatókkal is kifejezhetők.

A második szint maga a *hálózat*, aminek a csomópontok mellett az élek képezik a részét. Az élek ebben a besorolásban azért nem feltétlenül alkotnak külön szintet, mert tulajdonságaik elsősorban vagy kizárólag hálózati funkciójukhoz kötődnek. Ez alatt

azt értjük, hogy például a vasúti pálya elsősorban egy technikai létesítmény, a hálózaton betöltött szerephez kötődik (míg a csomópont funkcionális értelemben nem kizárólag egy pályaudvar, hanem az azt körülvevő városrész is, azaz fontosságát a kiszolgált zóna tulajdonságai is megtestesítik.). A hálózat meghatározó jellemzői a struktúra és az irányultság; fontos mértékei általában csak vektorként fejezhetők ki.

Az elemzés harmadik szintje a hálózatot magába foglaló *térség, aggregátum*. Ezt az aggregátumot tulajdonképpen a csomópontok funkciógazdag világa építi föl, nem pedig a hálózat, ami viszont strukturálja a csomópontok közötti viszonylatokat. Az aggregátumok minősítésére általában bonyolult aggregált mutatókat képzünk, amelyek csak a gyakorlati egyszerűsítésekben kezelődnek úgy, mintha skalár mutatók lennének.

Az intézményhálózatokat osztályozó Provan–Milward (2001) az aggregátum szintjét közösségnek nevezi, a másik két szintnek a hálózatok és az alkotó elemek elnevezést használja. Mindegyik szinten külön értelmezik a szerzők a hatékonyságot, és hozzá ezt mérő indikátorokat adnak meg. A stratégiai környezeti vizsgálatok gondolati rendszeréből kiinduló Bina (2001) és a Manual (1999) nyomán ágazatpolitikai szinten, közlekedési hálózatok szintjén, korridorok szintjén és projektek szintjén történő értékelést különböztethetünk meg, ahol az ágazatpolitika tekinthető az aggregált felső szintnek, és a hálózati és a korridor értékelés mindegyike közbensőnek. A projekt nem azonosítható a fentiekben meghatározott célpontok világával. Itt a két osztályozás eltérő logikát követ: Bina hangsúlyozza, hogy a főként politikai célmeghatározástól (ágazatpolitika) a műszaki tartalom dominanciájáig (projektszint) terjed az általa felvázolt döntéshozatali skála; mi viszont mindkét szélső, azaz mind a csomóponti, mind pedig aggregált szinten a keresleti oldali, „életszagú” tulajdonságok jelenlétét emeljük ki, a hálózatok funkcionális jellegével szemben.

Magát a hálózati szintet kiragadva a fenti megközelítésből, önmagában is egy többretegű rendszerrel állunk szemben. Westlund (1999) egyfunkciónak nevezi azokat a hálózatokat, amelyeknek a csomópontjai kizárólag az adott hálózathoz kapcsolódnak, máséhoz nem. A közlekedés hálózataiban azonban nem ilyenek. Itt a csomópontok különböző funkciójú hálózatokat is összekapcsolnak egymással, és többretegű hálózatrendszerként képeznek. Ilyen eltérő funkciójú rétegek a közúthálózaton belül az alsóbbrendű hálózat, a főhálózat és a gyorsforgalmi hálózatok (Fleischer 1994); de ilyen rétegeknek tekinthetők egymáshoz képest az országos közúti főhálózat, a vasúti törzshálózat és a nemzetközi légiforgalmi hálózat is.

A hálózatok osztályozását egy más szempontból közelíti Swann (2002) és Reed (1999, 2001), egyben összekapcsolva a hálózat mintázatát a hálózatnak az egyes csomópontjaiban, illetve aggregált szinten tapasztalható hasznosságával. Megkülönböztetik a műsorszóró és a kétirányú kommunikációt megvalósító, (továbbá a csoportalkotó) hálózatokat. A hálózatba kapcsolódó felhasználó számára az előbbinek adott, konstans értéke van; a második típus értéke arányos a többi felhasználók számával. A hálózat aggregált értéke viszont egyenesen arányos a felhasználók számával az első esetben, és a felhasználók számának négyzetével arányos a kétirányú kommunikáció esetében.

Rodrigue (1998) nyomán bemutatottuk a hálózati konfigurációnak a különböző mennyiségi értékek és mutatószámok (élekre és csomópontokra vonatkozó arányszámok és telítettségi értékek) segítségével történő hagyományos, közlekedés-földrajzi minősítését. Az így kapott értékeket elsősorban összehasonlításokban, például a meglévő és a tervezett állapot összevetésében lehet hasznosítani.

A hálózatok keletkezését is nyomon képesek követni egyes gráfelméleten alapuló hálózat-leírások. A véletlen gráf fix csomópontokból áll, és az ezek között létrejövő kapcsolatok alakulása képezi a dinamikát.

Egy újabb megközelítés, a kisvilág-hálózatok elemzése (Barabási 2003, Buchanan 2003) dinamikus gráfokkal dolgozik, ahol nem csak az élek, hanem a csomópontok száma is változik. Ezeknek a hálózatoknak egy másik, tapasztalati tulajdonsága, hogy meglévő kapcsolataik száma nem csak megadja az egyes csomópontok értékét, de ez az érték egyben kihat annak a versenynek az alakulására is, ami további kapcsolatok megszerzésére irányul. A kisvilág-hálózatok sűrűn összekapcsolódó gócból, és ezeket a gócból egymással összekötő további kapcsolatból épülnek fel, és ez a mintázat lehetővé teszi, hogy az egész hálózat tetszőleges két eleme között viszonylag kevés lépéssel (a közlekedésben „kevés átszállással”) lehet összeköttetést létrehozni. A kisvilág-hálózatok igen ellenállóak a véletlen hibákkal szemben, ugyanakkor nagyon sebezhetőek szisztematikus támadásokkal. Egy lehetséges szisztematikus támadó maga a hálózaton létrejövő forgalom. Ezek a hálózatok ezért hajlamosak forgalmi torlódásokra.

*

A közlekedési hálózatok kialakítási szintjeinek megkülönböztetését fontosnak tartjuk azért, mert a megkülönböztetés hiányának, a szintek összekeverésének nagy szerepe van abban, hogy a hálózatok hatékonyságára és versenyképességére vonatkozó elemzések nem a megfelelő szinten, hanem elkésve, projektszintű előterjesztéshez kapcsolódva, projektszintű választások mellett érvelve készülnek el. Ilyenkor a projekt hozamának kimutatásába óhatatlanul olyan tételek kerülnek bele, amelyek valójában nem a projekt szintjén hozott döntésnek, hanem megelőzően meghozott (vagy meg sem hozott) hálózati szintű *policy*-döntésnek az eredményei. Az ilyen jellegű, hálózati szintű hozamoknak egy olyan számítási eljárásba kellett volna korábban belekerülniük, amelyek az adott hálózati alternatívát más közlekedéshálózati alternatívákkal hasonlították volna össze; vagy még korábban, ágazatpolitikai szinten a közlekedési és közlekedésen kívüli megoldásokat vetették volna össze.

A hálózatok itt összefoglalt osztályozása közvetlen tanulságokkal szolgál a verseny-

képesség és a hatékonyság értelmezéséhez is. Érdekes megkülönböztetnünk egymástól a csomópontok versenyképességét, ami a csomópontoknak az egymáshoz képest kialakított pozícióját is érinti, és a csomópontok összessége által alkotott térség versenyképességét.

A hálózat funkciója a versenyképességgel kapcsolatban az, hogy a csomópontok világát, és elsősorban az ebből felépülő térség egészét segítse versenyképessé válni. Az ebben való sikeresség tekinthető a hálózati működés *output*jának, aminek az eléréséhez természetesen különböző hálózati konfigurációk és minőségek, ezekhez különböző költségszintek tartozhatnak. A hálózati hatékonyságot az *output* és az ehhez tartozó „költségek” viszonyával jellemezhetjük, ahol mind a „költség” mind pedig az *output* sokdimenziós mérőszám, azaz nem csak pénzben kifejezhető tételek összessége.

* * * * *

REFERENCIÁK

- Barabási, Albert, László (2003): *Behálózva. A hálózatok új tudománya*. Magyar Könyvklub, Budapest.
- Bina, Olivia (2001) (prepared by): *Strategic Environmental Assessment of Transport Corridors: Lessons Learned Comparing the Methods of Five Member States*. Environment Resources Management, European Commission, DG Environment, Ref 5684, January 2001.
- Buchanan, Mark (2003): *Nexus, avagy kicsi a világ. A hálózatok úttörő tudománya*. Typotex, Budapest.
- Castells, Manuel (1996): *The Rise of the Network Society. The Information Age: Economy, Society and Culture*. Volume I. Blackwell.
- Fleischer T. (1994): 'A magyar gyorsforgalmi úthálózat kialakításának néhány kérdéséről'. *Közlekedéstudományi Szemle*, Vol. 44, No. 1. (január) pp. 7–24.
- Fleischer T – Magyar E – Tombácz E – Zsikla Gy (2001): *A Széchenyi-terv autópálya-fejlesztési programjának stratégiai környezeti hatásvizsgálata*. 109 p. A Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem Környezettudományi Intézetének tanulmányai, 6. szám. Sorozatszerkesztő Kerekes Sándor és Kiss Károly. Budapest, 2001 december (Megjelent 2002 január) <http://korny10.bke.hu/kti/kiadvanyok.html>
- Granovetter, Mark (1973): 'The Strength of Weak Ties'. *American Journal of Sociology*, pp. 1360–1380.
- Hoyle, Brian and Smith, José. (1998) 'Transport and Development: Conceptual Frameworks.' In B. Hoyle and R. Knowles (eds.) *Modern Transport Geography*, 2nd Edition, London, Wiley and Sons. pp. 13–40
- Lotka, Alfred J. (1926): 'The frequency distribution of scientific productivity'. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, Vol. 16. 317.
- Manual (1999) on SEA of Transport Infrastructure Plans*. Report prepared by DHV for DGVII. European Commission, 1999.
- Provan, Keith G – Milward H Brinton (2001): 'Do Networks Really Work? A Framework for Evaluating Public-Sector Organizational Networks'. *Public Administration Review*, Vol. 61, No. 4, pp. 414–423.
- Reed, David P (2001): 'The Law of the Pack. More over, Metcalfe. Here's a New Technique for Measuring the Value of Networks'. *Harvard Business Review*, Vol. 79, No. 2, pp. 23–24.
- Reed, David P. (1999): 'That Sneaky Exponential: Beyond Metcalfe's Law to the Power of Community Building'. *Context*, Spring Issue, available at: <http://www.contextmag.com/archives/199903/digitalstrategyreedslaw.asp>

- Rodrigue, J-P *et al.* (1998): *Transport Geography Web Site*. Bishop's University, Dep. of Geography.
- de Solla Price, Derek (1979): *Kis tudomány – Nagy tudomány*. Akadémiai, Budapest.
- Swann G. M. Peter (2002): 'The Functional Form of Network Effects'. *Information Economics and Policy*, Vol. 14, No. 3, pp. 417–429.
- Vámos Tibor (1983): 'Kooperatív rendszerek, új fejlődési távlatok'. *Valóság*, Vol. 27, No. 4.
- Westlund, Hans (1999): 'An Interaction-cost Perspective on Networks and Territory'. *Annals of Regional Science*, Vol. 33, No. 1, pp. 93–121.