

KOSZTYÁN Zsolt Tibor

BEKÖSSÜK? NE KÖSSÜK?

– AVAGY A HÁLÓZATELMÉLET ALKALMAZÁSA
A KARBANTARTÁS-MENEDZSMENTBEN

A hálózatelmélet eredményeit egyre szélesebb körben alkalmazzák mind a természettudományok, mind a társadalomtudomány területén. Ez a korszakalkotó elmélet eddig talán a menedzsment területén vált a legkevésbé ismertté, pedig a vezetéstudományban is lépten-nyomon hálózatokkal találkozunk. Elég csak a klaszterhálózatokra, az ellátási láncokra, vagy éppen a cikkben szereplő termelési rendszerek hálózatos jellemzésére gondolni, melyek kezelésére a hálózatelmélet egy új megközelítési lehetőséget biztosít.

A hálózat kutatás egyik legfontosabb kérdése a hálózatok stabilitása, robusztussága. Fontos kérdés, melyet csak néhány éve sikerült megválaszolni, hogy mely hálózati struktúrák azok, melyek jobban ellenállnak a véletlen meghibásodásnak, vagy éppen egy külső támadásnak. Mindazonáltal arra a kérdésre, miszerint milyen hálózati struktúrával, ún. hálózati topológiával rendelkező rendszereket lehet könnyebben, gyorsabban vagy hatékonyabban karbantartani, mindezidáig nem érkezett válasz. Ugyanakkor ez a kérdés mind a termelőrendszerek tervezésénél, mind pedig a karbantartás ütemezésénél kulcsfontosságú tényező.

A szerző tanulmányában arra keresi a választ, hogyan lehet a termelőrendszerek megtervezésekor az eltérő hálózattípusok tulajdonságait felhasználni a meghibásodási kockázat és karbantartási hatékonyság optimalizálása érdekében.

A komplex karbantartási feladatok priorizálására egy mátrixtervezési modellt javasol. Ennek segítségével bemutatja, hogyan lehet kritikus termelőrendszerek és villamosközmű-hálózatok meghibásodási kockázatát csökkenteni. A javasolt módszer a karbantartási vezetők számára lehetőséget nyújt a vállalati karbantartási projektportfóliók hatékonyabb menedzselésére.¹

Kulcsszavak: hálózatelmélet, rendszer megbízhatóság, projektmenedzsment, karbantartás-tervezés

Hálózatokkal a mindennapi életünk során lépten-nyomon találkozhatunk. Internetet használunk, közlekedési hálózatot veszünk igénybe, hogy eljussunk a munkahelyünkre, szervezetben dolgozunk, kommunikálunk munkatársainkkal, barátainkkal.

Talán elsőre nem tűnik nyilvánvalónak, de egy-egy projekt keretében elvégzett tevékenységek, vagy maga a termelés során alkalmazott berendezések rendszerszintű működése, rendelkezésre állása is jellemezhető hálózatelméleti eszközökkel.

Hálózatnak matematikai szempontból egy súlyozott *gráfot* tekintünk, ahol a súlyok a csúcsokhoz és az azokat összekötő élekhez is rendelhetők.

Bár ezek a hálózatok lehetnek nagyon különbözőek, ebből adódóan eltérő tulajdonságúak, mégis hasonló eszközökkel vizsgálhatók. Az általunk kifejlesztett eszköz segítségével pedig arra is példát mutatunk, amikor ezek a hálózatok egymásra is hatással vannak.

E tanulmány feltételezi, hogy az Olvasó már találkozott a gráfokkal, mint matematikai modellel, ugyanakkor a hálózatelemzés a korábban alkalmazott gráfelmélet eszköztárát jelentősen kibővítette. A tanulmánynak nem célja valamennyi új fogalom bemutatása, ugyanakkor a legfontosabb, a cikkben alkalmazott fogalmakat a karbantartás-menedzsment és a projekttervezés területére fókuszált példákon keresztül ismertetjük.

¹ Köszönetnyilvánítás: A kutatás a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj, az Európai Unió és Magyarország támogatásával készült, a TÁMOP 4.2.1.D-15/1/KONV-2015-0006 azonosító számú - Ösztöndíj magyar és külföldi hallgatóknak és kutatóknak - A közszegyi innovációs kutatóbázis és tudásközpont fejlesztése a Pannon Egyetem oktatási és kutatási hálózatának keretében.

Külön köszönetemet fejezem ki Csermely Péternek, aki felhívta további hálózati struktúrákra a figyelmet és e cikk alapjául szolgáló munkapéldányhoz hasznos megjegyzéseket tett. Köszönöm továbbá Németh Andrásnak, mester szakos informatikus hallgatónak az algoritmusok implementálásában nyújtott segítségét.

Ma már több ismeretterjesztő és szakkönyv is megtalálható e témában. Talán ezek közül az egyik legigényesebb és olvasmányosabb a legizgalmasabb a Bógel György, Csermely Péter és Lovrics László kommentjeivel magyar nyelven is megjelent Christakis és Fowler (2010) „Kapcsolatok hálójában” című könyve.

A tanulmányunkban másik kulcsfogalomként szereplő *projekt* meghatározására számos definíció létezik (lásd pl. Görög, 2007; Szabó, 2012). A vizsgált problémára azonban leginkább Gordon és Lockyer (2000) definíciója tekinthető irányadónak, melyből az egyediség hangsúlyozását hagyom el, hiszen ennek kiemelése karbantartási projektek esetén vitatható. Ezek alapján projekt alatt a következő definíciót értjük:

„Projekt: olyan folyamatrendszer, amely kezdési és befejezési dátumokkal megjelölt, specifikus követelményeknek – beleértve az idő-, költség- és erőforrás-korlátokat – megfelelő célkitűzés érdekében vállalt, koordinált és kontrollált tevékenységek csoportja” (Kosztján, 2016, p. 3).

A bevezető alfejezetekben először röviden áttekintjük a legfontosabb hálózati topológiákat, itt is koncentrálna elsősorban a cikk második felében vizsgált hálózatokra. Mindegyik bemutatott hálózati topológiára példát is mutatunk a vezetéstudomány területéről, felhívva a figyelmet arra, hogy az ilyen típusú vizsgálat még rengeteg további kutatási lehetőséget rejt magában, melyek megválaszolása további kutatási lehetőségeket tartogat.

Hálózati elemek

A hálózat elemeire úgy tekintünk, mint egy gráf éleire és csomópontjaira. Csúcsok lehetnek egy szervezetben dolgozó emberek, egy gyártás során a gyártásban szereplő berendezések, de csúcsokkal ábrázolhatjuk egy projekt során az elvégzendő tevékenységeket is. Élek reprezentálhatják egy szervezetben a hierarchiát vagy éppen a belső kommunikációs hálózatot. Egy projektben a tevékenységek között fennálló végrehajtási sorrendet (precedenciát).

Fontos megjegyezni, hogy vannak olyan hálózatok, melyeknél az összeköttetés iránya nem fontos. Ilyenek lehetnek a kommunikációs, közlekedési hálózatok, vagy a cikkünkben részletesen elemezett termelőrendszer megbízhatóságát leíró megbízhatósági diagramok is. Vannak azonban olyan hálózatok is, amelyeknél az összeköttetés iránya fontos tényező. Ilyen pl. egy ellátási láncban a termékek áramlása, vagy egy projektben a tevékenységek közötti végrehajtási sorrend is.

Elsőre talán úgy tűnhet, hogy ebben semmi újdonság nincs. Eddig is sokszor gráfokkal: éllel és csúcsokkal írtuk le a projekteket, termelést vagy épp egy szervezetet. Ugyanakkor a hálózatelmélet kutatói (lásd pl. Mitchell,

2006; Strogatz, 2001) rámutattak arra, hogy a hálózatok jellemzésével nagyon sokszor analógia figyelhető meg eltérő szerveződések között, melynek magyarázata sokszor a hálózati topológiában keresendő.

Hálózati tulajdonságok

Egy hálózat fontos jellemzője a hálózat átmérője: két legtávolabbi pont közötti legrövidebb út hossza, az átlagos úthossz. Irányított élek esetén pedig ilyen fontos mutató a *leghosszabb út*, mely pl. egy projektben az ún. *kritikus út*.

A hálózatot *kisvilág tulajdonságúnak* mondjuk, ha a hálózat méretéhez képest ezek az úthosszak kicsik. Bár később látni fogjuk, a kisvilág tulajdonságnak számos előnye van, ez a tulajdonság gyakran nem teljesül. Gondoljunk pl. egy olyan projektre, melyben sorosan, egymást követve hajtjuk végre a tevékenységeket, vagy egy gyártócella munkahelyeire, ahol az egyes termelő, megmunkáló berendezések egymást követik, illetve egy olyan ellátási láncra, ahol a termelőtől a végfelhasználóig nagyon sok elosztón vezet az út.

Ha egy hálózatban a kisvilág tulajdonság nem teljesül, akkor sokkal érzékenyebb lesz a külső tényezők hatására (lásd részletesen: Amaral és mtsai., 2000). Ha pl. egy projektben kevés párhuzamos, sok soros végrehajtás van (a kritikus úton lévő tevékenységek/összes tevékenység aránya nagy), akkor ez a projekt nagyon érzékeny lesz az esetleges időbeli csúszásokra (lásd részletesen: Kosztján - Herner, 2007). Egy soros megbízhatóságú gyártósor esetén bármely berendezésem meghibásodása a gyártás leállítását veszélyezteti.

A másik fontos tulajdonság a *hálózat foksám-eloszlása*. Itt azt vizsgáljuk, hogy egy csúcs hány másik csúccsal van kapcsolatban. A csúcsok mekkora hányadának k a foksáma. Az úgynevezett *skálafüggetlen hálóknál* ez az eloszlás hatványfüggvényt követ (lásd: Barabási és mtsai., 1999). Ilyen skálafüggetlen hálóknak tekinthetők a közösségi hálók, az internet routerei, illetve a cikkünk egyik példájában tekintett villamos-hálózat elosztói is. A skálafüggetlen hálózatokban kevés nagy foksámú csomópont (pl. villamos-hálózatokban nagy elosztók, erőművek), és sok kicsi foksámú csomópont (pl. helyi transzformátorok) található.

Nem tekinthető skálafüggetlen hálózatnak általában egy termelőrendszer berendezéseinek hálózata, vagy éppen egy projekt tevékenységei. Ebben az esetben a foksám-eloszlás binomiális, normális vagy egyenletes eloszlást követ.

A kisvilág-tulajdonságú skálafüggetlen hálózatok robusztusok, a véletlenszerű meghibásodások esetén nem omlanak össze. Gondoljunk arra, ha pl. egy helyi transzformátor meghibásodik, attól még nem kerül veszélybe egy város vagy egy térség villamosáram-el-

látottsága. Ugyanez sajnos nem mondható el egy termelőrendszer üzembiztonságára.

A következő fontos tulajdonság az ún. *klaszterezettség*, amely már azt jellemzi, hogy egy adott csúcs szomszédai milyen mértékben vannak összekötve.

$$C_i = \frac{i \text{ szomszédai közt hány él van}}{\text{mennyi lehetne}} = \frac{N_i}{\phi(i)(\phi(i)-1)/2} = \frac{2N_i}{\phi(i)(\phi(i)-1)}, \quad (1)$$

ahol N_i az i szomszédai közti élek száma, $\phi(i)$ az i -edik csúcs fokszáma (i -edik csúcsba bejövő/kimenő élek száma).

Az átlagos klaszterezettség: $\bar{C} = \frac{\sum C_i}{N}$, ahol N a csúcsok száma a hálózatban.

Mivel a legtöbb gyakorlatban megfigyelhető hálózat klaszterezettsége alacsony, így egy olyan csúcs kiesése, amelynek a fokszáma magas, a hálózat jelentős részét megbéníthatja. Az ilyen szisztematikus támadásokkal meg lehet bénítani az internetet (lásd pl. Facebook, Google oldalainak támadása), de egy erőmű kiesése komoly problémát okozhat az áramellátásban is.

Vannak azonban olyan hálózatok, az ún. *hagymahálózatok*, amelyek klaszterezettsége magas, ebből adódóan az ilyen szisztematikus támadások ellen is robusztusok, mi több, bármely hálózatból lehet ilyen hagymahálózatot készíteni, melynek mikéntjét cikkünk is tartalmazza, és ennek gyakorlati alkalmazási lehetőségeit is bemutatjuk. Most elégedjünk meg annyival, hogy az alacsony klaszterezettség esetén a szisztematikus támadásokat nehezebb kivédeni.

Rendszer megbízhatósági szempontból azok a hálózati struktúrák kedvezőek, amelyek kisvilág tulajdonságúak, skálafüggetlenek és a klaszterezettségük magas.

Tipikus hálózati struktúrák

A teljesség igénye nélkül bemutatunk néhány hálózati struktúrát, melyek tanulmányunk szempontjából fontosak. Megvizsgáljuk, hogy ezek a hálózatok mennyiben teljesítik az előző pontban leírt tulajdonságokat. Bemutatjuk azt is, hogy hogyan lehet ilyen hálózatokat generálni, illetve hogyan lehet ezeket a hálózatokat valós példákra illeszteni.

Soros-párhuzamos hálózatok

A soros-párhuzamos (S/P) hálózatokat nagyon sok területen használjuk. Ilyen struktúrákkal találkozhatunk az egyszerű projektek esetén, illetve a termelőrendszerek berendezéseit vizsgálva is nagyon sokszor ilyen ún. megbízhatósági diagramot kapunk.

A termelőrendszert megbízhatósági blokk diagrammal (angolul: Reliability Block Diagram, rövidítve: RBD) jellemezzük. Segítségével a rendszer megbízhatóságát (angolul Total System Reliability, rövidítve: TSR) határozhatjuk meg, amit a továbbiakban úgy ér-

telmezzünk, mint a helyes működés valószínűsége egy adott időintervallumban.

A megbízhatósági diagram (RBD) megmutatja, hogy milyen logikai kapcsolat van a rendszer működéséhez szükséges elemek között. A megbízhatósági (blokk) diagramnak is számos változata ismert, lásd pl. Gertsbakh (2000) és Idhammar (1999) monográfiáit.

Általában a soros-párhuzamos hálózatok kiértékelése a legegyszerűbb a cikkünkben bemutatott hálózati struktúrák közül. Megbízhatósági szempontból két berendezéselem soros kapcsolata azt jelenti, hogy az adott (rész)rendszer akkor működik, ha valamennyi (megbízhatósági szempontból sorba kapcsolt) berendezéselem működik. Megbízhatósági szempontból soros kapcsolásúnak tekinthetőek a gyártócella munkahelyei. Ha bármely munkahelyen meghibásodás történik, akkor a teljes gyártócella megállhat, amíg a hibát ki nem javítják. Soros kapcsolás esetén a berendezéselemek megbízhatósági értékeinek szorzata adja a rendszer megbízhatóságát.

$$TSR = \prod_i R_i, \quad (2)$$

ahol TSR jelöli a teljes rendszer megbízhatóságot, R_i pedig az i -edik berendezéselem megbízhatóságát.

Megbízhatósági szempontból a párhuzamos kapcsolás azt jelenti, hogy egy berendezés(elem) képes átvenni egy másik berendezéselem szerepét. Párhuzamos kapcsolás esetén a (rész)rendszer csak akkor nem működik, ha valamennyi eleme meghibásodott. Ilyen párhuzamos kapcsolásokkal találkozhatunk a tartalék rendszerek alkalmazása során. Ekkor a rendszer meghibásodásának valószínűsége ($F=1-TSR$) a berendezéselemek meghibásodási valószínűségeinek szorzataként számíthatók ki. Ekkor a rendszer megbízhatósága az alábbi egyszerű képlettel számítható.

$$TSR = 1 - F = 1 - \prod_i (1 - R_i) \quad (3)$$

Megbízhatósági szempontból ettől bonyolultabb kapcsolások is megfigyelhetők, mégis e kapcsolások fordulnak elő leggyakrabban. Ha csak ilyen kapcsolásokat, illetve ezek kombinációit engedjük meg, akkor a rendszer megbízhatósága egyszerű képletek segítségével, illetve gyors algoritmusokkal meghatározható (lásd pl. Moubray (1997) munkáját).

Természetesen nem minden rendszert tudunk ilyen egyszerű alapelemekkel leírni. Gyakran előfordul, hogy olyan rendszereket kell modellezni, amikor is nem lehet a rendszert megbízhatósági szempontból soros/párhuzamos alrendszerekre szétbontani, ekkor segíthetnek más módszerek, mint pl. az ún. igazságtáblával Kovács és Viték (1991) vagy a működési útvonalak módszerével történő rendszer megbízhatóság-számolás Shiker (2013), vagy a még számolásigényesebb szimulációs eljárások (lásd pl. Kovács, 2008).

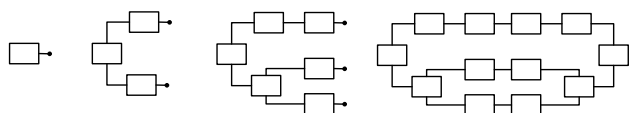
E módszerek részletes ismertetésétől jelen cikkünkben eltekintünk. A hivatkozott publikációk részletes leírását adják a módszereknek. Megjegyezzük azonban, hogy ha a termelőrendszer megbízhatósága S/P-hálózatokkal jellemezhető, akkor a kiértékelésének számítási igénye lineárisan függ a hálózati elemek számától. Ez lehetővé teszi azt, hogy nagy, komplex, akár több ezer berendezéselemet tartalmazó rendszer megbízhatóságát is elemezni tudjuk.

S/P-hálóok generálása

S/P-hálókat nemcsak kiértékelni, de a szimulációkhoz generálni is nagyon egyszerűen lehet. Csak a soros és párhuzamos blokkok arányát (előfordulási valószínűségét) kell megadni, valamint a blokkok számát kell meghatározni. Ezek után a generált blokkokat kell az arányoknak megfelelően összeilleszteni. A kapott struktúrát vagy lezárjuk, vagy tükrözzük (utóbbi eset-

1. ábra

S/P-hálózatok generálása



ben a generált elemek száma páros lehet csak, lásd: 1. ábra).

Az S/P-hálókkal jellemezhető projektek is fontos tulajdonságokkal rendelkeznek, melyek közül most csak egyet említünk meg, nevezetesen, hogy az átfutási idő egyetlen képlettel megadható. Ezen kívül fontos szerepe van az ilyen típusú hálóknak a költség-Idő átváltási problémák kezelésénél is; ezzel kapcsolatosan lásd De és mtsai. (1997) munkáját.

Termelőrendszerek jellemzése S/P-hálókkal

A berendezéselemek megbízhatósági szempontból való összeköttetések számával és a soros, illetve párhuzamos elemek arányával jól lehet jellemezni egy termelőrendszer megbízhatósági diagramjának hálózati struktúráját.

A berendezéselemek megbízhatósági értékeinek, illetve rendelkezésre állásának valószínűségi jellemzésével pedig a termelőrendszer megbízhatósága, illetve hasonló módon a rendelkezésre állás is szimulációs eszközökkel meghatározható.

Maguk a termelési hálózatok is tartalmazhatnak a soros/párhuzamos elemektől eltérő tevékenység-végrehajtásokat is. A komplex projekteket jobban leírják az ún. véletlen hálóok.

Véletlen hálóok

Több mint negyven évig a tudomány teljesen véletlenül kezelt minden komplex hálózatot. E paradigma

gyökerei két magyar matematikus, Erdős Pál és Rényi Alfréd (1959) munkájából erednek, akik 1959-ben, a kommunikációban és az élettudományokban látható hálózatok leírása érdekében azt javasolták, hogy a hálózatokat véletlenszerűen kellene építenünk. A receptjük egyszerű volt: vegyünk n csomópontot, és kössük össze m véletlenszerűen elhelyezett kapcsolattal. A véletlen hálóok fokszám-eloszlása Poisson-eloszlást követ. Demokratikusak, vagyis nincs olyan kitüntetett csúcs, amelynek nagyon sok kapcsolata lenne más csomópontokkal. A modell egyszerűsége, valamint az Erdős és Rényi által javasolt kapcsolódó tételek némelyikének eleganciája új életre keltette a gráfelméletet.

A véletlen hálóok alkalmazása a projekttervezési módszerekkel egyidősek. Apróbb módosításokkal, a komplex projektek generálására a mai napig alkalmazzák a véletlen hálókon alapuló eljárásokat, lásd pl. Kolisch és Sprecher (1997), valamint Kosztyán és Herner (2007) munkáit.

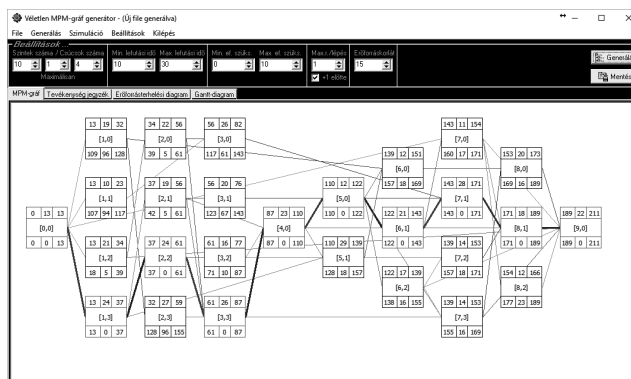
Projekthálóok generálása

A projekthálóok irányított gráfokkal jellemezhetők, ahol általában feltesszük, hogy a projekt nem tartalmaz irányított kört, ha mégis szükséges a körök ábrázolása (lásd: Pritsker, 1966), akkor ezeket a köröket egy komplex hálózatban detektálni kell és fel kell oldani (lásd pl. Kosztyán (2015) tanulmányát).

Bár a fejlettebb mátrixos hálótervezési eljárásoknál nem követelmény, de általában feltesszük, hogy a projektnek egy kezdő és egy végpontja van. Ha a projektterv nem tartalmaz körfolyamatot, akkor a tevékenységei topológikusan rendezhetők. A topológikus rendezés után az i -edik szintbe sorolt tevékenységnek csak $1, \dots, i-1$ szintbe sorolt tevékenység lehet a megelőző tevékenysége. Beállíthatjuk azt is, hogy egy-egy szintbe minimum/maximum hány tevékenység kerüljön (lásd: 2. ábra).

2. ábra

Véletlen projektháló generálása



Paraméterek beállítása, valós projektekhez való illesztése

Bár ekkor a szintek közötti tevékenységek összerendelése még mindig véletlen, a fenti beállításokkal meghatározható a kritikus (úton lévő) tevékenységek aránya, ezen kívül a szintenkénti csomópontok számával a párhuzamosan futó tevékenységek arányát lehet beállítani. A kapcsolatok (relációk) számának beállításával a projektháló komplexitását (élek/csúcsok) lehet szabályozni.

Egy következő kutatás tárgya lesz, hogy a gyakorlatban különböző területeken megfigyelt, különböző típusú projektek fenti paraméterei (kritikus tevékenységek aránya, komplexitás) szignifikánsan eltérnek-e, ennek segítségével ugyanis csoportosítani lehetne a különböző típusú projekteket, és a későbbi kutatás feltételezése az, hogy szakterületeken tipikus projektstruktúrák figyelhetők meg.

Az eddigi megvizsgált mintegy 74 karbantartási projekt esetén elsősorban sok kritikus tevékenységet, több körfolyamatot is tartalmazó projekttervekkel találkozunk, így kutatásunkban is ilyen jellegű projektterveket generáltunk, illetve használtunk fel.

Korábbi kutatásaink során (lásd pl. Kosztyán - Herner, 2007) már statisztikai és szimulációs eljárásokkal vizsgáltuk, hogy a projektháló e jellemzői és a projektütemtervek (idő-, erőforrás-szükségletbeli) érzékenysége között milyen összefüggés mutatható ki. A kevés párhuzamos tevékenységet tartalmazó projektek inkább az időbeli változásokra, a sok párhuzamosan futó tevékenységet tartalmazó ütemtervek inkább az erőforrás megváltozására lesznek érzékenyek. Igaz lesz ez a megállapítás a cikkünkben vizsgált karbantartási projektekre is. Ebben a tanulmányunkban azonban nem elsősorban a projektek érzékenységvizsgálatával fogunk foglalkozni. Tovább lépünk abban a tekintetben, hogy ebben a cikkben már arra fókuszálunk, hogy a projektek során milyen rendszerek karbantartását végezzük. A karbantartandó rendszer struktúrája vajon hatással van-e a karbantartás időbeli hatékonyságára? Ehhez két eltérő hálózati struktúrát kell vizsgálni, melyek közül egyik a karbantartandó rendszert, a másik a karbantartás tevékenységeit írja le. Külön nehézség, hogy a komplex rendszerek nem mindig írhatók le egyszerű S/P-hálózatok, vagy véletlen háló segítségével. Gondoljunk egy országos villamoshálózatra, mely véletlen hálózatokkal nem jellemezhető.

Skálafüggetlen hálózatok

A skálafüggetlen hálózatok alapvetően különböznek az eddig bemutatott hálózatoktól. Itt a fokszámok eloszlása valamilyen hatványfüggvényt követ. Ez azt jelenti, hogy a hálózatban néhány domináns csomópontnak

nagyon sok más csomóponttal van kapcsolata. Ilyen kitüntetett csomópontok az internetes hálózatokban a központi routerek (Cohen és mtsai., 2000) az elektromos hálózatokban pedig az erőművek.

A fenti példákon kívül is nagyon sokszor találkozhatunk skálafüggetlen hálókkal a sejtek kapcsolatát leíró biológiai hálózatoktól a társadalmi kapcsolati hálókig (lásd pl. Barabási és Oltvai (2004), valamint Csermely (2009) munkáit).

BA-féle skálafüggetlen háló generálása

Barabási Albert László és mtsai. (1999) egy egyszerű módszerrel mutatták be, hogy egy skálafüggetlen háló hogyan alakul ki. Ez a módszer egyúttal a különböző kitevőjű hatványfüggvényt követő fokszám-eloszlású hálózatok generálására is alkalmas.

Az ötlet roppant egyszerű. Első lépésként kössünk össze két csúcsot véletlenszerűen. Majd a következő még be nem kötött csúcsot nagyobb valószínűséggel ahhoz a csúcshoz kössük, amelyik fokszáma magasabb. Az így kialakuló hálóban azoknak a csúcsoknak a fokszáma fog növekedni nagyobb mértékben, amelyek fokszáma már eleve magasabb volt. Vagyis az újonnan bekötendő él nagyobb valószínűséggel fog csatlakozni olyan csúcsponthoz, amely már eleve több másik csomóponttal volt összekötve.

Ez a modell nagyon sok jelenség leírására alkalmasnak bizonyult. Az egyéni gazdagság modellezésétől a publikációs hivatkozások jellemzésén át a cikkünkben példaként szolgáló villamoshálózatokig. Amiben ezek a hálózatok (nyilván a tartalmukon túl) eltérnek, az mindössze egyetlen szám, a fokszám-eloszlás hatványkitevőjének értéke, melyet a hálózat generálása során, az új csúcsok bekötésénél a fokszámok alapján számolt (bekötési) valószínűségekkel lehet szabályozni. Ez a hatványkitevő pl. az internetes hálózatoknál 2,1 a villamoshálózatoknál pedig 4.

A BA-féle generálás során kapott skálafüggetlen hálózatok mindig kisvilág tulajdonságúak lesznek. Ebből adódóan egy karbantartandó hálózat (legyen az egy elektromos hálózat vagy maga az internet) a véletlen meghibásodásokra kevésbé lesz érzékeny. Viszont ezek a hálózatok alacsony klaszterezettségűek. Ebből adódóan egy nagy fokszámú csomópont meghibásodása a rendszer teljes meghibásodását eredményezheti.

Ha a rendszer megbízhatósági diagramja skálafüggetlen hálózatként írható le, akkor nem alkalmazható a berendezéselemek összevonásán alapuló megbízhatóságszámítás. Más módszert kell alkalmaznunk. A legegyszerűbb, bármely hálózatra alkalmazható eljárás az igazságtábla (angolul: Event Space Method, rövidítve: ESM) szerinti eredőszámítás (lásd: Wang és Elhag (2008) tanulmányát), mely módszer azon alapul, hogy

kétállapotú: működő és meghibásodott elemeket feltételezve, meghatározzuk a rendszer működését eredményező állapotkombinációk valószínűségének összegét. A módszer nagy hátránya, hogy valamennyi rendszerelem működés/nem működés kombinációját számba kell venni. Ez pedig n elem esetén 2^n lehetséges (működési vagy hiba)állapotot jelent.

A *működési útvonalak módszere* (angolul: Path-Tracing Method, rövidítve: PTM) az igazságtáblához hasonló eljárás. A PTM során a „működési” utak valószínűségeinek unióját vesszük alapul. Viszont ebben az esetben az utak metszeteinek levonására is szükség van, hogy a teljes rendszerre számolt megbízhatóság ne tartalmazzon redundáns adatokat (lásd: Verma és mtsai., 2010). tanulmányát). Az uniók, metszetek kiszámítása itt is kombinatorikus problémához vezethet főleg olyan esetben, ahol sok lehetséges működési útvonal határozható meg (ilyen hálózatok a skálafüggetlen hálózatok is).

Mi, ezzel szemben, egy gyors és a jelen hálózat struktúráját kihasználó módszert alkalmaztunk, amelyvel nagy hálózatok karbantartását is lehetett modellezni. Ez az eljárás az úgynevezett dekompozíciós eljárás, amely a teljes valószínűség tételét és az előbb tárgyalt igazságtábla módszerét kombinálja.

A dekompozíciós eljárás (angolul: Decomposition Method, rövidítve: DCM, lásd: Shiker (2013)) az előző eljárással ellentétben egy gyors módszer, amely a teljes valószínűség elvét alkalmazza. Első lépésként kiválaszt egy ún. kulcselemet. Mivel a kulcselem megválasztásától függ a módszer számítási igénye, ezért célszerű olyan kulcselemet választani, amelyik legnagyobb foksámú berendezéselem a megbízhatósági diagramban.

Az ilyen nagy foksámú csomópontokat a skálafüggetlen hálózatokban hub-oknak nevezik (jelen esetünkben ezek a központi elosztó helyek vagy erőművek lesznek).

Jelölje rögzített $t > 0$ esetén $P(S) = TSR(t)$ az S (teljes) rendszer működési valószínűségét. Jelölje $P(K)$ egy $K \subset S$ kulcs elem működési valószínűségét ugyanebben $t > 0$ rögzített időpontban. Ekkor a teljes valószínűség elve szerint $TSR(t) = P(S) = P(S|K) \cdot P(K) + P(S|\bar{K}) \cdot P(\bar{K})$, ahol $P(K)$ jelöli a K kulcselem hibás működési valószínűségét, $P(S|K)$ pedig az S rendszer működési valószínűségét, ha feltételezzük, hogy $K \subset S$ kulcselemünk működőképes állapotban van. A kulcselem kiválasztása után, ha a hálózat S/P-hálózatokra esik szét, akkor ezeket az elemeket összevonjuk, így határozva meg a rendszer megbízhatóságát; míg ha nem egyszerűsíthető a hálózat, akkor újabb kulcselemet választunk. A módszert a teljes megbízhatóság meghatározásáig ismételjük.

Mivel a skálafüggetlen hálók alacsony klaszterezettségűek, a kulcselem kiválasztásával a hálózat nagyon

gyakran szétesik, a hálózat megbízhatóságát nagyon gyakran a kulcselemek megbízhatósága adja, ezért akár nagy komplex hálózatok megbízhatóságát is könnyedén ki lehet számolni ezzel a módszerrel, így lehetőségünk adódik akár több ezer csomópontot tartalmazó hálózatokat is vizsgálni.

Hagymahálózatok, „hagymásítás”

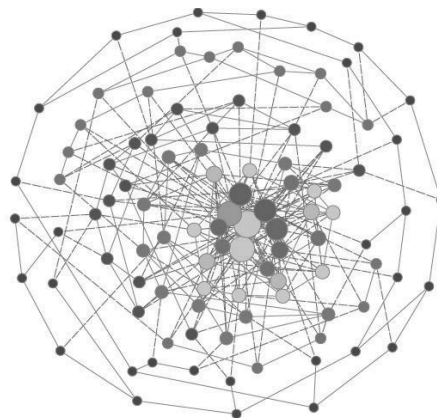
A hagymahálózatok az alacsony klaszterezettség problémáját hivatottak megoldani (lásd: Louzada és mtsai., 2013) azáltal, hogy a hasonló foksámmal rendelkező csúcsokat (adott valószínűséggel) összekötik. Ezt a folyamatot nevezik hagymahálózattá alakításnak vagy röviden hagymásításnak (lásd részletesen pl. Wu és Holme (2011) tanulmányát).

A bemutatott hálózatok közül bármelyiket át lehet alakítani hagymahálózattá. Mi azonban ezek közül csak a skálafüggetlen hálózatok átalakításával foglalkozunk (lásd: 3. ábra).

3. ábra

Hagymahálózat kialakítása (szaggatott vonalak az eredeti hálózat éleit, a folytonos vonalak a hagymásítás utáni összeköttetéseket jelölik).

Forrás: Wu és Holme (2011)



A módszer feladata a hálózat robusztussá tétele a szisztematikus támadásokkal szemben. Számos valós hálózatnál alkalmazták már ezeket a módszereket Louzada és mtsai. (2015), valamint Tanizawa és mtsai. (2012), de mi elsősorban a cikkünkben is vizsgált villamoshálózatokkal foglalkozunk Parandehgheibi és Modiano (2013) munkáihoz hasonlóan.

Kutatásunkban azonban mi nemcsak a hálózatok megbízhatóságát, robusztusságát jellemezzük, hanem azt is vizsgáljuk, hogy milyen hatékonyan lehet ezeket a hálózatokat karbantartani. A robusztusság növelése mennyiben segíti vagy épp nehezíti a karbantarthatóságot, illetve a karbantartási projektek végrehajtását.

Hálózati struktúrák összehasonlítása, egymásra hatása

Az előzőekben már bemutattuk a hálózati struktúrák legfontosabb tulajdonságait. A cikkünkben vizsgált hálózati struktúrákat két szempont alapján értékeljük: teljesül-e a kisvilág-tulajdonság, illetve milyen mértékű a klaszterezettség. Az 1. táblázat összefoglalja e paraméterek teljesülését.

Hálózatok karbantartása

A gyártás hatékonyságának egyik legfontosabb mérőszáma az általános berendezés hatékonyság (OEE = Overall Equipment Effectiveness) mutató, mely három mutató (rendelkezésre állás, teljesítmény, minőség) szorzata. Egyik mutató értéke sem múlik kizárólag az

1. táblázat

Hálózati struktúrák összehasonlítása

Hálóstruktúrák/ Tulajdonságok	S/P-hálók	Véletlen projekthálók	Skálafüggetlen hálók	Hagymahálók
Kisvilág	Általában nem ¹	Általában nem ²	Igen	Igen ³
Klaszterezettség	Alacsony	Alacsony ⁴	Alacsony	Magas

A menedzsment területén a hálózatokban való gondolkodás még nem igazán terjedt el. A (Scopus adatbázisában található) több, mint 17.000 megjelent folyóirat-cikkből kevesebb, mint 1% sorolható be a menedzsment területére.

Néhány vállalati alkalmazástól (pl. Magyarországon a Maven7: <http://maven7.com/hu/>, az üzleti hálózatok esetében pedig az Industrial Marketing and Purchasing Group (IMP Group - <http://www.impgroup.org/>) és néhány (lásd a teljesség igénye nélkül pl. Cross - Parker, 2004, valamint Blok és mtsai., 2015) kutatásaitól eltekintve ezt a paradigmát még nem igazán használják a menedzsment területén.

Ennek egyik oka lehet, hogy többfajta komplex hálózatot kell egyidejűleg vizsgálni. Cross és Parker (2004) munkájában is már rámutatott, hogy a döntéseink, egy-egy siker mögött kapcsolati hálók rejtőznek, de eddig nem vizsgálták azt, hogy ezek a struktúrák, melyek leírják a társadalmi (lásd társadalmi hálók) kapcsolatainkat, az elvégzett tevékenységeinket (lásd projekthálók), akár egymásra is hathatnak.

Ilyen multistrukturális probléma a karbantartási projektek szervezése is. Adott ugyanis egy rendszerstruktúra, amely megmutatja, hogy az egyes berendezéselemek (megbízhatósági szempontból) milyen kapcsolatban lehetnek egymással. Adott továbbá egy karbantartási tevékenységeket tartalmazó projekt, melynek struktúrája teljes mértékben eltérhet a rendszer struktúrájától, ugyanakkor ha a rendelkezésre állást folyamatos javító, megelőző karbantartással szeretnénk biztosítani, illetve növelni, akkor elengedhetetlen e két eltérő struktúra együttes kezelése. Ha a rendszer megbízhatóságában vagy rendelkezésre állásának biztosításában gondolkodunk, akkor nem feltétlenül a legkisebb megbízhatóságú berendezést/rendszer elemet tartjuk karban először, hanem a rendszer számára kritikus pontokra fókuszálunk.

alkalmazott technológián. Megfelelő szervezés nélkül világszínvonalú gyártás nem érhető el. A három mutató közül a gyakorlatban az első: a rendelkezésre állás mutatja a legkisebb értéket. Minden olyan módszer, amely segítheti a karbantartás hatékony megszervezését ezáltal a rendelkezésre állás javítását, alapvetően járul hozzá a világszínvonalú gyártás eléréséhez. Véleményem szerint olyan módszereket kell kidolgozni, amely nem csupán egy-egy berendezés rendelkezésre állására koncentrálnak, hanem az egész termelőrendszert egységként kezelik és a teljes rendszer rendelkezésre állását próbálják meg szinten tartani vagy növelni.

A fentiek tükrében kísérletek figyelhetők meg arra vonatkozóan (lásd pl. Bognár és Gaál (2013), valamint Bognár (2014) tanulmányait), hogy a karbantartási tevékenységet akár a teljes szervezeti vagy szervezetek között átívelő rendszerfolyamatokra is ki lehessen terjeszteni.

A termelőrendszerek karbantartása mellett a közműhálózatok (jelen esetben a villamoshálózatok) rendelkezésre állásának szinten tartása, javítása is fontos feladat, melyhez nem elég a kiváló technológia alkalmazása, hanem a gyors és költséghatékony karbantartáshoz szükséges az elvégzendő tevékenységek összehangolása is. A karbantartás szervezése során egyszerre kell rendszerszemléletben gondolkodni és az elvégzendő tevékenységekre, mint projektekre tekinteni.

A javító-megelőző tevékenységek adják majd a karbantartási projekt tevékenységeit, míg a berendezések megbízhatóság-szemponjú összekapcsolása adja a rendszer megbízhatóságát adó megbízhatósági diagramot.

A karbantartási projekt feladata azon javító-megelőző tevékenységek elvégzése, amely segítségével egy előírt rendszermegbízhatóság elérhető úgy, hogy a

költség- és erőforrás-kereteket nem túllépve a lehető legrövidebb idő alatt be tudjuk fejezni a projektet.

Jelen tanulmányban nem elsősorban a módszer részletes tárgyalása a célunk. Az algoritmus technikai részletei iránt érdeklődő olvasó részletesen olvashat magáról az algoritmusról Kosztyán és mtsai. (2016) cikkében, így a következő fejezetben csak a módszer elvi felépítését ismertetjük.

Jelen tanulmányban sokkal inkább arra keresem a választ, hogy a karbantartási projektek időbeli hatékonysága elsősorban milyen strukturális tényezőkön múlik.

Mátrixalapú karbantartás-tervezés

A hálótervek egyik megjelenítési módja a mátrixos ábrázolás, mely már a hálótervezés hajnalán megjelent (lásd pl. Camara, 1968). Mégis ez az ábrázolási mód inkább csak a megvalósítás során, a hálók tárolásánál kapott szerepet. A mai napig, ha projektekre gondolunk, sokszor a hálós tervezési eljárások jutnak eszünkbe, pedig a mátrixos eljárások nem csak egy más ábrázolási módot jelentenek, hanem egy olyan új szemléletet hordoznak, amelyet a fix csomópontokon és fix összeköttetésekben alapuló hálótervek már nem tudnak követni (Kosztyán, 2013).

A mátrixos eljárások segítségével lehetőség nyílik arra, hogy a tevékenységek előfordulását (itt: csomópontokat) és a közöttük lévő függőségi viszonyokat (itt: kapcsolatokat) is rugalmasan kezeljük (lásd pl. Kosztyán, 2013).

Nagy szükség van erre a szemléletmódra a karbantartás-tervezés során is, mert bár valamennyi berendezélem meghibásodásának hibamódjaihoz lehet javító-megelőző tevékenységeket rendelni, még a nagyleállások során sem hajtjuk végre valamennyi tevékenységet. A kérdés itt sokkal inkább az, hogy egy adott költségkeretet nem túllépve úgy hajtsuk ezeket a tevékenységeket a lehető leghamarabb végre, hogy közben a rendszer megbízhatóságát is javítsuk az előírt mértékben.

Ebben az esetben a rendszer megbízhatóságának javítási lehetőségei (közvetve tehát a berendezések megbízhatósága és azok megbízhatóság szempontból való összekapcsolása) határozzák meg, hogy mely javító-megelőző tevékenységeket fogjuk végrehajtani.

Egy rendszer megbízhatóságát és a rendszer berendezéselemeinek karbantartási tevékenységeit összefogó utasításokat leíró tevékenységeket korántsem egyszerű egyetlen modellbe összefoglalni, hiszen egy megbízhatósági diagramnak és egy ehhez kapcsolható projekttervnek eltérő számosságú eleme és legfőképpen eltérő struktúrája lehet (lásd: 2. táblázat).

Ugyanakkor e két eltérő szemléletű és eltérő logikai tartalmú modell összekapcsolása fontos előrelépés lehet a megelőző karbantartás tervezésében, ütemezésében,

hiszen egy megbízhatósági diagram megmutatja a „leggyengébb láncszemet”, vagyis azt a berendezés(elemet), amely alacsony megbízhatósága leginkább lerontja a rendszer megbízhatóságát. A projektterv segítségével pedig kalkulálható a megelőző karbantartási projekt idő-, költség- és erőforrás-igénye.

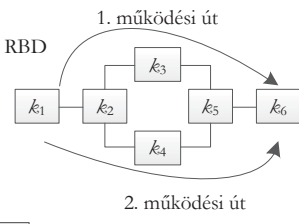
Az általunk kidolgozott mátrixos tervezési eljárás összesen 6 részmatrixot (domain) tartalmaz, melyek az esetenként eltérő struktúrájú megbízhatósági diagramot, a projekt logikai struktúráját és a költség, idő, megbízhatóság adatokat tartalmazza. Mivel módszerünket részletesen ismertetjük egy másik tanulmányban Kosztyán és Pribojszki-Németh (2016), a javasolt modellt és az erre épülő módszert csak vázlatosan szemléltetjük. Modellünk egy többdimenziós mátrixtervezési eljárásra épül, melyhez hasonlólt először Danilovic és Browning (2007) javasolt. Modellünk a *Matrix-based Maintenance Management (M³) matrix* elnevezést kapta, mely modellt egy példán szemléltetjük.

A 2. táblázat egy 6 berendezés(elemből) álló rendszermodell tartalmaz, ahol az első részmatrix (BD) átlóiban a rendszer megbízhatóságait találhatjuk, az átlón kívül pedig a rendszerelemek közötti kapcsolatokat. A berendezéselemek és a javító-megelőző tevékenységek megfeleltetését a következő részmatrix (ED) reprezentálja. Feltételezzük, hogy egy berendezéselemhez több javító-megelőző tevékenység is kapcsolható.

Minden javító-megelőző tevékenységnek meg kell becsülni a rendszerelemre gyakorolt hatását. Ezt tartalmazza a harmadik részmatrix (ID). Itt arra is lehetőségünk van, hogy akár több javító-megelőzési alternatívát számba vegyünk. Ezeknek eltérő lehet a berendezés(elemre) gyakorolt hatása és eltérő (lehet) az idő- és költségigénye. A javasolt modellünk ezt a problémát úgy kezeli, hogy (a megbízhatóság növekedéseit) különböző sorokban, az eltérő költség- és időigényeket különböző oszlopokban szerepelteti. Ezeket az alternatívákat a megvalósítás módjainak tekintjük.

Ha egy berendezélem megbízhatósága elér egy kritikus értéket, akkor javítása kötelezővé válik. Javasolt modellünk ezt úgy kezeli, hogy ebben az esetben a logikai mátrix (LD) átlójában a tevékenység előfordulását „X”-szel jelöljük, a többi esetben, ha egy tevékenység későbbre ütemezhető, akkor „?”-lel jelöljük. Azt, hogy be fog-e kerülni egy javító-megelőző tevékenység a projektbe, meghatározhatja azt annak idő- és költségigénye, illetve a megvalósítás után elérhetjük-e a kívánt rendszermegbízhatósági szintet. Az átváltási mátrixnál jelölhetjük, hogy egy-egy tevékenység megbízhatóságnövelő hatása teljes mértékben jelentkezik-e, vagy eltér a névlegestől (lásd k_6 , a_8 cellát a 2. táblázatban).

Az M³ modell

Mátrixalapú ábrázolás															Részmatrixok (Domains)							
BD	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	ED	<p>1. Megbízhatósági diagram (RBD) mátrix reprezentációja (Block Domain, BD)</p> 	<p>2. Berendezés(elemek) és a különböző megvalósítási módokhoz tartozó javító-megelőző tevékenységek közötti megfeleltetés Equipment-task mapping Domain (ED)</p>					
k ₁	0.8	1				1	1											<p>3. Javító-megelőző tevékenységek hatása Increase of reliability Domain (ID)</p>				
k ₂		0.9	1					1											<p>4. Logikai mátrix Logic Domain (LD)</p>			
k ₃			0.9						1											<p>5. Időigények különböző megvalósítási módokhoz Time Domain (TD)</p>		
k ₄				0.4						1											<p>6. Költségigények különböző megvalósítási módokhoz Cost Domain (CD)</p>	
k ₅					0.7							1		0.9								
k ₆						0.7																
r _{min}							0.03	0.02	0.02	0.02	0.12	0.02	0.01	0.03	w ₁							
ID							0.04	0.02	0.03	0.03	0.16	0.02	0.02	0.03	w ₂							
r _{max}							0.04	0.03	0.04	0.04	0.18	0.03	0.03	0.04	w ₂		TD	CD				
a ₁							?	X								2	3	4	7	6	4	
a ₂								?	?								2	4	4	6	5	4
a ₃									?	X	X						2	3	4	6	4	4
a ₄										?		X					4	5	9	5	4	2
a ₅											X	X					4	5	6	6	4	4
a ₆												?	X				2	5	6	4	3	2
a ₇													?	?			6	8	9	6	4	3
a ₈														?			5	6	11	6	5	3
LD	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	w ₁	w ₂	w ₃	w ₁	w ₂	w ₃								
									r _{min}	r _{max}	c _{max}	c _{min}										

A modell továbbfejlesztéseként az erőforrás-igényeket és korlátokat is figyelembe lehet venni egy ún. erőforrás-igényeket tartalmazó *Resource Domain (RD)* részmatrix hozzácsatolásával (lásd: Kosztyán és mtsai., 2016).

A cél a lehető legrövidebb idő alatt elvégezni azokat a karbantartási tevékenységeket, amelyek segítségével, a költségkeretet nem túllépve, az előírt rendszer megbízhatóság-növekményt elérjük.

A módszer három fázisra bontható. Az első fázisban arról döntünk, hogy a javító-megelőző tevékenységek közül melyeket tudjuk végrehajtani a költségkeret túllépése nélkül úgy, hogy a minimális megbízhatóság-növekményt elérhessük. Az első fázis eredménye egy olyan ún. *projektváltozat*, mely az elvégzendő tevékenységeket tartalmazza.

A második fázisban arról döntünk, hogy a tevékenységeket milyen sorrendben hajtjuk végre, hogy azokat

a lehető legrövidebb idő alatt végre lehessen hajtani. A második fázis eredménye egy ún. *projektstruktúra*, amely már egy logikai tervnek tekinthető. Az első két fázis gyors módszerekkel megoldható (lásd: Kosztyán, 2015, valamint Kosztyán és mtsai., 2016).

A harmadik fázisban döntünk arról, hogy a lehetséges alternatívák közül melyiket válasszuk. A rövidebb végrehajtás általában költségesebb. Ugyanígy költségesebb, ha nagyobb megbízhatásnövekményt szeretnénk elérni. Mivel itt az alternatívák száma diszkrét, a költségek és az idő, valamint a költségek és a minőség (ami itt jelen esetben a megbízhatásnövekmény) között kapcsolat van, ahol egy-egy ún. megvalósítási módhoz tartozik egy diszkrét idő-költség-minőség paraméter, így ezt a problémát diszkrét idő-költség-minőség átváltási problémának (angolul: Discrete Time/Cost/Quality Trade-off Problem, rövidítve: DTCQTP) nevezi az irodalom (lásd elsőként: Babu és Suresh (1996)). Jelen esetben, a harma-

dik fázisban, az a feladatunk, hogy a lehető legrövidebb idő alatt végezzük el a javító-megelőző tevékenységeket úgy, hogy a költségkeretet nem lépjük túl, de az előírt rendszer megbízhatóság-növekményt elérjük.

Az eredeti diszkrét átváltási problémákról korán kiderült, hogy még a minőségi paramétertől eltekintve is, néhány speciális S/P-hálózatot kivéve (lásd: De és mtsai., 1997) NP-nehéz (lásd: De és mtsai., 1995), ami itt azt jelenti, hogy az optimális megoldás megtalálása több, mint száz tevékenységet tartalmazó projektek esetében reménytelen feladat. Ugyanakkor a vizsgálatunkban használt projekthálóok esetén gyors, heurisztikus eljárásokkal, jó közelítéssel megadható (lásd rész-

Termelőrendszerek és villamosközmű-hálózatok karbantartásának tervezése

Bár vizsgálatainkban szimulációs eljárásokat alkalmaztunk, olyan rendszer- és projektstruktúrákat tekintettünk szimulációink alapjául, amelyek valós hálózatokat írnak le, olyan nyilvános programkönyvtárakból dolgoztunk, illetve olyan szimulációs szoftvereket használtunk, amelyek lehetővé teszik eredményeink ellenőrizhetőségét. Projekttervek közül a PSPLIB projektkönyvtár karbantartási projekteket jellemző projektjei közül választottunk (lásd részletesebben: Kolisch és Sprecher (1997) tanulmányát). Az itt található

3. táblázat

A javasolt mátrixtervezési eljárás által megoldható problémák

Cél	Korlátozó feltételek	Eredmény
Minimális átfutási idő (1)	Költség Minimális rendszer-megbízhatóság-növekmény Erőforrásigény	Lehető legrövidebb idejű, adott korlátokat betartó karbantartási terv
Minimális költség (2)	Átfutási idő Minimális rendszer-megbízhatóság-növekmény Erőforrásigény	Lehető legkisebb költségű, adott korlátokat betartó karbantartási terv
Maximális megbízhatóság-növekmény (3)	Idő Költség Erőforrásigény	Maximális megbízhatóságot/ rendelkezésre állást biztosító, a korlátokat nem túllépő karbantartási projektterv

letebben: Kosztyán és mtsai., 2016) a legrövidebb idő alatt végrehajtható, adott költségkeretet nem túllépő, de a megadott rendszer megbízhatóság-növekményt elérő karbantartási projektterv.

Az alkalmazott mátrixalapú karbantartás-tervezési eljárás alkalmas komplex rendszerek karbantartásának tervezésére, a karbantartás hatékonyságának összehasonlítására.

A módszer segítségével a következő karbantartás-tervezési problémák kezelhetők (3. táblázat). (Lásd részletesen: Kosztyán és Pribojszki-Németh (2016), valamint Kosztyán és mtsai. (2016) munkáit.)

Vizsgálatunkban mi most csak az (1) célfüggvény szerinti adott korlátokat nem túllépő karbantartási terveket vizsgáljuk. Ugyanakkor vizsgálódásunk kiegészül a különböző hálózati topológiával rendelkező (termelőrendszerek és villamosközmű-) hálózatok vizsgálatával.

Itt a kérdés, hogy e hálózatok karbantarthatóságát mennyiben befolyásolja a hálózat topológiája, illetve a hálózat jellemző paraméterei. Lehet-e egy hálózatot (a hálózati struktúra átalakításával) nemcsak robusztusabbá, hanem könnyebben karbantarthatóvá tenni?

projektstruktúrák alapján generáltunk projekthálókat. A generálásnál figyelembe vettük, hogy a karbantartási projektek komplexitására (élek/csúcsok) 1,2 érték figyelhető meg legtöbbször, a tevékenységek pedig inkább sorosan hajthatók végre, így a párhuzamos tevékenységek maximuma a kritikus úton lévő tevékenységekhez képest 0,3 volt (ami azt jelenti, hogy ha a kritikus úton tíz tevékenység szerepelt, akkor ezzel párhuzamosan maximum 3 tevékenység lehetett a hálóban). Valamennyi szimulációs eljárásunknál a folyamatos karbantartást és a nagyleállásokat is szimulálni tudtuk. Az előbbi esetben a javítótevékenységek kis százaléka valósul csak meg, míg utóbbi esetben több kötelező javító-megelőző tevékenységet is tartalmaz a projekt (a vizsgálatban $P\%$ -kal jelöltük a kötelező tevékenységek arányát).

A maximális költség akkor keletkezik, ha a javító-megelőző tevékenységekből mindegyiket végrehajtanánk, és ezek közül is a legköltségesebb alternatívát választanánk. Általában e költségkeret nem áll rendelkezésre (szimulációinkban $C\%$ -kal jelöltük a költségkeret maximális költségéhez viszonyított arányát).

VEZETÉSTUDOMÁNY

Hasonlóan a költségekhez az időkorlátot is megadtuk ($T\%$), amely (minden tevékenység végrehajtása esetén fellépő) maximális átfutási idő adott %-a lesz.

A rendszer megbízhatóságának maximális növelése sokszor egyben a legköltségesebb projektváltozat. Amíg azonban a költségekre egy maximális értéket adtunk meg, itt a rendszer megbízhatóság-növekményre egy minimális értéket kell megadnunk ($\Delta r\%$).

Az időhatékonysági mutatónk azt mutatja meg, hogy az elérhető legrövidebb átfutási időt – a korlátok figyelembevételével – mennyiben sikerült megközelíteni.

$$K\% = 1 - \frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}, \quad (4)$$

ahol T a karbantartási projekt teljes átfutási ideje, T_{\max} , T_{\min} a lehetséges leghosszabb, legrövidebb átfutási idő.

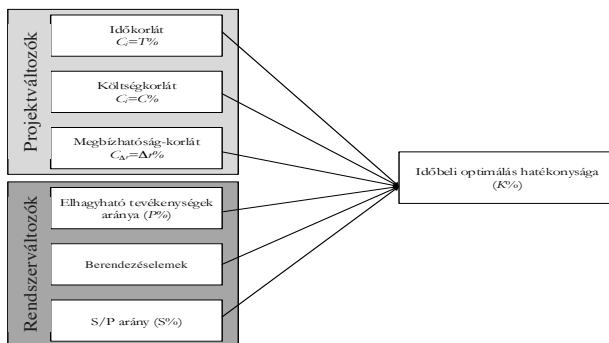
Termelőrendszerek karbantartása

Első szimulációnkban a termelőrendszerek leírására S/P-hálózatokat tekintettünk, ahol $S\% = \{50, 60, \dots, 100\}$ mutatta a soros tevékenységek arányát. Első vizsgálatunkban a berendezések száma $n = \{25, 50, 75\}$ lehetett. A minimális rendszer megbízhatóság-növekmény $\Delta r\% = \{50, 60, \dots, 90\}$, a költség- és időkorlát pedig 50, 60, ..., 100%-a volt a maximális költség- és idő-keretnek. Az elhagyható tevékenységek aránya $P\% = \{50, 60, \dots, 90\}$ volt, ahol a kisebb érték inkább a nagy leállásokat, a magasabb arány pedig inkább a folyamatos karbantartást modellezi. Minden egyes beállításra 1000-1000 futtatást végeztünk el.

A paraméterek hatását az optimális megoldásra két részre lehetett bontani (lásd: 4. ábra). Egyrészt a projekt paramétereiként azonosíthatók az idő-, költség- és minőségi (itt rendszer megbízhatóság-növekmény) paraméterek, míg a termelőrendszer paramétereire tartozik a rendszerelemek száma, a soros/párhuzamos elemek aránya, valamint az elhagyható tevékenységek aránya.

4. ábra

Termelőrendszerek karbantartása (vizsgálati modell)



Az M^3 mátrixos tervezési eljárással lehetőség nyílik arra, hogy most a rendszer megbízhatósága mellett a rendszerek karbantarthatóságára összpontosítsunk, hiszen azt már a komplex rendszerek elemzése óta tudjuk, hogy ha egy rendszer megbízhatósági szempontból minél több párhuzamos elemet tartalmaz (minél több rendszerelem kiváltható/helyettesíthető tartalékrendszerekkel), akkor a rendszer megbízhatósága, illetve hasonlóan számítva a rendelkezésre állása növekszik. A 4. ábra által felvázolt modell viszont sokkal inkább a karbantarthatóságot vizsgálja. A karbantartás időbeli hatékonyságát befolyásoló tényezők eredményeit foglalja össze a 4. táblázat.

4. táblázat

Termelőhálózatok karbantartására vonatkozó eredmények (*-gal jelölt eredmények szignifikánsak)

Változó	Std. béta	Std. hiba	t	Prob> t
C%	0,00	0,00000231	0,24	0,8083_
T%	0,00	0,00000231	0,03	0,9737_
Ar%	-0,20	0,00000234	-37,62	<0,0001*
P%	0,36	0,00000234	66,98	<0,0001*
n	-0,14	0,00000162	-26,86	<0,0001*
S%	-0,59	0,00000194	-109,70	<0,0001*

Az első három paraméter a karbantartási projekt változói, mely a költség-, idő- és minőségi korlátot mutatják. A minőségi paraméterre ($\Delta r\%$ -ra) kapott negatív eredmény kevésbé meglepő, jól magyarázható. A negatív érték arra utal, hogy minél jobban szigorítunk a korlátokon, annál tovább fog tartani a karbantartási projekt. Talán meglepőbb, hogy a másik két (projekt) paraméter nem szignifikáns.

Elsőre talán nem tűnik meglepő eredménynek a soros berendezéselemek arányára kapott negatív érték. Ugyanakkor ne felejtjük el, hogy itt nem a megbízhatóságot vizsgáljuk, hanem a karbantarthatóságot, vagyis azt, hogy egy adott rendszer megbízhatóság-növekményt elérve, költség- és időkorlátokat nem túllépve a legrövidebb (korlátok nélküli) átfutási időhöz képest milyen gyorsan tudjuk elvégezni a javító-megelőző tevékenységeket. A negatív együttható a soros berendezések arányában azt jelzi, hogy ezeknek a termelőrendszereknek nemcsak a megbízhatósága lesz alacsonyabb, hanem a karbantarthatóságuk is megnövekszik.

A másik érdekes és fontos eredmény a $P\%$ előtti pozitív szignifikáns együttható. $P\%$ értéke annál magasabb, minél több tevékenység hagyható el, modellezve ezzel a folyamatos karbantartást, ahol a javító-megelőző tevékenységek egy kisebb része hajtódik csak végre.

Vizsgálatunk során újabb érvet kapunk a folyamatos karbantartás mellett, hiszen láthatjuk, hogy a folyama-

tos karbantartások esetén az időbeli határidőket sokkal könnyebb tartani.

Az eredményekből az is kitűnik, hogy a karbantartás időbeli hatékonyságára sokkal nagyobb hatást gyakorolnak összességében a rendszert meghatározó változók (rendszer mérete, kötelező javító-megelőző tevékenységek aránya, soros berendezéselemek aránya), mint a projekt paraméterei (idő-, költség-, minőségkorlátok).

Termelőrendszerek vs villamosközmű-hálózatok karbantartása

A szimuláció célja, hogy bemutassa az eltérő rendszerstruktúrájú hálózatok karbantartását.

Amíg termelőrendszereket általában S/P-hálózatokkal jól le lehet írni, hiszen magát a gyártást is így (akár párhuzamosan futó gyártósorok segítségével) szervezzük, addig a villamosközmű-hálózatok leírására skálafüggetlen hálózatokat alkalmazunk. Ebben az esetben már jóval több csomópontot tartalmazó hálózatot vizsgálunk ($n := \{25000, 50000, 75000\}$). Az összehasonlíthatóság kedvéért olyan S/P-arányt választunk, hogy a hálózat komplexitása megegyezzen a skálafüggetlen hálózat komplexitásával (élek/csúcsok számával).

A többi paramétert az előző szimulációban leírt módon határoztuk meg.

5. táblázat

Különböző rendszerek megbízhatósága (S/P=soros/párhuzamos hálózatok; SF=skálafüggetlen hálózatok; TSR=teljes rendszer-megbízhatóság; LCL, UCL = alsó, felső kritikus érték)

Hálózat	Szimu-lációk	Átlag TSR	Std. hiba	LCL 95%	UCL 95%
S/P	7200	0,024866	0,00061	0,02366	0,02607
SF	7200	0,253009	0,00061	0,25180	0,25421

A kapott eredmény Cohen és mtsai. (2000) eredményeihez hasonlóan, aki véletlen és skálafüggetlen hálóok megbízhatóságát vizsgálta, rámutat arra, hogy a skálafüggetlen hálóok rendszermegbízhatósága szignifikánsan magasabb, mint Cohen-nél a véletlen, vizsgáltunkban pedig az S/P-hálóok megbízhatósága (lásd: 5. táblázat).

Ugyanakkor a javasolt modellel egy lépéssel tovább merészkedhetünk. Azt is vizsgálhatjuk, hogy a projekt, illetve a rendszer paraméterei mennyiben hatnak a karbantartás időbeli hatékonyságára.

Valamennyi beállítási paraméterre vonatkozóan 20-20 szimulációt végeztünk. Az átlagos értékekre vonatkozóan az összefüggésekre számolt korrigált $R^2=0,747$.

A vizsgált paraméterek közül sem az idő, sem a költségkorlát nem volt szignifikáns (lásd: 6. táblázat). Egyetlen projektparaméter, a minőségparaméter volt szignifikáns, ami itt azt jelenti, hogyha az elvárt minőséget (itt elvárt rendszermegbízhatóság-növekmény) szintjét növelem, akkor relatíve hosszabb idő alatt tudjuk elvégezni a projektet.

6. táblázat

Változók hatása a karbantartás időbeli hatékonyságára (K%)

Változó	Std. béta	Std. hiba	t	Prob> t
C%	0,00	0,00000785	0,76	0,4472_
T%	0,00	0,00000785	-0,06	0,9530_
Ar%	-0,10	0,00000467	-24,65	<0,0001*
P%	0,16	0,00000474	37,34	<0,0001*
n	0,84	0,00000273	200,22	<0,0001*
S/P=0, SF=1	0,10	0,00013400	24,22	<0,0001*

Még meglepőbb eredmény, hogy a projekt (idő-, költség-, minőség) paramétereitől sokkal nagyobb mértékben meghatározó tényező a rendszer paramétere. Minél több tevékenység hagyható el, vagyis ebben az esetben karbantartásunk minél inkább a folyamatos karbantartást követi, annál hatékonyabban tudjuk a karbantartást elvégezni (annál rövidebb idő alatt végezhető el a lehető legrövidebb átfutási időhöz képest).

Teljesen új eredmény, hogy a skálafüggetlen hálóok karbantartása hatékonyabb. Ha csak a skálafüggetlen hálózatok karbantartását vizsgáljuk, akkor azt tapasztalhatjuk, hogy a hatékonyságot csak a rendszer struktúrája határozza meg.

Ez a meglepő eredmény fontos lehet azok számára is, akik termelőrendszereket, közműhálózatokat terveznek, hiszen ezek karbantarthatósága lényegében már a rendszer tervezésekor eldől.

Hasonlóan a termelőrendszerek vizsgálatánál, itt is azt kaptuk, hogy a folyamatos karbantartást szem előtt tartó karbantartási stratégiák (mint pl. a teljes körű hatékony karbantartás = TPM Total Productive Maintenance) hatékonyabbak, melyet mutat, hogy ebben az esetben tudjuk megközelíteni leginkább az elvi legrövidebb karbantartási időt.

A hagyományos szerepe a karbantartás-menedzsmentben

Az előző fejezetben láthattuk, hogy a skálafüggetlen rendszereknek nagyobb a megbízhatósága, jobban ellenállnak a véletlen meghibásodás okozta hibáknak. A

hagymásítással tovább növelhető a robusztusság azáltal, hogy a magas fokszámú csomópontokat összekötve a hálózat a célzott támadások ellen is rezisztensebb lesz. Pont a villamoshálózatok példáján gondolkodtak el azon, hogy ez az összekötés a gyakorlatban mit jelenthet. Itt arról van szó, hogy az egyes elosztók, erőművek egy meghibásodás esetén átvehetik egymás szerepét, ezáltal növelve a rendszer megbízhatóságát.

Mi itt is szeretnénk volna annyiban továbblépni, hogy nemcsak a robusztusságot vizsgáltuk, hanem a karbantartás-menedzsment szempontjából legalább ennyire fontos (időbeli) karbantartás-hatékonyt.

Modellünket használva skálafüggetlen hálózatokból indultunk, melyet Parandehgheibi és Modiano (2013) munkája alapján „hagymásítottunk”, majd megvizsgáltuk, mely tényezők hatnak a karbantartás időbeli hatékonyságára.

Eredményeink alátámasztották Parandehgheibi és Modiano (2013) vizsgálatait, miszerint a hagymásított skálafüggetlen hálózatok megbízhatósága jelentősen, kutatásaink szerint 82,8%-kal megbízhatóbbak. Teljesen új eredmény ugyanakkor, hogy az időbeli lefutás hatékonysága is szignifikánsan, további 8%-kal javítható.

Következtetések

Az eredmények jól mutatják, hogy a karbantartási projekt hatékonyságát elsősorban a karbantartandó rendszer struktúrája határozza meg. A projekt lefutása szempontjából tehát fontosabb kérdés a MIT? és a HOGYAN?, mint a MENNYI? és a MIKOR?, hiszen az első két kérdésre a választ a rendszer- és a projekt-struktúra határozza meg, míg a második két kérdést már a karbantartási projekt idő- és költségparaméterei választják meg.

Szemben a (sok javító-megelőző tevékenységet tartalmazó) nagy leállásokkal, a folyamatos karbantartás során könnyebben el lehet érni a kitűzött (lehető legrövidebb) karbantartási időt, mely egy újabb érv lehet a folyamatos karbantartás mellett.

Fontos új eredmény, hogy a robusztusabb rendszerek, azon túlmenően, hogy megbízhatóbbak, karbantartásuk is relatíve (gyorsabb); ez pedig az ilyen rendszerek tervezőit inspirálhatja, hogy érdemes lehet már a rendszerek megtervezésekor gondolni azok robusztusságára.

Összefoglalás, további tervek

A bemutatott módszerek túlmutatnak a karbantartás-menedzsment alkalmazási területén. A javasolt modellünk képes különböző struktúrák között kapcsolatot teremteni, mely számos más menedzsmentterületen alkalmazható.

Az alkalmazott eljárások lehetőséget biztosítanak arra, hogy komplex hálózatokat, azok robusztusságát, illetve azok karbantarthatóságát is vizsgáljuk. Ha egy további struktúrával a hiba terjedését is modellezzük, akkor az időbeli, dinamikus rendszerállapot modellezésen túl kiléphetünk a termelőrendszerek és villamosközművek karbantarthatóságának területéről, és módszerünket általánosabb kérdések megválaszolására is használhatjuk, ahol már a csomópontokban nem berendezések, hanem akár emberek, illetve pl. azok általános egészségi állapota áll. Ekkor a kérdések is komplexebbek lehetnek: pl. hogyan lehet egy társadalom egészségi állapotát modellezni, mennyi idő alatt lehet megállítani egy vírus terjedését.

Lábjegyzet

² S/P aránnyal a működési utak hossza befolyásolható (több párhuzamos kapcsolat => rövidebb működési utak).

³ A kritikus út hossza a szimulációban beállítható.

⁴ Ha a kiindulási hálónál ez a tulajdonság teljesült.

⁵ Az összeköttetések számával a klaszterezettség kismértékben befolyásolható.

Felhasznált irodalom

- Amaral, L. A. N. - Scala, A. - Barthélémy, M. - Stanley, H. E. (2000): Classes of small-world networks. Proceedings of the National Academy of Sciences, 97, p. 11149–11152. doi:10.1073/pnas.200327197
- Babu, A. J. G. - Suresh, N. (1996): Project management with time, cost, and quality considerations. European Journal of Operational Research, 88, p. 320–327. doi:http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(94)00202-9
- Barabási, A.-L. - Albert, R. - Jeong, H. (1999): Mean-field theory for scale-free random networks. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 272, p. 173–187. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4371(99)00291-5
- Barabási, A.-L. - Oltvai, Z. N. (2004): Network biology: understanding the cell's functional organization. Nat. Rev. Genet, 5, p. 101–113.
- Blok, V. - Hoffmans, L. - Wubben, E. (2015): Stakeholder engagement for responsible innovation in the private sector: critical issues and management practices. Journal on Chain and Network Science, 15, p. 147–164.
- Bognár, F. (2014): The impact of organisational culture and maintenance strategies in organisational business processes. Pannon Management Review, 3, p. 93–127.
- Bognár, F. - Gaál, Z. (2013): A beszállítói kapcsolatok megbízhatósági és karbantartási konzekvenciái. Vezetéstudomány, 44, p. 14–21.

- Camara, A. W. (1968): An Automated PERT/CPM Production Scheduling Application on the UNIVAC III. DTIC Document
- Christakis, N. A. - Fowler, J. H. (2010): Kapcsolatok hálójában - és hogyan alakítják sorsunkat? Budapest: Typotex
- Cohen, R. - Erez, K. - ben-Avraham, D. - Havlin, S. (2000): Resilience of the Internet to Random Breakdowns. *Phys. Rev. Lett.*, 85, p. 4626–4628. doi:10.1103/PhysRevLett.85.4626
- Cross, R. L. - Parker, A. (2004): The hidden power of social networks: Understanding how work really gets done in organizations. Cambridge, Mass.: Harvard Business Press
- Csermely, P. (2009): Weak links. Berlin: Springer
- Danilovic, M. - Browning, T. R. (2007): Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices. *International Journal of Project Management*, 25, p. 300–314. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.11.003
- De, P. - Dunne, E. J. - Ghosh, J. B. - Wells, C. E. (1997): Complexity of the Discrete Time-Cost Tradeoff Problem for Project Networks. *Operations Research*, 45, p. 302–306. doi:10.1287/opre.45.2.302
- De, P. - Dunne, E. J. - Ghosh, J. B. - Wells, C. E. (1995): The discrete time-cost tradeoff problem revisited. *European Journal of Operational Research*, 81, p. 225–238. doi:http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(94)00187-H
- Gertsbakh, I. (2000): Reliability Theory - With Applications to Preventive Maintenance. Berlin: Springer
- Gordon, J. - Lockyer, K. (2000): Projektmenedzsment és hálós tervezési technikák. Budapest: Kossuth Kiadó
- Görög, M. (2007): A projektvezetés mestersége. Budapest: Aula Kiadó
- Idhammar, C. (1999): Preventive Maintenance, Essential Care and Condition Monitoring Book. IDCON inc.
- Kolisch, R. - Sprecher, A. (1997): {PSPLIB} - A project scheduling problem library: {OR} Software - {ORSEP} Operations Research Software Exchange Program. *European Journal of Operational Research*, 96, p. 205–216. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00170-1
- Kosztyán, Zs. T. (2016): Projektek és üzleti folyamatok tervezése és nyomonkövetése. Harlow: Pearson
- Kosztyán, Zs. T. (2015): Exact algorithm for matrix-based project planning problems. *Expert Systems with Applications*, 42, p. 4460–4473. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.066
- Kosztyán, Zs. T. (2013): Projekttervezési módszerek kihívásai a XXI. században. *Vezetéstudomány*, 44, p. 62–80.
- Kosztyán, Zs. T. - Herner, L. (2007): Projektütemtervek érzékenységvizsgálata. in: Műszaki Vezető. Budapest: Verlag Dashöfer
- Kosztyán, Zs. T. - Pribojszki-Németh, A. (2016): Matrix-based Maintenance Management. Production and Operations Management submitted paper.
- Kosztyán, Zs. T. - Pribojszki-Németh, A. - Kovács, Z. (2016): Karbantartási projektek mátrix-alapú tervezése. Alkalmazott matematikai lapok submitted paper.
- Kovács, Z. (2008): Karbantartási stratégiák Monte Carlo optimalizálása. *Sigma*, XXXIX., p. 185–198.
- Kovács, Z. - Viték, M. (1991): Rendszer-megbízhatóság számítása igazságtáblázat alkalmazásával. *Minőség és Megbízhatóság*, 4, p. 43–44.
- Louzada, V. H. P. - Daolio, F. - Herrmann, H. J. - Tomassini, M. (2015): Generating Robust and Efficient Networks Under Targeted Attacks. in: Krol, D. - Fay, D. - Gabryl, B. (eds.), Propagation Phenomena in Real World Networks, Intelligent Systems Reference Library. Springer International Publishing, p. 215–224. doi:10.1007/978-3-319-15916-4_9
- Louzada, V. H. P. - Daolio, F. - Herrmann, H. J. - Tomassini, M. (2013): Smart rewiring for network robustness. *Journal of Complex Networks*, 1, p. 150–159. doi:10.1093/comnet/cnt010
- Mitchell, M. (2006): Complex systems: Network thinking. *Artificial Intelligence*, 170, p. 1194–1212. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.artint.2006.10.002
- Moubray, J. (1997): Reliability-Centered Maintenance. South Norwalk: Industrial Press, Inc.
- Parandehgheibi, M. - Modiano, E. (2013): Robustness of interdependent networks: The case of communication networks and the power grid. in: GLOBECOM(IEEE). p. 2164–2169. doi:10.1109/GLOBECOM.2013.6831395
- Pritsker, A. A. B. (1966): GERT: Graphical evaluation and review technique. Rand Corporation
- Rényi, A. - Erdős, P. (1959): On random graphs. *Publicationes Mathematicae*, 6, p. 290–297.
- Shiker, M. A. (2013): Some Methods of Calculating the Reliability of Mixed Models. *Journal of Babylon University*, 21, p. 770–774.
- Strogatz, S. H. (2001): Exploring complex networks. *Nature*, 410, p. 268–276.
- Szabó, L. (2012): Projekt menedzsment. Harlow: Pearson Custom Publishing
- Tanizawa, T. - Havlin, S. - Stanley, H. E. (2012): Robustness of onionlike correlated networks against targeted attacks. *Phys. Rev. E.*, 85, 046109. doi:10.1103/PhysRevE.85.046109

- Verma, A. K. - Srividya, A. - Karanki, D. R. (2010):* Basic Reliability Mathematics. London: Springer. doi:10.1007/978-1-84996-232-2_2
- Wang, Y.-M. - Elhag, T. M. (2008):* Evidential reasoning approach for bridge condition assessment. Expert Systems with Applications, 34, p. 689–699. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2006.10.006
- Wu, Z.-X. - Holme, P. (2011):* Onion structure and network robustness. Phys. Rev. E., 84, 026106. doi:10.1103/PhysRevE.84.026106
- Xiao, R. - Chen, T. - Tao, Z. (2007):* Information modeling and reengineering for product development process. International Journal of Management Science and Engineering Management, 2, p. 61–74. doi:10.1080/17509653.2007.10671010

Beérkezett: 2016.március

Elfogadva: 2016.július