



## **DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS**

# **A HÁLÓZATSZEMLELET ALKALMAZÁSA A MŰKÖDÉSHATÉKONYSÁG NÖVELÉSÉBEN A MINŐSÉGÜGYI FEJLESZTÉSEK TERÜLETÉN**

Írta:  
Csiszér Tamás

Nyugat-Magyarországi Egyetem Cziráki József Doktori Iskola  
Menedzsment a faiparban programja

Témavezetők:  
Dr. Koczor Zoltán (2013. novemberig)  
Dr. Abonyi János (2013. novembertől)  
Dr. Bejő László (2013. novembertől)

2014.

**A HÁLÓZATSZEMLELET ALKALMAZÁSA A MŰKÖDÉSHATÉKONYSÁG  
NÖVELÉSÉBEN A MINŐSÉGÜGYI FEJLESZTÉSEK TERÜLETÉN**

Értekezés a doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében  
a Nyugat-Magyarországi Egyetem Cziráki József Doktori Iskola Menedzsment a faiparban  
programja

Írta:  
Csiszér Tamás

Készült a Nyugat-Magyarországi Egyetem Cziráki József Doktori Iskola  
Menedzsment a faiparban programja keretében.

Témavezetők: Dr. Koczor Zoltán (2013. novemberig), Dr. Abonyi János (2013. novembertől),  
Dr. Bejő László (2013. novembertől).

Elfogadásra javaslom (igen/nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton 96,28 %-ot ért el,

Sopron/Mosonmagyaróvár

Dr. Kovács Zsolt  
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezés bírálóként elfogadásra javaslom (igen/nem)

Első bíráló (Dr. ....) igen/nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr. ....) igen/nem

(aláírás)

Esetleg harmadik bíráló (Dr. ....) igen/nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján ..... %-ot ért el

Sopron/Mosonmagyaróvár,

.....

a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése .....

.....

Az EDHT elnöke

## Tartalomjegyzék

Kivonat.....	7
Abstract .....	8
1 Bevezetés.....	9
2 A hálózatszemléletű rendszer-megközelítés elméleti háttere .....	11
2.1 Gráfelmélet [26] .....	11
2.2 Szociometria [44].....	12
2.3 Petri-háló [22] [51] .....	14
2.4 Mesterséges neurális háló [36].....	15
2.5 A modern hálózattudomány kialakulása.....	16
2.6 Hálózatkutató szoftverek.....	18
3 A minőségügyben értelmezhető hálózatok csoportosítása.....	20
3.1 A minőségügyi hálózatok csoportosítása az éltípusok alapján .....	20
3.2 A minőségügyi hálózatok csoportosítása a csúcstípusok alapján .....	21
3.3 A minőségügyi hálózatok összegzett csoportosítása.....	22
3.4 A fejezethez kapcsolódó tézis .....	23
4 A folyamatok modellezése hálózatokkal .....	24
4.1 A gyakorlatban elterjedt folyamatmodell típusok.....	24
4.2 Projektfolyamatok modellezése hálós diagramokkal.....	27
4.3 Standard folyamatmodellezési módszertan .....	28
4.4 A folyamatok modellezésére használható folyamatháló típusok definiálása .....	30
4.5 A folyamatok alapvető jellemzőinek meghatározása hálózati jellemzőkkel .....	33
4.5.1 A folyamat kiegyensúlyozottsága .....	34
4.5.2 Az átfutási idő .....	35
4.5.3 A feldolgozás alatt lévő tételek száma .....	37
4.5.4 Hibaarány, kihozatal .....	37
4.5.5 Kihasznátltság .....	38
4.5.6 A Hálózatalapú Folyamatindikátor Modell (Network-based Process Indicator Model, NPIM) definiálása .....	39
4.6 A folyamatteljesítményt csökkentő Lean veszteségek meghatározása a Hálózatalapú Folyamatindikátor Modell segítségével .....	40
4.6.1 Ellenőrzési és javítási veszteség.....	40
4.6.2 Mozgatási veszteség .....	42
4.6.3 Túltermelés, Várakozás .....	42
4.6.4 Túlmunka .....	42
4.6.5 Nem kihasznált erőforrás.....	43
4.6.6 Készletezés, raktározás .....	43
4.6.7 A Lean veszteségek hálózati indikátor struktúrája .....	43

4.7	A Teljes Eszközhatékonyság (Overall Equipment Effectiveness, OEE) és az NPMI kapcsolata .....	43
4.8	A folyamatokat leíró hálózati modell definiálása .....	45
4.8.1	Folyamatstátuszok.....	45
4.8.2	A folyamathálózat kialakulása .....	46
4.8.3	A folyamathálózat növekedése.....	47
4.8.4	Fokszámeloszlás .....	49
4.8.5	A folyamatstátuszok összehasonlítása.....	49
4.9	A fejezethez kapcsolódó tézisek .....	50
<b>5</b>	<b>A folyamatfejlesztés hálózatszemléletű módszertana .....</b>	<b>52</b>
5.1	A folyamatok változásának okai és jellemzői .....	52
5.2	Folyamatok priorizálása, kiválasztás .....	52
5.3	Folyamatfelmérés, adatgyűjtés.....	55
5.4	Folyamatdiagnosztika .....	56
5.4.1	A folyamatháló grafikus vizsgálata .....	57
5.4.2	A folyamatháló analitikus vizsgálata .....	58
5.5	Működési kockázatok előrejelzése, monitorozása, elemzése hálózatelméleti megközelítésben .....	59
5.5.1	A tudásérték meghatározása hálózati modellekkel .....	59
5.5.2	Minőségi kockázatok elemzése komplex hálózatok segítségével .....	63
5.6	A fejezethez kapcsolódó tétel .....	69
<b>6</b>	<b>A hálózatszemléletű folyamatfejlesztés gyakorlati felhasználása .....</b>	<b>71</b>
6.1	Folyamatfelmérés, adatgyűjtés.....	71
6.1.1	Keresztfunkcionális-folyamatábra.....	71
6.1.2	Spagetti-diagram .....	73
6.1.3	Értékáram-térkép.....	75
6.2	Hálózatszemléletű folyamatfejlesztés.....	76
6.2.1	A folyamatháló grafikus vizsgálata .....	76
6.2.1.1	Tevékenység-háló .....	76
6.2.1.2	Mozgatási-háló .....	81
6.2.1.3	Értékteremtő-háló .....	82
6.2.2	A folyamatháló analitikus jellemzőinek meghatározása .....	83
6.2.2.1	Az ideális folyamat.....	83
6.2.2.2	Az ideális és az aktuális folyamatstátusz közötti különbség .....	84
<b>7</b>	<b>Összefoglalás, tézisek .....</b>	<b>87</b>
7.1	Összefoglalás .....	87
7.2	Tézisek .....	88
<b>8</b>	<b>Irodalomjegyzék .....</b>	<b>90</b>
<b>9</b>	<b>Ábrajegyzék.....</b>	<b>93</b>

10 Mellékletek.....	95
10.1 A hálózatalapú folyamatmutatók kapcsolatrendszere .....	96
10.2 Az egyenletekben használt jelölések magyarázata.....	97
10.3 A tevékenység-háló specifikációs táblája NodeXL-ben.....	100
10.4 A mozgatósi-háló specifikációs táblája NodeXL-ben .....	102
10.5 Az értékteremtő-háló specifikációs táblája NodeXL-ben.....	103

## Kivonat

Kutatómunkánk elsődleges célja a hálózatszemléletű folyamatindikátorok rendszerének kidolgozása volt. Tekintettel arra, hogy napjaink egyik legnépszerűbb folyamatfejlesztési módszertanai a Lean és a Six Sigma, arra koncentráltunk, hogyan lehet a hálózatszemléletet integrálni ezekkel az eltérő, mégis sok hasonlóságot mutató megközelítésekkel.

Munkánk első eredményként kidolgoztunk egy új csoportosítási módszert azon hálózatok rendszerezésére, amelyek alkalmasak a minőségügyben értelmezhető hálózatok modellezésére. Célunk ezzel a hiánypótló munkával az volt, hogy egységes elvi alapokra helyezzük a kifejlesztendő technikákat.

Ezt követően elemeztük a gyakorlatban leginkább alkalmazott alapvető folyamatteljesítmény indikátorokat abból a szempontból, hogy melyek, milyen módon számíthatók ki hálózati jellemzőkkel. Ennek keretében kidolgoztuk a Hálózatalapú Folyamatindikátor Modellt (Network-based Process Indicator Model, NPIM), amely alkalmas különböző folyamatok összehasonlító elemzésére, felhasználva a folyamatok hálózati modelljeinek jellemzőit. Az NPIM-t értelmeztük a Lean veszteségek szempontjából, aminek eredményeképpen definiáltuk a Lean veszteségek hálózati indikátor struktúráját. Véleményünk szerint az új megközelítésnek a legnagyobb hozzáadott értéke a folyamatok életciklusa során beállt kedvezőtlen változások azonosításában van, ezért elméleti munkánk utolsó lépéseként meghatároztuk azt a hálózati modellt, amely képes ezt a változást megfelelő módon leírni.

A módszertan gyakorlati alkalmazhatósága érdekében kifejlesztettük a folyamatfejlesztés hálózatszemléletű módszertanát. Ennek legfontosabb elemei a folyamatok priorizálása, a folyamatfelmérés és adatgyűjtés, valamint a folyamathálók grafikus és analitikus vizsgálata a Lean veszteségek azonosítására. Az új megközelítés felhasználható egyéb, a minőségügyi komplex rendszerekhez kapcsolódó elemzések megvalósítására is. Ennek illusztrálására kidolgoztuk a tudásérték, illetve ez alapján a tudásvesztés kockázatának meghatározására, valamint a kockázatkezelési tevékenységek fejlesztésére, a kockázati események elemzésére alkalmas módszereket.

Az új módszertanok közül a folyamatfejlesztési eszköztárat teszteltük egy bútorgyár termelési rendszerében. Ennek keretében felmértük a folyamatot, azonosítottuk a veszteségeket hagyományos és hálózatelemzési eszközökkel, valamint meghatároztuk az ideális folyamatot, hálózati indikátorokkal jellemezve a jelenlegi és az ideális állapot közötti különbséget.

## **Abstract**

Title: Use of network approach in the improvement of operation efficiency on the field of quality development.

In my work I developed new methods that can be used to group, analyze and improve complex systems on the field of quality management. First of all I created a new way of grouping of networks that can be interpreted in quality management. Focusing on *event vertex – flow edge* networks I identified network attributes that are able to represent process nature. Using these attributes I defined new process effectiveness and efficiency indicators and their connections to each other, and created the Network-based Process Indicator Model. With this model I analyzed Lean wastes and created the network indicator structure for Lean. Beside I used network approach to assess quality and process related risks. As a result I developed new methods for calculating knowledge value in an organization and for analyzing risks management systems. Finally I tested my new methods with a manufacturing process.



## 1 Bevezetés

A hálózat kutatás eredményei számos tudományterület képviselőit készítették arra, hogy újragondolják saját kutatásaik alapkérdéseit a hálózatok nyújtotta új modellezési és elemzési módszerek segítségével. Mára már széleskörűen ismertek azok a munkák, amelyek a természet-, a társadalom-, a műszaki- és a gazdaságtudományok hálózataival foglalkoznak. A két utolsó tudományterület határán elhelyezkedő minőségügy, vagy annak egy rokonterülete, a folyamatszervezés nem tartozik a hálózatelmélet által leginkább megfertőzöttek közé. Noha a folyamatok, mint a minőségügyi rendszerszervezés alapeszközei, és bizonyos hálózatok közötti topológiai hasonlóság első látásra nyilvánvaló, eddig nem készült átfogó elemzés arra vonatkozóan, hogy a folyamatok minőség szempontú azonosításához, elemzéséhez és fejlesztéséhez milyen hálózatszemléletű módszerek használhatók.

Érdeklődésem a hálózat kutatás iránt mégsem ennek a jelenségnek a felismerésekor kezdődött, hanem amikor egy informatikai és folyamatmenedzsment tanácsadó cég szakmai vezetőjeként abba a problémába ütköztem, hogy a folyamatszervezés és a minőségügy nem biztosít megfelelő eszköztárat a projektjeinkben generált változásokkal szembeni szervezeti ellenállás kezelésére. Különösen igaz ez a befogadószerkezet tagjai közötti belső kapcsolatrendszer azonosítása, illetve ennek segítségével a kulcsszereplők meghatározása terén. A gyakorlatban használható megoldások keresése során kristályosodott ki a fenti felismerés és az ezen alapuló hipotézis, miszerint a hálózatszemléletű megközelítés jól illeszkedik a modern minőségfejlesztési módszertanok szellemiségébe. Ezt támasztja alá az ISO 9000 szabványcsalád folyamat- és rendszerközpontú gondolkodása, valamint a Six Sigma és Lean módszertanok folyamatfejlesztési eszköztára. Ezek mindegyike olyan komplex rendszerként tekint a szervezetekre és azok folyamataira, amelynek felépítését és működését az erőforrások és tevékenységek, mint elemi egységek, valamint a közöttük lévő kapcsolatrendszer határozza meg. A folyamatok fejlesztése ennek a komplex rendszernek a holisztikus kezelésével, a rendszert alkotó egységek együttes elemzésével végezhető nagy hatékonysággal.

A hálózatok minőségügyi felhasználására számos példát találhatunk, elsősorban a különböző döntési modellek alkalmazásánál. Ezek egyik alapja az Analitikus Hálózat Folyamat (Analytic Network Process, ANP) nevű módszer, amely olyan többkritériumos problémák megoldására használható, amelyben a döntési kritériumok és az alternatívák között kölcsönös összefüggések vannak. Az elvárt cél, a döntési kritériumok és a választható alternatívák alkotják a hálózat csúcsait, a közöttük lévő összefüggések pedig a súlyozott éleket. A döntés az élsúlyok, azaz az összefüggések erősege alapján történik. [52]

Ozden Bayazit és szerzőtársa 2006-ban publikált munkájában Az ANP-t alkalmazta annak elemzésére, hogy a török termelő ipar mennyire alkalmas a Teljeskörű Minőségirányítás (Total Quality Management, TQM) adaptálására. [6] Hasonló megfontolásból Anand és szerzőtársai olyan közepes méretű vállalkozások esetében alkalmazták az ANP-t, amelyek valamilyen termelés-menedzsment rendszert kívántak bevezetni. Az ANP-ben teljesítmény mutatókat és egyéb szempontokat kötöttek össze a lehetséges választási alternatívákkal. Eredményül azt kapták, hogy az adott szegmensben a Lean menedzsment rendszer a legjobb választás. [1] Vinodh és szerzőtársai a beszállítók kiválasztására, mint kritikus minőségügyi funkcióra alkalmazták az ANP-t. [59] Chang a projekt minőségbiztosítási intézkedések kulcsterületeit határozta meg egy három dimenziót és 15 kritériumot tartalmazó Fuzzy ANP modellel. [11]

Az ANP felhasználható a Minőségfunkció Lebontás (Quality Function Deployment, QFD) alkalmazása során is, amelynek célja, hogy az ügyfélelvárásokat lefordítsa konkrét műszaki jellemzőkké. Az ANP segítségével az ügyfélelvárások és a technológiai paraméterek közötti kapcsolatok elemzésére kerül sor, ez utóbbiak fontosságának meghatározása érdekében. [38][27]

Bizonyos értelemben a döntéstámogató eszközök közé sorolhatóak a Bayes hálók és a mesterséges neurális hálók is. Ezek egyaránt alkalmasak arra, hogy általuk elemezzük és fejlesszük a folyamatokat. Mindkét esetben tanuló adatbázisokról beszélünk. Az adatbázis a bemeneti és a kimeneti jellemzők közötti összefüggéseket tanulja meg, ezáltal képes előre jelezni többek között a folyamatok nem megfelelő működését. [11]

Ezt a megközelítést alkalmazva kombinálták a mesterséges neurális hálózatokat többek között a Taguchi módszerrel annak érdekében, hogy meghatározzák egy folyamat optimális beállítási paramétereit. [38] Babak arra kereste a választ, hogy a mesterséges neurális hálózatokkal hogyan lehet a nem normál eloszlású folyamatok folyamatképességét kiszámítani. Bizonyította, hogy ez megoldható anélkül, hogy a hagyományos módszerek igényelte valószínűség-sűrűség függvényt meg kellene határozni, amely jelentős munkaigényű feladat, a kapott eredmény pedig messze állhat a valóságtól. [3] Guh valamely folyamatparaméter középértékének és ingadozásának monitorozására dolgozott ki egy mesterséges neurális háló alapú eljárást, amely a hagyományos szabályozó kártyáknál eredményesebben képes detektálni az ingadozást, ezáltal azt, hogy a folyamat szabályozatlanná vált. [34]

A Bayes hálók folyamatfejlesztési lehetőségeire példa Lewis munkája, amelyben azt részletezi, hogyan lehet a szoftverminőség javítására, ezáltal a teljes fejlesztési folyamat produktivitásának és megfelelőségének fejlesztésére felhasználni. [41]

A folyamatok monitorozására, mérésére széleskörűen elterjedtek az ún. kontrol kártyák. Ennek alternatívájaként használható egy, a mesterséges neurális hálók megközelítésén alapuló módszer, amelynek lényege, hogy az autokorrelációt is figyelembe véve képes elemezni a folyamatjellemző változását, ezáltal előre jelezni a negatív változást. [48]

Komoly problémát okoz a folyamatok modellezése során a szükséges információk összegyűjtése. Amennyiben informatikai eszközökkel megtámogatott, automatizált folyamatokról beszélünk, a munka megkönnyíthető, ha az alkalmazások adatbázisaiból szedjük ki a folyamatok lefutására vonatkozó adatokat, majd ebből építjük fel a modelleket. Ehhez dolgoztak ki számos technikát, felhasználva többek között a Petri hálók matematikai módszerét. [41] A megoldások közös jellemzője, hogy a hálózatok topológiáját követve, csúcsok és élek segítségével építik fel a modelleket. [22] Eredményül olyan folyamatmodellek készíthetők, amelyek valósághűen mutatják be a lefutást, segítve ezzel a fejlesztési, kockázatelemzési és sztenderdizálási feladatokat. [52]

A fenti példák igazolják, hogy a hálózatelmélet korai eszköztára és a minőségügy számos területen kapcsolódott az elmúlt évtizedekben. Ezen munkák fókuszában elsősorban a döntéstámogatás és a folyamatmonitoring áll. Nem foglalkoztak ugyanakkor átfogóan azzal, hogy ha hálózatokkal modellezünk folyamatokat, melyek azok a lokális és globális hálózati jellemzők, amelyek alkalmasak arra, hogy segítségükkel a folyamatok teljesítményét, megfelelőségét vizsgáljuk. A kutatási eredmények nem tartalmaztak utalást arra, hogyan lehet pl. a Lean veszteségeket becsülni vagy a folyamatok kapacitását és kihasználtságát kiszámítani hálózati jellemzőkkel.

Alapozva az eddigi munkákra, de törekedve arra, hogy pótoljuk a fent jelzett hiányosságokat, kutatásunkkal a célunk az volt, hogy rendszerezzük a folyamatok teljesítményének értékelésére használt azon indikátorokat, amelyek hálózati jellemzőkkel meghatározhatók, valamint definiáljuk az ezekhez szükséges összefüggéseket. Munkánk remélt gyakorlati hasznaként kidolgoztunk olyan új technikákat, amelyek alkalmasak a folyamatok mérésére és fejlesztésére, kiegészítve a témában már meglévő eszköztárat.

## 2 A hálózatszemléletű rendszer-megközelítés elméleti háttere

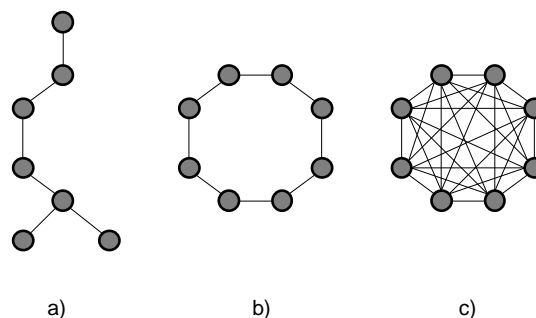
Ebben a fejezetben bemutatjuk a modern hálózattudomány születésének főbb állomásait. Tekintettel arra, hogy könyvtárnyi szakirodalom szól a témáról, amelynek összefoglaló elemzése meghaladja jelen dolgozat lehetőségeit, sajátos aspektusból, a minőség- és folyamatfejlesztés számára felhasználható eredmények szem előtt tartásával emeljük ki a leglényegesebb epizódokat. Ennek szellemében, ahol indokolt, megemlíjtük azokat a felhasználási lehetőségeket, amelyeket a későbbi fejezetekben részletesebben kifejtünk.

A hálózatokkal foglalkozó tudományterületeket részben az eszköztár hasonlósága, részben pedig az a felismerés köti össze, hogy a komplex rendszerekben olyan szerveződési szintek vannak, amelyek önálló sajátosságokkal rendelkeznek, függetlenül a csúcsok és az élek által képviselt entitásoktól. Ennek segítségével olyan információkat kapunk a rendszer felépítéséről és működéséről, amelyek csak az elemi egységek ismeretében nem triviálisak.

### 2.1 Gráfelmélet [26]

A gráfelmélet a kombinatorika része. Első tudományos felhasználása Leonhard Euler (1707 - 1783) svájci matematikushoz kötődik, aki a Königsbergi hidak néven elhíresült probléma matematikai megfogalmazásával dolgozta ki az alapfogalmak és –tételek egy jelentős részét. Az első műszaki alkalmazásnak Gustav Robert Kirchoff (1824 – 1887) 1847-ben publikált munkáját tekintik, aki villamos hálózatokat vizsgált gráfelméleti módszerekkel.

Egy  $G = [V, E, \theta]$  gráf csúcsokból, élekből és az élek csúcspárokra történő leképezéséből áll. A gráfokra mutat be néhány példát az [1. ábra].



**1. ábra: Példák gráfokra: a) összefüggő fa, b) összefüggő kör, c) teljes gráf kör. Forrás: saját munka.**

A csúcsok legfontosabb jellemzője a fokszám, amely a csúcshoz kapcsolódó élek számával egyenlő. Az éleket jellemezhetjük irányítottságukkal, súlyukkal és párhuzamos élek esetén számukkal. A csúcsok és élek különböző elvek szerinti csoportosításai különböző alakzatokat alkotnak. Ezekből a folyamatfejlesztés szempontjából azok a legjelentősebbek, amelyek összefüggők, azaz bármely két csúcs között létezik út, amelyekben vannak körök (a kiindulási pontba visszatérő utak), az élek irányítottak és súlyozottak, valamint megengedettek a párhuzamos élek. Ennek oka, hogy a folyamatok egymással összefüggő lépésekből állnak, valamint szükség van az ellenőrzéseket követő javítási körök modellezésére, az egységek áramlási irányának és az áramlás különböző mennyiségi és minőségi jellemzőinek kezelésére.

A gráfokkal kapcsolatban számos matematikai feladat megfogalmazásra és megoldásra került, amelyek egy része felhasználható a folyamatfejlesztésben. Közös bennük, hogy a gráfok legalapvetőbb jellemzőivel, a csúcsokkal és az általuk alkotott elkülönülő csoportokkal, illetve az élek és ezáltal a fokszámok változásaival jellemzik a lejárásodó eseményeket.

Az egyik klasszikus feladat a speciális tulajdonságú csúcs-él halmazok azonosítása. Ezek közé tartoznak az Euler- és a Hamilton-utak és –körök, amelyek az élek illetve a csúcsok ismétlődésének

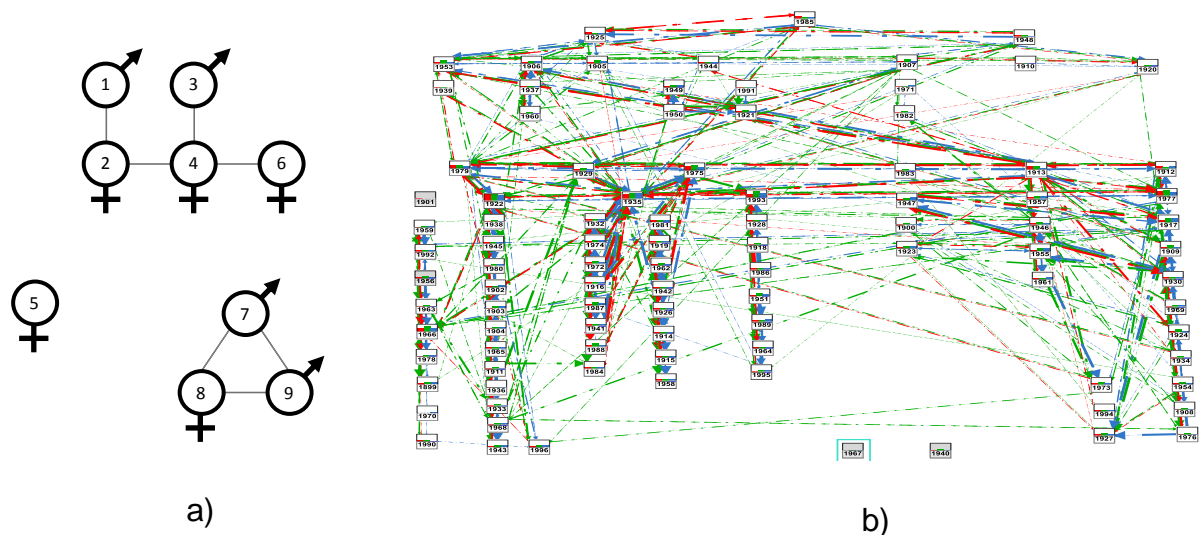
kizárásával jelölik ki a részgráfokat. Egy másik ide tartozó példa a minimális feszítő fa megtalálása, amely azt célozza, hogy azonosítsuk azt a feszítő fát (összefüggő, körnélküli gráf részgráfja), amelyben az élek összsúlya a lehető legkisebb. Hasonló módon érdekes lehet két tetszőleges csúcs között a legrövidebb út megtalálása. Ezeket a módszereket a folyamatoknál az alternatív lefutási útvonalak elemzésénél és az optimális útvonal kiválasztásánál tudjuk felhasználni.

Az összefüggő gráfokban bármely csúcsból bármely másik csúcs elérhető. Ha a gráf nem összefüggő, akkor több komponensből áll, amelyek önmagukban összefüggők. Amennyiben az élek irányítottak, megkülönböztetünk gyengén és erősen kapcsolt komponenseket. Az erős komponensek a gyenge komponensek részhalmozai, amelyekben bármely két csúcs között – az él irányítottságát figyelembe véve - továbbra is létezik út. A gráf összefüggőségét jellemzi, hogy hány csúcsot vagy élt lehet eltávolítani ahhoz, hogy megmaradjon összefüggőnek, azaz ne essen szél izolált csúcsokra vagy alcsoportokra. Egy gráf  $k$ -összefüggő, ha legalább  $k+1$  csúcsa van, és ha maximum  $k-1$  csúcsot hagyunk el, továbbra is összefüggő marad. Ehhez hasonlóan a gráf  $k$ -élösszefüggő, ha  $k$ -nál kevesebb élt elhagyva megmarad összefüggőnek. A folyamat alapjellemezője az összefüggőség, ugyanakkor az egyszerűsítése során - amely a fejlesztés egy lehetséges útja - csúcsokat és éleket távolítunk el. Véleményem szerint a  $k$ -összefüggőség a folyamatban lévő redundanciák mértékét, ezáltal azt a határt mutatja meg, ameddig az egyszerűsítés folytatható a folyamat funkcionalitásának fenntartása mellett.

## 2.2 Szociometria [44]

A szociometria atyja Jacob Levi Moreno (1889 – 1974) pszichiáter és szociológus, aki kidolgozta a spontán társulások azonosítására alkalmas, a kapcsolatok jellegének felmérésére alapuló módszertant. Egyik tézise – és munkájának ösztönzője – az a gondolat, hogy a spontán társulások az intézményes rendszerek lappangó hátterét alkotják. Ezt fejlesztette tovább Mérei Ferenc (1909 – 1986) pszichológus, létrehozva a több szempontú szociometriát, a kapcsolati hálózatok ábrázolásának és elemzésének eszköztárát.

A szociogramban, a társadalmi hálózatokat ábrázoló gráfban a csúcsok az embereket, míg az élek a közöttük lévő kapcsolatokat reprezentálják. A kapcsolatok lehetnek rokonszenvek, illetve vonatkozhatnak egymás közösségi funkcióinak és helyzetének, képességeinek vagy adottságainak megítélésére. Két csúcs között akkor van él, ha az egyik valamilyen szempontból pozitívan vagy negatívan értékeli a másikat, azaz egy erre vonatkozó kérdésre válaszként a másikat jelöli meg. Az él irányítottságának jelentősége van, hiszen a kapcsolat a választó és választott személynél eltérő jelentéssel bír. Az él súlya a kapcsolat erősségét mutatja, amely pl. a választás gyakoriságára vagy a választott csúcsok közötti prioritásra utal. Egy elterjedt ábrázolási mód szerint a kapcsolatok száma és erőssége alapján a hálóban a szorosan kötődő csúcsok közelebb kerülnek egymáshoz, létrehozva csomósodásokat, szorosan kapcsolódó alcsoportokat, amely megkönnyíti a vizuális elemzést. A [2. ábra] példát mutat be egy szokványos és egy hagyományostól eltérő szociogram ábrázolásra. Ez utóbbit egy közel százfős szervezet belső kapcsolatainak az elemzésére használtam 2008-ban. Az ábrán a csúcsok a szervezeti ábrának megfelelően kerültek elrendezésre. A különböző színű irányított élek eltérő kapcsolattípust jelölnek. Az ábra egy változatának részletes értelmezésére a [5.4.1 fejezetben] térünk ki.



2. ábra: Példák szociogramokra: a) szokványos, b) hagyományostól eltérő. Forrás: saját munka.

A teljes csoport és az egyének vizsgálatára különböző szociometriai mutatókat képeznek. A Centrális mutatók arra a kérdésre adnak választ, hogy van-e a vizsgált csoportnak központja, és ha igen, mekkora – és adott esetben milyen összetételű - perem veszi azt körül. A kohéziós mutatók azt prezentálják, hogy a vizsgált csoport tagjai mennyire gondolják összetartónak a közösségüket. Jellemző a hálózatra még a különböző alakzatok (lánc, csillag, pár, magányos helyzet) aránya is.

Tipikus szociometriai mutatók:

A. Teljes háló mutatók:

- Sűrűség – a ténylegesen előforduló kapcsolatok és az összes lehetséges kapcsolatok számának ( $N^2-N$ ; a reflexív relációk kivételével) aránya,
- Kohéziós index – a kölcsönös kapcsolatok és az összes lehetséges kölcsönös kapcsolat  $((N^2-N)/2)$  aránya,
- Rétegzettség – a kapcsolatok mekkora aránya multiplex (többrétegű).

B. Ego-Network mutatók:

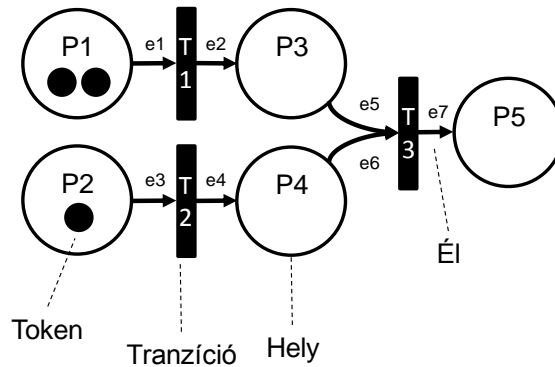
- Sűrűségi index – a lehetséges  $(n-1)$  kapcsolatok hány százaléka realizálódott,
- Rétegzettségi index – a lehetséges kapcsolatok hány százaléka multiplex, azaz  $r_{ijk}$ , ahol  $k > 1$ ,
- Centralitás - azon kapcsolatok részaránya, amelyek magukban foglalják a vizsgált szereplőt,
- Presztízs – hány intenzív kapcsolat irányul a kapcsolatháló többi szereplőjé felé,
- Elérhetőség - egy tetszőleges  $i$  szereplőt hány lépésben lehet elérni  $j$ -től.

A szociometria újkori felhasználására számos példát találunk az ezzel foglalkozó hálózatkutató cégek munkáiban. Segítségével a szervezetek belső konfliktusaira, a kommunikációs szokásokra, a formális és az informális szervezeti felépítés közötti eltérésekre derülhet fény. Érdekes alkalmazási terület a teljesítményértékelés és –fejlesztés, a kiválasztás és csoportképzés, azaz elsősorban a humánmenedzsment elemei.

A folyamatfejlesztésben is felhasználhatók ezek az eszközök, amennyiben a csúcsokon a feladatokat elvégző erőforrásokat ábrázoljuk, az élek pedig a közöttük lévő, választás alapú kapcsolatokat jelzik. Ennek jelentősége pl. az egymás munkájának minősítésében, a hibák azonosításában és kijavításában keresendő.

### 2.3 Petri-háló [22] [51]

A Petri-háló alkalmazásának módszereit Carl Adam Petri (1926 – 2010) német matematikus dolgozta ki rendszerek állapotainak matematikai ábrázolására. A Petri-háló irányított, súlyozott, páros gráf, amelyben a csúcsok a helyek (P) és a tranzíciók (T, átmenetek), az élek (e) pedig a közöttük lévő kapcsolatok. A helyek jellemzője azok állapota, amely az ún. tokenek számával arányos. A hálózat működése során ezek a tokenek „áramlanak” a különböző csúcsok között, a tranzíciók „tűzése” által, amennyiben az átmenet bemenő élein az ehhez szükséges feltételek (token megléte) teljesülnek. Egy Petri-háló elvi felépítését a [3. ábra] mutatja.



3. ábra: A Petri-háló elvi felépítése. Forrás: saját munka.

A Petri-hálók is felhasználhatók az üzleti folyamatok modellezésére, amennyiben a helyek a feldolgozott tételek különböző állapotait és számát jelölik, míg a tranzíciók az átalakítás módját, azaz a bemeneti állapotból a kimeneti állapotba történő transzformációt írják le. Ahogy a [4.1 fejezetben] bemutatjuk, ez tulajdonképpen az AoA és az AoN folyamatleíró módszerek kombinációja, üzleti reprezentációját pedig leginkább az EPC és BPMN modell típusokban ismerhetjük fel. A helyeken a tokenek azt jelzik, hogy feldolgozásra váró tétel van az ún. köztes tárolóban [4.5 fejezet], azaz megindulhat a követő tevékenység (tranzíció) végrehajtása. Ha több bemeneti feltétel, azaz megelőző tevékenység van a folyamatban, amelyek között AND kapcsolat van, az összes megelőző tevékenység kimeneti köztes tárolójában lennie kell feldolgozásra váró tételnek. A helyek token tartalmát, másként a kimeneti köztes tárolók tartalmát a hálózat állapotvektora, a token eloszlásvektor mutatja. A [3. ábra] Petri-hálójára az állapotvektor értéke:

$$\text{1. egyenlet: } M = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Az állapotvektor az üzleti folyamatban a kimeneti köztes tárolók darabszámait mutatja.

Az élekhez súlyok rendelhetők, amelyek a párhuzamos élek számát jelenti. A Petri-hálókból nem ábrázolunk párhuzamos éleket, ezeket minden esetben élsúlyokkal jelöljük. Az élsúlyok felhasználhatók pl. az üzleti folyamat várakozási idejének reprezentálására.

A kiterjesztett Petri-hálókból lehetőség van bizonyos élek letiltására, a helyek kapacitás szerinti megkülönböztetésére, valamint a tranzíciók prioritizálására. A tiltott éleket értelmezhetjük magas veszteségtartalmú (pl. hibajavítást jelző) útvonalnak. A kapacitást felhasználhatjuk a köztes tároló tartalmának maximalizálására. A tranzíció prioritása a tevékenység fontosságát, kritikuságát jelezheti.

Nem szorosan a Petri-háló alkalmazásához köthető, de azzal rokon megközelítési módja miatt itt érdemes megemlíteni az ún. üzemeltetési típusgráfokat, amelyeket diszkrét állapotterű folyamatok ábrázolására használnak. Egyik kiemelt felhasználási módja a szomszédossági mátrixok hatványozásával előállított elérhetőségi mátrix segítségével a rendszer elemek közötti kapcsolatok

meglétének feltárása. Ez - a korábbi példához visszakanyarodva – azt jelenti, hogy lehetséges-e egyik állapotból (helyről) egy másik állapotba átalakulni az adott folyamatban, vagy másképpen létezik-e a rendszert modellező gráfban két csúcs között bejárható élsorozat. A kérdés az üzleti folyamatok esetében úgy tehető fel, hogy létezik-e olyan lefutása a folyamatnak, amely tetszőlegesen kiválasztott két tevékenységet összeköt.

## 2.4 Mesterséges neurális háló [36]

A mesterséges neurális hálók műszaki alkalmazásának ötletét az idegsejtek és a közöttük lévő szinaptikus kapcsolatok által felépített idegrendszeri hálózatok adták. Megfelelő feltételek esetén a neuronok elektromos jelet küldenek egymásnak a közöttük húzódó sejtnyúlványokon (axon), amelyek eredményeképpen neurotranszmitterek viszik át az ingerületet a szinaptikus réseken, aktivitásra ösztönözve a szomszédos idegsejteket. A neuron hálózat nem statikus, új kapcsolatok létrehozásával tanulásra képes, ugyanakkor az öregedés vagy különböző, demenciát okozó idegrendszeri megbetegedések hatására csökken a működőképes neuronszám és ezzel együtt a kapcsolódások száma.

Az idegsejtek hálózatos működésére jellemző, hogy egy vagy több bemenettel rendelkeznek, amelyeket értelmezve, átalakítva kimeneteket képeznek, majd ezeket továbbítják a kimeneti oldalon lévő szomszédos sejteknek. A folyamat kezdetén az első neuron a beérkező jelek egységesítésével ingerületet kap, amely eseményt az alábbi összefüggéssel írhatjuk le:

$$\mathbf{2. egyenlet: } I = F_1(x)$$

ahol  $x$  a bemeneti jel,  $F_1(x)$  a bemeneti jelet ingerületté alakító függvény,  $I$  az ingerület. Az ingerületet az idegsejt átalakítja kimeneti jellé, amelyet a következő módon írhatunk le:

$$\mathbf{3. egyenlet: } O = F_2(I, th)$$

ahol  $I$  a bemenő ingerület,  $F_2(I, th)$  az átalakító függvény,  $th$  az átalakításra jellemző küszöbérték,  $O$  a kimeneti jel. A kimeneti jelet ( $O$ ) az idegsejt továbbadja ( $F_3$ ) a szomszédos sejteknek, a közöttük lévő szinaptikus résen keresztül, amelyet jelátvivő tulajdonságával ( $w_{ij}$ ) jellemzünk. Az átadott jelből  $x_j$  bemeneti jel lesz. Az eseményt leíró összefüggés:

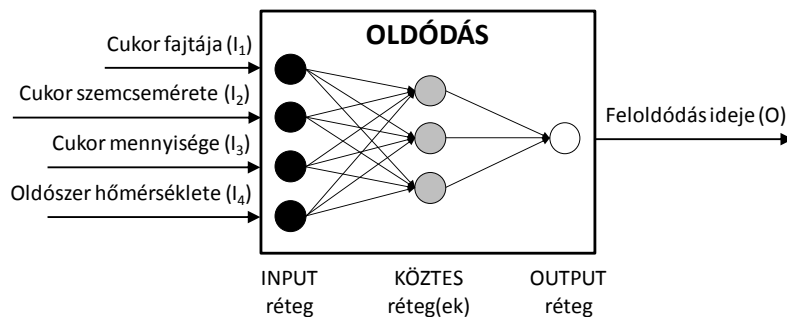
$$\mathbf{4. egyenlet: } X = F_3(O, w)$$

A fenti lépések a hálózat utolsó neuronjáig folytatódnak.

A különböző hálózati modellek a neuronok összekötési módjában és a függvények definíciójában térnek el. Ezekről függően lehet megválasztani a felhasználás, azaz a folyamatok modellezési lehetőségeit.

A mesterséges neurális hálók folyamatfejlesztési felhasználásának célja, hogy egy gráfot és vele egy olyan tanuló adatbázist hozzunk létre a vizsgált rendszer ismert gerjesztés-válasz paraméterhalmazaiból (azaz összefüggő részgráfjaiból), amely képes előrejelezni, hogy egy tetszőleges bemeneti jelre milyen kimeneti jelet várhatunk. Egy másik lehetséges cél, hogy a folyamat egy vezérlő jelére adjon javaslatot a többi független változó és az elvárt kimeneti jellemző ismeretében.

Az elemzés első lépéseként meg kell határoznunk a vizsgálni kívánt bemeneti és kimeneti jellemzőket. Ezt követően ki kell választani a historikus adatokat tartalmazó (azaz az összefüggésekre megtanított) adatbázisból azt a paraméterhalmazt, amely tartalmazza rendelkezésre álló bemeneti jeleket, valamint az elvárt kimeneti értéket. Ha ilyen paraméterhalmaz nem áll rendelkezésre, azzal a paraméterhalmazzal modellezzük a folyamatot, amelyik a legközelebb áll hozzá. A folyamat lejátszódása után megmérjük a kimeneti jel értékét. Ha ez eltér az elvárt értéktől, állítunk a bemeneti értékeken, majd újra lefuttatjuk a folyamatot. Ezt az iterációs eljárást addig folytatjuk, amíg el nem érjük a célértéket. Természetesen minden szimulációs futás paraméterhalmazát rögzítjük az adatbázisban, azaz folytatjuk a tanítását. A rendszer logikai modelljét egy példán a [4. ábra] mutatja be.



**4. ábra: A mesterséges neurális háló felépítése egy oldódási modell példáján. Forrás: saját munka.**

Az oldódási modell egy bemeneti (input), egy kimeneti (output) és legalább egy köztes vagy rejtett rétegből áll. A modell működése során a bemeneti réteg neuronjai a bemeneti jeleket (itt  $I_1, I_2, I_3, I_4$ ) átalakítják kimeneti jelekké, amelyeket átadnak a rejtett réteget alkotó neuronoknak. A jelátalakítás addig folytatódik, amíg a kimeneti réteg neuronjai meg nem kapják a bemeneti jeleket és ezeket át nem alakítják kimeneti jelekké (O). Minden bemeneti jelhez súlyok tartoznak. A neuronok a kimeneti jeleket a bemeneti jelek súlyozása és a rájuk jellemző aktiválási függvény segítségével állítják elő. Az adatbázis tanítása során tulajdonképpen ezeknek a súlyoknak a beállítása történik. Az elemzés folyamatában a köztes rétegek a megtanult algoritmusokat, azaz súlyozott jelátadási útvonalakat és bemeneti-kimeneti jelpárokat alkalmazva határozzák meg a rendszer kimeneti paraméterét, jelen esetben a feloldódás idejét.

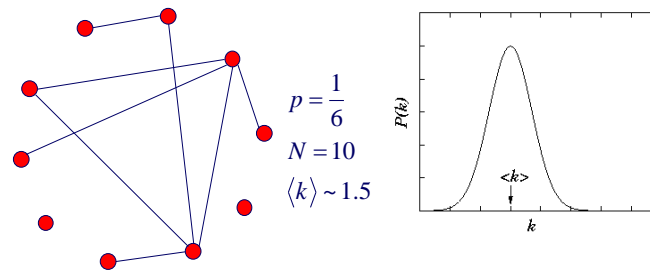
A mesterséges neurális hálók egy másik érdekes felhasználási módjának célja, hogy megbecsülje a sikeres Lean implementálás valószínűségét annak megkezdése előtt. [37] A kutatók kidolgoztak egy döntéstámogató algoritmust, amely segít kiválasztani a legköltséghatékonyabb bevezetési alternatívát, csökkentve a szubjektív döntésből fakadó hibalehetőséget. A javasolt modellnek három fontos képessége van: 1) meghatározza az ún. „leanness” (kb. lean-szerűség) szintet, 2) egyéb megoldásoknál kevesebb döntés szükséges a szint meghatározásához, ezáltal rövidebb idő is elegendő a megfelelő bevezetési stratégia kiválasztásához, 3) a szint bármilyen rövid időszakra meghatározható.

## 2.5 A modern hálózattudomány kialakulása

Barabási Albert-László (1967-) magyar fizikus Behálózva című sikerkönyvének baharangozójában a következőket írja: „A 21. század elejének talán legfontosabb tudományos felfedezése annak meglátása, hogy minden hálózat, rendszer azonos szervezőelv alapján jön létre, és egyszerű, de hatékony szabályok révén működik.” [1] Sokat sejtető, ambiciózus kijelentés, amely számos rendszer esetében gyakorlati igazolást nyert, ugyanakkor – ahogy ez az új tudományterületeken lenni szokott – még több megválaszolendő kérdést vetett fel.

A hálózattudomány képviselői – ahogy korábban említettük - a gráfelméletre vezetnek vissza diszciplínájuk eredetét. Az első kiemelkedő jelentőségű esemény két magyar matematikus, Erdős Pál és Rényi Alfréd nevéhez kötődik, akik a klasszikus véletlen gráfok modelljének kidolgozásával megtették az első meghatározó lépést a komplex hálózatok elemzéséhez vezető úton. Kísérletükben vettek  $N=10$  db csúcst, majd egyenként kiválasztva a csúcspárokat,  $p=const.$  valószínűséggel összekötötték őket. Eredményül azt kapták, hogy egy  $\langle k \rangle$  átlagos fokszámérték körül szóródva a fokszámeloszlás (egy adott fokszámmal a csúcsok mekkora aránya rendelkezik) Poisson eloszlást követ, a nagy és kis fokszámok valószínűsége exponenciálisan kicsi. A  $\langle k \rangle$  a hálózatra jellemző érték. [5. ábra] [25]

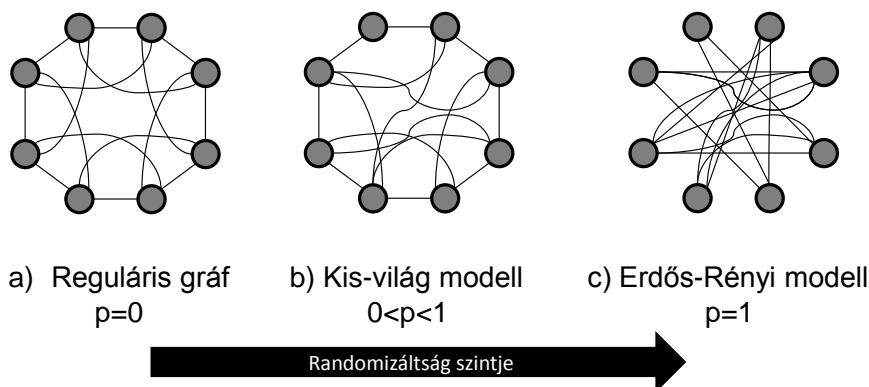




5. ábra: Klasszikus véletlen gráf fokszámeloszlása. Forrás: saját munka.

1967-ben egy érdekes szociológiai kísérlet mutatott rá arra, hogy a társadalmi hálózatok felépítése további jellegzetességekkel bír. Stanley Milgram (1933 – 1984) amerikai szociálpszichológus kísérletének lényege az volt, hogy az alanyoknak több másik, tőlük jelentős fizikai távolságra élő embernek kellett eljuttatni egy levelet úgy, hogy ha nem ismerik a célszemélyt, akkor egy olyan személyes ismerősüknek küldjék el, aki szerintük ismerheti őket. Azt találta, hogy a levelek átlagosan 5,2 lépést követően jutottak célba. Ez azt a korábban már Karinthy Frigyes által a Láncszemek című novellában is megfogalmazott hipotézist erősítette, hogy a valós összefüggő komplex társadalmi hálózatokban létezik bármely két csúc között egy, a hálózat méretéhez képest meglepően rövid út. Emellett az is bizonyítást nyert, hogy ezt az utat a résztvevők a teljes rendszer egészének átlátása, részletes ismerete nélkül is képesek megtalálni, ami egy csúcsfüggetlen hálózati jellemző létére utal. [45]

Ebből az elgondolásból született meg a Watts-Strogatz féle kis-világ modell. A modell kialakításánál egy reguláris gráfból indultak ki, amelyben a csúcokat egy kör mentén helyezték el, összekötve ezzel minden csúcot a velük szomszédos csúcsokkal. Emellett a csúcsok és a tőlük  $k=2$  lépés távolságra lévő csúcsok között is húztak közvetlen éleket. Ezzel az eljárással minden csúc fokszáma 4 lett. Ezt követően  $p$  valószínűséggel az éleket „átkötötték” úgy, hogy az él egyik végét egy véletlenszerűen kiválasztott távolabbi csúcsra húzták. Az eljárást az [6. ábra] szemlélteti.



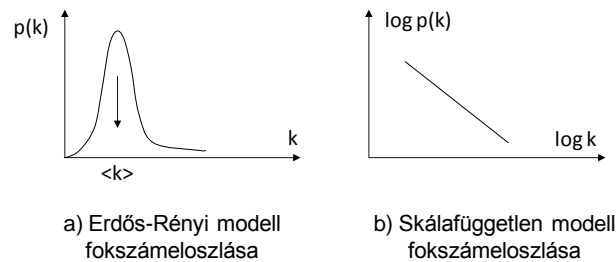
6. ábra: A kis-világ modell létrehozása. Forrás: saját munka.

Ha  $p=0$ , akkor marad a reguláris gráf, nem jelenik meg a kis-világ jelenség, a klaszterezettség maximális. Ha  $p=1$ , akkor valamennyi eredeti él átkötésre kerül, jellemző a kis-világ tulajdonság, a klaszterezettség a reguláris háléhoz képest csökken. A két szélsőérték közötti hálózatra  $p$  függvényében jellemző a magas klaszterezettség, köszönhetően a reguláris gráfból megmaradt szabályos résznek, ugyanakkor megjelenik a véletlen átkötések hatására - az Erdős-Rényi modellben megismerthez hasonlóan – a kis-világ tulajdonság is. [8]

Mind az Erdős-Rényi, mind a Watts-Strogatz modell statikus hálózatokkal dolgozott, amelyekben a csúcsok és az élek száma változatlan. Ugyanakkor a valós hálózatokra a dinamikus változások a jellemzők. A hálózatban új csúcsok jelennek meg vagy szigetelődnek el, új kapcsolatok jönnek létre vagy szűnnek meg. Az is nehezen elfogadható, hogy a kapcsolatok véletlenszerűen alakulnak ki. A tapasztalat azt mutatja, hogy nem egyforma valószínűséggel lép kapcsolatba egy új tag a hálózat már

bent lévő tagjaival. Mindkettő könnyen belátható, ha egy munkahelyi közösségre, mint hálózatra gondolunk. Magától értetődik a munkatársak ki- és belépése. Az is nyilvánvaló, hogy az új munkatárs azokkal kerül elsőként kapcsolatba, akikkel együtt dolgozik, a kapcsolat valószínűsége vagy szorossága a munkakapcsolat intenzitásával arányosan növekszik – legalábbis az első időszakban.

A statikusság és a véletlen kapcsolódás kiküszöbölésére Barabási és kutatócsoportja kidolgozta a skálafüggetlen hálózati modellt. Ez kezeli a hálózati növekedést, különbséget tesz a csúcsok kapcsolódási képességeiben, ugyanakkor a Poisson eloszlástól eltérő fokszámeloszlást prognosztizál. A skálafüggetlen modellel leírható hálózatokban vannak kiugró fokszámmal rendelkező csúcsok, nincs a hálózatot jellemző fokszám (nem csúcsos az eloszlás), valamint a függvény az exponenciálisnál lassabban csökken. [7. ábra]



**7. ábra: Az Erdős-Rényi és a skálafüggetlen modellek fokszámeloszlása. Forrás: saját munka.**

A skálafüggetlen modellben az új csúcsok az ún. erőtvényt követve, népszerűségi alapon választanak a régiak közül, fokszám szerint növekedő eséllyel. Ez azt is jelenti, hogy minél korábban csatlakozott egy csúcs a hálózathoz, annál nagyobb eséllyel fogja az új csúcsokat magához kötni. Az így kapott hálózatban a fokszámeloszlás hatványfüggvény jellegű, értéke arányos a fokszám negatív kitevős hatványával, ahol a hatványkitevő értéke 2 és 3 között található a legtöbb hálózat esetében. [8]

### 5. egyenlet: $p(k) \sim k^{-\lambda}$

Az ilyen hálózatokban tetszőleges csúcspárok között a legrövidebb utak hossza nem a hálózat méretével, azaz a csúcsok számával, hanem annak logaritmusával arányos [1]. Ez arra utal, hogy jelen van a kis világ modell és jellemző a hálózatra a relatív kis átmérő.

Ezt követően, az ezredforduló környékén megindultak a különböző hálózati modellek kidolgozására irányuló kutatások. Barabásiék úgy módosították a skálafüggetlen modellt, hogy a kapcsolódás valószínűsége nem csak a fokszámtól, hanem egy, a hálózattól függő ún. alkalmassági tényezőtől is függ. A Buckley-Osthus modell ezt az alkalmassági tényezőt beépítette a hálózatba, mint a csúcsok eredeti vonzóképességét. [24] Kumar és társai kidolgozták a „Copying” modellt, amely a preferenciális kapcsolódást vizsgálva abból a feltételezésből indul ki, hogy az új web-es honlapok úgy készülnek, hogy egy meglévőt lemásolnak, majd a linkeket módosítják. [37] A munka természetesen nem állt meg, napjainkban is sokan dolgoznak új modelleken. Emellett azonban egyre erőteljesebb az az irány, amely a hálózattudományt különböző szakterületeken, a gyakorlati problémák megoldására kívánja felhasználni. Ezen kutatók munkáját segítik az egyre nagyobb számban elérhető informatikai modellező eszközök is, kijelölve a harmadik jelentős csapásirányt a hálózat kutatás területén.

## 2.6 Hálózat kutatási szoftverek

A hálózatok elemzésére használt szoftverek családja mára igen népszerűvé dűzzadt. Összességében kijelenthető, hogy függetlenül az eredeti alkalmazási céltól, jelesül a megcélzott szakterület elvárásaitól, többé-kevésbé hasonló elven működnek és jelentős átfedés van a funkcionalitásuk között is.

Az első szoftvereket a szociogramok ábrázolására és vizsgálatára készítették. A piacvezető alkalmazások funkcionalitása közé tartozik a kérdőívek szerkesztése, a válaszok rögzítése, a szociogram értékelése és a szociometriai mutatók kiszámítása is.

Ebbe a családba tartozik többek között a SociometryPro<sup>1</sup>, a Walsh's Classroom Sociometrics<sup>2</sup> vagy a magyarok közül a Henasoft<sup>3</sup> alkalmazása.

A hálózatos megközelítés elterjedése életre hívta a nagyobb, komplexebb gráfok kezelésére alkalmas megoldásokat is. Széles körben ismertek ezek közül a Pajek<sup>4</sup>, a Gephi<sup>5</sup>, a NodeXL<sup>6</sup>, de ide sorolható a magyar fejlesztésű OrgMapper<sup>7</sup> és a Hypergraph<sup>8</sup> is. Ez utóbbi erősen szociometriai alapokon nyugszik, de az első verziók kialakításánál, amelyben vezetőként részt vettem, a hosszú távú cél a komplex hálózatok teljes körű elemzését lehetővé tevő szoftver kifejlesztése volt.

A szociometriai szoftverekhez képesti legfontosabb többletfunkciók:

- komplexebb, nagyobb elemszámú gráfok kezelése,
- multinod kezelés,
- nem csak szociometriai hálózati jellemzők számítása.

A harmadik csoportba azokat soroljuk, amelyek célja olyan eszközt adni a kutatók kezébe, amellyel nagy számban állíthatnak elő ugyanolyan modelleket (pl. skálafüggetlen) követő gráfokat. Ebbe az irányba indult el pl. az ELTE Biológiai Fizika kutatócsoportjának fejlesztése<sup>9</sup>.

Munkánk során a fentiek közül a Pajeket és a NodeXL-t használtuk. Előbbit a rendkívül komplex elemzési funkciói, utóbbit a könnyű, excel alapú kezelhetősége, ezáltal az eredmények egyszerű reprodukálhósága miatt.

A [2 fejezet] irodalmi áttekintésében bemutatott technikák számossága és összefüggései indokolják, hogy rendszerezzük ezeket a minőségügyi felhasználhatóság szempontjából. Ennek érdekében a következő fejezetben bemutatjuk az általunk kidolgozott csoportosítási módszert.

---

<sup>1</sup> <http://sociometrypro.soft32.com/>

<sup>2</sup> <http://www.classroomsociometrics.com/>

<sup>3</sup> <http://www.henasoft.hu/termekeink/szociometria>

<sup>4</sup> <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>

<sup>5</sup> <https://gephi.org/>

<sup>6</sup> <http://nodexl.codeplex.com/>

<sup>7</sup> <http://orgmapper.com/en/>

<sup>8</sup> <http://www.hyperteam.hu/>

<sup>9</sup> <http://hal.elte.hu/kutcsop/>

### 3 A minőségügyben értelmezhető hálózatok csoportosítása

Az alábbi fejezetben csoportosítjuk a minőségügyben értelmezhető hálózatokat annak érdekében, hogy kijelöljük a folyamatfejlesztés szempontjából jelentőséggel bírókat. A minőségirányítás széles körben elfogadott definíciójából indulunk ki, amely szerint ide tartozik az általános irányítási feladatköröknek minden olyan tevékenysége, amely meghatározza a minőségpolitikát, a minőségre vonatkozó célkitűzéseket és feladatköröket, valamint megvalósítja azokat olyan eszközökkel, mint a minőségügyi tervezés, a minőségszabályozás, a minőségbiztosítás és a minőségfejlesztés, a minőségügyi rendszeren belül.

Az általános hálózatelméleti szakirodalom a hálózatokat elsősorban a felhasználási terület szerint csoportosítja. E szerint vannak technológiai-, társadalmi-, információs- és biológiai hálózatok. Ezekben belül a további csoportosítás aszerint történik, hogy mik alkotják ténylegesen a csúcsokat. Így beszélhetünk a technológiai hálózatokon belül pl. villamos-elosztó és logisztikai-disztribúciós hálózatokról. [44] A hálózatelmélet másik csoportosítási elve a matematikai jellemzőket hívja segítségül. A hálózatok a foksámeloszlás, a csoportképződési elv, az átmérő és egyéb sajátosságok alapján különböző hálózati modellekkel írhatók le. Ezek alapján megkülönböztetjük – többek között - a véletlen gráf- [25] és a skálafüggetlen- [8] modelleket. A modellek csoportosíthatók a szerint is, hogy statikus vagy dinamikus, azaz állandó vagy változó csúcscsúszámú gráfokkal dolgoznak.

Az egyes szakterületek egyedi szempontok alapján további csoportosításokat végeznek. Például az informatika a hálózatokat valamely kiemelt tulajdonság alapján csoportosítja, amely többek között lehet a területi kiterjedés (pl. LAN) vagy a topológia (pl. csillag). Ez utóbbi támaszkodik a kombinatorika által használt csoportosításra, amely az élek irányítottsága, a párhuzamos élek száma, a csúcsok fokszáma vagy a hurkok léte alapján különböztet meg egymástól gráftípusokat. [10]

A minőségügyben vagy a folyamatszervezésben a szakirodalom nem ismer a fentiekhez hasonló, hálózat szempontú csoportosítást. Azonban ahogy a későbbi fejezetekben bemutatjuk, a folyamatokat jól lehet csoportosítani topológiai szempontból, valamint aszerint, hogy milyen entitásokat jelölnek a csúcsok. A minőségügyben – tekintettel a komplexitására – egy általánosabb csoportosítási módszert javasolunk alkalmazni. A csoportosítás módszertanát kizárólag a minőségügy által lefedett szakmai területek sajátosságai alapján dolgoztuk ki. Nem volt célunk egy, a hálózatok általános csoportosítására alkalmas módszer megalkotása. A hálózatok csoportosításánál a hálózati elemekből, azaz az élekből és a csúcsokból, valamint a hálózatok jellemzőiből indultunk ki. Az élek és a csúcsok típusai az adott hálózat típusát, a jellemzők pedig a hálózat tulajdonságait határozzák meg.

#### 3.1 A minőségügyi hálózatok csoportosítása az éltípusok alapján

A hálózatokat először az élek jellemzői alapján csoportosítottuk. E szerint létezik *áramlás*, *attribútum* és *preferencia* típusú élek által összetartott hálózat (az egyszerűség kedvéért ezeket a továbbiakban áramlás, attribútum és preferencia hálózatnak hívjuk). Az áramlás hálózatok jellemzői, hogy a csúcsok között anyag-, energia-, vagy információáramlás történik, azaz valós folyamatok játszódnak le. A kapcsolatot jellemzi az áramlás iránya, az áramló entitás mennyisége, gyakorisága, valamint minősége. Az attribútum hálózatban ezzel szemben nincs tényleges folyamat, adott esetben egymással egyáltalán nem együttműködő csúcsok között is létezik kapcsolat, amely a hasonlóságukat reprezentálja. A kapcsolat erőssége a hasonlóság mértékével arányos. A preferencia hálózatban a csúcsok maguk jelölik ki valamilyen szempont alapján azokat a csúcsokat, amelyekhez kapcsolódnak. Az [

1. táblázat] az éltípusok által alkotott hálózatok néhány jellemzőjét foglalja össze. [18]

	<b>Áramlás típusú él</b>	<b>Attribútum típusú él</b>	<b>Preferencia típusú él</b>
<b>Definíció</b>	A csúcsok közötti anyag-, energia- vagy információáramlást reprezentálja.	A csúcsok tulajdonságai közötti hasonlóságot reprezentálja.	A csúcsok által valamilyen szempontból megtett csúcsválasztást reprezentálja.
<b>Él irányítottsága</b>	Írányított élek, a kezdőpont az áramlás elindítója, a végpont az áramlás címzettje.	Általában nem irányított élek, csak abban az esetben, ha a tulajdonság felvétel időbeli sorrendjének van jelentősége. Ebben az esetben a kezdőpont az a csúcs, amelyik korábban rendelkezett a vizsgált jellemzővel.	Írányított élek, a kezdőpont a másik csúcsot választó, a végpont a választott. Értelmezett a kétirányú él, amely a kölcsönös választást mutatja.
<b>Él súlya</b>	Az áramló entitás valamely fizikai jellemzője (pl. mennyiség), diszkrét eseménynél az átadás gyakorisága (pl. óránként).	A hasonlóság mértéke, azaz a két csúcs megegyező attribútumainak száma, vagy egy jellemzőhöz hozzárendelt hasonlósági skála értéke (pl. %-ban meghatározva).	A választás erőssége, azaz egyértelműségének mértéke (pl. egy erősségi skálán mérve), vagy többszörös választás esetén a sorrend.
<b>Él előjele (minősége)</b>	Az átadott entitás minősítése (pl. megfelelő - nem megfelelő) valamilyen szempont szerint.	A hasonlóság előjele. A különbözőség a negatív hasonlóság mértéke.	A pozitív és a negatív választás (értékelés) megkülönböztetése.
<b>Hurokél</b>	A csúcs belső működésének jellemzője, a hálózatban történő áramlás összmenyiségének számításakor figyelembe kell venni.	Az önazonosság trivialisága miatt nem értelmezett.	Ha a csúcs önmaga általi választása, jellemzése fontos információ, akkor kell figyelembe venni.
<b>Párhuzamos élek (többszörös él)</b>	Több entitás párhuzamos, vagy egy-egy entitás többszörös átadásakor. Az első esetben több különböző hálózatról is beszélhetünk. A második esetben az élszám élsúlyá konvertálható.	Több szempontú hasonlóság, az élszám élsúlyá konvertálható.	Több választási szempont esetén érdemes csoportosítani az éleket és az élszámot élsúlyá konvertálni.
<b>Sorba kapcsolt élek</b>	Egy tétel áramlási útja.	A kapcsolat páros jellegénél fogva általában nincs jelentősége. Kivétel ez alól, ha az időbeliséget is figyelembe vesszük. Ekkor a tulajdonság hálózaton belüli terjedését mutatja.	A kapcsolat páros jellegénél fogva általában nincs jelentősége. Kivétel ez alól, ha jelentősége van a preferenciális kapcsolatok kialakulási sorrendjének.
<b>Összefüggő alcsoport</b>	Szorosan együttműködő csúcsok.	Egymáshoz nagymértékben hasonló csúcsok.	Egymást preferáló vagy elutasító csúcsok.

**1. táblázat: Élek típusai és jellemzőik. Forrás: saját munka.**

### 3.2 A minőségügyi hálózatok csoportosítása a csúcstípusok alapján

A másik csoportosítási mód a csúcsok típusa szerinti felosztás. Ebben az esetben beszélhetünk *esemény*, *erőforrás* és *kompetencia* típusú csúcsok alkotta minőségügyi hálózatokról. Az esemény hálózatokban folyamatok, tevékenységek történnek, jelenségek játszódnak le a csúcsokban. Az erőforrás hálózatokban gépek, berendezések vagy emberek, szervezetek alkotják a csúcsokat. A kompetencia hálózatokban az erőforrások által birtokolt készségek és képességek jelennek meg. A [

2. táblázat] a csúcstípusok néhány jellemzőjének lehetséges értelmezését mutatja be.

	<b>Esemény típusú csúcs</b>	<b>Erőforrás típusú csúcs</b>	<b>Kompetencia típusú csúcs</b>
<b>Alapjellemezők</b>	PI: bekövetkezési valószínűség, hibaarány, átfutási és ciklusidő stb.	PI: fizikai jellemzők, minőségparaméterek (kapacitás, rendelkezésre állás stb.).	PI: fontosság.
<b>Fokszám</b>	PI: az esemény gyakorisága.	PI: az erőforrás igénybevételének mértéke.	PI: a kompetencia elterjedtsége.
<b>Összefüggő alcsoport</b>	PI: együttesen vagy egymás után bekövetkező események.	PI: azonos felhasználási jellemzőkkel rendelkező erőforrások.	PI: azonos erőforrások által birtokolt hálózati elemek.

**2. táblázat: Csúcsok típusai és jellemzői. Forrás: saját munka.**

### 3.3 A minőségügyi hálózatok összegzett csoportosítása

Egy minőségügyi hálózat típusát az határozza meg, hogy milyen csúcsokból és élekből áll, azaz milyen rendszer modellezésére alkalmas. A [

3. táblázat] az éltípusok és csúcstípusok kombinációira mutat néhány példát. Itt nem foglalkozunk az ún. multimodális hálózatokkal, amelyekben több különböző típusú csúcs alkot egy hálózatot, mert ezek két vagy több unimodális hálózat valamilyen kombinációjából összeállíthatók.

	<b>Áramlás él</b>	<b>Attribútum él</b>	<b>Preferencia él</b>
<b>Esemény csúcs</b>	Folyamatlépések ( <b>cs</b> ) és a közöttük lévő input-output kapcsolatok ( <b>é</b> ).	A függő változó egy adott értékét ( <b>é</b> ) eredményező független változó beállítások ( <b>cs</b> ).	Időben egymás után bekövetkező ( <b>é</b> ) kockázati események ( <b>cs</b> ), amely jelenség ok-okozati összefüggésre utalhat.
<b>Erőforrás csúcs</b>	Adatátadás ( <b>é</b> ) két informatikai alkalmazás ( <b>cs</b> ) között.	Azonos munkaállomáson ( <b>é</b> ) dolgozó munkatársak ( <b>cs</b> ).	Egymás teljesítményét ( <b>é</b> ) értékelő munkatársak ( <b>cs</b> ).
<b>Kompetencia csúcs</b>	Két munkakör ( <b>cs</b> ) közötti jelentési kötelezettség ( <b>é</b> ).	Azonos tudást ( <b>é</b> ) igénylő munkakörök ( <b>cs</b> ).	Egy munkatárs ( <b>é</b> ) által birtokolt kompetenciák ( <b>cs</b> ) csoportja.

**3. táblázat: Példák a különböző típusú csúcsok és élek alkotta hálózatokra. A rövidítések jelentése: (cs) – a hálózat csúcsai, (é) – a hálózat élei. Forrás: saját munka.**

A folyamatfejlesztés elsősorban az *esemény csúcs* – *áramlás él* típusú hálózatokkal foglalkozik. Leginkább a tevékenység csúcsok és a feldolgozott tételek áramlása alkotta hálózatok modellezése jellemző a különböző architektúra modellező (Enterprise Architecture, EA) szoftverek elterjedésével. [55] A modellezés célja lehet pl. az átfutási idő vagy a folyamatköltségek csökkentése. Ahogy a [4. fejezetben] részletesen kifejtjük, a csúcsok és az élek számos egyéb módon is értelmezhetők, ezáltal a képzett hálózatok is különböző jelenségek elemzését teszik lehetővé.

Az *esemény csúcs* – *attribútum él* hálózatokra példa lehet a kísérlettervezés (Design of Experiment, DoE) eredményeinek hálózati modellezése. Ebben a csúcsok a független változók beállítási értékei. Két vagy több csúcs között akkor van kapcsolat, ha együttes beállításuk a függő változó egy adott értékét (vagy minőségét) eredményezi. A kapott hálózati modellel kijelölhetők az optimális beállítási kombinációk, valamint egy adott beállítás esetén prognosztizálható a folyamat válasza a gerjesztésre. [15]

Az *esemény csúcs* – *preferencia él* hálózatok közül megemlítendő a kockázati események közötti kapcsolatot feltáró elemzések hálózati modellezése. Ennek elsődleges célja, hogy a bekövetkezett kockázati események időbeli egybeesése alapján olyan kockázati eseményhálót alkosson meg, amelyek segítségével validálni és fejleszteni lehet az elméleti kockázatelemzésen alapuló

kockázatmenedzselési rendszereket. A módszer egy általunk kidolgozott alkalmazási lehetőségét az [5.5.2 fejezetben] mutatjuk be.

*Az erőforrás csúcs - áramlás él* típusú hálózatban pl. a tevékenységek helyett ábrázolhatjuk a végrehajtó szereplőket is. Ezzel a modellel többek között a munkaterhelés eloszlás és a végrehajtás minőségjellemzői vizsgálhatók. Ha a csúcsok nem humán erőforrások, hanem informatikai eszközök, akkor az adatbázisok közötti adatáramlást is modellezhetjük és elemezhetjük.

*Az erőforrás csúcs - attribútum él* hálózatokra példa az azonos munkaállomáson dolgozó erőforrások közötti kapcsolati háló. Alkalmazásának célja, hogy feltárjuk az üzleti folytonosságot, azaz az elfogadható minőségű folyamatos üzemelést befolyásoló faktorok, pl. a helyettesíthetőség és a kapacitáspótlás gyenge pontjait, a rendszer korlátait, kockázatait.

*Az erőforrás csúcs - preferencia él* hálózatokra jó példa a 360 fokos teljesítményértékelés hálózatos megközelítése. Ebben a modellben a csúcsok a munkatársak, míg a közöttük lévő élek az egymásról alkotott véleményüket reprezentálják. Kombinálva ezt az önértékeléssel (hurokél) és az elvárt teljesítmény szinttel, összehasonlítható a célérték, az önkép és a mások által tapasztalt teljesítmény érték közötti eltérés. [14]

*A kompetencia csúcs - áramlás él* típusú hálózattal modellezhető pl. a szerepek, mint kompetencia körök közötti információ-áramlási kapcsolat. Ennek célja, hogy feltárjuk az információáramlás redundanciáit és hiányosságait. Példát a gyakorlatban erre a különböző hierarchikus indikátor rendszerekben (pl. Balanced Scorecard, SixSigma Business Process Management System) találunk, ahol az alapadatokból magasabb szintű mutatószámok, majd ezekből riportok készülnek. A rendszer hálózati modellezésével áttekinthetővé válik a struktúra, ezzel könnyebbé válik annak biztosítása, hogy valamennyi információ megjelenjen benne, ugyanakkor elkerüljük a fölösleges ismétléseket.

*A kompetencia csúcs – attribútum él* háló az azonos kompetenciákkal rendelkező entitások közötti kapcsolatot ábrázolja. A csúcsok lehetnek pl. a munkakörök, mint tudáshalmazok. A hálózat a munkakörök racionalizálásánál (összevonás, szétválasztás, feladat átcsoportosítás) használható fel. [14]

*A kompetencia csúcs – preferencia él* hálózatban az azonos humán erőforrások által birtokolt kompetenciák között lehet kapcsolat. Ezzel a modellel feltárható, hogy milyen kompetencia kombinációk a jellemzők a szervezetben, illetve ha valakit fejleszteni szeretnénk egy adott témakörben, milyen egyéb témákban jártas munkatársat érdemes keresni a feladatra. A hálózat egy továbbfejlesztett változata alkalmas arra is, hogy segítségével a tudásvesztés kockázatát értékeljük. Ezt a lehetőséget röviden az [5.5.1 fejezetben] mutatjuk be.

### 3.4 A fejezethez kapcsolódó tézis

**Tézis 1: Kidolgoztam a minőségfejlesztés területén azonosítható komplex rendszerek modellezésére alkalmas hálózatok új csoportosi módszerét, majd validáltam a csoportosítás alkalmazhatóságát konkrét példák bemutatásán keresztül.**

- a) Definiáltam az áramlás, az attribútum és a preferencia jellegű éltípusokat az irányítottág, az élsúly, az előjel, a hurok, a soros és párhuzamos kapcsoltság, valamint az összefüggő alcsoportok értelmezésén keresztül. Meghatároztam az esemény, az erőforrás és a kompetencia típusú csúcsok tulajdonságait.

Kapcsolódó fejezetek: 3.1, 3.2

Kapcsolódó saját publikációk: [14], [18].

- b) Az él- és csúcstípusok valamennyi lehetséges kombinációjára megadtam néhány alkalmazási példát a minőségfejlesztés területéről, a gyakorlati felhasználhatóság szem előtt tartásával.

Kapcsolódó fejezetek: 3.3

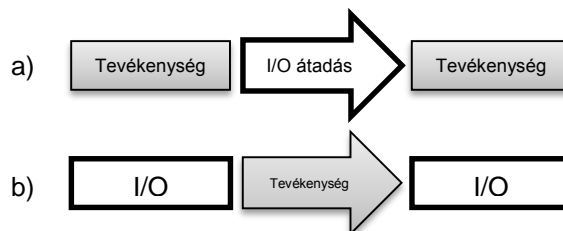
Kapcsolódó saját publikációk: [14], [18].

## 4 A folyamatok modellezése hálózatokkal

Ebben a fejezetben párhuzamot vonunk a folyamatok leírására hagyományosan használt megközelítések és a hálózati jellemzők között. A [4.1] [4.2] és [4.3] fejezetekben ismertetjük a gyakorlatban elterjedt folyamatmodellezési módszereket. A [4.4 fejezetben] jellemezzük a folyamatok modellezésére alkalmas komplex hálózatokat. A [4.5 fejezetben] hálózati jellemzők segítségével meghatározzuk az alapvető folyamatjellemzőket. A [4.6 fejezetben] bemutatjuk, hogy a Lean szerint értelmezett folyamatveszteségek hogyan azonosíthatók és számíthatók a folyamathálóok segítségével. A [4.7 fejezetben] bemutatjuk, hogyan lehet a Teljes Eszközhatékonyságot (OEE) becsülni hálózati indikátorokkal. Végül a [4.8 fejezetben] definiáljuk a folyamatok modellezésére alkalmas hálózati modellt.

### 4.1 A gyakorlatban elterjedt folyamatmodell típusok

A folyamatok ábrázolásának és modellezésének számos különböző módja terjedt el a gyakorlatban. Minden általunk ismert módszer besorolható két típusba, a folyamatlépések és a közöttük lévő nyilak jelentése szerint. Ez alapján megkülönböztetjük a *tevékenység–a–csúcsban* (Activity-on-Nod, AoN) és a *tevékenység-a-nyílon* (Activity-on-Arrow, AoA) ábrázolási módot. [8. ábra]

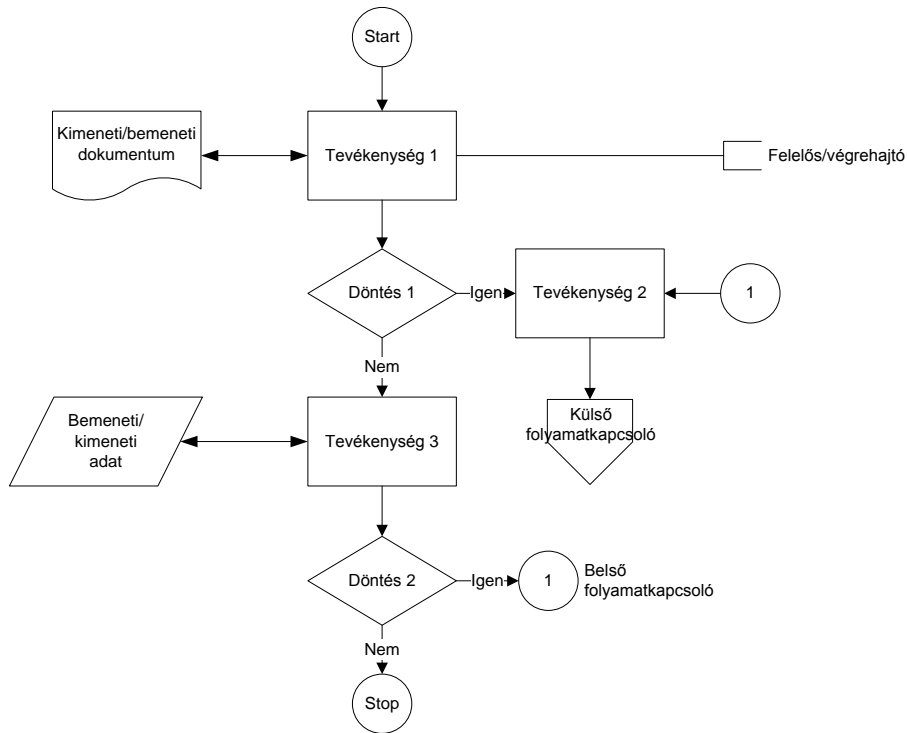


**8. ábra: a) AoN és b) AoA típusú folyamatábrázolás. Forrás: saját munka.**

Az AoN esetében a folyamatlépésekben a végrehajtott tevékenységeket rögzítjük, míg a nyilak a tevékenységekben előállított kimeneteket (output), illetve a tevékenységekhez felhasznált bemeneteket (input) jelzik. Ez utóbbiak nem csak anyag-, hanem információ- vagy értékáramlást is prezentálhatnak. [10] Az AoN módszert alkalmazza a legtöbb, az üzleti folyamatok ábrázolására használt folyamatmodell típus, amelyek legelterjedtebb reprezentánsai a flow-chart [10. ábra] és a keresztfunkcionális diagram [10. ábra].

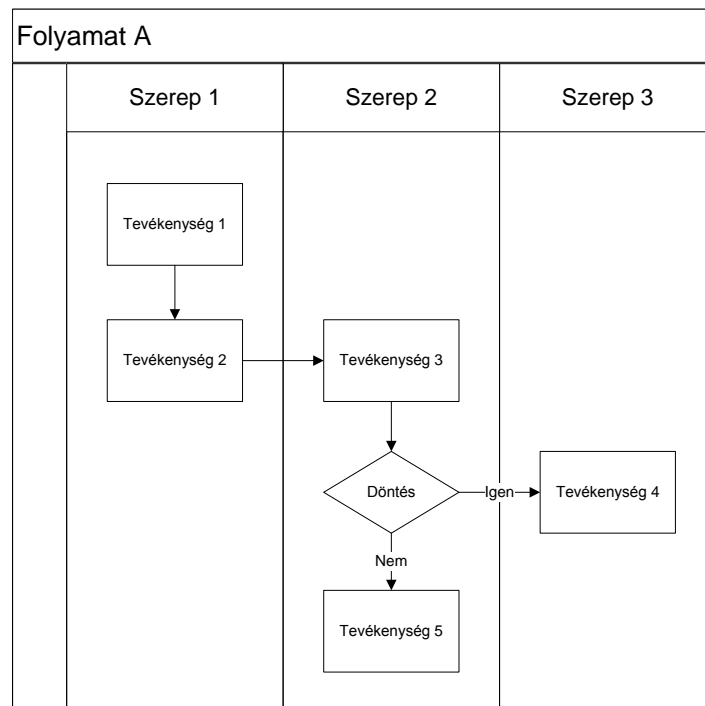
A flow-chart alapobjektumai a tevékenység, a döntési pont, a start-stop események, a számozott belső és a kapcsolódó folyamat nevét tartalmazó külső folyamatkapcsolók, az ezeket összekötő, a folyamat végrehajtásának irányát és a logikai kapcsolatokat mutató nyilak, a felhasznált és előállított dokumentumok, valamint a végrehajtó-felelős erőforrások





**9. ábra: Flow-chart folyamatára. Forrás: saját munka.**

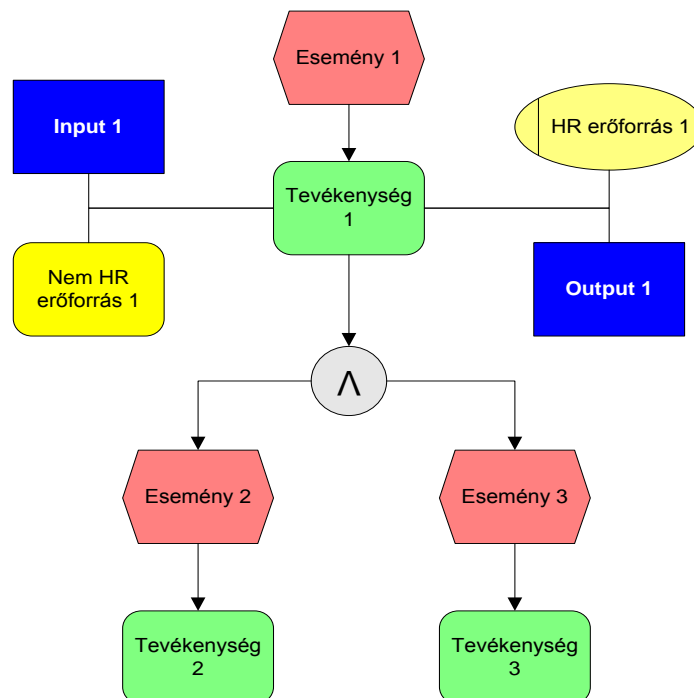
Széles körben alkalmazott modell típus a keresztfunkcionális (Cross-functional) diagram, amelyet neveznek úszósávos (Swim-lane) diagramnak is. Grafikus objektumkészlete megegyezik a flow-chart-éval, azzal a különbséggel, hogy a tevékenységek a végrehajtó szerepkörtől függően különböző oszlopokba (úszósávokba) kerülnek. Áttekinthetősége és olvasása egyszerűbb, mint a flow-chart-é, ráadásul azonnal láthatóvá teszi a szereplők közötti átadási pontokat, amelyek több szempontból a folyamatok Achilles-sarkai lehetnek



**10. ábra: Keresztfunkcionális folyamatára. Forrás: saját munka.**

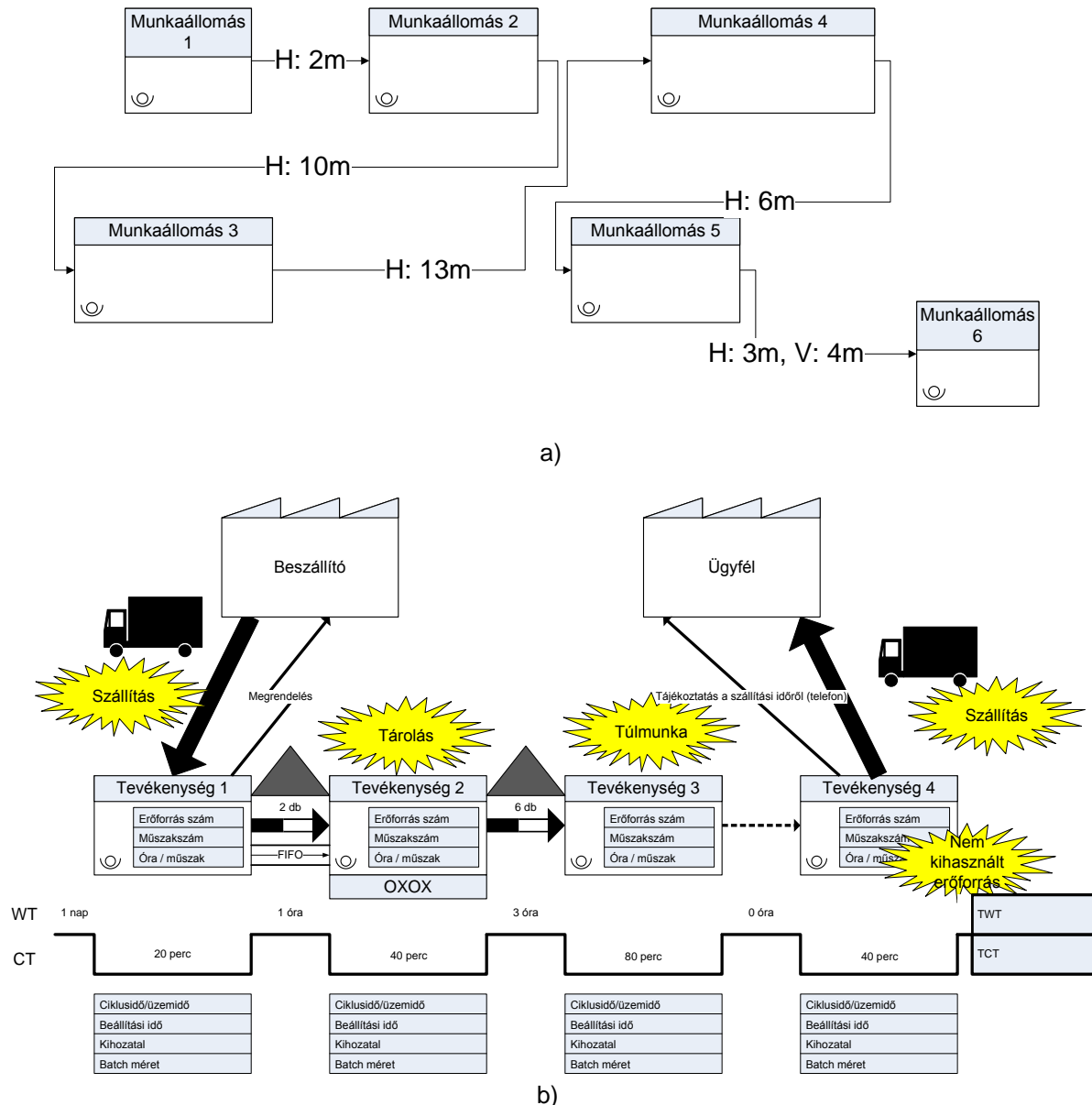
Az AoA típusban a tevékenységek a bemenetek és a kimenetek (együttesen I/O) különböző állapotait kötik össze. A hálózati modellezés jellege és a levonható következtetések itt eltérnek az AoN típusúhoz képest. Ezeket a modelleket elsősorban olyan esetekben alkalmazzák, amikor a hangsúly a folyamatban feldolgozott tételek állapotváltozásán van. Ha pl. bizonyos állapotok nemkívánatosak, a modellből könnyen azonosítható, hogy milyen útvonalon kell a tételt végigvezetni ezek elkerüléséhez.

Léteznek olyan modelltípusok, mint pl. az eseményvezérelt folyamatlánc (Event driven Process Chain, EPC), amelyben az események felhasználhatók az I/O állapot megjelenítésére, az események közötti folyamatlépésekbe pedig az állapotváltozást előidéző tevékenységeket írjuk. Azaz itt két, hasonló funkciójú objektum típust használunk az I/O állapotot reprezentáló események és a tevékenységek rögzítésére, a nyilak pedig az ezek közötti logikai kapcsolatokat jelzik. A tevékenységek mellett külön objektumban jelennek meg a kimenetek és a bemenetek (adatok, dokumentumok, anyagok), valamint a humán és technikai erőforrások [11. ábra]. [44]



**11. ábra: Eseményvezérelt folyamatlánc (Event driven Process Chain, EPC). Forrás: saját munka.**

Két további, speciális felhasználású, az AoN családnhoz tartozó modell típust találunk a Lean elvek szerinti működést megvalósító szervezeteknél. A spagetti diagramnak nevezett folyamatábrára egy munkahely valós alaprajza szerint helyezi el az ábrázolási felületen a tevékenységek végrehajtásának helyszíneit, azaz a munkaállomásokat, majd ezek között nyilakkal jelöli a feldolgozott egységek áramlási útvonalát. Ennek egyik célja, hogy megmutassa, mekkora mozgatási veszteséggel rendelkezik az adott folyamat [12. ábra a)]. Az értékáram térképnek (Value Stream Map, VSM) nevezett modell típus elsődleges célja a ciklusidő és a várakozási idő, mint értékteremtő- és veszteségidők bemutatása. Segítségével, valamint az ún. ütemidő (Takt time) felhasználásával a folyamat szintezése, azaz a folyamatos áramlás biztosítása történhet meg. Megszokott még, hogy a folyamatveszteségeket is külön megjelölik az egyes tevékenységeknél [12. ábra b)]. [30]



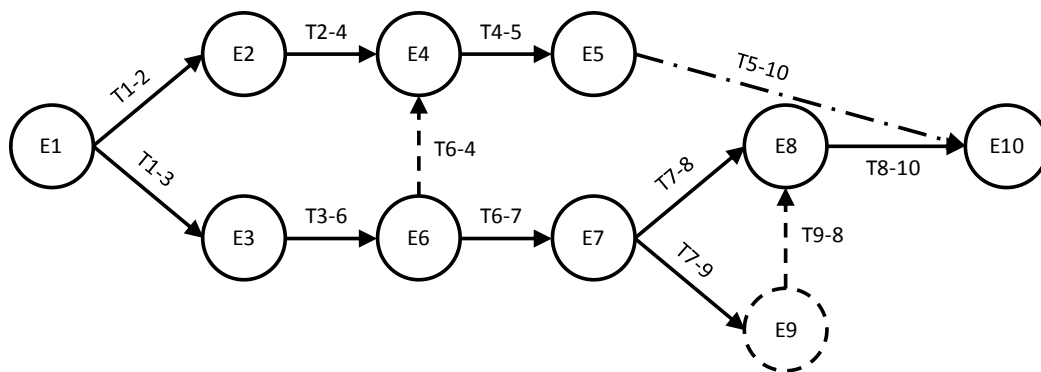
12. ábra: a) Spagetti diagram és b) értékáram térkép. Forrás: saját munka.

A valóságban használt folyamatábrák számos, a fentieket kiegészítő egyéb objektumot is tartalmaznak (mint pl. döntési pontok, dokumentáció, informatikai eszközök), de ezek lényegi különbséget nem jelentenek a folyamatok hálózatos modellezésében, ezért ezek további részletezésével nem foglalkozunk.

#### 4.2 Projektfolyamatok modellezése hálós diagramokkal

Elsősorban a projektfolyamatokat szokás hálós diagramokkal is modellezni. Ennek lényege, hogy a tevékenységeket vagy eseményeket csúcsként, míg a közöttük lévő kapcsolatokat élként ábrázoljuk. Igen sok különböző megoldást dolgoztak ki, amelyek a csúcok és az élek értelmezésében térnek el egymástól.

A Kritikus Út Módszer (Critical Path Method, CPM) nevű modellezési megközelítésben a csúcok az események, pl. a feldolgozott tételek állapota, az élek pedig az állapotváltozást eredményező tevékenységek. Az él súlya a tevékenység végrehajtásához szükséges idővel arányos. [13. ábra]



13. ábra: CPM modell. Forrás: saját munka.

A CPM modell objektumait a [

4. táblázat] tartalmazza.

Típus	Altípus	Jelölés	Jelentése		
			Időszükséglet	Erőforrás szükséglet	Logikai kapcsolat
Esemény	Valós esemény	○	NEM	NEM	IGEN
	Látszat esemény	○	NEM	NEM	IGEN
Tevékenység	Valódi tevékenység	→	IGEN	IGEN	IGEN
	Technikai szünet	- - →	IGEN	NEM	IGEN
	Látszattevékenység	- - - - →	NEM	NEM	IGEN

4. táblázat: A CPM modell objektumai. Forrás: saját munka.

A CPM modell elsődleges felhasználása a kritikus út azonosítása és a tartalékidők meghatározása. [32]

Az MPM (METRA Potential's Method) módszer alkalmazása sokban hasonlít a CPM-éhez. Lényeges különbség azonban, hogy itt a tevékenységek kerülnek a gráf csúcspontjaiba, míg a közöttük lévő élek a függőségi-logikai kapcsolatokat jelölik. Az élek súlya a tevékenységek között eltelt idővel egyenlő. Ezt megadhatjuk egy maximális és egy minimális értékkel is. A minimális érték azt mutatja meg, hogy a két szomszédos tevékenység elkezdése között legalább mennyi időnek kell eltelnie. A maximális idő azt mutatja meg, hogy legfeljebb mennyi idő telhet el a két tevékenység megkezdése között.

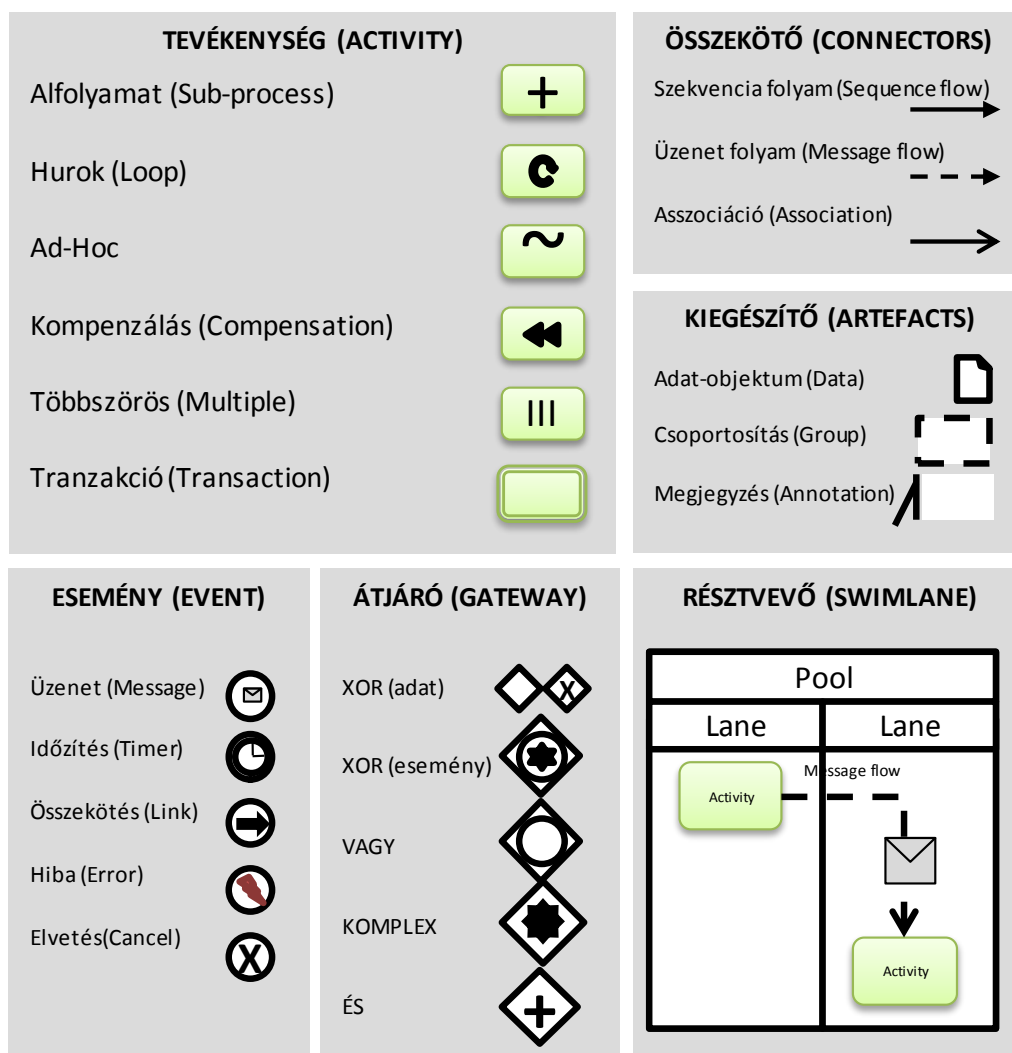
#### 4.3 Standard folyamatmodellezési módszertan

A modellezési nyelv egységesítését célzó törekvések hívták életre Business Process Modeling Notation (BPMN) szabványt, amely az üzleti folyamatok – elsősorban technikai, informatikai célú - modellezésének széles körben elismert sztenderdje. Célja, hogy olyan egységes leíró nyelvet biztosítson a folyamatok modellezéséhez, amelyet az üzleti oldal és az informatikusok is egyaránt megértenek, áthidalva az üzleti és az informatikai gondolkodás és modellezés közötti távolságot. [33]

A BPMN első kiadott verziója az alábbi alapvető objektum típusokkal írja le a folyamatot:

- 1) Tevékenység:
  - a) AI-folyamat: egy tevékenység-csoportot jelöl,

- b) Hurok: ismétlődő tevékenység,
  - c) Ad-Hoc: esetlegesen végrehajtott, folyamatba nem illeszthető tevékenység,
  - d) Kompenzálás: a megelőző tevékenység javítását célzó tevékenység,
  - e) Többszörös: párhuzamosan vagy sorosan, többször elvégzett tevékenység,
  - f) Tranzakció: szorosan összetartozó, egymás után végrehajtandó tevékenységek
- 2) Esemény:
- a) Üzenet: a tevékenység indítása egy üzenet megérkezését feltételezi, vagy a tevékenység eredménye egy üzenet elküldése.
  - b) Időzítés: megadott időpontban elindított események, két tevékenység között eltelő várakozási idő.
  - c) Összekötés: két, a modellben egymástól távol lévő folyamatszakaszt vagy folyamatot köt össze.
  - d) Hiba: tipikus hiba, probléma megjelenési helye.
  - e) Elvetés: egy tranzakció törlése vagy a törlési folyamat indítása.
- 3) Összekötő:
- a) Szekvencia folyam: a tevékenységek végrehajtásának logikai sorrendjét jelzi.
  - b) Üzenet folyam: két tevékenység (és a végrehajtója, lásd pool-ok és lane-ek) közötti üzenetátadást jelzi.
  - c) Asszociáció: szöveges vagy grafikus magyarázó információk kötése a folyamatobjektumokhoz.
- 4) Résztevő (erőforrás):
- a) A Pool és a Lane objektumok szervezeti egységeket, funkciókat, szerepeket vagy IT rendszereket jelölnek.
  - b) A sávok között mindig feladat átadás van, ezért csak message flow típusú objektummal köthetők össze.
- 5) Átjáró:
- a) XOR (adat): kizáró vagy, adatok alapján meghozott exkluzív döntés vagy egyesítés.
  - b) XOR (esemény): kizáró vagy, események alapján meghozott exkluzív döntés vagy egyesítés.
  - c) VAGY: adat alapú inkluzív döntés vagy egyesítés, a folytatás lehet csak az egyik vagy mindegyik ágon.
  - d) KOMPLEX: komplex feltétel, alapfeltételek kombinációja.
  - e) ÉS: párhuzamos elágaztatás vagy egyesítés.
- 6) Kiegészítő:
- a) Adat-objektum: a kiváltandó eseményekre és azok eredményére vonatkozó információ.
  - b) Csoportosítás: tevékenységek valamilyen szempontú (pl. Tranzakció) csoportosítása.
  - c) Megjegyzés: a modell olvasását megkönnyítő információ. [14. ábra]



14. ábra: BPMN objektumkészlet. Forrás: saját munka.

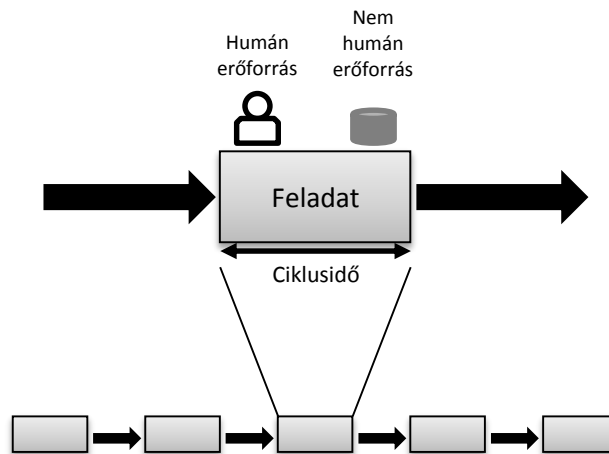
A BPMN 2.0 további objektumokkal és modellezési konvenciókkal egészítette ki a meglévő eszköztárat. Ezek közül a gyakorlat szempontjából a leglényegesebbek:

- 7) Társalgás (conversation): logikailag összekapcsolható üzenetváltások.
- 8) Koreográfia (choreography): több szereplő közös munkája.
- 9) Adattároló (data store): az adatok olvasásának vagy írásának helye.

Emellett a BPMN 2.0 bevezeti a tevékenység típus fogalmát, amellyel megkülönböztethetjük egymástól az üzenetet küldő és fogadó valamint az ügyféltevékenységeket, vagy a manuális és automatikusan végrehajtott feladatokat.

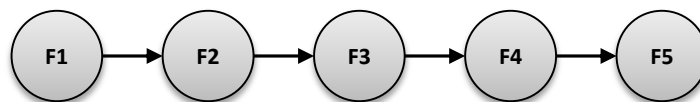
#### 4.4 A folyamatok modellezésére használható folyamatháló típusok definiálása

A bemutatott folyamatmodellezési módszerek sajátosságai alapján, a folyamatok és a hálózatok, illetve az ezek modellezéséhez felhasznált gráfok közötti hasonlóság bizonyításához megvizsgáljuk, hogy az egyes folyamat objektumok és folyamatjellemzők milyen folyamathálóval kezelhetők. Kiindulásként vegyük az üzleti gyakorlatban leginkább elterjedt AoN folyamattípus legkisebb elemét, a tevékenységet. Tekintsük tevékenységnek azt a feladatot, amelyet a **bemenetek** felhasználásával egy **humán erőforrás**, egy adott **nem humán erőforrás** (gép, berendezés, szoftver) segítségével, **megszakítás nélkül**, egy adott ciklusidő alatt elvégez, az adott **kimenetek** előállítására érdekében. [15. ábra]



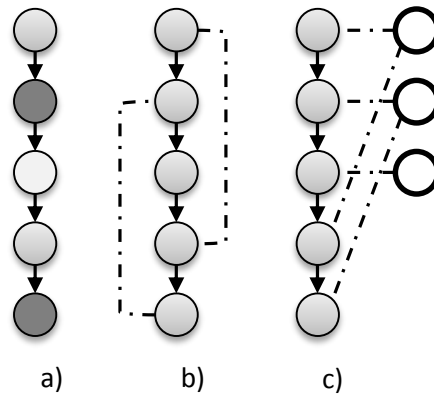
15. ábra: A folyamat alapegysége, a tevékenység. Forrás: saját munka.

Legyen az elvégzett feladat a hálózat csúcsa. Ebben az esetben a bemenetek és a kimenetek a szomszédos csúcsok közötti élek szerepét töltik be. A ciklusidő és a felhasznált humán és nem humán erőforrások a csúcsra jellemző információk, amelyeket a csúcsok csoportosítására és a hálózatban betöltött szerepük értelmezésére használunk a későbbiekben részletezett módon. Ezek alapján egy lineáris, visszacsatolás nélküli folyamat információvesztés nélkül modellezhető egy egyszerű (hurokél és többszörös él nélküli) irányított gráffal, amit a továbbiakban **tevékenység-háló**nak nevezünk. [16. ábra]



16. ábra: Lineáris, visszacsatolás nélküli folyamat modellezése tevékenység-hálóval. Forrás: saját munka.

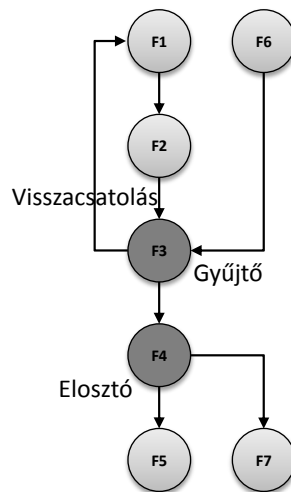
A **tevékenység-háló**ban a csúcsok csoportosíthatók az azonos humán erőforrások szerint, így megkapjuk azoknak a feladatoknak az alhálózatát, amelyeket ugyanazon erőforrás végez el. Hasonló módon kapjuk a nem humán erőforrások szerinti csoportokat. A csoportokat többféleképpen vizualizálhatjuk. A legegyszerűbb esetben azonos jelöléssel (pl. színnel) látjuk el az összetartozó csúcsokat, amely jól láthatóvá teszi a csoportokat, de a csoportok nagyságát csak a csúcsok megszámlálásával tudjuk meghatározni. Bevezethetünk egy új típusú, nem irányított élt is, amely teljes gráfokat hoz létre az azonos erőforrással rendelkező csúcsok esetében. Ezzel egy hálózati jellemzővel, jelesül a fokszámmal is megadható egy csoport mérete. A harmadik esetben egy bimodális gráfot kell létrehozunk, amelyben az egyik típusú csúcs a feladat, míg a másik az erőforrás, közöttük nem irányított élekkel. Az erőforrások között nincs él, azonban a feladatok között továbbra is megmaradhatnak az I/O kapcsolatokat reprezentáló irányított élek. Egy csoport mérete az erőforrás típusú csúcs fokszámával egyenlő. [17. ábra]



**17. ábra: Azonos erőforrások szerinti alcsoportok vizualizálása: a) színekkel, b) új típusú éllel, c) új típusú csúccsal és éllel. Forrás: saját munka.**

Ha a csúcsokon nem a tevékenységeket, hanem a végrehajtó erőforrásokat jelenítjük meg, **erőforrás-hálóról** beszélünk. Ezzel egy-egy tevékenység annyiszor jelenik meg a gráfban, ahány erőforrás azon párhuzamosan dolgozik. Az élek szerepe hasonló a tevékenység-hálóéhoz.

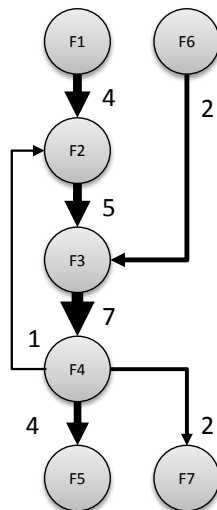
A gyakorlatban sok esetben találkozunk olyan folyamatokkal, amelyekben elágazások, visszacsatolások vannak. Ezek a gráfokban köröket hoznak létre. A visszacsatolás kezdő- és végpontjának fokszáma növekszik, létrehozva így az ún. hub-okat, amelyek a hálózat összetartásáért felelős, sok kapcsolattal rendelkező csúcsok. Hasonló hatással van a gráfra, amennyiben párhuzamos ágak is vannak a folyamatban. Ez esetben akkor kapunk egy új kört, ha az elágazás kezdő- és végpontja is a folyamatban van. Ha a párhuzamos ágakat több, egymástól független folyamatindítás vagy – befejezés okozza, a fokszám növekedés csak a gyűjtő (több bemenő, mint kimenő él) vagy elosztó (kevesebb bemenő, mint kimenő él) csúcsokban jelentkezik. [18. ábra]



**18. ábra: Elágazások a folyamatban: a visszacsatolás és a párhuzamos ágak jelölése gráfban. Forrás: saját munka.**

A többször lefutó folyamatok ismétlődő tevékenységekből állnak. Ennek jelölésére a gráfban a többszörös éleket, vagy az élsúlyokat használhatjuk. Nagy lefutásszámú folyamatok esetében a többszörös élek alkalmazása nem célszerű, érdemes a darabszámot élsúllyal jelölni. A gráfban ez az élek mellé írt értékkel, vagy az él vastagságával ábrázolható. [19. ábra]





19. ábra: A lefutásszám jelölése a gráfban. Forrás: saját munka.

Amennyiben minden folyamatlefutásnál valamennyi élen csak egységnyi bemenet és kimenet áramlik, az elágazásoknál az élek alternatív utakat jelölnek, azaz XOR (kizárólagos vagy) kapcsolattal rendelkeznek, valamint a bemenetek és a kimenetek között nincs különbség az élsúlyban, a folyamatot modellező gráfban bármelyik köztes, azaz nem kezdő és befejező csúcsra igaz, hogy

$$6. \text{ egyenlet: } K_{be} = \sum_{i=1}^{n-v} E_{be_i} = K_{ki} = \sum_{i=1}^{n-v} E_{ki_i} \text{ [db]}$$

ahol  $K_{be}$  a befokszám,  $E_{be}$  a bemenő él,  $K_{ki}$  a kifokszám,  $E_{ki}$  a kimenő él,  $n$  a csúcsok száma,  $v$  a kezdő és befejező csúcsok száma. Ez alapján a befokszám (a bemenő élek száma) megegyezik a kifokszámmal (kimenő élek száma), a nem kezdő és befejező csúcsok alkotta alhálózat esetén.

A gyakorlatban az ellátási nehézségek vagy a minőségi problémák miatt szükség lehet a bemenetek és a kimenetek fontosságának megkülönböztetésére. Erre is felhasználhatjuk az élsúlyt. Ez esetben a befokszámot és a kifokszámot az élek fontosságával súlyozott darabszámmal számíthatjuk ki.

$$7. \text{ egyenlet: } K_{be_i} = \sum_{i=1}^n I_{be_i} E_{be_i} \text{ [db]}$$

$$8. \text{ egyenlet: } K_{ki_i} = \sum_{i=1}^n I_{ki_i} E_{ki_i} \text{ [db]}$$

ahol  $I_{be}$  a bemenet súlya,  $I_{ki}$  a kimenet súlya. Amennyiben úgy határozzuk meg a súlyokat egy tevékenységénél, hogy azok összege mind a bemenetnél, mind a kimenetnél azonos érték legyen, továbbra is igaz lesz, hogy  $K_{be}=K_{ki}$ . Ezt csak abban az esetben érdemes alkalmazni, ha a súlyokkal csak az ugyanazon tevékenységhez tartozó élek közötti különbséget akarjuk jelezni, mert így lemondunk arról a lehetőségről, hogy a különböző tevékenységekhez tartozó élek egymáshoz viszonyított fontosságát is ezzel jelöljük.

Ha a párhuzamos élek között OR vagy AND kapcsolat van, a fenti összefüggések csak akkor igazak, ha a több inputból összeállított output, vagy a több kimenet előállításához felhasznált bemenet fokszámra gyakorolt hatásánál figyelembe vesszük az egységszám változást. Erre egy megoldási lehetőség, ha egy két bemenet – egy kimenet relációban az inputok súlyszámának összege és az output súlyszáma egyenlő.

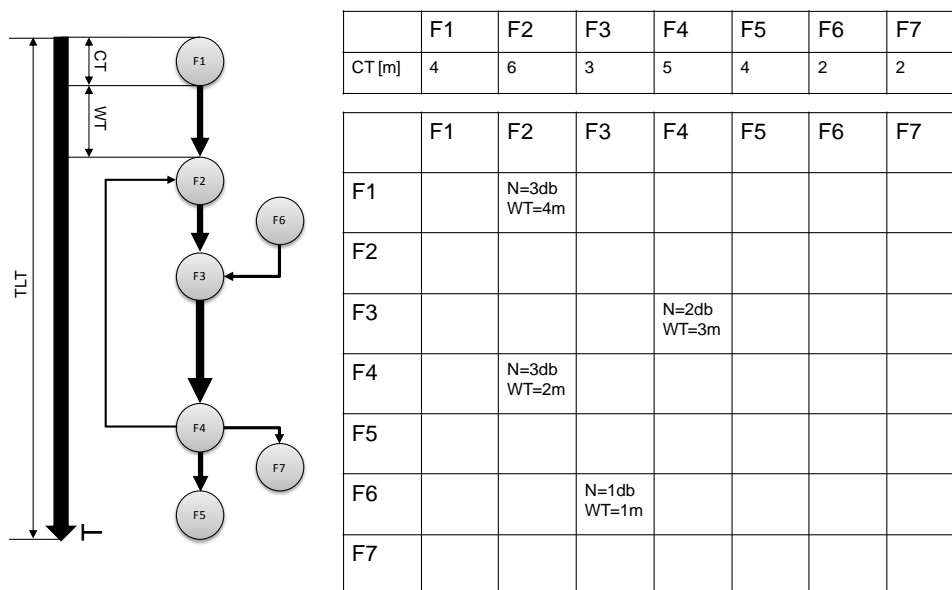
#### 4.5 A folyamatok alapvető jellemzőinek meghatározása hálózati jellemzőkkel

A folyamatok alapjellemezői azok az idő, minőség és költség típusú mutatók, amelyeket leggyakrabban használnak a folyamat teljesítményének mérésére. Ezek közül a továbbiakban elsősorban azokkal foglalkozunk, amelyek a Lean veszteségek elemzéséhez is felhasználhatók. Célunk, hogy kidolgozzuk és bemutassuk a hálózati jellemzők segítségével meghatározható folyamat-indikátorok hierarchikus

rendszerét. Ezt követően megvizsgáljuk, hogy a kapott indikátorok hogyan használhatók a Teljes Eszközhatékonyság (Overall Equipment Effectiveness, OEE) becslésére.

#### 4.5.1 A folyamat kiegyensúlyozottsága

A Lean rendszerek egyik alapja a folyamat kiszíntezésével a folyamatos feldolgozás és az egydarabos áramlás biztosítása, az improduktív várakozási idők minimalizálásával. Ezzel összhangban egy másik megközelítés, a kényszerek vagy korlátok elmélete (Theory of Constraints, TOC) szerint a folyamat javításának kulcsa, ha megkeressük és megszüntetjük az optimális teljesítmény útjában álló legfontosabb akadályt, esetünkben a kapacitásminimummal rendelkező tevékenységet, azaz a folyamat szűk keresztmetszetét. [91] Mindkét esetben szükségünk van a folyamatok idő dimenziójú jellemzőinek ismeretére. A ciklusidőt korábban a tevékenységek attribútumaként jellemeztük. Ez a feldolgozott egységen végzett munka időigénye. Előfordulhat, hogy egy tevékenység befejezése és a következő tevékenység elkezdése időben nem közvetlenül követik egymást, így a két lépés között a tételnek várakoznia kell. Ezt a várakozási időt az él attribútumaként is megadhatjuk. Jelölése a gráfban az él mellé írt számmal, illetve az él hosszúságával vagy vastagságával történhet. A várakozási időt a várakozó egységek számával, az ún. köztes tároló átlagos nagyságával is helyettesíthetjük. A folyamat teljes átfutási ideje (Total Lead Time, TLT) a ciklusidők és a várakozási idők összege. A gráf áttekinthetősége érdekében a várakozási időt és a köztes tároló méretét ez esetben egy mátrixban rögzítjük, valamint egy időtengely mentén jelölünk egy-egy példát az idő dimenziójú jellemzőkre. [20. ábra]



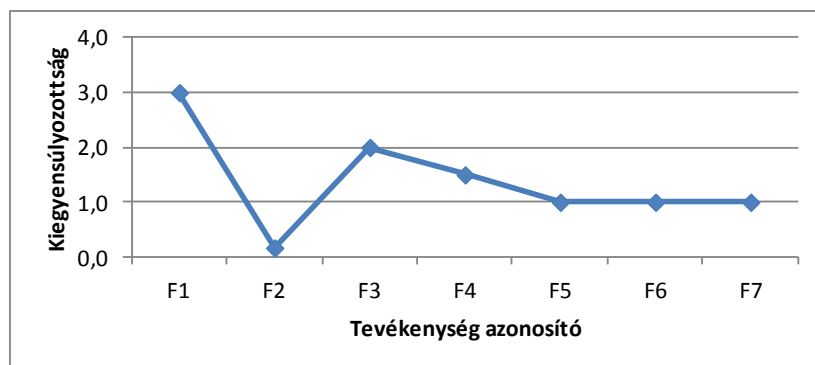
20. ábra: A ciklusidő, a várakozási idő és a köztes tároló méretének jelölése gráfban és mátrixban. Forrás: saját munka.

A várakozási idő és a köztes tároló mérete a folyamat szűk keresztmetszetét mutatja meg. Amely mátrix oszlopban nullától eltérő számot látunk, azelőtt a lépés előtt feltorlódnak a feldolgozandó egységek, a mátrixpont sorában lévő tevékenység pedig túltermel. Amennyiben az él súlyát a várakozási idő [9. egyenlet: ] vagy a köztes tároló mérete [10. egyenlet: ] alapján határozzuk meg, egy tevékenység kiegyensúlyozottsága meghatározható a csúcsok fokszáma segítségével, a súlyozott kifokszám és a súlyozott befokszám hányadosával.

$$9. \text{ egyenlet: } \sigma = \frac{K_{kiWT}}{K_{beWT}} = \frac{\sum_{j=1}^m WT_{ki_j} E_{ki_j}}{\sum_{l=1}^z WT_{be_l} E_{be_l}}$$

$$10. \text{ egyenlet: } \sigma = \frac{K_{kiN}}{K_{beN}} = \frac{\sum_{j=1}^m N_{ki_j} E_{ki_j}}{\sum_{l=1}^z N_{be_l} E_{be_l}}$$

ahol  $\sigma$  a csúcs kiegyensúlyozottsága, azaz a hozzá tartozó várakozási idők értékeivel ( $WT$ ) vagy a köztes tárolók darabszámaival ( $N$ ) súlyozott fokszám-hányadosa,  $WT_{ki}$  a csúcst követő várakozási idő,  $N_{ki}$  pozitív egész szám a csúcst követő köztes tároló mennyisége, azaz az  $E_{ki}$  kimenő él súlya,  $WT_{be}$  a csúcst megelőző várakozási idő,  $N_{be}$  pozitív egész szám a csúcst megelőző köztes tároló mennyisége, azaz az  $E_{be}$  bemenő él súlya. Ha  $\sigma < 1$ , a csúcs egy szűk keresztmetszet, ha  $\sigma = 1$ , a csúcs kiegyensúlyozott, ha  $\sigma > 1$ , a csúcs túltermel. A nullával való osztás elkerülése érdekében a köztes tárolók minimális értéke 1. Noha a köztes tárolók a folyamat kiegyensúlyozatlanságára, így veszteségre utalnak, a gyakorlatban megengedett egy minimális készlet, ezért a nulla értékek lecserélése egyre nem rontja a hányados felhasználhatóságát. Meghatározva a  $\sigma$  hányadost valamennyi csúcstra látjuk, hogy a folyamat szűk keresztmetszete az F2 lépés [21. ábra]. Az F1 és F6 esetében ismerni kell a folyamat előtt álló feldolgozandó készletet illetve várakozási időt, azaz a folyamattal szembeni igényt, míg F5 és F7 záró lépések esetében a kimeneti raktárkészlet mennyiségének illetve a tételek várakozási idejének ismerete szükséges, hogy a kiegyensúlyozottságot vizsgálni tudjuk.



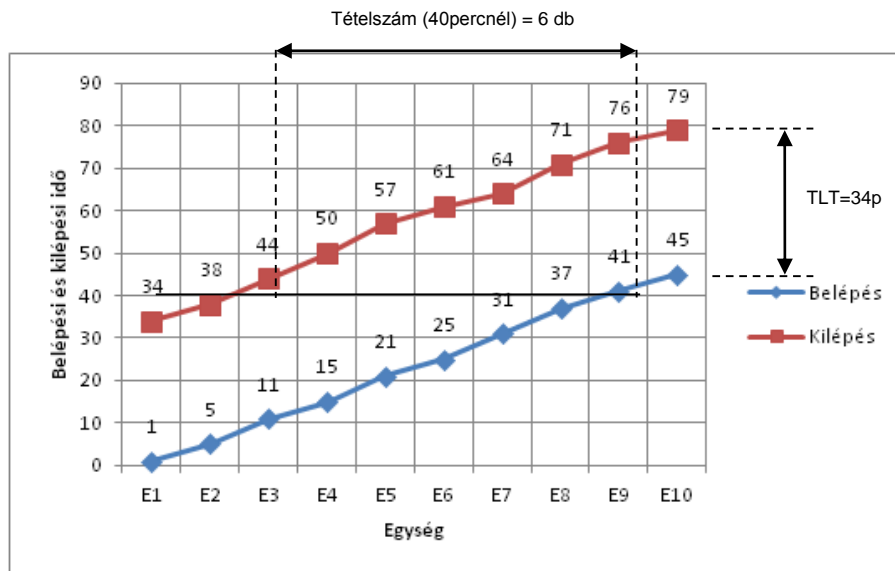
**21. ábra: A folyamat kiegyensúlyozottságát jelző  $\sigma$  fokszámhányados értéke (Y) az egyes csúcsok esetében (X). Az ordinátán jelölt mennyiség nem folytonos, a pontok összekötése csak demonstrációs célokat szolgál. Forrás: saját munka.**

A folyamat kezdő- és záró lépéseinek ezen adatai felhasználhatók a folyamat szintű kiegyensúlyozottság meghatározására is úgy, hogy a vizsgált entitásnak a folyamatot vesszük. Ennek másik lehetősége, ha a folyamat tevékenységeinek kiegyensúlyozottságát összegezzük valamilyen statisztikával, pl. a  $\sigma_n$  értékek mértani közepével.

$$11. \text{ egyenlet: } \sigma = \sqrt[n]{\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_n}$$

#### 4.5.2 Az átfutási idő

A ciklusidő és a várakozási idő, illetve az ezeket meghatározó belépési és kilépési időpontok ismeretében a teljes átfutási idő és az egy adott pillanatban valamely tevékenységben feldolgozás alatt lévő vagy várakozó egységek száma is megadható. A [22. ábra] az egységek belépési és kilépési időpontját mutatja be percben. A belépési időpont az első tevékenység elkezdésével, míg a kilépési időpont az utolsó tevékenység befejezésével egyezik meg.



**22. ábra: Az egységek feldolgozási átfutási idejének és a feldolgozás alatt lévő tételek számának meghatározása a belépési és kilépési időpontok ismeretében. Forrás: saját munka.**

A Lean folyamatok jellemzője a lehető legrövidebb átfutási-, azaz ügyfél kiszolgálási idő. A [22. ábra] példájában a vizsgált  $E10 \equiv \mathcal{E}10$ -es tétel (a továbbiakban az egyértelműség érdekében a tételeket az  $E$  helyett az  $\mathcal{E}$  karakter azonosítja) átfutási ideje 34 perc, amely a belépési és a kilépési pont közötti  $Y$  irányú távolság. Ez tartalmazza az összes ciklus- és várakozási időt. A ciklusidő az egységen végzett tevékenységek ciklusidejeinek összege ( $\sum_{i=1}^7 CT_i$ ). A várakozási idő a 20. ábrán bemutatott mátrixból, a sorok és az oszlopok összegzésével, azaz a súlyozott befokszám ( $\sum_{j=1}^7 WT_{be_j} E_{be_j}$ ) és kifokszám ( $\sum_{j=1}^7 WT_{ki_j} E_{ki_j}$ ) összegéből számítható, amennyiben a mátrixpontokban az él súlyának megfelelően a várakozási idő és az élszám szorzatát adjuk meg. Ezek alapján az átfutási idő az  $\mathcal{E}10$ -es tételre a fenti folyamatban az alábbi összefüggéssel számítható:

$$12. \text{ egyenlet: } TLT_{\mathcal{E}10} = \sum_{i=1}^7 CT_i + \frac{\sum_{j=1}^7 WT_{be_j} E_{be_j} + \sum_{j=1}^7 WT_{ki_j} E_{ki_j}}{2} \text{ [perc]}$$

ahol  $WT$  a várakozási idő. Minden él kimenete egy tevékenységnek és egyben bemenete egy másiknak, azaz az összegben kétszer vesszük figyelembe, ezért szükséges a kapott érték felezése. A [12. egyenlet] akkor igaz, ha az egység minden tevékenységen, azaz csúcson és minden I/O kapcsolaton, azaz élen csak egyszer halad át. Ha a folyamatban elágazások vannak, amelyek adott esetben azt eredményezik, hogy egy tételre többször is el kell végezni egy feladatot pl. hibajavítás végett, egy tetszőleges  $\mathcal{E}x$  egység teljes átfutási ideje az alábbi általános összefüggéssel számítható:

$$13. \text{ egyenlet: } TLT_{\mathcal{E}x} = \sum_{i=1}^v CT_{i_x} + \frac{\sum_{j=1}^v WT_{be_j_x} E_{be_j_x} + \sum_{j=1}^v WT_{ki_j_x} E_{ki_j_x}}{2} \text{ [perc]}$$

amelyben  $i$  azon tevékenységek száma, amelyekben az egységen munkát végeztünk,  $j$  pedig azon élek száma, amelyeken az egység áthaladt. Azoknál az éleknél, ahol a várakozási idő nulla, az él súlyozott értéke is nulla lesz. Annak érdekében, hogy az él meglétére vonatkozó információ ne vesszen el, érdemes a minimális várakozási időt – hasonlóan a köztes tárolónál alkalmazott egyszerűsítéshez – egynek venni.

A folyamatokon nem egy, hanem jóval több tétel feldolgozása történik. Az átfutási idő értéke nem állandó, ez tételként eltérhet a különböző befolyásoló tényezők, mint pl. az alapanyagok és az erőforrások minőségi jellemzőinek ingadozása, vagy a végrehajtás különbözőségéből adódó eltérő lefutási utak miatt. Mivel egy-egy lefutás a folyamatháló egy-egy alhálózatát jelöli ki, ezen alhálózatok tulajdonságaival leírható az átfutási idő változásának karakterisztikája.

### 4.5.3 A feldolgozás alatt lévő tételek száma

A Little-törvény a tételszámot (Inventory, I), ami a folyamatban feldolgozás alatt lévő és várakozó tételek összege, az áramlási ráta (Flow Rate, FR), azaz a folyamatba belépő, feldolgozandó egységek időegységre vetített száma és az áramlási (feldolgozási) idő (Flow Time, FT) szorzataként határozza meg. [57]

$$14. \text{ egyenlet: } I = FR \times FT \text{ [db]}$$

A FR a folyamattal szembeni ügyféligényt jelzi. A Lean folyamatoknál az ügyféligény és a rendelkezésre álló üzemidő ( $T_{\bar{u}}$ ) alapján kalkulálják ki az ütemidőt (Takt Time, TT), amely a folyamat kapacitásigényét határozza meg.

$$15. \text{ egyenlet: } TT = \frac{T_{\bar{u}}}{FR} \text{ [perc/db]}$$

Amennyiben a FR nem ismert, az ütemidő a Little-törvény alapján becsülhető a feldolgozási idő és a feldolgozás alatt álló tételek számából is az alábbi összefüggéssel:

$$16. \text{ egyenlet: } TT = \frac{T_{\bar{u}} \times FT}{I} \text{ [perc/db]}$$

Az üzemidő adott, a feldolgozási idő az adott tétel korábbi feldolgozási folyamataiból a ciklusidők összegével becsülhető. A feldolgozás alatt lévő tételek száma megegyezik az adott időpontig elindított valamint a befejeződött folyamatlefutások számának különbségével, azaz megadható az első lépés kifokszámának és az utolsó lépés befokszámának a különbségével. Ha az is kérdés, hogy a feldolgozás alatti tételek hogyan oszlanak meg a tevékenységek között, akkor meg kell különböztetni egymástól a tevékenységek által éppen feldolgozott ( $\beta_f$ ) és a két tevékenység között feldolgozásra váró ( $\beta_w$ ) tételeket.  $\beta_f$  a folyamat összes nem súlyozott befokszámának és kifokszámának a különbsége,  $\beta_w$  a tevékenységeket megelőző köztes tárolók összesített nagysága ( $N_{be}$ ).

$$17. \text{ egyenlet: } \beta = \beta_f + \beta_w = K_{be} - K_{ki} + N_{be} = \sum_{i=1}^n (E_{be_i} - E_{ki_i} + N_{be_i}) \text{ [db]}$$

A [17. egyenlet] használatakor figyelembe kell venni, hogy a folyamathálóban a kezdő lépésnél csak a kifokszámot, míg az utolsó lépésnél csak a befokszámot mérjük, azaz ezek fokszámkülönbségének értékét korrigálni szükséges.

### 4.5.4 Hibaarány, kihozatal

Hibaaránynak az elvárásoknak nem megfelelő kimenetek, illetve az ezeket előállító tevékenységek arányát tekintjük. Azonosítása a tétel minősítésével lehetséges. Hatása a tétel javítási, újrafeldolgozási vagy selejtezési szüksége. A következőkben ezeket értelmezzük a hálózatok nyelvén.

Egy hibásan elvégzett feladatot első lépésben maga a végrehajtó tud azonosítani, amely a gráfban hurokélként jeleníthető meg. Ezt követően a hibás kimenetet bemenetként felhasználó tevékenység felelőse képes a nem megfelelőséget detektálni. Ez a tevékenység az előállítót követő, azzal szomszédos csúcs a hálózatban. A bemeneteinek megfelelőségével kapcsolatos adatok rögzítésére felhasználható a közöttük lévő él súlya egy tetszőleges skála alkalmazásával. A legegyszerűbb esetben, amennyiben csak a hibás és megfelelő tételeket szeretnénk egymástól elkülöníteni, elégséges egy kételemű, -1 és +1 értéket tartalmazó skála. Ennek az előnye, hogy az élsúlyt egy másik jellemző rögzítésére is használhatjuk, mert így a megfelelőséget csak az élsúly előjele mutatja. Hátránya, hogy nem kapunk információt a nem megfelelőség mértékéről, csak tényéről. A teljes folyamat hibaaránya a negatív élsúllyal rendelkező élek arányával számítható:

$$18. \text{ egyenlet: } F = \frac{E^-}{E}$$

ahol  $F$  a hibaarány,  $E^-$  a negatív élsúlyú élek darabszáma,  $E$  az összes élszám. A nem elsőre megfelelően elkészített tételek feldolgozásához szükséges tevékenységek generálta veszteség

pontosabb meghatározásához célszerű valamennyi olyan élt negatívnak minősíteni, amely az ilyen tételek javítását vagy ismételt előállítását célzó tevékenységhez tartozik.  $T_i$  tevékenység esetében a hibaarány megmutatja, hogy az összes végrehajtásából hány esetben fordult elő hiba:

$$19. \text{ egyenlet: } F_{T_i} = \frac{E_{T_i}^-}{E_{T_i}}$$

Ha az eltérés mértékét is számítani kívánjuk, más skálát kell alkalmazni, amelyet a felhasználás jellegétől függően érdemes kiválasztani. Egy lehetséges megoldás, ha a hibaszámot a tételén elkövethető hibalehetőségek számához arányosítjuk, így a hiba mértékére ( $\delta$ ) egy 0 és 1 közötti értéket kapunk. Ebben az esetben azonban, ha nem követünk el hibát, az arány 0 lesz, amivel elveszítjük az élt meglétére vonatkozó információt. Ahhoz, hogy a hibátlan tételhez tartozó élt súlya egy maradjon, az élsúly legyen  $1 - \delta$ . Ez alapján a teljes folyamat kihozatala, azaz a megfelelő működés mértéke:

$$20. \text{ egyenlet: } \pi = \frac{\sum_{i=1}^n (1-\delta)E_i}{E}$$

A hiba kezelése vagy egy új hibajavítási tevékenység végrehajtását eredményezi, ezzel egy új csúcs megjelenését teszi szükségessé a hálózatban, vagy újragyártást indukál. Az első esetben változik a negatív élsúlyú élek száma, amellyel korrigálva a fenti egyenleteket, a hibaarány meghatározható. Az újragyártás esetében a hibaarány kiszámítását visszavezethetjük a [4.6.1 fejezetben] bemutatott módszerre.

#### 4.5.5 Kihasznátság

A kihasználtság ( $U$ ) a folyamat vagy az erőforrás kapacitásának és a tényleges igénybevételnek a hányadosa. A kapacitás ( $C_p$ ) arányos a kimenő-, az igénybevétel ( $\alpha$ ) a bemenő fokszámmal.

$$21. \text{ egyenlet: } U = \frac{\alpha}{C_p} \sim \frac{K_{be}}{K_{ki}}$$

A [4.5.1 fejezetben] bemutattuk, hogy egy tevékenység kiegyensúlyozottsága szintén meghatározható a kimenő és bemenő fokszámokkal, ha a köztes tároló mennyiségével súlyozott kimenő és bemenő élek összegét elosztjuk egymással. Ha a hányados értéke  $\sigma > 1$ , a tevékenység túltermel. Ha a tevékenységet – elkerülve a tárolási veszteséget – csak olyan ütemben engedjük termelni, amilyen ütemben a követő lépések a kimenetét feldolgozni képesek, kapacitás többlet keletkezik. Ezekből következik, hogy egy, a szűk keresztmetszet kapacitására kiszintezett, nem kiegyensúlyozott folyamatban egy tevékenység kihasználtsága a kiegyensúlyozottság reciproka:

$$22. \text{ egyenlet: } U = \frac{1}{\sigma} = \frac{K_{beN}}{K_{kiN}} = \frac{\sum_{i=1}^z N_{be_i} E_{be_i}}{\sum_{j=1}^m N_{ki_j} E_{ki_j}}$$

Ha  $U < 1$ , a csúcs szabad kapacitással rendelkezik, ha  $U = 1$ , a csúcs kapacitása az igénybevétellel megegyezik, ha  $U > 1$ , a csúcs kihasználtsága 100%-os, az igénybevétel a kapacitást meghaladja.

Ha a vizsgált tevékenység vagy erőforrás egy ritkán használt folyamatágon van, gyakran előfordulhat, hogy a köztes tárolók üresek. Ez esetben a kihasználtságot a tevékenységen átfutott tételszám és az össztételszám hányadosával képezhetjük:

$$23. \text{ egyenlet: } U_i = \frac{\beta_i}{\beta}$$

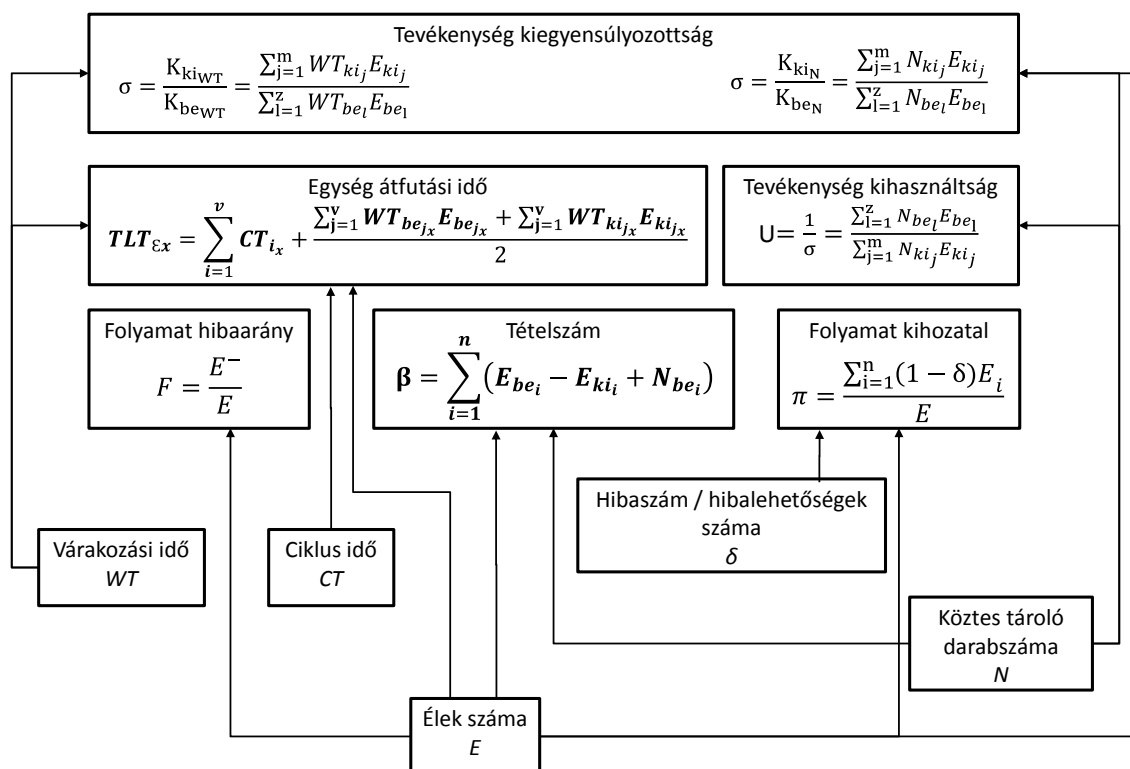
Ezeken kívül számos egyéb módszer is létezik a kihasználtság meghatározására (pl. a tényleges munkával töltött üzemidő és a rendelkezésre álló idő hányadosa), azonban ezek hálózatos szempontból kevésbé relevánsak, ezért nem térünk ki rájuk részletesen.

#### 4.5.6 A Hálózatalapú Folyamatindikátor Modell (Network-based Process Indicator Model, NPIM) definiálása

A Hálózatalapú Folyamatindikátor Modell (továbbiakban NPIM) strukturáltan mutatja be a korábbi fejezetekben definiált alap- és képzett mutatószámokat. Az NPIM lényege, hogy az **élek számából**, valamint a csúcsok attribútumaként megjelenő **ciklusidőből**, mint hálózati jellemzőkből kiindulva, felhasználva a **köztes tároló méretét**, a **várakozási időt**, valamint a **hibalehetőséghez viszonyított hibaarányt**, lényegében súlyozott foks számokként meghatározva, megadja a tevékenységek illetve a folyamatok **hibaarányát**, **kihozatalát**, a **feldolgozás alatt lévő tételek számát**, az **átfutási időt**, valamint a **kihasználtságot** és a **kiegyensúlyozottságot** [23. ábra].

Az **élek száma** a folyamatlefutás alapján kidolgozott hálózati modellből számítható. A **ciklusidőt** nem a hálózati modellből kalkuláljuk, azonban az átfutási idő meghatározása miatt figyelembe kell venni, mint csúcscsillapító. A **köztes tároló mértéke**, a **várakozási idő** és a **hibalehetőségek számához viszonyított hibaarány** – a ciklusidőhöz hasonlóan – a folyamatmonitoring során előálló, a hálózati modell topológiájától független teljesítmény jellemző. A folyamat hálózati modelljében azonban ezeket is felhasználjuk az élek attribútumaként.

A képzett indikátorok közül a **hibaarány** és a **kihozatal** a végrehajtás megfelelőségének jellemzője, amelynek segítségével meghatározhatjuk a minőségjavításhoz szükséges intézkedéseket. A ciklusidő, illetve az ebből számolt **átfutási idő** a feldolgozási időigény, mint idő (és adott esetben költség) típusú folyamatjellemző, a teljesítési időpontok pedig az ügyfél felé vállalt szolgáltatási szint jellemzők kalkulálásának bemenetei. Segítségükkel a célértékhez viszonyított időbeli csúszást és a többlet feldolgozási költséget azonosíthatjuk. A **kihasználtság** az improduktív idővel kapcsolatban szolgál információval. Ezzel szoros összefüggésben van a **kiegyensúlyozottság**, amely az egységek és a tevékenységek (pontosabban az ezeket végrehajtó erőforrások) várakozását jellemzi. Mindkét indikátor szűk keresztmetszetre utal. Segítségükkel képet kapunk a várakozások okozta költségek mértékéről. Végül a **feldolgozás alatt lévő tételek száma** a folyamat jelenlegi státuszáról, a kimenetek várható mennyiségéről és ütemezéséről ad tájékoztatást.



23. ábra: Hálózatalapú Folyamatindikátor Modell (Network-based Process Indicator Model, NPIM). Forrás: saját munka.

A NPIM tehát információval szolgál a folyamat minőség, idő és költség szempontú állapotáról. Újdonsága abban áll, hogy alapvetően súlyozott fokszámokként határozza meg a folyamatjellemzőket.

#### 4.6 A folyamatteljesítményt csökkentő Lean veszteségek meghatározása a Hálózatalapú Folyamatindikátor Modell segítségével

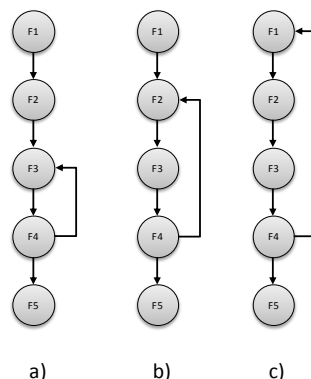
A folyamatok teljesítményének meghatározására a szakirodalom számos metrika alkalmazását javasolja. Általában közös bennük, hogy a folyamatteljesítményt a rá vonatkozó költség-, idő- és minőségi céloknak való megfeleléssel azonosítja. A Lean szerint kialakított szervezetekben a célokat a folyamat belső és külső ügyfeleinek elvárásaiból kell levezetni. Az elvárások azonosítása, az ügyfél hangjának (Voice Of Customer, VOC) megismerése után az elvárásokat konkrét folyamatcélokra kell fordítani. Az időre és minőségre vonatkozó elvárásokból kritikus minőségjellemzőket (Critical To Quality, CTQ), a költségekkel kapcsolatos hatékonysági célokból leginkább üzleti mérőszámokat (Critical To Business, CTB) alkotnak. [30]

A teljesítmény célértékek elérését nehezíti a folyamatveszteségek mértéke. A Lean elsősorú célja ezeknek a folyamatveszteségeknek a minimalizálása. Amennyiben ezek a veszteségek a folyamatháló struktúrájában változást okoznak, megjelenésük detektálható, mértékük meghatározható a [4.5.6 fejezetben] ismertetett NPIM-vel és egyéb, később részletezett hálózati jellemzőkkel is.

##### 4.6.1 Ellenőrzési és javítási veszteség

Az ideális, veszteségmentes folyamatban minden feladatot elsőre megfelelően hajtunk végre, ezért nincs szükség ellenőrzésre és hibajavításra. [55] Mivel egy egységen minden tevékenységet csak egyszer hajtunk végre, a csúcsok be- és kifokszáma egy, kivéve az első és az utolsó folyamatlépést. Ennek feltétele, hogy az éleket csak a folyamaton végighaladó egység áramlásának jelzésére használjuk. Ha a folyamat „elromlik”, azaz esetünkben az ellenőrzésből és hibajavításból adódó visszacsatolások jelennek meg, megnő az érintett tevékenységek fokszáma. Ennek a lehetséges verziói a következők [24. ábra]:

- a visszacsatolás egy megelőző szomszédos csúcsra mutat: a veszteséget a párhuzamos élek arányával számíthatjuk ki,
- a visszacsatolás egy két lépés távolságra lévő korábbi csúcsra mutat: a veszteséget a teljes hálót (klikket) alkotó csúcshármasok arányával, a hálózat tranzitivitásával számíthatjuk ki,
- a visszacsatolás egy  $n \geq 3$  lépés távolságra lévő megelőző csúcsra mutat: a veszteséget az adott lépésszámnak megfelelő számú csúcsból álló, összefüggő alcsoportok ( $n$ -core) arányával számíthatjuk ki.



**24. ábra: Az ellenőrzési és hibajavítási veszteség hálózatos meghatározása a) párhuzamos élek arányával, b) tranzitivitással, c)  $n$ -core aránnyal. Forrás: saját munka.**

Az élek irányítottságára és súlyára nincs szükség, így ezeket nem vesszük figyelembe a számításoknál. Továbbá feltételezzük, hogy a visszacsatolás után a tétel újra átmegy az eloszló, a gyűjtő és a közöttük lévő tevékenységeken.



A párhuzamos élek aránya egy tétel lefutása esetén:

$$24. \text{ egyenlet: } R_{E_p} = \frac{2E_p}{K}$$

ahol  $E_p$  a párhuzamos élek száma,  $K$  az összes foksám.  $R_{E_p}$  0 és 1 közötti értéket vehet fel. Egy visszacsatolás után az élek száma kettővel növekszik. Általánosan megfogalmazva:  $m_2$  legyen a visszacsatolások száma,  $m_2$  visszacsatolás után  $2m_2$  új él képződik, így az új összfokszám értéke  $K+4m_2$ .

A tranzitivitás vagy klaszterezettség meghatározására több, egymáshoz hasonló összefüggés is létezik [44]. Az egyik leginkább elterjedt a következő:

$$25. \text{ egyenlet: } C_3 = \frac{3P_3}{Q_3}$$

ahol  $P_3$  a klikkek (teljes gráfot alkotó csúcshármasok) száma,  $Q_3$  az összefüggő csúcshármasok száma.  $C$  is 0 és 1 közötti értéket vehet fel. Legyen  $m_3$  a visszacsatolások száma. Egy visszacsatolási kör 3-mal növeli az élek számát, azaz  $m_3$  visszacsatolás  $3m_3$  új élt ad a hálózathoz. Az új összfokszám értéke  $K+6m_3$ .

Az  $n$ -core arányt – a tranzitivitás általánosítása alapján – az alábbi összefüggés adja meg:

$$26. \text{ egyenlet: } C_n = \frac{nQ_{K(4n-2)}}{Q_{K(2n-2)}}$$

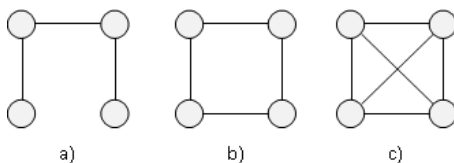
ahol  $Q_{K(4n-2)}$  azon  $n$  db csúcsból álló összefüggő csoportok száma, amelyben az összfokszám  $4n-2$ ,  $Q_{K(2n-2)}$  azon  $n$  db csúcsból álló összefüggő csoportok száma, amelyben az összfokszám  $2n-2$ .

A három mutató részben helyettesíthető egy negyedikkel. Mindegyik esetben a hurkok növelik az útvonalukon az eredeti folyamatágban lévő csúcsok foksámát, ezért ha meghatározzuk a  $\beta$  tételszámnál nagyobb lefutásszámú (súlyú) élek arányát, megkapjuk az újrafeldolgozás okozta veszteség mértékét. Az összefüggést a [27. egyenlet] mutatja.

$$27. \text{ egyenlet: } R_{E_\beta} = \frac{E_\beta}{E}$$

Ha a tétel javítása nem az eredeti folyamatágban történik, hanem egy önálló javító körön, a  $\beta$  tételszámnál kisebb súlyú éleket is figyelembe kell venni.

A klikkek és az  $n$ -core-ok a folyamatháló vizuális elemzésében is nagy szerepet játszhatnak. Ezek a hálózat nagy sűrűségű területei, amelyben az élek tényleges számának és elméleti maximumának hányadosa nagyobb, mint a teljes hálózatban. Meghatározásuk több módon is lehetséges. Az egyik esetben megkeressük az ún. erős és gyenge komponenseket, amelyekben a csúcsok között létezik olyan élsorozat, amely minden csúcsot csak egyszer érint. A másik,  $n$ -core eljárásban azokat a csoportokat azonosítjuk, amelyben a csúcsok legalább  $n$  másik csúcshoz kapcsolódnak a csoporton belül, azaz belső foksámuk legalább  $K=n$ . A harmadik módszer az ún. klikk-perkolációs módszer, amellyel azokat a csoportokat keressük meg, amelyekben bármelyik két csúcsot él köt össze. Ebben az esetben átfedő csoportosulások is keletkeznek, amelyeknek közös csúcsaik vannak. A [25. ábra] mindhárom esetre mutat egy-egy példát.



25. ábra: Összefüggő alcsoportok meghatározásának lehetőségei, a) komponensek módszere, b)  $n$ -core módszer, c) klikk-perkolációs módszer. Forrás: saját munka.

Az arányszámokat felhasználhatjuk arra, hogy meghatározzuk a folyamat kedvezőtlen változásának a mértékét. Minél nagyobb az arányszámok értéke, annál több az ellenőrzés és hibajavítás okozta veszteségből adódó folyamathatékonyság csökkenés. Minél nagyobb  $n$  értéke, annál nagyobb a veszteség mértéke, amely a ráfordítási idő és a teljes átfutási idő növekedését jelenti. Az érem másik oldala, hogy az ellenőrzési és javítási tevékenységek az ún. klasszikus kihozatalt javítják, azaz kisebb lesz a folyamatból kilépő hibás tételek aránya.

#### 4.6.2 Mozgatási veszteség

A mozgatási veszteséget kifejezhetjük idő, költség és távolság dimenziójú metrikákkal is. Ha a csúcson jelenítjük meg a mozgatási feladatokat is, a veszteség e csúcok erőforrás költség vagy ciklusidő attribútumának az összege. A tevékenységek közötti fizikai távolság az élek súlyával jelölhető.

A mozgatási veszteség kiszámítása a ciklusidők összegzésével:

$$28. \text{ egyenlet: } MV_T = \sum_{i=1}^n CT_i \text{ [perc]}$$

A mozgatási veszteség kiszámítása az erőforrás költségek összegzésével:

$$29. \text{ egyenlet: } MV_C = \sum_{i=1}^n CT_i \rho_i \gamma_i \text{ [Ft]}$$

ahol  $\rho$  az egységnyi időre jutó erőforrás költség,  $\gamma$  a tevékenységet végző erőforrások száma.

A mozgatási veszteség kiszámítása a mozgatási távolságok összegzésével:

$$30. \text{ egyenlet: } MV_D = \sum_{i=1}^n D_i E_i \text{ [m]}$$

ahol  $D$  a két tevékenység közötti távolság, itt az él súlya.

Ezek az összefüggések, noha bennük hálózati jellemzők találhatók, nem különböznek a hagyományos számítási módtól. A szállítási problémát például úgy fordíthatjuk le hálózati problémává, ha a mozgatási tevékenységeket az éleken, minden egyéb tevékenységet pedig a csúcokban ábrázolunk. Az így kapott mozgatási-hálóban csak azon csúcok között lesz él, amelyeknél mozgatásra van szükség. Ezzel a transzformációval az eredeti folyamatháló részhalmazát kapjuk meg. A mozgatási veszteséget a [30. egyenlettel] továbbra is kiszámíthatjuk, ugyanakkor lehetővé válik egy új mutatószám, az összefüggő komponens arányának meghatározása is, amely szintén a mozgatási veszteséget jellemzi.

$$31. \text{ egyenlet: } Q = \frac{v_Q}{v}$$

ahol  $v_Q$  az összefüggő komponensekben lévő csúcok száma,  $v$  az összes csúc száma. Ha minden tevékenységpár között van szállítás, az egy darab összefüggő komponens nagysága megegyezik a teljes háló nagyságával, azaz  $Q = 1$ . Ha nem minden tevékenységpár között van szállítás, az eredeti összefüggő háló szétesik, ezzel  $Q < 1$ . Minél kisebb  $Q$  értéke, annál kisebb a mozgatási veszteség a hálózatban.

#### 4.6.3 Túltermelés, Várakozás

A túltermelés oka a folyamat kiegyensúlyozatlansága és a köteget, nem egydarabos áramlás. Ezek eredményezik azt, hogy a tételnek két feldolgozási lépés között várakoznia kell. A [4.5.1 fejezetben] bemutattuk, hogy a kiegyensúlyozottság és a várakozási idő a folyamatháló jellemzőivel kiszámítható, így a túltermelési veszteség a folyamathálóban azonosítható és vizsgálható.

#### 4.6.4 Túlmunka

A túlmunka azokat a tevékenységeket takarja, amelyek nem termelnek közvetlenül értéket az ügyfél számára. Más megfogalmazás szerint ezek azok a tevékenységek, amely nem végeznek értéknövelő átalakítást az egységen. Ha a folyamathálóban meg akarjuk határozni a túlmunka arányát, fel kell vennünk egy új tulajdonságot a csúcokhoz, amely azt mutatja meg, hogy az adott tevékenység értéknövelő vagy sem. Ezt követően eltávolítunk minden élt, majd csak az értékteremtő lépéseket kötjük

össze a folyamat lefutásának megfelelő sorrendben. Az így kapott értékteremtő-hálóban meghatározhatjuk az összefüggő komponens arányát a [31. egyenlet] segítségével. Minél kisebb a hányados értéke, annál magasabb a túlmunka veszteség. Pontosabb becslést kapunk, ha a csúcsok darabszámát a ciklusidővel súlyozzuk, hiszen a több erőforrást lekötő, nem értékteremtő tevékenységek nagyobb mértékben növelik a veszteséget.

#### 4.6.5 Nem kihasznált erőforrás

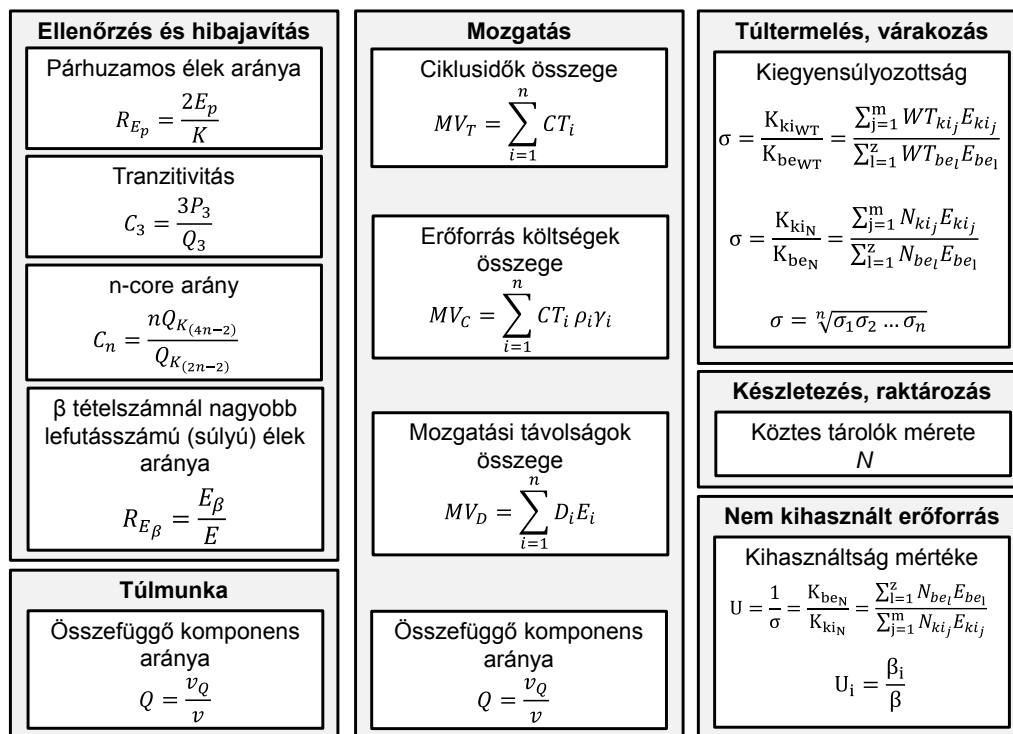
A kihasználtságot kétféleképpen értelmezhetjük. A [4.5.5 fejezetben] bemutattuk, hogy a folyamat kiegyensúlyozatlanságából adódó kihasználatlan kapacitás mértékét milyen módon lehet meghatározni a be- és kifokszámok segítségével. Veszteségnek minősül ugyanakkor az is, ha magasan kvalifikált munkaerőt alkalmazunk olyan feladatra, amelyhez kevesebb kompetencia is elégséges. Ez a veszteség a folyamatháló elemzéséből nem derül ki. A [5.5.1 fejezetben] röviden ismertetünk egy általunk kidolgozott hálózatszemléletű módszert, amely felhasználható az elvárás és az adottságok közötti kompetenciadeficit meghatározására is.

#### 4.6.6 Készletezés, raktározás

A folyamathálóban a köztes tárolók készletei az élek súlyaként értelmezhetők a [4.5.1 fejezetben] ismertettek szerint. Ezzel analóg módon a folyamathoz szükséges alap- és segédanyagok, valamint a folyamat által előállított végtermékek a folyamatközi-háló köztes tárolóiként kezelhetők, ahol a csúcsok nem az egyes tevékenységek, hanem az egymáshoz kapcsolódó folyamatok. Ezen köztes tárolók mérete, azaz a folyamatok közötti élek súlya alkalmas a készletezési és raktározási veszteség becslésére.

#### 4.6.7 A Lean veszteségek hálózati indikátor struktúrája

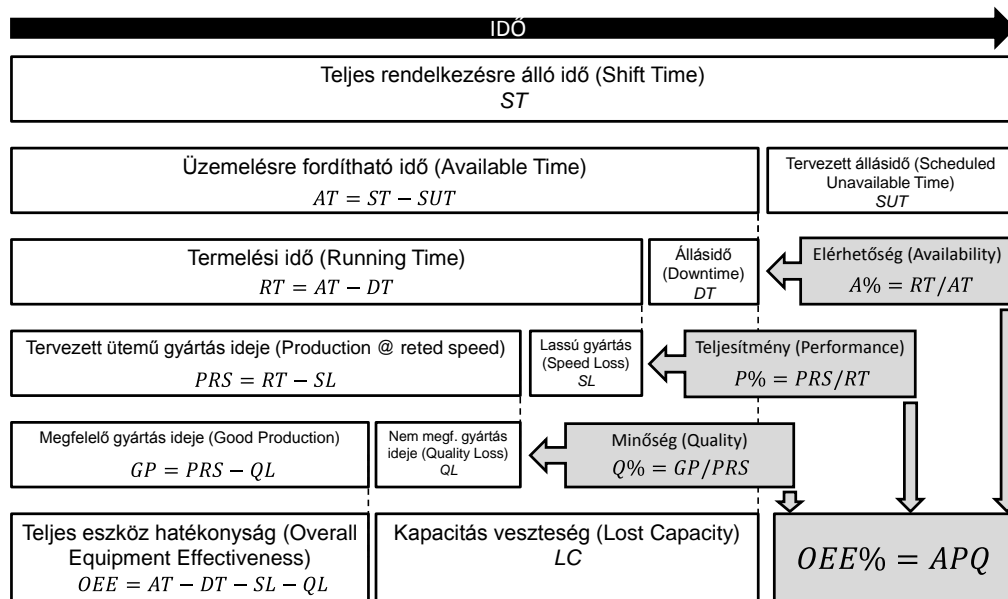
A Lean veszteségek kiszámítására alkalmas indikátorok származtathatók az NPIM-ből, valamint klasszikus hálózati mutatókból (pl. tranzitivitás). A teljes struktúrát a [26. ábra] mutatja be.



26. ábra: A Lean veszteségek hálózati indikátor struktúrája. Forrás: saját munka.

#### 4.7 A Teljes Eszközhatékonyság (Overall Equipment Effectiveness, OEE) és az NPMI kapcsolata

A Teljes Eszközhatékonyság három kulcsindikátorral, az Elérhetőséggel, a Teljesítménnyel és a Minőséggel jellemzi a folyamatokat. Meghatározásuk módját a [27. ábra] mutatja be. [30]



**27. ábra: A Teljes Eszközhatékonyság (Overall Equipment Effectiveness, OEE) modellje.**  
Forrás: saját munka.

Az OEE modell kiindulási alapja a Teljes rendelkezésre álló idő (Shift Time), amelyet Elméleti termelési időnek (Theoretical Production Time) is neveznek. Ez az Üzemelésre fordítható időből (Available Time) és az ún. Tervezett állásidőből (Scheduled Unavailable Time, Planned Downtime Losses) áll. Ez utóbbi oka lehet többek között a csökkenő ügyféligény vagy a tervezett karbantartás. A Teljes OEE a Teljes rendelkezésre állási idő, míg az OEE az Üzemelésre fordítható idő alapján számítja a kulcsindikátorokat. A kettő hányadosa az ún. Tervezési tényező (Planning Factor).

A termelés során előforduló, nem tervezett leállások (Downtime Losses), amelyek oka lehet pl. a berendezések meghibásodása, azt eredményezik, hogy a tényleges Termelési idő (Running Time, Gross Operating Time) kisebb, mint az Üzemelésre fordítható idő. A kettő hányadosa jellemzi a folyamat Elérhetőségét (Availability).

A termelés ütemezése során az optimális (norma) ciklusidőt vesszük alapul. Különböző okok miatt azonban előfordulhat, hogy lassabban, azaz hosszabb idő alatt tud egy egység végighaladni a folyamaton. Ezt a sebességvesztést (Speed Losses) a Teljesítmény (Performance) indikátorral jellemezzük. Értéke az elméleti ciklusidő és az előállított egységszám szorzatának (Tervezett ütemű gyártás ideje, Production at Rated Speed, Net Operating Time), valamint a Termelési idő hányadosának az értékével egyenlő.

Amennyiben nem minden egység felel meg a minőségi kritériumoknak, az ezek előállítására fordítható idő is veszteséget (Quality Loss) eredményez. A Minőség (Quality) indikátor a Megfelelő gyártás idejének (Good Production, Valuable Operating Time) és a Tervezett ütemű gyártás idejének a hányadosa. [61]

Az OEE meghatározása többféleképpen is lehetséges. A legelterjedtebb megoldás szerint az OEE a kulcsindikátorok szorzata. Ennek előnye, hogy nem csak idő dimenziójú indikátorok is összegezhetők. A másik megközelítés szerint az OEE a Megfelelő gyártás idő és az Üzemelésre fordítható idő hányadosa.

Az OEE többek között azt vizsgálja, hogy egy adott időszak alatt mekkora és milyen típusú idővesztés érte a termelést, figyelembe véve a folyamat adott időszak alatti összes lefutását. Ezzel szemben az

NPIM a folyamat egy lefutását és az ott történeke hálózati modellre gyakorolt hatását méri. A kettő között úgy húzhatunk párhuzamot, ha az NPIM indikátorait is több lefutásra összegezzük. Ez alapján:

- az elérhetőség a tevékenység kihasználtsággal,
- a teljesítmény a kiegyensúlyozottsággal,
- a minőség a kihatással és a hibaarányal becsülhető.

#### **4.8 A folyamatokat leíró hálózati modell definiálása**

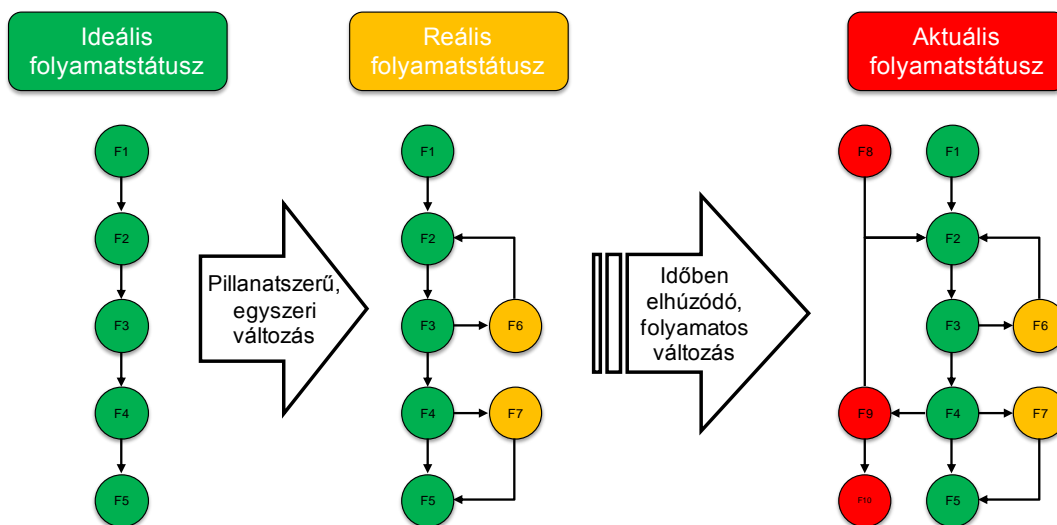
A folyamathálót leíró matematikai modellel szemben elvárás, hogy kezelje a folyamat teljes életciklusának eseményeit, a születésétől (növekedés) esetleges haláláig (szétesés). Eközben a külső körülmények hatására számos változáson mehet keresztül, amelyek egymással ellentétesek is lehetnek, ezért a modellnek kellően rugalmasnak, ugyanakkor precíznek és prediktív képességekkel rendelkezőnek kell lennie. A feladat nehézsége összemérhető azzal, mintha egy ember teljes életét megpróbálnánk leírni matematikai összefüggésekkel, majd ezt ki szeretnénk terjeszteni minden, hasonló „típusú” emberre. Bár vannak arra irányuló hálózatkutatói kísérletek, hogy a mindennapi tevékenységeinkben rendszerszerűséget találjanak, ezzel megjósolhatóvá tegyék, hogy ki, mikor, hol éppen mit fog csinálni [5], jelentős mennyiségű munka vár még a témával foglalkozókra addig, amíg algoritmizálni tudják minden cselekedetünket. Optimistává tehet bennünket azonban az a tény, hogy az egyesítési elméletek buktatóival [55] szemben meglehetősen immunisan viselkedő, különböző entitásokból álló hálózatok modellekbe szervezésére sikeres hálózatelméleti kutatások folynak. [46]

##### **4.8.1 Folyamatstátuszok**

Az üzleti folyamatok hálózati modelljének kidolgozásakor kiindulhatunk abból a feltételezésből, hogy a folyamat eredeti megalkotásakor az adott elvárásoknak és körülményeknek leginkább megfelelő eljárást határozták meg. Ugyanakkor a folyamatszerzői munkám során sokszor találkoztam azzal, hogy már a kiindulásnál számos hibát és veszteséget kódoltak a folyamatba, aminek leggyakoribb oka az eltérő módszertani megközelítés vagy a korlátozó körülmények kritika nélküli elfogadása volt. Ez indokolta teszi annak a felvetését, hogy az ideális, kizárólag értékteremtő lépésekből álló, lineáris lefutású folyamatot vegyük alapul. Mivel azonban az is érdekes lehet, hogy az eredeti elképzeléshez képest hogyan változott meg a folyamat, a modellalkotásban három statikus állapotot veszünk figyelembe:

- 1) ideális: veszteségmentes állapot,
- 2) reális: a korlátozó körülmények figyelembevételével létrehozott állapot,
- 3) aktuális: egy adott pillanatban a folyamat állapota.

A különböző státuszok egymásba alakulását a 28. ábra mutatja be. A közöttük lévő különbséget érzékeltetik az újonnan megjelenő, a fáziséval megegyező színű csúcsok, mint az értékteremtő lépéseket kiegészítő tevékenységek.



28. ábra: A folyamatstátuszok kapcsolata. Forrás: saját munka.

#### 4.8.2 A folyamathálózat kialakulása

Kiindulásként vegyük az ideális állapotot, amelyet a reális állapotú folyamat értékelemzésével (Value Added Flow Analysis, VAFA) [41] kapunk meg. Az ideális folyamatban a kiszintezett, értékteremtő tevékenységek egymás után, minimális átadási ponttal hajtódnak végre, a tételek folyamatosan, várakozás nélkül, az elvárásoknak megfelelő minőségben és gyakorisággal állítódnak elő. A könnyebb kezelhetőség kedvéért feltételezzük még, hogy a folyamatban egyszerre egy tétel feldolgozása történik, vagy másként csak azokat a tételeket vegyük figyelembe, amelyek a vizsgálat időpontjában, a folyamatban teljesen végigfutottak.

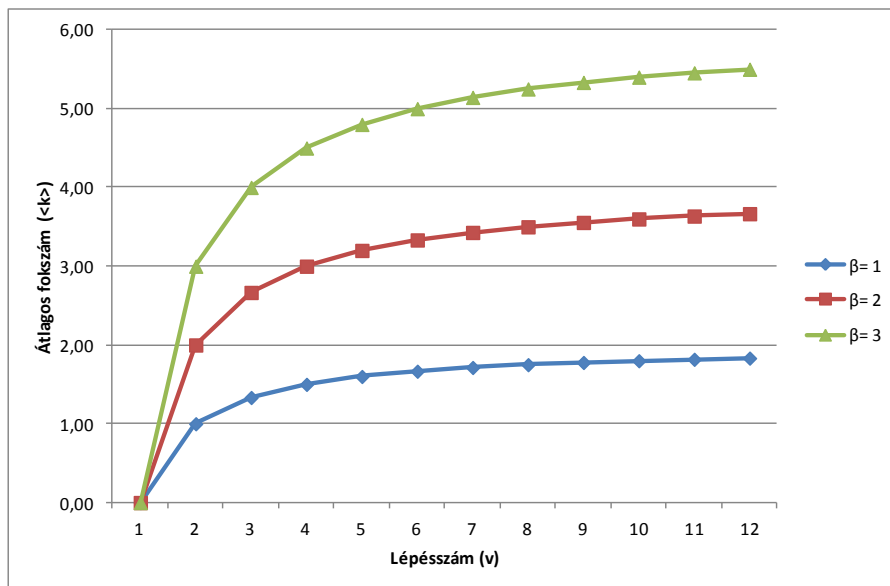
Az ilyen folyamatot modellező hálózat közel reguláris gráf. Egy  $v$  lépésszámú folyamatban  $\beta$  tétel végigfutása esetén:

- 2 db (kezdő és befejező) tevékenység fokszáma:  $\beta$ ,
- $v-2$  tevékenység fokszáma:  $2\beta$ .

$v$  értékének növekedésével a háló közelít a reguláris végállapot felé. Az átlagos foksám értéke:

$$\text{32. egyenlet: } \bar{k} = \frac{K\beta}{v} [\text{db}]$$

ahol  $\bar{k}$  az átlagos foksám és  $K$  az összfozsám. A függvény aszimptotikusan közelít  $2\beta$ -hoz [29. ábra].



29. ábra: Az átlagos fokszám értéke különböző lépésszám (v) és tételszám ( $\beta$ ) esetén. Forrás: saját munka.

#### 4.8.3 A folyamathálózat növekedése

Az ideálisból a reális állapotba a folyamat pillanatszerűen lép át, hiszen alkalmazásba vételekor ez az aktuális állapot. A két státusz közötti különbséget a már korábban említett korlátozó tényezők figyelembevétele okozza. A reguláris gráf „elromlik”, beépülnek új csúcsok és élek. Az új hálózat jellemzőit ezek mennyisége és működése határozza meg. Ebben az értelemben a reális és az aktuális folyamatstátusz között elsősorban mennyiségi különbség van, a változások jellege hasonló. Noha a változások oka és dinamikája eltérő, a modellalkotásnál indokolt a reális és az aktuális folyamatstátusz összevonása és együttes jellemzése.

Egy új csúcs belépése a hálóba különböző módon változtatja meg a topológiát. A növekedés alternatívái az új csúcs szerepe szerint:

- új alternatív kezdő vagy végpont, általában egy új éllel, amely egy lefutásnál az összfokszámot NEM növeli, de csökkentheti ( $v_{sa}$ ),
- új NEM alternatív kezdő vagy végpont, általában egy új éllel, amely egy lefutásnál az összfokszámot növeli ( $v_s$ ),
- alternatív útvonalat létrehozó köztes pont, legalább két új éllel, amely egy lefutásnál az összfokszámot NEM növeli, de csökkentheti ( $v_{ka}$ ),
- visszacsatolást eredményező, NEM alternatív útvonalat létrehozó köztes pont, két új éllel, amely egy lefutásnál az összfokszámot nem csak az új éllel, hanem a visszacsatolás után újból befutott eredeti útvonal élével is növeli ( $v_k$ ).

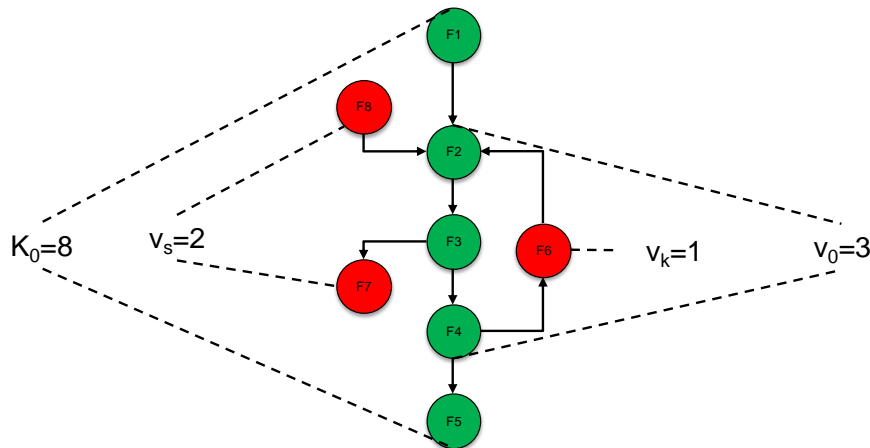
Ezek alapján egy lefutásnál az új összfokszám az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$33. \text{ egyenlet: } K_1 = K_0 + \sum(2v_{sa} - b) + \sum 2v_s + \sum(4v_{ka} - d) + 2 \sum v_k + 2v_0 - 2 \text{ [db]}$$

ebből

$$34. \text{ egyenlet: } \Delta K = K_1 - K_0 = \sum(2v_{sa} - b) + \sum 2v_s + \sum(4v_{ka} - d) + 2 \sum v_k + 2v_0 - 2 \text{ [db]}$$

ahol  $K_1$  a vizsgálat időpontjában egy tétel lefutásánál az összfokszám,  $K_0$  az eredeti (ideális) folyamat összfokszáma,  $v_{sa}$  az új alternatív kezdő- és végpontok száma,  $b$  a  $v_{sa}$  alternatív úttal kiváltott eredeti út fokszáma,  $v_s$  az új kezdő- és végpontok száma,  $v_{ka}$  az új alternatív köztes lépések száma,  $d$  a  $v_{ka}$  alternatív úttal kiváltott eredeti út fokszáma,  $v_k$  az új köztes lépések száma,  $v_0$  a köztes lépés bemeneti és kimeneti szomszédjának, valamint a közöttük lévő csúcsoknak száma. [30. ábra]



**30. ábra: A fokszámváltozás okozó tényezők magyarázata. Forrás: saját munka.**

A [34. egyenlet] változtatás nélkül használható, ha nem teszünk különbséget az új csúcsok és élek között a tekintetben, hogy hány tétel lefutása esetén fordul elő, azaz ha legalább egy tétel használja, egyenrangú kapcsolódásként jelenik meg a hálóban. Ellenkező esetben - több tétel lefutásánál - az új fokszám kiszámításához ismerni kell, hogy milyen arányban választják az alternatív útvonalakat, majd ezekkel az arányszámokkal, mint szorzótényezőkkel súlyozzuk az összegzéseknél az alternatív útvonalakat.

A hálózatok fontos jellemzője az a mód, ahogyan egy új csúcs bekapcsolódik. Az erőtvény szerinti kapcsolódásnál az új csúcs fokszám szerint növekvő valószínűséggel választja ki a régi csúcsok közül azt, amelyikhez kapcsolódik. Ezt némileg módosítva az alkalmassági modell azt mondja ki, hogy minden csúcson van egy, a kapcsolat létrehozási képességét jellemző alkalmassági tényezője, amely szintén befolyásolja a választást. [1] Az üzleti folyamatoknál is valamiféle alkalmassági, vagy adott esetben alkalmatlansági tényező játszik döntő szerepet. Ennek azonosításához érdemes szétválasztani a változásokat a kiváltó okok szerint. Egy új lépés megjelenésének többek között az alábbi típus okai lehetnek:

- egy adott folyamatlépésben megnőtt a hibaarány, ezért a kimenetet ellenőrzik és javítják,
- nem bíznak meg egy feladat megfelelő ellátásában (pl. egy informatikai rendszer által kiszámolt értékben), ezért ismételtlen (manuálisan) is elvégzik, vagy a rendszerkorlátok miatt szükséges a redundancia,
- megosztják a felelősséget, ezért redundáns lépéseket (pl. 4 szem elve) vezetnek be,
- egy adott folyamatlépésnél kapacitás korlát lépett fel, ezért új erőforrások hozzárendelésével multiplikálják a lépést,
- több lépést összevonnak, így egy egyszerűsített ággal alternatív lefutási utat nyitnak (itt az is előfordulhat, hogy egy feladat végrehajtását teljesen elhagyják, mert feleslegesnek ítélik meg, ezáltal úgy változik meg a háló topológiája, hogy nem lép be új csúcs).

Az a) és b) esetben a végrehajtás nem megfelelőségéről, vagy másként a végrehajtó alkalmatlanságáról beszélhetünk, aminek a mértékét a hibaráta határozza meg. Ekkor a kapcsolódás valószínűsége arányos a hibarátaival.

### 35. egyenlet: $P_a(v_i) \sim F_i$

A c) esetben a motiváció a felelőség csökkentés, ami annál fontosabb, minél kritikusabb az adott tevékenység a folyamat megfelelőse szempontjából. Tipikusan ilyenek a jóváhagyások, amelyek az összes korábbi tevékenység végrehajtásáról állítanak ki bizonyítványt. Ha valaki téved, a felelőség őt terheli, még akkor is, ha az eredendő hibát nem ő követte el. Itt tehát a választás valószínűsége a lépés kritikusságával arányos.

### 36. egyenlet: $P_c(v_i) \sim Cr_i$



A d) típusban a kapcsolódási valószínűség a kihasználtsággal és a kapacitás reciprokával arányos.

$$37. \text{ egyenlet: } P_d(v_i) \sim U_i \sim C p_i^{-1}$$

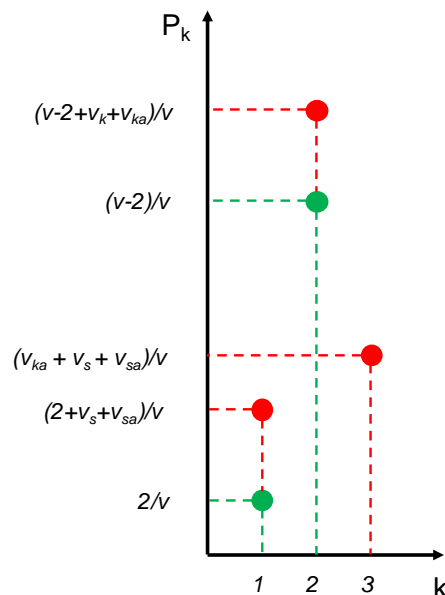
Az e) kategória „kilóg” a többiek közül, mert itt jellemző az összfokszám csökkenés, azaz a változás az egyszerűsítés irányába hat. Ebben az esetben is a lépés kritikusságával kalkulálhatunk, de szemben a c) típussal, itt fordított az arányosság.

$$38. \text{ egyenlet: } P_e(v_i) \sim C r_i^{-1}$$

A csúcscsám és a fokszám közötti összefüggés jellegében hasonló lesz az ideális folyamatstátuszúéhoz [29. ábra]. A függvény meredeksége attól függ, hogy az alternatív utakat létrehozó új csúcsok mennyivel csökkentik a bejárható út hosszát, illetve a nem alternatív utakat létrehozó új csúcsok mennyivel növelik ezt. Az átlagos fokszám értéke ez esetben is a [32. egyenlettel] számítható.

#### 4.8.4 Fokszámeloszlás

A fokszámeloszlásnál azt vizsgáltuk, hogy a meglévő kapcsolódásokhoz az újonnan belépő csúcsok hogyan és milyen mértékben adnak hozzá újakat, azaz növelik meg a csúcsok fokszámát. Egy él két csúcsonál egy-egy fokszámnövekedést jelent, függetlenül attól, hogy hány tétel használja. A [31. ábra] a fokszámeloszlás ismert pontjait adja meg.



31. ábra: Az ideális és a reális folyamatstátusz fokszámeloszlása. Forrás: saját munka.

A zöld pontok az ideális, a piros pontok a reális folyamatstátuszhoz tartoznak. Az ideális állapotban a kezdő és a végpont fokszáma 1, a többi csúcscé 2. A reális státuszban az új kezdő és végpontok növelik az egyes fokszámú csúcsok számát, míg kettes fokszámmal rendelkeznek az új köztes pontok is. Megjelenik egy hármas fokszámú csoport is, annak köszönhetően, hogy az alternatív köztes és végpontok, valamint a nem alternatív végpontok  $P((v-2)/v)$  valószínűséggel olyan csúcsokhoz kapcsolódnak, amelyek már rendelkeztek két szomszédal. Ennél többet nem állíthatunk biztosan a reguláris állapotról. Elképzelhető, hogy megjelenik egy négyes vagy többes elágazás is, azonban a konkrét folyamat ismerete nélkül ezek száma nem meghatározható.

#### 4.8.5 A folyamatstátuszok összehasonlítása

A folyamatstátuszok összehasonlítását, ezzel a változás jellegének meghatározását a legfontosabb hálózati jellemzők értelmezésével mutatjuk be.

5. táblázat]

Hálózati jellemző	Magyarázat	Ideális folyamatstátusz	Reális/aktuális folyamatstátusz
Tranzitivitás	A ténylegesen létrejött és az elméletileg lehetséges összefüggő csúcshármasok számának aránya	Nulla, nincsenek elágazások, hurkok	Magasabb, értéke a háromlépéses visszacsatolási körök számától függ
Reciprocitás	A szomszédos csúcsok között a kölcsönös kapcsolatok aránya	Nulla, a tételek áramlása egyirányú	Nem jellemző, mert az átadást és a visszavételt általában külön lépésnek kezeljük
Kis világ jelenség (átmérő)	A legrövidebb utak hossza a hálózat méretéhez képest kicsi	Nem jellemző, nincsenek a folyamat távoli részeit összekötő élek	A gyorsító alternatív utaknak köszönhetően megjelenik
Fokszám centralitás <sup>10</sup>	A csúcs centralitása arányos a fokszámával	Nincs kiemelkedő centralitású csúcs	Az alternatív utaknak köszönhetően jobban szóródnak a fokszámok, így megjelennek az átlagnál magasabb centralitású csúcsok
Csoportosulás	A csúcsok csoportképződésére jellemző alakzatok	A teljes háló összefüggő, klikkek nincsenek, jellemzőek a 2-core-ok	v>3 klikkek megjelenése nem valószínű, n>2 core-ok megjelenése várható
Redundancia	A központi csúcs szomszédjainak átlagos belső fokszáma <sup>11</sup>	Nulla, nincsenek központi csúcsok, a hálózat lánc alakzatot vesz fel	A visszacsatolási körökben várhatóan 2
Strukturális egyensúly <sup>12</sup>	Előjeles minősítéses élek esetében a stabil csúcscsoportok aránya	Nulla, nincsenek alcsoportok	A hibajavításoknál előfordulhatnak instabil csoportok
Strukturális hasonlóság	Két csúcs szomszédjai között mekkora az átfedés	Az egymástól két lépésre lévő csúcsoknál 50%	Ha a két csúcs azonos körben van, magasabb is lehet
Hidak aránya	Azon élek és csúcsok aránya, amelyek eltávolításával az összefüggő komponensek száma nő	Valamennyi él és csúcs híd, nincsenek alternatív utak	Az alternatív utak miatt nem minden él és csúcs híd, a hálózat robosztusabb
Diffúzió	Az áramlás módja	Egyirányú, állandó útvonalú, folyamatos	Többirányú, változó útvonalú, nem feltétlenül folyamatos

**5. táblázat: A folyamatstátuszok hálózati jellemzői. Forrás: saját munka.**

#### 4.9 A fejezethez kapcsolódó tézisek

**Tézis 2: A gyakorlatban elterjedt folyamatteljesítmény-értékelési megközelítésekben kiindulva kidolgoztam a hálózatokkal modellezett folyamatok új, hálózat-szemléletű elemzési módszertanát.**

- a) Definiáltam a folyamatokat alkotó tevékenységek teljesítményének értékelésére alkalmas lokális, valamint a teljes folyamat minősítéséhez felhasználható globális hálózati indikátorokat, meghatároztam az indikátorok közötti összefüggéseket leíró Hálózatalapú Folyamatindikátor

<sup>10</sup> A centralitás meghatározására a szakirodalom számos egyéb módszert ismer, mint pl. eigenvector, Katz, Page rank, closeness, betweenness centralitások.

<sup>11</sup> Belső fokszám esetén csak azokat az éleket vesszük figyelembe, amelyek a vizsgált csúcsot a központi csúcs többi szomszédjával kötik össze.

<sup>12</sup> Azokban a folyamathálóokban lehet vizsgálni, amelyekben az éleket megfelelőnek és nem-megfelelőnek minősítjük, pl. az átadott tételek alapján.

Modellt (NPIM), majd ezek alapján megadtam a folyamatminőség új, hálózatszemléletű értelmezését.

Kapcsolódó fejezetek: 4.5

Kapcsolódó saját publikációk: [18].

- b) Az új megközelítést megvizsgáltam a Lean veszteségdefiníciók szempontjából és azonosítottam a Hálózatalapú Folyamatindikátor Modell és a Lean veszteségek közötti összefüggéseket. Specifikáltam a Lean veszteségek kvantitatív meghatározására alkalmas indikátorokat.

Kapcsolódó fejezetek: 4.6

Kapcsolódó saját publikációk: [18].

**Tézis 3: Kidolgoztam a folyamatok életciklusában beálló változások leírására és elemzésére használható hálózati modellt.**

- a) Definiáltam a folyamatok életciklusa során azonosítható, a folyamatok kialakítása utáni változások nevezetes állapotait, meghatároztam a változások lehetséges okait, valamint ezek hatását a hálózati modell topológiai tulajdonságaira.

Kapcsolódó fejezetek: 4.8.1, 4.8.2, 4.8.3, 4.8.4, 5.1

Kapcsolódó saját publikációk: [14]

- b) Specifikáltam a folyamatállapotok jellemzőit a folyamatmodellezés szempontjából legfontosabb hálózati jellemzők segítségével.

Kapcsolódó fejezetek: 4.8.5

Kapcsolódó saját publikációk: [14]

## 5 A folyamatfejlesztés hálózatszemléletű módszertana

Albert Einstein 1918-ban írta a következőt Herman Weyl matematikusnak, aki a részecskefizikai standard modell egyik alapgondolatát, az objektumok hossza és az általuk bejárt pálya közötti összefüggést azonosította: „A valósággal való egyezés hiányától eltekintve az elmélet pompás intellektuális eredmény.”[55] Szem előtt tartva annak a kockázatát, hogy a hálózatok és a folyamatok egyesítését célzó törekvés pusztán egy elméleti síkon megragadt intellektuális vívmány marad, az alábbiakban bemutatjuk, milyen gyakorlati lépések segítségével juthatunk el a folyamatok hálózatszemléletű elemzéséhez.

### 5.1 A folyamatok változásának okai és jellemzői

A módszertan alkalmazási lehetőségét elsősorban a folyamatokban beállt változások mértékének meghatározásában látjuk. A rendszerek, ezen belül a folyamatok változásával, annak okaival és hatásaival a változásmenedzsment foglalkozik. Egy elterjedt megközelítés a lehetséges változásokat két csoportra osztja:

- 1) elsőfokú vagy morfosztatikus változás: egy adott rendszer keretein belül zajlik le,
- 2) másodfokú vagy morfogenetikus változás: magának a rendszernek a megváltozása. [59]

Az üzleti folyamathálózat esetében elsőfokú változás az új csúcok és élek megjelenése, azaz a [4.8.1 fejezetben] ismertetett folyamatstátuszok közötti átalakulás, másodfokú változás pedig a folyamat alapvető megváltoztatása, mint pl. az aktuálisból egy ideális státuszú folyamat létrehozása egy újjáalakítási (Business Process Reengineering, BPR) projekt keretében. [48] A továbbiakban a morfosztatikus változásokkal foglalkozunk.

A folyamatok topológiai változásának néhány okát a [4.8.3 fejezetben] ismertettük. Emellett megjelenhet még motivációként az energiáminimumra való törekvés, jelesül az eredmények előállítása a lehető legkevesebb munkával. A végrehajtók közötti eltérő emberi-szakmai kapcsolatok, amelyek befolyásolják, hogy több, ugyanazon feladatot ellátó erőforrás közül – amennyiben van lehetőség a szabad választásra – kinek adja tovább valaki az általa előállított kimenetet, szintén módosíthatja a folyamatháló topológiáját. A változásmenedzsment egyik alaptétele, hogy minden változás ellenállást generál, mert bizonytalanságot szül, megváltoztatja a status quo-t, amelybe már beletanultunk, amit rutinszerűen művelünk. Ezért a változások célja lehet az eredeti helyzet visszaállítása, a folyamat visszarendeződése is.

A klasszikus közgazdaságtan abból a feltételezésből indul ki, hogy az emberek racionálisan döntenek és cselekszenek. Noha több területen bebizonyosodott, hogy ez az állítás nem mindig állja meg a helyét [48], a folyamatháló elemzésénél abból indulunk ki, hogy a változások tudatosak, nem spontán módon alakulnak ki. Ezekre sok esetben jellemző, hogy lokális változtatásokat generálnak anélkül, hogy figyelembe vennék a teljes folyamat érdekeit, tehát összességében veszteséget okozhatnak.

Mindezek alapján a hálózatszemléletű folyamatfejlesztés elsődleges célja a folyamatváltozás mértékének meghatározása a változás strukturális hatásainak azonosításával, majd ez alapján a nemkívánatos változások megszüntetése és újbóli előfordulásuk megelőzése.

### 5.2 Folyamatok prioritizálása, kiválasztás

Az egyik legelső kérdés, amely felmerül a folyamatfejlesztési projekteknél, hogy melyik folyamattal érdemes kezdeni az átalakítást. Noha a legtöbb módszertan, így a hálózatalapú folyamatfejlesztés is lényegében bármilyen üzleti folyamat esetében használható, a gyakorlati haszonnal bíró eredmények szempontjából jelentős különbségek lehetnek. A kiválasztásnál például az alábbi szempontokat lehet figyelembe venni:

- A. Stratégiai relevancia: milyen erős a folyamat és a stratégiai célok közötti kapcsolat,
- B. Ügyfélhatás: a folyamat eredményeképpen előálló termék vagy szolgáltatás megfelelősége milyen hatást gyakorol az ügyfélelégedettségre,

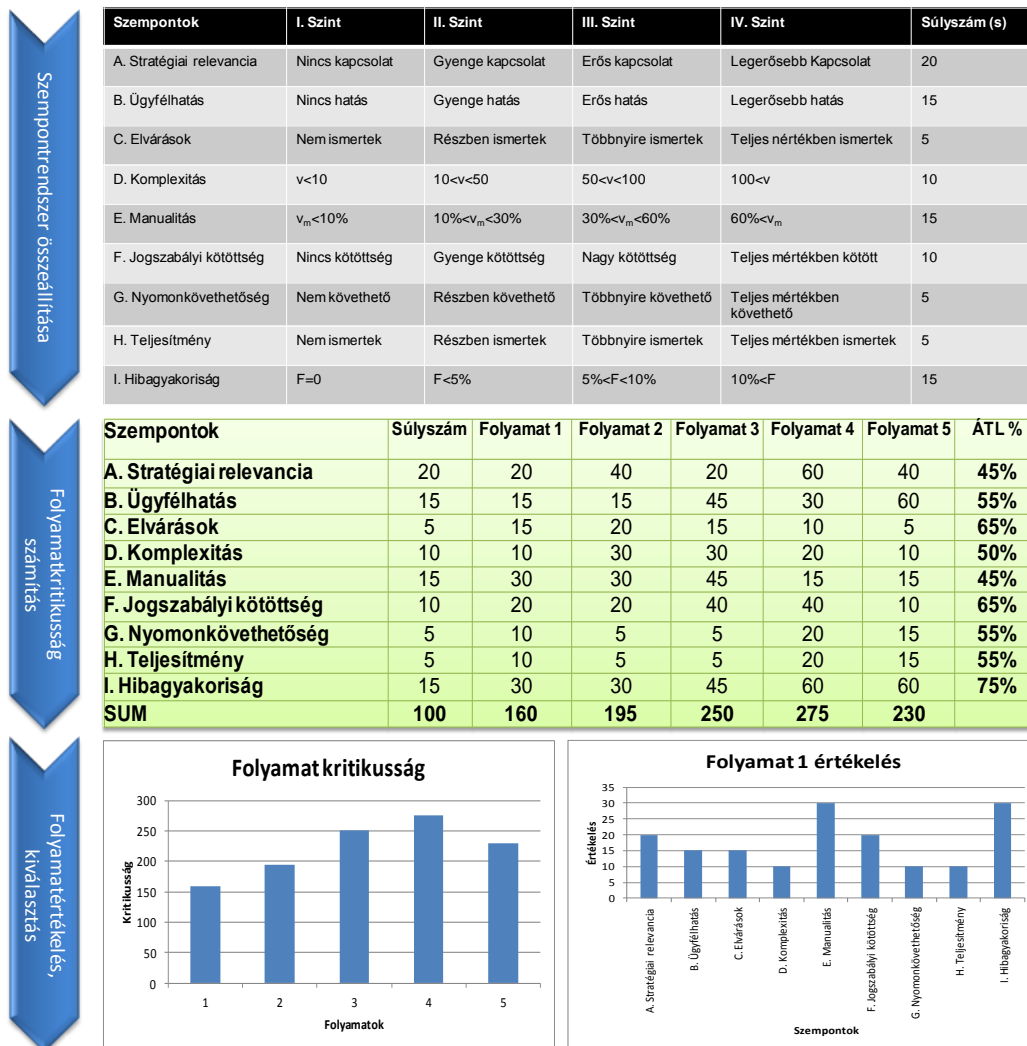
- C. Elvárások: ismertek-e a folyamattal szembeni elvárások, valamint a reális (és esetleg az ideális) folyamatstátusz,
- D. Komplexitás: a folyamat hány tevékenységből (és átadási pontból) áll,
- E. Manualitás: a tevékenységek között milyen arányban vannak a humán erőforrások által végzett, nem automatizált feladatok,
- F. Jogszabályi kötöttség: a tevékenységek és az átadási pontok milyen mértékben kötöttek nem, vagy nehezen módosítható szabályozások által,
- G. Nyomonkövethetőség: a folyamatban feldolgozott diszkrét termékegységek útja a folyamatban milyen mértékben nyomonkövethető,
- H. Teljesítmény: mennyire ismertek vagy felmérhetők a végrehajtás minőség-, idő- és költségadatai,
- I. Hibagyakorosság: a végrehajtás során milyen gyakorisággal fordul elő nem megfelelés.

A szempontrendszer alkalmas arra, hogy segítségével felállítsuk a folyamatok kritikussági sorrendjét. Ennek egy lehetséges módja, ha minden szempont szerint egy négyelemű skálán minősítjük a folyamatot, majd a kapott szempontértékeket súlyozva összegezzük.

A folyamatkritikusság számítás és elemzés lépései az alábbiak:

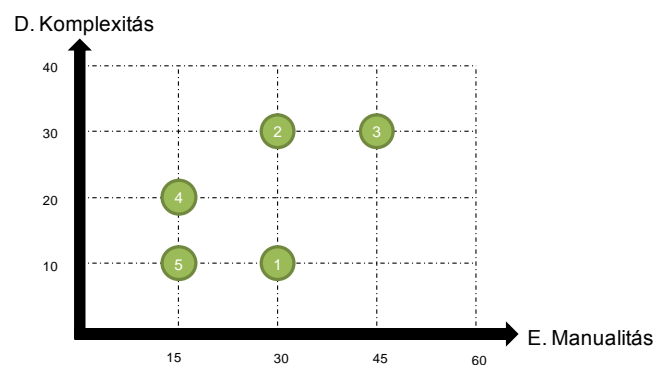
- 1) Szempontrendszer előállítás: a kritikussági szempontok kiválasztása, a szintek definiálása, a súlyszámok meghatározása.
- 2) Folyamatkritikusság számítás: folyamatonként minden szempontra a kritikussági értékek meghatározása.
- 3) Folyamatértékelés, kiválasztás: összkritikusság alapján a folyamatsorrend felállítása, fejleszteni kívánt folyamatok kiválasztása, a kiválasztott folyamatok értékelése minden szempont figyelembevételével a fejlesztési célok kijelölése érdekében. [32. ábra]

A teljes folyamatstruktúráról további információval szolgál, ha megvizsgáljuk, hogy az egyes kritikussági szempontok tekintetében milyen átlagos értékeket eredményezett a felmérés. Ennek a maximumértékhez viszonyított százalékos aránya bizonyos értelemben a folyamatok érettségére utal.



32. ábra: A folyamatkritikusság számítás és elemzés lépései. Forrás: saját munka.

A kritikusság vizsgálat nem a hálózatszemléletű folyamatfejlesztés sajátossága, de szempontjai közül a komplexitás és a manualitás hordoz hálózatos sajátosságokat. Minél komplexebb a folyamat és minél több manuális tevékenység van benne, annál inkább indokolt a hálózatanalítika alkalmazása. Ezért – további szelektációs módszerként – érdemes a folyamatokat csak e két szempont szerint külön is elemzés alá venni.



33. ábra: Folyamatkritikusság elemzés a manualitás és a komplexitás alapján. Forrás: saját munka.

A [33. ábra] szerint elsősorban a 3-as folyamatot érdemes hálózatos eszközökkel elemezni.

### 5.3 Folyamatfelmérés, adatgyűjtés

Véleményünk szerint a folyamatfelmérés és a kapcsolódó adatok gyűjtése az egyik legnehezebb rész a fejlesztési projektben. Ennek oka, hogy a komplex folyamatoknál a legkritikább esetben van olyan szereplő, aki az elejétől a végéig kellő mélységben ismeri a folyamatot, ezért az információkat több forrásból kell összegyűjteni, ami ellentmondásokhoz vezet. Ha a folyamatot az összes résztvevő bevonásával, csoportmunka keretében vesszük fel, a leggondosabb előkészítés ellenére is rendszeresen előfordul, hogy kimaradnak lépések, vagy nem egyenszilárdságú lesz az egyes folyamatszakaszok modellezési mélysége. Ráadásul a csoportmunka alkalmazásakor a felmérés rendkívül időigényes, tapasztalatunk szerint bonyolult esetben akár 15-20 embernapot is igénybe vehet.

Ezeknek a hátrányoknak a csökkentésére a tételek nyomonkövetésén alapuló felmérési módszert alkalmazzuk. Ennek lényege, hogy a folyamatban feldolgozásra kerülő tételek útját egy kísérőlapal követjük. A megvalósításnak két lehetséges módja van. Az első esetben a kísérőlapok a végrehajtóknál maradnak, azok nem követik fizikailag a tételek útját, így egy tétel feldolgozásának minden állomása külön kísérőlapon kerül rögzítésre. Ez a megoldás feltételezi, hogy előre ismerjük a végrehajtókat. Ha ez nem megoldható, olyan kísérőlapot kell alkalmazni, amely fizikailag végigkíséri a tételt a folyamaton. Ez esetben a kísérőlapon a végrehajtók azonosítóját is fel kell tüntetni. Ennek hátránya, hogy meg kell oldani a kísérőlap mozgatását is. Ha a felmérni kívánt információk valamilyen ügyviteli informatikai rendszerben megtalálhatók, a kísérőlapok tartalmát riporttal kell előállítani.

A helyben maradó kísérőlapok használatakor minden folyamatlépésben a végrehajtó az alábbi adatokat rögzíti:

- laponként:
  - végrehajtó neve, azonosítója,
  - a tevékenység neve (ha csak egyfélért végez),
- tételenként:
  - a feldolgozásra kiválasztott tétel azonosítója,
  - a kiválasztás után a tevékenységet megelőző köztes tárolóban várakozó tételek száma,
  - a tevékenység neve (ha több feladatot is végez),
  - a végrehajtás elkezdésének időpontja,
  - a kapott bemenetek forrása (melyik tevékenységtől vagy erőforrástól kapja),
  - a kapott bemenetek azonosítója és minősítése (megfelelő/nem megfelelő),
  - a végrehajtás megszakítása esetén (opcionális):
    - a megszakítás időpontja,
    - a folytatás időpontja,
  - a végrehajtás befejezésének időpontja,
  - a kimenet címzettje (melyik tevékenységnek vagy erőforrásnak adja tovább).

A tételt végigkísérő feladatlap adatai:

- laponként:
  - termék neve, azonosítója,
  - tétel sorszáma,
- tevékenységenként:
  - végrehajtó neve, azonosítója,
  - a tevékenység neve,
  - a végrehajtás elkezdésének időpontja,
  - a kapott bemenetek minősítése (megfelelő/nem megfelelő),
  - a végrehajtás megszakítása esetén (opcionális):
    - a megszakítás időpontja,
    - a folytatás időpontja,
  - a végrehajtás befejezésének időpontja.

Az időpont mértékegysége a jellemző ciklusidő függvénye, pl. 1 perc. A kapott bemeneteket és a forrásukat azonosítóval kell megadni, valamint az inputokat megfelelő/nem megfelelő minősítéssel kell ellátni. A kimenetek címzettjénél legalább a következő folyamatlépés azonosítóját kell megadni. Ha ennek végrehajtója több szereplő lehet, és ebben a pontban kiválasztható a célszemély, úgy annak azonosítóját kell rögzíteni.

Az azonosítókat érdemes előre definiálni és a végrehajtóknak eljuttatni. Ha ez nem lehetséges, az inputok, a tevékenységek illetve végrehajtók nevét kell bekérni. Ez utóbbi esetben a felmérést követi egy adattisztítás, amelynek során be kell azonosítani a neveket.

A kísérőlapok összesítése során az alábbi információk állnak elő minden tevékenységnél:

- tételszám (végrehajtás száma),
- bemenetek minősítése (nem megfelelőségi arány)
- megelőző és követő tevékenységek (tételszámmal),
- ciklusidő,
- átfutási idő (csak megszakítás esetén tér el a ciklusidőtől),
- a köztes tároló átlagos mérete.

A felmérési adatok alapján az alábbi folyamatháló típusokatt készíthetjük el:

- 1) Tevékenység-háló:
  - a. csúcsok: tevékenységek,
  - b. élek: input-output kapcsolatok,
  - c. csúcsok attribútumai: tevékenység azonosító, ciklusidő átlag, átfutási idő átlag,
  - d. az élek attribútumai: várakozó tétel átlag, input minősítés, áthaladó tételszám.
- 2) Erőforrás-háló:
  - a. csúcsok: végrehajtók,
  - b. élek: input-output kapcsolatok,
  - c. csúcsok attribútumai: végrehajtó azonosító, ciklusidő átlag, átfutási idő átlag,
  - d. az élek attribútumai: várakozó tétel átlag, input minősítés, áthaladó tételszám.
- 3) Mozzgatási-háló:
  - a. csúcsok: nem mozzgatást végző tevékenységek,
  - b. élek: mozzgatást végző tevékenységek,
  - c. csúcsok attribútumai: tevékenység azonosító, ciklusidő átlag, átfutási idő átlag,
  - d. az élek attribútumai: mozzgatási távolság, ciklusidő, egységnyi erőforrás költség, erőforrás szám.
- 4) Értéktremtő-háló:
  - a. csúcsok: tevékenységek,
  - b. élek: értéktremtő tevékenységek közötti logikai kapcsolatok,
  - c. csúcsok attribútumai: tevékenység azonosító, ciklusidő átlag, átfutási idő átlag,
  - d. az élek attribútumai: mivel csak az értéktremtő lépések arányának meghatározása a cél, az élek erőssége nem játszik szerepet.
- 5) Folyamatközi-háló:
  - a. csúcsok: folyamatok,
  - b. élek: input-output kapcsolatok,
  - c. csúcsok attribútumai: folyamat azonosító, átfutási idő átlag,
  - d. az élek attribútumai: várakozó tétel átlag, input minősítés, áthaladó tételszám.

#### 5.4 Folyamatdiagnosztika

A folyamathálók diagnosztikájának, elemzésének feladatai két nagyobb blokkba sorolhatók:

- 1) a folyamathálók grafikus vizsgálata,

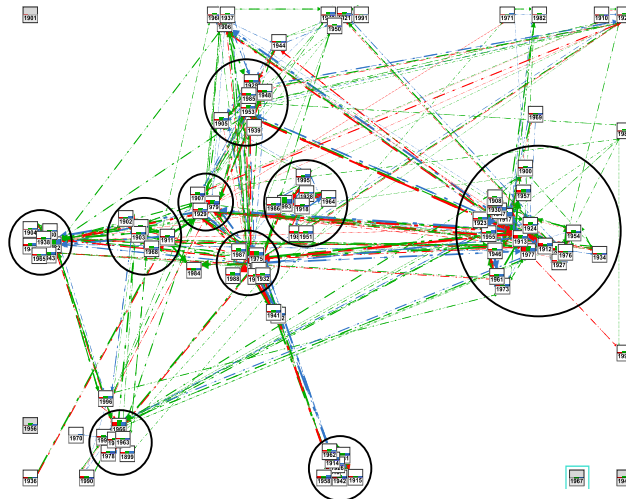


- 2) a 4. fejezetben bemutatott hálózati jellemzők meghatározása és értelmezése a folyamatvesztések azonosítása érdekében.

A két elemzés egymással szoros kapcsolatban van. A topológiára vonatkozó hálózat-geometriai jellemzők mindegyikéhez hozzárendelhető egy vagy több hálózat-algebrai mutató, amelyek számszerűsítik azok értékét.

#### 5.4.1 A folyamatháló grafikus vizsgálata

A grafikus vizsgálat a csúcsok eloszlásának a vizuális jellemzőt azonosítja. Ehhez nem a folyamatlefutás logikája diktálta sorrendben kell elhelyezni a csúcsokat a hálózatban. A hálózatoknak egyedi geometriájuk van, amelyben az élek száma és súlya szerint kell elrendezni a csúcsokat, függetlenül a tér- és idődimenziók hagyományos értelmezésétől. A hálózati modellező eszközök számos különböző algoritmust használnak erre a feladatra (pl. Kamada-Kawai, Fruchterman-Reingold stb. [47]). Közös bennük, hogy azokat a csúcsokat húzzák közelebb egymáshoz, amelyek kapcsolata valamilyen szempontból erősebb. Ez alapján a folyamathálóban „csomósodások” figyelhetők meg, amelyek az egymással szoros kapcsolatban álló alcsoportokat jelenítik meg. [34. ábra] Az alcsoportok a [4.6.1 fejezetben] részletezett módon eltérő belső struktúrájuk és jelentésük lehetnek.



**34. ábra: Különböző méretű csomósodások a folyamathálóban. Forrás: saját munka.**

A [34. ábra] gráfján néhány alcsoportot körökkel kereteztünk, amelyek átmérője arányos a csomó méretével, így kvantifikálhatóvá válik az alcsoportok mérete anélkül, hogy pontos ismereteink lennének a belső struktúrájukról. Ez a módszer elsősorban a csomók méretének összehasonlítását teszi lehetővé. A csomók száma és eloszlása a háló homogenitását jellemzi.

Ezek az információk akkor állnak elő, ha valamelyik korábban meghatározott attribútumot felhasználjuk az élek súlyozására. Ha az élsúly a köztes tároló mérete, a szorosan összefüggő alcsoportokat azok a tevékenységek alkotják, amelyek között több a várakozó tétel. Ez arra utal, hogy ezek a folyamatszakaszok nem kiegyensúlyozottak.

Ha a tételek minősítésénél megelégszünk a megfelel - nem felel meg információval, az élsúlyok előjele felhasználható ennek rögzítésére. A [34. ábra] egy ennél bonyolultabb minősítési rendszert mutat be, amely szerint a megfelelőséget három különböző szempontból vizsgáljuk:

- piros: tartalmi megfelelőség,
- kék: formai megfelelőség,
- zöld: időbeli megfelelőség.

A minősítés előjelét az él típusa jelzi, miszerint a szaggatott vonal a többször megfelelt, míg a pontvonal a többször nem megfelelt kapcsolatokat mutatja. Az élek színbeli eloszlása és típusa tehát

információval szolgál arról, hogy mely folyamatszakaszoknál milyen problémák adódnak a bemenetekkel.

A csomósodások belső struktúrájának vizsgálatához számos egyéb lehetőség adott. Elemezhetjük pl. csak a formai megfelelést (vágás éltípus szerint), hogy kiszűrjük a leginkább problémás output-okat. Hasonló módon lekérhetjük az egyik alcsoport belső kapcsolatrendszerét (vágás csúcstípus szerint), amely csak egy adott súly felett tartalmazza az éleket (vágás az élsúly nagysága szerint). Ha az élek súlyának ez esetben a kapcsolaton áthaladt tételszámot vesszük, megkapjuk a leggyakoribb lefutási útvonalakat. Ez különösen az erőforrás-háló esetében lehet érdekes, ha a célunk a terhelések kiegyenlítése.

A tranzitivitás ( $C_3$ ) meghatározásához szükséges hármas klikkek ( $P_3$ ) és összefüggő csúcshármasok ( $Q_3$ ) száma szintén a gráfokból számolható. A hálózatelemző szoftverek képesek ezek kalkulálására, de manuálisan is előállítható a hányados.

Hasonlóan a galaxisokat összetartó fekete lyukakhoz (és feltételezett sötét anyaghoz/energiához), a csomósodások „közepén” található magas fokszámú ún. hubok is kulcsszerepet játszanak az inhomogenitás növekedésében. Erős csatolásuknak köszönhetően magukhoz vonzzák a többi csúcst, megnövelve ezzel a csomók közötti fizikai távolságot. Ugyanakkor sok esetben híd szerepet is betöltenek, amellyel csökkentik a csomók közötti, hálózati értelemben meghatározott távolságot. Hídként funkcionálhatnak alacsony fokszámú csúcscok, sőt gyenge kapcsolatú funkcionáló élek is, amelyek egyes kutatások szerint bizonyos hálózatok összetartásáért felelősek. [10] Ez a kettős szerep jellemző egy hálózatra, így a folyamathálóra is. A folyamathálóban hubok azok a tevékenységek és erőforrások, amelyeknél a hurkok kezdődnek vagy végződnek. Ezek a pontok érdemes keresni a hibajavítási veszteséget. A hidak szerepe már korántsem ennyire egyértelmű. Egy lehetséges értelmezés szerint ezek olyan tevékenységek és erőforrások, amelyek a folyamatok egymástól távol lévő szakaszait egy gyorsabb és rövidebb alternatív lefutási útvonallal kötik össze. Ezek azok a pontok, ahol lehetőség van az átfutási idő csökkentésére.

A folyamathálóban láthatóak még izolált csúcscok. Ezek olyan tevékenységek és erőforrások, amelyek nem, vagy ritkán vesznek részt a folyamatban, ezért megfontolható elhagyásuk.

Bármelyik módon is közelítünk a hálózathoz, lényegében a különböző szempontú inhomogenitásokat tudjuk beazonosítani és elemezni. Minél inhomogénebb a folyamat, valószínűleg annál nagyobb változáson esett át az ideális folyamatstátuszhoz képest. Ennek analitikus bizonyításához meg kell határoznunk a folyamat mutatószámait, amelyek a módját a következő fejezet mutatja be.

#### **5.4.2 A folyamatháló analitikus vizsgálata**

A folyamatstátuszok összehasonlítására felhasználható mutatókat a [4 fejezetben] részletesen bemutatuk. A közöttük lévő kapcsolatrendszer a [10.1 fejezet] szemlélteti. Ebben zölddel jelöltük azokat a mutatókat, amelyeket a folyamatfelmérésben lehet meghatározni, az alábbi módon:

- lépésszám ( $v$ ) = a tevékenységenkénti kísérőlapok száma,
- élek száma ( $E$ ) = a kísérőlapon megjelölt megelőző és követő lépések, valamint az adott lépés közötti független input-output kapcsolatok,
- ciklusidő ( $CT$ ) = a tevékenység kezdete és vége között eltelt idők átlaga,
- közttes tároló darabszáma ( $N$ ) = a várakozó tételek átlagos száma,
- várakozási idő ( $WT$ ) = az adott tevékenység ciklusidejének és a várakozó tételek átlagának szorzata,
- hibamérték ( $\delta$ ): példánkban csak minősítjük a kimenetet, de nem mérjük a hiba mértékét, ezért itt nem használjuk. Amennyiben a kihozatal ( $\pi$ ) számításához szükséges, a kísérőlapon a tétel minősítésénél lehet bekérni az egy tételre elkövetett hibaszámot, majd ezt kell arányosítani a hibalehetőségek számához,
- egységnyi időre jutó erőforrás költség ( $\rho$ ) = a tevékenységek végrehajtóinak attribútuma, nem a folyamatfelmérésből határozzuk meg,

- a tevékenységet végző erőforrások száma ( $\gamma$ ) = az erőforrásonkénti kísérőlapok száma,
- mozgatási távolság ( $D$ ) = a kísérőlapok nem tartalmazzák, mert a mozgatási veszteség más módon kerül meghatározásra,
- a tevékenység kritikussága ( $C_r$ ) = nem része a felmérésnek, mert a kapcsolódási valószínűség meghatározása a modellalkotáshoz szükséges, a folyamatváltozás meghatározásának nem eleme,
- a tranzitivitás ( $C_3$ ) meghatározásához szükséges hármasklikkek száma ( $P_3$ ) és összefüggő csúcshármasok száma ( $Q_3$ ) a grafikus elemzésből számolható (5.4.1).

A fentiek alapján a Lean veszteségek az alábbi hálózati jellemzőkkel határozhatók meg [

6. táblázat].

Folyamatvesztés	Folyamatháló típus	Grafikus vizsgálatok	Analitikus vizsgálatok
Ellenőrzés, javítás	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tevékenység-háló</li> <li>• Erőforrás-háló</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A csomósodások eloszlása és mérete, élsúly a tétel minősítése</li> <li>• hubok azonosítása</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tranzitivitás</li> <li>• <math>\beta</math> tételszámnál nagyobb lefutásszámú (súlyú) élek aránya</li> <li>• Hibaarány</li> <li>• Kihozatal</li> </ul>
Mozgatás	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mozgatási-háló</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A csomósodások eloszlása és mérete</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Összefüggő mozgatási komponens aránya</li> </ul>
Túltermelés, várakozás	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tevékenység-háló</li> <li>• Erőforrás-háló</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A csomósodások eloszlása és mérete, élsúly a köztes tároló mérete</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kiegyensúlyozottság</li> <li>• Átfutási idő</li> <li>• Várakozási idő</li> </ul>
Túlmunka	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Értékteremtő-háló</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Az összefüggő komponens és az izolált csúcsok aránya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Átfutási idő</li> <li>• Összefüggő értékteremtő komponens aránya</li> </ul>
Nem kihasznált erőforrás	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erőforrás-háló</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terheléeloszlás, élsúly az áthaladt tételszám</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kihasznátltság</li> <li>• Ütemidő</li> </ul>
Készletezés, raktározás	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folyamatközi háló</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A csomósodások eloszlása és mérete, élsúly a köztes tároló mérete</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kiegyensúlyozottság</li> </ul>

#### 6. táblázat: A folyamatvesztések meghatározására alkalmas hálózati jellemzők. Forrás: saját munka.

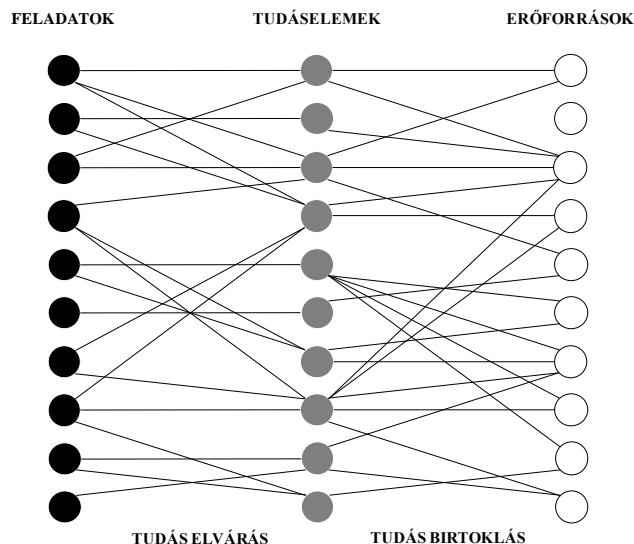
A mutatókat az ideális és az aktuális státuszra is meghatározva, majd különbséget képezve megkapjuk a változás, ez alapján pedig a kialakult folyamatvesztések mértékét.

#### 5.5 Működési kockázatok előrejelzése, monitorozása, elemzése hálózatelméleti megközelítésben

A folyamatokat modellező hálózatok egyik fontos tulajdonsága, hogy képesek jelezni a komplex rendszer tervezettől eltérő működését, valamint előrejelzik az eltérés várható hatásait. A következő két alfejezetben - általunk kidolgozott módszereken keresztül - bemutatjuk, hogy a hálózati modellek hogyan képesek betölteni ezt a funkciót a szervezeti tudásérték meghatározásában, a tudásvesztés kockázatának kalkulálásában, valamint a kockázatkezelési tevékenységek fejlesztésében.

##### 5.5.1 A tudásérték meghatározása hálózati modellekkel

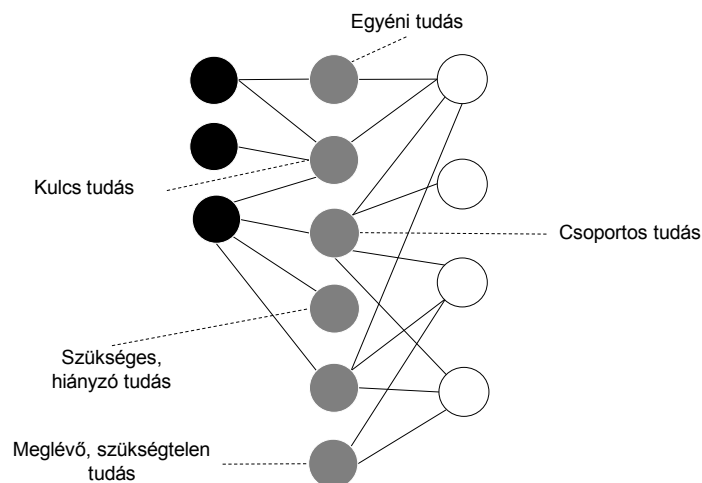
A szervezetben meglévő tudáselemek, mint minőség-tényezők közötti kapcsolatrendszert is modellezhetjük hálózattal (a továbbiakban tudáshálózat). A komplex, multimodális tudáshálózat három különböző típusú csúcsból áll; az elvégzendő feladatokból, a feladatokat elvégző erőforrásokból, valamint a szervezetben meglévő tudáselemekből. A komplex tudáshálózatban bármelyik két csúcstípus között értelmezhetünk kapcsolatot; az erőforrás birtokolja a tudást (tudás birtoklás), amely szükséges a feladat elvégzéséhez (tudás elvárás), amelyet az erőforrások végeznek el (végrehajtás). A kapcsolatokat élekkel modellezzük, amelyek nem irányítottak és nem súlyozottak, azaz minden kapcsolat kölcsönös és egyenlő nagyságú. A csúcsok és a kapcsolatok által alkotott hálózat struktúráját érzékelteti a [35. ábra].



**35. ábra: A komplex tudáshálózat felépítése. Forrás: saját munka.**

A komplex tudáshálózat alapján kategorizálni lehet a tudáselemeket. Ennek egy lehetséges módja:

- egyéni tudás: egy (vagy kevés) erőforrás által birtokolt tudás,
- kulcs tudás: több feladat elvégzéséhez szükséges, kiesése több tevékenységet vagy folyamatot érint,
- csoportos tudás: több erőforrás által birtokolt tudás,
- meglévő, szükségtelen tudás: a feladatok elvégzéséhez nem szükséges,
- szükséges, hiányzó tudás: valamely feladat elvégzéséhez szükséges. [36. ábra]



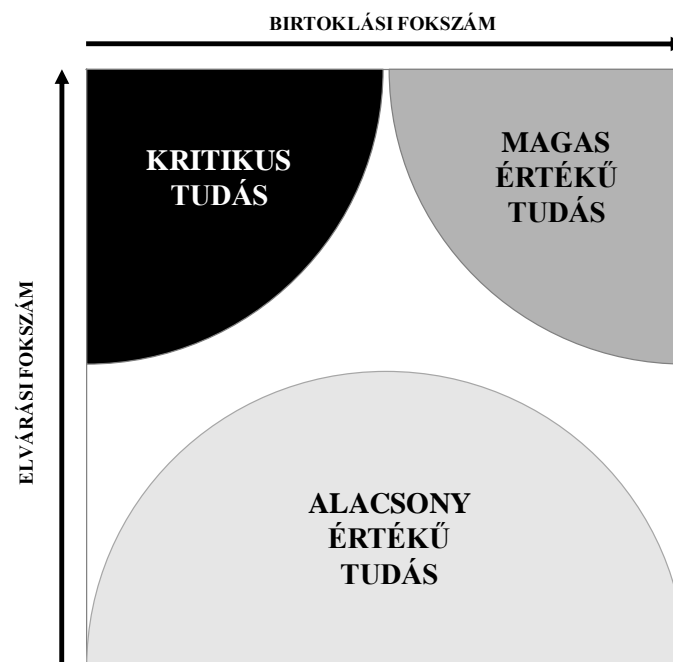
**36. ábra: A komplex tudáshálózat felépítése. Forrás: saját munka.**

A csoportosítás gyakorlati jelentősége a kritikus minőség-tényezők azonosításában, a minőség-érték meghatározásában keresendő. Alapja a hálózatban elfoglalt hely, amelyet a tényezőt reprezentáló csúcs fokszáma jellemez. Minden csúcsnak két különböző fokszáma lehet ebben a hálózatban. Témánk szempontjából a tudáselemnek van kiemelt jelentősége, ezért foglalkozunk ezzel. A tudáselemeknek van birtoklási- és elvárasi-fokszáma. A birtoklási-fokszám azt mutatja meg, hogy az adott tudással hány erőforrás rendelkezik, míg az elvárasi-fokszám megegyezik azoknak a tevékenységeknek vagy feladatoknak a számával, amelyek elvégzéséhez az adott tudás szükséges. Minél nagyobb a birtoklási

fokszám, annál elterjedtebb a szervezetben az adott tudás. Ehhez hasonlóan minél nagyobb az elvárási fokszám, annál több feladathoz szükséges a tudás. Ez alapján a tudáselem kategóriák jelentése a következő:

- egyéni tudás: kis birtoklási-fokszám,
- kulcs tudás: magas elvárási-fokszám,
- csoportos tudás: magas birtoklási-fokszám,
- meglévő, szükségtelen tudás: kis elvárási-fokszám (nem nulla birtoklási-fokszámmal),
- szükséges, hiányzó tudás: magas elvárási-fokszám (nulla birtoklási-fokszámmal).

A két fokszám együttes értékelése alapján meghatározhatjuk a tudáselem értékét. A [37. ábraán] látható módon, alacsony elvárási fokszám esetében alacsony értékű tudásról, magas fokszámok esetén magas értékű tudásról, míg magas elvárási és alacsony birtoklási fokszám esetén kritikus tudásról beszélünk. Az ábrán demonstrációs céllal ábrázolt területeket a tudásérték meghatározása érdekében fel kell osztanunk kisebb részekre. Ezt úgy tehetjük meg, hogy skálázzuk a tengelyeket és konkrét fokszám értékeket rendelünk az egyes skálaértékekhez. Az így kapott kétdimenziós mátrixban minden pontot (tudáselemet) két skálaérték, azaz két fokszám jellemez, amely lehetővé teszi az összehasonlításukat. A minősítéshez szükséges határértékeket a fokszámeloszlás jellemzői alapján érdemes meghatározni.



**37. ábra: A tudás értékének meghatározása. Forrás: saját munka.**

A tudaskategóriák és -értékek ismeretében lehet meghatározni a szükséges intézkedéseket. A kritikus tudáselemek esetében egy szűk kör által birtokolt tudásról beszélünk, ezért célszerű a tudással rendelkező munkatársak számát növelni. A magas értékű tudáselemeknél azok megtartása, fejlesztése a cél. Az alacsony értékű tudás fejlesztése nem indokolt, megtartása – a magasan kvalifikált munkaerő magasabb költségeinek köszönhetően – adott esetben szükségtelen. Ez utóbbira tipikus példa a nyelvtudással rendelkező munkatársak alkalmazása olyan pozíciókban, ahol a feladatok ezt nem indokolják.

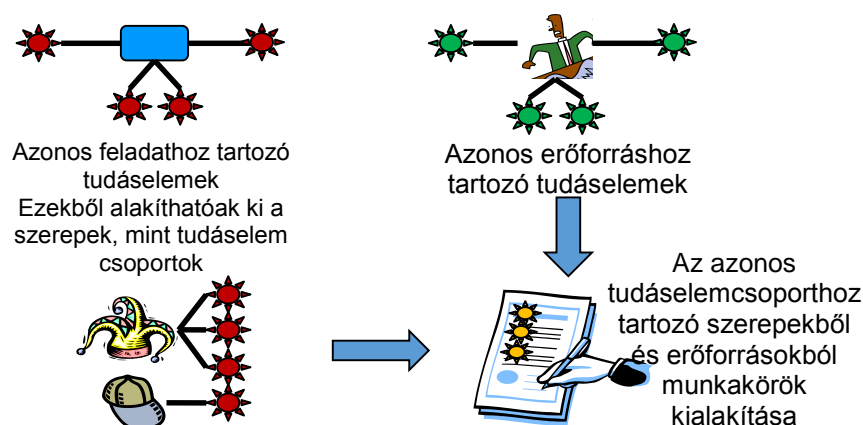
A hálózatos megközelítés előnye, hogy könnyen meghatározhatjuk azokat a tevékenységeket, erőforrásokat és tudáselemeket, amelyek egymáshoz nagymértékben hasonlítanak. Ennek módja az,

ha a tudáshálót átalakítjuk és felbontjuk származtatott másodrendű alhálózatokra. Az átalakítás különböző módon történhet. Az egyik esetben csak a tudáselemeket hagyjuk meg a hálózatban, minden mást eltávolítunk, majd egyszer azokat a tudáselemeket kötjük össze, amelyek azonos feladat(ok) elvégzéséhez szükségesek, másszor azokat, amelyek azonos erőforrások által birtokoltak. Minél több ilyen feladat vagy erőforrás van, annál szorosabb a kapcsolat két tudáselem között. Ennek a hálózatnak az elemzésével azokat a tudáselem párokat és csoportokat tudjuk meghatározni, amelyek jellemzően együtt szükségesek a tevékenységekhez, vagy együtt vannak jelen az erőforrásokban. A hálózat átalakításának másik módja, ha vagy a feladatokat, vagy az erőforrásokat hagyjuk meg. Ezek között akkor van kapcsolat, ha azonos tudáselemek szükségesek a végrehajtásukhoz, vagy azonos tudás birtokában vannak (a feladatok erőforrás azonosság, az erőforrások feladat azonosság alapján is csoportosíthatók, de ezekkel itt nem foglalkozunk).

Az alhálózatokban azonosított csúcs-csoportok ún. összefüggő alcsoportokat alkotnak. Ezek a csoportok a hálózat nagy sűrűségű területei, amelyben az élek tényleges számának és elméleti maximumának hányadosa magasabb, mint a teljes hálózatban. A tudáshálózat összefüggő alcsoportjainak elemzésében a [25. ábraán] bemutatott módszerek közül a klikk-perkolációs módszernek van a legnagyobb gyakorlati jelentősége. Ennek segítségével kapjuk meg azokat a tudáselem csoportokat (matematikai értelemben teljes gráfokat), amelyek együttesen vannak jelen a hálózatban, vagy a birtoklás, vagy a felhasználás szempontjából. A hálózatok felosztása alhálózatokká a feladatok és az erőforrások párosításában, valamint a szükséges fejlesztések kijelölésében hasznosítható.

Példaként tételezzük fel, hogy munkaköröket szeretnénk kialakítani, ill. átalakítani. Ennek a módja lehet a következő.

1. Azonos feladathoz tartozó tudáselemek meghatározása: itt az első átalakítás során nyert tudáselem-hálóban keressük meg azokat a tudáselemeket, amely jellemzően együtt szükségesek a különböző feladatok végrehajtásához.
2. Szerepek meghatározása: az összefüggő tudáselem csoportokból létrehozzuk a szerepköröket.
3. Erőforrások keresése: megkeressük azokat az erőforrásokat, akik rendelkeznek az elvárt tudáselem csoporttal.
4. Munkakörök kialakítása: a szerepekhez és az erőforrásokhoz tartozó tudáselem csoport egyezésének mértékétől függően kialakítjuk a munkaköröket. Az összerendelés logikája: egy munkakör több szerepet is ellát, egy munkakört több erőforrás is betölthet. Azokat a szerepeket érdemes egy munkakörbe szervezni, amelyek tudáselem elvárása átfedést mutat, és léteznek olyan erőforrások, amelyek az átfedés valamennyi tudáselemét birtokolják, valamint rendelkeznek a szerep specifikus tudáselemek minél nagyobb részével is. [38. ábra]



**38. ábra: A származtatott másodrendű hálózatok felhasználása a munkakörök kialakításában. Forrás: saját munka.**

A csak feladatokat tartalmazó hálózatban azonosított összefüggő, azaz hasonló tudáselem elvárású feladatok összevonhatóak, vagy fölösleges redundancia esetén egyikük megszüntethető. Az erőforrásokat tartalmazó hálózatban pedig az egymást helyettesítő, ill. az egyedi tudással rendelkező kulcserőforrások azonosíthatók.

A korábban említett kategorizálás megfelelő alapot nyújt ahhoz, hogy csökkentsük a tudásvesztés miatt kialakult problémák kockázatát. Azonban ha számszerűen is meg akarjuk határozni, hogy mekkora kockázatot jelent ebből a szempontból egy tudáselem elvesztése, érdemes a kockázatelemzési módszerekhez fordulnunk. A hagyományos megközelítés, amely a bekövetkezési valószínűség és az okozott kár mértékének szorzataként értelmezi a kockázatot, túl általános az azonnali használathoz, ezért értelmeznünk kell a tényezőket a tudásértékelés szempontjából. Az egyik ilyen lehetőség, hogy – a korábban létrehozott hálózatok segítségével – meghatározzuk a tudáslemek fokszámát, azaz azt az értéket, amely jellemzi a feladatokhoz és az erőforrásokhoz kötődés szorosságát. Ezek alapján az alábbi összefüggés segítségével meghatározható a kockázat:

$$39. \text{ egyenlet: } R=TV/P$$

ahol

- R – a tudáselvesztés kockázatának mértéke,
- P – az erőforrások azon aránya, amely birtokolja az adott tudáslelemet, azaz a tudáselem birtoklás-fokszáma,
- T – a feladatok (tevékenységek, folyamatok) azon aránya, amelyhez szükséges az adott tudás, azaz a tudáselem elvárás-fokszáma,
- V – az ezen feladatok által termelt érték mértéke, vagy az értékteremtő tevékenységek aránya.

Az utolsó tényező az első értelmezés esetében az előállított termékek vagy szolgáltatások tevékenységre jutó értékével arányos, míg a második esetben a tudáselemhez kapcsolódó értékteremtő és összes tevékenység számának hányadosával egyenlő. Az erőforrás elvesztésének kockázata meghatározható az erőforrásokhoz tartozó tudáslemek kockázatainak összegzéséből (közéérték számítás, összeadás). Hasonló logikával egy-egy tevékenység kockázatosságának vagy kritikusságának a mértéke is kiszámítható.

### **5.5.2 Minőségi kockázatok elemzése komplex hálózatok segítségével**

A minőségi kockázatok elemzésének számos módszere terjedt el a gyakorlatban. Ezek között kiemelt szerepet kap a termelési folyamatok kockázatelemzésében a Hibamód és hatáselemzés (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) és a Hibafa elemzés (Fault Tree Analysis, FTA).

Az FMEA célja, hogy csökkentse a negatív hatású események kockázatát. Ennek módja, hogy azonosítja a gyökér okokat, definiálja azok negatív hatását a folyamatra, ill. végső soron az ügyfélelvárára, majd meghatározza a probléma bekövetkezésének valószínűségét, hatásának mértékét, valamint a felfedezés valószínűségét. A három faktorból kalkulálja a kockázati tényezőt, amely alapján priorizálja a lehetséges problémákat. A kockázatkezelési intézkedések a faktorok kívánt irányba történő módosítását célozza. [57]

Az FTA a kockázatok és a lehetséges okaik közötti kapcsolatokat feltárására koncentrál. A közöttük lévő kapcsolatokat a Boole algebra operátoraival definiálja, majd ez alapján, az okok valószínűségéből határozza meg a nem kívánt események bekövetkezési valószínűségét. [1]

Az FMEA és az FTA együttes alkalmazásával a kockázatok és azok potenciális okainak olyan eseményhalmazát kapjuk, amely modellezhető hálózatokkal. A modellezés elsődleges célja, hogy – gyűjtve és feldolgozva a problémák előfordulásának detektálásából származó adatokat – validáljuk és javítsuk a kockázatelemzési szakaszban kidolgozott elméleti modellt.

A kockázati események közötti kapcsolatok hálózatokkal történő modellezésére számos módszer dolgozott ki. Az egyik széles körben használt megközelítés az Analitikus Hálózati Folyamat (Analytic Network Process, ANP), amely a kockázatok kulcs faktorainak, valamint a döntési alternatívák hatásainak elemzésére alkalmas. [26]

Az FMEA, az FTE és az ANP eszközökből kiindulva, kombinálva a minőségügyi kockázatok elemzése során a gyakorlatban jól hasznosítható elemeket, kidolgoztuk az ún. NTS<sup>13</sup> hálót. Ez tulajdonképpen három különböző hálózat együttes alkalmazása. Mindegyikre igaz, hogy a csúcsok a kockázati eseményeket, a közöttük lévő irányított élek pedig a kockázati események közötti, vélelmezett ok-okozati kapcsolatokat reprezentálják. Az élek súlya arányos az események közötti ok-okozati összefüggés szorosságával.

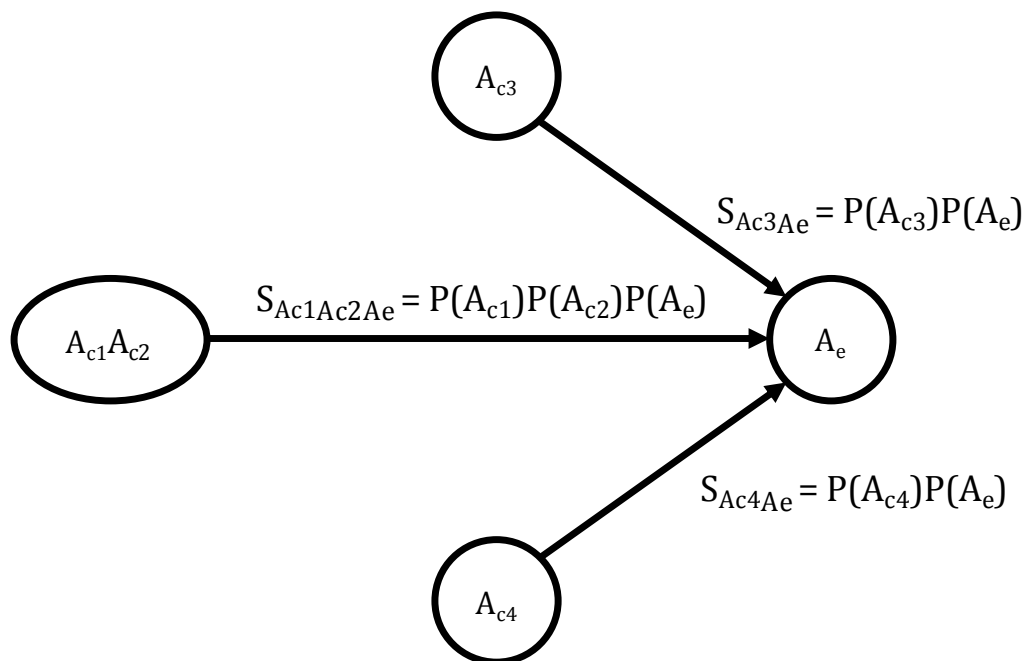
Az elemzési fázisban az él súlya a következő összefüggéssel számolható:

$$\mathbf{40. egyenlet: } S_{A_e, A_c} = P(A_c)P(A_e)$$

ahol  $S_{A_e, A_c}$  az él súlya  $A_c$ , mint feltételezett ok és  $A_e$ , mint feltételezett okozat között.  $P$  az események bekövetkezésének valószínűsége. Amennyiben  $A_c$  eseménynek több feltételezett oka van,  $P(A_c)$  ezen lehetséges okok ( $A_{c1}, A_{c2} \dots A_{cn}$ ) valószínűségéből számítható, az alábbi módon:

1. az okok együttes előfordulása szükséges;  $A_{c1} \text{ AND } A_{c2} \Rightarrow P(A_c) = P(A_{c1})P(A_{c2})$ ;
2. az okok egyikének előfordulása elégséges;  $A_{c3} \text{ OR } A_{c4} \Rightarrow P(A_c) = P(A_{c3}) + P(A_{c4})$ .

A fentiek illusztrálására mutat egy egyszerű, öt eseményből álló hálót a [39. ábra].



**39. ábra: Öt eseményből álló elméleti hálózat. Forrás: saját munka.**

A modell szerint  $A_{c1}A_{c2}$  együttes előfordulása, ill.  $A_{c1}A_{c2}$  vagy  $A_{c3}$  vagy  $A_{c4}$  egymástól független előfordulása eredményezi  $A_e$  előfordulását. Ez alapján:

$$\mathbf{41. egyenlet: } P(A_e) = P(A_{c1}A_{c2}) + P(A_{c3}) + P(A_{c4})$$

Az élsúlyok a következő összefüggésekkel számíthatók:

<sup>13</sup> Az NTS hálózat az események együttes előfordulását ábrázoló N-gráfról, a két esemény előfordulása között eltelt időt ábrázoló T-gráfról, valamint az ezekből képzett S-gráfról kapta a nevét.



**42. egyenlet:**  $S_{Ac3Ae} = P(A_{c3})(P(A_{c1}A_{c2}) + P(A_{c3}) + P(A_{c4}))$

**43. egyenlet:**  $S_{Ac1Ac2Ae} = P(A_{c1})P(A_{c2})(P(A_{c1}A_{c2}) + P(A_{c3}) + P(A_{c4}))$

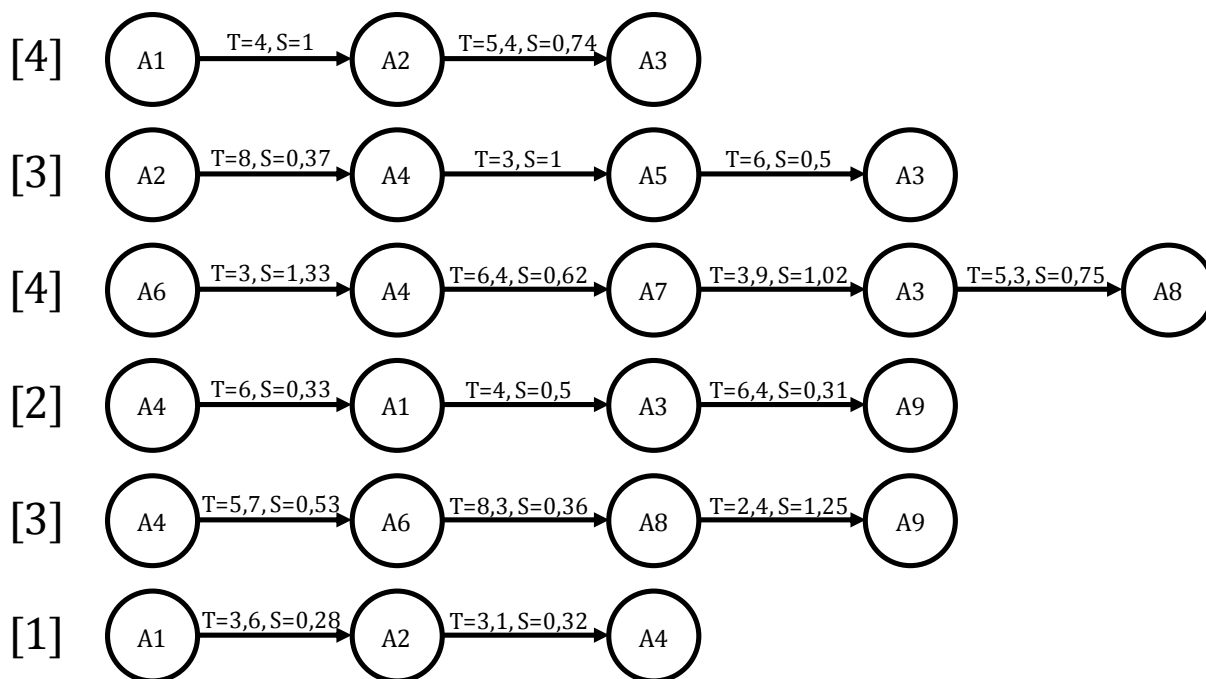
**44. egyenlet:**  $S_{Ac4Ae} = P(A_{c4})(P(A_{c1}A_{c2}) + P(A_{c3}) + P(A_{c4}))$

Az elméleti modellből számított élsúlyok validálása és javítása szükséges ahhoz, hogy a kockázatmenedzsment a gyakorlatban megfelelően működjön. Ez megtörténhet kísérleti körülmények között, vagy a folyamat éles működése során folyamatbányászati módszerekkel szerzett adatokból. [10] Az NTS modellben ehhez az események együttes előfordulásának gyakoriságát, valamint az előfordulásuk között eltelt időt használjuk fel. Az együttes előfordulás gyakoriságából képezzük az ún. N-gráfot, az előfordulásuk közötti időből pedig az ún. T-gráfot. Minél többször fordul elő két esemény egy adott vizsgálati periódusban, annál nagyobb az ok-okozati kapcsolat valószínűsége. Ugyanakkor minél hosszabb idő telik el a detektálásuk között, annál kisebb az ok-okozati kapcsolat valószínűsége. Ezeket az összefüggéseket felhasználva kalkulálhatjuk az NTS háló élsúlyát, a következő módon:

**45. egyenlet:**  $S=N/T$

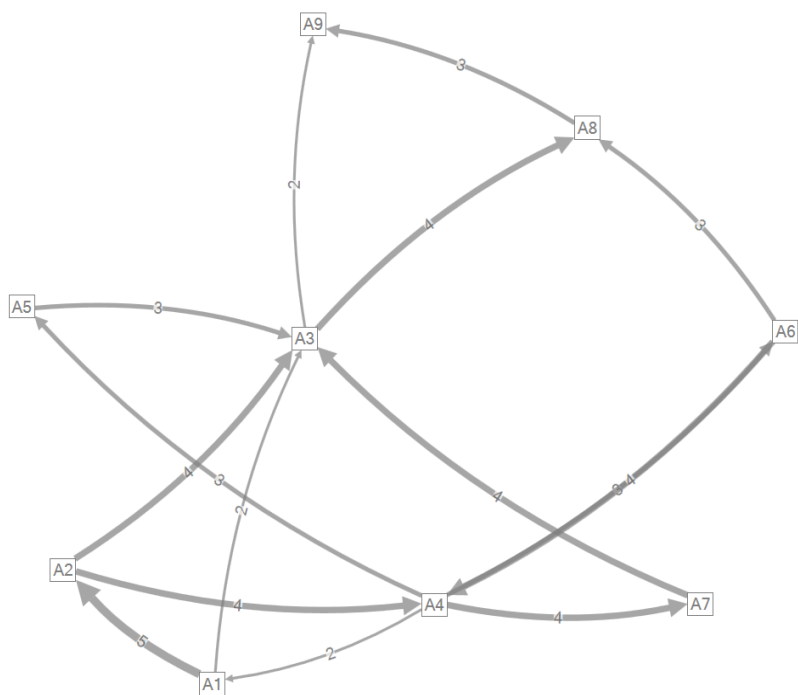
A gráfok képzéséhez egy kilenc elemből (A1, A2...A9) álló elméleti eseményhalmazt definiáltunk. 17 kísérletet végeztünk, amelyekben véletlen szám generátorral meghatároztuk, hogy mely események milyen sorrendben és mennyi idő elteltével fordulnak elő. A kapott eseményláncokat a [40. ábra] mutatja be, főlülről lefelé csökkenő előfordulási gyakorisággal. Az S élsúlyt az N előfordulási gyakoriság és a T eltelt idők átlaga hányadosával számoltuk ki.

[N]



**40. ábra: Elméleti eseményláncok a kapcsolatok erősségével. Az értékek jelentése: N – közös előfordulások száma, T – egymást követő előfordulások között eltelt idő, S – az élsúly az N/T hányadosból számolva. Forrás: saját munka.**

Az összefüggő gráfok képzéséhez egy esemény összes előfordulását egy csúccsal ábrázoljuk. Az egyik eredményül kapott N-gráfot a [41. ábra] mutatja be. Az élsúlyt az együttes előfordulás gyakorisága adja meg, amelyet az élek vastagsága, az élekre írt darabszám, valamint a csúcsok közötti távolság jelez. Az élek irányítottsága az események bekövetkezésének sorrendjének felel meg.



**41. ábra: N-gráf. Forrás: saját munka.**

A csúcsok hálózatban betöltött szerepét – a vizuális elemzés mellett – a fokszámok segítségével jellemezhetjük. A [7. táblázat] a csúcsok, a [8. táblázat] a csúcspárok jellemzőit tartalmazza.

Csúcs	Súlyozott befokszám	Súlyozott kifokszám	Súlyozott összefokszám
A1	2	7	9
A2	5	8	13
A3	13	6	19
A4	8	12	20
A5	3	3	6
A6	3	7	10
A7	4	4	8
A8	7	3	10
A9	5	0	5

**7. táblázat: Az N-gráf csúcsainak fokszámai. Forrás: saját munka.**

Csúcs 1	Csúcs 2	Súly	Kimeneti gyakoriság <sup>14</sup>	Bemeneti gyakoriság <sup>15</sup>
A1	A2	5	71.4%	100.0%
A2	A3	4	50.0%	30.8%
A2	A4	4	50.0%	50.0%
A4	A5	3	25.0%	100.0%
A5	A3	3	100.0%	23.1%
A6	A4	4	57.1%	50.0%
A4	A7	4	33.3%	100.0%
A7	A3	4	100.0%	30.8%
A3	A8	4	66.7%	57.1%
A4	A1	2	16.7%	100.0%
A1	A3	2	28.6%	15.4%
A3	A9	2	33.3%	40.0%
A4	A6	3	25.0%	100.0%
A6	A8	3	42.9%	42.9%
A8	A9	3	100.0%	60.0%

**8. táblázat: Az N-gráf csúcspárjai közötti kapcsolatok súlya és az ebből számított gyakoriságok. Forrás: saját munka.**

Az N-gráfból többek között az alábbi információk nyerhető ki.

- 1) Minden esemény legalább egyszer előfordul követő eseményként.
- 2) A9-nek nincs követő eseménye (kifokszáma nulla).
- 3) A3 és A4 központi szerepet játszik, mert nekik a legmagasabb a súlyozott fokszámuk.
- 4) A3 súlyozott befokszáma több, mint kétszerese a súlyozott kifokszámának, ami azt sejteti, hogy sokkal inkább követő, mint megelőző tevékenységként játszik szerepet.
- 5) A4 ezzel szemben inkább megelőző eseményként jelenik meg.
- 6) Az A5-A3 csúcspárt vizsgálva látható, hogy A5 előfordulását minden esetben követi A3 esemény bekövetkezése. Ezzel szemben A3 bekövetkezése után csak az esetek 23,1%-ában jelentkezett A5 esemény.

<sup>14</sup> A kimeneti gyakoriság az adott Csúcs 1 – Csúcs 2 pár közötti él súlyának, valamint a Csúcs 1 súlyozott kifokszámának a hányadosa.

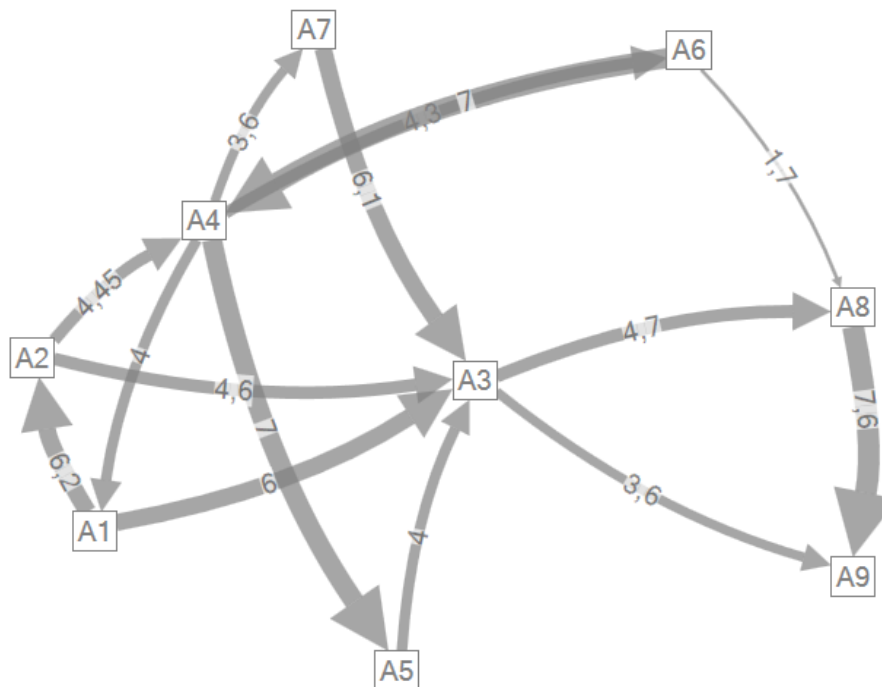
<sup>15</sup> A bemeneti gyakoriság az adott Csúcs 1 – Csúcs 2 pár közötti él súlyának, valamint a Csúcs 2 súlyozott befokszámának a hányadosa.

Az elemzést elvégezve az összes csúcsra és csúcspárra, meghatározhatók a potenciális ok-okozati kapcsolatok.

A fentiek alapján az N-gráfból többek között az alábbi általános következtetésekre juthatunk.

- 1) Minél nagyobb egy csúcspár kimeneti- vagy bemeneti gyakorisága, annál nagyobb a valószínűsége a csúcscok együttes előfordulásának.
- 2) Ha egy csúcs befokszáma nagyobb, mint a kifokszáma, az esemény inkább követőként (potenciális okozat, successor) következik be.
- 3) Ha egy csúcs kifokszáma nagyobb, mint a befokszáma, az esemény inkább megelőzőként (potenciális ok, predecessor) következik be.
- 4) Ha egy csúcs befokszáma nulla, akkor az esemény megelőző eseménye ismeretlen (nem detektált), vagy minden esetben egy eseménylánc elindítója (potenciális oka).
- 5) Ha egy csúcs kifokszáma nulla, akkor az esemény követő eseménye ismeretlen (nem detektált), vagy minden esetben egy eseménylánc záró eseménye (potenciális okozata).
- 6) Az izolált csúcsok olyan eseményeket jelölnek, amelyek önállóan fordulnak elő, azaz sem feltételezett okozatként, sem potenciális okként nem jelentkeznek.

Az N-gráf tehát azt mutatja meg, hogy mekkora a valószínűsége egy eseménylánc bekövetkezésének. Ez azonban nem elégséges a feltételezett ok-okozati kapcsolat igazolásához, hiszen nem mindegy, hogy mekkora időszakban vizsgáljuk az események bekövetkezését, mennyi idő elteltével számít még bele egy előfordulás az eseményláncba, és mennyi idő elteltével indítunk egy új eseményláncot. Ennek az idő dimenzióknak a vizsgálatát teszi lehetővé a T-gráf. [42. ábra]

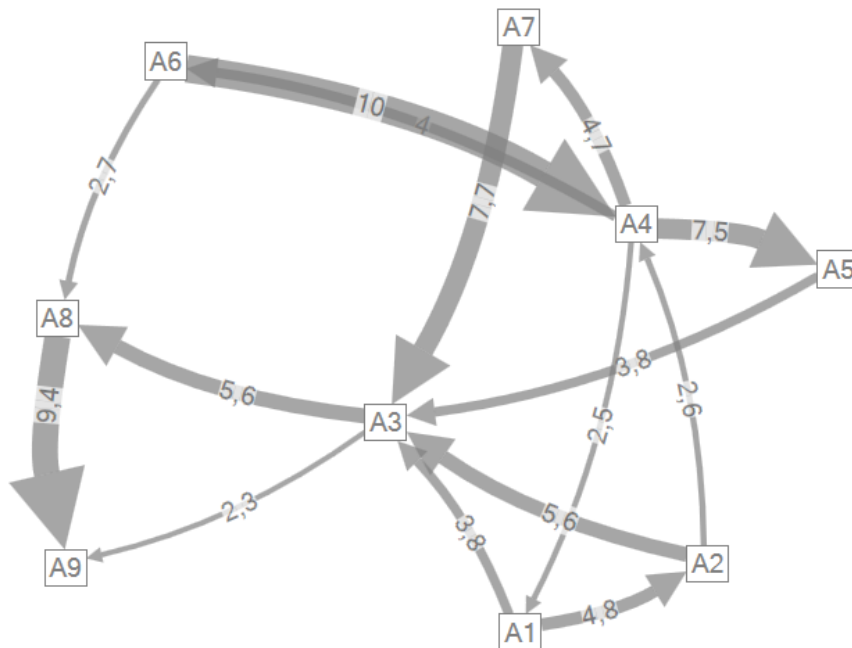


42. ábra: T-gráf. Forrás: saját munka.

A T-gráfban az élsúly az események bekövetkezése között eltelt idővel arányos. A [42. ábrán] látható hálózatban az élek vastagsága, az élekre írt időtartam másodpercben, valamint a csúcsok közötti távolság jelzi az élsúlyt. Az élek irányítottsága az események bekövetkezésének sorrendjének felel meg. A T-gráf nem szolgál információval az együttes bekövetkezés valószínűségéről, csak az esetleges együttes bekövetkezés között eltelt időről. Ezért a T-gráf célja elsősorban az N-gráf értelmezésének

támogatása. Ezzel együtt az N-gráfnál bemutatott általános következtetések itt is értelmezhetők azzal a módosítással, hogy a T-gráfban az élsúly fordítottan arányos a kapcsolat erősségével.

A következtetések még pontosabb levonása érdekében érdemes létrehozni az S-gráfot.



43. ábra: S-gráf. Forrás: saját munka.

Az S-gráfban használhatjuk az élsúly meghatározására a korábban definiált  $S=N/T$  összefüggést, ahol  $N$  a csúcspár együttes előfordulásainak a száma (N-gráf élsúlya),  $T$  pedig az előfordulások között eltelt idő átlaga (T-gráf élsúlya). További pontosítási lehetőség, ha az élsúly úgy számoljuk ki, hogy az előbb kapott  $S$  súlyt elosztjuk a csúcspár predecessora kimenő élei hasonló módon számított súlyának összegével, megkapva így az együttes előfordulás relatív valószínűségét. Például a [43. ábraán] látható modellben, ha detektáljuk A1 előfordulását, A2 előfordulásának a relatív valószínűsége  $4.8/(3.8+4.8)=0.558$ . Ugyanezen a módon kiszámolva A3 előfordulásának relatív valószínűsége  $3.8/(3.8+4.8)=0.442$ . Mivel az S-gráf szerint A2 is okozhatja A3 bekövetkezését, A3 előfordulásának relatív valószínűsége A1 és A2 detektálása után:

$$(3.8/(3.8+4.8))+((4.8/(3.8+4.8))(5.6/(5.6+2.6)))=0.442+0.558*0.683=0.82.$$

Az N-gráfnál bemutatott általános következtetési lehetőségek az S-gráfnál is léteznek. Ugyanakkor ezek csak valószínűsítik, de nem bizonyítják az események közötti ok-okozati összefüggést. Ugyanakkor az információk ettől függetlenül felhasználhatók a kockázatelemzés validálására és a kockázatkezelési intézkedések pontosítására.

## 5.6 A fejezethez kapcsolódó tézis

**Tézis 4: Kidolgoztam a hálózatszemléletű folyamatfejlesztés gyakorlati megvalósításának új módszertanát.**

- Meghatároztam egy, a folyamatok fejlesztési-potenciál szempontú prioritizálására használható szempontrendszert és értékelési módszertant. Specifikáltam a folyamatok hálózati modelljeinek kidolgozásához szükséges adatok gyűjtésének lehetséges módszereit. Kidolgoztam a hálózatszemléletű folyamatdiagnosztika grafikus és analitikus elemzési módszertanát.

Kapcsolódó fejezetek: 5.2, 5.3, 5.4

Kapcsolódó saját publikációk: [19]

- b) Azonosítottam a hálózatszemlélet alkalmazási lehetőségeit a folyamatok működése során előálló problémák előrejelzése, monitorozása és elemzése terén. Ennek keretében specifikáltam az esemény-kapcsolatok elemzésén alapuló, a kockázatelemzési tevékenységek validálásához felhasználható NTS hálót. Létrehoztam egy módszert, amelynek segítségével meghatározható a szervezeti tudás egy elemének fontossága, elvesztésének kockázata.

Kapcsolódó fejezetek: 5.5

Kapcsolódó saját publikációk: [20], [14]

## 6 A hálózatszemléletű folyamatfejlesztés gyakorlati felhasználása

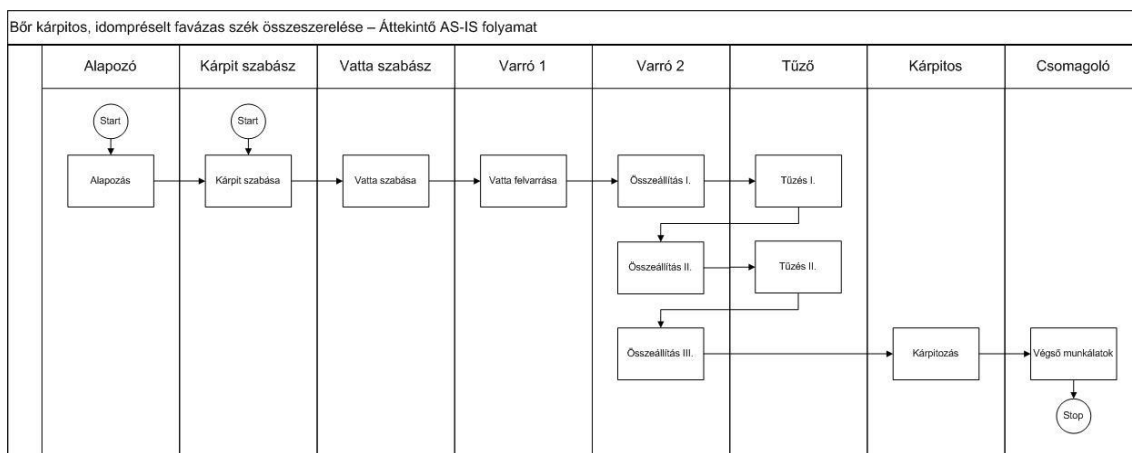
Az elméletben kidolgozott folyamatdiagnosztikai módszertan kísérleti tesztelését egy bőrkárpitos, idomprésselt favázas szék összeszerelési folyamatán végeztük. A folyamat kiválasztás alapja - az [5.2 fejezetben] bemutatott módszer körülményekre történő adaptálása eredményeképpen – az volt, hogy egy könnyen áttekinthető és felmérhető, ugyanakkor kellően komplex, a könnyűiparhoz és a faiparhoz is kapcsolódó, nem a Lean elvek alapján optimalizált technológiát találjunk.

### 6.1 Folyamatfelmérés, adatgyűjtés

A folyamatfelmérést helyszíni adatgyűjtéssel, a feldolgozott tételeket (8db) követő felmérő lappal végeztük. Minden tétel esetében az [5.3 fejezetben] ismertetett adatokat vettük fel. Az információk bemutatására elkészítettük a következő pontokban látható keresztfunkcionális-folyamatábrát, spagetti-diagrammot és értékáram-térképet. Mindegyik modelltípusnál ismertetjük az azonosított veszteségeket és röviden megfogalmazzuk a megszüntetésük módját is. Ennek részletesebb kifejtésére a [6.2.2 fejezetben] térünk ki.

#### 6.1.1 Keresztfunkcionális-folyamatábra

A 44. ábra mutatja be a folyamatot tevékenység<sup>16</sup> szinten. E szerint a folyamat az alapozástól és kárpitszabástól a végső munkálatokig terjed. A modellben nem rögzítettük a megrendelés fogadásához kapcsolódó adminisztratív feladatokat, az alapanyag beszerzést, valamint a folyamatárokon túli raktározási tevékenységeket. Ennek oka, hogy a célunk a szűken vett összeszerelési folyamat azonosítása és elemzése volt. Ebben a faváz alapozása és a kárpit szabása majd varrása párhuzamosan történik a gyártás kezdetekor. Ezt követően összeszerelik a kárpitot és a vázat, majd elvégzik a végső szerelő, tisztító és csomagoló munkálatokat. A [44. ábra] oszlopaiban az azonos szereplő (pl. Alapozó) által elvégzett tevékenységek láthatók.

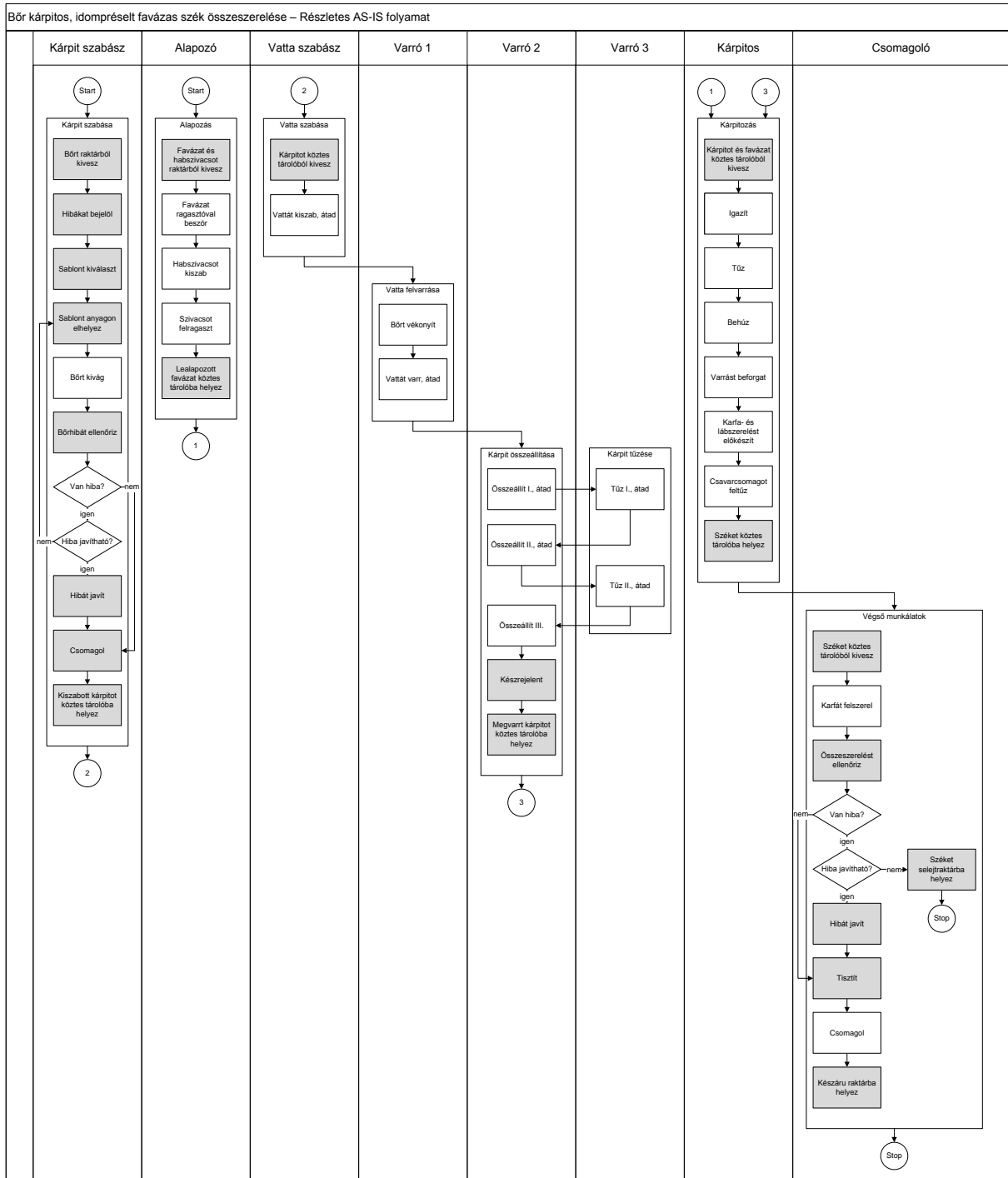


44. ábra: Aktuális (AI-IS) folyamat tevékenység szinten. Forrás: saját munka.

A tevékenységek során elvégzett technológiai műveletek a [45. ábra] részletes folyamatábráján láthatók. A modellben szürke háttérrel jelöltük a Lean elvek szerinti nem értékteremtő tevékenységeket<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> A tevékenységet a [4.4 fejezetben] ismertetett módon definiáltuk.

<sup>17</sup> A Lean elvek szerint minden tevékenység értékteremtő, amelyik az ügyfél számára értéket teremt, azaz a feldolgozott tételen értéknövelő átalakítást hajt végre. Ebből következően minden egyéb feladat, amely a technológiai, jogi vagy egyéb kööttségek miatt, vagy a lehetséges hibák ellenőrzése és javítása végett szükséges, nem értékteremtő, azaz veszteség.



45. ábra: Aktuális (AS-IS) folyamat technológiai művelet szinten. Forrás: saját munka.

A folyamat kezdetén az alapozó elhossa az alapanyag raktárból a beszállítótól vásárolt idomprésselt favázat és a habszivacsot. A vázat beszórja ragasztóval. Ezt követően kiszabja és felragasztja a habszivacsot, majd az elkészült darabot a köztes tárolóba helyezi.

Ezzel egy időben a szabász az alapanyagraktárból elhossa a bőrt, majd ellenőrzi és bejelöli a szabást ellehetetlenítő hibákat. Ezek közül a leggyakoribbak a billog és a nagyméretű ostorcsapás nyomai. A megrendelésnek megfelelő sablont ráhelyezi a bőrre úgy, hogy elkerülje a hibás részeket, majd kiszabja a bőrt. Ezt követően ismétellen ellenőrzi az esetleges felületi hibák meglétét a kiszabott darabokon. Amennyiben hibát talál, azt kijavítja, vagy ha ez nem lehetséges, megismétli a szabást. A megfelelő méretű és felületű darabokat csomagolja és a köztes tárolóba helyezi.



A vatta szabász – a kiszabott bőrdarabok alapján – kiszabja a vattát, majd átadja a varró 1-nek, aki a bőr vékonyítása után felvarrja a vattát a bőrre, majd átadja varró 2-nek, aki – közösen varró 3-mal - egy ötlépéses összeállítási-tűzési tevékenység-lánc eredményeképpen elkészíti a kész kárpitot, ezt készre jelenti az informatikai rendszerben és a kárpitot a köztes tárolóba helyezi.

A kárpitos a kész vázat és a kárpitot a háttámlán összeigazítja, összetűzi, behúzza az ülőfelületet, befogatja a varrást, majd a furatok kiégetésével előkészíti a karfa és a lábak felszerelését. Végezetül a lábak szereléshez szükséges csavarcsomagot rögzíti a szék alján és behelyezi a kárpitozott széket a köztes tárolóba.

Utolsóként a csomagoló felszereli a karfát, ellenőrzi az összeszerelés megfelelőségét, ha szükséges és lehetséges a talált hibákat kijavítja, megtisztítja a kárpitot a szerelés során ráakódott szennyeződéstől, majd becsomagolja és a készáru raktárba helyezi a széket.

A folyamat kimenete a kárpitozott, karfával szerelt, csomagolt szék.

A folyamat jellemzői:

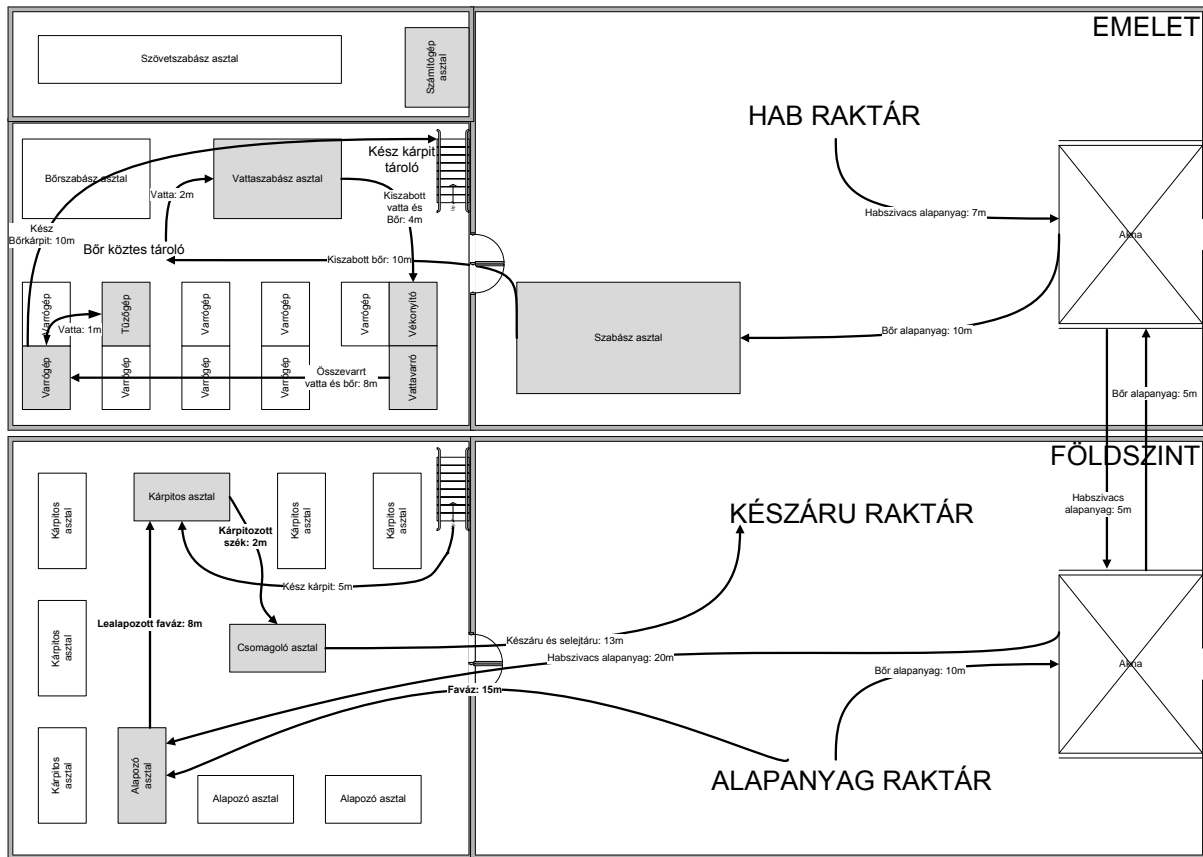
- lépésszám: 40 db (az ideális folyamatágon),
- szereplők száma: 8 db,
- átadási pontok száma: 10 db,
- értékteremtő lépések száma: 20 db,
- értékteremtő lépések aránya: 50 %.

A keresztfunkcionális-folyamatábra alapján beazonosítható veszteségek az alábbiak.

1. Túlmunka: az összes nem értékteremtő tevékenység.
  - a. Ezek közül nem szüntethetők meg az ún. kiegészítő tevékenységek (muda 1), amelyek a technológiai kötöttségek miatt szükségesek. Ilyen tevékenység pl. a bőrhibák ellenőrzése a szabást megelőzően, tekintettel a beszállító által biztosított és jelen helyzetben mással nem helyettesíthető alapanyag minőségére.
  - b. Megszüntethető tevékenységek a tisztán veszteséget termelő feladatok (muda 2). Ilyen a köztes tárolóba tétel, illetve az onnan történő kivétel, a készre jelentés, az összeszerelés ellenőrzése és a hibák javítása. A megszüntetés módja a munkaállomások technológiai sorba rendezése, a közöttük lévő távolságok megszüntetése, az egydarabos áramlás megvalósítása és a tevékenységek kiegyensúlyozása.
2. Átadási pontok: különösen a varró 2 és a varró 3 közötti sok átadás tűnik indokolatlannak. Az átadási pont általában növeli a hibák előfordulási valószínűségét és a kiegyensúlyozatlanság miatt tételek várakozási idejét. A tesztelt folyamatban további veszteség, hogy az összeállítás alatt a tűzést, a tűzés alatt pedig az összeállítást végző várakozik, azaz nem végez értékteremtő feladatot. Jelen esetben ezt az indokolja, hogy más-más gépen történik a két művelet, valamint az összeállítás és a tűzés több lépésben, egymást váltva történik. A gépek elrendezésének módosításával vagy cseréjével megoldható lenne, hogy a tűzés és az összeállítás egymás melletti munkaállomáson történjen, így minimális mozgással egy dolgozó is elvégezheti ezeket, megszüntetve ezzel az improduktív szüneteket és duplájára növelve a kapacitást.

### 6.1.2 Spagetti-diagram

A mozgatási veszteség azonosítása érdekében elkészítettük az ún. spagetti-diagramot, amelyet a [46. ábra] mutat be.



46. ábra: Aktuális (AS-IS) spagetti diagram. Forrás: saját munka.

A folyamat kezdetén a földszinten elhelyezkedő alapanyag raktárból 2x10m-es vízszintes és kb. 5m-es függőleges mozgatással juttatják el a bőrt a szabáshoz. Innen a kiszabott bőr 10m-t utazik a köztes tárolóba, ahonnan 2m-re végzik a vattaszabást, majd újabb 4m-rel arrébb a bőr vékonyítását és a vatta felvarrását. Az összeállítás innen 8m-re történik, amelytől 1m-re található a tűzőgép. Az összeállítás-tűzés tevékenységsor 4m-es mozgatással jár. A kész bőrkárpit 10m-t utazva jut el a köztes tárolóba, ahonnan 5m-re található a kárpitos asztal. A bőrkárpit itt találkozik az előkészített favázzal. Ez az alapozó asztaltól kerül ide mintegy 8m-es mozgatást követően, miután a habszivacs 27m vízszintes és 5 méter függőleges, míg a faváz 15m-es utazással megérkezik a raktárból az alapozó asztalhoz. A kárpitozott szék 2m-rel arrébb kerül csomagolásra, majd beszállítják a 13m-re található készáru raktárba. Az esetleges selejtáru is a készáru raktárba kerül, elkülönítve.

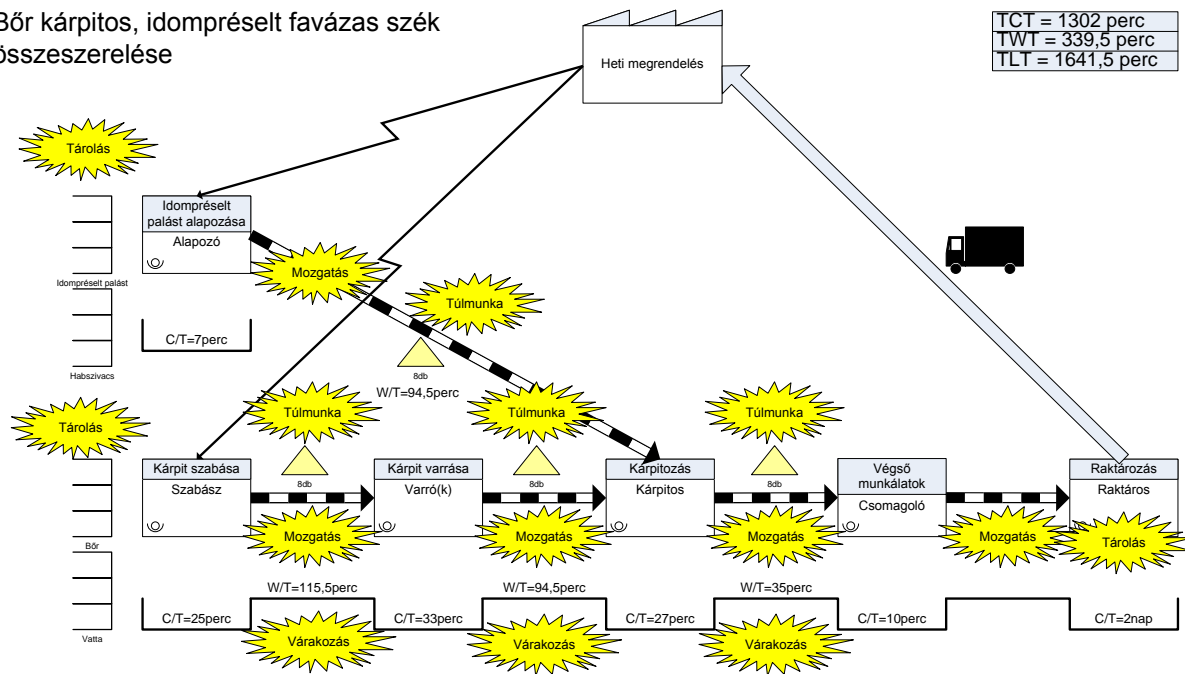
A spagetti diagram segítségével az alábbi veszteségek azonosíthatók.

1. Mozgatás: az alapanyagok, illetve a köztes- és végtermékek szállítása összesen 135m-t tesz ki minden szék esetében. A mozgatás minimalizálása a munkaállomások műveleti sorrendbe helyezésével és a közöttük lévő távolságok csökkentésével érhető el.
2. Raktározás: a készletek tárolására felhasznált terület nagyobb, mint a termelési folyamat által elfoglalt térrész. A veszteséget különösen a szabászati hulladék idő- és helyigényes tárolása okozza. Az alapanyag készletezés a beszállítás ingadozásának elsimítását célozza. További indok erre a nagyobb rendelési mennyiséghez párosuló alacsonyabb fajlagos szállítási és rendelési költség. A készárut a megrendelő szállítja el általában heti gyakorisággal, így az átlagosan hozzávetőlegesen 2 munkanapos készletezési idő az ügyfél elvárása miatt jelentkezik. Mindezek fényében is indokolt a raktárterület csökkentése, hiszen ennek eredményeképpen növekedhet a termelési kapacitás.

### 6.1.3 Értékáram-térkép

Az értékáram-térkép megmutatja, hogy a folyamatban mely lépések között van mozgatási és tárolási veszteség, valamint hogy a folyamat a ciklusidőket tekintve mennyire kiegyensúlyozott. A [47. ábra] műveleti sorrendben tartalmazza a tevékenységeket a köztes tárolók szerint csoportosítva. E szerint megtörténik 8db faváz előkészítése, majd ezek átlagosan  $27 \times 7/2 = 94,5$  percet várnak<sup>18</sup>, mielőtt a kárpitos további feldolgozásra kiveszi őket a köztes tárolóból. Ehhez hasonlóan található tárolás a kárpit szabászat és varrás, a varrás és a kárpitosmunka, valamint a kárpitozás és a végső munkálatok között.

Bőr kárpitos, idomprésselt favázás szék  
összeszerelése



47. ábra: Aktuális (AS-IS) értékáram térkép. Forrás: saját munka.

Az értékáram-térkép segítségével azonosított veszteségek a következők.

1. Túltermelés: az ideális folyamatban a feldolgozott egységek futószalag szerűen, megszakítás nélkül, az ütemidőnek megfelelő sebességgel haladnak előre. A tesztelt folyamatban ezzel szemben több helyen is találunk 8 db-os köztes tárolókat. Ennek oka, hogy a feldolgozás kötegekben történik és a tevékenységek ciklusideje eltérő. A veszteség megszüntethető a folyamat kiegyensúlyozásával és az egydarabos, húzó elvű áramlással.
2. Várakozás: a várakozási idő egyik oka a köztes tárolók alkalmazása. Ennek köszönhető, hogy a tételek „sorban állnak” a tevékenység előtt. A másik lehetséges ok, hogy az elkészült tételeknek várakozni kell egy másik alkatrész miatt. Ezzel találkozunk akkor, ha a tesztelt folyamatban a két kezdő folyamatág egyszerre indul, így a rövidebb ciklusidejű faváznak várakoznia kell a bőrkárpitra annak ellenére, hogy mind a 8 db. előkészítése megtörtént. Ezt a típusú várakozási időt a folyamatágak megfelelő ütemezésével és a tevékenységek kiegyensúlyozásával csökkenthetjük.
3. Tárolás: az alapanyag és a készáru raktározás – a [6.1.2 fejezetben] ismertetett módon - nem értékkeremtő munkát és más módon is hasznosítható területet igényel, így veszteséget okoz.
4. Mozgatás: az értéknövelés nélküli mozgatás – a [6.1.2 fejezetben] ismertetettek szerint – szintén folyamatvesztés.

<sup>18</sup> Feltételezve, hogy az első tételnél a kárpitozás az alapozást követően azonnal megkezdődhet, azaz egyedül sorbanállási időről beszélhetünk.

## 6.2 Hálózatszemléletű folyamatfejlesztés

### 6.2.1 A folyamatháló grafikus vizsgálata

A folyamatháló grafikus vizsgálatát elsősorban a NodeXL<sup>19</sup> nevű alkalmazással végeztük. Ennek oka, hogy ingyenesen hozzáférhető, valamint hogy a széleskörűen elterjedt és ismert MS Excel-hez hasonló felületen lehet a gráfot specifikálni, így mindenki számára könnyen reprodukálhatók az eredmények. Hátránya, hogy csak a legegyszerűbb grafikus és analitikus elemzési lehetőségeket tartalmazza, így a komplex vizsgálathoz esetenként más alkalmazásokra, illetve kiegészítő Excel funkciók fejlesztésére van szükség.

A továbbiakban a folyamat tevékenység-, mozgatási- és értékteremtő hálóját elemezzük. Az erőforrás-háló esetünkben nem releváns, mert nincs olyan tevékenység, amelyet párhuzamosan többen végeznek. Tekintettel arra, hogy a vizsgált folyamat nem csatlakozik további belső folyamathoz, a folyamatközi-háló elemzését sem végeztük el.

#### 6.2.1.1 Tevékenység-háló

Első lépésben a tevékenység-hálót készítettük el, amelyben a(z)

- a. csúcsok: tevékenységek,
- b. élek: input-output kapcsolatok,
- c. csúcsok attribútumai: tevékenység azonosító,
- d. az élek attribútumai: áthaladó tételszám, köztes tároló mérete.

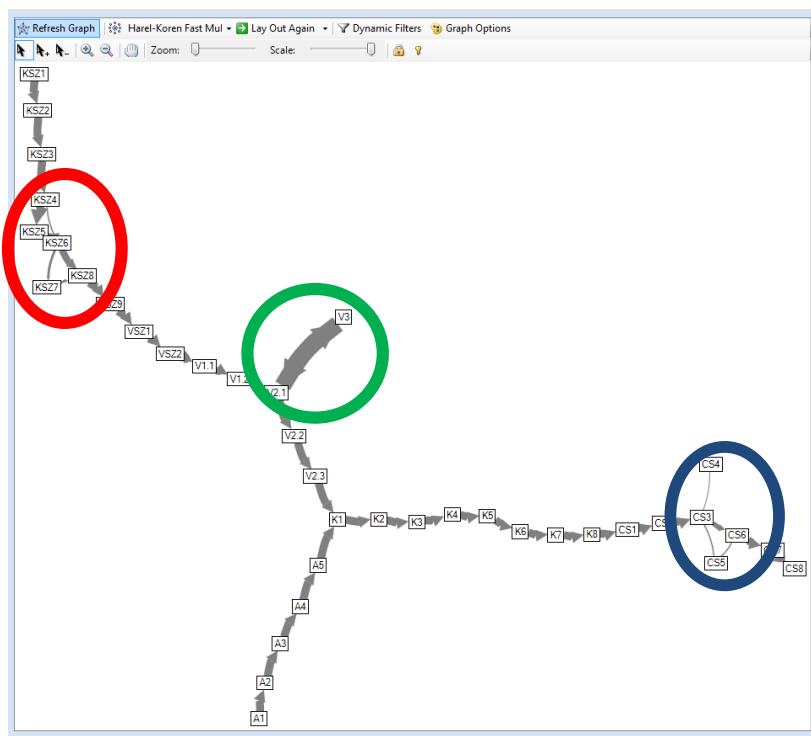
A gráf specifikálása<sup>20</sup> során az alábbi adatokat adtuk meg:

- A csúcsok definiálása:
  - Vertex: a csúcs neve,
  - Label: a csúcs azonosítója. Képzése: XY, ahol X a végrehajtó szereplő rövidítése (pl. KSZ – kárpit szabász), Y a tevékenység sorszáma.
- Az élek definiálása:
  - Vertex 1: az élt indító csúcs azonosítója.
  - Vertex 2: az élt fogadó csúcs azonosítója.
  - Width: az áthaladó tételszám. Mivel ennek a mezőnek az értéke 1-10 tartományban adható meg, ugyanakkor a tényleges tételszám 1-16 között szóródik, a tételszámot, amely az él súlya is lesz, 10-es skálára normálva adtuk meg. A tényleges tételszám értékét egy új oszlopban (Real width) rögzítettük. A köztes tároló méretének megadását később ismertetjük.
  - Notes: extra mező, amelyben a folyamat elágazásokhoz kapcsolódó, a tétel folyamatban megtett útjára vonatkozó információkat rögzítettük.

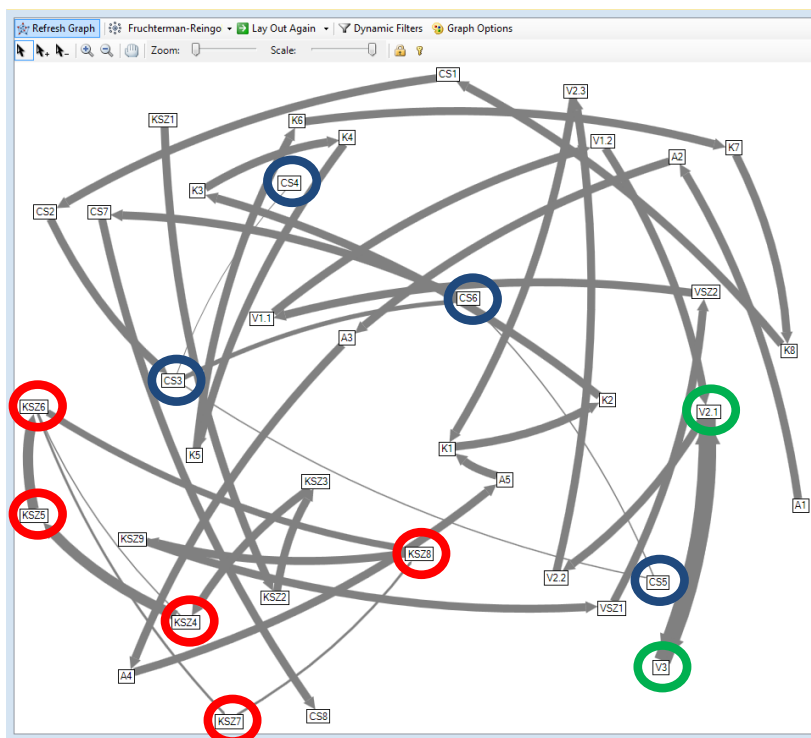
A tevékenység-háló grafikus vizsgálatához a Harel-Koren Fast Multiscale és a Fruchtermain-Reingold algoritmusokat használtuk. Míg az első modell a folyamatlefutás sorrendjében mutatja be a csúcsokat és a kapcsolódásukat, a Fruchtermain-Reingold algoritmus az élek súlyát a csúcsok közötti vonzóerőként értelmezi, így minél nagyobb az élsúly, annál közelebb húzza a csúcspárt. Az élsúlyt az irányított élek vastagsága is jelzi. A csúcsokat az azonosítójuk jelöli.

<sup>19</sup> MS Excel alapú gráfrajzoló és elemző alkalmazás. [www.nodexl.codeplex.com](http://www.nodexl.codeplex.com)

<sup>20</sup> A tevékenység-háló teljes specifikációs tábláját a 10.3 melléklet tartalmazza.



48. ábra: Harel-Koren Fast Multiscale tevékenység-háló. Forrás: saját munka.

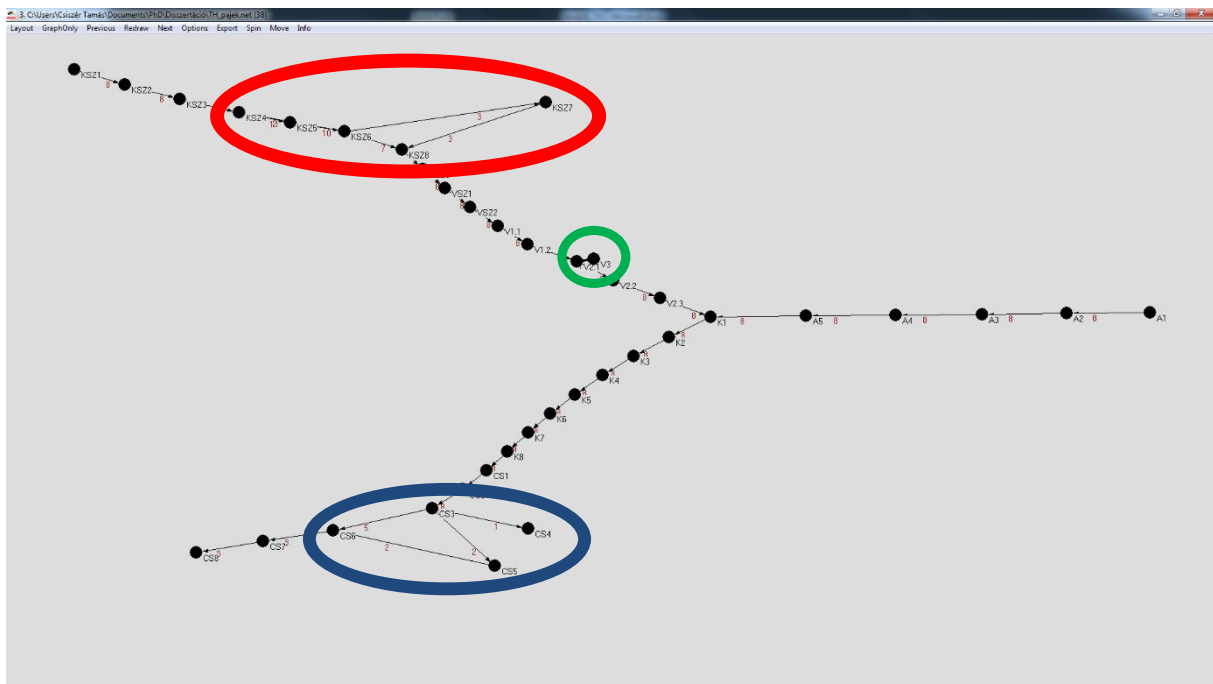


49. ábra: Fruchterman-Reingold tevékenység-háló. Forrás: saját munka.

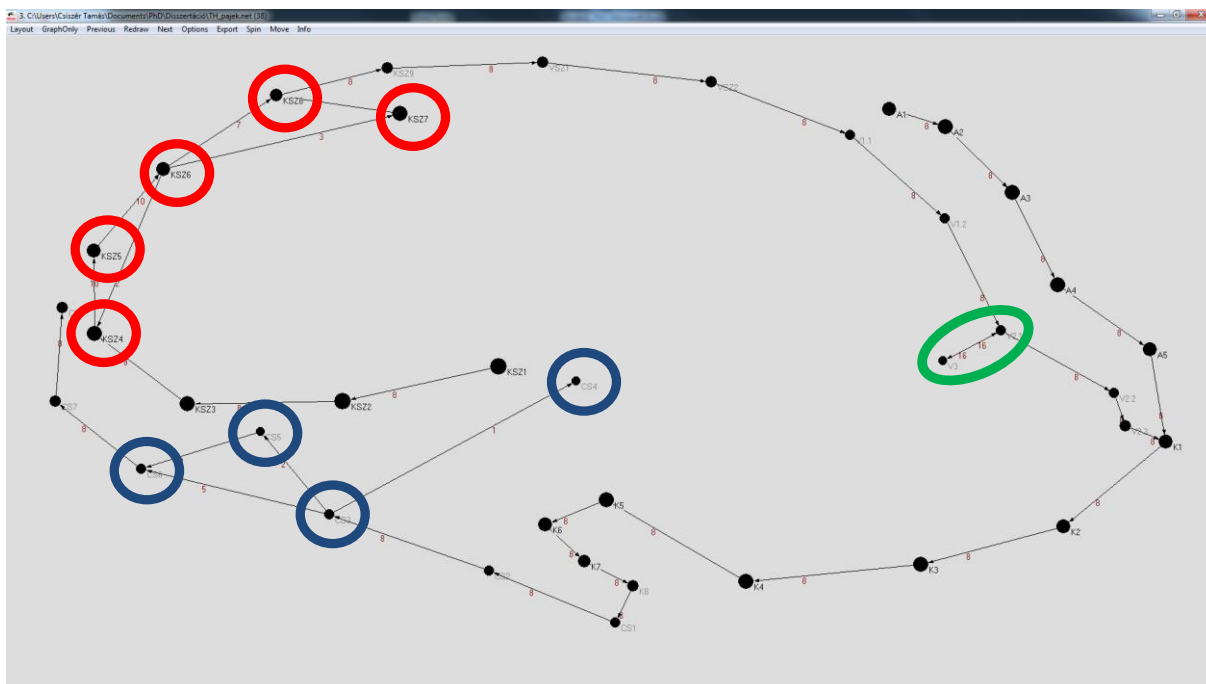
A tevékenység-hálónak három speciális területe van, amelyek a potenciális veszteséghelyeket azonosítják. A nem lineáris lefutású folyamatszakaszok a [48. ábra] gráfjának bal alsó és jobb felső szakaszán piros és kék színnel láthatók. A harmadik speciális hely a gráfban a V2.1-V3 páros, amelyet zöld színnel jelöltünk. A folyamat elágazásokban a vastag nyilak jelzik a domináns lefutást, azaz esetünkben a hibamentes gyártást, míg a kisebb súlyú élek a hibajavítási köröket és az ebből adódó veszteséget mutatják. A V2.1-V3 csúcspont közötti kölcsönös, nagy intenzitású kapcsolat a sok átadást jelzi.

A Fruchtermain-Reingold tevékenység-hálón is színes körrel jelöltük a veszteségpontokhoz tartozó csúcsokat. A V2.1-V3 páros, azaz az *összeállítás* és a *tűzés* műveletsora – a várakozásnak megfelelően – viszonylag közel került egymáshoz, de a csomósodás első ránézésre nem egyértelmű. Még inkább igaz ez a hibajavító körös csúcshalmazokra. Ennek oka, hogy a csúcspárnál a kölcsönös él súlya nem sokkal nagyobb, mint a csúcspárt alkotó csúcsok egyéb éleinek súlya, illetve a hurkokban az élek súlya kisebb, mint a sztenderd folyamatág éleinek súlya.

A csomósodás, azaz a háló inhomogenitásának más szempontú vizualizálása érdekében elkészítettük a tevékenység-hálót a Pajek [91] nevű hálózatelemző alkalmazás segítségével, a Kamada-Kawai algoritmus komponens szeparáló verziója (50. ábra), valamint a Fruchtermain-Reingold 3D modellező szabályrendszer segítségével is. A korábban említett csoportokat hasonló színek jelzik. Az él súlyát nem a nyíl vastagsága, hanem a mellette pirossal látható szám mutatja. A Fruchtermain-Reingold 3D modellben a csúcst reprezentáló pont mérete a „z” tengely irányú távolságot jelzi.



50. ábra: Kamada-Kawai tevékenység-háló. Forrás: saját munka.

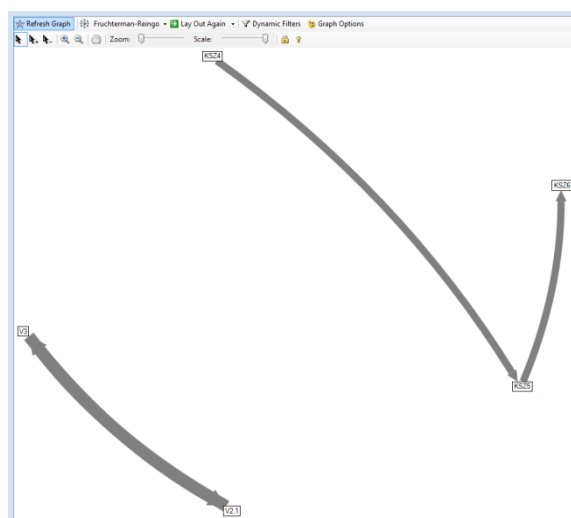


**51. ábra: Fruchterman-Reingold 3D tevékenység-háló. Forrás: saját munka.**

A Kamada-Kawai modell a Harel-Koren Fast Multiscale modellhez hasonló eredményt ad, így hasonló elemzési lehetőségeket nyújt. A Fruchterman-Reingold 3D modell annyiban különbözik tőlük, hogy térben feltekeredve mutatja a gráfot.

A négyféle modell alapján elmondható, hogy a tevékenység-háló, vagy tágabban értelmezve a jellemzően kevés hurokkal rendelkező, egy bemeneti és egy kimeneti éllel rendelkező csúcsok lineáris kapcsolódásából álló folyamatok modellezésére – a vizsgáltak közül - a Fruchterman-Reingold 3D, a Kamada-Kawai és a Harel-Koren Fast Multiscale algoritmusok az alkalmasabbak.

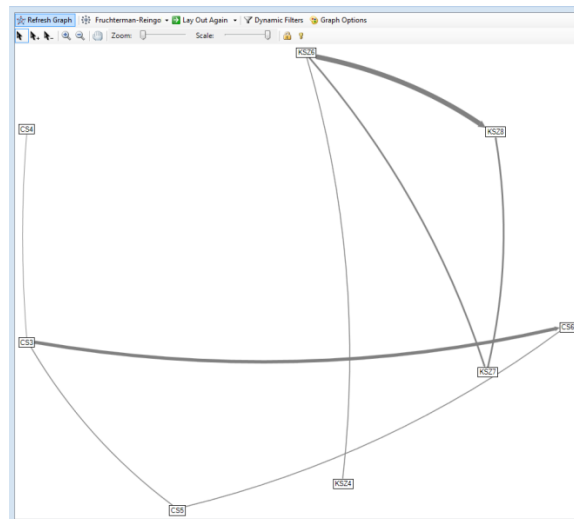
A csomósodás további vizsgálatához átalakítottuk a gráfot élsúly szerinti vágással is, amelyhez ismét a NodeXL-t használtuk. Az első esetben az 5-ös vagy az alatti súllyal rendelkező éleket eltávolítottuk, vagy másként az 5-ös élsúly feletti éleket hagytuk meg (jelölése a továbbiakban „ $V > 5$  élsúly”). Ennek oka, hogy a vizsgált folyamatban a tételszám 8 volt, amely a 10-es skálán 5-ös értéket kapott a normálás során. Ezzel megkapjuk azokat a csúcspárokat, amelyek között többször került átadásra tétel, mint ami az ideális folyamatban indokolt lett volna. Az eredményt a [52. ábra] mutatja be.



**52. ábra: A tevékenység-háló  $V > 5$  élsúly szerinti vágása. Forrás: saját munka.**

A vágás után egy, két összefüggő alcsoportból álló gráfot kapunk. A V2.1-V3 *összeállítás-tűzés* kölcsönös kapcsolat azt jelzi, hogy ott oda-vissza történik a tétel átadása, míg az egy irányban bejárható KSZ4-KSZ5-KSZ6 *sablon elhelyezés – bőrkivágás – bőrhiba ellenőrzés* csúcshármas egy olyan folyamatszakaszt jelöl, ahol egy hibadetektálás utáni újrafeldolgozás, itt ismételt kivágás történik.

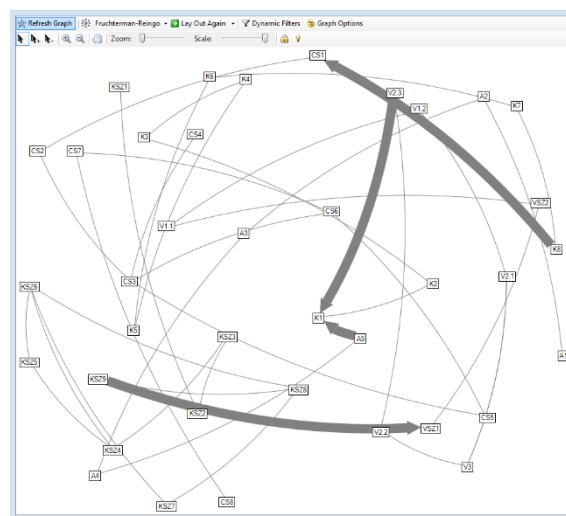
Az eredeti feldolgozási tevékenységsortól elkülönülő hibajavítási, visszacsatolási, vagy egyéb, a standard eljárástól eltérő utakat a V<5 élsúly szerinti vágással azonosíthatjuk. Az eredményt a 53. ábra mutatja be.



**53. ábra: A tevékenység-háló V<5 élsúly szerinti vágása. Forrás: saját munka.**

A CS3-CS5-CS6 *összeszerelés ellenőrzés – hibajavítás - tisztítás* és a KSZ6-KSZ7-KSZ8 *bőrhiba ellenőrzés – hibajavítás - csomagolás* összefüggő csúcshármasok a visszacsatolással járó javító köröket jelzik, a csak bemenő éllel rendelkező csúcsok közül CS4 egy lezáruló folyamatot, esetünkben a selejt raktárba szállítását, míg KSZ4 a kiszabás után bőrhiba azonosítás után az ismételt sablonelhelyezést azonosítja.

A tárolásból adódó veszteségeket akkor látjuk, ha az élsúlyt a köztes tároló méretével arányosan adjuk meg. Az eredményül kapott gráfban a vastag nyilak jelzik a köztes tároló helyét, a vékony nyilak az eredeti folyamatkapcsolatokat.



**54. ábra: Fruchterman-Reingold tevékenység-háló, ahol az élsúly a köztes tároló méretét jelöli. Forrás: saját munka.**



A vastag élek kétféle módon értelmezhetők. Az első esetben a fogadó csúcsai a nagy ciklusidejű szűk keresztmetszetek, amelyek előtt feltorlódnak a tételek. A másik lehetőség, hogy a torlódást nem a kiegyensúlyozás hiánya, hanem a kötegelt feldolgozás okozza.

A tevékenység-háló alkalmazása eredményeképpen az alábbi folyamatvesztéseket sikerült detektálni:

- a sztenderd, ideális folyamatlefutástól eltérő események útvonala,
- sok átadással járó tevékenységek,
- köztes tárolók,
- a folyamat szűk keresztmetszete,
- kötegelt feldolgozás.

### 6.2.1.2 Mozgatási-háló

A mozgatási-háló elemei és jellemzői:

- a. csúcsok: nem mozgatást végző tevékenységek,
- b. élek: mozgatást végző tevékenységek,
- c. csúcsok attribútumai: tevékenység azonosító,
- d. az élek attribútumai: mozgatási távolság.

A gráf specifikálása<sup>21</sup> során az alábbi adatokat adtuk meg:

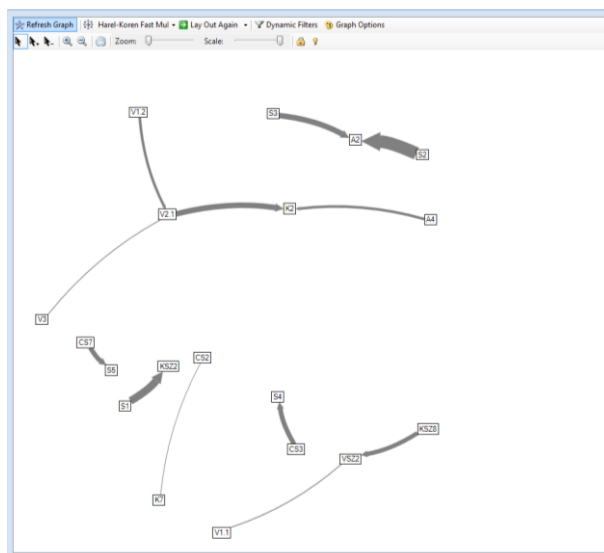
- A csúcsok definiálása:
  - Vertex: a csúcs neve,
  - Label: a csúcs azonosítója.
- Az élek definiálása:
  - Vertex 1: az élt indító csúcs azonosítója,
  - Vertex 2: az élt fogadó csúcs azonosítója,
  - Width: A mozgatási távolság. A súlyt itt is 10-es skálára normáltuk, mert a távolság értéke 1-32 között szóródik.

Az alapanyagok, a készáru és a selejtáru mozgatásának ábrázolásához felvettünk három fiktív start (bőr, habszivacs, faváz) és két stop (kész és selejtes szék) csúcsot is.

A kapott gráf (55. ábra) egy ötös összefüggő komponensből, négy csúcspárból és két csúcshármasból álló, nem összefüggő hálózat.

---

<sup>21</sup> A mozgatási-háló teljes specifikációs tábláját a 10.3 melléklet tartalmazza.



**55. ábra: Harel-Koren Fast Multiscale mozgatósi-háló. Forrás: saját munka.**

A legnagyobb mozgatósi veszteség az A2 faváz *ragasztózás* tevékenységnél jelenik meg, a faváz és a habszivacs szállításánál. Ezt követi a KSZ2 *bőrhíba bejelölési feladat*, szintén az alapanyag mozgatósi miatt. A legjelentősebb, nem raktárból be- vagy kiszállítás a V2.1-K2 *összeállítás – igazítás* tevékenységek között történik, amely veszteséget növeli a szintén az igazításhoz szükséges előkészített faváz - A4-ből történő – mozgatósi.

A veszteségek közötti differenciálást megkönnyíti, ha az élsúly meghatározásánál nem csak a távolságot, hanem a mozgatósi gyakoriságát (azaz a mozgatósi tétel szám nagyságát) is figyelembe vesszük. Mivel a vizsgált folyamatban ez jelentős különbséget nem okozott volna, ezt a vizsgálatot nem végeztük el.

A mozgatósi-hálóval beazonosított veszteségek:

- mozgatósi, mozgás,
- nem egymás mellé, a megfelelő műveleti sorrendben elhelyezett munkaállomások.

### 6.2.1.3 Értékteremtő-háló

Az értékteremtő-háló elemei és jellemzői:

- a. csúcsok: tevékenységek,
- b. él: értékteremtő tevékenységek közötti logikai kapcsolatok,
- c. csúcsok attribútumai: tevékenység azonosító, értékteremtő vagy nem,
- d. az él attribútumai: nincs.

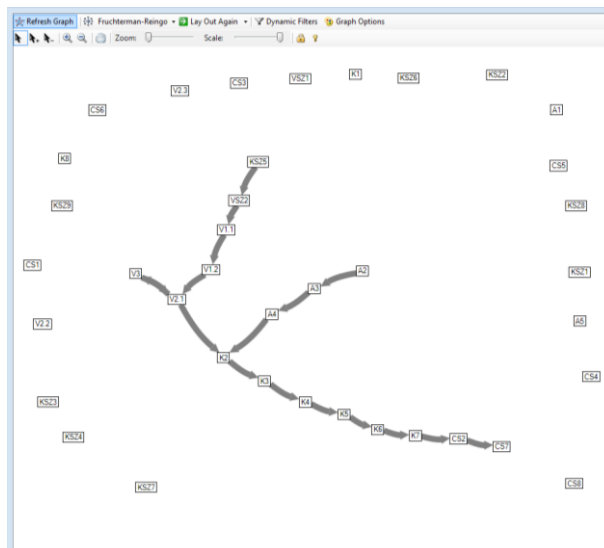
A gráf specifikálása<sup>22</sup> során az alábbi adatokat adtuk meg:

- A csúcsok definiálása:
  - Vertex: a csúcs neve,
  - Visibility: 4 (az él nélküli izolált csúcs is látszik),
  - Label: a csúcs azonosítója.
- Az él definiálása:
  - Vertex 1: az élt indító csúcs azonosítója,
  - Vertex 2: az élt fogadó csúcs azonosítója,

<sup>22</sup> Az értékteremtő-háló teljes specifikációs tábláját a [10.5 melléklet] tartalmazza.

- Width: mivel a súly ebben a hálótípusban nem releváns, az értéke minden csúcs esetében 5.

Az értékteremtő-háló (56. ábra) összefüggő komponense tartalmazza az értékteremtő lépéseket, míg az egyéb tevékenységek izolált pontokként jelennek meg.



**56. ábra: Fruchtermain-Reingold értékteremtő-háló. Forrás: saját munka.**

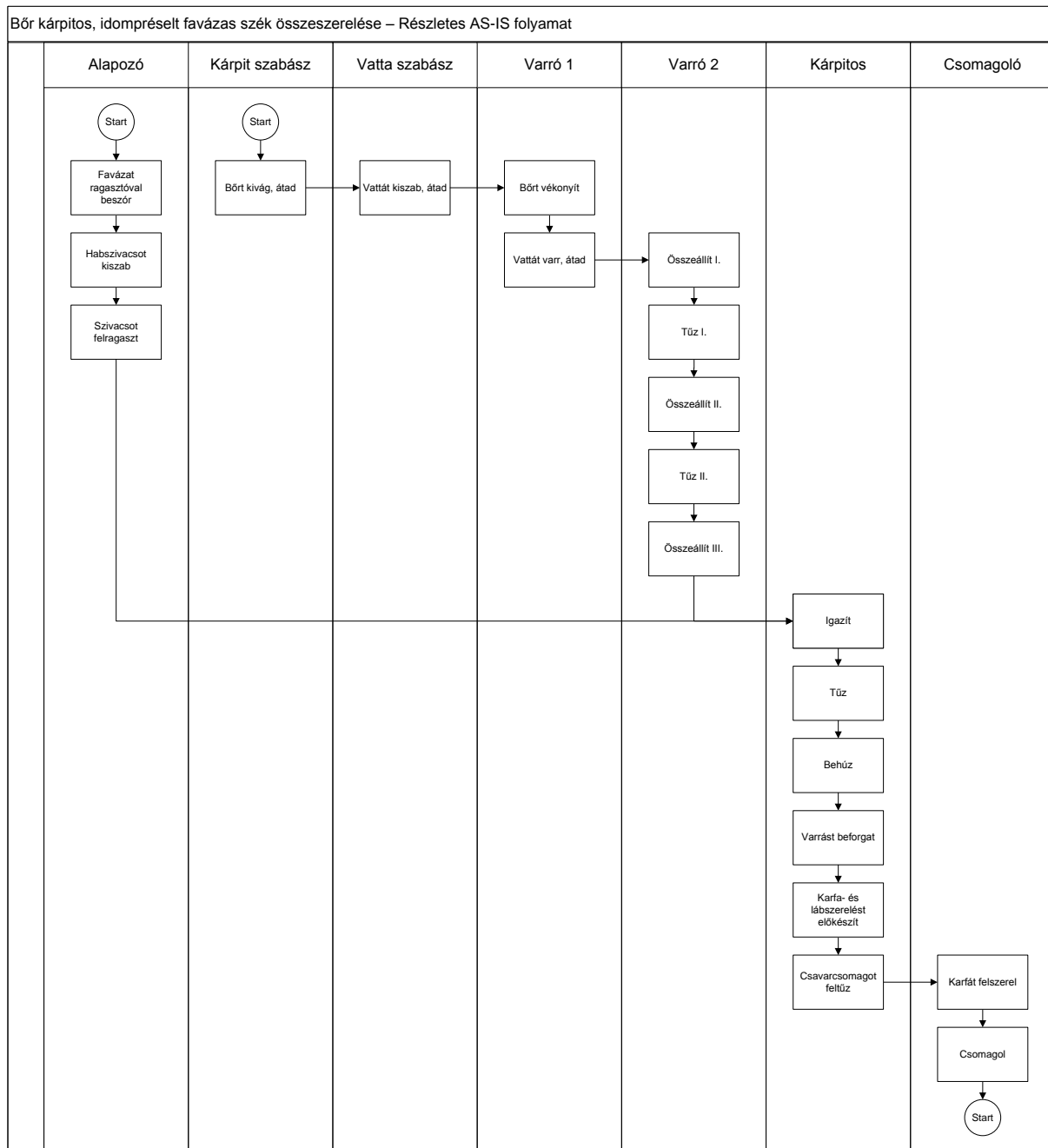
Az értékteremtő-háló vizuális elemzéséből megállapítható a vizsgált folyamat értékteremtő szakaszainak aránya, vagy másként az izolált csúcsok reprezentálta túlmunka, mint veszteség mértéke.

## **6.2.2 A folyamatháló analitikus jellemzőinek meghatározása**

Az analitikus jellemzők használatának elsődleges célja az ideális és az aktuális folyamatstátusz közötti különbség, azaz a kialakult veszteségek mértékének meghatározása. Ehhez szükség van az ideális folyamat definiálására.

### **6.2.2.1 Az ideális folyamat**

Az ideális folyamatban csak értékteremtő tevékenységek vannak, ellenőrzésre és hibajavításra nincs szükség, az áramlás egydarabos, a folyamat kiegyensúlyozott, a berendezések sorba rendezettek, így a mozgatási szükséglet minimális, a szereplők száma és így az átadási pontok száma optimális. Az ideális folyamatra egy lehetséges megoldást mutat az [57. ábra].



57. ábra: Az ideális folyamat egy lehetséges megvalósítása. Forrás: saját munka.

### 6.2.2.2 Az ideális és az aktuális folyamatstátusz közötti különbség

Az [5.4.2 fejezetben] bemutatott folyamatjellemzők segítségével az alábbiak állapíthatók meg a vizsgált folyamat veszteségéről:

Folyamatjellemző	8 tétel lefutása ideális folyamatstátuszban	Összes tétel lefutása aktuális folyamatstátuszban	Veszteség mértéke	Aktuális folyamatstátusz értékének meghatározási módja
Lépésszám (csúcscsúszám) (v)	8x20=160 db	354 db	194 db	8 eredeti lefutás (8x38), 1 selejtes tétel miatti ismételt lefutás (1x38), a kárpit szabásnál 3 tétel javításának plusz feladatai (3x1), a kárpit szabásnál 2 nem javítható tétel újrakészítésének plusz feladatai (2x3), a végső munkálatoknál 2 tétel javításának plusz feladatai (2x1), a végső munkálatoknál 1 tétel selejtezésének plusz feladatai (1x1).
Élek száma (E)	8x19=152 db	336 db	184 db	8 eredeti lefutás (8x36), 1 selejtes tétel miatti ismételt lefutás (1x36), a kárpit szabásnál 3 tétel javításának plusz feladatai (3x1), a kárpit szabásnál 2 nem javítható tétel újrakészítésének plusz feladatai (2x3), a végső munkálatoknál 2 tétel javításának plusz feladatai (2x1), a végső munkálatoknál 1 tétel selejtezésének plusz feladatai (1x1).
Összes ciklusidő (TCT)	8x70=560 perc	938 perc	378 perc	8 eredeti lefutás (8x102), 1 selejtes tétel miatti ismételt lefutás (1x102), a kárpit szabásnál 3 tétel javításának plusz feladatai (3x1) a kárpit szabásnál 2 nem javítható tétel újrakészítésének plusz feladatai (2x5), a végső munkálatoknál 2 tétel javításának plusz feladatai (2x3), a végső munkálatoknál 1 tétel selejtezésének plusz feladatai (1x1).
Köztes tárolók darabszáma (N)	0 db	256 db	256 db	Maximális darabszámok. A javítások során egydarabos az áramlás.
Összes átlagos várakozási idő (WT)	0 perc	2716 perc	2716 perc	A javítások során egydarabos az áramlás.
Hibaarány (F)	0	0,143=14,3%	14,3%	
A tevékenységet végző erőforrások száma (y)	7	8	1	
Mozgatási távolság (D)	56 m	1215 m	1159 m	
Összefüggő mozgatási komponensek aránya	0	19/38=0,5	0,5	
Összefüggő értékteremtő komponens aránya	1	17/38=0,447	0,447	
Tranzitivitás (C3)	0	a) 1/42=0,023 b) 2/42=0,048 c) 3/42=0,071	0,071	a) visszacsatolós folyamathurkok esetén, b) előre csatolós folyamathurkok esetén, c) összesen

**9. táblázat: A vizsgált folyamat veszteségének mértéke. Forrás: saját munka.**

A [

9. táblázat] összefoglalja azokat a legfontosabb folyamatjellemzőket, amelyek meghatározásával számszerűsíthetők a folyamat veszteségei. Az adatokból a korábbi fejezetekben bemutatott módon kiszámíthatók az NPIM indikátorai is.

Összegzésként elmondható, hogy a hálózatszemléletű folyamatdiagnosztika eszköztára alkalmas arra, hogy a folyamatokat egymással összehasonlítható módon elemezzük, ezzel kijelölve a folyamatfejlesztés irányait. A grafikus elemzés elsősorban a veszteségforrások nagyvonalú beazonosítására alkalmas, míg a hálózatszemléletű folyamatindikátorok a veszteségek konkrét mértékére adnak becslést.

## 7 Összefoglalás, tézisek

### 7.1 Összefoglalás

Munkánk célja az volt, hogy – párhuzamot vonva a hálózatelmélet és a folyamatfejlesztés között – kidolgozzunk olyan technikákat, amelyek alkalmasak a technológiai és szolgáltatási folyamatok elemzésére és fejlesztésére.

Dolgozatunk első részében ismertetjük azokat a tudományterületeket, amelyek hatással voltak a modern hálózattudomány kialakulására. Röviden bemutatjuk a gráfelmélet, a szociometria, a Petri-hálók és a mesterséges neurális hálók folyamatfejlesztés szempontjából releváns megállapításait. Ezt követően ismertetjük a modern hálózattudomány kialakulásának fontosabb állomásait és eredményeit.

Annak érdekében, hogy fejlesztő munkánkat rendszerezzük, kidolgoztuk a minőségügyben értelmezhető hálózatok csoportosítását. Részletesen ismertetjük a csoportosítási elvet, majd bemutatunk néhány példát az egyes kategóriákra.

A folyamatok hálózattal történő modellezésének feltétele, hogy a folyamatok teljesítménye kifejezhető legyen hálózati jellemzőkkel. Ennek vizsgálatához első lépésben bemutatjuk a gyakorlatban leginkább elterjedt folyamatmodelleket. Kitérünk a flow-chart-ra, a keresztfunkcionális folyamatábrára, az EPC-re, a spagetti diagramra, a VSM-re, a CPM és MPM módszerekre, valamint a BPMN szabványra. Ezt követően megvizsgáljuk, hogy az egyes folyamat objektumok és folyamatjellemzők milyen folyamathálóval kezelhetők. Részletesen taglaljuk a tevékenységek közötti kapcsolódási lehetőségeket, az azonos erőforrások által végzett tevékenységek csoportosításának módszereit, a lefutásszám jelölési rendszerét és számítását. A folyamatjellemzők közül a kiegyensúlyozottságot, az átfutási időt, a feldolgozás alatt lévő tétel számát, a hibaarányt vagy kihozatalt és a kihasználtságot fejtjük ki részletesen. Ezekből létrehoztuk a Hálózatalapú Folyamatindikátor Modellt (NPIM), amely strukturáltan mutatja be a korábban definiált alap- és képzett mutatószámokat. Az NPIM-t értelmeztük a Lean veszteségek, valamint a Teljes Eszközhatékonyság (OEE) területére. Ennek eredményeképpen kidolgoztuk a Lean veszteségek hálózati indikátor struktúráját.

A folyamatok nem statikus entitások, az életciklusuk során változnak. A változás leírására definiáltunk egy hálózati modellt, amely egységes rendben kezeli a folyamatstátuszokat, a folyamathálók kialakulását és növekedését leíró jelenségeket. Az egyes folyamatstátuszok összehasonlítását a következő hálózati jellemzőkkel végeztük: fokszámeloszlás, tranzitivitás, reciprocitás, átmérő, fokszám centralitás, csoportosulások típusai, redundancia, strukturális egyensúly és hasonlóság, hidak aránya és diffúzió.

Az elméleti modell és indikátor rendszer gyakorlati alkalmazhatóságának érdekében kidolgoztuk a folyamatfejlesztés hálózatszemléletű módszertanát. Elemeztük a folyamatok változásának okait és jellemzőit, majd létrehoztunk egy új módszert a folyamatok kritikusságának elemzésére és ez alapján prioritizálására. Bemutatjuk a folyamatfelmérés és adatgyűjtés lehetséges megközelítéseit, valamint definiáljuk a folyamathálók grafikus és analitikus vizsgálatának technikáit.

A folyamathálók elemzésének módszertanát kiterjesztve a kockázatkezelés területére, specifikáltunk két módszert. Az egyik a szervezetben meglévő tudás értékének meghatározására és ez alapján a tudásvesztés kockázatának a becslésére alkalmas. A másik az eseményláncok hálózati elemzésén keresztül teszi lehetővé a kockázatkezelési tevékenységek validálását és fejlesztését.

A folyamatfejlesztési módszertan gyakorlati alkalmazását egy bőrkárpitos, idompréselt favázás szék összeszerelési folyamatán keresztül mutatjuk be. Modelleztük a jelenlegi folyamatot hagyományos (keresztfunkcionális ábra, spagetti-diagramm, VSM) és hálózati (tevékenység-háló, mozgatási-háló, értékteremtő-háló) módszerekkel, majd jellemtük a veszteségeket analitikusan.

A tesztelési eredmények megerősítik a hipotézist, hogy a hálózatszemléletű folyamatfejlesztés azoknál a folyamatoknál alkalmazható a legnagyobb várható hatással, amelyek hálózati modellje jelentős

eltérést mutat a reguláris gráfoktól. Az automatizált, lineáris, kiszintezett folyamatok hálózati modelljére ez nem igaz, ezért a monitorozásuk során nem várható olyan mértékű változás a hálózati modellben, ami indokoltá teszi a megközelítés használatát. Ezért elsősorban a soklépéses és sokszereplős, sok elágazást tartalmazó, különböző ciklusidőkkel rendelkező folyamatoknál javasoljuk a hálózatokkal történő modellezést. Tapasztalatunk szerint ezek a folyamatok a szolgáltató szektorra jellemzőek.

Munkánkban olyan folyamatokra fókuszáltunk, amelyekben diszkrét egységek kerülnek feldolgozásra. A jövőben célunk kiterjeszteni a módszertant a folytonos termékek (pl. fonalak) gyártási folyamatainak monitorozására és fejlesztésére is.

## 7.2 Tézisek

**Tézis 1: Kidolgoztam a minőségfejlesztés területén azonosítható komplex rendszerek modellezésére alkalmas hálózatok új csoportosi módszerét, majd validáltam a csoportosítás alkalmazhatóságát konkrét példák bemutatásán keresztül.**

- a) Definiáltam az áramlás, az attribútum és a preferencia jellegű éltípusokat az irányítottág, az élsúly, az előjel, a hurok, a soros és párhuzamos kapcsoltság, valamint az összefüggő alcsoportok értelmezésén keresztül. Meghatároztam az esemény, az erőforrás és a kompetencia típusú csúcsok tulajdonságait.  
Kapcsolódó fejezetek: 3.1, 3.2  
Kapcsolódó saját publikációk: [14], [18].
- b) Az él- és csúcstípusok valamennyi lehetséges kombinációjára megadtam néhány alkalmazási példát a minőségfejlesztés területéről, a gyakorlati felhasználhatóság szem előtt tartásával.  
Kapcsolódó fejezetek: 3.3  
Kapcsolódó saját publikációk: [14], [18].

**Tézis 2: A gyakorlatban elterjedt folyamatteljesítmény-értékelési megközelítésekből kiindulva kidolgoztam a hálózatokkal modellezett folyamatok új, hálózat-szemléletű elemzési módszertanát.**

- a) Definiáltam a folyamatokat alkotó tevékenységek teljesítményének értékelésére alkalmas lokális, valamint a teljes folyamat minősítéséhez felhasználható globális hálózati indikátorokat, meghatároztam az indikátorok közötti összefüggéseket leíró Hálózatalapú Folyamatindikátor Modellt (NPIM), majd ezek alapján megadtam a folyamatminőség új, hálózatszemléletű értelmezését.  
Kapcsolódó fejezetek: 4.5  
Kapcsolódó saját publikációk: [18].
- b) Az új megközelítést megvizsgáltam a Lean veszteségdefiníciók szempontjából és azonosítottam a Hálózatalapú Folyamatindikátor Modell és a Lean veszteségek közötti összefüggéseket. Specifikáltam a Lean veszteségek kvantitatív meghatározására alkalmas indikátorokat.  
Kapcsolódó fejezetek: 4.6  
Kapcsolódó saját publikációk: [18].

**Tézis 3: Kidolgoztam a folyamatok életciklusában beálló változások leírására és elemzésére használható hálózati modellt.**

- a) Definiáltam a folyamatok életciklusa során azonosítható, a folyamatok kialakítása utáni változások nevezetes állapotait, meghatároztam a változások lehetséges okait, valamint ezek hatását a hálózati modell topológiai tulajdonságaira.  
Kapcsolódó fejezetek: 4.8.1, 4.8.2, 4.8.3, 4.8.4, 5.1  
Kapcsolódó saját publikációk: [14]



- b) Specifikáltam a folyamatállapotok jellemzőit a folyamatmodellezés szempontjából legfontosabb hálózati jellemzők segítségével.  
Kapcsolódó fejezetek: 4.8.5  
Kapcsolódó saját publikációk: [14]

**Tézis 4: Kidolgoztam a hálózatszemléletű folyamatfejlesztés gyakorlati megvalósításának új módszertanát.**

- a) Meghatároztam egy, a folyamatok fejlesztési-potenciál szempontú prioritizálására használható szempontrendszer és értékelési módszertant. Specifikáltam a folyamatok hálózati modelljeinek kidolgozásához szükséges adatok gyűjtésének lehetséges módszereit. Kidolgoztam a hálózatszemléletű folyamatdiagnosztika grafikus és analitikus elemzési módszertanát.  
Kapcsolódó fejezetek: 5.2, 5.3, 5.4  
Kapcsolódó saját publikációk: [19]
- b) Azonosítottam a hálózatszemlélet alkalmazási lehetőségeit a folyamatok működése során előálló problémák előrejelzése, monitorozása és elemzése terén. Ennek keretében specifikáltam az esemény-kapcsolatok elemzésén alapuló, a kockázatelemzési tevékenységek validálásához felhasználható NTS hálót. Létrehoztam egy módszert, amelynek segítségével meghatározható a szervezeti tudás egy elemének fontossága, elvesztésének kockázata.  
Kapcsolódó fejezetek: 5.5  
Kapcsolódó saját publikációk: [20], [14]

## 8 Irodalomjegyzék

- [1] Anand, G. (2009): Selection of lean manufacturing systems using the analytic network process – a case study, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 20 Iss: 2, 258 – 289 o., Emerald Group Publishing Limited, Bingley.
- [2] Andrews, J. (2012): Introduction to Fault Tree Analysis. In: 2012 Annual Reliability and Maintainability Symposium. USA.
- [3] Babak, A. (2009): A neural network applied to estimate process capability of non-normal processes, *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, Issue 2, 3093-3100. o., Elsevier, Atlanta.
- [4] Barabási, A-L. (2008): Behálózva, A hálózatok új tudománya, Helikon kiadó, Budapest.
- [5] Barabási, A-L. (2010): Bursts, The hidden pattern behind everything we do, from your e-mail to bloody crusades, Penguin Group, New York.
- [6] Bayazit, O. et al. (2007): An analytical network process-based framework for successful total quality management (TQM): An assessment of Turkish manufacturing industry readiness, *International Journal of Production Economics*, Vol. 105, Issue 1, 79-96. o., Elsevier, Atlanta.
- [7] Bornholdt, S. (Ed.) (2003): Handbook of Graphs and Networks, Newman, M.E.J: Random graphs as models of networks, 35-68 o., Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [8] Bornholdt, S. (Ed.) (2003): Handbook of Graphs and Networks, Bollobás, B: Mathematical results on scale-free random graphs, 1-34 o., Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [9] Bornholdt, S. (Ed.) (2003): Handbook of Graphs and Networks, Newman, M.E.J: Structural properties of scale-free networks, 85-110 o., Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [10] Bujis, J.C.A.M et al. (2013): Discovering and Navigating a Collection of Process Models using Multiple Quality Dimensions, 9-edik Nemzetközi Business Process Intelligence Workshop, Peking.
- [11] Chang, Y-F. (2013): Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Approach to Assess the Project Quality Management in Project, *Procedia Computer Science*, Vol. 22, 928-936. o., Elsevier, Atlanta.
- [12] Correa, M. et al. (2009): Comparison of Bayesian networks and artificial neural networks for quality detection in a machining process, *Expert Systems with Applications*, vol. 36, Issue 3, 2. rész, 7270-7279 o., Elsevier, Atlanta.
- [13] Csermely, P (2005): A rejtett hálózatok ereje, Vince Kiadó, Budapest.
- [14] Csiszér, T. (2010): A hálózatelemzési eszköztár alkalmazásának lehetőségei a működésfejlesztésben, "TANULÁS - TUDÁS - GAZDASÁGI SIKEREK", avagy a tudásmenedzsment szerepe a gazdaság eredményességében konferencia kiadványa, Széchenyi István Egyetem, Győr.
- [15] Csiszér, T (2010): Eseménykapcsolatok vizsgálata hálózatelemzési módszerrel, Hálózat kutatás, interdiszciplináris megközelítések, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.
- [16] Csiszér, T., Solti, Á. (2010): Folyamat alapú informatikai rendszerfejlesztés és bevezetés, IME IX. évfolyam 4. szám, Larix Kiadó Kft., Budapest.
- [17] Csiszér, T. (2011): Kockázati események közötti összefüggések vizsgálata hálózatelemzéssel, Magyar Minőség, Minőség hét kiadvány, Magyar Minőség Társaság, Budapest.
- [18] Csiszér, T. (2011): A hálózat kutatás alkalmazási lehetőségének összefoglaló vizsgálata a folyamat alapú minőségfejlesztésben, Minőség és Megbízhatóság 5. kötet, EOQ MNB, Budapest.
- [19] Csiszér, T. (2012): A tudásérték meghatározása minőségügyi szempontból, hálózatelemzési módszerekkel, Vezetéstudomány 43. kötet, Corvinus School of Management, Budapest.
- [20] Csiszér, T (2013): Assessment of quality-related risks by the use of complex networks, *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 9. kötet, Magyar Tudományos Akadémia Erdészeti Bizottsága, Sopron.
- [21] Demeter, K. (2010): Az értékteremtés folyamatai, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest.
- [22] Desel, J. (200): Validation of process models by construction of process nets. In: BPM. Volume 1806 of LNCS. 110–128, Springer-Verlag, Berlin.
- [23] Diaz, M. (2010): Petri Nets, Fundamental Models, Verification and Applications, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [24] Dorogovtsev, S.N. (2000): Structure of growing networks with preferential thinking, *Phys. Rev. Lett.* 85., 4633 o., American Physical Society, New York.

- [25] Erdős, P., Rényi, A. (1960.): On The Evolution of Random Graphs, Magyar Tud. Akad. Mat. Kutató Int. Közl. 5, 17-61 o., MTA, Budapest.
- [26] Ergu, D. et al. (2014): Analytic network process in risk assessment and decision analysis, Computers and Operations Research, Vol. 42, 58-74. o., Elsevier, Atlanta.
- [27] Ertay, T. et al. (2005): Quality function deployment implementation based on analytic network process with linguistic data: An application in automotive industry, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, Vol. 16, IOS Press, Amsterdam.
- [28] Frank, A. (2012): Gráfelmélet, ELTE TTK, Operációkutatási tanszék, Budapest.
- [29] Frank, A. (2008): Kombinatorikus optimalizálás, I: Gráfelmélet, ELTE TTK, Operációkutatási tanszék, Budapest.
- [30] Gibbons, P.M. (2006): Improving overall equipment efficiency using a Lean Six Sigma approach, International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, 2/2006 kiadás, 207-232 o., Inderscience Publishers, Genf.
- [31] Goldratt, E.M. (1992): The Goal, A process of ongoing improvement, North River Press, Great Barrington.
- [32] Green, J. Stellman, A. (2007): Head First PMP, O'Reilly Media, Sebastopol.
- [33] Grosskopf, A. et.al. (2009): The Process: Business Process Modeling using BPMN, Meghan-Kiffer Press, New York.
- [34] Guh, R-S. (2010): Simultaneous process mean and variance monitoring using artificial neural networks, Computers and Industrial Engineering, Vol. 58, Issue 4, 739-753. o., Elsevier, Atlanta.
- [35] Horváth & Partners (2005): Prozessmanagement umsetzen – Durch nachhaltige Prozessperformance Umsatz steigern und Kosten senken, Schäffer-Poeschel, Stuttgart.
- [36] HORVÁTH, G. (1995): Neurális hálózatok és műszaki alkalmazásaik, BME, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Jegyzet, Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- [37] Hosseini Nasab, H. et al. (2012): Finding a probabilistic approach to analyze lean manufacturing, Journal of Cleaner Production 29-30, 73-81 o., Elsevier, Atlanta.
- [38] Hung-Chun, L. (2012): Parameter optimization of continuous sputtering process based on Taguchi methods, neural networks, desirability function, and genetic algorithms, Expert Systems with Applications, Vol. 39, Issue 17, 12918-12925 o., Elsevier, Atlanta.
- [39] Karsak, E. et al. (2003): Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach, Computers & Industrial Engineering, Volume 44, Issue 1, 171-190 o., Elsevier, Atlanta.
- [40] Kumar, R. (2000): Stochastic models for the web graph, Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, Las Vegas.
- [41] Lewis, N. D. C. (1999): Continuous process improvement using Bayesian belief network, Computers and Industrial Engineering, Vol. 37, Issues 1-2, 449-452. o., Elsevier, Atlanta.
- [42] Lohman, N. et al. (2009): Petri net transformation for business processes – A survey, ToPNoC 2, 46-63. o.
- [43] Lunau, S. (Ed.) (2008): Six Sigma + Lean Toolset, Springer-Verlag, Berlin.
- [44] Mérei, F. (1996), Közösségek rejtett hálózata, Osiris Kiadó, Budapest.
- [45] Milgram, S. (1967): The Small World Problem, Psychology Today, Vol. 2, 60–67 o., New York.
- [46] Newman, M.E. J. (2010): Networks, Oxford University Press, Oxford.
- [47] Nooy, W. D. (2005): Exploratory Social Network Analysis with Pajek, Cambridge University Press, New York.
- [48] Pacella, M. et al. (2007): Using recurrent neural networks to detect changes in autocorrelated processes for quality monitoring, Computers and Industrial Engineering, Vol. 52, Issue 4, 502-520 o., Elsevier, Atlanta.
- [49] Paprika, Z. (2005): Döntélmélet, Alinea kiadó, Budapest.
- [50] Pataki, B. (2004): Változásmenedzsment, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.
- [51] Pokrádi, L. (2008): Rendszerek és folyamatok modellezése, Rendszerek gráf-modellezése, 51-62 o., Campus Kiadó, Debrecen.
- [52] Polyvyanyy, A. (2013): Indexing and efficient instance-based retrieval of process models using untanglings, accepted, unpublished.

- [53] Saaty, T. L. (1996): Decision making with dependence and feedback: the Analytic Network Process, RWS Publications, Pittsburgh.
- [54] Scheer, A. W. (2000): ARIS – Business Process Modeling, Springer-Verlag, Berlin.
- [55] Short, J. (2013): Magic Quadrant for Enterprise Architecture Tools, Gartner, Stamford.
- [56] Smolin, L. (2011): Mi a baj a fizikával, A húrelmélet problémái és a lehetséges kiutak, Akkord kiadó, Budapest.
- [57] STAMATIS, D.H. (2003): Failure Mode and Effect Analysis, ASQ Quality Press, Milwaukee.
- [58] Terwiesch, C. (2012): Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management, 3rd edition, Irwin - McGraw Hill, Columbus.
- [59] Vinodh, S. et al. (2011): Application of fuzzy analytic network process for supplier selection in a manufacturing organisation, Expert Systems with Applications, Vol. 38, Issue 1, 272-280 o., Elsevier, Atlanta.
- [60] Watzlawick, P. (1990): Változás, Gondolat kiadó, Budapest.
- [61] Wauters, F., Mathot, J. (2002): OEE, Overall Equipment Effectiveness, ABB Inc., Ohio.
- [62] Womack, J. P. (2003): Lean Thinking, Simon & Schuster Inc., New York.

## 9 Ábrajegyzék

1. ábra: Példák gráfokra: a) összefüggő fa, b) összefüggő kör, c) teljes gráf kör. Forrás: saját munka.	11
2. ábra: Példák szociogramokra: a) szokványos, b) hagyományostól eltérő. Forrás: saját munka.	13
3. ábra: A Petri-háló elvi felépítése. Forrás: saját munka.	14
4. ábra: A mesterséges neurális háló felépítése egy oldódási modell példáján. Forrás: saját munka.	16
5. ábra: Klasszikus véletlen gráf fokszámeloszlása. Forrás: saját munka.	17
6. ábra: A kis-világ modell létrehozása. Forrás: saját munka.	17
7. ábra: Az Erdős-Rényi és a skálafüggetlen modellek fokszámeloszlása. Forrás: saját munka.	18
8. ábra: a) AoN és b) AoA típusú folyamatábrázolás. Forrás: saját munka.	24
9. ábra: Flow-chart folyamatábra. Forrás: saját munka.	25
10. ábra: Keresztfunkcionális folyamatábra. Forrás: saját munka.	25
11. ábra: Eseményvezérelt folyamatlánc (Event driven Process Chain, EPC). Forrás: saját munka.	26
12. ábra: a) Spagetti diagram és b) értékáram térkép. Forrás: saját munka.	27
13. ábra: CPM modell. Forrás: saját munka.	28
14. ábra: BPMN objektumkészlet. Forrás: saját munka.	30
15. ábra: A folyamat alapegysége, a tevékenység. Forrás: saját munka.	31
16. ábra: Lineáris, visszacsatolás nélküli folyamat modellezése tevékenység-hálóval. Forrás: saját munka.	31
17. ábra: Azonos erőforrások szerinti alcsoportok vizualizálása: a) színekkel, b) új típusú éllel, c) új típusú csúccsal és éllel. Forrás: saját munka.	32
18. ábra: Elágazások a folyamatban: a visszacsatolás és a párhuzamos ágak jelölése gráfban. Forrás: saját munka.	32
19. ábra: A lefutásszám jelölése a gráfban. Forrás: saját munka.	33
20. ábra: A ciklusidő, a várakozási idő és a köztes tároló méretének jelölése gráfban és mátrixban. Forrás: saját munka.	34
21. ábra: A folyamat kiegyensúlyozottságát jelző $\sigma$ fokszámhányados értéke (Y) az egyes csúcsok esetében (X). Az ordinátán jelölt mennyiség nem folytonos, a pontok összekötése csak demonstrációs célokat szolgál. Forrás: saját munka.	35
22. ábra: Az egységek feldolgozási átfutási idejének és a feldolgozás alatt lévő tételek számának meghatározása a belépési és kilépési időpontok ismeretében. Forrás: saját munka.	36
23. ábra: Hálózatalapú Folyamatindikátor Modell (Network-based Process Indicator Model, NPIM). Forrás: saját munka.	39
24. ábra: Az ellenőrzési és hibajavítási veszteség hálózatos meghatározása a) párhuzamos élek arányával, b) tranzitivitással, c) n-core aránnyal. Forrás: saját munka.	40
25. ábra: Összefüggő alcsoportok meghatározásának lehetőségei, a) komponensek módszere, b) n-core módszer, c) klikk-perkolációs módszer. Forrás: saját munka.	41
26. ábra: A Lean veszteségek hálózati indikátor struktúrája. Forrás: saját munka.	43
27. ábra: A Teljes Eszközhatékonyság (Overall Equipment Effectiveness, OEE) modellje. Forrás: saját munka.	44
28. ábra: A folyamatstátuszok kapcsolata. Forrás: saját munka.	46
29. ábra: Az átlagos fokszám értéke különböző lépésszám (v) és tételszám ( $\beta$ ) esetén. Forrás: saját munka.	47
30. ábra: A fokszámváltozás okozó tényezők magyarázata. Forrás: saját munka.	48
31. ábra: Az ideális és a reális folyamatstátusz fokszámeloszlása. Forrás: saját munka.	49
32. ábra: A folyamatkritikusság számítás és elemzés lépései. Forrás: saját munka.	54
33. ábra: Folyamatkritikusság elemzés a manualitás és a komplexitás alapján. Forrás: saját munka.	54
34. ábra: Különböző méretű csomósodások a folyamathálóban. Forrás: saját munka.	57
35. ábra: A komplex tudáshálózat felépítése. Forrás: saját munka.	60
36. ábra: A komplex tudáshálózat felépítése. Forrás: saját munka.	60
37. ábra: A tudás értékének meghatározása. Forrás: saját munka.	61
38. ábra: A származtatott másodrendű hálózatok felhasználása a munkakörök kialakításában. Forrás: saját munka.	62

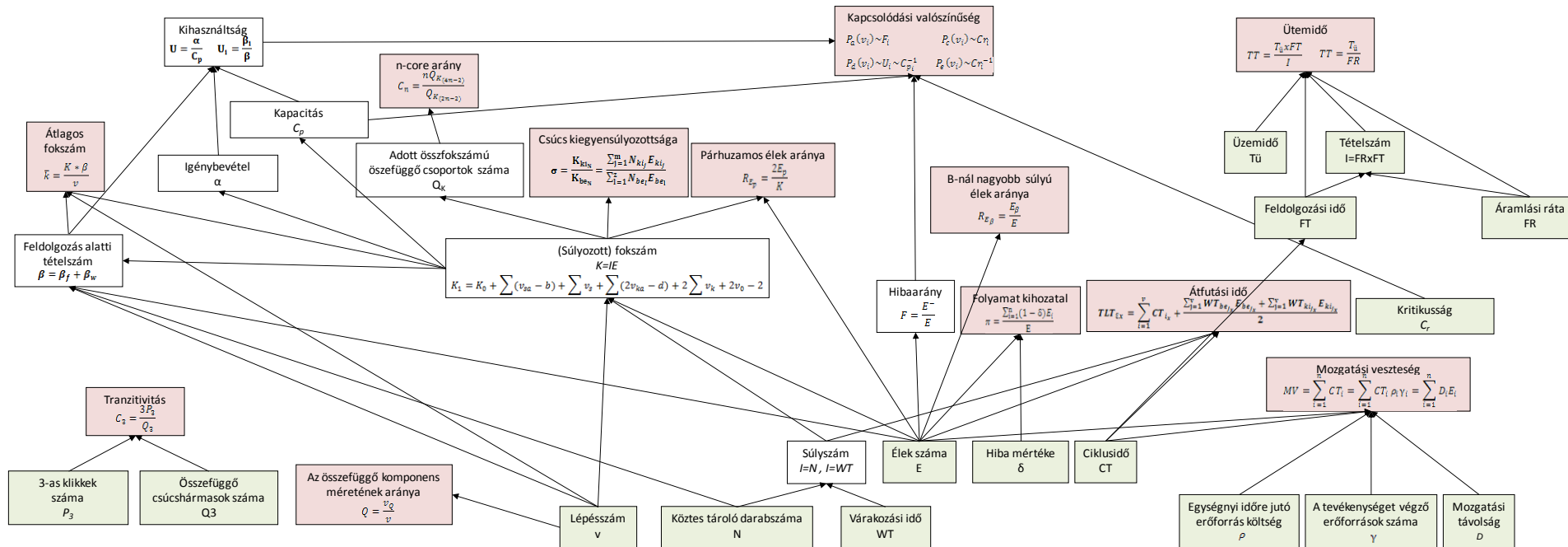
39. ábra: Öt eseményből álló elméleti hálózat. Forrás: saját munka. ....	64
40. ábra: Elméleti eseményláncok a kapcsolatok erősségével. Az értékek jelentése: N – közös előfordulások száma, T – egymást követő előfordulások között eltelt idő, S – az él súlya az N/T hányadosból számolva. Forrás: saját munka. ....	65
41. ábra: N-gráf. Forrás: saját munka. ....	66
42. ábra: T-gráf. Forrás: saját munka. ....	68
43. ábra: S-gráf. Forrás: saját munka. ....	69
44. ábra: Aktuális (AI-IS) folyamat tevékenység szinten. Forrás: saját munka. ....	71
45. ábra: Aktuális (AS-IS) folyamat technológiai művelet szinten. Forrás: saját munka. ....	72
46. ábra: Aktuális (AS-IS) spagetti diagram. Forrás: saját munka. ....	74
47. ábra: Aktuális (AS-IS) értékáram térkép. Forrás: saját munka. ....	75
48. ábra: Harel-Koren Fast Multiscale tevékenység-háló. Forrás: saját munka. ....	77
49. ábra: Fruchtermain-Reingold tevékenység-háló. Forrás: saját munka. ....	77
50. ábra: Kamada-Kawai tevékenység-háló. Forrás: saját munka. ....	78
51. ábra: Fruchtermain-Reingold 3D tevékenység-háló. Forrás: saját munka. ....	79
52. ábra: A tevékenység-háló $V > 5$ élsúly szerinti vágása. Forrás: saját munka. ....	79
53. ábra: A tevékenység-háló $V < 5$ élsúly szerinti vágása. Forrás: saját munka. ....	80
54. ábra: Fruchtermain-Reingold tevékenység-háló, ahol az élsúly a köztes tároló méretét jelöli. Forrás: saját munka. ....	80
55. ábra: Harel-Koren Fast Multiscale mozgatósi-háló. Forrás: saját munka. ....	82
56. ábra: Fruchtermain-Reingold értékteremtő-háló. Forrás: saját munka. ....	83
57. ábra: Az ideális folyamat egy lehetséges megvalósítása. Forrás: saját munka. ....	84

## 10 Mellékletek

## 10.1 A hálózatalapú folyamatmutatók kapcsolatrendszere

A színek jelentése:

- zöld: alapmutatók,
- fehér: köztes képzett mutatók,
- piros: képzett csúcsmutatók.





## 10.2 Az egyenletekben használt jelölések magyarázata

Jelölés	Jelentése	Felhasználási helye
$b [db]$	a $v_{sa}$ alternatív úttal kiváltott eredeti út fokszáma	34. egyenlet
$C_3$	Tranzitivitás vagy klaszterezettség	25. egyenlet
$C_n$	Az n-core arány	26. egyenlet
$C_p$	Kapacitás	21. egyenlet, 37. egyenlet
$C_r$	A folyamatlépés kritikussága	36. egyenlet, 38. egyenlet
$CT [perc]$	Ciklusidő	12. egyenlet, 13. egyenlet, 28. egyenlet, 29. egyenlet
$D [m]$	Két tevékenység közötti távolság	30. egyenlet
$d [db]$	A $v_{ka}$ alternatív úttal kiváltott eredeti út fokszáma	33. egyenlet, 34. egyenlet
$E [db]$	Összes élszám	18. egyenlet, 19. egyenlet, 20. egyenlet, 30. egyenlet
$E^- [db]$	Negatív élsúlyú élek száma	18. egyenlet, 19. egyenlet
$E_{be} [db]$	Bemenő élek száma	6. egyenlet, 7. egyenlet, 9. egyenlet, 10. egyenlet, 12. egyenlet, 13. egyenlet 17. egyenlet, 22. egyenlet
$E_{ki} [db]$	Kimenő élek száma	6. egyenlet, 8. egyenlet, 9. egyenlet, 10. egyenlet, 12. egyenlet, 13. egyenlet 17. egyenlet, 22. egyenlet
$E_p [db]$	Párhuzamos élek száma	24. egyenlet
$E_\beta [db]$	$\beta$ -nál nagyobb lefutásszámú (súlyú) élek száma	27. egyenlet
$F$	Hibaarány	18. egyenlet, 19. egyenlet, 35. egyenlet
$FR$	Áramlási ráta	14. egyenlet, 15. egyenlet
$FT [perc]$	Feldolgozási idő	14. egyenlet, 16. egyenlet
$I [db]$	Tételszám	14. egyenlet, 16. egyenlet
$I_{be}$	Az bemenő él fontossága	7. egyenlet
$I_{ki}$	A kimenő él fontossága	8. egyenlet
$K [db]$	Összfokszám	24. egyenlet, 32. egyenlet, 33. egyenlet
$\bar{k} [db]$	Átlagos foksám	32. egyenlet

$K_{be} [db]$	Befokszám	6. egyenlet, 7. egyenlet, 9. egyenlet, 10. egyenlet, 17. egyenlet, 21. egyenlet, 22. egyenlet
$K_{ki} [db]$	Kifokszám	6. egyenlet, 8. egyenlet, 9. egyenlet, 10. egyenlet, 17. egyenlet, 21. egyenlet, 22. egyenlet
$m [db]$	Visszacsatolások (körök) száma	24. egyenlet utáni magyarázat
$MV_C [Ft]$	A mozgatási veszteség kiszámítása az erőforrás költségek összegzésével	29. egyenlet
$MV_D [m]$	A mozgatási veszteség kiszámítása a mozgatási távolságok összegzésével	30. egyenlet
$MV_T [perc]$	A mozgatási veszteség kiszámítása a ciklusidők összegzésével	28. egyenlet
$N [db]$	Események közös előfordulásának száma	45. egyenlet
$N_{be} [db]$	A csúcst megelőző köztes tároló mennyisége	9. egyenlet, 10. egyenlet, 17. egyenlet, 22. egyenlet
$N_{ki} [db]$	A csúcst követő köztes tároló mennyisége	9. egyenlet, 10. egyenlet, 22. egyenlet
$P [db]$	A tudáselem birtoklás-fokszáma	39. egyenlet
$P_x [db]$	X esemény bekövetkezésének valószínűsége	40. egyenlet, 41. egyenlet, 42. egyenlet, 43. egyenlet, 44. egyenlet
$P_3 [db]$	A klikkek (teljes gráfot alkotó csúcshármasok) száma	25. egyenlet
$P_a(v_i)$ $P_c(v_i)$ $P_d(v_i)$ $P_e(v_i)$	Kapcsolódási valószínűségek	35. egyenlet, 36. egyenlet, 37. egyenlet, 38. egyenlet
$Q$	Az összefüggő komponens méretének aránya	31. egyenlet
$Q_3 [db]$	Összefüggő csúcshármasok száma	25. egyenlet
$Q_K [db]$	Adott összefokszámú összefüggő alcsoportok száma	26. egyenlet
$R$	A tudás elvesztés kockázatának mértéke	39. egyenlet
$R_{Ep}$	Párhuzamos élek aránya	24. egyenlet

$R_{E\beta}$	$\beta$ -nál nagyobb lefutásszámú (súlyú) élek aránya	27. egyenlet
$S [db]$	Az S-gráfban az él súlya	40. egyenlet, 42. egyenlet, 43. egyenlet, 44. egyenlet, 45. egyenlet
$T [db]$	A tudáselem elvárás-fokszáma	39. egyenlet
$T [perc]$	Események egymást követő előfordulásai között eltelt idő	45. egyenlet
$TLT [perc]$	Teljes átfutási idő (Total Lead Time)	12. egyenlet, 13. egyenlet
$TT [perc/db]$	Ütemidő	15. egyenlet, 16. egyenlet
$T_{\ddot{u}} [perc]$	Üzemidő	15. egyenlet, 16. egyenlet
$U$	Kihasználtság	21. egyenlet, 22. egyenlet, 23. egyenlet, 37. egyenlet
$V$	Az értékteremtő tevékenységek aránya	39. egyenlet
$v [db]$	A folyamatlépések (tevékenységek) száma	31. egyenlet, 32. egyenlet
$v_0[db]$	A köztes lépés bemeneti és kimeneti szomszédjának, valamint a közöttük lévő csúcsoknak száma	31. egyenlet, 34. egyenlet
$v_k[db]$	Az új köztes lépések száma	34. egyenlet
$v_{ka}[db]$	Az új alternatív köztes lépések száma	34. egyenlet
$v_Q[db]$	Az összefüggő komponensben lévő csúcsok száma	31. egyenlet
$v_s[db]$	Az új kezdő- és végpontok száma	33. egyenlet, 34. egyenlet
$v_{sa}[db]$	Az új alternatív kezdő- és végpontok száma	33. egyenlet, 34. egyenlet
$WT[perc]$	Várakozási idő (Waiting Time)	9. egyenlet, 12. egyenlet, 13. egyenlet
$\alpha [db]$	Igénybevétel	21. egyenlet
$\beta [db]$	A folyamatban feldolgozás alatt lévő tételek száma	17. egyenlet, 23. egyenlet, 32. egyenlet
$\beta_f [db]$	A tevékenységekben feldolgozás alatt lévő tételek száma	17. egyenlet, 23. egyenlet, 32. egyenlet
$\beta_w [db]$	A tevékenységekben között várakozó tételek száma	17. egyenlet
$\gamma [db]$	A tevékenységet végző erőforrások száma	29. egyenlet

$\delta$	A hiba mértéke	20. egyenlet
$\sigma$	Kiegyensúlyozottság	9. egyenlet, 10. egyenlet, 11. egyenlet, 22. egyenlet
$\pi$	A folyamat kihozatala	20. egyenlet
$\rho$ [Ft/óra]	Az egységnyi időre jutó erőforrás költség	30. egyenlet

### 10.3 A tevékenység-háló specifikációs táblája NodeXL-ben

#### Csúcs specifikáció

Vertex	Label
Bőrt raktárból kivesz	KSZ1
Hibákat bejelöl	KSZ2
Sablont kiválaszt	KSZ3
Sablont anyagon elhelyez	KSZ4
Bőrt kivág	KSZ5
Bőrhibát ellenőriz	KSZ6
Hibát javít1	KSZ7
Csomagol1	KSZ8
Kiszabott kárpitot köztes tárolóba helyez	KSZ9
Kárpitot köztes tárolóból kivesz	VSZ1
Vattát kiszab, átad	VSZ2
Bőrt vékonyít	V1.1
Vattát varr, átad	V1.2
Összeállít I, II, III., átad	V2.1
Tűz I, II., átad	V3
Készrejelent	V2.2
Megvarrt kárpitot köztes tárolóba helyez	V2.3
Favázat és habszivacsot raktárból kivesz	A1
Favázat ragasztóval beszór	A2
Habszivacsot kiszab	A3
Szivacsot felragaszt	A4
Lealapozott favázat köztes tárolóba helyez	A5
Kárpitot és favázat köztes tárolóból kivesz	K1
Igazít	K2
Tűz	K3
Behúz	K4
Varrást beforgat	K5
Karfa- és lábszerelést előkészít	K6
Csavarcsomagot feltűz	K7
Széket köztes tárolóba helyez	K8
Széket köztes tárolóból kivesz	CS1
Karfát felszerel	CS2

Összeszerelést ellenőriz	CS3
Széket selejtraktárba helyez	CS4
Hibát javít2	CS5
Tisztít	CS6
Csomagol2	CS7
Készáru raktárba helyez	CS8

## ÉI specifikáció

Vertex 1	Vertex 2	Real width	Width	Notes
Bőrt raktárból kivesz	Hibákat bejelöl	8	5	
Hibákat bejelöl	Sablont kiválaszt	8	5	
Sablont kiválaszt	Sablont anyagon elhelyez	8	5	
Sablont anyagon elhelyez	Bőrt kivág	10	6	8 eredeti tétel+2 nem javítható újrafeldolgozás
Bőrt kivág	Bőrhibát ellenőriz	10	6	8 eredeti tétel+2 nem javítható újrafeldolgozás
Bőrhibát ellenőriz	Hibát javít1	3	2	3 javítható bőrhiba
Hibát javít1	Csomagol1	3	2	3 javítható bőrhiba
Bőrhibát ellenőriz	Sablont anyagon elhelyez	2	1	2 nem javítható bőrhiba
Bőrhibát ellenőriz	Csomagol1	5	3	3 eredeti tétel+2 nem javítható újra
Csomagol1	Kiszabott kárpitot köztes tárolóba helyez	8	5	
Kiszabott kárpitot köztes tárolóba helyez	Kárpitot köztes tárolóból kivesz	8	5	
Kárpitot köztes tárolóból kivesz	Vattát kiszab, átad	8	5	
Vattát kiszab, átad	Bőrt vékonyít	8	5	
Bőrt vékonyít	Vattát varr, átad	8	5	
Vattát varr, átad	Összeállít I, II, III., átad	8	5	
Összeállít I, II, III., átad	Tűz I, II., átad	16	10	
Tűz I, II., átad	Összeállít I, II, III., átad	16	10	
Összeállít I, II, III., átad	Készrejelent	8	5	
Készrejelent	Megvarrt kárpitot köztes tárolóba helyez	8	5	
Favázat és habszivacsot raktárból kivesz	Favázat ragasztóval beszór	8	5	
Favázat ragasztóval beszór	Habszivacsot kiszab	8	5	
Habszivacsot kiszab	Szivacsot felragaszt	8	5	
Szivacsot felragaszt	Lealapozott favázat köztes tárolóba helyez	8	5	
Lealapozott favázat köztes tárolóba helyez	Kárpitot és favázat köztes tárolóból kivesz	8	5	
Megvarrt kárpitot köztes tárolóba helyez	Kárpitot és favázat köztes tárolóból kivesz	8	5	
Kárpitot és favázat köztes tárolóból kivesz	Igazít	8	5	
Igazít	Tűz	8	5	
Tűz	Behúz	8	5	
Behúz	Varrást befogat	8	5	
Varrást befogat	Karfa- és lábszerelést előkészít	8	5	
Karfa- és lábszerelést előkészít	Csavarcsomagot feltűz	8	5	
Csavarcsomagot feltűz	Széket köztes tárolóba helyez	8	5	

Széket köztes tárolóba helyez	Széket köztes tárolóból kivesz	8	5	
Széket köztes tárolóból kivesz	Karfát felszerel	8	5	
Karfát felszerel	Összeszerelést ellenőriz	8	5	
Összeszerelést ellenőriz	Széket selejtraktárba helyez	1	1	1 nem javítható
Összeszerelést ellenőriz	Hibát javít2	2	1	2 javítható
Összeszerelést ellenőriz	Tisztít	5	3	5 hibátlan
Hibát javít2	Tisztít	2	1	
Tisztít	Csomagol2	8	5	
Csomagol2	Készáru raktárba helyez	8	5	

#### 10.4 A mozgatási-háló specifikációs táblája NodeXL-ben

##### Csúcs specifikáció

Vertex	Label
Start1	S1
Hibákat bejelöl	KSZ2
Sablont kiválaszt	KSZ3
Sablont anyagon elhelyez	KSZ4
Bőrt kivág	KSZ5
Bőrhibát ellenőriz	KSZ6
Hibát javít1	KSZ7
Csomagol1	KSZ8
Vattát kiszab, átad	VSZ2
Bőrt vékonyít	V1.1
Vattát varr, átad	V1.2
Összeállít I, II, III., átad	V2.1
Tűz I, II., átad	V3
Készrejelent	V2.2
Start2	S2
Start3	
Favázat ragasztóval beszór	A2
Habszivacsot kiszab	A3
Szivacsot felragaszt	A4
Igazít	K2
Tűz	K3
Behúz	K4
Varrást beforgat	K5
Karfa- és lábszerelést előkészít	K6
Csavarcsomagot feltűz	K7
Karfát felszerel	CS2
Összeszerelést ellenőriz	CS3
Hibát javít2	CS5
Tisztít	CS6

Csomagol2	CS7
Stop1	S3
Stop2	S4

### Él specifikáció

Vertex 1	Vertex 2	Real width	Width
Start1	Hibákat bejelöl	20	6
Csomagol1	Vattát kiszab, átdad	12	4
Vattát kiszab, átdad	Bőrt vékonyít	4	1
Vattát varr, átdad	Összeállít I, II, III., átdad	8	3
Összeállít I, II, III., átdad	Tűz I, II., átdad	2	1
Tűz I, II., átdad	Összeállít I, II, III., átdad	2	1
Összeállít I, II, III., átdad	Igazít	15	5
Start2	Favázat ragasztóval beszór	32	10
Start3	Favázat ragasztóval beszór	15	5
Szivacsot felragaszt	Igazít	8	3
Csavarcsomagot feltűz	Karfát felszerel	2	1
Összeszerelést ellenőriz	Stop1	13	4
Csomagol2	Stop2	13	4

### 10.5 Az értékteremtő-háló specifikációs táblája NodeXL-ben

#### Csúcs specifikáció

Vertex	Visibility	Label	VA
Bőrt raktárból kivesz	4	KSZ1	n
Hibákat bejelöl	4	KSZ2	n
Sablont kiválaszt	4	KSZ3	n
Sablont anyagon elhelyez	4	KSZ4	n
Bőrt kivág	4	KSZ5	y
Bőrhibát ellenőriz	4	KSZ6	n
Hibát javít1	4	KSZ7	n
Csomagol1	4	KSZ8	n
Kiszabott kárpitot köztes tárolóba helyez	4	KSZ9	n
Kárpitot köztes tárolóból kivesz	4	VSZ1	n
Vattát kiszab, átdad	4	VSZ2	y
Bőrt vékonyít	4	V1.1	y
Vattát varr, átdad	4	V1.2	y
Összeállít I, II, III., átdad	4	V2.1	y
Tűz I, II., átdad	4	V3	y
Készrejelent	4	V2.2	n
Megvarrt kárpitot köztes tárolóba helyez	4	V2.3	n

Favázat és habzivacsot raktárból kivesz	4	A1	n
Favázat ragasztóval beszór	4	A2	y
Habszivacsot kiszab	4	A3	y
Szivacsot felragaszt	4	A4	y
Lealapozott favázat köztes tárolóba helyez	4	A5	n
Kárpitot és favázat köztes tárolóból kivesz	4	K1	n
Igazít	4	K2	y
Tűz	4	K3	y
Behúz	4	K4	y
Varrást beforgat	4	K5	y
Karfa- és lábszerelést előkészít	4	K6	y
Csavarcsomagot feltűz	4	K7	y
Széket köztes tárolóba helyez	4	K8	n
Széket köztes tárolóból kivesz	4	CS1	n
Karfát felszerel	4	CS2	y
Összeszerelést ellenőriz	4	CS3	n
Széket selejtraktárba helyez	4	CS4	n
Hibát javít2	4	CS5	n
Tisztít	4	CS6	n
Csomagol2	4	CS7	y
Készáru raktárba helyez	4	CS8	n

### ÉI specifikáció

Vertex 1	Vertex 2	Width
Bőrt kivág	Vattát kiszab, átad	5
Vattát kiszab, átad	Bőrt vékonyít	5
Bőrt vékonyít	Vattát varr, átad	5
Vattát varr, átad	Összeállít I, II, III., átad	5
Összeállít I, II, III., átad	Tűz I, II., átad	5
Tűz I, II., átad	Összeállít I, II, III., átad	5
Összeállít I, II, III., átad	Igazít	5
Favázat ragasztóval beszór	Habszivacsot kiszab	5
Habszivacsot kiszab	Szivacsot felragaszt	5
Szivacsot felragaszt	Igazít	5
Igazít	Tűz	5
Tűz	Behúz	5
Behúz	Varrást beforgat	5
Varrást beforgat	Karfa- és lábszerelést előkészít	5
Karfa- és lábszerelést előkészít	Csavarcsomagot feltűz	5
Csavarcsomagot feltűz	Karfát felszerel	5
Karfát felszerel	Csomagol2	5