

OTDK-DOLGOZAT

2015

ELLÁTÁSI LÁNCOK ROBUSZTUSSÁGA

ROBUSTNESS OF SUPPLY CHAINS

Kézirat lezárva: 2014. március 26.

TARTALOMJEGYZÉK

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

ÁBRAJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	1
2.	AZ ELLÁTÁSI LÁNCOK KOCKÁZATI TÉNYEZŐI	3
2.1.	AZ ELLÁTÁSI LÁNCOKRA HATÓ KOCKÁZATI TÉNYEZŐK OSZTÁLYOZÁSA	4
2.2.	AZ ELLÁTÁSI LÁNCOKRA HATÓ KOCKÁZATI TÉNYEZŐK ÉRTÉKELÉSE	6
2.3.	NAGY VISSZHANGOT KIVÁLTÓ ELLÁTÁSI LÁNC PROBLÉMÁK A KÖZELMÚLTBÓL	9
3.	ELLÁTÁSI LÁNCOK ROBUSZTUSSÁGA ÉS SEBEZHETŐSÉGE	10
4.	ROBUSZTUS ELLÁTÁSI LÁNCOK TERVEZÉSE	16
4.1.	AZ ELLÁTÁSI LÁNCOK TERVEZÉSÉNÉL HASZNÁLT FŐBB MODELLEK	19
4.2.	KERETRENDSZER ELLÁTÁSI LÁNCOK TERVEZÉSÉHEZ / ÚJRATERVEZÉSÉHEZ	20
5.	ELLÁTÁSI LÁNCOK SEBEZHETŐSÉGI / ROBUSZTUSSÁGI VIZSGÁLATA	22
5.1.	AZ ELLÁTÁSI LÁNCOK ROBUSZTUSSÁG-VIZSGÁLATI FOLYAMATA	22
5.2.	ELLÁTÁSI LÁNCOK MÓDOSÍTÁSA / ÚJRATERVEZÉSE A ROBUSZTUSSÁG- VIZSGÁLAT EREDMÉNYEKÉPPEN	27
6.	ELLÁTÁSI LÁNCOK KOMPLEXITÁSÁNAK, ROBUSZTUSSÁGÁNAK ÉS HATÉKONYSÁGÁNAK KAPCSOLATRENDSZERE	31
7.	ÖSSZEFOGLALÁS, A KUTATÁS LEHETSÉGES FOLYTATÁSI IRÁNYAI	33
8.	FELHASZNÁLT IRODALOM	34

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

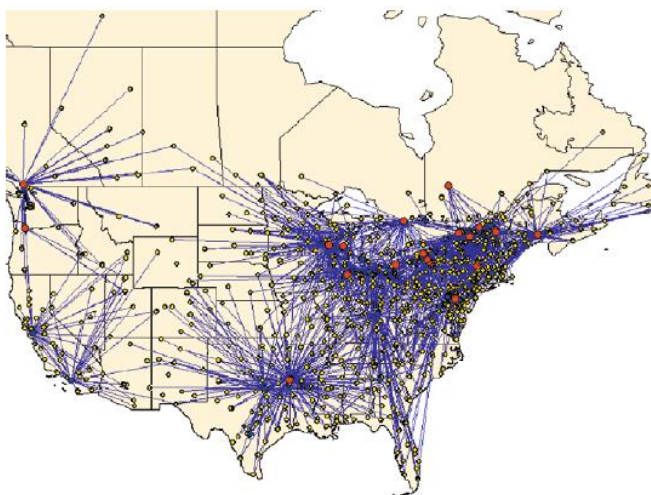
1. táblázat:	A robusztusság különböző definíciói az ellátási láncok vonatkozásában	12
2. táblázat:	Ellátási láncok kockázatanalízisére alkalmazott technikák értékelése franciaországi kérdőíves felmérés alapján	25
3. táblázat:	Ellátási láncok kockázatsökkentésére alkalmazott technikák értékelése franciaországi kérdőíves felmérés alapján	26
4. táblázat:	Az ellátási láncot alkotó cégek közötti kockázatok és azok lehetséges csökkentési módjai	30

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra:	Egy amerikai papíripari vállalat ellátási lánc struktúrája	1
2. ábra:	Az ellátási láncokban jelentkező kockázatok főbb előidézői egy németországi, autóipari felmérés alapján	4
3. ábra:	Az ellátási láncokra ható kockázati tényezők egy lehetséges csoportosítása	5
4. ábra:	Az ellátási láncokra ható kockázati tényezők egy másik lehetséges csoportosítása	6
5. ábra:	Valószínűség-hatás mátrix	7
6. ábra:	Egy, az autóipari ellátási láncok kockázati tényezőinek feltárását célzó felmérés valószínűség-hatás mátrixa	8
7. ábra:	A stabilitás visszanyerése egy, az ellátási lánc működését negatívan befolyásoló esemény után	10
8. ábra:	A stabilitás különböző szintű visszanyerése egy, az ellátási lánc működését negatívan befolyásoló esemény után	11
9. ábra:	Az ellátási láncok robusztusságának a dolgozatban használt definíciója	13
10. ábra:	Ellátási láncok kockázat- és sebezhetőség-analízise	14
11. ábra:	Példa ellátási lánc variánsok két szempontú értékelésére	17
12. ábra:	A reziduális cash flow (RCF) maximalizálása ellátási láncok tervezésénél	18
13. ábra:	Ellátási láncok tervezésére / újratervezésére szolgáló keretrendszer	20
14. ábra:	Ellátási láncok robusztusság-vizsgálati folyamatábrája	23
15. ábra:	A robusztusság-vizsgálat egy lehetséges eredménye a valószínűség-hatás mátrixon	27
16. ábra:	A robusztusság-vizsgálat során kiválasztott kockázati tényezők	28
17. ábra:	Ellátási láncok struktúrájának gráfelméleti modellje és a szomszédsági mátrixok	29
18. ábra:	A robusztusság-hatékonyság-komplexitás tényezők „bűvös háromszöge”	31

1. BEVEZETÉS

Napjaink ellátási láncai gyorsan változó, bizonytalansággal terhelt környezetben működnek. A növekvő komplexitás a másik jellemző, mely egyaránt jelentkezik a gyártórendszerekben, a gyártási folyamatokban, a vállalati felépítésben és legfőképpen az ellátási láncok struktúrájában. Egy amerikai papíripari cég ellátási láncának 1. ábrán látható összetett struktúrája nem kivételesnek, hanem inkább általánosnak tekinthető.



1. ábra: Egy amerikai papíripari vállalat ellátási lánc struktúrája

Forrás: Klibi et al. (2010) p. 284.

Nyugodtan mondhatjuk, hogy a vállalatok globális ellátási láncai az emberiség által létrehozott legösszetettebb rendszerek közé tartoznak. E bonyolult komplexumok tervezése és működtetése igen nagy kihívást jelent mind kutatás-fejlesztési, mind menedzselési szempontból. Napjainkban – részben az elmúlt évek jól ismert katasztrófái miatt (elég csak Fukushima-ra gondolnunk) – az ellátási láncok hatékonysága, mint alapvető feltétel mellett egyre inkább előtérbe kerül e rendszerek robusztussága (változástűrő képessége). A dolgozat fő célja éppen ezért az ellátási láncok robusztusságának vizsgálata.

A kutatómunkát a fellelhető irodalom összegyűjtésével kezdtem. Hamar kiderült, hogy a témával kapcsolatos hazai forrásmunkák száma viszonylag szűkös, emiatt a hivatkozott publikációk túlnyomó része külföldi folyóiratokban megjelent mű. A cikkek gyűjtésénél alapvető szempontom az volt, hogy elsősorban a jelentős, presztízzsel rendelkező folyóiratokban megjelent publikációkra koncentráljak, és az, hogy viszonylag friss forrásmunkákat gyűjtsek össze. A témakör fontosságát és időszerűségét misem bizonyítja

jobban, minthogy egyik tekintetben sem szembesültem nehézségekkel, az irodalom feldolgozása során elismert helyeken megjelent, friss publikációkra támaszkodhattam.

A fenti tapasztalatok arra ösztökéltek, hogy viszonylag nagy szerepet adjak a dolgozatban a state-of-the-art helyzet leírására, hiszen talán ezen írásmű is hozzájárul a téma iránti hazai érdeklődés felkeltéséhez.

A bevezetést követő 2. fejezetben az ellátási láncok működését fenyegető kockázati tényezőket vettem számba és csoportosítottam. Módszert írtam le a kockázati tényezők előfordulási valószínűsége és várható hatása alapján történő értékelésére. A fejezetet az ellátási láncok sérülékenysége adott példákkal zártam, néhány, nagy visszhangot kiváltó esemény rövid ismertetésével.

A 3. fejezetben összefoglaltam az ellátási láncok kockázatkezelésével kapcsolatos fogalmakat, majd megadtam az ellátási láncok általános értelemben vett robusztusságának definícióját, melyet a dolgozat további részeiben is megpróbáltam követni.

A 4. fejezet a robusztus ellátási láncok tervezésére koncentrált, mind közgazdasági, mind matematikai modellezési szempontból. A fejezet végén – irodalmi forrásra támaszkodva – egy, az ellátási láncok tervezésére / újratervezésére szolgáló keretrendszert vázoltam fel.

Az 5. fejezetben javaslatot teszek ellátási láncok robusztusság-vizsgálatánál végrehajtandó lépésekre, egy folyamatára kidolgozása és bemutatása útján. Bemutatom, hogy a javasolt eljárás miként valósítható meg az ellátási láncok kockázati tényezőinek (3. ábra) egy alhalmazára, mégpedig az ellátási láncban szereplő cégek közötti kockázatokra.

A 6. fejezetben rámutatok arra, hogy az ellátási láncok hatékonysága, robusztussága és komplexitása egymással szorosan összefüggő, részben egymást támogató, de ugyanakkor egymás ellen hatni is képes viszonyrendszer keretében működik. Felvázolom a robusztusság-hatékonyság-komplexitás tényezők „bűvös háromszögét”, és kiemelem, hogy az adott ellátási lánc eredményeképpen, a lánc háromszögben történő pozicionálása miként segíthet az érintetteknek megfelelő, meghozandó változások kiválasztásában.

A dolgozatot a kutatás lehetséges folytatási irányait is tartalmazó összefoglalás és a felhasznált irodalom jegyzéke zárja.

2. AZ ELLÁTÁSI LÁNCOK KOCKÁZATI TÉNYEZŐI

A jelentős komplexitással (complexity) és bizonytalansággal (uncertainty) rendelkező környezetben működő gyártóvállalatok üzleti sikerességének – sőt gyakran túlélésének – egyik fontos feltétele, hogy ellátási láncukat a lehető leghatékonyabban szervezzék meg és működtessék.

Napjainkban egy-egy ellátási lánc sokszor több kontinensre is kiterjed, és ténylegesen globális vállalatokról, ellátási láncokról beszélhetünk, ami – már a nagy földrajzi távolságok miatt is, nem beszélve más okokról, mint például természeti veszélyeztetettségéről, vagy politikai bizonytalanságokról – sérülékennyé teszi az ellátási láncok működését (Kinkel és Maloca, 2009).

Az elmúlt mintegy két évtized során az ellátási láncok menedzsmentjének kitüntetett célja a költséghatékonyság volt (Thun és Hoenig, 2011). Ezzel összhangban, az ellátási láncok irányítói a versenytársaikkal folytatott kiélezett verseny során az ellátási láncok áramvonalasítására (streamlining) koncentráltak. Az autóiparban például széles körben alkalmazásra kerültek a just-in-time és a just-in-sequence koncepciók a karcsú (lean) ellátási láncok kialakítása érdekében amellet, hogy a cégek igyekeznek beszállítóik számát csökkenteni.

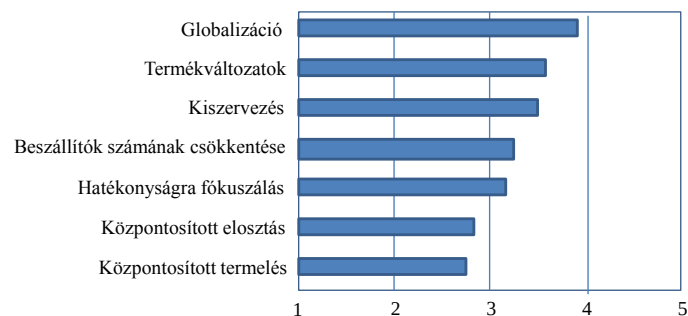
Az ellátási láncok karcsúsítása – a vevőkkel és a beszállítókkal folytatott szoros együttműködés útján – alacsony készletszinteket eredményezett, mely ugyanakkor erős sebezhetőséggel (vulnerability) járt együtt, hiszen az ellátási láncokban keletkező turbulenciák aligha kompenzálhatók megfelelő méretű biztonsági készletek (safety stocks) nélkül.

Az a tény, hogy a piaci részesedés növelése, vagy legalábbis annak megtartása érdekében a cégeknek a korábbinál jóval gyakrabban kell termékportfóliójukat megváltoztatni, sőt sokszor egyedi vevői igényeknek kell megfelelniük, a termékváltozatok számának jelentős növekedéséhez vezetett. A nagyszámú termékváltozat előállítás – a biztonsági készletek már említett alacsony szintje mellett – még inkább függővé teszi a vállalatokat a beszállítóiktól.

Az ellátási láncok működtetésének további kockázatát hozta a melléktevékenységek egyre növekvő kiszervezése (outsourcing) által, hogy újabb függőségeket teremtett, és egyben – természetesen – növelte az ellátási láncok komplexitását. Ugyanakkor, az is megfigyelhető, hogy a végtermék előállítók, továbbá azok közvetlen beszállítói is

központosítják a termelésüket, sőt sokszor termékeik elosztását is. Gondoljunk csak az Audi győri gyárára, ahol évente mintegy 2 millió motort gyártanak a Volkswagen család tagjai számára.

A 2. ábrán az ellátási láncokban fellépő kockázatok főbb előidézői kerültek feltüntetésre, 67 német autóipari vállalat összesített véleménye alapján, az egyes tényezőket egy 1-től 5-ig tartó skálán értékelve. E felmérés is igazolja, hogy napjaink ellátási láncai jelentős kockázatoknak vannak kitéve, és egyben aláhúzza azokat a legfontosabb, fentebb is említett tényezőket, melyek e sebezhetőség kialakulásához hozzájárultak.



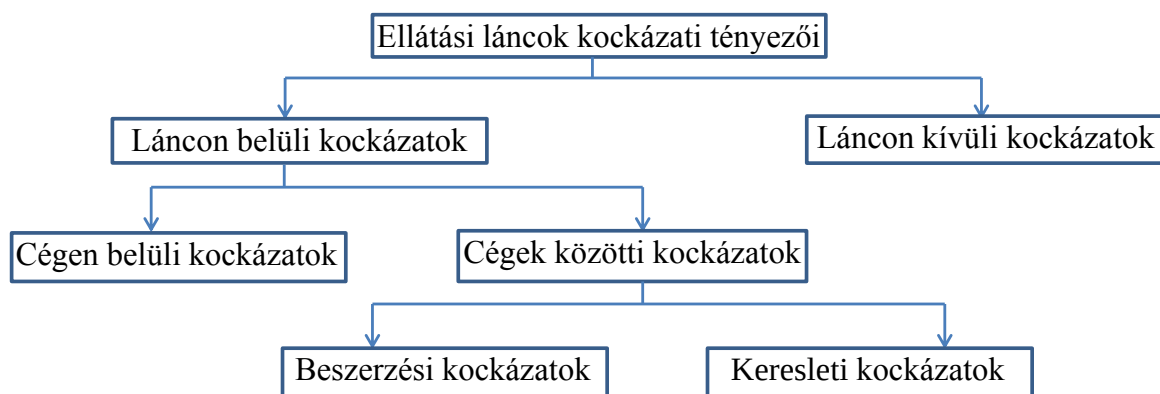
2. ábra: Az ellátási láncokban jelentkező kockázatok főbb előidézői egy németországi autóipari felmérés alapján

Forrás: Thun és Hoenig (2011) p. 246.

2.1. AZ ELLÁTÁSI LÁNCOKRA HATÓ KOCKÁZATI TÉNYEZŐK OSZTÁLYOZÁSA

Az ellátási láncokra ható kockázati tényezők többféle csoportosítása képzelhető el. Egy lehetséges – véleményem szerint logikus – osztályozást tüntettem fel a 3. ábrán, Thun és Hoenig 2011-es cikkében megfogalmazott gondolatokból kiindulva.

A kockázati tényezőket elsősorban láncon belüli és láncon kívüli tényezőkre bonthatjuk. A láncon belüli kockázatokat tovább bontva, beszélhetünk egy adott cégen belüli, és cégek közötti kockázatokról (Thun és Hoenig, 2011). A cégen belüli kockázatokhoz tartoznak például a géphibák vagy a cég informatikai rendszerében fellépő zavarok.

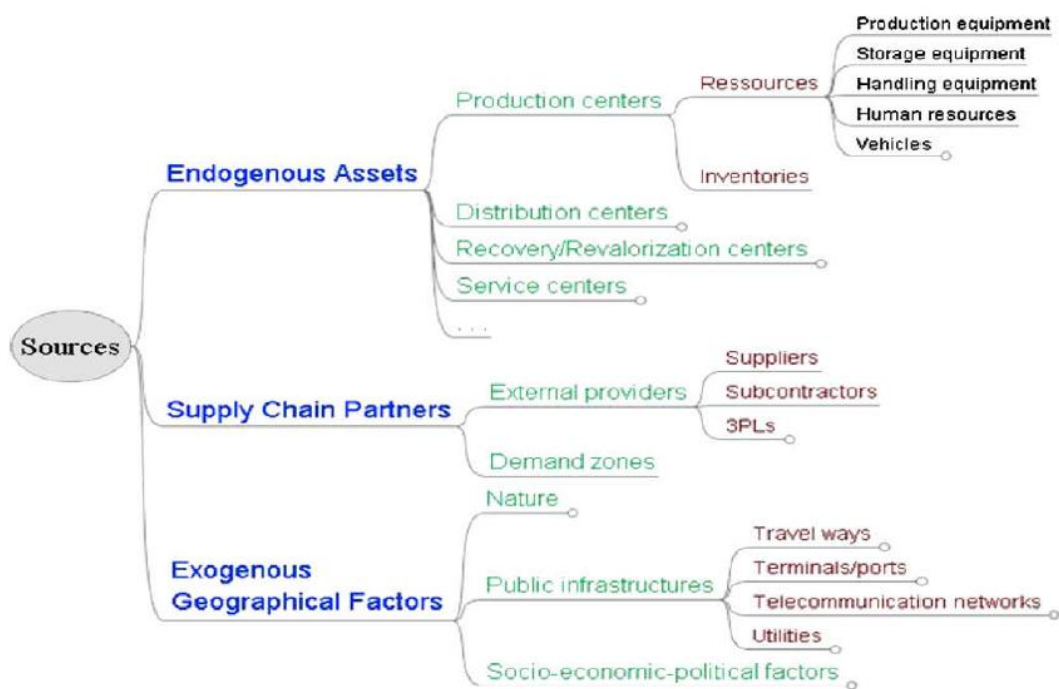


3. ábra: Az ellátási láncokra ható kockázati tényezők egy lehetséges csoportosítása

A cégek közötti kockázatoknál érdemes a beszerzési kockázatok és a keresleti kockázatok között különbséget tenni. A beszerzési kockázatok az ellátási láncok „upstream” aktivitásaival, a beszállítók működésével kapcsolatosak. Ide tartozik például az alapanyagok, az alkatrészek, vagy a félkész termékek nem megfelelő minősége, vagy azok késése, vagy azok teljes hiánya, például a beszállító tönkremenetele miatt. Az is előfordulhat, hogy technológiai változtatások, vagy a termék áttervezése olyan megváltozott követelményeket támaszt a beszállító számára, melyeket az képtelen megfelelő szinten teljesíteni. A cégek közötti keresleti kockázatok az ellátási láncokon belüli „downstream” tevékenységek kapcsán jelentkezhetnek. A problémák egy részét a keresletre vonatkozó előrejelzések pontatlansága okozhatja, melynek következtében pl. a piac nem szívja fel a termékeket, magas készletek jöhetnek létre, vagy az erőforrások lesznek kevésbé kihasználva. (A kereslet alulbecslése pedig nyilvánvalóan – az opportunity cost kapcsán – veszteséget okozhat.)

A láncon kívüli kockázatok jó részét olyan környezeti hatások teszik ki, melyek befolyásolására aligha van esélyünk. A hatásokat, melyek lehetnek mind direktek, mind indirektek, például szociálpolitikai, gazdasági, technológiai, vagy földrajzi okok válthatják ki. Földrengések, hurrikánok, áradások, terrorcselekmények, vagy politikai instabilitások a legjellemzőbb példák láncon kívüli kockázatokra.

Csak látszólag más felosztást követnek Klibi és szerzőtársai (2010), akik endogén (belső), ellátási láncon belüli partnerekkel kapcsolatos, valami exogén (külső) kockázati tényezőket különböztetnek meg (4. ábra).



4. ábra: Az ellátási láncokra ható kockázati tényezők egy másik lehetséges csoportosítása

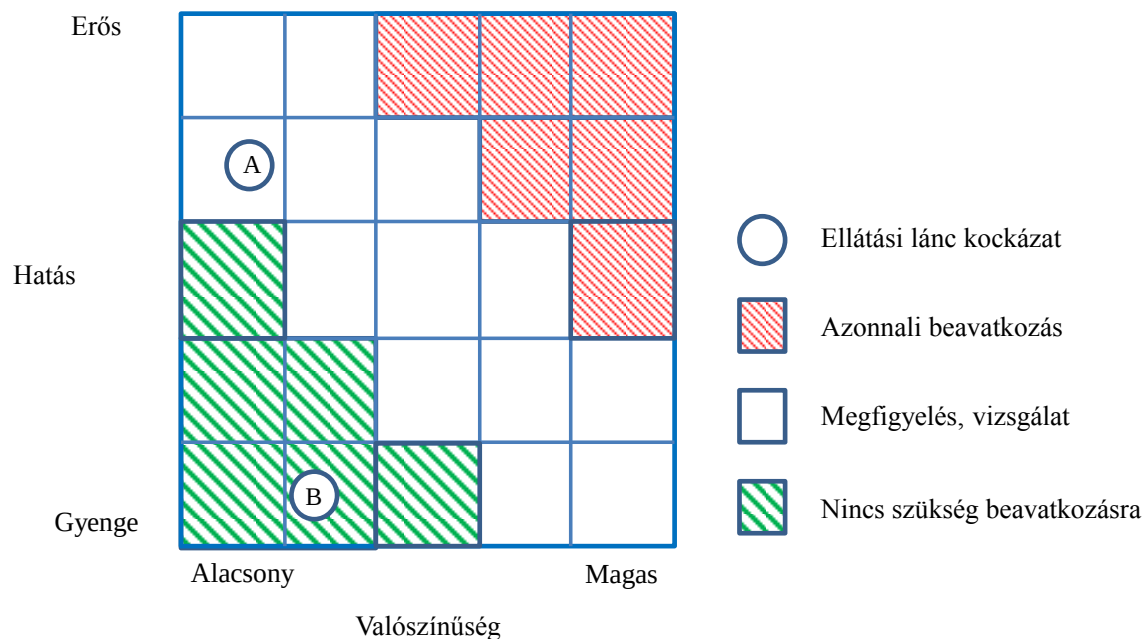
Forrás: Klibi et al. (2010) p. 285.

2.2. AZ ELLÁTÁSI LÁNCOKRA HATÓ KOCKÁZATI TÉNYEZŐK ÉRTÉKELÉSE

A kockázati tényezők értékelése kapcsán a két legfontosabb szempont a kockázat előfordulásának valószínűsége, valamint a kockázat potenciális negatív hatása az ellátási lánc egészére. Mind a kockázat valószínűségét, mind hatását nehéz számszerűsíteni, ezért pontos becslésük helyett kvalitatív módszerek, vagy a bizonytalanság kezelésére alkalmas technikák (pl. fuzzy következtetés) használhatók fel inkább. Jellegük miatt általánosan elfogadott tény, hogy az ellátási láncokon belüli kockázatok nagyobb előfordulási valószínűséggel rendelkeznek, mint a hálózaton kívüliek. Ugyanakkor, a külső kockázatok fellépte általában sokkal jelentősebb negatív hatással jár a belső, „mindennapi” kockázatoknál, vagy zavaroknál (Thun és Hoenig, 2011).

Az egyes kockázati tényezők előfordulási valószínűségük és várható hatásuk alapján e két tényező síkjában egy-egy ponttal jeleníthetők meg. E célra valószínűség-hatás mátrixot szokás felállítani (5. ábra). A pontok vízszintes koordinátái a valószínűség, függőleges koordinátái pedig a hatás becsült – sokszor csak kvalitatív értelemben meghatározott – értékeinek felelnek meg. Az origótól számítva a valószínűség (x tengely) alacsonytól halad a

magas valószínűségű események felé, míg a hatás (y tengely) az origótól felfelé haladva a gyenge kategóriától a súlyosig terjed.



5. ábra: Valószínűség-hatás mátrix

Forrás: Thun és Hoenig (2011) p. 244.

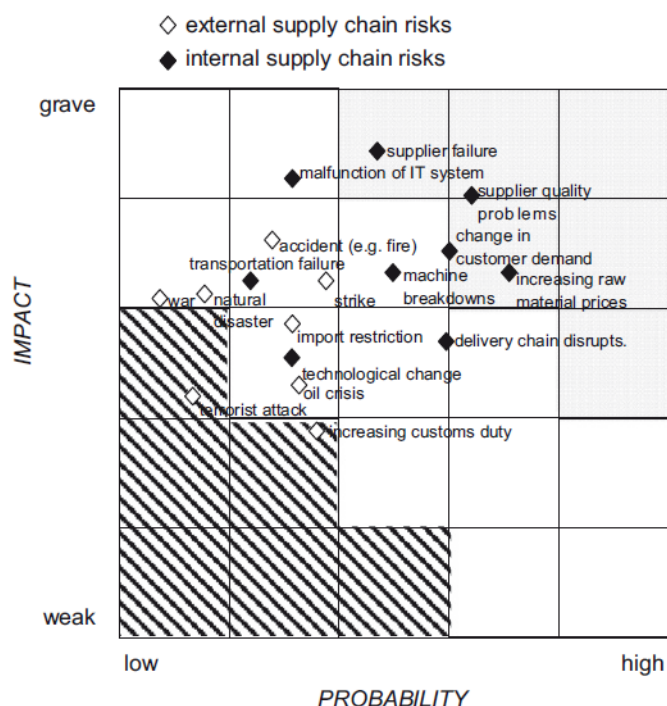
Az 5. ábra szerinti mátrixban egy adott kockázati tényező körrel kerül jelölésre. A mátrix területe három fő részre osztható. A mátrix bal alsó sarkában szerepelnek azok a kockázati tényezők, melyekről tudunk, de nem igényelnek speciális lépéseket, hiszen mind előfordulási valószínűségük, mind hatásuk alacsony fokú. A mátrix jobb felső sarkának környékére eső kockázati tényezők viszont azonnali beavatkozást követelnek, hiszen bekövetkezési valószínűségük magas, és igen súlyos hatással lehetnek az ellátási lánc egészére. A főátló környékére eső kockázati tényezőket figyelünk kell és megfelelő intézkedésekkel meg kell próbálni azokat a mátrix bal alsó sarkába „tolni”.

Természetesen, egy adott kockázati tényező (pl. megkésett szállítás, vagy minőségi probléma), különböző ellátási láncoknál máshol helyezkedhet el, hiszen bekövetkezésének valószínűségét és annak várható hatását a szóban forgó ellátási lánc specifikumai határozzák meg.

Fontos megjegyezni, hogy a kockázati tényezők értékelésénél mind azok bekövetkezési valószínűségét, mind várható hatásukat figyelembe kell venni. Együttes számbavételükre a leggyakrabban használt módszer a két tényező (valószínűség és várható hatás) szorzata (Vilko és Hallikas, 2012).

Egy konkrét példát mutat a 6. ábra, mely egy olyan kutatás adatait tartalmazza, mely 67 német autóipari vállalat véleményét tükrözi, saját ellátási láncuk kockázati tényezőivel kapcsolatban. (Annak érdekében, hogy ne romoljon az ábrában lévő információk pontossága (a kockázati tényezők elhelyezkedése), itt eltekintettünk a magyarosítástól.) Az ábrán egyébként fekete rombuszokkal jelölték az ellátási láncon belüli kockázatokat, és fehér színnel kitöltött rombuszokkal az ellátási láncon kívüli kockázatokat. Látható, hogy elsősorban a belső kockázati tényezőket tekintik veszélyesnek. Az azonnali intézkedéseket követelő kockázati kategóriába négy tényező került, mégpedig:

- a beszállított áruk minősége,
- a beszállító nem megfelelő működése,
- a vevői igényekben bekövetkező változás,
- a nyersanyagárak növekedése.



6. ábra: Egy, az autóipari ellátási láncok kockázati tényezőinek feltárását célzó felmérés valószínűség-hatás mátrixa

Forrás: Thun és Hoenig (2011) p. 246.

2.3. NAGY VISSZHANGOT KIVÁLTÓ ELLÁTÁSI LÁNC PROBLÉMÁK A KÖZELMÚLTBÓL

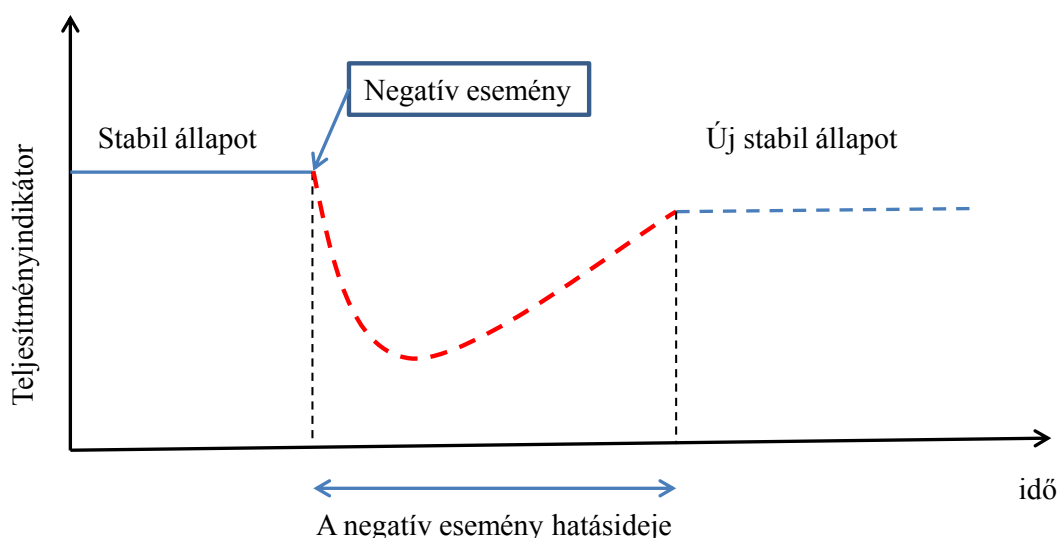
Az ellátási láncokban bekövetkezett problémák sokszor olyan nagy kihatásúak, hogy hírük beteríti a világsajtót (Thun és Hoenig, 2011; Blome és Schoenherr, 2011; Baghalian et al., 2013).

- 1999: a taiwani földrengés következtében megsérült energiaellátás meggátolta az ottani félvezető-gyártó cégek működését, melyek normális esetben a világ memóriachipjeinek, elektromos kártyáinak, lapos képernyős display-inek és más számítógépes részegységeinek több, mint 50%-át állították elő. A következményeket olyan világcégek szenvedték meg, mint a HP, a Dell, az Apple, az IBM, a Gateway, vagy a Compaq.
- 2000: az Ericsson egyik fő beszállítójánál keletkezett tűz következményeként napokra be kellett zárni a cég több gyárát, és a vállalatnak ezáltal 400 millió eurós veszteséget kellett elszenvednie.
- 2001: a szeptember 11-i terrortámadás következtében egy időre leállították a légiközlekedést az Egyesült Államokban. A Ford Motor Company kénytelen volt 5 gyárát is több napon keresztül zárva tartani.
- 2001: az UPF-Thompson (mely a Land Rover kulcsmodelljéhez, a Discovery-hez volt karosszéria-beszállító) csődje 9 hónapig okozott nehézségeket az autógyárnak, mely kénytelen volt 1500 alkalmazottat el is bocsátani.
- 2002: az Egyesült Államok nyugati partvidékén – a dokkmunkások sztrájkja miatt – 29 kikötő működése megbénult. A New United Motor Manufacturing gyártó cégét be kellett zárni.
- 2003: a Motorola szingapúri mobiltelefon gyárában egyetlen alkalmazottról kiderült, hogy SARS-vírussal fertőzött. Az eset az egész gyár időszakos bezárásával járt.
- 2011: a fukushimai atomerőmű-katasztrófa következményeként a Toyota Motor Corporation kénytelen volt 12 összeszerelő üzemét leállítani, miáltal 140.000 autóval kevesebbet tudott legyártani.

3. ELLÁTÁSI LÁNCOK ROBUSZTUSSÁGA ÉS SEBEZHETŐSÉGE

Az angol szakirodalomban az ellátási láncok témakörében (is) a robustness, a responsiveness és a resilience kifejezések eléggé váltakozva szerepelnek, sőt, sokszor nehéz is különbséget tenni közöttük (Klibi et al., 2010). Intuitíven azt mondhatjuk, hogy a robustness az ellátási láncok azon tulajdonsága, hogy hatékonyságukat fenn tudják tartani minden kézenfekvő jövőbeli szituációban. Responsiveness az ellátási láncok azon képességét jelzi, hogy minden üzleti szituációra tudnak megfelelő válaszlépést adni. Resilience alatt pedig az ellátási láncok azon tulajdonságát értik, hogy el tudják kerülni bizonyos negatív események (disruptions) hatására bekövetkező jelentős hatékonyságvesztéseket, illetve, hogy gyorsan fel tudnak épülni bizonyos hibákból.

A robustness szónak már létezik magyar megfelelője: „robusztusság”, melyet több területen, így az ellátási láncok kapcsán is használnak. A responsiveness kifejezéssel már nehezebb dolgunk van, a következőkben a „rugalmas válaszadási képesség” összetételt fogjuk használni. A resilience szó kapcsán annak egyik magyar megfelelőjénél próbálunk maradni: „visszapattanás”.

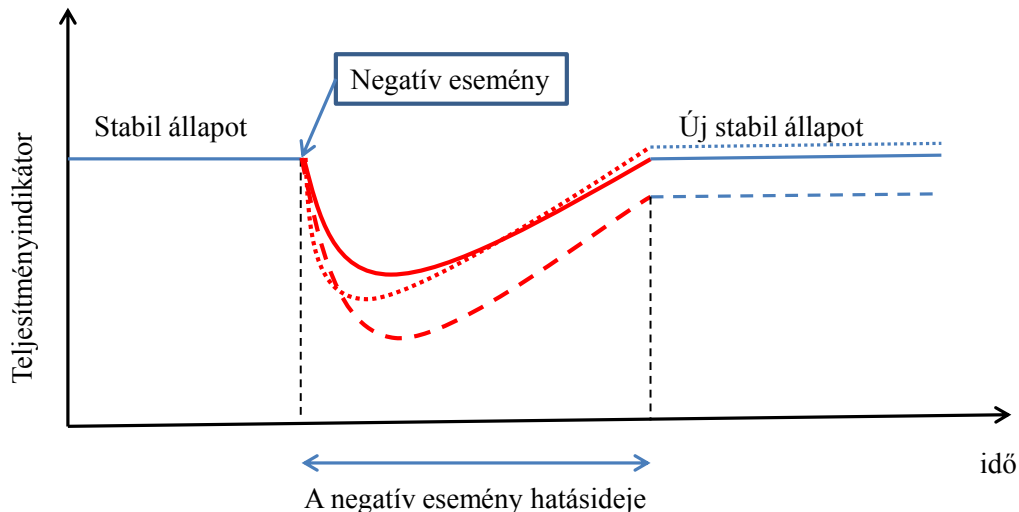


7. ábra: A stabilitás visszanyerése egy, az ellátási lánc működését negatívan befolyásoló esemény után

Forrás: Asbjornslett (2009) p. 17.

A három kulcsszó fenti, intuitív meghatározásai egyaránt vonatkozhatnak a 7. ábrán felvázolt helyzetre, miszerint egy stabilan működő ellátási láncot egy adott pillanatban

jelentős negatív esemény ér, de az ellátási lánc képes egy újabb stabil állapotba kerülni, mely lehet kevésbé hatékony, mint az eredeti stabil állapot, de lehet azzal teljes mértékben megegyező, vagy kivételes esetekben azt akár meg is haladja, mint azt a 8. ábrán jelezzük.



8. ábra: A stabilitás különböző szintű visszanyerése egy, az ellátási lánc működését negatívan befolyásoló esemény után

Forrás: Asbjornslett (2009) p. 17., továbbgondolva

A következőkben a fenti három kifejezést kissé mélyebben próbáljuk elemezni.

Megkülönböztethetjük modellek robusztusságát, algoritmusok robusztusságát és a megoldások / döntések robusztusságát. E tekintetben az ellátási láncok robusztussága az utolsó kategóriába tartozik, hiszen azok tervezéséről, illetve működtetéséről van szó, tehát, hogy milyen robusztus megoldások születnek, illetve valamely probléma fellépte esetén meghozandó döntéseink milyen robusztusságot eredményeznek.

Vlajic és szerzőtársai (2012) a robusztusság kvalitatív fogalmi szintjét és kvantitatív modellezési szintjét különböztetik meg. Kvalitatív szinten a robusztusság egyrészt az ellátási láncok tulajdonsága, másrészt egy olyan stratégia, mely felhasználható arra, hogy a visszapattanási (resilience) tulajdonság jól / jobban érvényesüljön. Kvantitatív szinten az ellátási láncokban fellépő problémákra adott megoldások robusztusságáról van szó, mint például hálózattervezés, termelésstervezés, ütemezés, készletmenedzselés. Mint módszer, a sztochasztikus programozás és a robusztus optimalizálás jön szóba. A robusztusság pontos megfogalmazása függ a problémától, illetve az adott megoldási technikától. Például, a

robusztus optimalás terén a megoldás akkor tekinthető robusztusnak, ha az az inputadatok minden scenáriójában jó eredményt nyújt.

A robusztusság és a visszapattanási képesség (resilience) közötti különbségre – a nemzetközi irodalomban egyre inkább elfogadott módon – Asbjornslett megfogalmazása (2009) mutat rá. Szerinte a robusztus ellátási lánc a láncot érő negatív eseményeknek úgy tud ellenállni, hogy közben nem változtatja meg struktúráját. Ezzel szemben a visszapattanó (resilient) rendszerek adaptívak, vagyis akár struktúrájukat is képesek megváltoztatni egy újabb stabil állapot elérése céljából. A bővebb irodalomban a robusztusság különböző megfogalmazásai elsősorban abban különböznek egymástól, hogy melyek azok a (sok esetben külső) behatások, amiket a robusztus rendszer még kezelni tud, vagy melyek azok, amiket már nem.

Vlajic és szerzőtársai (2012) – irodalmi áttekintés alapján – a robusztus ellátási láncok több definícióját sorolják fel. A megfogalmazások időrendi sorrendben (1. táblázat):

1. táblázat: A robusztusság különböző definíciói az ellátási láncok vonatkozásában

Robusztusság definíciója	Szerző
Az ellátási lánc azon tulajdonsága, hogy képes legyen kezelni a kompetitív környezetben bekövetkező változásokat, anélkül, hogy megváltozna a hálózati struktúra.	Ferdows, 1997
A rendszer azon képessége, hogy ellenálljon egy előre nem látható eseménynek és utána ugyanabba a stabil állapotba térjen vissza, mint amiben az esemény előtt volt.	Asbjornslett és Rausand, 1999
Az ellátási lánc tervezés során az a képesség, hogy egy olyan ellátási lánc konfiguráció jöjjön létre, mely sok bizonytalansági tényező tekintetében robusztus és attraktív tulajdonságokkal rendelkezik.	Mo és Harrison, 2005
Az ellátási lánc azon tulajdonsága, hogy a kimenetnek egy adott szintjét valamely hiba bekövetkezése után is tartani tudja.	Bundschuh et al., 2006
Az ellátási lánc azon tulajdonsága, hogy ellenálljon külső és belső sokkhatásoknak.	Chandra és Grabis, 2007
Az ellátási lánc hálózatnak az a tulajdonsága, hogy annak ellenére végrehajtsa feladatait, hogy olyan sérülések érik, mint a hálózat valamely csomópontjának vagy ágának elvesztése.	Dong, 2006; Dong és Chen, 2007

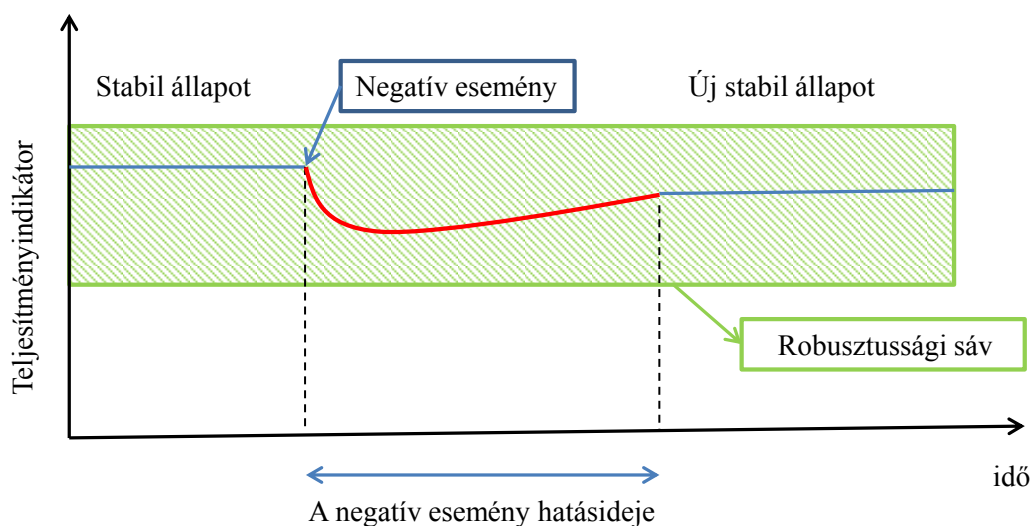
Forrás: Vlajic et al. (2012) p. 177.

Vlajic és szerzőtársai (2012) saját definíciójuk szerint a robusztusságot a logisztikai folyamatokban bekövetkező negatív hatások melletti rendszertulajdonságként értelmezik.

A jelen dolgozatban robusztusság alatt – mintegy egyesítve a korábbi megfogalmazásokat – a következőt értjük:

*Egy ellátási láncot **általános értelemben robusztusnak** mondunk, amennyiben az elfogadható szinten (egy előre definiált robusztussági sávban maradva) tudja teljesíteni az ellátási láncsal szemben támasztott legfontosabb teljesítményindikátorokat (Key Performance Indicators (KPI)), mégpedig olyan nem várt események alatt és után, melyek egy vagy több logisztikai, vagy termelési folyamatban zavart okoztak.*

A 9. ábra tartalmazza a javasolt definíció képi megjelenítését.



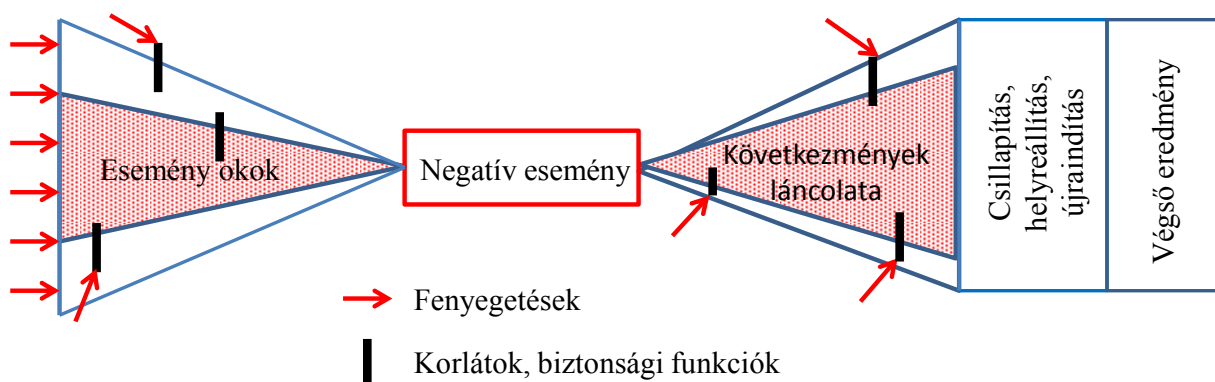
9. ábra: Az ellátási láncok robusztusságának a dolgozatban használt definíciója

A definíció kapcsán a következőket kell megjegyeznünk:

1. Az így megfogalmazott definíció tulajdonképpen egyesíti a robustness, a responsiveness és a resilience angol szavakkal jelzett megközelítéseket, hiszen például nem tesz különbséget aközött, hogy a megváltozott körülményekre a struktúra meghagyása mellett (a robusztusság többek által elfogadott értelmezésének megfelelően) válaszolunk, vagy megengedhető a struktúra módosítása is (resilience).

2. Az általános értelemben vett robusztusság magában foglalja mind a hálózat csomópontjaiban, mind a hálózat ágaiban, mind a hálózaton kívül bekövetkező változásokra való reagálási képességet.
3. Fontos jellegzetessége az általános értelemben vett robusztusságnak, hogy a robusztussági sáv nemcsak a negatív esemény időszaka utáni periódusra vonatkozik, hanem a teljesítményindikátorokkal szemben komoly elvárásokat támaszt a zavar fennállásának időszaka alatt is.
4. A megfogalmazásban fontos szerepet játszik a „teljesítményindikátor” szó is. Az ugyanis, hogy egy ellátási lánc robusztus-e, attól is függ, hogy milyen teljesítményindikátorról van szó. A robusztusságot a figyelembe vett teljesítményindikátorok szempontjából tudjuk meghatározni. Például beszélhetünk egy beszállító kiesésére vonatkozó robusztusságról, vagy a beszállított anyagok, vagy félkész termékek bizonyos mértékű minőségi problémáira vonatkozó robusztusságról, vagy akár a beszállítók által előidézett késések statisztikai jellemzőire vonatkozó robusztusságról.

Fontos megjegyezni, hogy amennyiben egy figyelembe vett KPI elhagyja a robusztussági sávot, akkor az ellátási láncot sebezhetőnek (vulnerable) tartjuk. A sebezhetőséggel kapcsolatban meg kell különböztetnünk ellátási láncok kockázat-, illetve sebezhetőség-analízisét (10. ábra)



10. ábra: Ellátási láncok kockázat- és sebezhetőség-analízise

Forrás: Asbjornslett (2009) p. 20. alapján

A kockázat- és a sebezhetőség-analízis közötti, az ábrán is látható különbség, hogy a kockázatanalízisnek szűkebb a célterülete (a 10. ábra pirossal kipontozott része). A kockázatanalízis azt vizsgálja, hogy egy esemény milyen hatással van az ellátási lánc egyes

elemeire (emberek, eszközök, természeti környezet), míg a sebezhetőség-analízis fókusza ezen túlmenően az ellátási lánc céljainak teljesülését is figyelembe veszi, beleértve a rendszer fenntarthatóságát.

A kockázatanalízis (risk analysis) három fő kérdésre keresi a választ:

1. Milyen negatív események következhetnek be?
2. Mik a negatív események valószínűségei?
3. Mik a negatív események következményei?

A sebezhetőség-analízis (vulnerability analysis) bővebb területet ölel át, több tényezőre koncentrál:

1. Az események és a következmények bővebb halmaza.
2. A következmények csillapítására szolgáló és a rendszert egy új stabil állapotba vinni képes lehetőségek és eszközök.
3. A negatív esemény hatásideje (7.-9. ábrák).

Visszatérve a 10. ábrához, azon olyan fenyegetések is feltüntetésre kerültek, melyek a beépített korlátokat és biztonsági funkciókat veszélyeztetik; gondoljunk itt például a szándékos károkozásra.

Fontos kihangsúlyoznunk, hogy a sebezhetőség-analízis célkeresztjében az ellátási lánc fenntartható működése áll, tehát a vizsgálatok nem fejeződhetnek be előbb, mint azon eszközök analízise, melyek vissza tudják vinni a rendszert egy stabil állapotba.

A sebezhetőség és a robusztusság tulajdonképpen szorosan összetartozó fogalmak. A robusztusság éppen a sebezhetőséget kívánja elkerülni, vagy annak hatásait korlátozni. A sebezhetőség-analízis pedig a robusztusság szisztematikus tesztje.

4. ROBUSZTUS ELLÁTÁSI LÁNCOK TERVEZÉSE

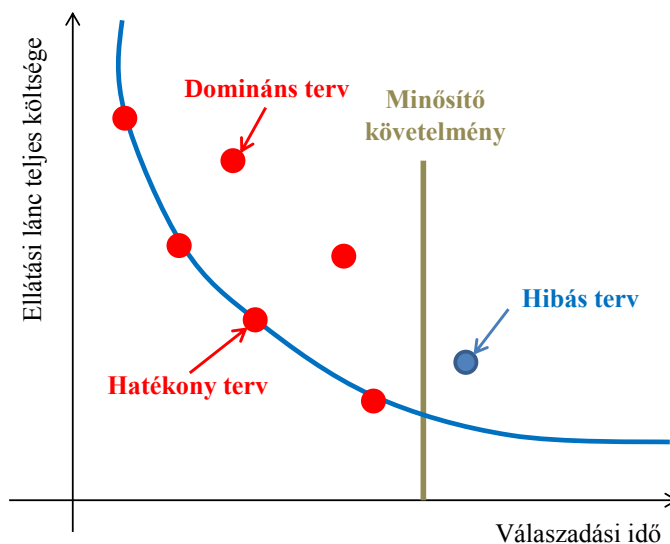
Az ellátási láncok tervezése már eleve – robusztusságra törekvés nélkül is – egy igen összetett feladat. A tervezés során meg kell határozni az ellátási láncban részt vevő egyedek számát, földrajzi helyét, kapacitását, feladatát, mégpedig mind a termelési, mind a logisztikai feladatot tekintve. A problémát tovább nehezíti, hogy a döntést egy részben bizonytalan jövőre kell meghozni, hiszen nem ismerjük a várható piaci igényeket, illetve az ellátási láncban szereplő résztvevők pl. minőséggel, határidőtartással kapcsolatos megbízhatóságát.

A tervezésnél az is fontos tényező, hogy mi az a metrika, amely alapján meghatározhatjuk az ellátási lánc milyenségét. Közgazdasági szempontból valamely tőke megtérülési mutatót használhatunk. Az ellátási láncok e szempontból történő stratégiai értékelésének egyik lehetősége például a reziduális cash flow számítása (Klibi et al., 2010), amely a jövőbeli cash flow adatokat úgy diszkontálja a jelenre, hogy figyelembe veszi mindazon események pénzübeli hatását, melyek a számítás időpontját követően, tehát a jövőben fognak megtörténni.

A számításnak – természetes módon – a legfontosabb elemei a jövőbeli bevételek, kiadások és a tőke költségek. A bevételek szempontjából talán a legfontosabb a cég majdani rendeléshelyező (order winning) képessége, ezáltal a piaci részesedésének növelése. E képességhez olyan fontos tényezők tartoznak, mint az ellátási lánc termékportfóliója, a termékek minősége és megbízhatósága, a kiszállítások gyorsasága és megbízhatósága, és az előállított termékek mennyiségi és tervezési rugalmassága (az utóbbi is egyre nagyobb szerepet játszik a fogyasztói igények fokozódó figyelembevétele kapcsán, pl. tömeges személyre szabás). E tekintetben is fontos az ellátási lánc agilitása és a piaci lefedettség. A rendszer tervezésénél a rendeléshelyező képességeknek azon halmazát szükséges figyelembe venni, melyet az ellátási lánc felépítése befolyásol.

Egyszerűbb megközelítések feltételezik, hogy ismert a jövőbeli igény, így azt determinisztikusnak veszik, és inkább az ellátási láncok működtetési költségeit szeretnék csökkenteni a determinisztikus igény feltételezése mellett. Szokás két szempontú optimalizálási modellt is használni, ahol az egyik szempont a költség, a másik pedig a rendeléshelyező képességek egyike, vagy a rendeléshelyező képességek egy halmaza (Klibi et al., 2010).

A 11. ábra az ellátási lánc különböző tervezési variánsait egy-egy pontként ábrázolja az ellátási lánc (rendelésekre vonatkozó) válaszadási ideje (mint az egyik fontos rendelésselnyerő képesség) és az ellátási lánc teljes költsége által kifeszített negyed síkban.



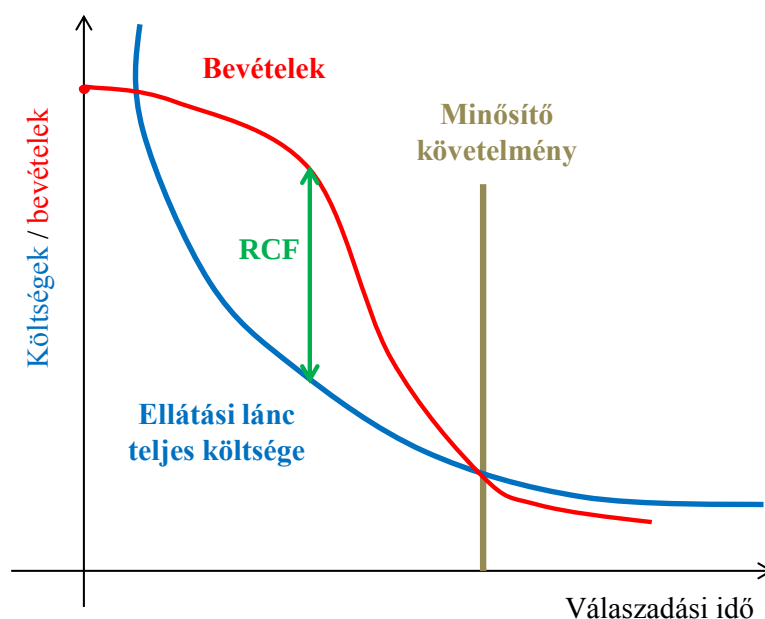
11. ábra: Példa ellátási lánc variánsok két szempontú értékelésére

Forrás: Klibi et al. (2010) p. 287.

Feltéve, hogy a válaszadási időre vonatkozik egy feltétel, aminél ez a reakcióidő nem lehet nagyobb, akkor e szempontból beszélhetünk megfelelő és hibás ellátási láncokról. Az előbbieket piros, az utóbbiakat kék pontokkal jeleztük az ábrán. A menedzsment dolga, hogy a hatékonysági határon (efficient frontier) válasszon ki egy ellátási lánc variánst.

Az értékesítési darabszámot – figyelembe véve a lehetőségeket – döntési változónak tekintve, az ellátási lánc változatok értékelésénél a reziduális cash flow maximalizálását tűzhetjük ki célul (12. ábra).

Az ellátási láncok tervezésének alapvető nehézsége abban rejlik, hogy míg a legtöbb pénzügyi (pl. EVA, ROE) és működési (pl. eszközkihasználtság, piaci részesedés, kiszolgálási szint) mutató múltra vonatkozó értékei általában könnyen számíthatók, értékeiket a bizonytalan jövőre vonatkoztatva még megjósolni is nehéz.



12. ábra: A reziduális cash flow (RCF) maximalizálása ellátási láncok tervezésénél

Forrás: Klibi et al. (2010) p. 287.

Egyaránt fontos kérdés, hogy miként modellezzük a jövőbeli bizonytalanságot, és hogy a döntéshozók milyen kockázatot hajlandók felvállalni. A bizonytalanság modellezésére a leggyakoribb módszer a várható értékek és a hozzájuk tartozó statisztikai paraméterek (elsősorban a szórás) becslése. A bizonytalanságot figyelmen kívül hagyó (risk neutral) döntéshozók legtöbb esetben a várható értékekre terveznek. A kockázattól idegenkedő (risk averse) döntéshozók – és ide tartozik az ellátási lánc tervezők többsége – elsősorban két kockázatot szeretnének elkerülni: az egyik a reziduális cash flow változékonysága, a másik pedig az ellátási lánc működésére nagy hatást kifejtő, katasztrofális események általi kockázat (Klibi et al., 2010). Szokás a megfelelő modellekbe egy kockázati határt beépíteni.

Röviden összefoglalva, az ellátási lánc tervezése kapcsán a legfőbb kihívás olyan eredményre jutni, mely a részvénytulajdonosok számára fenntartható módon tud értéket teremteni minden kézenfekvő jövőbeli környezetben.

4.1. AZ ELLÁTÁSI LÁNCOK TERVEZÉSÉNÉL HASZNÁLT FŐBB MODELLEK

A fenti gondolatmenetet követve, megkülönböztethetünk determinisztikus és sztochasztikus modelleket.

A kapcsolatos determinisztikus modellek egyik legfőbb célterülete a hálózat elemeinek földrajzi pozicionálása (facility location problems, FLP) (Chen et al., 2014). A legalapvetőbb probléma egy termékkel kapcsolatos gyártó-, vagy elosztóegység helyének meghatározása. Amennyiben megengedhető, hogy egy adott igény több mint egy forrásból kerüljön kielégítésre (Nam et al., 2011), akkor CFLP problémáról beszélünk (capacitated facility location problems). Amikor továbbá előírjuk, hogy valamely terület igényét egyetlen forrásból kell kielégíteni, akkor a CFLPSS (capacitated facility location problems with single sourcing) problémára jutunk. A helyzetet természetesen bonyolítja, ha nem csak egy termékről beszélünk, hanem egyszerre több termék iránti igényt kell figyelembe vennünk.

A fenti problémák többsége az NP-nehéz problémák körébe tartozik, vagyis a megoldás időigénye polinominális mértéknél jelentősebben függ a feladat méretétől. A megoldási megközelítések sokfélék (Klibi et al., 2010; Hahn és Kuhn, 2012):

- Problémafelbontás (dekompozíció). Egy alapvető felbontás, hogy a termelőhelyeket adottnak vesszük, és a feladat az elosztócentrumok számának és helyének meghatározása.
- Az operációkutatás jól bevett optimalizálási módszerei, pl. branch and bound algoritmusok, vagy a Lagrange relaxáció.
- Heurisztikus módszerek.

A módszerek többsége az ellátási lánc egyes elemeit adott kapacitásúnak tételezi fel. A megoldandó problémát tovább nehezíti, ha a kapacitásokat is meghatározandó változónak vesszük. A kapacitást szokás folytonos mértékűnek tekinteni, de nyilvánvalóan realisztikusabb diszkrét kapacitásopciókról beszélnünk.

Az ellátási láncok tervezését sztochasztikus módszerekkel közelíthetjük meg, ha a bizonytalanságot is kezelni akarjuk. Az alapfeladat legtöbb változója (kereslet, termékárak, átváltási arányok, nyersanyag- és energiaárak, stb.) valószínűségi változóként is felfogható (Tanaka et al., 2012). A változók bizonyos „együttállását” kézenfekvőként (plausible) kezelhetjük, és minden ilyen eset valamekkora valószínűséggel bír. (Kérdés persze, hogy azok mennyire becsülhetők.)

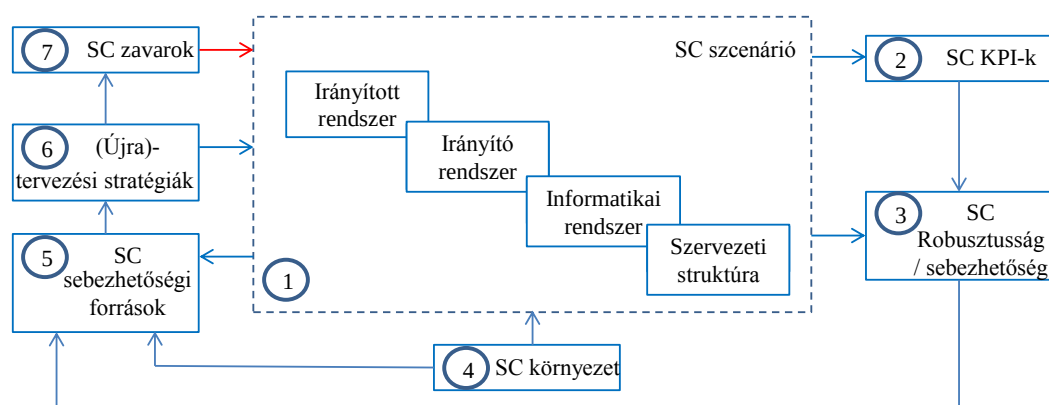
A legegyszerűbb megközelítés az átlagos esetre tervezés, ezáltal a sztochasztikus problémát determinisztikussá alakítva át. Tudatában kell lennünk azonban, hogy a kapott

megoldás bizonyos helyzetekben igen rosszul teljesít, vagy akár alkalmatlan is lehet a fellépett probléma kezelésére. Megfelelőbb választ kapunk, ha a determinisztikus modellt több kézenfekvő esetre oldjuk meg, és az eredményeket például Monte Carlo érzékenységi vizsgálattal értékeljük ki (Zafra-Cabeza et al., 2007). Természetesen a sztochasztikus probléma megoldására a legkézenfekvőbb megoldás a sztochasztikus programozás, ahol azonban szintén fellép a számba veendő esetek (szcenáriók) szinte végtelen száma, melyeket sokszor számítógéppel generálnak (Klibi et al., 2010). Giannakis és Louis multiágens-alapú keretrendszert használ ellátási láncok kockázatmenedzselésre (2011)

Nyilvánvaló, hogy nem elég a lánc elemeinek földrajzi pozícióját meghatározni, a tervezésbe be kell illeszteni a szállítási és készletgazdálkodási feladatokat is. Így beszélhetünk integrált elhelyezkedés-útvonal (location-routing), elhelyezkedés-készlet (location-inventory) és elhelyezkedés-útvonal-készlet (location-routing-inventory) modellekről (Shen, 2007).

4.2. KERETRENDSZER ELLÁTÁSI LÁNCOK TERVEZÉSÉHEZ / ÚJRATERVEZÉSÉHEZ

Az ellátási láncok tervezése – mint láttuk – egy igen bonyolult folyamat. A 13. ábra egy keretrendszert mutat be ellátási láncok tervezésére és újratervezésére, részben lezárva a jelen fejezetet és részben előkészítve a következőt, mely már létező ellátási láncok vizsgálatáról szól.



13. ábra: Ellátási láncok tervezésére / újratervezésére szolgáló keretrendszer

Forrás: Vlajic et al. (2012) p. 178.

Néhány magyarázó megjegyzést fűzünk a 13. ábrához, ahol egyébként az általánosabban elfogadott SC (supply chain) jelölést használtuk az ellátási lánc összetétel rövidítésére. Egy adott – vagy éppen tervezés alatt álló – ellátási láncot az ábrán SC szcenáriónak neveztünk, és az 1-es jellel láttunk el. Az SC szcenárió egy belsőleg konzisztens nézetét adja egy lehetséges ellátási láncnak (irányított rendszer), beleértve az irányító és

informatikai alrendszereket és a szervezeti struktúrát is. Az irányított rendszer alatt az ellátási lánc fizikai felépítését értjük, integrálva a terméktől kezdve, a gyártáson keresztül a logisztikai folyamatokig. Az irányító rendszer felelős a tervezési, irányítási és koordinációs feladatok végrehajtásáért, hogy azok elősegítsék az ellátási lánc stratégiai céljainak megvalósítását, az adott scenárió által létrehozott korlátozások mellett. Az informatikai rendszer blokk az információs infrastruktúrát és rendszert, valamint az irányítási hierarchia minden szintjén megjelenő döntéstámogató eszközöket foglalja magában. Külön blokkban szerepeltettük az ellátási lánc szervezeti struktúráját.

Az adott rendszer különböző teljesítményindikátorokat (KPI-ket) „állít elő” (az ábra 2-vel jelzett blokkja). Maga az SC scenárió rendelkezik valamilyen robusztussággal / sebezhetőséggel (3-as blokk), és természetesen egy adott gazdasági-műszaki környezetben (4-es blokk) működik. A környezet és a scenárió robusztussága / sebezhetősége szolgáltatja az ellátási lánc sebezhetőségi forrásait (5-ös blokk). Amennyiben a scenárió nem működik megfelelően egy adott zavarra / zavarokra (7. blokk) (részletesebben a 2. fejezetben), akkor újratervezési stratégiák segítségével megfelelő változtatásokat (6-os blokk) kell foganatosítanunk a rendszerben (bővebben lásd az 5. fejezetben).

5. ELLÁTÁSI LÁNCOK SEBEZHETŐSÉGI / ROBUSTUSSÁGI VIZSGÁLATA

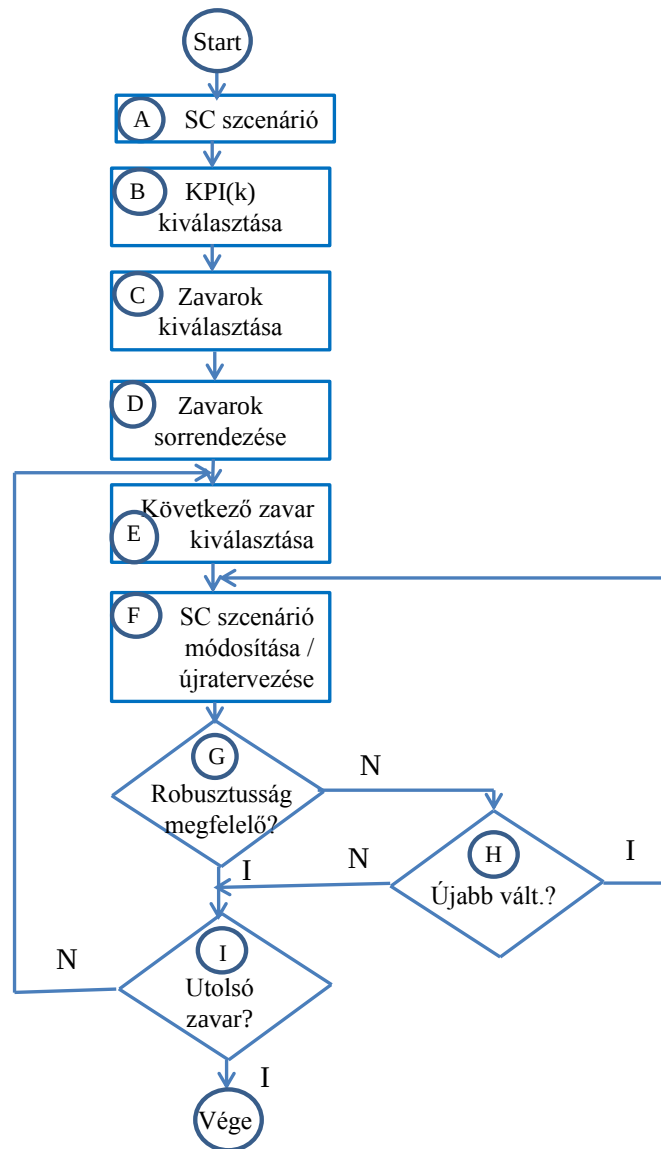
Az előző fejezetekben rávilágítottunk arra, hogy az ellátási láncok tervezésénél és működtetésénél az elsődleges gazdasági szempontokon kívül a rendszerek robusztusságára is tekintettel kell lennünk. Ugyanakkor az is nyilvánvaló, hogy az ellátási láncok sebezhetősége jelentős (negatív) gazdasági következményekkel járhat, így az ellátási láncok irányítóinak figyelmet kell szentelniük a teljes rendszer robusztusságára, sőt – továbbmenve – a láncba integrált cégeknek is elsőrendű érdeke annak biztosítása, hogy ne – vagy csak nagyon kis valószínűséggel – adódhasson olyan szituáció, amikor a leggyengébb láncszemnek bizonyulnak.

A nagyobb cégek sokszor jelentősebb teameket alkalmaznak az ellátási lánc kockázat menedzselésére (supply chain risk management, SCRM), és a csoport vezetőjének, az ellátási lánc kockázat menedzserének (supply chain risk manager) a robusztusság biztosítása a fő feladata. Egyébként van olyan cég, ahol az ezt a feladatkört ellátó személyt üzlet folytonossági menedzsernek (business continuity manager) hívják (Lavastre et al., 2012). Ugyanakkor, a speciális tudást megkövetelő robusztusság-vizsgálat sokszor külső szakértők bevonását igényli.

A következőkben felvázoljuk egy robusztussági vizsgálat legfőbb lépéseit, majd konkretizáljuk a módszert az ellátási láncok robusztusság-vizsgálatának egyik legfontosabb területére, a cégek közötti kockázatok (lásd 2.1 fejezet) csökkentésére koncentrálva.

5.1. AZ ELLÁTÁSI LÁNCOK ROBUSTUSSÁG-VIZSGÁLATI FOLYAMATA

A 14. ábrán vázoltuk fel a robusztusság-vizsgálat egy lehetséges folyamatábráját. Az egyes lépéseket betűkkel különböztettük meg egymástól, a jobb tárgyalhatóság érdekében. A 4.2 fejezet kifejezéseit használva, első lépés az ellátási lánc scenárió definiálása, meglévő rendszer esetén megismerése (A jelű blokk). Következő lépés azon teljesítményindikátorok (KPI-k) kiválasztása, melyek viselkedése alapján eldönthetjük, hogy a majd vizsgálandó zavarok mellett e KPI-k tekintetében a rendszer robusztus módon viselkedik-e (B jelű blokk).



14. ábra: Ellátási láncok robusztusság-vizsgálati folyamatábrája

Következő lépésként meghatározzuk, hogy a rendszer viselkedését milyen fellépő zavarokkal szemben kívánjuk megvizsgálni (C jelű blokk). Reaktív esetben – tehát amikor már fellépett a probléma – a zavar(ok) adott(ak), proaktív esetben valamilyen szempont alapján kerülnek kijelölésre az analizálandó zavarféleségek.

A C lépésben általában a zavarok egy nagyobb halmaza jelenik meg, célszerű ezeket sorrendezni, prioritásukat felállítani (D jelű blokk). A különböző lehetséges zavarok sorrendezése többféle módon történhet, talán leginkább a zavar fellépési valószínűségének és várható hatásának szorzata használható fel e célra (bővebben lásd a 2.2 fejezetet).

Az E jelű blokkban prioritási sorrendben választjuk ki egyenként a figyelembe veendő zavarokat. A fenti folyamatábra minden bizonnyal legfontosabb eleme az F jelű blokk,

aminek keretében meg kell vizsgálnunk, hogy a szóban forgó zavar(ok) esetén a B blokkban kiválasztott KPI-k robusztussági sávbán tartásához milyen intézkedéseket szükséges foganatosítani, beleértve az ellátási lánc szcenárió újratervezését is. (E kérdéssel bővebben az 5.2 fejezetben foglalkozunk.)

A G blokkban jelzett robusztussági vizsgálat is a legtöbb esetben egy igen nehéz feladat, hiszen meg kell határoznunk, hogy a kiválasztott intézkedéseink vajon milyen hatással lesznek a vizsgált KPI-kre. Itt – fejlettebb megoldásként – alkalmazhatunk szimulációt, vagy analitikus vizsgálatot, esetleg támaszkodhatunk korábbi robusztusság-vizsgálatok során szerzett tapasztalatainkra.

Amennyiben az adott zavar és a kiválasztott KPI-k tekintetében megnyugtató eredményre jutottunk (a G blokk I (igen) kimenete), akkor megvizsgáljuk, hogy a korábban sorrendezett zavarokat már mind sorra vettük-e (I blokk). Amennyiben igen, akkor befejeztük a robusztusság-vizsgálatunkat, amennyiben nem, akkor visszacsatolunk az E blokkhoz, és kiválasztjuk a következő zavart.

Visszatérve a 14. ábra G jelű vizsgálatához, amennyiben a szóban forgó módosítások az adott zavar esetén nem jártak eredménnyel, vagy például az éppen tárgyalt megoldás túl drága, akkor megvizsgáljuk, hogy érdemes-e újabb módosításvariánst tesztelni (a H blokk I kimenete), vagy más zavarok elleni robusztusság-vizsgálatra térünk rá (a H blokk N (nem) kimenete).

Általánosságban elmondható, hogy a cégek a robusztusság-vizsgálat során jó néhány módszert alkalmaznak, mint például: PDCA (Plan, Do, Check, Act) ciklus, Deming elvek a menedzsmenthibák számbavételére, six sigma, folyamatos fejlesztés (permanent improvement), value stream mapping, what-if szcenárió, Ishikawa diagram, brainstorming, Pareto diagram, ABC elemzés, FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis), stb. (Lavastre et al., 2012).

Ellátási láncok kockázatkezelésére nyújt példát Gelei (2010), és összefoglalja a hatékony és a rugalmas ellátási lánc jellemzőit. Disztribúciós láncok kockázatmenedzsmentjével foglalkozik Bódi-Schubert (2013) és áttekinti a kockázatkezelés folyamatát és szintjeit.

Lavastre és szerzőtársai (2012) beszámoltak egy franciaországi kérdőíves felmérésről, melyben 50 cég vezetője, logisztikai, illetve ellátási lánc menedzsere vett részt. Az ellátási láncok kockázatanalízise terén alkalmazott módszerek megfelelőségét 1-től 7-ig értékekkel minősítették (a 7-es volt a legjobb). Az eredmények a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat: Ellátási láncok kockázatanalízisére alkalmazott technikák értékelése franciaországi kérdőíves felmérés alapján

Sorrend	Az alkalmazott technikák	Átlag	Szórás
1.	PDCA ciklus, Deming elvek, six sigma, folyamatos fejlesztés	4,84	2,01
2.	Value stream mapping	4,52	1,86
3.	What-if szcenárió	4,50	1,94
4.	Ishikawa diagram, brainstorming	4,41	1,98
5.	Pareto diagram, ABC elemzés	4,40	2,12
6.	FMECA	3,84	2,12
7.	Score módszer (az intenzitás mérése aggregálás útján)	3,49	1,86

Forrás: Lavastre et al. (2012) p. 834.

Ugyanazon szerzők (Lavastre et al., 2012) a kérdőíves felmérés során megvizsgálták, milyen kockázatsökkentő módszereket tartanak a cégek vezető munkatársai az ellátási láncok kockázatanalízise terén a legmegfelelőbbeknek. Az eredményeket a 3. táblázat tartalmazza.

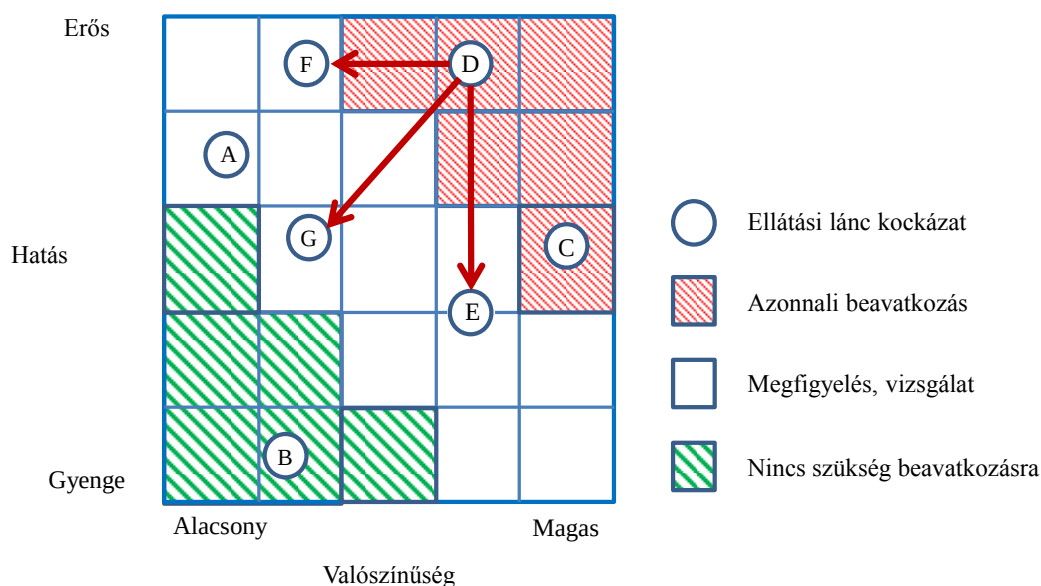
A 3. táblázat kapcsán érdemes kiemelni, hogy a partnerekkel folytatott információcsere a kockázatmenedzsment egyik legfontosabb eszköze. A beszállítók szakmai támogatását, az előrejelzések megbízhatóságának növelését és a partnerkapcsolatok minőségét is a legfontosabbak közé tartozónak ítélték a megkérdezett vezetők.

3. táblázat: Ellátási láncok kockázatcsökkentésére alkalmazott technikák értékelése franciaországi kérdőíves felmérés alapján

Sorrend	A kockázatcsökkentésre alkalmazott technikák	Átlag	Szórás
1.	Kommunikáció és információ-megosztás (előrejelzéssel, működéssel kapcsolatosan)	5,50	1,57
2.	A beszállítók támogatása működésük javítása érdekében	5,41	1,70
3.	Az előrejelzések pontosságának növelése	5,26	1,83
4.	Hosszú távú, folytonos partnerkapcsolatok	5,15	1,67
5.	Biztonsági készletek (vagy a beszállító által (VOI, vendor owned inventory), vagy házon belül)	5,07	1,85
6.	Vészhelyzetekre való felkészülés	4,91	1,74
7.	Szigorú és formalizált folyamatok bevezetése és következetes betartása	4,89	1,62
8.	Az aktivitások meghatározása fejlett tervező rendszerek segítségével (Advanced Planning Systems)	4,86	1,95
9.	Külső partner által biztosított biztonsági készletek	4,82	1,91
10.	Kettős beszerzés / gyártás	4,67	2,01
11.	Gyors válaszadó képesség ellátási láncok eseménymenedzsmentje által	4,55	1,87
12.	Szankciók és büntetések bevezetése félrevezetések és hibák esetére	4,44	1,86
13.	A műveletek központosítása (raktározás, gyártás, elosztás)	4,31	1,80
14.	A döntéshozás központosítása	4,26	1,77
15.	A beszállítók számának csökkentése	4,26	1,93
16.	Földrajzilag közel fekvő partnerek választása	3,92	1,89
17.	A félrevezetés és hibák nélküli működés jutalmazása	3,89	1,84
18.	Személyes, baráti kapcsolat a partnerekkel	3,87	1,83
19.	Kockázati menedzser kinevezése egy SCRM csoport vezetésére	3,81	1,84
20.	Kulturális közelség a partnerekhez	3,75	1,84
21.	A beszállítókat koordináló helyi cég léte	3,36	1,64

Forrás: Lavastre et al. (2012) p. 835.

A robusztusság-vizsgálat eredményét a menedzsment számára a valószínűség-hatás mátrixon is láthatóvá tudjuk tenni, rámutatva, hogy intézkedéseink milyen hatással voltak az egyes zavarok (kockázati tényezők) elhelyezkedésére a mátrixon belül (15. ábra). Az ábra értelmezése a következő: az A és B zavar (kockázat) tekintetében nem történt intézkedés. A D jelű zavart három (E, F, G) módon is sikerülne az azonnali beavatkozást igénylő régióból a megfigyelést, vizsgálatot javasló területre átvinni. Az E változat szerint az adott zavar (kockázat) hatását, az F szerint valószínűségét, a G szerint mindkettőt sikerülne csökkenteni. A menedzsmentnek kell meghoznia a végső döntést, a változtatások költségeit is figyelembe véve. A C jelű kockázatra külön ki kell térnünk: az eredmény azt mutatja, hogy nem tudtunk olyan módszert találni, mely kimozdítja a szóban forgó régióból, vagy ha találtunk is, azt – például jelentős költségkihatása miatt – nem tartottuk életképesnek.

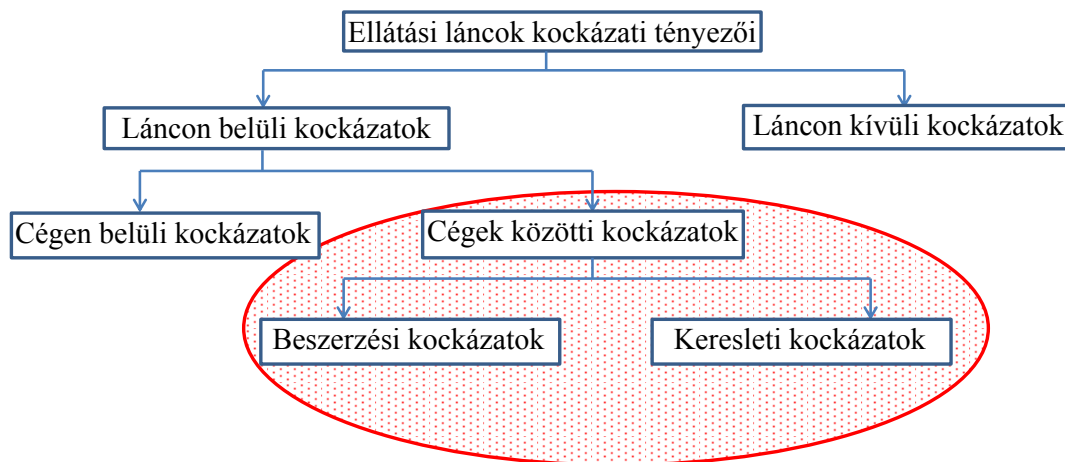


15. ábra: A robusztusság-vizsgálat egy lehetséges eredménye a valószínűség-hatás mátrixon

Forrás: Thun és Hoenig (2011) p. 244., (a korábbi 5. ábra), alapul használva

5.2. ELLÁTÁSI LÁNCOK MÓDOSÍTÁSA / ÚJRATERVEZÉSE A ROBUSZTUSSÁG-VIZSGÁLAT EREDMÉNYEKÉPPEN

Az 5.1 fejezetben javasolt módszert konkrét példákon szeretnénk bemutatni, elsősorban annak F jelű blokkjára (14. ábra) koncentrálni. Mint azt a folyamatábra C jelű blokkja mutatja, a vizsgálatok elején célszerű rögzíteni, hogy az elemzés mely típusú kockázatokat, zavarokat helyez célkeresztbe. Választásunk a cégek közötti kockázatok területére esett, melynek két fő kategóriáját a beszerzési, illetve a keresleti kockázatok jelentik (16. ábra kijelölt része).



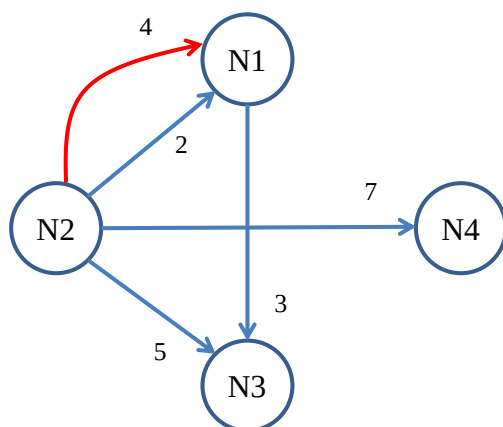
16. ábra: A robusztusság-vizsgálat során kiválasztott kockázati tényezők

Az ellátási láncban szereplő cégek kapcsolatai jelentik az ellátási lánc struktúráját. Egymással összeköttetésben lévő elemekből álló rendszerek strukturális – és sokszor nem csak strukturális – leírására, modellezésére a gráfelmélet nyújt természetes eszközt, lett legyen a vizsgálandó hálózat természeti (pl. vízgyűjtő rendszerek), ember által létrehozott (pl. energia- vagy úthálózat, internet), vagy éppen az emberek között viszonyokból (pl. szociális hálók) önszerveződően létrejövő hálózat.

Ellátási láncok gráfelméleti leképezése viszonylag természetesen adódik:

- A gráf csomópontjai: vállalatok, raktárak, értékesítési pontok.
- A gráf élei: a vállalatok, raktárak, értékesítési pontok közti összeköttetések.
- A csomópontokhoz rendelt súlyok: pl. egy gyár termelési kapacitása.
- A csomópontokhoz rendelt címkék: például az egység kompetenciája.
- Az élekhez rendelt címkék: az összeköttetés típusa, pl. folyami szállító.
- Az élekhez rendelt súlyok: pl. az áruforgalom mértéke, az együttműködés erőssége, a megbízhatóság foka.
- Színek: szerep az ellátási láncban, az összeköttetés típusa.

Van jó pár gráfelméleti mérték, mely jól használható ellátási láncok struktúrájának jellemzésére, így akár bizonyos kockázattípusokkal szembeni robusztussági szint meghatározására is. A struktúra leírására talán legalkalmasabb az ún. szomszédsági mátrix (adjacency matrix).



	N1	N2	N3	N4
N1	0	0	1	0
N2	1	0	1	1
N3	0	0	0	0
N4	0	0	0	0

	N1	N2	N3	N4
N1	0	0	1	0
N2	2	0	1	1
N3	0	0	0	0
N4	0	0	0	0

17. ábra: Ellátási láncok struktúrájának gráfelméleti modellje és a szomszédsági mátrixok

A 17. ábrán egy ellátási lánc részletének gráfelméleti modelljét jelenítettük meg. A gráf éleit súlyokkal láttuk el. A szomszédsági mátrix i,j -edik eleme 1, ha az i -edik csomópontból él irányul a j -edik csomópont irányába. Amennyiben az érték nagyobb, mint 1, akkor az adott csomópontok közötti, adott irányú összeköttetések számát jelzi a mátrix i,j -edik eleme. A 17. ábra eredeti (kék) gráfját az N2 csomópontból az N1 csomópontba mutató, pirossal jelzett összeköttetéssel bővítve, a szomszédsági mátrix 2,1 eleme 1-ről 2-re változik (lásd az ábra jobb oldalát).

A szomszédsági mátrixon túlmenően gráfok komplexitásának több mértéke ismert, melyek alkalmasak ellátási láncok strukturális leírására is. Wagner és Neshat (2010) például ellátási láncok sebezhetőségét gráfelméleti modell segítségével tárgyalja. Hasonlóképpen, Wu és Olson (2008) is gráfelméleti modellekkel vizsgálja ellátási láncok kockázatát.

Végezetül, a cégek közötti kockázatokra és azok lehetséges csökkentésére (a robusztusság növelésére) álljon itt néhány példa (4. táblázat). A táblázat elején beszerzési, a második részében pedig keresleti kockázatokat soroltunk fel. A két terület kockázatkezelési szempontból több esetben átlapolódik, gondoljunk itt akár a kapcsolatos logisztikában rejlő kockázati tényezőkre.

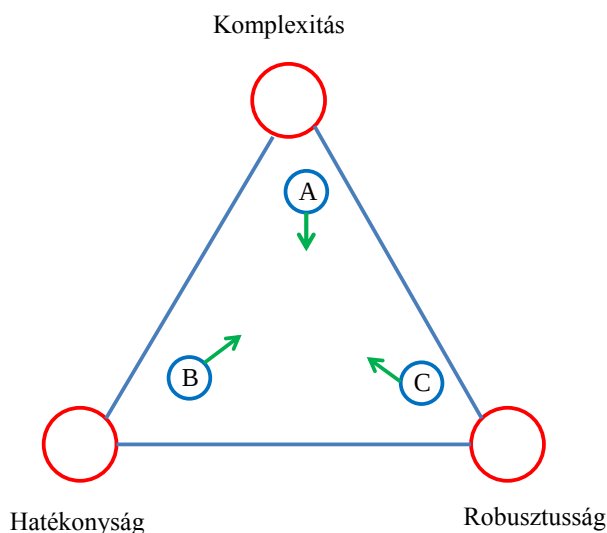
4. táblázat: Az ellátási láncot alkotó cégek közötti kockázatok és azok lehetséges csökkentési módjai

Kockázati tényező	A robusztusság növelésének eszközei
Késedelmes szállítás	A beszállítót a szállítások pontosságában érdekeltté tévő szerződések
Hiányos szállítás	Az előrejelzések pontosítása; a tervadatok megosztása a beszállítóval; a logisztikai utak biztonságának növelése
Megbízhatatlan szállító	A partnerkapcsolat ápolása
A beszállító kiesése	Biztonsági készletek tartása; a hálózat másik beszállítóval történő bővítése
Természeti katasztrófák (pl. áradások, hótorlaszok) veszélye	Alternatív szállítási útvonal(ak) / mód(ok) bevezetése
Minőségi problémák	Minőségellenőrzés a beszállító oldalán; biztonsági készletek tartása
Az igények volatilitása	Az igény-előrejelzések pontosítása
Az igények sokrétősége	A termékek lehető legnagyobb mértékben történő azonos alapokra helyezése, ún. platformosítása; az egyediségek jelentős mértékben szoftver eszközökkel történő megvalósítása
Új versenytársak megjelenése	A termékminőség javítása; a termékváltoztatosság növelése; versenyképes árazás; a vevőkkel történő kapcsolattartás magas szintje
A piaci részesedés csökkenése	Többcsatornás marketing és értékesítési technikák bevezetése
...	...

6. ELLÁTÁSI LÁNCOK KOMPLEXITÁSÁNAK, ROBUSZTUSSÁGÁNAK ÉS HATÉKONYSÁGÁNAK KAPCSOLATRENDSZERE

A bevezető fejezetekben írtunk arról, hogy az ellátási láncok részben azért váltak sebezhetővé, mert elsősorban a költséghatékonysági szempontok vezérelték őket: sok, eredetileg általuk végzett tevékenységet kiszerveztek, a karcsú (lean) koncepció szellemében just-in-time és just-in-sequence módszereket vezettek be és minimalizálták raktárkészleteiket, áramvonalasították ellátási láncukat, lecsökkentették beszállítóik számát, ugyanakkor globalizált nagyvállalatokká alakultak át.

A sebezhetőség fokozódása (egyben a robusztusság csökkenése) mára már olyan méreteket öltött, hogy a költséghatékonyság mellett a vállalatoknak egyre inkább súlykérdésévé válik működésük robusztusságának növelése, beleértve – sőt hangsúlyozottan – az ellátási láncok robusztuságát is. A cégeknek egyensúlyozni kell a hatékonyság és a robusztusság között, hiszen a robusztussági szempontok érvényesítése általában a hatékonyság ellen működik. A döntés nem könnyű, hiszen, ahogy az angol közmondás aláhúzza: „if you don't take a risk, you will not drink champagne”, vagyis bizonyos mértékű kockázatok felvállalása elengedhetetlen az üzleti sikerhez.



18. ábra: A robusztusság-hatékonyság-komplexitás tényezők „bűvös háromszöge”

Az ellátási láncok kapcsán, itt fontos egy harmadik tényezőt is megemlíteni, mégpedig a teljes rendszer komplexitását. A komplexitás és a robusztusság viszonya is kétoldalú. A robusztusságot növelhetjük például egy további beszállító integrálásával az ellátási láncba

(lásd például a 17. ábra gráfját), növelve ezáltal a hálózat komplexitását, ugyanakkor, minél komplexebb egy hálózat, várhatóan annál több probléma is léphet fel benne. Tehát, a komplexitás és a robusztusság között is valamiféle kompromisszumot kell találnunk.

A fentiek szellemében egy ellátási lánc – akár egy esetleges robusztusság-vizsgálat eredményeképpen – elhelyezhető egy, a robusztusság-hatékonyság-komplexitás csúcsok által kifeszített háromszögben (18. ábra).

Mint láttuk, veszélyes a háromszög csúcsai környékére pozicionálni egy vállalatot. A legmegfelelőbb elhelyezkedés sok mindentől függ, nem utolsósorban az érintettek (stakeholders) kockázattűrő képességétől. Várható azonban, hogy minden cég a sarkoktól a háromszög közepe felé szeretne elmozdulni, mint ahogy az a 18. ábrán is látható.

Egy robusztusság-vizsgálat mindenesetre segít az aktuális helyzet felmérésében és – amennyiben az érintettek számára az nem megfelelő – a megfelelő lépések meghozatalában.

7. ÖSSZEFOGLALÁS, A KUTATÁS LEHETSÉGES FOLYTATÁSI IRÁNYAI

Az ellátási láncok robusztussága a termelésstervezés és –szervezés egy igen időszerű, nagy fontosságú területe. A dolgozat célja egyrészt a hazai figyelem felkeltése volt, elég nagyszámú, jelentős nemzetközi fórumokon ismertetett, viszonylag friss publikációk áttekintésével, másrészt pedig egy módszertan felvázolása ellátási láncok robusztusság-vizsgálatára. A feladat bonyolultsága kétségtelen, az eredmények láthatóvá tételére jó eszköznek látszik a robusztusság-hatékonyság-komplexitás tényezőknek a dolgozat 6. fejezetében felvázolt „bűvös háromszöge”.

Munkám korántsem zárult még le, az irodalomkutatás mellett szeretnék az ellátási láncok robusztusságával kapcsolatos néhány résztemában elmélyedni, modellalkotási szinten is továbblépve. Ilyen lehet például az ellátási láncok gráfelméleti modellezése és a láncok működése kapcsán keletkező adatokból származó statisztikai megközelítés integrálása.

A javasolt módszerek verifikálásához kulcsfontosságú lenne, hogy megfelelő méretű és minőségű, valós adatokhoz jussak. A közeljövőben megírandó MSc dolgozatomban munkám folytatásáról is be szeretnék számolni.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

Szakirodalom

- Asbjornslett, B.E. (2009): Assessing the vulnerability of supply chains. In: *Supply chain risk - A handbook of assessment, management, and performance*, Edited by Zsidisin, G.A.; Ritchie, B., International Series in Operations Research & Management Science, Springer, USA, 349 p., pp. 15-33.
(<http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-79933-9>)
- Asbjornslett, B.E. – Rausand, M. (1999): Assess the vulnerability of your production system. *Production Planning and Control*, Volume 10, Number 3, pp. 219-229.
(<http://dx.doi.org/10.1080/095372899233181>)
- Baghalian, A. – Rezapour, S. – Farahani, R.Z. (2013): Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case. *European Journal of Operational Research*, Volume 227, Number 1, pp. 199-215.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2012.12.017>)
- Blome, C. – Schoenherr, T. (2011): Supply chain risk management in financial crises – A multiple case-study approach. *International Journal Production Economics*, Volume 134, Number 1, pp. 43-56.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.01.002>)
- Bódi-Schubert, A. (2013): Kockázatmenedzsment a disztribúciós láncban. In: *Logisztikai döntések – Fókuszban a disztribúció*, Edited by Gelei, A., Akadémiai Kiadó, 456 p., pp. 389-414.
- Bundschuh, M. – Klabjan, D. – Thurston, D.L. (2006): Modeling robust and reliable supply chains. Working Paper, University of Illinois at Urbana Champaign, 22 p.
- Chandra, C. – Grabis, J. (2007): Supply chain configuration concepts, solutions, and applications. Springer, First edition, 342 p.
- Chen, L. – Olhager, J. – Tang, O. (2014): Manufacturing facility location and sustainability: A literature review and research agenda. *International Journal Production Economics*, Volume 149, March, pp. 154-163.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.013>)

- Dong, M. (2006): Development of supply chain network robustness index. *International Journal of Services Operations and Informatics*, Volume 1, Number 1/2, pp. 54-66.
- Dong, M. – Chen, F.F. (2007): Quantitative robustness index design for supply chain networks. In: *Trends in Supply Chain Design and Management, Technologies and Methodologies*, Edited by Jung, H.; Jeong, B.; Chen, F.F., Springer Series in Advanced Manufacturing, 451 p., pp. 369-390.
(http://dx.doi.org/10.1007/978-1-84628-607-0_16)
- Ferdows, K. (1997): Making the most of foreign factories. *Harvard Business Review*, March/April, pp. 73-88.
- Gelei, A. (2010): Az ellátási lánc menedzsmentje. In: *Nemzetközi vállalatgazdaságtan*, Edited by Czakó, E.; Reszegi, L., Alinea Kiadó, 620 p., pp. 413-441.
- Giannakis, M. – Louis, M. (2011): A multi-agent based framework for supply chain risk management. *Journal of Purchasing & Supply Management*, Volume 17, Number 1, pp. 23-31.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.pursup.2010.05.001>)
- Gunasekaran, A. – Kobu, B. (2007): Performance measures and metrics in logistics and supply chain management: A review of recent literature (1995-2004) for research and applications. *International Journal of Production Research*, Volume 45, Number 12, pp. 2819-2840.
(<http://dx.doi.org/10.1080/00207540600806513>)
- Hahn, G.J. – Kuhn, H. (2012): Value-based performance and risk management in supply chains: A robust optimization approach. *International Journal Production Economics*, Volume 139, Number 1, pp. 135-144.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.04.002>)
- Kinkel, S. – Maloca, S. (2009): Drivers and antecedents of manufacturing offshoring and backshoring – A German perspective. *Journal of Purchasing & Supply Management*, Volume 15, Number 3, pp. 154-165.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.pursup.2009.05.007>)
- Klibi, W. – Martel, A. – Guitouni, A. (2010): The design of robust value-creating supply chain networks: A critical review. *European Journal of Operational Research*, Volume 203, Number 2, pp. 283-293.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.06.011>)

- Lavastre, O. – Gunasekaran, A. – Spalanzani, A. (2012): Supply chain risk management in French companies. *Decision Support Systems*, Volume 52, Number 4, pp. 828-838.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2011.11.0107>)
- Mo, J. – Harrison, T.P. (2005): A conceptual framework for robust supply chain design under demand uncertainty. In: *Supply chain optimization*, Edited by Geunes, J.; Pardalos, P.M., Springer, 413 p., pp. 243-264.
(http://dx.doi.org/10.1007/0-387-26281-4_8)
- Nam, S.-H. – Vitton, J. – Kurata, H. (2011): Robust supply base management: Determining the optimal number of suppliers utilized by contractors. *International Journal Production Economics*, Volume 134, Number 2, pp. 333-343.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.010>)
- Shen, Z.-J. (2007): Integrated supply chain design models: A survey and future research directions. *Journal of Industrial and Management Optimization*, Volume 3, Number 1, pp. 1-27.
(<http://dx.doi.org/10.3934/jimo.2007.3.1>)
- Tanaka, K. – Akimoto, H. – Inoue, M. (2012): Production risk management system with demand probability distribution. *Advanced Engineering Informatics*, Volume 26, Number 1, pp. 46-54.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2011.07.002>)
- Thun, J.-H. – Hoenig, D. (2011): An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry. *International Journal Production Economics*, Volume 131, Number 1, pp. 242-249.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.010>)
- Vilko, J.P.P. – Hallikas, J.M. (2012): Risk assessment in multimodal supply chains. *International Journal Production Economics*, Volume 140, Number 2, pp. 586-595.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.09.010>)
- Vlajic, J.V. – van der Vorst, J.G.A.J. – Haijema, R. (2012): A framework for designing robust food supply chains. *International Journal Production Economics*, Volume 137, Number 2, pp. 176-189.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.11.026>)

- Wagner, S.M. – Neshat, N. (2010): Supply chain risk, simulation, and vendor selection. *International Journal Production Economics*, Volume 114, Number 2, pp. 646-655.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.02.013>)
- Wu, D. – Olson, D.L. (2010): Assessing the vulnerability of supply chains using graph theory. *International Journal Production Economics*, Volume 126, Number 2, pp. 121-129.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.007>)
- Zafra-Cabeza, A. – Ridao, M.A. – Camacho, E.F. – Kempf, K.G. – Rivera, D.E. (2007): Managing risk in semiconductor manufacturing: A stochastic predictive control approach. *Control Engineering in Practice*, Volume 15, Number 8, pp. 969-984.
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.conengprac.2006.12.004>)